



Cuaderno del Instructor Operador Procesamiento de Molibdeno

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Director de Proyectos
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Álvaro Catalán C., Consultor de Proyectos

Equipo Codelco División Chuquibambilla

Pedro Juan Molinet, Gerente Concentradora
Martón Bravo T., Ejecutivo RRHH Concentradora
Hugo Miranda P., Supervisor Desarrollo de Personas
Jorge Torres S., Ingeniero Jefe de Operaciones
Claudia Blaña D., Ingeniero Jefe MOFI
José Vargas R., Jefe de Turno MOFI
Osvaldo Campos M., Ingeniero Jefe Relave
José Guzmán C., Ingeniero Jefe Senior Mantenimiento Mecánico
Jorge Uribe M., Superintendente Mantenimiento Eléctrico

Equipo Centro de Entrenamiento Industrial y Minero (CEIM)

José Antonio Díaz A., Gerente General
Fernando Villalobos S., Gerente Desarrollo de Competencias
María Arias Z., Directora de Proyecto
Mario Catalán M., Instructor Especialista Proc. Sulfuros
René Cisternas M., Instructor Especialista Proc. Sulfuros
Alex Vergara C., Instructor Senior Mant. Mecánico
Manuel Macías V., Instructor Senior Mant. Mecánico
Jorge Méndez C., Instructor Senior Mant. Eléctrico
Martín Baltazar R., Instructor Senior Mant. Eléctrico
Marcelo González M., Ingeniero Espec. Proc. Concentrado
Julio Arancibia C., Ingeniero Especialista Mant. Eléctrico
Fernando López P., Especialista Mant. Mecánico
Rafaella Sarroca D., Asesor Metodológico
Sebastián Montivero D., Editor Procesamiento Sulfuros
Constanza Escobar G., Editor Mantenimiento Mecánico
Yeliza Garcés A., Editor Mantenimiento Eléctrico
Patricia Cepeda A., Editor Mantenimiento Eléctrico
Melania Ortiz R., Carolina Pastenes P., Coordinadoras Proyecto

Consejo Minero

Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.

Teléfono: (562) 2347 2200

www.ccm.cl

Este material ha sido elaborado por el Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, con la colaboración metodológica de Innovum Fundación Chile, para la División Chuquicamata de Codelco. Esta institución ha dispuesto este material para el desarrollo del capital humano de la industria minera, permitiendo su utilización y distribución por parte del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero.

El siguiente material está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de sus contenidos para fines de formación, citando siempre el documento fuente, pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción, adaptación o distribución con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN SIN FINES COMERCIALES.
© 2017, Corporación Nacional del Cobre de Chile.

Índice

| | |
|---|----|
| Descripción del documento | 11 |
| Módulo I: Aislación y Bloqueo | 12 |
| 1. Aislación y Bloqueo | 14 |
| 1.1. Procedimiento de bloqueo y aislación de equipos | 14 |
| 1.2. Extractos decreto supremo 132 | 14 |
| 1.3. Principios básicos de seguridad. | 15 |
| 1.4. Definiciones | 16 |
| 1.5. Consideraciones Importantes | 21 |
| 1.6. Elementos de bloqueos de seguridad | 22 |
| 1.7. Tipos de candados | 24 |
| 1.8. Tipos de tarjetas | 25 |
| 1.9. Dispositivos de aislamiento | 28 |
| Actividad N° 1 | 32 |
| 2. Procedimiento de Trabajo Seguro (PTS) | 36 |
| 2.1. Objetivo | 36 |
| 2.2. Propósitos | 36 |
| 2.3. Alcance | 36 |
| 2.4. Definiciones | 37 |
| 2.5. Trabajos que requieren permiso de trabajo seguro. | 37 |
| 2.6. Personas autorizadas para extender permisos de trabajo seguro | 39 |
| 2.7. Trabajos que deban realizar empresas colaboradoras que requieren PTS | 41 |
| 2.8. Instrucciones de Operación | 41 |
| 2.9. Vigencia del permiso de trabajo seguro (PTS) | 41 |
| 3. Pruebas de energías potenciales y residuales | 42 |
| 3.1 Aislamiento y disipación de la energía residual peligrosa | 42 |
| 3.2 Energías | 42 |
| 3.3 Dispositivos para liberar las energías residuales (acumuladas) | 48 |
| 3.4 Pruebas de Energía Cero | 50 |
| Actividad N° 2 | 51 |
| 4. Manejo de sustancias y residuos peligrosos | 54 |
| 4.1 Introducción | 54 |
| 4.2 Manejo básico en el almacenamiento de las sustancias peligrosas | 60 |
| 4.3 Elementos de protección personal | 64 |
| 5. Aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones | 65 |
| 5.1 Secuencia de aislamiento y bloqueo | 65 |
| 5.2 Housekeeping del área | 66 |
| Actividad N°3 | 67 |
| Módulo II: Técnicas de Muestreo | 71 |
| 6. Técnicas de Muestreo | 73 |
| 6.1 Propósito del muestreo | 73 |
| 6.2 Importancia del muestreo | 73 |
| 6.3 Relación del muestreo con el control de calidad | 74 |
| Actividad N° 4 | 75 |

| | |
|---|-----|
| 6.4 Características del muestreo de pulpas | 78 |
| 6.5 Características del muestreo de sólidos | 82 |
| Actividad N° 5 | 83 |
| 7. Métodos de muestreo | 88 |
| 7.1. Manual | 88 |
| 7.2. Automático | 91 |
| 8. Tipos de muestreo | 91 |
| 8.1. Al azar | 91 |
| 8.2. Sistemático | 92 |
| 8.3. Automático en correas | 92 |
| 8.4. Automático en pulpas | 93 |
| 8.5. Estratificado | 93 |
| 9. Preparación Mecánica de Muestras | 94 |
| 9.1. Métodos reductores de muestras | 94 |
| Actividad N° 6 | 98 |
| 10. Análisis granulométrico | 101 |
| 10.1. Serie de tamices | 101 |
| 10.2 Tabla de distribución granulométrica | 103 |
| Módulo III: Operación de Proceso de Flotación | 106 |
| 11. Fundamentos del proceso de flotación | 107 |
| 11.1. Introducción | 107 |
| 11.2. Definiciones importantes en el proceso de flotación | 108 |
| 12. Conceptos y definiciones básicas del fenómeno de superficie | 112 |
| 13. Consideraciones generales del proceso de flotación de molibdeno | 113 |
| 13.1. Propiedades mineralógicas del molibdeno | 113 |
| 14. Variables y parámetros del proceso de flotación | 115 |
| 14.1. Granulometría (grado de liberación) | 116 |
| 14.2. Tipo y dosificación de reactivos | 117 |
| 14.3. Densidad de pulpa o porcentaje de sólidos en flotación | 118 |
| 14.4. Tiempo de residencia | 119 |
| 14.5. Calidad del agua | 119 |
| 14.6. pH | 120 |
| 14.7. Acondicionamiento de la pulpa | 120 |
| 14.8. Aireación | 122 |
| 14.9. Temperatura | 126 |
| 14.10. Nivel de pulpa | 126 |
| 15. Tipos de celdas | 127 |
| 15.1. Celdas convencionales | 127 |
| 15.2. Componentes mecánicos de una celda de flotación | 129 |
| 15.3. Zonas en el interior de una celda de flotación mecánica | 131 |
| Actividad N° 7 | 134 |
| 16. Celda columnar | 138 |
| 16.1. Zonas de separación | 139 |
| 16.2. Operación de una celda de flotación columnar | 141 |
| 16.3. Celdas neumáticas | 144 |
| Actividad N° 8 | 146 |
| 17. Circuitos de flotación | 150 |

| | |
|---|-----|
| 17.1. Tipos de circuitos | 150 |
| 17.2. Flotación rougher | 153 |
| 17.3. Flotación scavenger | 154 |
| 17.4. Flotación cleaner | 154 |
| 17.5. Remolienda de concentrados | 155 |
| 18. Fórmulas básicas del proceso | 156 |
| 19 Reactivos de flotación | 158 |
| 19.1. Tipos de reactivos | 159 |
| 19.2. Almacenamiento y traslado | 160 |
| 19.3. Preparación y riesgos asociados | 162 |
| 19.4. Importancia y dosificación | 164 |
| 19.5. Riesgos en la manipulación y dosificación de NaSH | 166 |
| Actividad N° 9 | 167 |
| Módulo IV: Remolienda | 172 |
| 20. Remolienda con Molino Convencional de Bolas | 172 |
| 20.1. Fundamentos del proceso de remolienda | 172 |
| 20.2. Mecanismos de reducción en la remolienda. | 173 |
| 20.3. Movimiento de la carga en molino de remolienda | 173 |
| 20.4. Variables operacionales | 176 |
| 20.5. Velocidad crítica de un molino | 177 |
| 20.6. Sistema de lubricación del molino | 178 |
| 20.7. Sistema de embrague de partida del molino. | 180 |
| Actividad N° 10 | 182 |
| 21. Proceso de remolienda con Molino Vertical | 188 |
| 21.1. Características y componentes del molino. | 188 |
| 21.2. Principio de operación del molino vertical. | 193 |
| 21.3. Sistema de lubricación del molino. | 194 |
| 21.4. Potencia del motor. | 196 |
| 22. Variables de operación del molino vertical. | 196 |
| 22.1. Sistema de alimentación al molino. | 196 |
| 22.2. Nivel de llenado de bolas y mineral | 197 |
| 22.3. Efectos de la granulometría en el molino. | 197 |
| 22.4. Método de molienda. | 199 |
| 22.5. Carga de bolas | 200 |
| 22.6. Procedimiento de carguío de bolas | 202 |
| 23. Clasificación húmeda | 204 |
| 23.1. Fundamentos de la clasificación | 204 |
| 23.2 Clasificadores centrífugos | 204 |
| 23.3. Tipos de hidrociclón | 205 |
| 23.4. Eficiencia de clasificación | 206 |
| 23.5. Variables operacionales | 206 |
| Actividad N° 11 | 209 |
| 24. Bombas centrífugas | 212 |
| 24.1. Hidráulica de bombas | 212 |
| 24.2. Componentes fijos de una bomba centrífuga | 213 |
| 24.3. Componentes móviles de una bomba centrífuga | 214 |
| 24.4. Sistemas de transmisión | 221 |

| | |
|---|-----|
| 24.5. Variables de funcionamiento | 222 |
| 24.6. Procedimiento de puesta en marcha y detención de una bomba centrífuga | 223 |
| 24.7. Fallas más comunes en la operación | 225 |
| Actividad N° 12 | 227 |
| Módulo V: Operación de Espesamiento de Concentrados | 234 |
| 25. Fundamentos del proceso de espesamiento | 236 |
| 25.1. Objetivo del espesamiento | 236 |
| 25.2. Antecedentes | 236 |
| 25.3. Definición | 237 |
| 26 Teoría de la sedimentación | 238 |
| 26.1. Sedimentación de partículas discretas | 240 |
| 26.2. Sedimentación de partículas floculentas | 240 |
| 26.3. Sedimentación por caída libre e interferida | 240 |
| 26.4. Expresiones de velocidad de sedimentación | 241 |
| 26.5. Coagulación y floculación. | 247 |
| Actividad N° 13 | 251 |
| 27. Funcionamiento y tipo de espesadores | 255 |
| 27.1. Espesador | 256 |
| 27.2. Elementos de un espesador continuo y sus funciones | 261 |
| 28. Tipos de espesadores | 264 |
| 28.1. Espesadores convencionales | 265 |
| 28.2. Espesadores de alta capacidad (high capacity) | 266 |
| 28.3. Espesador de alta densidad | 269 |
| 29. Operación del espesador de concentrado | 270 |
| 29.1. Seguridad en la operación | 270 |
| 29.2. Parámetros y variables del proceso de espesamiento de concentrado | 271 |
| Actividad N° 14 | 274 |
| 29.3. Problemas en la operación de espesadores | 278 |
| 29.4. Análisis de falla del lecho o cama de pulpa del espesador | 280 |
| Módulo VI: Operación de Proceso de Filtrado de Concentrado | 283 |
| 30. Operación de Proceso de Filtrado de Concentrado | 284 |
| 30.1. Introducción. | 284 |
| 30.2. Métodos de filtración. | 285 |
| 30.3. Elementos que intervienen en la filtración. | 285 |
| 30.4. Clases de filtración. | 287 |
| 30.5. Factores que influyen en la filtración. | 289 |
| 30.6. Medios filtrantes. | 289 |
| 30.7. Telas | 290 |
| 31. Funcionamiento de los diferentes tipos de filtros. | 293 |
| 31.1. Equipos para la filtración. | 293 |
| Componentes del filtro de banda horizontal: | 299 |
| Actividad N° 15 | 307 |
| Actividad N° 16 | 316 |
| 32. Variables de operación. | 326 |
| 32.1. Variables de entrada. | 326 |
| 32.2. Variables de salida. | 327 |
| 32.3 Variables de diseño. | 327 |

| | |
|---|-----|
| 32.4. Variables de control. | 328 |
| 33. Parámetros de operación. | 328 |
| Actividad N° 17 | 330 |
| Módulo VII: Operación de Sistema de Secado de Concentrado | 335 |
| 34. Secado de sólidos | 337 |
| 34.1. Introducción | 337 |
| 34.2. Clasificación de secadores | 338 |
| 34.3. Tratamiento de sólidos en secadores: | 338 |
| 35. Fundamentos de la transferencia de calor | 339 |
| 35.1. Transmisión de calor en secadores | 339 |
| 35.2. Mecanismos de transferencia de calor | 340 |
| 35.3. Características del medio de transferencia térmica | 342 |
| 35.4. Transferencia de calor por conducción | 343 |
| 35.5. Transferencia de calor por convección | 345 |
| 35.6. Transferencia de calor por radiación | 347 |
| 35.7. Mecanismos combinados de transmisión del calor | 349 |
| Actividad N° 18 | 352 |
| 36. Definiciones fundamentales en los procesos | 358 |
| 36.1. Propiedades de la mezcla vapor de agua – aire | 358 |
| 36.2. Presión de vapor del agua | 359 |
| 36.3. Humedad de una mezcla aire - vapor de agua | 359 |
| 36.4. Humedad de saturación | 360 |
| 36.5. Porcentaje de humedad | 360 |
| 36.6. Porcentaje de humedad relativa | 360 |
| 36.7. Punto de rocío | 360 |
| 36.8. Qué es la temperatura | 360 |
| 37. Humedad | 362 |
| 37.1. Humedad de equilibrio | 363 |
| 37.2. Humedad libre | 363 |
| 37.3. Humedad límite | 363 |
| 37.4. Humedad no límite | 364 |
| 38. Velocidad de secado | 364 |
| 38.1. Curva de velocidad de secado | 365 |
| 38.2. Periodos de secado. Análisis. | 366 |
| 38.3. Periodo de velocidad de secado constante | 366 |
| 38.4. Periodo de velocidad de secado decreciente | 367 |
| Actividad N° 19 | 368 |
| 39. Componentes de una planta de secado | 371 |
| 39.1. Transportadores de sólidos | 371 |
| 39.2. Historia de las correas transportadoras | 372 |
| 39.3. Operación de correas transportadoras | 373 |
| 39.4. Factores que afectan la elección de la correa transportadora. | 374 |
| 39.5. Componentes de una correa transportadora | 376 |
| 39.6. Estilos de transmisión para los transportadores de correa | 391 |
| Actividad N° 20 | 394 |
| 40. Equipos para procesos de secado | 398 |
| 40.1. Clasificación de las operaciones de secado | 398 |

| | |
|--|-----|
| 40.2. Características generales de operación de secadores directos. | 399 |
| 40.3. Características generales de operación de secadores indirectos. | 400 |
| 41. Equipos de secado | 400 |
| 41.1. Secadores continuos. Secador rotatorio. | 401 |
| 41.2. Secador rotatorio continuo directo | 406 |
| 42. Componentes principales de una planta de secado | 408 |
| 42.1. Generador de gases calientes | 409 |
| 42.2. Planta de combustible | 413 |
| 42.3. Tambor rotatorio (secador) | 416 |
| 42.4. Caja de descarga | 417 |
| 42.5. Ciclones | 418 |
| 42.6. Filtros de manga | 418 |
| 42.7. Precipitador electrostático | 419 |
| 42.8. Ventilador de tiro inducido (VTI): tipo centrífugo | 422 |
| 42.9. Ductos | 425 |
| 43. Riesgos en el proceso | 426 |
| 43.1. En el generador de gases calientes | 426 |
| 43.2. En el tambor rotatorio | 426 |
| 43.3. En el ciclón y filtro de mangas | 427 |
| 43.4. En el ventilador extractor | 427 |
| 44. Transporte neumático de la descarga del secador | 427 |
| 44.1. Transporte neumático | 427 |
| 44.2. Clasificación de los sistemas de transporte neumático | 431 |
| 44.3. Sistema de transporte fase diluida | 431 |
| 44.4. Fase densa | 435 |
| 44.5. Sistemas de presión positiva | 437 |
| 44.6. Sistemas de presión negativa | 438 |
| 44.7. Sistemas de presión combinada negativa-positiva | 439 |
| 44.8. Sistemas de transporte al vacío. | 439 |
| 45. Sistema de secado indirecto | 444 |
| 45.1. Operación del secador | 446 |
| 45.2. Puesta en marcha | 446 |
| 45.3. Detención | 447 |
| Módulo VIII: Operación de Proceso de Envasado, Carguío y Despacho Concentrado | 448 |
| 46. Envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno. | 449 |
| 46.1. Fundamentos del transporte de sólidos | 450 |
| 46.2. Modelos de elevadores de capacho | 459 |
| 46.3. Transportadores de tornillo sinfin | 462 |
| 46.3.4. Ensamblajes de transmisión y acoplamientos de eje para los transportadores de tornillo sinfin. | 467 |
| 46.3.5. Designaciones del transportador de tornillo sin fin. | 468 |
| 46.4. Transportadores de rodillos | 468 |
| 46.4.1. Transportadores de rodillo de gravedad. | 469 |
| 46.4.2. Transportadores de rodillo vivo. | 469 |
| 46.4.3. Componentes del transportador de rodillo | 471 |
| 47. Sala de compresores | 472 |
| 47.1. Aire comprimido | 473 |

| | |
|--|-----|
| 47.2. Etapas de un sistema básico de aire comprimido | 474 |
| 47.3. Normas de sistemas de distribución básicas | 476 |
| 47.4. Elementos del sistema neumático que consumen aire comprimido | 478 |
| 48. Envasado y carguío de concentrado de molibdeno | 479 |
| 48.1. Envasado | 479 |
| 48.2. Muestreo de la producción de molibdeno | 481 |
| 49. Carguío con grúa horquilla | 482 |
| 49.1. Introducción a la operación de grúa horquilla | 482 |
| 49.2. El operador de la grúa horquilla | 483 |
| 49.3. Manejo seguro en la grúa horquilla | 483 |
| 49.4. Causas de los errores en la operación de grúas horquilla | 485 |
| 49.4.2. Acción subestándar | 486 |
| 49.4.3. Condición subestándar | 486 |
| 49.5. Principios de funcionamiento de una grúa horquilla | 487 |
| 49.6. Responsabilidad del operador ante la condición física y psíquica | 489 |
| 49.6.1. Carácter multifactorial | 489 |
| 49.7.1. Identificación de componentes | 492 |
| 49.8. Conociendo las grúas horquillas | 494 |
| 49.8.1. Ventajas y desventajas de las grúas horquillas | 495 |
| 49.8.2. Tipos de grúas horquillas | 495 |
| Actividad N° 21 | 496 |
| 49.9. Técnicas de operación del equipo | 500 |
| 49.9.1. Puesta en marcha del equipo y detención segura del motor | 500 |
| 49.9.2. Uso del interruptor de arranque de la grúa horquilla. | 502 |
| 50. Técnicas operacionales en el manejo de la carga | 504 |
| 50.1. Determinación de la capacidad de levante. | 504 |
| 50.2. Etapas del manejo de materiales con grúas horquillas | 506 |
| 50.2.1. Levantamiento o descenso de la carga | 506 |
| 50.3. Técnicas de desplazamiento por terrenos dispares | 508 |
| 50.3.1. Traslado o desplazamiento de la carga | 508 |
| 50.3.2. Efectos de la inclinación del mástil sobre el equilibrio. | 509 |
| 50.3.3. Interacción con otros equipos | 510 |
| 50.4. Almacenamiento de carga. | 511 |
| 50.4.1. Técnicas de apilamiento, almacenar, elevar y depositar pallet. | 511 |
| Actividad N° 22 | 517 |
| 51. Despacho de concentrado de molibdeno | 521 |
| 51.1. Transporte de concentrado de molibdeno | 522 |

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de Operador Proceso de Molibdeno de nivel 3.

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se indican a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los objetivos planteados para la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido, favoreciendo también el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto de las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento de evaluación de proceso. Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10. La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas correctas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75% de aciertos.

Módulo I: Aislación y Bloqueo

1. Aislación y Bloqueo

1.1. Procedimiento de bloqueo y aislamiento de equipos

Requerimientos

La evolución de la Industria ha traído consigo grandes satisfacciones al Ser Humano que como tal ha sabido aprovechar esta forma de energía en múltiples utilidades. Estos grandes avances son fruto del esfuerzo y vida de muchas personas desde científicos, ingenieros, técnicos y hasta el usuario común y corriente que ha aprendido su mejor uso. La seguridad de una instalación eléctrica desde los criterios de diseño hasta su puesta en utilización es materia fundamental para evitar accidentes.

En ese trayecto desde el cual el ser humano vislumbró el poder de la electricidad con la presencia de un rayo desde su caverna, o aquel sabio griego Thales de Mileto quién la bautizó con el nombre con la cual la conocemos, o un curioso científico como Benjamín Franklin que con su cometa flotando en una tormenta, inventó el pararrayos que previno muchos accidentes en su época y dio inicio a esta nueva tecnología de protección contra las tormentas eléctricas, y así podríamos nombrar muchas personas que dieron su vida y cuya experiencia la utilizamos ahora en forma cotidiana, hasta sin darnos cuenta.

En ese trayecto para gozar de los beneficios de la electricidad aquellas personas que se preocuparon por investigar y tecnificar el uso de la electricidad asumieron muchos riesgos pues desconocían verdaderamente el peligro que envolvía y mediante la prueba y error sucedieron muchos accidentes. En forma paralela otras personas se preocuparon por prevenir los accidentes ocasionados por la electricidad es así que nace la inquietud de investigar este tema definiendo los fenómenos que producen el contacto accidentalidad con la corriente eléctrica y definir cómo prevenirlos, evitando accidentes, muchos de los cuales han causado la muerte en pocos segundos.

Definiremos y aplicaremos conceptos usados en bloqueo de equipos con energía y la importancia de la realización de estos, así también como los procedimientos asociados y en acuerdo al DS 132.

1.2. Extractos decreto supremo 132

Artículo 1

El presente reglamento tiene como objetivo establecer el marco regulatorio general al que deben someterse las faenas de la Industria Extractiva Minera Nacional para:

- a) Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella.

- b) Proteger las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos.

Artículo 32

Será deber de la empresa minera, proporcionar en forma gratuita a sus trabajadores los Elementos de Protección Personal adecuados a la función que desempeñen, debidamente certificados por un organismo competente.

Las empresas mineras deberán efectuar estudios de las reales necesidades de elementos de protección personal para cada ocupación y puesto de trabajo, en relación a los riesgos efectivos a que estén expuestos los trabajadores. Además, deberán disponer de normas relativas a la adquisición, entrega, uso, mantención, reposición y motivación de tales elementos.

Las líneas de mando de las empresas deberán incorporar en sus programas la revisión periódica del estado de los elementos de protección personal y verificar su uso por parte de los trabajadores, quienes están obligados a cumplir las exigencias establecidas en el reglamento interno de la empresa, en lo concerniente al uso de dichos elementos.

Artículo 52

Previo a efectuar la mantención y reparación de maquinarias o equipos se deben colocar los dispositivos de bloqueos y advertencia, que serán retirados solo por el personal a cargo de la mantención o reparación, en el momento que ésta haya terminado.

Antes de que sean puestos nuevamente en servicio, deberán colocarse todas sus protecciones y dispositivos de seguridad y someterse a pruebas de funcionamiento que garanticen el perfecto cumplimiento de su función.

Artículo 407

Se establece como norma permanente y obligatoria el uso de sistemas de bloqueos y advertencia para la intervención de equipos y sistemas, lo que deberá estar regularizado por procedimientos internos.

Artículo 408

Ninguna persona podrá instalar, operar, ajustar, reparar o intervenir equipos e instalaciones, sin haber sido instruida y autorizada por la administración.

1.3. Principios básicos de seguridad.

Todo trabajo de operación, mantención y/o reparación de los equipos e instalaciones eléctricas de la compañía, deberá realizarse de acuerdo a los procedimientos escritos,

establecidos y aprobados. Para ello, y dentro de la planificación del trabajo, el supervisor de turno, deberá conocer el procedimiento correspondiente y difundirlo y comentarlo con el personal que realizará el trabajo

El sistema de bloqueo ha sido diseñado para asegurar que todos los trabajos de mantención puedan efectuarse bajo condiciones seguras.

El Procedimiento de Bloqueo asegura que cualquier parte móvil del equipo o maquinaria esté aislada de todas las fuentes posibles de energía, antes que comience el trabajo de mantención y/o reparación.

El procedimiento debe ser usado en forma obligatoria en toda la propiedad de La Minera, siendo éste ejecutado por personal de La Minera o por Contratista que deban intervenir o participen en la intervención de un equipo, instalación o circuito.

Con un procedimiento claro, se logra eficacia y eficiencia en el procedimiento de bloqueo.

El procedimiento comienza aislando los componentes móviles o maquinarias de todas las fuentes de energía por personal de experiencia, conocimientos en la materia y autorizados, quienes pondrán el bloqueo de departamento que corresponde. Entonces los trabajadores a cargo del trabajo podrán los bloqueos personales en el bloqueo de Departamento, y sólo podrán ser retirados por ellos mismos cuando su trabajo haya finalizado. Antes de intervenir un equipo, partes o maquinaria, cada área o departamento involucrado en este procedimiento deberá verificar la liberación de la energía residual existente tales como inercial, estática, gravitacional, etc.

1.4. Definiciones

Aislamiento: es la acción de dejar sin energía una instalación, dispositivo o equipo para evitar contacto directo y ser intervenido en forma segura. Esta debe hacerse efectiva en la(s) fuente(s) y/o aguas arriba del equipo o sistema a controlar asegurando su aislamiento energético total (eléctrica, mecánica, neumática, hidráulica, gravitacional, nuclear),

Bloqueo: es la acción de asegurar el aislamiento, con un dispositivo propio al equipo o anexo a éste, con el objetivo de que las energías de operación y/o residuales no puedan liberarse fuera del control del personal que efectúa la revisión, mantención y/o reparación del equipo o instalación.

El bloqueo, está compuesto por: candado, cadenas, cuñas, tenazas, tarjetas, u otros dispositivos auxiliares que ayuden a asegurar el aislamiento. Si alguno de estos elementos falta, el bloqueo no está correcto. Las tenazas se podrán usar para agregar bloqueos de seis personas por vez. Los candados deben ser personales y con llave única (sólo una llave para cada candado, todas diferentes entre sí), la que debe tener cada trabajador. Se prohíbe el

uso de candados con cerraduras de combinación y con llaves maestras. El bloqueo se considera terminado una vez que se ha comprobado su efectividad.

Las paradas de emergencia, como pullcords y otros no son puntos de bloqueo. En cada acción de bloqueo, se tiene que verificar existencia de energía cero.

Bloqueo específico: Bloquear más de una fuente de energía.

Canastillo: consiste en una caja metálica con una ventanilla de abertura con malla en la parte frontal y con aldaba que permite guardar las llaves de los candados usados para el bloqueo. En su interior llevará colgantes para a lo menos 10 llaves. En su parte superior se instalará una plancha para pegar la hoja que indica los puntos de bloqueos. Este canastillo se instalará en un lugar visible, de fácil acceso y fija en una posición lo más cercana al equipo, maquinaria o sistema al cual se le realizará el bloqueo y no deberá presentar dificultades para la aplicación de esta herramienta.

Energías de operación: Son cualquier fuente que origina la energía de accionamiento o que son parte del equipo, instalación o circuito. Utilizada para la operación normal del equipo y que se aíslan con el accionamiento de elementos de maniobra claramente definidos y señalizados. En esta clasificación están las energías eléctricas, mecánicas, hidráulicas, neumáticas, químicas, térmicas y radiantes, las cuales hay que identificar y controlar, efectivamente, durante el proceso de bloqueo.

Energías residuales: Son las energías potencialmente peligrosas que están presentes en el equipo y/o la zona de operación del equipo o instalación (aun después de haber transcurrido un tiempo significativo de haber controlado las energías de operación) y que pueden liberarse, sin control, durante los trabajos de reparación o mantención, produciendo daño a las personas que participan en estos trabajos.

Desenergización: Es la interrupción de flujo de los diferentes tipos de energía, y que para el caso de energía eléctrica, se refiere al flujo de corriente que se acciona abriendo manual o automáticamente un equipo en sala eléctrica por el mantenedor eléctrico autorizado.

Energización: Es la habilitación de flujo de los diferentes tipos de energía del equipo, instalación o circuito, para ser puesto en operación nuevamente, que efectúa el mantenedor autorizado una vez finalizado el trabajo, previo desbloqueo de todos los participantes de la actividad reparación, mantención, revisión, limpieza, etc.

Energía cero: Es la carencia total de fuentes de energía potencialmente peligrosas, incluyendo las energías residuales en un equipo, instalación o circuito.

Formulario de permiso de bloqueo: Es un formulario donde queda registrado todos datos correspondientes al bloqueo solicitado del equipo, instalación o circuitos a intervenir. Debe ser completado y firmado por todas las personas que intervienen.

Registro de bloqueo/desbloqueo: El registro de bloqueos y desbloqueos generalmente es un libro destinado para llevar el control de ambas operaciones realizados a los equipos, instalaciones o circuitos intervenidos.

Intervención: Es la acción de tomar contacto con todos o parte de los componentes de un equipo, instalación o circuito por el personal que va a intervenirlos, y que implique cualquier contacto con estos (mínimo o total).



Figura 1

Tipos de energía

Si el trabajo lo realizará personal de contratistas ejecutor, el responsable del trabajo solicitará el equipo, maquinaria o sistema a intervenir al encargado del área y coordinará con la empresa contratista, la realización del trabajo y la aplicación de este documento.

Determinado el equipo, maquinaria o sistema que va a ser detenido, el encargado del equipo / sistema, más el responsable del trabajo procederán a aislar cada una de las energías que intervengan en él e instalarán sus bloqueos departamentales (para el caso de los candados departamentales, llave única significa una llave que abre un set de candados). En caso de aislamiento eléctrico, debe bloquear también el electricista, en los mismos puntos definidos.

Realizados los bloqueos del encargado del área/ equipo / maquinaria y del responsable del trabajo, éstos procederán a colocar sus llaves respectivas dentro de una caja especialmente habilitada para este fin, Caja de Llaves de Bloqueo, o **canastillo** procediendo los mismos a bloquear esta caja con bloqueos departamentales.



Figura 2
Canastillos múltiples

Posteriormente el ejecutor deberá verificar los puntos de bloqueo del equipo / sistema, con la cartilla de control de puntos del bloqueo, cuyo original será adosada en un tablero en el exterior del mismo canastillo de llaves a la vista de todo el personal.

Luego de cumplidos los pasos anteriores, todos los trabajadores que intervendrán en la mantención; reparación; calibración del equipo procederán a colocar sus bloqueos personales a partir del último bloqueo que esté colocado en la Caja de Llaves de Bloqueo.

Antes de iniciar el trabajo, se deberán examinar y liberar las energías (residuales y potenciales) de todos los mecanismos con posible energía almacenada, provenientes de fuentes de vapor, circuitos hidráulicos y neumáticos, resortes comprimidos, cargas suspendida, condensadores e inductancias, fuentes radiactivas, elementos y compuestos reactivos, y todo otro elemento que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabaja en el área.

La desenergización de un equipo y/o proceso (aislación) significa que todos los dispositivos de aislación de energía involucrados deberán ser ubicados y operados de tal manera que lo aislen de todas la(s) fuente(s) de energía.

Las personas involucradas en el trabajo se asegurarán que el aislamiento y/o bloqueo se haya realizado correctamente, comprobando su efectividad a través de la o las botoneras de terreno, verificar aguas abajo, líneas de despiche, en el caso del flujo, pruebas con instrumentación u otros. Para esto se llevara el equipo a intervenir a posición manual y se intentará una partida desde la botonera de terreno. En equipos que no sea posible comprobar el aislamiento a través de botoneras manuales, los ejecutores deberán hacer esta comprobación a través de la sala de control, para ratificar la efectividad del aislamiento.

Todo bloqueo personal deberá ser retirado de un equipo, inmediatamente que se haya terminado la tarea, excepto ante situaciones justificadas como colación, problema operacional que detenga la mantención por un cierto tiempo, falta de algún repuesto que retrase la reparación dentro del mismo turno, etc.

Una vez terminado el trabajo, el ejecutor y/o responsable del mismo, debe entregar el o los equipos y/o sistemas al dueño para que este último realice las pruebas de puesta en marcha y comprobar que el trabajo fue efectivo.

Para los casos especiales en que no pueda aplicarse los puntos definidos con anterioridad, por no existir un número adecuado de responsables, por la lejanía de los lugares de trabajo, por la cantidad numerosa de puntos de bloqueos, se deberá dejar explícitamente indicado en los instructivos específicos quienes podrán suplir estas responsabilidades.

1.5. Consideraciones Importantes

Conozca con claridad las responsabilidades de cada persona que tiene injerencia en el Procedimiento de bloqueo.

Se deberá comprobar ausencia de tensión en el lugar más cercano posible al elemento de desconexión.

Todo bloqueo personal deberá ser retirado de un equipo, inmediatamente que se haya terminado la tarea.

Los trabajadores involucrados, se asegurarán que el aislamiento y/o bloqueo se haya realizado correctamente, comprobando su efectividad en las botoneras de terreno.

El registro y entrega de los componentes del bloqueo son responsabilidad de cada Gerencia.

Todo el personal de La Minera y Contratistas debe aplicar el Procedimiento de Bloqueo.

Este procedimiento es general para la Organización, para casos más específicos se deberán elaborar Instructivos, los cuales tendrán como base conceptual este procedimiento.

1.6. Elementos de bloqueos de seguridad

Procedimiento de bloqueo

Un procedimiento de bloqueo se puede ver en la siguiente figura

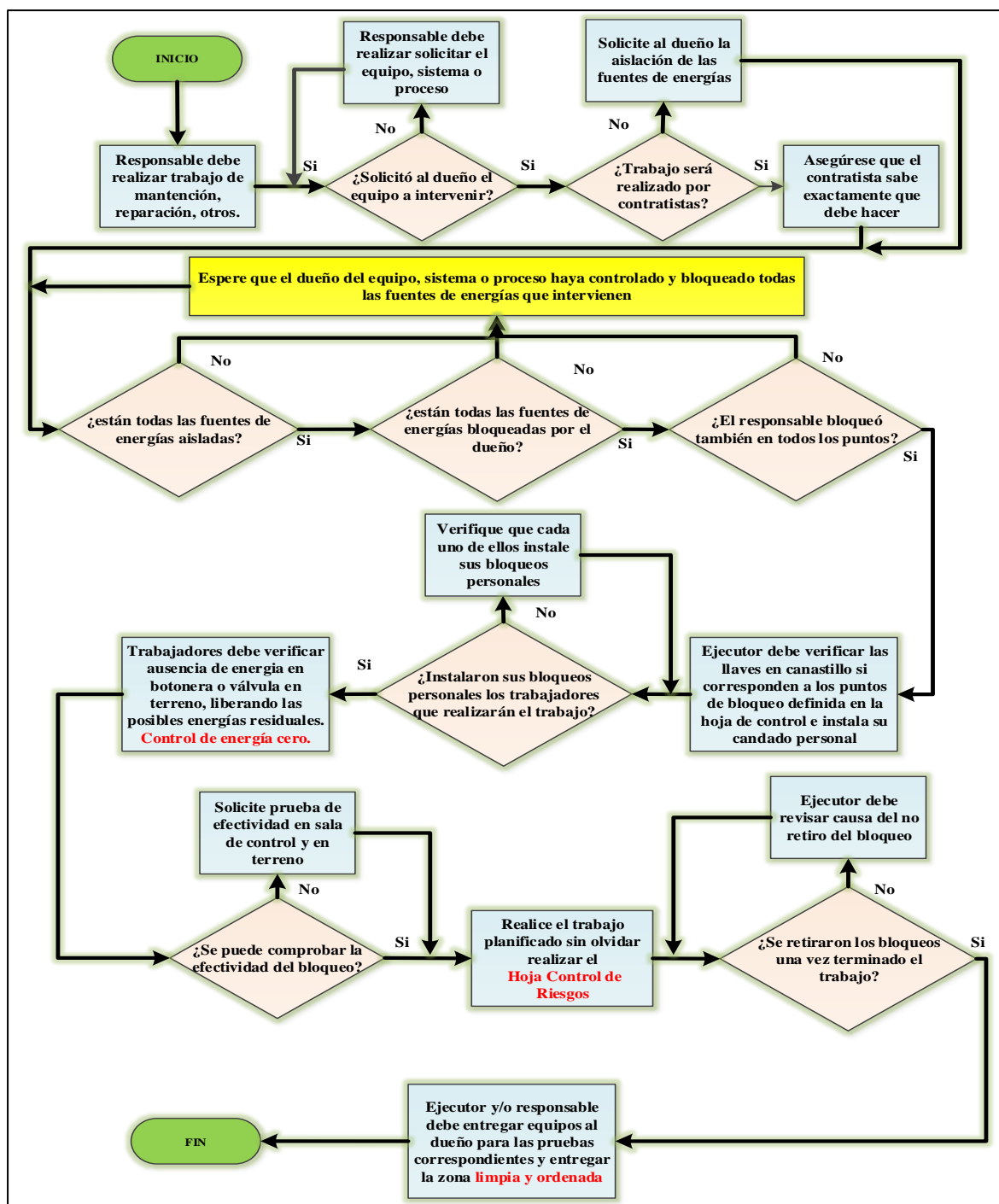


Figura 3
Procedimiento de bloqueo

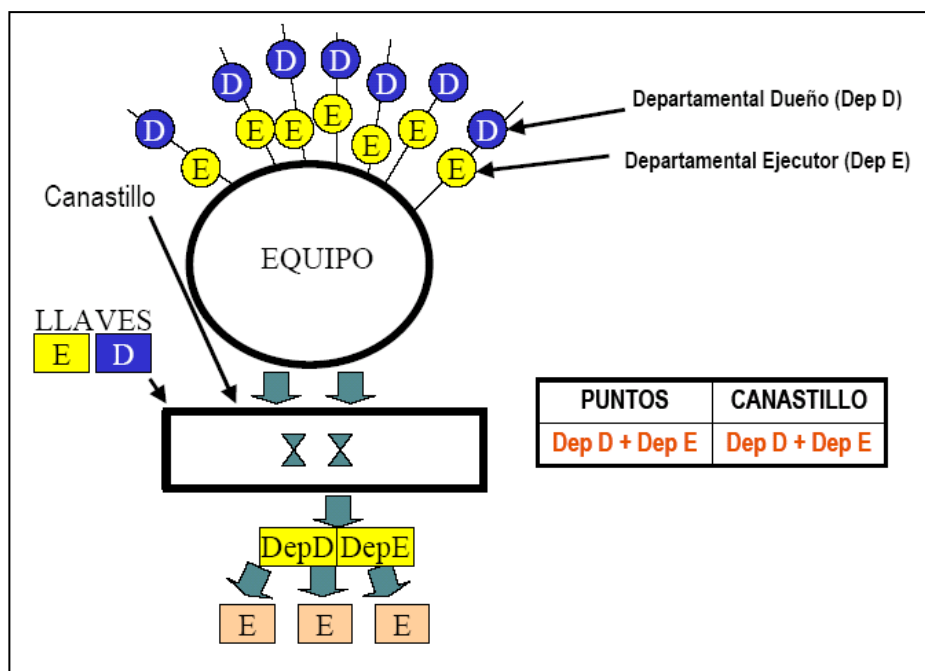


Figura 4
Uso del sistema de bloqueo en canastillo

1.7. Tipos de candados

Candados departamentales.

Los bloqueos departamentales se instalarán sólo en caso de mantenimiento y/o reparación que demande actividades más allá del turno, o bien en la aplicación de Procedimientos Específicos de Bloqueo. Es obligación de cada área mantener una lista actualizado de los candados Departamentales que posee.

Los candados de Departamento serán instalados por la persona que designe el Jefe de Área o equipo a intervenir según corresponda, excepto cuando la fuente de energía involucrada sea radioactiva, en cuyo caso el personal deberá regirse por el procedimiento de intervenciones de equipos radioactivos.

Este tipo de bloqueo puede ser retirado solamente por los departamentos involucrados en su instalación y poseen llave única en cada área o departamento. El candado departamental nunca debe ser usado en reemplazo del candado personal.

Aquellas áreas que no cuenten con Líder de Grupo o que estos sean insuficientes para efectuar dichos bloqueos, deberán tener nominadas a las personas que autorizan para bloquear en representación del Líder de Grupo, quienes deben estar capacitados previamente en este procedimiento y los de bloqueo específico en que participarán.

| Color Candado | Área |
|---------------|---------------------------|
| Amarillo | Departamental Mecánico |
| Rojo | Departamental Eléctrico |
| Azul | Departamental Operaciones |
| Negro | Ejecutante |

Tabla 1
Colores característicos de candados departamentales

NOTA: Si existe alguna otra forma de energía tales como: hidráulica, gravitacional, neumática, etc. El personal que intervendrá, tomará todas las precauciones del caso para evitar movimientos o flujos inesperados.

El candado de Departamento existe con el fin de ser instalados, por ejemplo, por un eléctrico en su turno y ser retirado por otro electricista en otro turno. Lo anterior es igualmente válido para las demás especialidades.

Candados personales

Es el que utiliza cada persona para realizar sus bloqueos y su llave es única, personal e intransferible. Debe ser codificado y registrado.



Figura 5
Candados de bloqueo

1.8. Tipos de tarjetas

Las tarjetas son dispositivos que se usan con la tenaza y el candado, y que no permiten tomar ningún tipo de acción en los equipos, instalaciones o circuitos, para que no sean energizados. Existen distintos tipos de tarjetas:

Tarjeta departamental:

Para bloqueos se usa la tarjeta departamental del color del área respectiva, son de forma circular o triangular con fondo de diferentes colores, que identifica al área a que pertenece. Se usa junto al candado departamental. Esta tarjeta indica que nadie puede operar o ejecutar ningún tipo de trabajo.



Figura 6
Tarjetas departamentales

Tarjetas personales:

Esta tarjeta es personal e intransferible e identifica a la persona que está ejecutando trabajos en el equipo bloqueado. De color blanco, debe llevar nombre, fotografía, Rut, cargo, especialidad, empresa e instrucciones básicas del procedimiento.

Las empresas contratistas, consultores y visitas que realicen trabajos por eventos podrán usar tarjetas en las cuales la información anterior pueda ser escrita con plumón indeleble. Esta tarjeta tiene un diseño estándar que se adjunta a este procedimiento y será parte del stock de bodega de la Compañía.



Figura 7
Tarjetas personales

Tarjetas especiales:

Para consultores, se utiliza tarjeta color amarilla, de forma rectangular. Por un lado indica “Visita” y por el otro “Área que corresponda”.

El candado personal y la tarjeta siempre deben ir juntos. El candado es enumerado.

Los bloqueos personales deben ser puestos en todos los puntos de aislación antes de que el trabajo comience, y sólo pueden ser retirados por la misma persona, cuando ésta ya no continúe su trabajo en el equipo, independiente que éste haya sido instalado directamente en un punto de aislación de energía o en un bloqueo departamental.

Tarjeta de fuera de servicio.

La tarjeta de fuera de servicio es puesta en el bloqueo de Departamento cuando se ha decidido no usar una pieza del equipo o porque el equipo puede causar algún tipo de daño, o por otra razón ya sea operacional o de mantención.

La tarjeta de fuera de servicio puede ser puesta sólo por personal de La Minera y debe contener el nombre de la persona y el Departamento.

NOTA: La tarjeta de fuera de servicio No está relacionada con el sistema de Bloqueo y el sistema de Bloqueo normal debe seguir siendo usado.



Figura 8
Tarjetas especiales

Tarjeta de disponibilidad para operar.

En equipos o unidades nuevas se instalará una tarjeta verde, firmada por el Proyecto y por personal de la empresa, para indicar que el equipo o unidad ha sido aceptado para uso en la empresa, y está disponible para su operación si se requiere.

NOTA: La tarjeta de disponibilidad para operar **no** está relacionada con el sistema de Bloqueo y el sistema de Bloqueo normal debe seguir siendo usado.

1.9. Dispositivos de aislamiento

Un dispositivo de aislamiento es un aparato que previene o retiene el flujo de energía o movimiento del equipo.

Los dispositivos de aislamiento serán identificados permanentemente y etiquetados en forma única.

Los dispositivos de aislamiento mostrarán claramente su estado, por ejemplo: encendido/apagado (on/off), abierto/ cerrado (open / closed).

Cuando se vayan a instalar dispositivos de aislamiento nuevos o de reemplazo, deben ser directamente bloqueables por tenazas y candado.

Cuando los dispositivos de aislamiento no sean directamente bloqueables requerirán de un dispositivo externo de instalación temporal o definitiva de manera que puedan bloquearse.

Ningún bloqueo debe ponerse en un Punto de Aislación cuando el mecanismo de bloqueo falte, esté dañado o no sea totalmente funcional. En estos casos, los dispositivos de

aislamiento debe repararse o la aislación debe llevarse a cabo en otro punto lo cual asegura que se haya logrado una aislación efectiva del equipo.

El dispositivo de aislamiento será bloqueable en una posición dónde sea posible, es decir en la posición de seguridad (aislamiento) para evitar la posibilidad de asegurar inadvertidamente el dispositivo de aislamiento en posición de no-aislamiento.

Si existen dispositivos de aislamiento hechos para bloquear una cierta aplicación, se debe comprar y estandarizar el tipo de dispositivos de aislamiento en toda la empresa.



Figura 9
Componentes de un bloqueo

NOTA: El orden jerárquico, la designación de colores de candados, el diseño de tarjetas, etc. pertenecen a cada empresa en particular, pero los conceptos de aislamiento y bloqueo son universales para cualquier trabajo donde se presenten riesgos y estos deban ser controlados. Cada empresa en su momento entregará lo propio respecto de este tema.

Excepciones al procedimiento de bloqueo

Ruptura del bloqueo personal

- Cuando el propietario del sistema de bloqueo no sea ubicado y es necesario conectar o energizar el equipo, máquina, válvula, interruptor, etc. se procederá de la siguiente manera para la ruptura del bloqueo.
- Previo a cualquier acción deberán agotarse todos los medios para ubicar al dueño del bloqueo, siguiendo este procedimiento sólo en caso de que se constate fehacientemente que dicha persona no puede retirar su sistema por encontrarse fuera del recinto, o imposibilitada por enfermedad o accidente.

- El jefe de turno del área afectada deberá ubicar personalmente al Gerente del Área, quien es el único autorizado para romper un bloqueo. En el caso que el gerente no se encuentre en faena, sólo podrá autorizar la ruptura del bloqueo el Superintendente de turno. Para esto se deberá firmar un registro de corte de candado.
- La Superintendencia involucrada entregará un informe escrito, detallando los pasos seguidos previos al rompimiento, el cual será revisado por el Gerente General de la Mina y para su control por el Departamento de Prevención, con la finalidad de tomar las acciones correctivas necesarias.
- Dependiendo de las circunstancias, se hará una revisión de la situación con el trabajador involucrado, aplicándose las sanciones disciplinarias que correspondan.

En el caso que un bloqueo no pueda ser retirado por quien lo instaló, debido a la pérdida de la llave y/o defecto de candado, o aviso del trabajador de que por olvido él se llevó la llave a su casa, este podrá ser roto de acuerdo al siguiente procedimiento.

- Quien haya instalado el bloqueo dará cuenta de la situación a su jefe directo, deberán llenar un formulario de reporte de incidente.
- Se deberá firmar el registro de corte de candado y ambos procederán a la ruptura del candado de bloqueo, quedando dicha situación registrada.

Procedimientos de aplicación de bloqueo

Alcance de procedimientos.

- El presente procedimiento deberá ser cumplido en todo los trabajos en equipos que realiza la empresa.
- Este procedimiento deberá ser aplicado por personal la empresa y por Contratistas

Propósito del procedimiento de bloqueo.

Asegurar que algún equipo esté siendo intervenido en forma aislado de todas las fuentes de energía, y de todos los flujos de materiales (sólidos, líquidos, gaseosos).

Responsabilidad para el procedimiento de bloqueo.

- El personal de la empresa responsable del trabajo en el equipo deberá asegurar que el equipo esté bloqueado, de acuerdo al procedimiento detallado más adelante. El personal de la empresa es responsable de sus contratistas.
- El eléctrico de la empresa es responsable por la correcta aislación que requiere el equipo de energía eléctrica.
- El trabajador involucrado es responsable de la aislación requerida por todas las otras fuentes de energía.
- Los Superintendentes de la empresa son responsables por asegurar que todo el personal está capacitado en el correcto procedimiento de la colocación del bloqueo en cada pieza del equipo que lo necesite.

Pasos en el procedimiento de bloqueo

- Antes de inicio de los trabajos de bloqueo y colocación de la tenaza, candado y tarjeta de seguridad, se deberá elaborar el HCR o el documento establecido por cada empresa en particular y se solicitará al jefe del área respectivo el permiso para operar los equipos, llenando el correspondiente permiso para intervenir el o los equipos.
- El personal de la empresa interventora es responsable de obtener el permiso del jefe del área donde se desarrollará la actividad, para bloquear el equipo involucrado.
 - a) Cuando el trabajo va a ser realizado por personal de la empresa, ellos mismos deberán solicitar el permiso para llevar a cabo el trabajo.
 - b) Cuando el trabajo vaya a ser realizada por personal contratista, el líder de la empresa a cargo del trabajo solicitará el bloqueo del equipo. Un contratista autorizado puede solicitar bloqueo.
- El eléctrico aislará el equipo con un bloqueador eléctrico (el cual puede ser retirado por otro electricista en turnos diferentes si es necesario).
- Todo interruptor de circuitos, válvulas o mecanismos de aislamiento de energía debe colocarse en la posición que indique que está desconectado cuando se va a realizar un trabajo de corte, reparación o similar.
- El operador aísla el equipo con el sistema de bloqueo correspondiente a operaciones.

- Un candado ya sea departamental o personal junto con la tarjeta correspondiente debe ser colocado de tal forma que el equipo no pueda ser conectado o energizado.
- Un candado y una tarjeta de seguridad serán instalados en los equipos por cada trabajador que realice trabajos en ese equipo. Dispositivos de bloqueos múltiples deberán utilizarse en donde más de una persona esté trabajando en el sistema.
- Los trabajadores involucrados en las reparaciones o mantenciones deben revisar que el bloqueo esté puesto correctamente, y comprobando que no es posible poner el equipo en marcha a través de su botonera en terreno.

NOTA: Toda solicitud o retiro de bloqueo, obligatoriamente quedará registrado en un libro especialmente destinado para este fin.

- Los bloqueos personales, bloqueos de los Departamentos, son retirados cuando el trabajo ha sido terminado.

Los bloqueos personales **No** pueden ser retirados por ninguna persona excepto por el **trabajador involucrado**.

Si esto es absolutamente necesario, existe un procedimiento especial a seguir con la autorización del Gerente.

- El operador de la sala de control o despacho, previa revisión, anotará en su bitácora que el equipo está disponible y coordinará su energización o puesta en marcha.

Actividad N° 1

Introducción a la actividad.

La siguiente actividad consiste en identificar e indicar para que sirven los diferentes dispositivos utilizados en el proceso de aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones, antes de ser intervenidos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Definir el proceso para la eliminación de energías residuales y potenciales además de flujos en trabajos de mantenimiento siguiendo procedimiento.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | | |
|--|-------------------|---|
| Recurso Web | Plataforma | |
| Recurso Audiovisual | | |
| Formulación de Preguntas | | • |
| Taller de Trabajo | | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | | |

Tabla 2

Materiales y Recursos

- Notebook para la sala de clases
- Data para la sala de clases
- Candado de seguridad
- Elementos de bloqueo de válvulas
- Tenaza por ´participante
- Tarjeta de bloqueo por participante
- Canastillo
- Actividad impresa por participante

Desarrollo de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán reconocer los dispositivos utilizados para bloqueo en la industria minera.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda identificar los diferentes dispositivos, su uso y la protección que brindan frente a riesgos laborales propios de la industria minera.

Los participantes deberán llenar la tabla siguiente contestando detalladamente, de forma escrita las preguntas.

| Dispositivo | ¿Qué es? | ¿Para qué sirve? |
|---|----------|------------------|
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |



| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |

Tabla 3

Cierre

Los participantes deben comprender la importancia de controlar las fuentes de energía que tengan relación directa o indirecta con el equipo a intervenir, que puedan lesionar a las personas, dañar algún equipo o las instalaciones de un proceso.

Esto se realiza mediante el correcto uso de dispositivos de bloqueo en base a candados personales o departamentales y sus correspondientes tarjetas de advertencia de bloqueo, garantizando con esto la ausencia total de cualquier tipo de energía.

2. Procedimiento de Trabajo Seguro (PTS)

2.1. Objetivo

Un procedimiento de trabajo seguro es una norma que establece la obligatoriedad de contar con este permiso, certificado y otorgado por el jefe de turno de un área, sección o departamento, mediante el cual se autoriza la ejecución de actividades o trabajos en áreas clasificadas como restringidas o potencialmente peligrosas y, por lo tanto, sólo podrán ejecutarse si se cumplen todos los requerimientos y medidas de seguridad, salud ocupacional, de prevención y control de riesgos ambientales, establecidas en las normativas y en los procedimientos de trabajo seguro establecidos en las áreas.

2.2. Propósitos

Los propósitos del procedimiento de trabajo seguro son:

- a. Asegurar que todas las personas que ejecuten un trabajo o actividad en una área restringida o potencialmente peligrosa, han sido informadas e instruidas en forma oportuna y convenientemente sobre los riesgos operacionales asociados a la actividad, y de las medidas de seguridad, prevención y control de riesgos y ambientales adecuadas que se deben adoptar frente a los riesgos.
- b. Definir la naturaleza y duración del trabajo a ejecutar.
- c. Asegurar que los procedimientos de trabajo seguro aplicables son comprendidos y conocidos por todo el personal involucrado en la actividad en una área restringida o potencialmente peligrosa.
- d. Proveer un archivo documentado de trabajos clasificados como potencialmente peligrosos, que requieren la otorgación del Permiso de Trabajo Seguro.
- e. Asegurar, mediante una evaluación y planificación de seguridad previa, que las actividades se ejecutarán en condiciones de riesgos operacionales bajo control.

2.3. Alcance

Esta norma se aplica tanto al personal de la empresa, los contratistas y subcontratistas de empresas colaboradoras que deban ejecutar trabajos o actividades en áreas de una empresa, clasificadas como restringidas o potencialmente peligrosas y que requieren de un Permiso de Trabajo Seguro para realizarlas.

Esta norma es de aplicación obligatoria a través de los procedimientos de trabajo seguro de las actividades.

2.4. Definiciones

- **Permiso de Trabajo Seguro (PTS)**

Documento firmado y emitido por el jefe de turno, o quién lo reemplace de un área, sección o departamento, mediante el cual se autoriza la ejecución de un trabajo o actividad en áreas clasificadas como restringidas o actividades potencialmente peligrosas y, que por tanto, sólo podrán ejecutarse si cumplen con todos los requisitos y medidas de seguridad, prevención y control de riesgos y ambientales, aplicables a la actividad y bajo estricta supervisión y control. El requerimiento se aplica tanto a personal propio de la empresa, como de las empresas colaboradoras.

- **Trabajos en caliente**

Se define como trabajo “en caliente”, cualquiera operación en la cual el calor generado es de suficiente intensidad y magnitud para causar la ignición de gases/vapores inflamables o combustibles y proyección de partículas calientes, con peligro de incendio, explosión u otros incidentes con lesiones y daños. Trabajos “en caliente” incluyen: soldaduras, oxicorte, esmerilado o trabajos de corte por abrasión, limpieza con chorro de arena, picar concreto y otras operaciones que generan o desprenden chispas, rebabas y escorias calientes.

- **Recintos o espacios confinados**

Cualquier ubicación o área con un determinado medio de escape o salida, el cual puede acumular contaminantes tóxicos o inflamables, o tener una atmósfera con deficiencia de oxígeno. Los recintos confinados incluyen ductos de ventilación, alcantarillados, túneles, cañerías y espacios abiertos que tengan más de 1,20 metros de profundidad, tales como: excavaciones, hoyos, tubos, contenedores, fosos de bombas, bóvedas, estanques y recipientes.

2.5. Trabajos que requieren permiso de trabajo seguro.

- a) **Trabajos en espacios confinados.**- Todo trabajo que se ejecute en: interior de estanques y recipientes, tolvas, silos de almacenamiento, chancadores, chutes de traspaso o recintos similares, molinos, ductos de ventilación, pozos colectores y pozos, alcantarillados, túneles, cañerías y espacios abiertos que tengan más de 1,20 metros de profundidad, como: excavaciones profundas, hoyos, tubos, contenedores, fosos de bombas, bóvedas y otras áreas, espacios o sectores con un limitado medio de escape o salida y que exponen a riesgos de accidentes.

- b) Trabajos de intervención de instalaciones y equipos eléctricos por reparación y mantención, que requieren de intervención de equipos y sistemas con uso de sistemas de bloqueo y advertencia.
- c) Trabajos en circuitos de procesos con presión de gases o líquidos.- Todo trabajo que involucre intervención de líneas de tuberías y válvulas que contengan cualquier fluido presurizado peligroso (líquido, gas, vapor).
- d) Intervención de equipos, instalaciones o sistemas con gases o líquidos inflamables o combustibles. Todo trabajo que involucre riesgos de incendio o explosión.
- e) Trabajos con sustancias peligrosas (por ejemplo: limpieza química).
- f) Trabajos en caliente con peligro de incendio, explosión o incidentes con lesiones y daños. Todo trabajo de soldadura, oxicorte, esmerilado y otros en los que exista desprendimiento de chispas y/o escorias calientes y rebarbas de trozos de material incandescente.
- g) Radiaciones.- Radiografía y gammagrafía industrial y operaciones con fuentes radiactivas.
- h) Excavaciones profundas (superiores a 1,50 metros).
- i) Trabajos de levante con grúa - izamientos críticos.
- j) Uso de explosivos.
- k) Trabajos específicos en altura, con alto riesgo potencial de accidentes por caídas.
- l) Movimiento o traslado de equipos y maquinaria pesada (casos especiales).
- m) Uso de canastillo con grúas para efectuar trabajos en altura.
- n) Faenas de limpieza específica en lugares de trabajo, equipos e instalaciones.
- o) Trabajos específicos de desarme o modificaciones de equipos e instalaciones y edificios.
- p) Otras actividades de trabajo que de acuerdo a los riesgos que presentan, requieren contar con un Permiso de Trabajo Seguro.

2.6. Personas autorizadas para extender permisos de trabajo seguro

- a) Entrega del Permiso.
 - a. Sólo el jefe de turno o quién lo reemplace está autorizado para emitir y otorgar Permisos de Trabajo Seguro a personal propio de la empresa y de colaboradores.
- b) Ejecución del trabajo.
 - a. El supervisor encargado de la ejecución del trabajo, es responsable de aplicar y cumplir los Procedimientos de Trabajo Seguro para ejecutar la actividad.

Responsabilidades

- a) Del Jefe de área, sección, departamento donde se debe realizar la actividad (supervisor o jefe del área).
 - 1. El jefe de Área, Sección o Departamento, será la persona responsable de exigir y hacer cumplir esta norma, pudiendo delegar esta función en otro supervisor.
 - 2. El jefe de Área, Sección o Departamento, es responsable de identificar el o las áreas que son potencialmente peligrosas o restringidas de acuerdo a una evaluación de riesgos y que requieren, por lo tanto, de un Permiso de Trabajo Seguro.
 - 3. El jefe de Área, Sección o Departamento, debe mantener una lista actualizada de todos los trabajos que requieren un Permiso de Trabajo Seguro.
 - 4. Cada jefe de Área, Sección o Departamento, debe asegurarse que todas las áreas de mantención o reparación a su cargo, tengan una lista de los trabajos específicos que requieren de Permiso de Trabajo Seguro.
 - 5. Cada jefe de Área, Sección o Departamento, debe disponer de una guía de procedimientos de trabajo seguro para todas las actividades que requieren Permiso de Trabajo Seguro.
- b) De la Gerencia de Gestión de Riesgos Profesionales.- Asesorar, difundir y controlar el cumplimiento de esta norma.

- c) Del Asesor de Gestión de Riesgos del Área dónde se realizará la actividad
 - 1. Asesorar al jefe de Área, Sección o Departamento en materias de seguridad, salud ocupacional y prevención de riesgos.
 - 2. Velar por el cumplimiento de estas disposiciones normativas.
 - 3. Capacitar y registrar al personal involucrado en trabajos que requieren de Permiso de Trabajo Seguro, en todo lo referente a esta norma.
 - 4. Llevar al día los registros solicitados.
- d) Del personal propio de la empresa y de empresas colaboradoras
 - 1. El personal debe cumplir los procedimientos de trabajo seguro específicos para ejecutar la actividad en un área restringida o potencialmente peligrosa.
 - 2. Recibir la instrucción y capacitación que requiere.
- e) Del Supervisor Encargado de la Ejecución del Trabajo.- Es el responsable de solicitar la Autorización o Permiso de trabajo Seguro al Supervisor de Turno, de ejecutar el trabajo y cumplir el procedimiento de trabajo seguro.
- f) Del Supervisor de Turno (Jefe de Turno o quién lo reemplace) de Área, Sección, etc., donde se debe realizar la actividad. Es la persona responsable de autorizar la ejecución del trabajo, mediante un Permiso de Trabajo Seguro.

Tiene la atribución de ordenar la detención de un trabajo, cuando las condiciones de riesgo no sean aceptables o éstas sufran cambios, de acuerdo al avance del trabajo.

El supervisor o jefe directo del área, tiene la atribución de detener el trabajo cuando las condiciones de riesgo no sean aceptables o éstas sufran cambios a medida del progreso del trabajo.

El supervisor de Turno saliente debe reconfirmar que las condiciones del trabajo planificado no han variado.

El supervisor de Turno entrante se debe asegurar que el Permiso de Trabajo Seguro vigente está de acuerdo con las condiciones que éste especifica.

El supervisor de Turno entrante se debe asegurar que sus trabajadores están informados y han sido instruidos sobre los riesgos inherentes al trabajo que deben continuar y de las medidas de prevención y control de riesgos que deben adoptarse.

El Permiso de Trabajo Seguro queda cancelado si el trabajo pierde continuidad o hay un cambio significativo de las condiciones que lo generaron.

2.7. Trabajos que deban realizar empresas colaboradoras que requieren PTS

- a. En caso de trabajos que deba ejecutar personal de empresas colaboradoras, que requieren de un Permiso de Trabajo Seguro, se deberán seguir las mismas directrices, y los responsables del área donde se realizará el trabajo deben hacer una evaluación de riesgos, respecto al trabajo a ejecutar.
- b. El Permiso de Trabajo Seguro debe ser solicitado por el supervisor encargado de ejecutar la actividad al Supervisor Jefe de Turno del área involucrada.
- c. El supervisor de contrato será responsable que esta norma sea incorporada a las exigencias o requerimientos del llamado a licitación o contratación y el administrador de Contrato de la aplicación operacional de los contratistas.

2.8. Instrucciones de Operación

La evaluación / planificación del trabajo seguro antes de ejecutar un trabajo que requiere de Permiso de Trabajo Seguro, es realizada por el área en la cual se efectúa el trabajo según registro en Anexo 1 - “Registro Autorización de Trabajo Seguro”.

El supervisor encargado de la ejecución del trabajo debe hacer una evaluación / planificación del trabajo seguro, con el propósito de evaluar las situaciones de riesgo y determinar las medidas adecuadas de control, instrucción e información de los riesgos para prevenir accidentes y enfermedades profesionales.

2.9. Vigencia del permiso de trabajo seguro (PTS)

La duración o vigencia del PTS, será especificada por escrito en el registro Permiso de Trabajo Seguro por el jefe de turno del área, sección, etc., sujeto a un máximo de ocho (8) horas, pero podrá extenderse a mayor tiempo si el trabajo es continuo o si hay cambios significativos de las condiciones que lo generaron debiendo, en todo caso, registrarse el nombre y firma de la supervisión responsable entrante y saliente de los respectivos turnos.

Para transferir un nuevo Permiso de Trabajo Seguro, se debe obtener la firma del supervisor de turno entrante, que es la persona que lo autoriza.

En todo trabajo de intervención de reparación o mantención que deba ejecutarse en una área clasificada como restringida o peligrosa, el supervisor encargado de la ejecución del trabajo debe hacer una evaluación y planificación de seguridad y llenar el registro “Permiso de Trabajo Seguro”, que debe ser autorizado por el jefe de turno. Este debe ser verificado en terreno por los responsables del área y por el supervisor encargado de la ejecución del trabajo, antes de iniciar las actividades.

3. Pruebas de energías potenciales y residuales

3.1 Aislamiento y disipación de la energía residual peligrosa

Este procedimiento consta de los seis pasos siguientes:

1. Desconexión y/o separación de la máquina o de las partes o secciones definidas, desde todos los alimentadores de potencia.
2. Verificación mediante instrumentos de la ausencia efectiva de energía, como Tester, probador de tensión, manómetro, contador Geiger, instrumentos en línea (transmisores de flujo, presión, temperatura) u otro mecanismo que compruebe que el equipo, sistema o área está libre de energías peligrosas.
3. Liberación y/o disipación de cualquier energía almacenada que pueda dar origen a un peligro en partes mecánicas que continúen moviéndose por inercia, por gravedad y/o descarga de condensadores y acumuladores, de fluidos presurizados (líquidos, gases y vapores), etc.
4. Instalación de elementos mecánicos como candados, cadenas, pasadores y frenos, que impidan que las energías aisladas puedan llegar nuevamente a accionar el equipo, maquinaria, instalación o sistema (esto se conoce como Bloqueo).
5. Verificación mediante el uso de un procedimiento para comprobar, que las medidas tomadas de acuerdo con el punto 1, 2, 3 y 4 antes descritas, han sido aplicadas.
6. Delimitación de la zona de trabajo, para restringir el acceso a esta zona, sólo al personal autorizado para ello.

3.2 Energías

Es la capacidad que tienen un equipo o mecanismo para realizar un trabajo. La energía no es un estado físico real, ni una "sustancia tangible" sino sólo un número escalar que se le asigna al estado del sistema físico.

La energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas físicos. Por ejemplo, se puede decir que un sistema con energía cinética nula está en reposo.

| TÉRMINO | DEFINICIÓN | PROTOCOLO DE RIESGOS FATALES |
|---|--|------------------------------|
| ENERGÍA ALMACENADA O ACUMULADA RESIDUAL | <p>Todo tipo de fuente de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática y ionizante), almacenada o acumulada que puede permanecer en un equipo, maquinaria o sistema, una vez que ha sido aislado, apagado, desconectado, desactivado de su fuente principal, y que puede originar una condición potencial de daño, como por ejemplo la que se encuentre en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Partes mecánicas que continúen moviéndose por inercia (palancas, ejes, y otros). • Partes mecánicas que se pueden mover por gravedad, como carga suspendida. • Resortes con tensión o comprimidos. • Condensadores y/o acumuladores eléctricos. • Fluidos presurizados o sistemas de presión hidráulicos o neumáticos (gases, vapores y/o líquidos). • Electricidad estática en las superficies o en líneas en vacío. • Soluciones o productos químicos corrosivos o venenosos (por ejemplo Cal y todo tipo de ácidos). • Energía almacenada en sistemas de frenos. • Cualquier otra energía almacenada que puede dar origen a un peligro o condición potencial de daño. La energía | AISLACIÓN DE ENERGÍA |

| | | |
|--------------------|--|---|
| | acumulada también se clasifica como energía residual. | |
| ENERGÍA CALÓRICA | También llamada energía térmica, es la energía liberada en forma de calor | AISLACIÓN DE ENERGÍA, |
| ENERGÍA CERO | Condición que permite asegurar por personal calificado y autorizado, que están aisladas todas las energías principales y residuales, dentro de la zona de influencia de una máquina, equipo o instalación | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA CINÉTICA | Manifestación efectiva de movimiento de un equipo o componente del mismo. Se manifiesta con cualquier evidencia física de cambio de posición o giro de alguna de las partes componentes. Es aquella energía que posee un equipo debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar o desacelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA ELÉCTRICA | Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial (voltaje tensión) entre dos puntos, lo que al cerrar el circuito a través de un conductor, permite la aparición de una corriente eléctrica. | AISLACIÓN DE ENERGÍA SEGURIDAD ELÉCTRICA |
| ENERGÍA HIDRÁULICA | Se denomina energía hidráulica, energía hídrica o hidroenergía, a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las caídas o corriente del agua, saltos de agua o mareas. También se presenta en los fluidos como el aceite que son impulsados por bombas de circuitos cerrados de lubricación o enfriamiento. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA IONIZANTE | Se manifiesta por radiaciones que pueden ionizar la materia. Las radiaciones ionizantes pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de Rayos X y los aceleradores de partículas. La radiación ionizante es cualquiera de los varios tipos de partículas y rayos emitidos | AISLACIÓN DE ENERGÍA |

| | | |
|-----------------------------|--|----------------------|
| | por material radiactivo, equipos de alto voltaje, reacciones nucleares y las estrellas. | |
| ENERGÍA MECÁNICA | La energía es una propiedad que se relaciona con los cambios o procesos de transformación en la naturaleza. Sin energía ningún proceso físico, químico o biológico sería posible. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA NEUMÁTICA | Se relaciona con fuentes de aire y su energía interna para producir trabajo. Se refiere a que cuando comprimimos una cierta cantidad de aire, se comporta como un resorte y quiere volver a expandirse, y aprovechamos esta fuerza de expansión para mover cosas, es decir convertir la energía interna acumulada en trabajo, usando como medio de transmisión el aire. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA POTENCIAL | Es la energía que mide la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición, masa y/o configuración. Algunas de sus características más relevantes son que es relativa, es decir, se puede cambiar sin afectar al elemento que la produce, no es evidente su existencia, es decir necesita de un análisis para detectarla y se acumula, es decir se puede guardar para usarla cuando se requiera. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA RESIDUAL | Es cualquier forma de energía que permanece en un equipo o sistema posteriormente a la realización y aplicación de los procedimientos de aislación. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| ENERGÍA TÉRMICA | Es aquella energía liberada en forma de calor, es decir, pasa de un cuerpo más caliente a otro que presenta una temperatura menor. Puede ser transformada en energía mecánica | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| FUENTE DE ENERGÍA PELIGROSA | Cualquier fuente de energía presente en un equipo, maquinaria o sistema bajo intervención por razones de reparación o mantención, que tiene el potencial de peligro para causar lesiones a las personas y/o daño a los equipos y sistemas, debido a la puesta en marcha imprevista del equipo o maquinaria, o la liberación de energía | AISLACIÓN DE ENERGÍA |

| | | |
|---------------------------------|---|----------------------|
| | <p>almacenada de cualquier tipo: eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, química, térmica, presión de fluidos presurizados (líquidos, vapores y gases peligrosos) y ionizante. Las siguientes son formas de energías peligrosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía Eléctrica de circuitos energizados, de cargas estáticas, baterías, condensadores, cables de alta tensión, transformadores fuera de servicio, líneas en vacío, entre otras. • Energía Mecánica (potencial y cinética) en las piezas móviles de los sistemas mecánicos en forma de palancas, contrapesos, engranajes, ejes, cuchillas, almacenada en recipientes a presión fluidos presurizados (líquidos, gases, vapores) en sistemas de tuberías o líneas de proceso, soluciones químicas, sistemas hidráulicos, neumáticos, resortes comprimidos en tensión, contrapesos, volantes, presión residual y gravedad. • Energía Térmica (temperatura alta o baja) proveniente de sistemas de vapor, calentadores o superficies calientes o sistemas criogénicos • Energía Ionizante, proveniente de sistemas de pesajes o de medidas de flujos de carga en correas transportadoras o sistemas de pesaje dinámicos | |
| LIBERACIÓN DE ENERGÍA PELIGROSA | Proceso mediante el cual se realiza la liberación de las energías residuales, dejando al equipo o sistema libre de peligros provocados por la condición normal de operación. | AISLACIÓN DE ENERGÍA |
| PELIGRO | Condición latente, permanente o transitoria, que establece una zona con la presencia de una energía o condición que puede provocar un daño a las personas. Algunos ejemplo de peligros son: presencia de electricidad, presencia de vapor, presencia de presiones hidráulica o | |

| | | |
|---------------------|---|--|
| | neumáticas, presencia de carga en suspensión, presencia de vehículos en movimiento, presencia de polvo en suspensión, presencia de ácidos corrosivos, presencia de Cal, por nombrar sólo algunos. | |
| PERSONAL AUTORIZADO | Personal calificado, que ha sido instruido (capacitado) y autorizado por escrito por la Administración o línea de mando o supervisión designada para instalar, operar, ajustar, reparar o intervenir equipos, maquinaria e instalaciones y para identificar, aislar, liberar, bloquear energía peligrosas, e instalar sistemas de bloqueos y advertencia. | |
| RIESGO | Interactuar con el PELIGRO. El riesgo se presenta cuando una personal entre en la zona de influencia del peligro, y debe trabajar en presencia de esta condición que no puede eliminar completamente. | |
| ZONA DE INFLUENCIA | Sector físico en el cual una energía presente puede manifestarse en un daño a las personas, equipos o proceso productivo. | |

Tabla 4

Energías mecánicas (potencial y cinética)

| Identificación de la Fuente | Método de Aislamiento | Método de Liberación | Método de Bloqueo |
|-----------------------------|---|---|--|
| Resortes comprimidos. | Impedir el paso delimitando la zona de trabajo. | Liberar los elementos que contienen la energía potencial. | Colocar candado de bloqueo que impida el movimiento de los resortes o acceso |
| Carga suspendida. | Impedir el paso delimitando la zona de trabajo. | Bajar la carga. | Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de los elementos de |

| | | | |
|---|---|--|--|
| Correas transportadoras con carga. | Impedir el paso delimitando la zona de trabajo. | Programar la operación para liberar la carga acumulada. | Instalar elementos mecánicos sobre la correa, que impidan el movimiento |
| Fuentes de aire comprimido. | Cerrar válvulas de ingreso de aire. | Abrir válvula de despiche de aire contenido y medir presión. | Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de las válvulas |
| Circuitos hidráulicos. | Cerrar válvulas de ingreso de aceite. | Abrir válvula de despiche de aceite contenido a presión y medir presión. | Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de las válvulas de |
| Columnas de líquido o pulpa. | Cerrar válvula de acceso o instalar dardos retenedores. | Despiche del líquido o pulpa retenida. | Instalar candado de seguridad para impedir la apertura de válvulas o el retiro |
| Columna de material sólido (Stock Pile) | Instalación de dardos retenedores. | Retiro de la carga | Instalar elementos de bloqueo que impidan el retiro de los dardos. |
| Contrapesos de Correas Transportadoras | Impedir el paso delimitando la zona de trabajo. | Programar la operación para liberar la carga acumulada. | Instalar elementos mecánicos sobre la correa, que impidan el movimiento del |
| Líneas presurizadas | Cerrar válvula de acceso. | Despiche de Fluidos y medir. | Instalar candado de seguridad para impedir la apertura de válvulas. |

Tabla 5

3.3 Dispositivos para liberar las energías residuales (acumuladas)

Los dispositivos para liberar las energías residuales, se deben incorporar a la máquina cuando esta energía pueda dar origen a un riesgo. Tales dispositivos incluyen frenos destinados a absorber la energía cinética de las partes móviles, sistemas de trabas mecánicas para impedir el movimiento de correas, resistencia para descargar

condensadores eléctricos y válvulas o dispositivos similares para despresurizar los acumuladores de fluidos, entre otros.

Se deben proporcionar dispositivos en terreno, tales como manómetros o puntos de prueba, para verificar la ausencia de energías (aislamiento) en las partes de una máquina, en las cuales se debe intervenir. El manual de instrucciones de la máquina debe proporcionar una guía precisa acerca de los procedimientos de verificación seguros. Cuando los montajes se pueden sacar o desmontar, se deben fijar etiquetas permanentes que adviertan contra los peligros, debido a la energía almacenada o residual, por ejemplo, resortes comprimidos u otra condición de peligros potenciales.

Previo a efectuar la mantención y reparación de maquinarias o equipos, se debe:

- a. Identificar todas las fuentes de energía peligrosas del equipo o maquinaria.
- b. Desenergizar y/o desconectar el equipo o maquinaria. Verificar la aislación y desactivación de la electricidad (energía eléctrica) y de los respaldos de energía (generadores, UPS) o cualquier retorno del sistema.
- c. Se debe controlar todas las fuentes de energías peligrosas, mediante el uso de dispositivos de bloqueos y dispositivos para liberar o restringir (contener) la energía potencial almacenada o residual en dichos equipos o sistemas.
- d. Detener el flujo de fluidos (gases o líquidos) en los sistemas hidráulicos o neumáticos.
- e. Detener el proceso productivo, que acciona la máquina, bloqueando válvulas y abriendo drenajes.
- f. Bloquear las piezas de la máquina para impedir su movimiento.

Para liberar, disipar o restringir (contener) la energía almacenada que pudiera originar situaciones o condiciones peligrosas se debe aplicar algunos de los siguientes dispositivos:

- g. Aplicación de frenos destinados a absorber la energía cinética o movimiento de las partes móviles. Estos deben ser realizado con elementos mecánicos con resortes o cualquier mecanismo que frente a la energización o desenergización no se liberen de esta condición.
- h. Resistencias y circuitos apropiados para la descarga de condensadores eléctricos.
- i. Válvulas o dispositivos similares para despresurizar los acumuladores de fluidos hidráulicos o depósitos de aire, que pueden retener suficiente energía peligrosa, aun cuando se haya desactivado, aislada o cerrada la energía del sistema y se haya bloqueado.
- j. Despichar los fluidos de recipientes a presión, estanques o acumuladores. Nunca despichar sustancias tóxicas inflamables o explosivos directamente a la atmósfera.
- k. Liberar o bloquear la energía de los resortes que se encuentran bajo compresión (elementos mecánicos).
- l. Descargar los condensadores a través de resistencias de descarga o cortocircuitos con elementos aislados. No olvidar probar ausencia de tensión alterna antes de descargar.

- m. Drenar las líneas hidráulicas y/o neumáticas.
- n. Reubicar en una posición baja (posición de descanso) cualquier elemento que sea capaz de acumular energía potencial.
- o. Disipar la energía cinética proveniente de la inercia al permitirle a los equipos e instalaciones que se detengan por completo, ya sea por el roce interno de sus partes componentes o por la aplicación de frenos directos sobre los elementos que están en movimiento, después de haber aislado la máquina o el equipo de sus fuentes de energía.
- p. Se deben asegurar mecánicamente mediante el uso de frenos o dispositivos de restricción mecánicos, cuando los elementos mecánicos no puedan ser llevados a un estado intrínsecamente seguro y puedan originar una situación de peligro.
- q. Se deben incorporar medios adicionales para restringir o contener en forma confiable la energía almacenada remanente, cuando la disipación de la energía almacenada pudiera reducir.

3.4 Pruebas de Energía Cero

Es la condición que permite asegurar por personal calificado y autorizado, que están aisladas todas las energías principales y residuales, dentro de la zona de influencia de una máquina, equipo o instalación.

Control de energía cero

Es importante recordar lo que control de energía cero significa:

Antes de iniciar el trabajo, se deberán examinar y liberar las energías (residuales y potenciales) de todos los mecanismos con posible energía almacenada, provenientes de fuentes de vapor, circuitos hidráulicos y neumáticos, resortes comprimidos, cargas suspendida, condensadores e inductancias, fuentes radiactivas, elementos y compuestos reactivos, y todo otro elemento que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabaja en el área.

La desenergización de un equipo y/o proceso (aislación) significa que todos los dispositivos de aislación de energía involucrados deberán ser ubicados y operados de tal manera que lo aislen de todas las fuentes de energía.

Se deberá comprobar ausencia de tensión en el lugar más cercano posible al elemento de desconexión. Para ello, se deben utilizar equipos de prueba, certificados por algún organismo que de fe de su correcto funcionamiento.

Actividad N° 2

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en definir los diferentes tipos de energías que pueden ocasionar daños a las personas al entrar en contacto con ellos, en forma directa o indirecta en las actividades de mantenimiento, revisión, reparación, limpieza, etc.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los riesgos de las energías y sustancias peligrosas presentes, con la que pueda establecer contacto, directo o indirectamente.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | | |
|--|-----------------------|---|
| Recurso | Plataforma Web | |
| Recurso Audiovisual | | |
| Formulación de Preguntas | | ✓ |
| Taller de Trabajo | | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | | |

Tabla 6

Materiales y Recursos

- Notebook para el instructor
- Data en la sala de clases
- Actividad impresa por participante

Desarrollo de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán definir los diferentes tipos de energía, los cuáles debe controlar antes de iniciar un trabajo específico.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda identificar los diferentes tipos de energía, los cuales tiene que controlar con los dispositivos de aislación y bloqueo. Además desarrollará un informe ejecutivo que les permita preparar una exposición de su trabajo.

El participante deberá llenar la tabla siguiente contestando detalladamente, de forma escrita, las preguntas.

| Tipo de energía | Defina el tipo de energía |
|-------------------------------|---------------------------|
| Energía Almacenada o Residual | |
| Energía Calórica | |
| Energía Cero | |
| Energía eléctrica | |
| Energía hidráulica | |

| | |
|-----------------------------|--|
| | |
| Energía Ionizante | |
| Energía Mecánica | |
| Energía Térmica | |
| Fuente de Energía Peligrosa | |

Tabla 7

Cierre

Los participantes deben comprender la importancia de controlar las fuentes de energía que tengan relación directa o indirecta con el equipo a intervenir, que puedan lesionar a las personas, dañar algún equipo o las instalaciones de un proceso.

Esto se realiza mediante el correcto uso de dispositivos de bloqueo en base a candados personales o departamentales y sus correspondientes tarjetas de advertencia de bloqueo, garantizando con esto la ausencia total de cualquier tipo de energía.

4. Manejo de sustancias y residuos peligrosos

4.1 Introducción

Las actividades que se requieren para controlar una emergencia con materiales peligrosos se basan en la identificación de los materiales o sustancias peligrosas involucradas. La facilidad y rapidez para hacerlo varía considerablemente a diferencia de que no se tenga ningún sistema de identificación.

En algunos casos, las placas (rótulos), etiquetas, papeles de embarque o envío y el conocimiento acerca de las sustancias almacenadas en la instalación o el informe de un testigo ocular, suponiendo que éste sea creíble, pueden hacer relativamente fácil el proceso de identificación. En otros casos, puede tomar una cantidad considerable de tiempo determinar la identidad de un material en un accidente o los productos de combustión presentan problemas especiales al determinar los peligros que puedan encontrarse.

Cuando no se conoce cuáles son los materiales involucrados, se debe suponer que existe una situación grave y se deben tomar las medidas de seguridad y precauciones máximas para prevenir cualquier efecto indeseable en el personal de emergencia o en cualquier otra persona en el área. Una vez que se ha identificado el material, se pueden determinar los peligros asociados con él y se puede hacer una evaluación de su impacto potencial. Se pueden establecer las medidas de control más apropiadas para ese tipo de material y sus peligros, así como medidas de seguridad tanto para el personal que atiende la emergencia como para el resto de la gente, respecto a los peligros que se corren.

Los materiales peligrosos son transportados y almacenados frecuentemente en grandes cantidades. Un escape accidental de estos materiales presenta un peligro potencial para el público y el medio ambiente. El accidente puede ser manejado más rápidamente cuando el material peligroso es identificado y caracterizado específicamente. Desafortunadamente, el contenido de los tanques o camiones de almacenaje puede que no esté especificado o adecuadamente identificado. Puede ser que los papeles de embarque o registros no estén

disponibles. Incluso con tal información, se necesita una persona con experiencia para definir los peligros y su gravedad.

Debido a la necesidad inmediata de información concerniente a un material peligroso, se han desarrollado varios sistemas de identificación de estos materiales. Todos ayudan a que los que participan en el accidente se enfrenten con rapidez y seguridad a un problema que puede originar peligros a la salud o al medio ambiente.

¿Qué entendemos por productos peligrosos o Sustancias Peligrosas?

Según la Norma Chilena 382, oficial del año 89, una sustancia peligrosa es aquella que, por su naturaleza produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal y a elementos materiales tales como instalaciones, maquinarias, edificios, etc.

Los criterios que definen la peligrosidad son la inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad, infecciosidad y radiactividad.

Identificación y clasificación de las sustancias peligrosas.

Existen 9 clases de sustancias peligrosas descritas según las normas 382 y 2120:

Según Norma Chile 2190 la cual establece que se deben rotular envases, contenedores y transporte

Clases de sustancias peligrosas y sus rotulaciones.

Clase N°1 Explosivos:

Se entenderá por explosivo aquellas sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explosionan. Ejemplo Pólvora, Dinamita, TNT, Amongelatina.



Figura 10
Rombos explosivos

Clase N°2 Gases:

Se define gas comprimido a cualquier material o mezcla dentro de un contenedor o cilindro con una presión absoluta mayor a 3 bares a 21°C. Ejemplo gas propano, amoníaco. Gas comprimido inflamable, gas comprimido no inflamable, gas comprimido venenoso por ejemplo Acetileno, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Cloro.



Figura 11
Rombo gases

Clase N°3 Líquidos inflamable y combustibles:

Líquido Inflamable: Es cualquier líquido que tiene un punto de inflamación bajo los 23°C. Ejemplo gasolina, alcohol, etílico, metanol, kerosén, diésel.

Líquido Combustible: Es cualquier líquido que tiene un punto de inflamación sobre los 23°C y bajo los 61°C, por ejemplo aceite combustible, petróleo, diésel.

Punto de Inflamación: es la menor temperatura a la cual los vapores del compuesto forman una mezcla inflamable con aire u oxígeno.

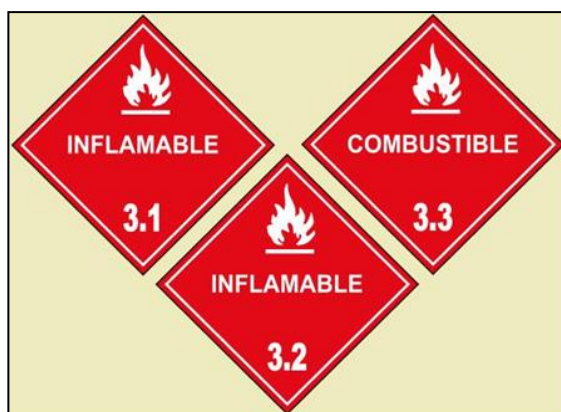


Figura 12
Rombo líquidos inflamables

Clase N°4 Sólido inflamable:

Sólido Inflamable: es cualquier material sólido que no sea un explosivo, susceptible a causar fuego mediante fricción o por medio del calor retenido en un proceso de fabricación, o que puede inflamarse por contacto con agua o líquido. Ejemplo Sodio metálico, fósforo blanco.

Sólido de combustión espontánea: son los que se pueden descomponer en presencia o ausencia de aire, ejemplo residuos de algodón, aceitoso, xantato isobutil de sodio.



Figura 13
Rombo sólidos inflamables

Clase N°5 Sustancias comburentes (oxidantes), peróxidos orgánicos sólidos inflamables:

Sustancias Oxidantes: Es un compuesto que produce oxígeno rápidamente para estimular la combustión de materias orgánicas e inorgánicas, ejemplo Nitrato de sodio, permanganato de potasio.

Peróxido Orgánico: es un derivado del peróxido de hidrógeno (agua oxigenada).



Figura 14
Rombo sustancias oxidantes

Clase N°6 Sustancias venenosas (toxicas) y sustancias infecciosas:

Sustancias tóxicas o venenosas: Es cualquier sustancia capaz de causar daño a organismos vivos como resultado de interacciones químicas, ejemplo Cianuro de hidrógeno, Resina epóxicas, fenol.

Sustancias Infecciosas: Es un microorganismo vivo que puede causar enfermedades a los seres vivos, ejemplo Bacterias.



Figura 15
Rombo sustancias venenosas e infecciosas

Clase N°7 Sustancias radiactivas sólidos inflamables:

Sustancias Radiactiva: Es cualquier material que emite radiaciones en forma espontánea, ejemplo Yodo radiactivo, Uranio, Plutonio.



Figura 16
Rombo sustancias radiactivas

Clase N°8 Sustancias corrosivas:

Sustancias Corrosiva: Es cualquier líquido o sólido que puede destruir el tejido humano y animal, ejemplo ácido nítrico, ácido sulfúrico, soda cáustica, hipoclorito de sodio.



figura 17
Sustancias corrosivas

Clase N°9 Sustancias peligrosas:

Sustancias Peligrosas Varias: Corresponde a cualquier sustancia que cumpla con las características de peligrosa: inflamable, tóxica, reactiva, corrosiva, etc., y que no esté clasificada dentro de las primeras 8 clasificaciones anteriores, ejemplo aserrín, harina de pescado, residuos peligrosos, sulfato de cobalto.

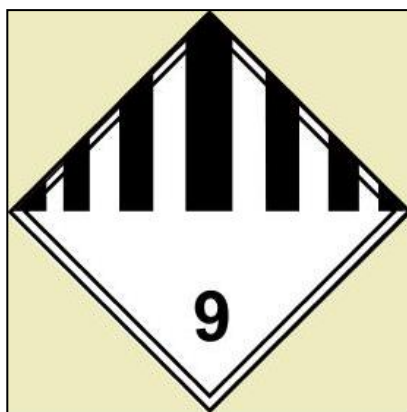


Figura 18
Sustancias peligrosas

4.2 Manejo básico en el almacenamiento de las sustancias peligrosas

Es muy importante saber que los reactivos no deben guardarse al azar, pues algunos de ellos son incompatibles y al entrar en contacto pueden generar graves accidentes. De manera general, dos reactivos son incompatibles si reaccionan violentamente, desprenden calor apreciablemente o producen productos inflamables o tóxicos.

Estas reacciones pueden llevarse a cabo con los vapores que se generan de reactivos almacenados en frasco mal tapados, al cerrar los recipientes con tapones inadecuados o al almacenar en recipientes cuyos materiales reaccionan o se ven afectados por los reactivos contenidos.





En muchas ocasiones se utilizan métodos basados en una separación de compuestos orgánicos e inorgánicos, en otros casos simplemente se acomodan por orden alfabético y aunque existen muchos otros, lo importante en el almacenamiento de los reactivos es considerar su incompatibilidad.

Esto se aplica tanto a los almacenes donde se guardan grandes volúmenes de reactivos como las gavetas donde se pueden almacenar disoluciones o reactivos en pequeñas cantidades en ambos casos pueden generarse graves accidentes.

En algunos métodos de almacenamiento por incompatibilidad los reactivos se dividen en varias clases a las que se da un color para facilitar su ubicación y se almacenan por separado.

- Inocuos: Naranja, gris o verde.
- Inflamable: Rojo.
- Tóxico: Azul.
- Reactivo: Amarillo.
- Corrosivos: Blanco.

Dentro de cada una de estas clasificaciones se separan basándose en sus incompatibilidades. Así por ejemplo dentro de los corrosivos, los ácidos deben estar separados de las bases. El problema puede complicarse cuando un reactivo puede clasificarse en varios rubros.

| | | |
|---|--|--|
|  | O Comburente | <p>Clasificación: (peróxidos orgánicos). Sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen reacción fuertemente exotérmica</p> <p>Precaución: Evitar todo contacto con sustancias combustibles</p> |
|  | E Explosivo | <p>Clasificación: sustancias y preparaciones que reacciona exotéricamente también sin oxígeno y que detonan según condiciones de ensayos fijadas, pueden explotar al calentar bajo inclusión parcial.</p> <p>Precaución: Evitar el choque, percusión, fricción, formación de chispas, fuego y acción del calor</p> |
|  | T Tóxico | <p>Clasificación: la inhalación y la ingestión o absorción cutánea en pequeña cantidad, pueden conducir a daños para la salud de magnitud considerable, eventualmente con consecuencias mortales.</p> <p>Precaución. Evitar cualquier contacto con el cuerpo humano. En caso de malestar consultar inmediatamente al médico.</p> |
|  | F Fácilmente inflamable | <p>Clasificación. Líquidos en un punto de inflamación inferior a 21°C, pero que no son altamente inflamables. Sustancias sólidas y preparaciones que por acción breve de una fuente de inflamación pueden inflamarse fácilmente y luego pueden continuar quemándose o permanecer incandescentes.</p> <p>Precaución: Mantener lejos de llamas abierta, chispas y fuentes de calor</p> |









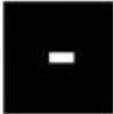
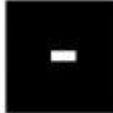

| | | |
|---|----------------------------|--|
|  | XN Nocivo | <p>Clasificación: la inhalación, la ingestión o la absorción cutánea pueden provocar daños para la salud agudos o crónicos. Peligros para la reproducción, peligro para la sensibilización por inhalación.</p> <p>Precaución: Evitar el contacto con el cuerpo humano.</p> |
|---|----------------------------|--|

Tabla 8

| |  |  |  |  |  |
|--|---|---|---|--|---|
|  | + | - | - | - | + |
|  | - | + | - | - | - |
|  | - | - | + | - | + |
|  | - | - | - | + | ○ |
|  | + | - | + | ○ | + |

+ Se pueden almacenar conjuntamente.

○ Solamente podrán almacenarse juntos si se adoptan ciertas medidas preventivas.

- No deben almacenarse juntos.

Figura 19

Incompatibilidades de almacenamiento de residuos peligrosos

Dentro de todos los códigos de seguridad y medio ambiente que se tienen, uno de los más importantes es el código NFPA, es el primer sistema que es propuesto por la Asociación

Nacional de Protección contra Incendios "National Fire Protection Association" (NFPA) y de manera específica el Sistema de Normas para la identificación de Riesgos de Incendio de Materiales.



Figura 20
Rombo NFPA

Código de identificación:

N° Cuadro Izquierdo Azul: Salud

N° Cuadro Derecho Amarillo: Reactividad.

N° Cuadro Superior Rojo: Inflamabilidad.

N° Cuadro Blanco: Inflamación Especial.

| RIESGOS DE SALUD | INFLAMABILIDAD RIESGO DE INCENDIO |
|--|--|
| <p>4. RIESGO SEVERO: Causan la muerte o heridas graves.</p> <p>3. RIESGO SERIO: Causan heridas graves o secuelas permanentes.</p> <p>2. RIESGO MODERADO: Causan lesiones temporales o posibles secuelas.</p> <p>1. RIESGO LIGERO: Causan irritación o posibles secuelas.</p> <p>0. RIESGO MÍNIMO: No supone lesión.</p> | <p>4. RIESGO SEVERO: Se evaporan rápida o completamente a presión y temperatura normal, y combustión rápida.</p> <p>3. RIESGO SERIO: Líquidos y sólidos que pueden arder a cualquier temperatura ambiental.</p> <p>2. RIESGO MODERADO: Arden al calentarse ligeramente o al exponerse a temperaturas ambientales altas.</p> <p>1. RIESGO LIGERO: Materiales que se deben precalentar antes de que puedan arder.</p> <p>0. RIESGO MÍNIMO: Materiales que no arden.</p> |

Figura 21
Riesgos de Salud y de Incendio

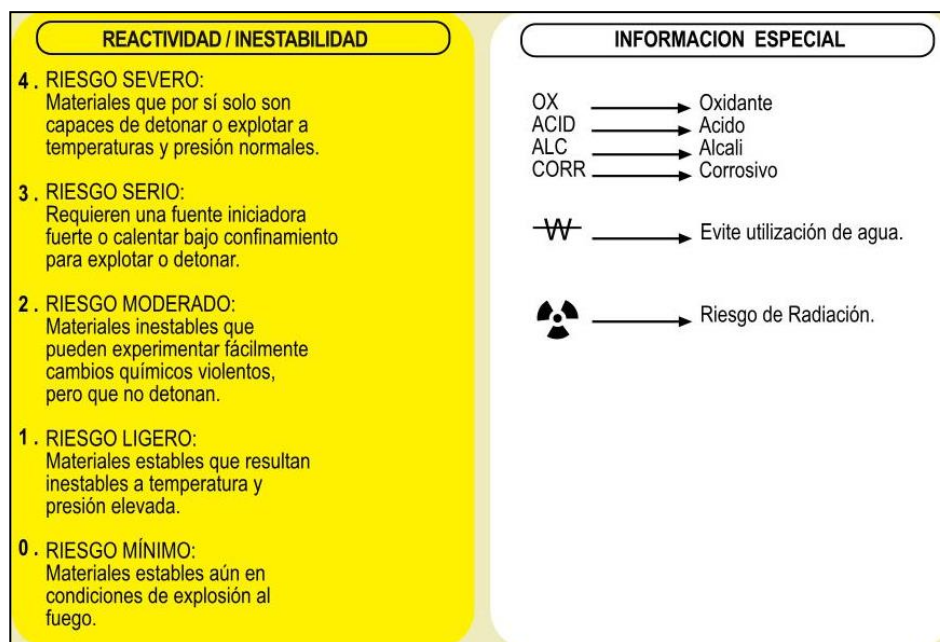


Figura 22
Detalles rombo NFPA

4.3 Elementos de protección personal

Los Elementos de Protección Personal que se deberá utilizar, cuando se está en contacto con las sustancias peligrosas, lo indica la Hoja de Seguridad (HDS) de la sustancias.



Figura 23
Elementos de protección personal

5. Aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones

5.1 Secuencia de aislamiento y bloqueo

- 1) El personal que va a ejecutar la actividad de mantención, reparación, revisión, limpieza, etc. solicitará al dueño del área (operaciones), el equipo, maquinaria o instalaciones a intervenir.
- 2) Junto con el mantenedor autorizado se dirigen a la fuente de energía para la desenergización y bloqueo. Una vez que este desenergizado el equipo, instalación o circuito, se procede a constatar que no existe energía residual, realizado el chequeo de presencia de energía cero, por parte del mantenedor, el dueño del equipo y el o los ejecutores de la actividad. Esto queda registrado en el formulario de permiso de bloqueo y en el libro de registro de bloqueo.
- 3) Para mantenciones mayores, donde hay muchos puntos a bloquear, se debe realizar una reunión en la cual deben participar personal de operaciones, mantención y contratistas si se requiere, para definir claramente los puntos a bloquear y/o aislar; quienes bloquean y, cuantos equipos deberán bloquear.
- 4) El dueño del equipo (operaciones) debe coordinar con el personal ejecutor de la actividad el equipo, maquinaria o instalación que será intervenido, el número de personas, lugar exacto del trabajo a realizar y el tiempo de duración de la actividad.
- 5) Realizados los bloqueos del responsable del equipo por parte de operaciones y por parte de los ejecutores de la actividad, colocarán sus llaves respectivas dentro de una caja de llaves de bloqueo (canastillo).
- 6) Luego todos los trabajadores que intervendrán en la mantención, reparación, revisión, limpieza, etc. procederán a colocar sus candados personales junto con la tarjeta de identificación alrededor del canastillo.
- 7) Antes de comenzar las actividades de mantención u otro tipo, se deberán liberar todas las energías residuales o almacenadas, provenientes de fuentes de energía eléctrica, hidráulica, mecánica, térmica, neumática, radiactiva, compuestos reactivos y, cualquier otro tipo de energía que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabajará en la actividad.
- 8) Las personas involucradas deberán asegurarse que el aislamiento o bloqueo se haya realizado correctamente, verificándolo a través de las botoneras en terreno, verificando aguas abajo, líneas de despiche, en el caso del flujo, pruebas con instrumentación u otros. Esto se realizará de modo manual desde las botoneras en terreno, o de modo remoto accionando botoneras, válvulas,

etc desde la sala de control, para ratificar la efectividad del aislamiento.

- 9) Inmediatamente terminada la actividad o tarea, el bloqueo personal deberá ser retirado por el personal que intervino el equipo, maquinaria o instalación, dejando registrado en el libro de desbloqueo de equipos el retiro de los candados y tarjetas personales.
- 10) El ejecutor responsable debe verificar que todos los involucrados en la tarea hayan desbloqueado y se hayan retirado del lugar de trabajo. Luego debe entregar el o los equipos, maquinarias o instalaciones al dueño de área (operaciones).
- 11) El dueño del área solicitará al mantenedor responsable la energización del equipo, maquinaria o instalaciones para realizar pruebas de puesta en marcha y comprobar que el trabajo realizado fue efectivo.

5.2 Housekeeping del área

El orden y el aseo en el trabajo son factores de gran importancia para la salud, la seguridad, la calidad de los productos y en general para la eficiencia del sistema productivo. También son factores esenciales para la convivencia social, tanto dentro del hogar como de nuestra comunidad y lugar de trabajo. Como tal requieren de unos estándares claros de desempeño, un trabajo en equipo y de la participación responsable de todos.

El orden y el aseo en los lugares de trabajo, se inician desde la construcción y diseño de las edificaciones; se mantienen eliminando lo innecesario y clasificando lo útil, acondicionando los medios para guardar y localizar el material fácilmente, evitando ensuciar y limpiando enseguida y promoviendo los comportamientos seguros. Como resultado de lo anterior se logra:

- Salud y eficiencia personal.
- Seguridad y eficiencia del sistema productivo.
- Reducción de los costos.
- Conservación del medio ambiente.

Cada vez que se termina el trabajo hay que como mínimo lo siguiente:

- Ejecutar una buena limpieza el área de trabajo, eliminando los desechos y residuos industriales de acuerdo a la clasificación de incidentes ambientales.
- Recolectar y devolver las herramientas y equipos a su lugar de almacenaje.
- Recolectar y clasificar en contenedores adecuados los residuos peligrosos generados y de acuerdo a normativa.
- Limpiar y ordenar todo el lugar.

Actividad N°3

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en indicar y definir lo que indican los diferentes rombos de sustancias y residuos peligrosos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los riesgos de las energías y sustancias peligrosas presentes, con la que pueda establecer contacto, directo o indirectamente.

Estrategia Metodológica para el Instructor Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | |
|---|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso Audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | • |
| Taller de Trabajo | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | |

Tabla 9

Materiales y Recursos

Notebook
Data



Rombos NFPA impresos
Rombos de sustancias y residuos peligrosos impresos




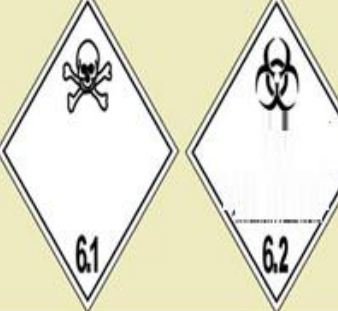

Desarrollo.

Los participantes guiados por el instructor deberán demostrar conocimiento de los rombos (según Norma Chilena 382 y 2120), y lo que indican las rotulaciones en cada uno de estos.

Por lo tanto el participante deberá llenar la tabla siguiente contestando detalladamente de forma escrita las preguntas, dando 2 ejemplos para ratificar sus conocimientos.

Rombos de Sustancias y Residuos Peligrosos

| Rombo de Sustancias y Residuos Peligrosos | Explique detalladamente a que corresponde la rotulación. Dé 2 ejemplos. |
|---|---|
|  | |
|  | |

| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |


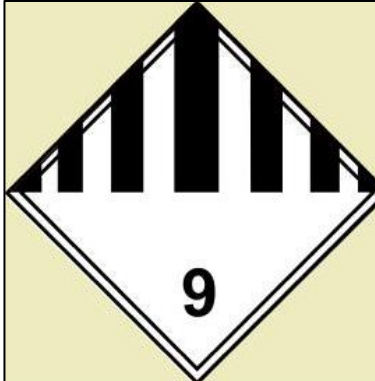
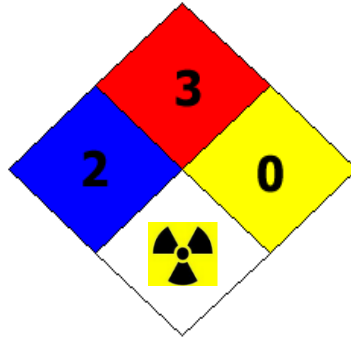
| | | |
|--|--|--|
|  | | |
|  | | |
|  | | |

Tabla 10

Cierre

Debido a la necesidad inmediata de información concerniente a un material peligroso, se han desarrollado varios sistemas de identificación de estos materiales. Todos ayudan a que los que participan en una emergencia o accidente, se enfrenten con rapidez y seguridad al problema que puede originar peligros a la salud o al medio ambiente.

Los participantes deben conocer cual sustancia peligrosa identifica el rótulo en los diferentes rombos, para actuar rápidamente y con el conocimiento requerido ante

cualquier problema o emergencia que pueda producirse en el manejo de las sustancias y residuos peligrosos.

Módulo II: Técnicas de Muestreo

6. Técnicas de Muestreo

6.1 Propósito del muestreo

Los minerales, al ingreso a la planta de proceso, poseen ciertas características físicas y químicas, que definen la rentabilidad económica de sus respectivos tratamientos. En el proceso mismo, estas propiedades se modifican, de modo de alcanzar los objetivos que se persiguen. Debido a esto, se hace necesario conocer las propiedades que van adquiriendo los distintos flujos.

Puesto que las masas que se procesan son del orden de t/día, la determinación de tales propiedades, se hace imposible hacerla de modo directo, de tal suerte que es necesario separar, sistemáticamente, pequeñas porciones de cada línea de flujo, las que se van acumulando en el tiempo. Estas porciones reciben el nombre de muestras, y se supone que ellas representan, en cuanto a dichas propiedades, al total de la masa que estaba involucrada en el flujo en cuestión. Para realizar estas operaciones, existen dispositivos llamados cortadores de muestras o muestreadores, que realizan este tipo de operación de manera sistemática.

Cuando se combinan varias muestras, para obtener otra, como en el caso detallado anteriormente, a esta última se le llama compuesta o compósito, y por supuesto, cada una de ellas debe poseer las mismas características.

Como en la práctica nunca se consiguen las condiciones ideales, se ha estudiado con mucha extensión la teoría del muestreo, y se han empleado los métodos estadísticos para ayudar a la formulación de reglas de toma de muestras, que tengan en cuenta las características del material muestreado, y las condiciones exigidas para cumplir los objetivos para los que se obtuvo la muestra.

6.2 Importancia del muestreo

En todas las etapas del procesamiento de minerales es necesaria la caracterización detallada de la mena o mezcla de minerales en proceso. Para ello es indispensable la obtención en forma regular de porciones relativamente pequeñas del material en tratamiento, lo que se denomina muestra, para su análisis posterior.

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un depósito mineral, muestreo para balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, muestreo de embarques de minerales, etc.

Los parámetros que se desean medir pueden ser varios; por ejemplo, contenido de humedad, distribución de tamaño de partículas, gravedad específica, porcentaje de un cierto componente, porcentaje de sólidos, etc.

El objetivo más importante de un muestreo es que la muestra sea representativa, es decir, contenga todos los componentes en la misma proporción en que éstos existen en el material original. En la práctica esto nunca se cumple cuando se muestrean mezclas heterogéneas de minerales.

La dificultad asociada con el muestreo de menas puede visualizarse si se considera por ejemplo que en la determinación del contenido de ceniza de un carbón, se requiera que una muestra final de aproximadamente 1Kg tenga el mismo contenido de ceniza que todo un embarque que pueda ser el orden de 1.000 ton y que algunos casos puede llegar a 100.000 ton.

6.3 Relación del muestreo con el control de calidad

El muestreo es una labor de control de calidad, que permite conocer "que está pasando en el proceso", o la "calidad final de productos, subproductos o productos intermedios", con el propósito de efectuar los controles operacionales adecuados que permitan optimizar los procesos en forma técnica y económica.

Actividad N° 4

Introducción de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán determinar la gravedad específica de una muestra de mineral. El objetivo de la actividad es que el participante pueda medir correctamente este parámetro en terreno, llevando control del proceso.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso Audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | • |
| Taller de Trabajo | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | |

Tabla 11

Materiales y Recursos

1 Probeta de 1000 cc por participante
Agua
1 Balde 20 lt por participante
20 kg de mineral.

1 Pala de muestras JIS
Balanza digital.

Desarrollo de la Actividad

El participante deberá reunir los siguientes materiales para realizar la medición.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo, para determinar las medidas de control necesarios.



Figura 24
Elementos de protección personal obligatorios

La medición de la gravedad específica de mineral por este método se realiza por desplazamiento de agua, al agregar un peso conocido de muestra en una probeta graduada.

El participante deberá seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad:

- 1.- En la probeta de 1000 cc se coloca exactamente 500 cc de agua (V_i)
 - 2.- En la balanza digital, el participante pesará mineral en una bandeja metalúrgica, previamente tarada a cero, aproximadamente 500 grs del mineral (P_m). Anotar peso exacto de la muestra de mineral.
 - 3.- Agregar con bastante cuidado todo el mineral pesado dentro de la probeta con agua.
 - 4.- Después que el mineral ha sido completamente humectado y eliminado las burbujas de aire retenida se lee el volumen de desplazamiento de la nueva interfase del agua (V_f).
- La gravedad específica del mineral (g_m) se obtiene la relación siguiente:

$$Gm = \frac{Pm}{(Vf - Vi)}$$

| Parametro a Medir | Valor |
|---------------------------|-------|
| Volumen Inicial (Vi) | cc |
| Volumen Final Vf (Vf) | cc |
| Masa del Mineral (Pm) | g |
| Gravedad Especifica Gm | g/cc |

Tabla 12

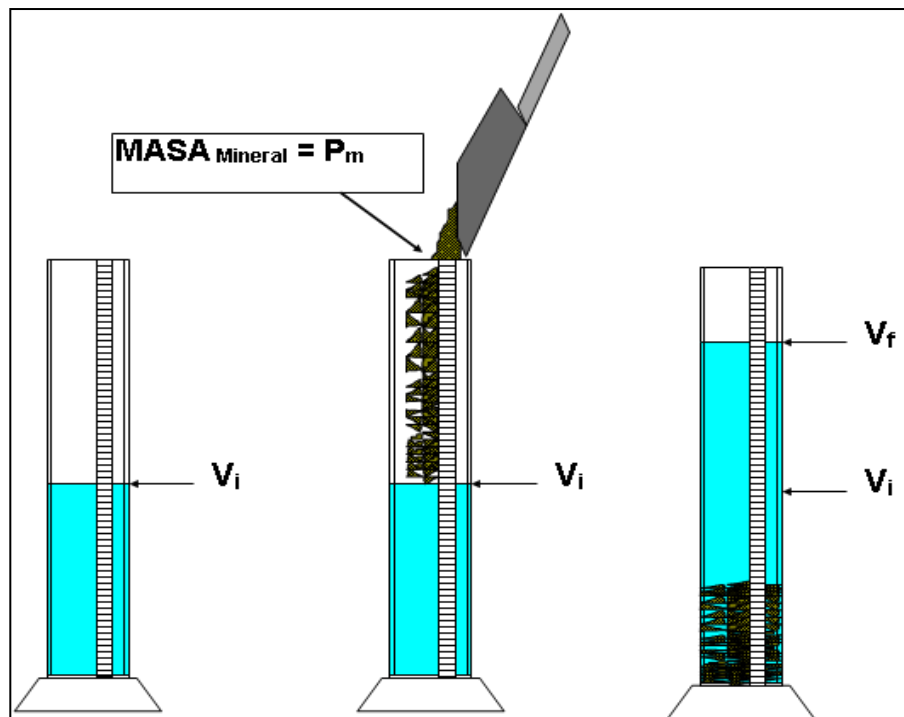


Figura 25

Representación gráfica determinación densidad de mineral

Cierre

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un depósito mineral, muestreo para balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, etc.

Los parámetros que se desean medir pueden ser varios; por ejemplo, contenido de humedad, gravedad específica, porcentaje de un cierto componente, porcentaje de sólidos, etc.

6.4 Características del muestreo de pulpas

Las muestras entregan información útil para el control de la planta y para la toma de decisiones comerciales. Para permitir un control y contabilidad metalúrgica correctos, las muestras deben representar con exactitud la corriente de la cual fueron extraídas. Esto es, deben contener todos los tamaños, formas y densidades de partículas en la misma proporción que en la corriente original. Esto es particularmente difícil en una corriente de pulpa porque los sólidos rara vez se mezclan perfectamente. La gravedad y otras fuerzas naturales trabajan constantemente para separar las partículas gruesas de las finas, las partículas pesadas de las más ligeras.

Para ser apropiadamente representativas de una corriente de proceso, las muestras se toman mejor mediante muestreadores automáticos o manuales.

Muestreador manual

Como su nombre lo indica, corresponden a implementos sencillos utilizados por una persona para la toma de muestra. Estos implementos pueden ser de variadas formas y la utilización de cada uno de ellos va a depender del punto donde se quiera muestrear.

Dentro de los diferentes equipos de muestreo manual empleados se encuentran los siguientes:

- **Muestreador de fondos de estanques**, figura 26: Tal como su nombre lo indica , se emplea para muestrear fondos de estanques, en este caso para espesadores, consiste en un recipiente que posee doble cilindro de metal con una válvula de muestreo en el extremo inferior , que opera de la siguiente manera: cuando el recipiente alcanza el fondo del estanque, el contrapeso es tirado hacia arriba permitiendo que el líquido o la pulpa entre al compartimiento (cilindro corredizo) , quedando en su interior la muestra correspondiente , al cerrarse la válvula . Este

tipo de muestreador puede ser usado para obtener muestras puntuales a distintas alturas en un estanque.

- **Cortador de flujo de pulpa**, figura 27: Este implemento consiste en un balde con un diseño de boca de alimentación especial para realizar el corte del flujo de pulpa, de acuerdo a las normas establecidas en muestreo. Este tipo de muestreo es aquel que se realiza en los hidrociclones.



Figura 26
Muestreador de profundidad

Muestreador automático

Un muestreador automático puede diseñarse de modo que la corriente se mezcle apropiadamente cuando se toma la muestra y puede ajustarse para muestrear a intervalos regulares precisos de modo que la muestra sea apropiadamente representativa de un período de tiempo seleccionado, por ejemplo, un turno completo.

A menudo, con grandes corrientes, se usan dos o tres muestreadores en conjunto. En el primero el muestreador primario obtiene una muestra de la corriente principal.

Cuando se toma una muestra representativa de un gran volumen, el corte normalmente produce una muestra demasiado grande como para ser manejada y analizada con facilidad, de modo que se toma una muestra de la muestra. Esta muestra de menor tamaño se denomina muestra secundaria, y el equipo empleado para tomarla se denomina muestreador secundario.

La aplicación práctica más satisfactoria para minimizar variables en la alimentación de flujos tales como segregación por tamaño durante el carguío, sedimentación de partículas en una pulpa debido a cambios de velocidad, cambios de presión, etc, es el uso de cortadores de muestras. En este método, las muestras de material líquido (pulpa) son

tomadas cuando éste está en movimiento, en el punto en que se produce la descarga por caída libre, haciendo un corte transversal al flujo.

Dado que el flujo puede presentar segregación o cambios de composición, la muestra tomada debe representar a todo el flujo. Cuando un cortador de muestras se mueve continuamente a través del flujo a una velocidad uniforme, la muestra tomada representa una pequeña porción del flujo total. Si el cortador se mueve a través del flujo a intervalos regulares, el incremento de muestra obtenido es considerado representativo del flujo al momento de ser tomada la muestra.



Figura 27
Cortador automático de muestras de pulpa

Medición de la densidad de pulpa en terreno

Es necesario tener un control preciso de la densidad para obtener la mayor eficiencia de los equipos de proceso en la planta. Las decisiones operativas correctas pueden tomarse sólo si las mediciones de densidad son exactas. Se usa una balanza de densidad y un balde, para medir la densidad y el porcentaje de sólidos de pulpas en cualquier proceso húmedo.

Se utiliza balanza de medición de densidad (Marcy, Hebro, etc) y balde para verificar los resultados de los densímetros, medir corrientes que carecen de densímetros y obtener información de la planta cuando los densímetros están descalibrados.

Comprobación del cero en la balanza

- 1) Usando un dedo y el pulgar, tape los orificios en la parte superior del balde. Llene el balde con agua.
- 2) Coloque el balde en el gancho en la balanza de densidad y permita que el exceso de agua drene por los orificios.

- 3) Cuando el agua haya dejado de fluir por los orificios, limpie suavemente la parte inferior del balde sin derramar nada de su contenido.
- 4) Si la aguja no queda en cero en la escala de la periferia de la tabla (denominada peso específico de pulpa), corrija con el dispositivo de ajuste de la balanza (normalmente un tornillo en la parte inferior de la balanza) hasta que la aguja de la balanza llegue a la lectura de 1,0.

Realice esta operación antes de realizar mediciones de densidad de la pulpa.

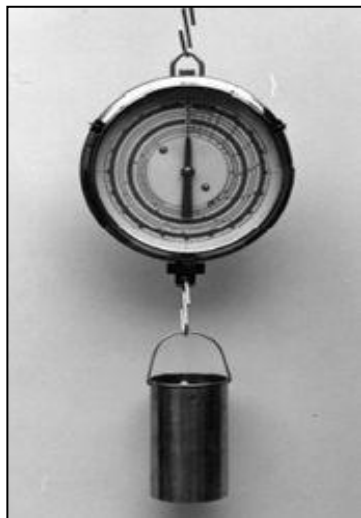


Figura 28
Balanza de pulpa

Procedimiento de medición de densidad

- 1) Obtener muestra en la corriente de pulpa a ser medida con un muestreador de pulpa (de profundidad o de pico loro). Si se debe tomar muestras en el extremo de una línea o tubería provista de válvula, hay que dejar que la línea drene al menos durante 10 segundos antes de cortar la muestra. No permita que el cortador de muestras rebalse.
- 2) Vacíe completamente el cortador de muestras dentro del balde de la muestra.
- 3) Repita si es necesario, pero no llene el cortador de muestras, para evitar rebalse.
- 4) Limpie o lave el exceso de arena o agua desde el exterior del balde sin derramar el contenido.
- 5) Lea la densidad (en porcentaje de sólidos) del círculo apropiado de la balanza, de acuerdo con el peso específico de los sólidos.

- 6) Después de obtener la lectura, vacíe y limpie el balde.
- 7) Registre la lectura de densidad en el informe del operador de turno.

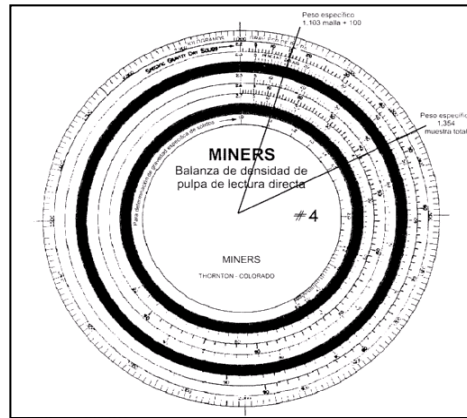


Figura 29
Escala de densidad de pulpa de una balanza

6.5 Características del muestreo de sólidos

La mayor heterogeneidad de las muestras sólidas obliga a diseñar cuidadosamente la toma de muestras para reducir los posibles problemas de falta de representatividad. Por otra parte, el costo económico asociado a la toma de muestras requiere que las muestras sean más grandes de lo estrictamente necesario. Cuando debido a la alta precisión exigida, a la alta heterogeneidad del material o al tamaño de partícula, será necesario tomar una porción de muestra grande (del orden de decenas o centenares de kilogramos). Este hecho conlleva procesos complejos de tratamiento y división en submuestras, con el riesgo asociado de alteración de la muestra.

Varios son los factores a considerar en la toma de muestra de materiales sólidos: materiales particulados o compactados, muestra en movimiento o estática.

Actividad N° 5

Introducción a la Actividad

Para tener un control preciso de la operación de la planta es necesario conocer la densidad o el porcentaje de sólidos de la pulpa en los puntos más importantes del proceso, para obtener la mayor eficiencia de los equipos de proceso. Las decisiones operativas correctas pueden tomarse sólo si las mediciones de porcentaje de sólido son exactas.

Los participantes guiados por el instructor deberán medir el porcentaje de sólidos de una pulpa de mineral.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda medir correctamente este parámetro en terreno, llevando un control del proceso.

Aprendizaje Esperado que desarrolla

Planificar las actividades de muestreo en función del programa diario, según procedimientos.

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Estrategia Metodológica de la Actividad

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | | |
|---------------------------------|-------------------|--|
| Recurso Web | Plataforma | |
| Recurso audiovisual | | |
| Formulación de Preguntas | | |

| | |
|--|---|
| Taller de trabajo | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | |

Tabla 13

Materiales

El participante deberá reunir los siguientes materiales para realizar la medición:

- 1 Balanza metalúrgica por grupo de participantes
- 10 k Muestra de mineral
- Agua para formar una pulpa
- 4 Probetas de 1000 cc por grupo de participantes
- Recipiente para sacar muestra de pulpa del balde
- Agua para formar una pulpa

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo, para determinar las medidas de control necesarias



Figura 30
Elementos de Protección Personal Obligatorios

Para realizar la actividad, el participante deberá seguir los siguientes pasos:

- 1) La balanza debe ser colgada de forma que quede suspendida libremente.
- 2) Se llena el recipiente con agua, a su totalidad de volumen, hasta los orificios (volumen recipiente es de 1000 cc), y se cuelga en el gancho de la balanza, para calibrar la balanza

- 3) La aguja deberá marcar 1,0 en el dial exterior, que corresponde a la densidad del agua. Si fuese necesario, gire la perilla de ajuste ubicada en el gancho, para calibrar esta medida.
- 4) Tomar la muestra de pulpa a través con un recipiente desde el balde que contiene pulpa previamente preparada.
- 5) Vaciar dicha muestra en el tacho de la balanza hasta que la pulpa ha alcanzado el nivel del orificio de rebalse, de forma que no se concentre y su medición fracase. Luego se limpia el exterior del recipiente y se cuelga en la balanza.
- 6) Con gravedad específica del mineral seleccione la escala que le corresponden la balanza y proceder a leer el % sólidos de la pulpa según la indicación de la aguja.

Cierre

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un proceso, para un balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, etc.

Una de las variables de operación que se debe medir para mantener estable la operación de un proceso es el porcentaje de sólidos de un cierto componente.

Material particulado en movimiento

El tamaño de partícula es el aspecto clave al plantearse la toma de muestra en un flujo continuo de partículas sólidas. De hecho, el tamaño de la porción de muestra que se colecta dependerá del tamaño máximo de partículas, y se deberá minimizar el riesgo de una toma de muestra sesgada hacia partículas de pequeño tamaño.

Un ejemplo de material particulado en movimiento lo constituye una muestra en una cinta transportadora. Una aproximación a la toma de muestra sería parar la cinta transportadora y hacer la toma de muestra manualmente (de toda la sección perpendicular al movimiento de la muestra entre dos puntos seleccionados de la cinta). La distancia entre los dos puntos estará en función del tamaño máximo de partícula. Se aconseja definir esta distancia como tres veces el diámetro de las partículas de mayor tamaño.

La toma de muestra en correas transportadoras es bastante usual, con frecuencia puede ser necesario realizarla en análisis de rutina y sin parar el motor de la correa. En estos casos se recomienda llevarla a cabo de forma automática, a partir de muestreadores mecánicos que no necesitan parar la correa.

Todas las partículas de la sección transversal tienen que tener la misma probabilidad de ser seleccionadas, con lo que los muestreadores tienen que moverse en paralelo a la correa mientras la atraviesan, o tienen que ser radiales si tienen un movimiento circular.

En las figuras siguientes, se muestran diferentes formas de toma de muestra de materia particulada en movimiento: caso de una cinta transportadora.

Toma de muestra incorrecta: fracción del flujo del material continuamente a lo largo del tiempo (figura 31).

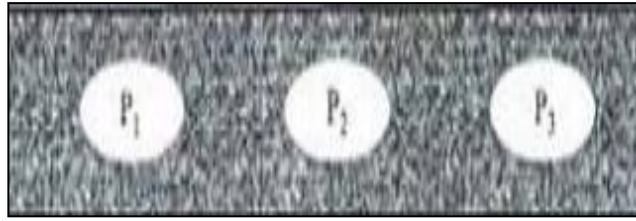


Figura 31

Toma de muestra de material particulado en la correa transportadora

Toma de muestra correcta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada (figura 32).



Figura 32

Toma de muestra incorrecta

Toma de muestra correcta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada. Modelo dinámico, con toma de muestra unidireccional (figura 33).



Figura 33

Toma de muestra correcta

Toma de muestra incorrecta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada. Modelo dinámico, con toma de muestra bidireccional (figura 34).



Figura 34

Toma de muestra incorrecta

- **Material particulado estático.**

La toma de muestra de material particulado estático (por ejemplo suelos) conlleva un alto riesgo de falta de representatividad debido a la diferente distribución de las partículas en función de su tamaño.

Se recomienda llevar a cabo la toma de muestra con sondas metálicas que permitan obtener una muestra de secciones en vertical u horizontal, para compensar la posible heterogeneidad de la muestra. Al insertar la sonda en la muestra esta retiene una porción en forma de cilindro.

- **Materiales Compactos.**

El equipo para la toma de muestras compactas se basa en el uso de sondas del tipo barrena que llevan acoplado un dispositivo que facilita la perforación.

Si la homogeneidad de la muestra puede ser considerada como muy alta (como es el caso de materiales metálicos procedentes de metales puros o de mezclas fundidas), la toma de muestra puede ser simplificada y basarse simplemente en tomar una porción de un extremo o de una superficie de la muestra.

7. Métodos de muestreo

7.1. Manual

Existe una amplia gama de implementos de muestreo manual y su selección dependerá del material a muestrear y de que los incrementos que se obtengan, no tengan desvío. En general, la selección del implemento de muestreo se hará de acuerdo a la experiencia que se tenga de la aplicación en particular. Algunos de los implementos empleados en muestreo son:

Palas de muestreo: Las palas de muestreo se prefieren a las palas comunes por que no introducen desvío, ya que, cuando se hacen un muestreo las partículas de gran tamaño tienden a rodar y caer de la pala común, no ocurre así con las palas de muestreo que tienen lados para evitar estas caídas. La figura x presenta la pala de muestreo diseñada por la JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD (JIS).

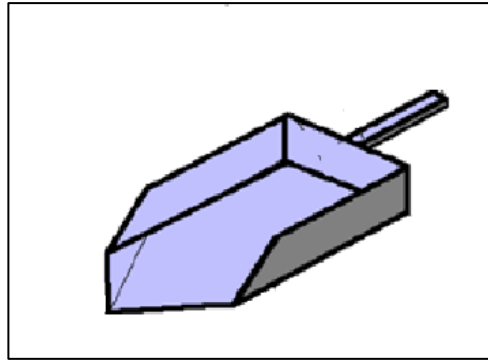


Figura 35

Pala JIS (Japanese Industrial Standar)

Por otro lado, si se emplea una pala muy grande, se obtendrá una cantidad de muestra innecesaria. Cuando se deban muestrear materiales susceptibles de perder o ganar humedad, es recomendable usar palas más grandes que el dado por la tabla, con el objeto de reducir el tiempo de muestreo y con ello las variaciones de humedad.

La Tabla 14 entrega las dimensiones de las diferentes palas de muestreo, considerando el tamaño máximo de partículas de un lote.

| N° Pala | Tamaño Máximo Part. (mm) | Dimensiones en mm | | | | | Grosor del Material | b/c | Vol. Apróx. (ml) |
|---------|--------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|------|------------------|
| | | a | b | c | d | e | | | |
| 150 | 150 | 350 | 140 | 350 | 300 | 140 | 2 | 0,40 | 16,000 |
| 125 | 125 | 300 | 120 | 300 | 250 | 120 | 2 | 0,40 | 10,000 |
| 100 | 100 | 250 | 110 | 250 | 220 | 100 | 2 | 0,44 | 7,000 |
| 75 | 75 | 200 | 100 | 200 | 170 | 80 | 2 | 0,50 | 4,000 |
| 50 | 50 | 150 | 75 | 150 | 130 | 65 | 2 | 0,50 | 1,700 |
| 40 | 40 | 110 | 65 | 110 | 95 | 50 | 2 | 0,59 | 790 |
| 30 | 30 | 90 | 50 | 90 | 80 | 40 | 2 | 0,56 | 400 |
| 20 | 20 | 80 | 45 | 80 | 70 | 35 | 2 | 0,67 | 200 |
| 15 | 15 | 70 | 40 | 70 | 60 | 30 | 2 | 0,67 | 200 |
| 10 | 10 | 60 | 35 | 60 | 50 | 25 | 1 | 0,58 | 125 |
| 5 | 5 | 50 | 30 | 50 | 40 | 20 | 1 | 0,60 | 75 |
| 3 | 3 | 40 | 25 | 40 | 30 | 15 | 0,5 | 0,62 | 40 |
| 1 | 1 | 30 | 16 | 30 | 25 | 12 | 0,5 | 0,50 | 150 |
| 0,25R | 0,25 | 15 | 10 | 15 | 12 | 0 | 0,3 | 0,67 | 2 |

Tabla 14

Dimensiones de las diferentes palas de muestreo, considerando el tamaño máximo de partículas de un lote.

Sondas: La sonda en su forma más simple consiste en una pieza tubular de acero, la cual retiene un testigo de muestra cuando es insertada en un material. Existe una amplia gama de sondas, las que deben elegirse de acuerdo al material a muestrear.

Se debe considerar la dificultad de aplicar las sondas cuando se muestrean partículas muy grandes, que retengan humedad o se aglomeren.

Otras variables a considerar en su elección son:

- Largo.
- Material de construcción.
- Ángulo de penetración.

Respecto al diámetro, como regla se elegirán aquellas cuya abertura permita tomar partículas de tres veces el tamaño máximo.

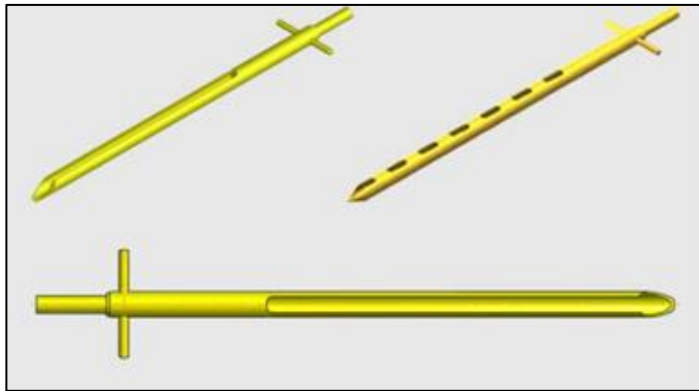


Figura 36
Sondas de muestreo

Otros dispositivos

- Cucharones: Se usan para obtener muestras de metales fundidos, se les llama también cucharas de inmersión.
- Espejos: Se emplean para obtener muestras de metales fundidos que son quebradizos. Ejemplos de aplicación: escorias.
- Moldes: Son usados para recibir muestras de metales fundidos, de manera tal que se obtenga una forma geométrica definida (paralelepípedo), apta para el taladro posterior a fin de obtener viruta.
- Tubos de presión reducida: Consisten básicamente en tubos de vidrios que previamente han sido sometidos al vacío y sellado en sus extremos, con el fin de que cuando se apliquen para obtener muestras de metal fundido, se rompa el tubo y penetre el metal al interior de este por diferencia de presión con el medio ambiente.

- Botellas: Se emplean para tomar muestras líquidas como soluciones combustibles, etc.

7.2. Automático

En estos métodos, las muestras de material son tomadas cuando éste está en movimiento, en el punto cuando se produce la descarga por caída libre, realizando un corte transversal al flujo. Si el cortador se mueve a través del flujo a intervalos regulares el incremento es considerado representativo al momento de ser tomada la muestra.

Los principales factores que afectan la representatividad de la muestra son:

- Frecuencia de corte de la muestra.
- Técnica empleada para obtener la muestra.
- Condiciones de resguardo frente a la contaminación.

Como condición general los cortadores de muestras deben moverse a través del flujo a una velocidad uniforme. La abertura debe ser de tamaño adecuado a fin de prevenir obstrucción o detención del cortador. El diseño debe prevenir la contaminación debido a salpicaduras o condiciones de alto polvo.

- Cortadores de trayectoria recta.
- Cortadores de trayectoria circular.

8. Tipos de muestreo

8.1. Al azar

Es aquel en que todas las unidades que componen el material (sólido, líquido y pulpas) a estudiar, tiene la misma probabilidad de ser tomadas como incremento de la muestra que represente el material. Una de las mayores dificultades en el muestreo al azar es efectuar un verdadero muestreo al azar. Por ejemplo si se muestrea una pila de mineral tomando incrementos de todo el contorno, éste no constituye un buen muestreo al azar debido a que no ha tenido acceso al interior de la pila.

Este tipo de muestreo es el más sencillo para preparar una muestra, pero además el más exacto. Las ventajas son su economía y la rapidez con que se lleva a cabo. El inconveniente principal es la dificultad de conseguir que todos los componentes estén verdaderamente representados cuando toman pequeñas porciones, particularmente si el tamaño de las partículas no es uniforme.

El muestreo al azar se emplea generalmente cuando hay poca información del material en observación, cuando el material sea muy homogéneo o cuando se controla productos manufacturados y únicamente basta resultados no muy exactos.

8.2. Sistemático

En este tipo de muestreo los incrementos son recolectados a intervalos regulares en términos de masa, tiempo y espacio definido de antemano. La primera muestra debe de tomarse al azar dentro del primer intervalo del muestreo. Los intervalos elegidos no necesariamente deben ser iguales.

8.3. Automático en correas

Los cortadores automáticos operan por el movimiento de un mecanismo colector a través del material a medida que éste cae desde una cinta transportadora o tubería. Es importante que:

- El frente del mecanismo colector o cortador se presente en ángulos rectos al flujo de material.
- El cortador cubra la corriente (recorrido).
- El cortador se mueva a velocidad constante y a intervalos de tiempos definidos.
- El cortador sea bastante grande para pasar la muestra.
- Definir con anterioridad tamaño de partícula mayor, abertura.

Todos los sistemas de muestreos requieren un aparato de muestreo primario o cortador y un sistema para transportar el material colectado hasta un lugar conveniente para la trituración y una división adicional de muestra.

Hay diferentes tipos de cortador de muestras, el muestreador tipo Vezin se usa ampliamente para muestrear las corrientes de mineral que caen.

Consiste de un cortador giratorio en forma de sector circular con dimensiones tales como para cortar la corriente total de mineral y desviar la muestra hasta un canal para muestras separado.

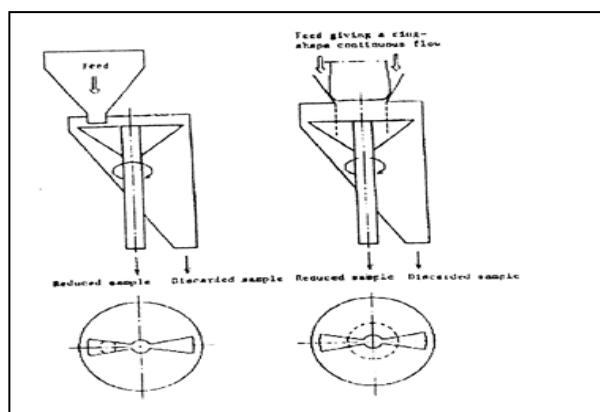


Figura 37
Muestreador tipo Vezin

8.4. Automático en pulpas

El muestreo de pulpa sigue el mismo procedimiento para los materiales secos, en donde la extracción de material se hace por medio de un cortador desplazándose a través de toda la corriente a intervalos indeterminados. Se usan muestreadores automáticos, llamados válvulas poppet (válvulas de disco con movimiento horizontal), los que muestrean la pulpa directamente de las tuberías. Estas válvulas consisten principalmente de un pistón que opera neumáticamente, sumergido dentro de la tubería, la que por lo general es elevadora y que transporta la corriente de pulpa; el pistón en la posición abierta permite el paso de pulpa a la línea de muestreo.

El ciclo de abrir y cerrar se controla por un cronómetro automático, un controlador de nivel de muestra o por otros medios que dependen de las circunstancias; el volumen de la muestra se determina en cada corte.

La muestra masiva requiere un mezclado y secado completos antes de la división adicional hasta producir un tamaño razonable para el ensaye.

8.5. Estratificado

El muestreo estratificado es una importante extensión del muestreo sistemático que involucra la división de un lote en grupo.

Los sub-grupos generalmente son muestreados en proporción a sus pesos. Esto es usado particularmente si un lote está constituido por diferentes materiales los cuales no son fácilmente mezclables o si hay entre ellos una diferencia de concentración o tamaño. Algunos ejemplos de muestreos estratificados son los siguientes:

- El muestreo de materiales transportados en un gran número de vagones o contenedores que se movilizan a diferentes horas y que deben ser considerados en

el mismo lote. Es una buena práctica aprovechar la estratificación inherente y muestrear la carga de cada vagón o contenedor en forma proporcional a su peso.

- En el caso de muestreo de tambores con líquido más sedimento, el método más preciso a emplear es el esquema de estratificación, se muestrean las dos fases en proporción de sus pesos.

9. Preparación Mecánica de Muestras

9.1. Métodos reductores de muestras

En caso que se quiera reducir la cantidad de una muestra antes de proceder a la determinación de una determinada propiedad, se puede recurrir a procedimientos como:

- Métodos de división manual.
- Método de división por riffle.

De esta etapa podemos realizar los siguientes comentarios.

- El método manual de división por incrementos nos da una buena precisión, a pesar de la alta razón de división.
- Los métodos manuales de división por cuarteos y de pala alternada introducen grandes errores, por lo que se recomienda no emplearlos.

La división como regla, debe realizarse en muestras que estén bajo 20 mm.

Se recomienda ambientar los aparatos de división con el mismo material que se va a dividir, para evitar una posible contaminación.

Método de división manual

1) División por conos y cuarteos

Este es un antiguo método usado para dividir pequeñas cantidades de material, caracterizado por su simplicidad y no requerir equipos especiales. Consiste en construir, previa homogenización un cono con el material y luego aplastarlo formando una torta circular. Esta torta se divide en cuatro partes iguales, cortándola a través de su centro, seleccionándose dos fracciones opuestas y descartándose las otras dos, Figura 38.

Las fracciones escogidas pueden ser otra vez sometidas a cono y cuarteo, y así continuar hasta que se obtiene una muestra del tamaño requerido. El método es muy dependiente de la habilidad del operador, por lo que en general no debiera usarse para un muestreo exacto.

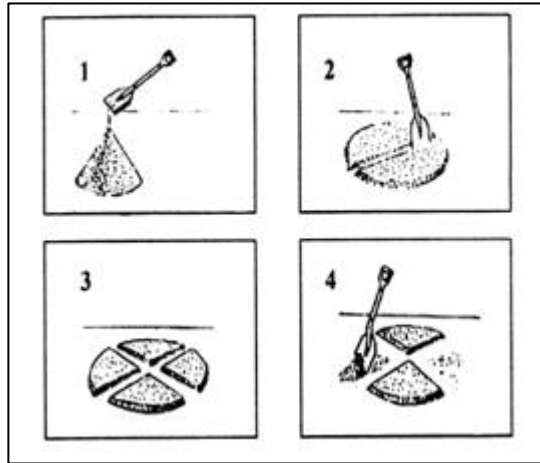


Figura 38
División por cono y muestreo

2) División por incrementos

En el caso de aplicar el método de división por incrementos, se debe utilizar la pala JIS.

El método consiste en mezclar bien la muestra y esparcirla en una superficie plana, dando una forma rectangular con espesor uniforme que depende del tamaño máximo de las partículas. El rectángulo se divide en partes iguales, a lo largo y ancho, de manera de tener por lo menos unas 20 partes, figura 39.

Usando una pala adecuada según el tamaño de las partículas, se extrae una palada llena (incremento) desde cada parte en que se dividió el rectángulo. El punto extracción de los incrementos debe ser cada vez seleccionada al azar y la pala debe penetrar hasta el fondo de la capa de la muestra. La extracción debe de realizarse con la ayuda de una placa que evite el deslizamiento del mineral. Los incrementos deben juntarse y mezclarse para formar la muestra. En general, el método permite un alto grado de precisión.

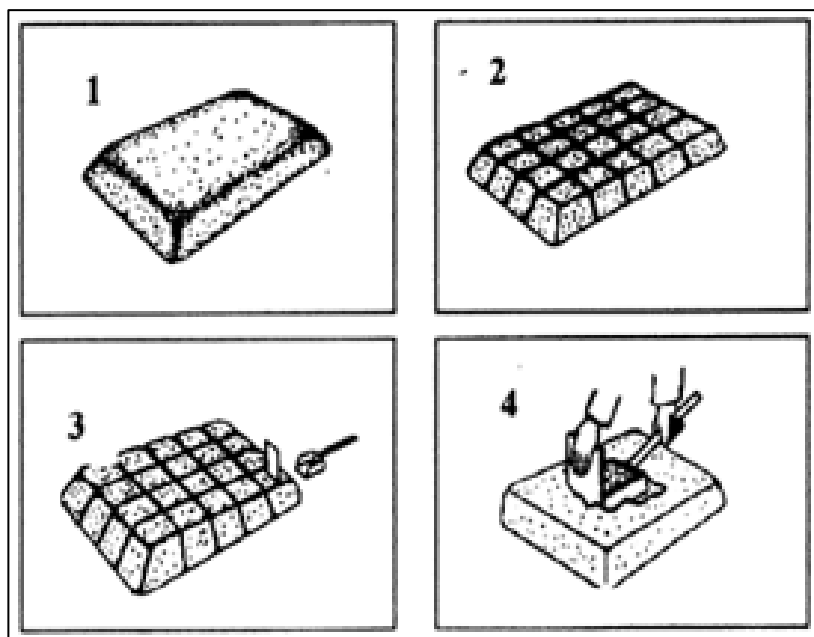


Figura 39
División por incrementos

3) Método de pala alternada

El procedimiento de reducción de muestra según este método es:

- Apilar la muestra bruta molida en forma de cono sobre una superficie dura, limpia y plana.
- Repetir el procedimiento anterior una vez más en un lugar diferente.
- Tomar una palada de muestra del cono y espárzala a lo largo en una capa delgada.
- Formar una pila grande depositando la capa delgada arriba de la anterior.
- Tomar una pala de muestra una por una desde los alrededores de la pila grande y amontone alternadamente las paladas de muestra en dos conos.
- Guardar un cono de los dos y descarte el otro.
- Repetir los procedimientos desde el primer paso hasta el anterior con la mitad de la muestra.

4) Método de división por riffle

Este es uno de los métodos más comunes y eficiente. Se trata de mezclar bien la muestra y alimentarla a una caja abierta en forma de V, en la que una serie de chutes se montan en ángulo recto respecto del eje más largo, para dar una serie de aberturas rectangulares de igual área que alimentan alternativamente dos recipientes que se ubican en la parte inferior.

Cualquiera de los recipientes puede elegirse para la muestra fina, o si es necesario, pasada nuevamente por el cortador hasta llegar a la cantidad requerida.

El riffle es un aparato que se utiliza para la división de muestra, cuya forma y dimensiones se ilustran en la figura 40 y tabla 15.

Los rifles se identifican por números, y se seleccionan de acuerdo al tamaño de partículas de la muestra a dividir.

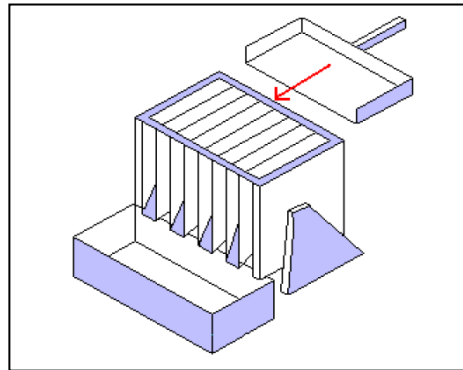


Figura 40
Cortador de muestras Riffle

| Tamaño de partícula de la muestra | N° de cuarteador | Ancho interior de las canaletas (mm) |
|--|-------------------------|---|
| Sobre 13 hasta 20 pulg | 50 | 50 |
| Sobre 10 hasta 13 pulg | 30 | 30 |
| Sobre 5 hasta 10 pulg | 20 | 20 |
| Sobre 2,4 hasta 5 pulg | 10 | 10 |
| Menor a 2,4 pulg | 6 | 6 |

Tabla 15
Número abertura según tamaño partícula

Actividad N° 6

Introducción a la Actividad

La siguiente actividad se divide en etapas en lo que concierne a los fundamentos de las técnicas de muestreo de minerales:

- Método de cono y cuarteo y,
- Método de división por riffles.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | |
| Taller de trabajo | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | |

Tabla 16

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Materiales y Recursos

Taller de Minerales.

Mesa de trabajo.

Cubierta de plástico (pañó de roleo).

Bandejas de muestras.

Cuartheador Riffles.
Pala JIS

Desarrollo de la actividad

Método de división cono y cuarteo.

El participante deberá realizar la actividad de acuerdo al siguiente procedimiento:

- 1) Depositar la muestra de mineral sobre un paño o cubierta de plástico limpia y rolear varias veces.
- 2) Apilar la muestra bruta en forma de cono, sobre el paño roleador.
- 3) Aplastar el cono formado, dividir en cuatro partes iguales divididas por dos líneas que se interceptan en ángulos rectos al centro del lote de mineral.
- 4) Descartar dos cuartos opuestos entre ellos y volver a rolear nuevamente el mineral.
- 5) Aplastar nuevamente el cono, empujando hacia abajo en forma vertical y dividida en cuatro partes iguales, volver a descartar otros dos cuartos opuestos, pero en sentido diferente al descarte anterior.
- 6) Repetir el procedimiento (pila y cuarteo) con las otras dos partes retenidas.
- 7) El proceso se repite varias veces hasta llegar a obtener el volumen de muestra deseado.

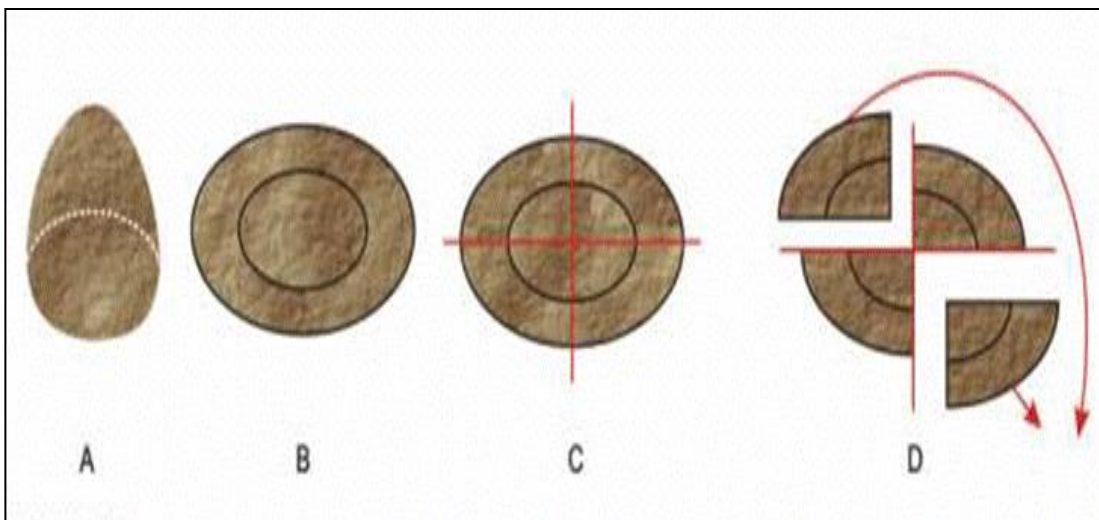


Figura 41

Método por cuarteo

Método de división por Riffles.

El procedimiento que deberá seguir el participante es el siguiente:

- 1) La muestra deberá homogenizarse roleandola en el plástico de roleo y colocarse en la bandeja de alimentación.
- 2) Se dejará caer la muestra uniformemente sobre la superficie formada por el conjunto de ranuras, para dividir la muestra en dos partes.
- 3) Una de las partes divididas deberá seleccionarse al azar como muestra dividida para la etapa siguiente de muestreo.
- 4) Volver a dejar caer de nuevo la muestra uniformemente sobre la superficie de las ranuras del cortador Riffle.
- 5) Seleccionar la parte dividida en el sentido opuesto a la selección anterior.
- 6) Repetir el proceso varias veces hasta obtener el volumen de muestra deseado.

Se debe tener la precaución de evitar que se tapen las ranuras, si esto ocurriera se recomienda limpiar el cuarteador y luego reiniciar la operación.



Figura 42
Cortador de muestra Riffle (Tyler)

Cierre de la actividad

El instructor podrá reflexionar con los participantes, sobre los resultados obtenidos en la aplicación de los dos métodos de muestreo.

10. Análisis granulométrico

10.1. Serie de tamices

El sistema de mallas de tamices más conocido y utilizado es el Tyler. Este tiene como base la malla 200, este tamiz está formado por 200 alambritos de 53 micrones de diámetro, tiene 200 aberturas por pulgada lineal, cada una de 74 micrones.



Figura 43
Alimentación de muestras en tamices

El tamizaje en seco se efectúa en máquinas denominadas Ro- Tap, donde es ubicada la serie de tamices elegida. El Ro - Tap (figura 44) proporciona a las partículas dentro de los tamices un movimiento rotativo excéntrico horizontal mediante una manilla colocada en la parte superior del equipo, se aplica a los tamices un golpe seco, para proporcionar a las partículas un movimiento vertical.



Figura 44
Ro tap

| SERIE DE TAMICES TYLER | | |
|------------------------|------------------|------------------|
| Nº DE MALLAS | ABERTURA (mm) | ABERTURA (um) |
| 4 | 4.760 | 4760 |
| 5 | 4.000 | 4000 |
| 6 | 3.360 | 3360 |
| 7 | 2.830 | 2830 |
| 8 | 2.380 | 2380 |
| 9 | 2.000 | 2000 |
| 10 | 1.680 | 1680 |
| 12 | 1.410 | 1410 |
| 14 | 1.190 | 1190 |
| 16 | 1.000 | 1000 |
| 20 | 0.841 | 841 |
| 24 | 0.707 | 707 |
| 28 | 0.595 | 595 |
| 32 | 0.500 | 500 |
| 35 | 0.420 | 420 |
| 42 | 0.354 | 354 |
| 48 | 0.297 | 297 |
| 60 | 0.250 | 250 |
| 65 | 0.210 | 210 |
| 80 | 0.177 | 177 |
| 100 | 0.149 | 149 |
| 115 | 0.125 | 125 |
| 150 | 0.105 | 105 |

| | | |
|-----|-------|----|
| 170 | 0.088 | 88 |
| 200 | 0.074 | 63 |
| 250 | 0.063 | 63 |
| 270 | 0.053 | 53 |
| 325 | 0.044 | 44 |
| 400 | 0.037 | 37 |

Tabla 17
Serie de tamices

10.2 Tabla de distribución granulométrica

Un sistema de partículas con un amplio rango de tamaños solo puede describirse en detalle, mediante el uso de distribuciones estadísticas. De estas distribuciones se puede obtener un tamaño promedio y una estimación de la superficie del sistema. El tamizaje en sí implica conceptos de estadística. El resultado de un tamizaje típico es: “Conociendo esta distribución de la frecuencia con que aparecen las partículas en cada tamiz, nos puede decir, que la probabilidad de encontrar en el producto, una partícula menor que 35 mallas, pero mayor que 48 mallas es de 0.085.

1) Construcción tabla de análisis granulométrico.

En la tabla de Análisis Granulométrico se debe incluir información como el número de malla y la serie, su abertura, la cantidad de material retenido en cada tamiz, para después calcular los tamaños promedio de partículas y las fracciones retenidas parcial, acumulada y pasante acumulada.

| Malla Tyler | Retenido Parcial (g) | Retenido Acumulado (g) | Pasante Acumulado (g) | Retenido Parcial (%) | Retenido Acumulado (%) | Pasante Acumulado (%) |
|----------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| ¾" | 0 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 100 |
| ½" | 0 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 100 |
| ¼" | 215.6 | 215.6 | 784.4 | 21.56 | 21.56 | 78.44 |
| # 10 | 210.3 | 425.9 | 574.1 | 21.03 | 42.59 | 57.41 |
| # 20 | 80.5 | 506.4 | 493.6 | 8.05 | 50.64 | 49.36 |
| # 40 | 160.0 | 666.4 | 333.6 | 16.0 | 66.64 | 33.36 |
| # 70 | 150.6 | 817 | 183.0 | 15.06 | 81.7 | 18.3 |
| # 100 | 148.3 | 965.3 | 34.7 | 14.83 | 96.53 | 3.47 |
| # - 100 | 34.7 | 1000 | 0 | 3.47 | 100 | 0 |

Tabla 18
Tabla de un análisis granulométrico

2) Cálculos para la realización del análisis granulométrico.

De acuerdo a los valores de los pesos retenidos en cada tamiz, registrar los siguientes datos en la hoja de cálculos

Retenido Acumulado (RA):

Es la suma acumulativa de los gramos retenidos en cada tamiz

Ejemplo:

| Malla Tyler | Retenido Parcial (grs) | Retenido Acumulado (grs) |
|-------------|------------------------|--------------------------|
| # 10 | 215,6 | 425,9 |
| # 20 | 210,3 | 636,2 |
| # 30 | 80,5 | 716,7 |

Tabla 19

Se suma el retenido acumulado con el retenido parcial del tamiz siguiente:

RA (#20) = 425,9 + 210,3 = 636,2 gramos.

RA (#30) = 636,2 + 80,5 = 716,7 gramos.

Pasante Acumulado (PA).

Es la resta acumulativa de los gramos pasante en cada tamiz.

| Malla Tyler | Retenido Parcial (grs) | Pasante Acumulado (grs) |
|-------------|------------------------|-------------------------|
| # 10 | 215,6 | 574,1 |
| # 20 | 210,3 | 363,8 |
| # 30 | 80,5 | 283,3 |

Tabla 20

Se resta el retenido acumulado con el retenido parcial del tamiz siguiente:

RA (#20) = 574,1 – 210,3 = 363,8 gramos.

RA (#30) = 363,8 – 80,5 = 283,3 gramos.

Porcentaje retenido parcial (%RP):

$$\%RP = \frac{\text{peso retenido en cada malla}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

| Malla Tyler | Retenido Parcial (grs) | % Retenido Parcial |
|-------------|------------------------|--------------------|
| # 10 | 215,6 | 21,56 |
| # 20 | 210,3 | 21,03 |
| # 30 | 80,5 | 8,05 |

Tabla 21

$$\%RP = \frac{215 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 21,56 \%$$

Porcentaje retenido acumulado (%RA):

$$\%RA = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

| Malla Tyler | Retenido Acumulado (grs) | % Retenido Acumulado |
|-------------|--------------------------|----------------------|
| # 10 | 425,9 | 42,59 |
| # 20 | 636,2 | 63,62 |
| # 30 | 716,7 | 71,67 |

Tabla 22

$$\%RA = \frac{425,9 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 42,59 \%$$

Porcentaje Pasante Acumulado (%PA):

$$\%PA = \frac{\text{peso acumulado en cada tamiz}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

| Malla Tyler | Pasante Acumulado (grs) | % Retenido Acumulado |
|-------------|-------------------------|----------------------|
| # 10 | 574,1 | 57,41 |
| # 20 | 363,8 | 36,38 |
| # 30 | 283,3 | 28,33 |

Tabla 23

$$\%PA = \frac{574,1 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 57,41\%$$



Módulo III: Operación de Proceso de Flotación

11. Fundamentos del proceso de flotación

11.1. Introducción

El molibdeno, en la actualidad, posee una creciente importancia para la minería nacional, debido su incidencia en los resultados operacionales de la minería chilena durante los últimos años.

Este metal puede ser encontrado en varios minerales, pero para su uso comercial, solo es factible su extracción desde la molibdenita (MoS_2).

La recuperación de molibdenita, como subproducto de la extracción de minerales de cobre, se realiza por medio de una flotación colectiva de sulfuros, seguida de una flotación diferencial y una etapa de purificación del concentrado. El concentrado final, con una ley de molibdenita, que oscila entre el 90 y 97 %, es generalmente sometido a una serie de

transformaciones físico - químicas, para obtener productos de calidad que satisfagan la demanda del mercado.

La industria moderna requiere de productos químicos o metalúrgicos cada vez de mayor calidad y cuyas materias primas se obtienen de yacimientos cada vez de menor ley y más complejos.

Así, para la explotación económica de estos minerales de baja ley, se requiere de procesos de beneficio de minerales que separen las especies de interés de aquellas sin valor económico o que contaminen el producto final.

Las diferentes técnicas de separación de los minerales de la ganga se basan en un conjunto de propiedades individuales de los minerales, tales como gravedad específica, susceptibilidad magnética, características ópticas, propiedades superficiales o interfaciales, etc.

La Flotación surge como alternativa de proceso para concentrar minerales a comienzo de este siglo (1905). Su importancia tecnológica es que hace posible la explotación económica de yacimientos de baja ley, que hasta ese momento eran reservas marginales. Su rápido desarrollo permitió: Reducir por lo menos en diez veces las leyes de mina mínimas a tratar en forma económica; subir las leyes de los concentrados; disminuir las pérdidas en colas y relaves; reducir los costos y aumentar la recuperación.

La Flotación Mecánica ó Flotación Convencional funciona bien a tamaño de partícula entre los 0,3 - 0,002 mm, dependiendo del peso específico (densidad) de los minerales valiosos y de su grado de liberación.

La Flotación Columnar se aplica a partículas de granulometría fina (menores que 0,002 mm), las cuales por su tamaño tienen problemas para ser recuperadas en la flotación convencional.

11.2. Definiciones importantes en el proceso de flotación

La Flotación es una técnica que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral (que es la especie de valor) y la ganga. Específicamente, se basa en la naturaleza hidrofóbica (o aerofílica) de la superficie de las partículas, cuya magnitud permite que dichas superficies sean mojadas preferentemente por el aire o por el agua.

Así, la técnica para lograr la efectiva separación, se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas (usualmente aire) generada en la pulpa por algún medio externo, en la celda de flotación.

Las burbujas de aire transportan los sólidos a la superficie, donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye las colas o relave.

De este modo, la condición de flotabilidad es una fuerte adhesión entre las partículas útiles y la burbuja, que sea capaz de soportar la agitación y turbulencia en la celda. Estas partículas se dicen hidrofóbicas, o repelentes al agua, al contrario de las partículas que constituyen el relave o colas y son hidrofílicas (altamente mojables).

Para lograr una buena concentración se requiere, entonces, que las especies que constituyen la mena estén separadas o liberadas. Esto se logra en las etapas previas de chancado y molienda, etapas que son así determinantes en el proceso de flotación, aunque no son parte del mismo.

Para la mayoría de los minerales, se logra un adecuado grado de liberación moliendo a tamaños cercanos a 100 μm ; partículas de mayor tamaño se sueltan de las burbujas portadoras, por su mayor peso; en tanto que las partículas muy finas no tienen el suficiente impulso para producir un encuentro efectivo partícula burbuja.

El proceso de flotación, de esta manera, está gobernado por una gran cantidad de variables, las que interactúan entre sí, y cuyo conocimiento contribuirá a comprender mejor el proceso en sí, para finalmente un mejor rendimiento en aplicaciones prácticas.

Al contrario de los otros métodos de concentración, es posible modular la diferencia entre las propiedades útiles y la ganga, modificando el ambiente químico y electroquímico del sistema, mediante la adecuada selección de los reactivos agregados: Colectores, espumantes, activadores, depresores o modificadores.

Un **Colector** es un agente tensoactivo, que se agrega a la pulpa y tiene la propiedad de adsorberse selectivamente en la superficie de un mineral y lo transforma en hidrofóbico. Las burbujas de aire se adhieren preferentemente sobre estas superficies atrapando las partículas. En razón a que el mecanismo, por el cual el colector se fija sobre la superficie mineral es diferente al flotar minerales sulfurados u oxidados.

Un **Espumante** es un agente tensoactivo que se adiciona a la pulpa con el objetivo de estabilizar la espuma, en la cual se encuentra el mineral de interés.

Los reactivos **Modificadores**, ya sea activadores, depresores o modificadores de pH, se usan para intensificar o reducir la acción de colectores en la superficie mineral.

Así, en el proceso de flotación están involucradas tres fases: La fase líquida (generalmente agua), la fase gaseosa (generalmente aire) y la fase sólida, que dada la complejidad del sistema, es distinta para cada tipo de mineral a flotar, ya que depende de las características físicas, químicas y mineralógicas del sólido. Además de estas fases, influyen variables que dependen de los equipos y diseño de los circuitos de flotación, además de variables de operación propias de cada caso particular.

De esta forma, si en una pulpa se dispersa aire en forma de burbujas, las partículas más hidrofóbicas se ubicarán en la interface aire agua, formando agregados estables con las burbujas, los cuales, debido a su menor densidad global ascenderán hasta la superficie de la pulpa para formar en ella una capa de espuma mineralizada. Las partículas hidrofílicas, en cambio, permanecerán en el seno de la pulpa. Se genera así, un concentrado en la capa de espuma y un relave o cola.

11.3. Nociones básicas de interacción de fases.

La concentración por flotación es el resultado de varios procesos fisicoquímicos complejos, que ocurren en las interfaces sólido-líquido, líquido-gas y sólido-gas. ***Depende de la probabilidad de unión de las partículas a burbujas en la celda de flotación***, lo cual está determinado por las características hidrofóbicas de la superficie de las partículas. En el proceso de flotación, la superficie de las partículas se transforma en hidrofóbica a través de la adsorción selectiva de reactivos colectores.

Al respecto, el control de pH de la solución es el método más ampliamente utilizado para alcanzar la selectividad en un proceso de flotación. La cal como reactivo modificador de PH tiene un efecto complejo en flotación, puesto que al sufrir hidrólisis en medio acuoso, modifica las propiedades iónicas de éste y así afecta los demás factores involucrados en flotación: Las propiedades interfaciales de los sólidos y las propiedades de reactivos y gases.

El proceso de flotación se puede definir como: “Método de concentración, que consiste en la separación selectiva de especies minerales de acuerdo con sus propiedades superficiales de adhesión a burbujas de gas (principalmente aire).

La flotación de minerales requiere de la utilización de reactivos de flotación (tenso-activos), los cuales pueden ser colectores o espumantes. Estos reactivos químicos tienen una cabeza polar activa que es capaz de reaccionar con la superficie del mineral y, una cadena no polar (apolar) que sólo interactúa a través de fuerzas muy débiles, lo que le da como característica principal el ser hidrofóbica.

La necesidad de utilizar estos reactivos en la flotación, surge porque el proceso se basa en las propiedades superficiales de las partículas minerales. Estas propiedades superficiales de las partículas minerales son importantes porque el sistema de flotación es un sistema heterogéneo, que está formado por:

- Fase Sólida: Minerales útiles y minerales no útiles (ganga).
- Fase Líquida: Agua con reactivos de flotación disueltos.
- Fase Gaseosa: Burbujas de aire.

Luego la posibilidad de que algunas partículas floten selectivamente dependerá de cómo se comporten en las distintas interfaces:

- Interface Sólido-Líquido.
- Interface Sólido-Aire.
- Interface Líquido-Aire.

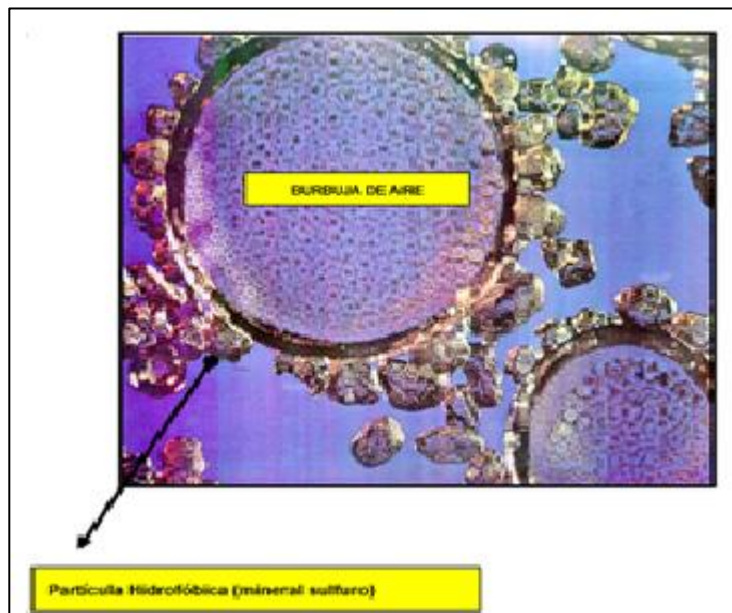


Figura 45
Contacto de tres fases sólida (mineral) – líquida (agua) – gas (aire).

12. Conceptos y definiciones básicas del fenómeno de superficie

Hidrófobo: Elemento o compuesto que no tiene afinidad con el agua, repele su presencia. Ejemplo el azufre, carbón y los sulfuros.

Hidrófilo: Elemento o compuesto que tiene afinidad con el agua y entra fácilmente en contacto con ella. Ejemplo azúcar, sal de mesa y minerales oxidados.

Aeróforo: Elemento o compuesto que no tiene afinidad con el aire y lo repele o reacciona violentamente. Ejemplo sodio metálico.

Aerófilo: Elemento o compuesto que tiene afinidad con el aire y se une establemente sin reaccionar violentamente. Ejemplo mineral sulfurado.

Tensión superficial: En una superficie líquida en contacto con la atmósfera, la tensión superficial se manifiesta como una “piel” aparente sobre la superficie, que resistirá cargas pequeñas. La tensión superficial, es la fuerza en la superficie líquida, normal a una línea de longitud unitaria trazada en la superficie, $\sigma = (\text{fuerza}/\text{longitud unitaria})$. Para el agua a 20°C, $\sigma = 0,073 \text{ (N/m)}$.

Agente tenso-activo: También llamados surfactantes, son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (p.ej., dos líquidos insolubles uno en otro). Cuando se utilizan en la tecnología doméstica se denominan como emulgentes o emulsionantes; esto es, sustancias que permiten conseguir o mantener una emulsión. Estas sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o la acción entre dos líquidos.

pH: Representa el grado de acidez o alcalinidad de una solución líquida y se mide de acuerdo a una escala que va de 0 a 14, tomando como valor neutral en la escala el número 7.

Propiedades superficiales: Es una característica físico-química definida de cada elemento o compuesto y que es responsable del comportamiento de ese material en un determinado medio líquido.

Mezclas Homogéneas: Es una mezcla de dos elementos o compuestos que al unirse forman una sola fase que no hace diferencia entre una u otra especie.

Mezclas Heterogéneas: Es una mezcla de dos elementos o compuestos que al unirse forman dos fases inmiscibles una en otra. Su separación es simple con un método físico. Ejemplo la pulpa.

Densidad: Es la razón de su masa por unidad de volumen. De acuerdo al Sistema Internacional, la unidad de ρ es (kg/m³). Para el agua pura a presión estándar y 4°C, ρ = 1000 (kg/m³) (equivalente a 1 (g/cm³)).

Agente depresor: Es un reactivo químico que provoca la separación total de los elementos afectando sus propiedades superficiales como de hidrófobo a hidrofílico o viceversa.

13. Consideraciones generales del proceso de flotación de molibdeno

La flotación selectiva o diferencial de molibdenita consiste en inhibir o depresar selectivamente la flotación de los sulfuros de Cu y Fe sin alterar la flotabilidad natural de la molibdenita. Para esto se requiere de un reactivo químico capaz de destruir el recubrimiento de colector sobre los sulfuros de Cu y Fe.

13.1. Propiedades mineralógicas del molibdeno

La molibdenita (MoS₂) contiene 40% Mo y 60% S; presenta flotabilidad natural, que se debe a la naturaleza química de su estructura cristalina. A pesar de esta flotabilidad natural, hay algunos aspectos relacionados a su tamaño y a su estructura cristalina, que afectan su recuperación en el proceso de flotación. Cerca del 40% a 50% de la molibdenita, como subproducto, se pierde en la flotación primaria de minerales de cobre tipo pórfidos. Por lo tanto, se tiene un gran reto en cómo mejorar la recuperación de molibdenita, que depende del grado de liberación del mineral, el contenido de óxido de molibdeno en la superficie del mineral, la asociación del mineral con ganga silicosa, la distribución de tamaño del mineral que se emplean para flotar el cobre. En los minerales de cobre tipo pórfidos, el nivel de molienda y su esquema de flotación se establecen para la recuperación de cobre y no para el molibdeno; estas condiciones de molienda y flotación no son necesariamente las adecuadas para la óptima flotación de molibdeno.

El mineral de molibdenita tiene una unidad estructural hexagonal, que muestra la presencia de capas poliédricas en coordinación con prismas trigonales, donde cada átomo

de Mo está rodeado por un prisma trigonal de átomos de azufre. La estructura cristalina de MoS_2 , se presenta en la figura 46. En esta estructura cristalina se tienen dos tipos de enlaces:

- 1) Enlaces covalentes entre átomos de Mo-S.
- 2) Enlaces de Van der Waals entre capas de S-Mo-S.

Debido a esta característica estructural, las partículas de MoS_2 presentan dos tipos de superficie distintos: 1) Una superficie que se crea por ruptura de enlaces de Van der Waals, que se conoce como “cara”. 2) Otra superficie que se genera por ruptura de enlaces Mo-S, que se conoce como “borde”.

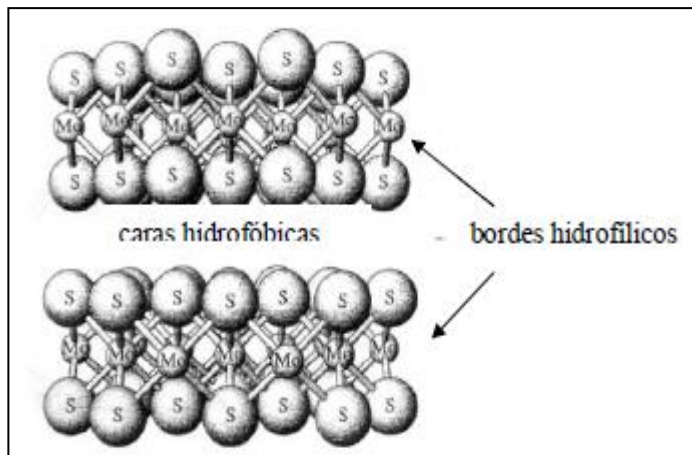


Figura 46
Estructura cristalina de la Molibdenita.

La ruptura de cristales de molibdenita, a lo largo de las caras, crea superficies no polares de baja energía superficial, que tienen una mayor afinidad con líquidos de baja energía de superficie, como los hidrocarburos saturados, que con líquidos de alta energía superficial como el agua. Se ha determinado que el ángulo de contacto de la cara es 80° , que equivale a una energía de adhesión de agua de 84 erg/cm^2 , la cual es baja en relación a la energía de cohesión entre moléculas de agua que es de 146 erg/cm^2 . Por tanto, la cara presenta características hidrofóbicas.

Por otro lado, la ruptura de cristales de molibdenita por los bordes, crea superficies polares, que son químicamente activos con el agua. Por lo tanto, el borde presenta características hidrofílicas.

Esta relación cara/borde es una partícula de MoS_2 , determina su flotabilidad. A priori, se puede decir que a mayor tamaño de partícula, mayor es la relación cara/borde y mayor será la hidrofobicidad de la partícula, menor es la relación cara/borde y menor la hidrofobicidad de la partícula; por tanto, su probabilidad de flotación es baja, lo cual se aprecia en la figura 47 de recuperación v/s pH. En donde se observa un efecto muy importante del pH en la flotabilidad de la MoS_2 . Con el aumento del pH, la flotabilidad del MoS_2 disminuye; esto, está relacionado con el potencial eléctrico que se tiene en la interface borde/solución acuosa.

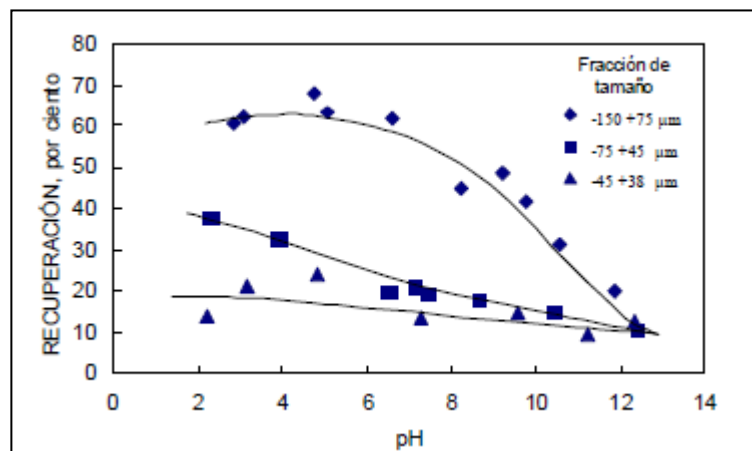


Figura 47
Recuperación de Molibdeno a diferentes tamaños.

Las alternativas de procesos de flotación para la producción de la molibdenita son esencialmente dos: 1) El primero es de forma directa como mineral de interés principal en cuyo caso los reactivos utilizados son de exclusiva selectividad para la molibdenita. 2) En segundo caso en minerales de cobre pórfidos en el cual se encuentra presente el Molibdeno, en cuyo caso, luego de una flotación colectiva, en la cual se obtiene un concentrado de Cu-Mo, se pasa a un proceso de separación de los dos compuestos por flotación selectiva o diferencial.

14. Variables y parámetros del proceso de flotación

Un circuito de flotación se diseña de acuerdo a un conjunto de criterios, en base a características previamente determinadas en pruebas de laboratorio y planta piloto.

Obviamente, el sistema está siendo sometido a continuas variaciones de las propiedades iniciales que alejan al sistema de su condición óptima.

Se analizará a continuación, algunas de las variables que mayor efecto tienen en el proceso de flotación. Específicamente su efecto sobre los índices de evaluación:

Algunas especies mineralógicas de interés son: Calcosina, Covelina, Calcopirita, Bornita y Enargita por nombrar algunas, pero lo más importante es analizar con es su interacción entre ellas, ya que los yacimientos no son enteramente puros sino una mezcla de estas especies y además de su interacción con el tipo de impurezas como pirita, arcillas etc.

14.1. Granulometría (grado de liberación)

En flotación, el transporte de partículas de la pulpa a la fase espuma, ocurre debido a partículas adheridas a burbujas y por arrastre de pulpa. Ambos mecanismos son independientes y presentan un comportamiento característico, respecto al tamaño de partícula.

Así, existe un tamaño de partícula que presenta una mayor recuperación, observándose una disminución de ésta para tamaños más gruesos y más finos que este tamaño óptimo.

La disminución de recuperación para tamaños gruesos se justifica con el aumento de masa de las partículas, y la disminución para tamaños pequeños se relaciona con la dificultad de adhesión debido a que éstas no se adquieren con la suficiente energía cinética para producir un agregado partícula-burbuja estable.

También, las partículas pequeñas son arrastradas más fácilmente a la fase espuma, ya que el drenaje de la pulpa es favorecido con el incremento de la velocidad de sedimentación.

De esta manera, el tamaño de partícula es la variable sobre la cual se debe poner más énfasis en su control, debido a su efecto sobre la recuperación, y por la alta incidencia en los costos de operación del proceso global, que ella tiene.

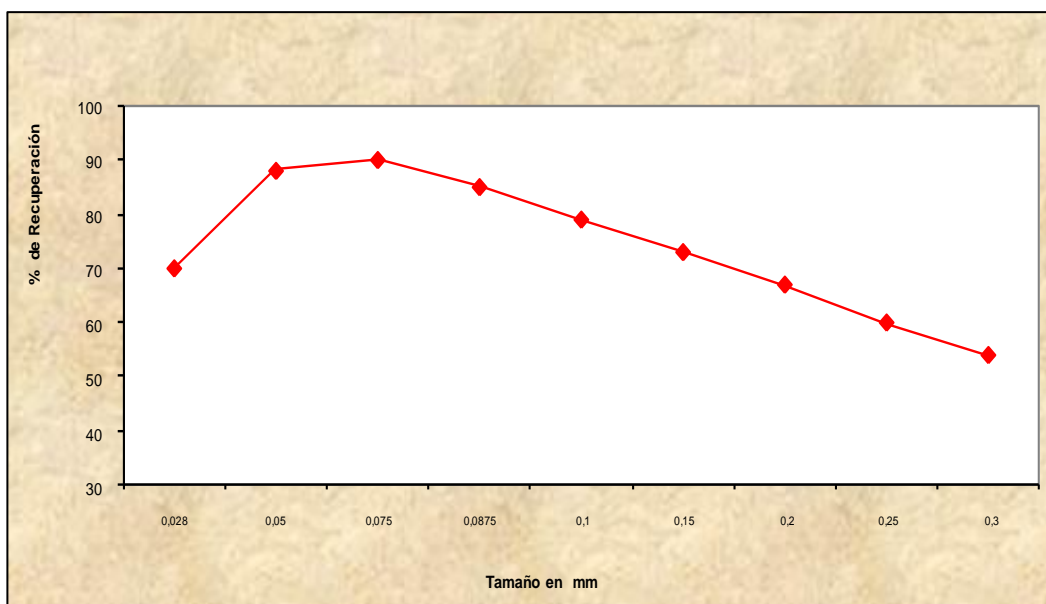


Figura 48
Influencia del tamaño de partícula en la recuperación

14.2. Tipo y dosificación de reactivos

La función de un colector es hacer selectivamente hidrofóbica la superficie del mineral deseado, y es así el más importante de los reactivos usados en flotación, pero una ventaja importante del Molibdeno es su flotabilidad natural y como ya se estableció antes sus características hidrofóbicas por naturaleza.

La elección del tipo de colector de la variedad de familias existentes es más un arte que una ciencia, sin embargo por la amplia experiencia en su uso en flotación, existen correlaciones empíricas que aconsejan usar determinado tipo de colector para recuperar un mineral desde una asociación mineralógica dada.

Por otro lado, la elección de un espumante determina las características de la espuma, que contribuye a la selectividad de la operación: Las variables altura de espuma y flujo de aire afectan el tiempo de retención de las partículas en la espuma.

La estabilidad de la espuma depende principalmente de la dosificación de espumante. Para bajas dosis, ésta se rompe fácilmente y no cumple su función de mantener el material flotado hasta que sea retirado de la celda. La estabilidad de la espuma está relacionada

también con el flujo de aire al proceso: Si este es bajo, se puede producir una saturación de la espuma y por lo tanto una inhibición de la flotación.

También se debe tener en cuenta que los reactivos utilizados necesitan un cierto tiempo de contacto para que operen eficientemente. Así, la etapa de acondicionamiento previo adquiere especial importancia en estos casos.

Algunos de estos reactivos se deben agregar en la etapa de molienda o adicionarlos directamente al cajón de descarga del molino o al acondicionador.

| Reactivos | Dosificación promedio | Rango |
|----------------------------|-----------------------|------------|
| Flotación Colectiva | | |
| Colectores (g/t) | 20 | 10 – 100 |
| Espumantes (g/t) | 35 | 15 – 100 |
| Cal (g/t) | 1.790 | 250 – 2500 |
| Flotación Moly | | |
| NaSH (kg/t) | 4,8 | 4,5 - 5,0 |
| Diesel (g/t) | 220 | 50 - 250 |

Tabla 24

Reactivos de Flotación de molibdeno y rangos de dosificación.

14.3. Densidad de pulpa o porcentaje de sólidos en flotación

La densidad de pulpa o porcentaje de sólidos en flotación viene determinada desde la etapa de molienda-clasificación, de modo que esta última etapa opere en forma óptima. Es raro que la pulpa se ajuste en su porcentaje de sólidos antes de entrar a flotación, sin embargo es un factor importante, ya que existe un valor óptimo para el proceso, y porque afecta el tiempo de residencia del mineral en el circuito y, de esta forma, la capacidad del mismo.

La mejor estrategia es operar el circuito rougher de molibdeno tan selectivamente como sea posible. Además, para bajar el consumo de depresante, se trabaja con altos porcentajes de sólidos en rougher, especialmente cuando el espesador de cabeza y las celdas rougher lo permiten (45%-55% de sólidos), mientras que, las etapas de limpieza (cleaner y recleaner) trabajan con un porcentaje de sólidos menor.

14.4. Tiempo de residencia

Esta variable depende de las características del mineral que se va a flotar y de la conjugación de todos los demás factores que inciden en el proceso. En operación de la planta se utiliza el tiempo de residencia de la pulpa en el banco de celdas para la optimización de los circuitos de flotación. El tiempo de residencia debe ser mayor que el tiempo de flotación de las partículas más lentas que son recuperables. El tiempo óptimo de cada etapa se determina aplicando los criterios de pruebas cinéticas de flotación.

Un mineral se puede caracterizar por su cinética de flotación y en forma más particular por su constante específica de velocidad, en otras palabras para obtener una recuperación deseada es necesario proporcionarle al mineral el tiempo de flotación adecuado.

La recuperación de agua y mineral aumentan cuando aumenta el tiempo de residencia. En las últimas celdas rougher se produce una espuma pobre en mineral y rica en agua.

El tiempo de flotación depende de las características del material a flotar, y de la conjugación de todos los demás factores que inciden en el proceso. Esto es, bajo determinadas condiciones operacionales, se debe dar al mineral el tiempo suficiente para alcanzar una recuperación deseada. Obviamente, los aspectos técnico-económicos son los que determinan las condiciones finales de operación.

14.5. Calidad del agua

En la mayoría de las plantas la disponibilidad de agua es un problema serio. Esto obliga a utilizar agua industrial o agua que contiene cantidades residuales de reactivos. Aguas duras, saladas o de mar le proporcionan al proceso de flotación un comportamiento particular, que es necesario evaluar en cada caso dado la gran cantidad de interacciones que se producen entre las variables del proceso, las cuales acondicionan el ambiente físico-químico de la flotación, un aspecto interesante de analizar es la calidad del agua.

El consumo de agua en la flotación es muy alto (entre 2,5 a 3,0 ton agua por ton. alimentado a planta), por esto es común que en las plantas, parte importante de ésta sea agua de proceso, recuperada desde espesadores, la cual contiene reactivos residuales. Esto produce un ahorro en el consumo de agua y en el consumo de espumante, pero se puede producir un aumento de algunos iones en solución que pueden sobrepasar los niveles críticos para flotación.

Además del contenido de oxígeno disuelto que afecta la probabilidad de flotación de Molibdeno, por ello existen procesos en los cuales se consume nitrógeno para aumentar la recuperación del elemento de interés.

14.6. pH

El proceso de flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva.

Cada fórmula de reactivos de flotación tiene un pH óptimo, el cual es regulado mediante la adición de cal. De esta forma, la cal es el reactivo modificador más usado en las plantas de flotación.

La flotación del molibdeno funciona mejor a pH ácido, entre rangos de operación entre 6 y 6,5, pero por razones de seguridad se trabaja entre 8 a 8,5 para evitar desprendimiento de gas sulfhídrico H_2S .

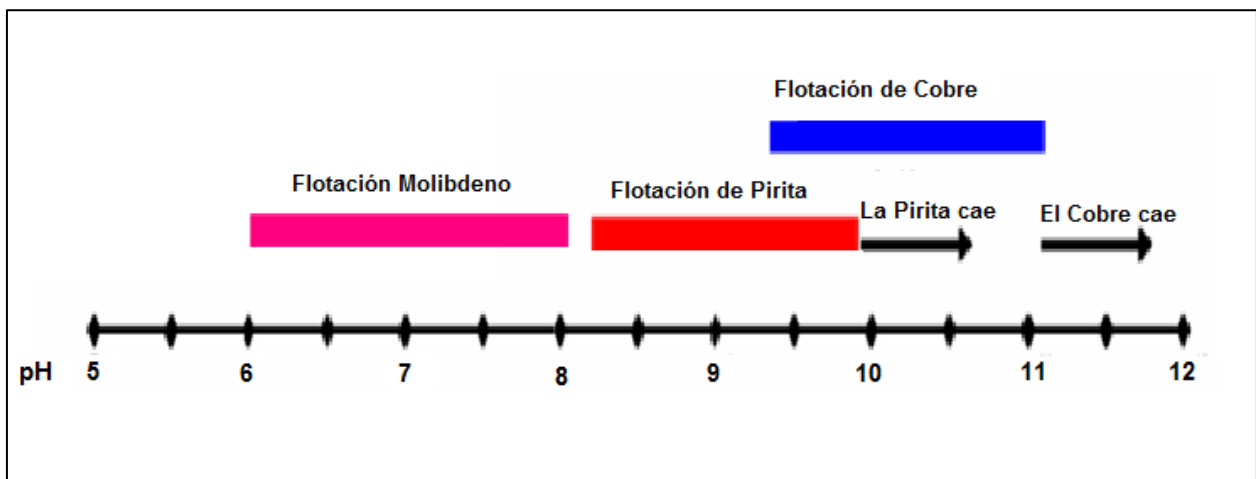


Figura 49
Escala de pH para la flotación de molibdeno

14.7. Acondicionamiento de la pulpa

El acondicionamiento es una etapa clave, donde los reactivos de flotación para actuar requieren de un cierto tiempo de acondicionamiento para estar en contacto con la pulpa y de esa forma poder actuar en forma eficiente sobre las especies útiles de la mena. Así, la etapa de acondicionamiento adquiere mucha importancia, ya que algunos reactivos se

deben adicionar en la etapa de molienda para tener mayor contacto con la mena, mientras que otros se adicionan directamente al cajón de descarga de los molinos de bolas o a un estanque acondicionador que alimenta directamente al circuito primario o rougher.

Cualquier variación en ley o tonelaje puede ser mitigada por el tanque acondicionador, de donde el material es bombeado en una proporción controlada a la planta de flotación.

Es fundamental el pre-acondicionamiento de la pulpa antes de ingresar a la planta de flotación. Se tiene que tomar también una previsión para poder tratar mayor cantidad de pulpa, lo cual puede ocurrir por ejemplo cuando se tiene previsto hacer el mantenimiento de uno de los molinos del sistema.

El estanque acondicionador posee un sistema de aspas para aumentar la cinética de reacción de los reactivos de flotación y el mineral útil. Desde estos estanques se alimentan a las primeras celdas del circuito de flotación.

Algunos colectores de cinética de adsorción lenta deben incorporarse al molino primario (colectores primarios), mientras que otros se agregan directamente al cajón de descarga molino (como los espumantes) y en el cajón de distribución de las celdas de flotación primaria, tal como el colector secundario SF 113 (isopropil xantato de sodio) que es un reactivo soluble en agua.

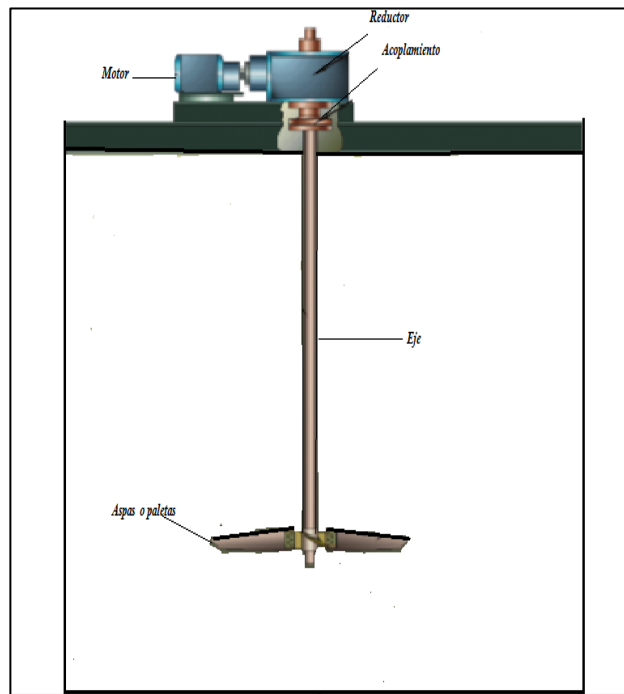


Figura 50
Estanque acondicionador

14.8. Aireación

La aireación es muy importante, porque sirve para la formación de las burbujas que se necesita en las celdas y para agitar la pulpa dentro de la celda.

La aireación de la pulpa en la celda es una variable que normalmente es controlada por el operador de la planta, la cual permite la aceleración o retardación de la flotación en beneficio de la recuperación metalúrgica o de la ley del elemento útil.

Los fabricantes de celdas de flotación, entregan diferentes tipos de sistemas de aireación y agitación en sus diseños. Todos cumplen la misma función pero dependerá de la fase de diseño conceptual de las celdas de flotación.

El aire forzado proviene de sopladores o ventilador centrífugos (blowers) que toman el aire de la atmósfera en la entrada de la carcasa del soplador y lo descarga a 90° a través de la tubería de salida hacia las celdas de flotación.

Los dos tipos más comunes de sopladores centrífugos son los sopladores de presión y los sopladores de volumen. Los sopladores de presión están diseñados para empujar el aire a altas presiones.

Los sopladores de volumen, que son los utilizados en las celdas de flotación están diseñados para empujar grandes volúmenes de aire, medidos en metros cúbicos de aire por minuto o en libras por pulgada al cuadrado, (generalmente 2 – 6 lb/pulg²) a menor presión que los sopladores de presión hacia el interior de las celdas llenas de pulpa mineral.

El ventilador centrífugo consiste en un elemento rotatorio montado sobre un eje motriz, el cual recibe energía de un motor. El elemento rotatorio está hecho de paletas montadas radialmente alrededor del eje motriz dentro de la caja del ventilador. El motor hace girar el eje, produciendo que las paletas giren.

Las paletas están diseñadas para hacer rotar el aire de manera que la fuerza centrífuga empuje el aire hacia afuera de la caja del ventilador y la haga salir por la descarga del ventilador. La descarga está orientada tangencialmente sobre la caja del ventilador.

Esta acción de empuje o compresión, crea un área de baja presión en el centro de las paletas alrededor del eje motriz. El aire es empujado dentro de la zona de baja presión para entregar un flujo continuo de aire que el ventilador mueve.

El aire ingresa en al ventilador en ángulo recto con respecto a la dirección de rotación de las paletas del ventilador y se mueve hacia afuera de la caja del ventilador y del punto de descarga.

Si se ingresa demasiado aire, se produce un exceso de agitación, lo que provoca que la espuma se reviente antes de rebosar o rebosen con pulpa, arrastrando ganga. Si es todo lo contrario, es decir se ingresa poco aire, la columna de espuma es muy baja e insuficiente para recuperar el elemento valioso, los que se pierden en la cola o relave.

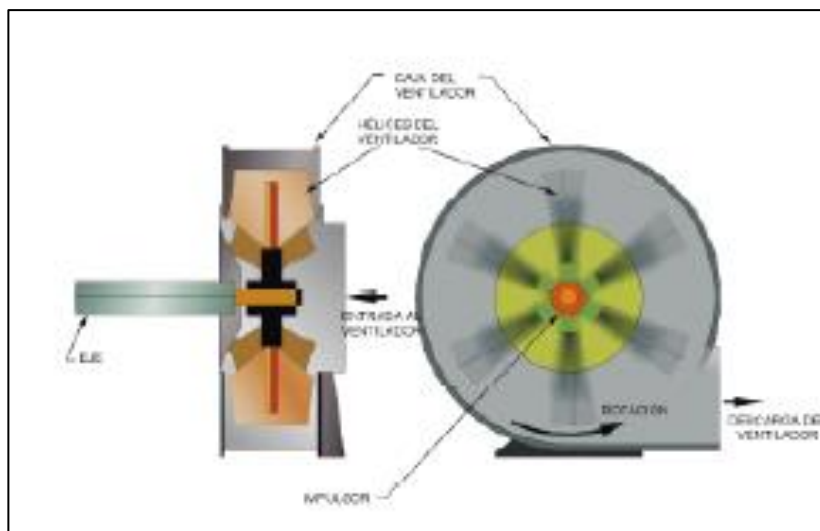


Figura 51
Ventilador centrífugo

La generación y características de las burbujas es una consecuencia de la cantidad de aire que ingresa a la celda.

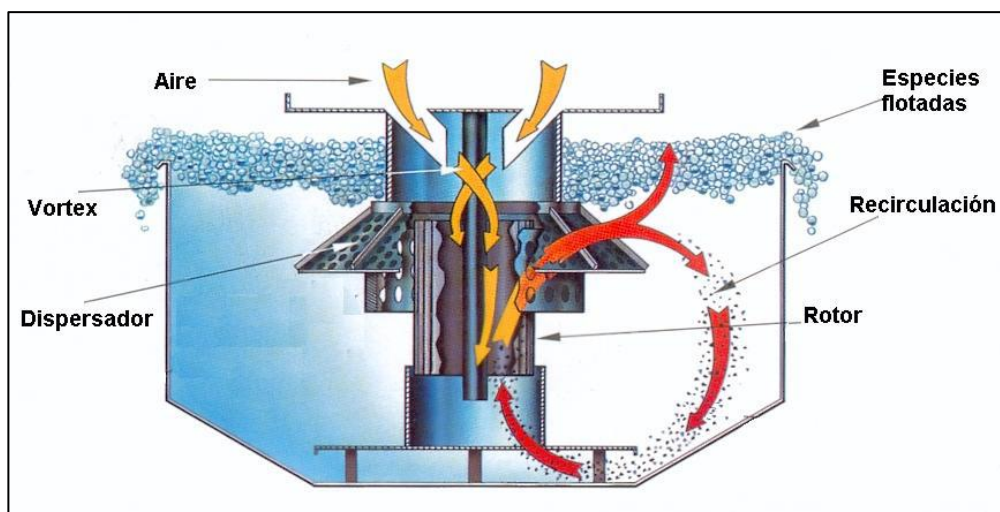


Figura 52

Ingreso de aire auto aspirada en una celda Wemco

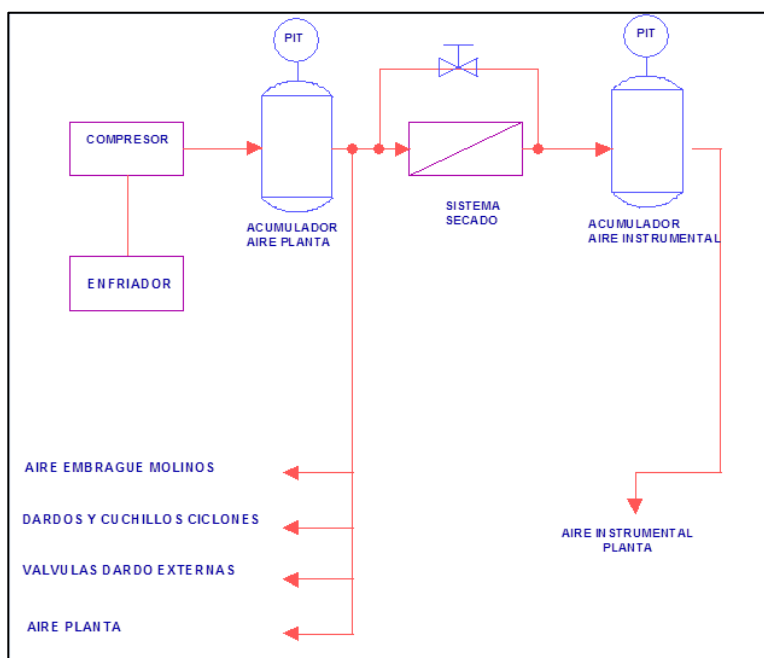


Figura 53

Sistema de distribución típico de aire en un proceso

En la zona entre el rotor y estator se crea gran agitación de la pulpa, dando a lugar el encuentro o colisión entre las burbujas de aire y la partícula de mineral hidrofobizada.

En la zona intermedia hay menos turbulencia, donde la burbuja ya cargada asciende a la zona de espumación con menos probabilidad de romperse. A medida que las burbujas

ascienden, arrastran por empuje a las burbujas que se encuentran en la superficie hacia las canaletas de recolección de espuma.

Según el tipo de aireación, estas se clasifican en:

Celdas auto aireadas, en la cual el aire de la atmósfera es succionado por el tubo donde se aloja el eje del rotor, aprovechando el vacío que se genera.

Celdas con aire forzado, las cuales reciben el aire desde un soplador o compresor.

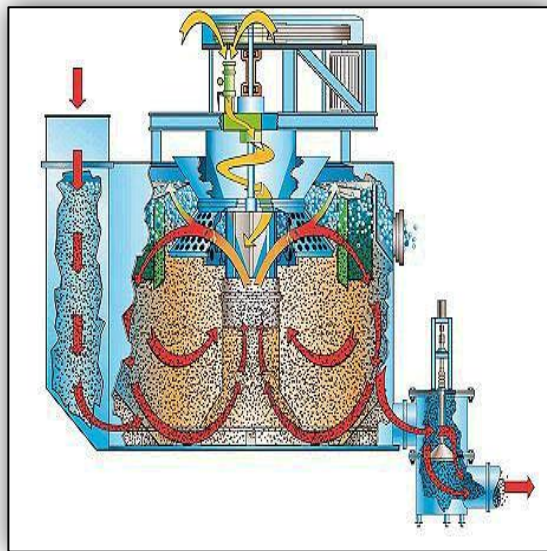


Figura 54

Sistema de alimentación, aireación y control de nivel de pulpa. Celda Wemco

La recuperación de agua aumenta con el flujo de aire. Reducciones en el flujo de aire en una celda afectan la capacidad de la operación.

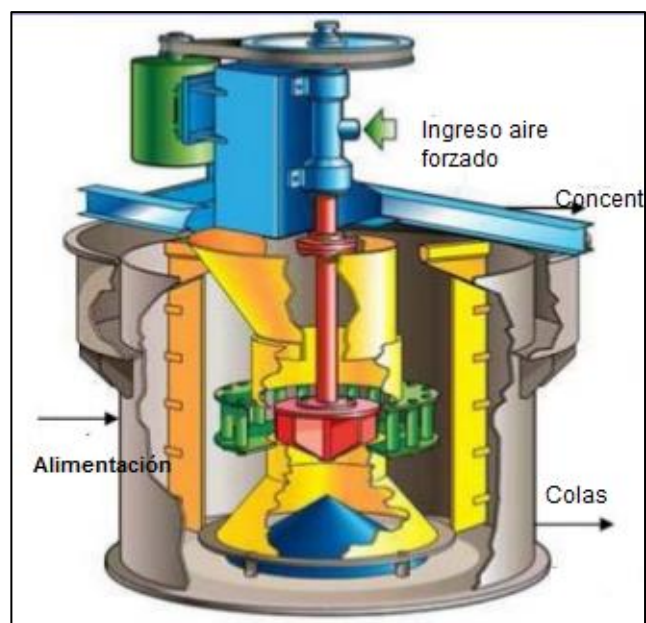


Figura 55

Ingreso de aire forzado en la celda

14.9. Temperatura

Unos pocos minerales muestran un mejoramiento de la eficiencia con un aumento de temperatura en la pulpa, sin embargo en la actualidad cualquier proceso que signifique un consumo de energía adicional tiene serias restricciones para su implementación industrial, por lo que se trabaja en flotación con pulpas a temperatura ambiental.

14.10. Nivel de pulpa

Es una de las variables operacionales más importante y es responsabilidad del operador de flotación. El nivel de pulpa debe asegurar el rebalse continuo de la espuma cargada hacia la canaleta de concentrado, de forma que las partículas valiosas no se pierdan por coalescencia de burbujas. El operador debe saber relacionar el nivel de pulpa con la aireación y la dosificación de reactivo espumante, las cuales aseguran que todas las partículas útiles hidrofóbicas sean recuperadas en el concentrado.

La altura de espuma en la flotación rougher puede comprender entre 8 – 10 pulg (20-25 cm) y corresponde al operador ajustar este parámetro en el panel de control. En la flotación scavenger se aplican alturas de espumas de aproximadamente 8 pulg (20 cm).

Esta variable está relacionada con la profundidad de la pulpa y la profundidad de la espuma en la celda. Debe ser controlada para evitar arrastres en ambas fases.

Las celdas de flotación generalmente son operadas en serie, donde la pulpa pasa de una celda a la otra a través de cajones de traspasos, las que poseen un sistema de control para controlar el nivel de pulpa, lo que se realiza ajustando el punto de control (set point) en un controlador, el cual ajusta la salida de la pulpa en los cajones de traspasos para ajustar el nivel de pulpa (o colchón de espuma), y hacer más eficiente la flotación.



Figura 56

Sistema de control de nivel de pulpa con dardos o tapones en celdas Wemco

15. Tipos de celdas

15.1. Celdas convencionales

La celda mecánica está constituida por un depósito en forma de paralelepípedo o forma cilíndrica, de distintas capacidades. Su característica es tener un agitador mecánico que mantiene la pulpa en suspensión y distribuye el aire. El ingreso de aire para las celdas mecánicas puede realizarse por insuflación forzada o por la acción succionadora del impulsor. La velocidad del impulsor puede ser regulada de acuerdo a la etapa de flotación: Las etapas rougher y scavenger que precisarán de mayores números de revoluciones por minuto que las etapas de limpieza.

Alrededor del eje del rotor se tiene un tubo concéntrico hueco que sirve de conducto para el ingreso del gas al interior de la pulpa, lo que ocurre en el espacio entre el rotor y un estator o difusor, donde es dispersado en pequeñas burbujas (1 - 3 mm).

A este tipo de celdas tenemos: Agitair, Denver, Morococha, Outokumpu, Wenco, etc.

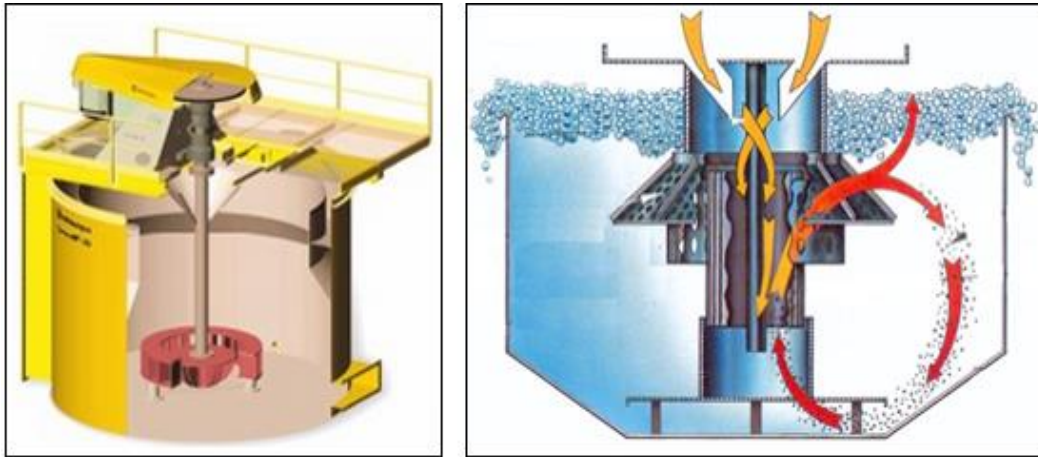


Figura 57
Celdas de flotación mecánicas

Según el tipo de aireación se tiene:

Celdas auto aireadas, que utilizan el vacío creado por el movimiento del rotor para inducir o succionar el aire desde la atmósfera hacia abajo, por el tubo concéntrico alrededor del eje del rotor.

Celdas con aire forzado, que reciben el aire desde un soplador. Las celdas de flotación son operadas usualmente en serie, con la pulpa fluyendo continuamente de una celda a la siguiente a través de traspasos. Al final de cada grupo de celdas se tiene una compuerta que se utiliza para controlar el nivel de la pulpa.

El tamaño y número de celdas se ajusta al flujo y flotabilidad de las partículas, entre otras características de la pulpa, de manera de compatibilizar los requerimientos de recuperación y calidad del concentrado.

Por ejemplo, un banco de 12 celdas mecánicas podría tener las siguientes configuraciones, de acuerdo a como se agrupan las celdas: 3-3-3-3; 2-2-2-3-3, etc.

En un banco con muy pocas celdas, la eficiencia de la flotación baja considerablemente, afectando la recuperación del mineral útil.

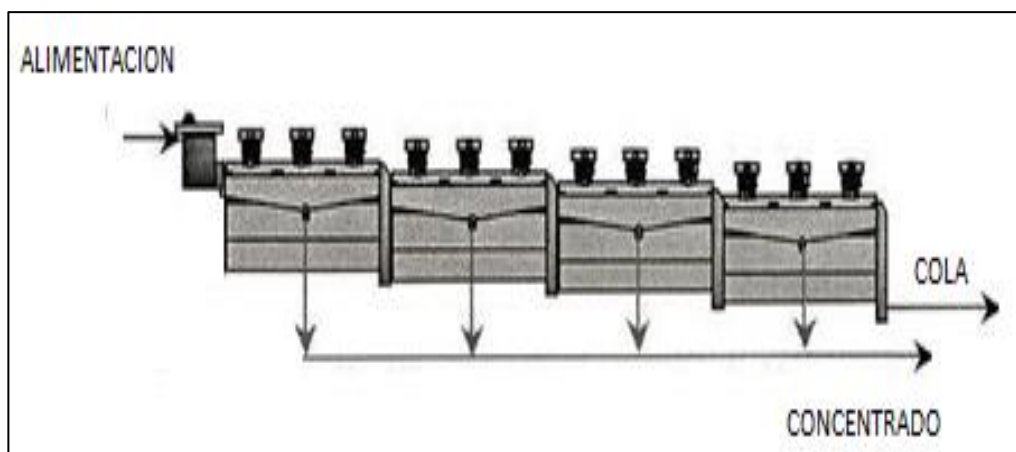


Figura 58

Banco de 12 celdas de flotación con una configuración 3-3-3-3.

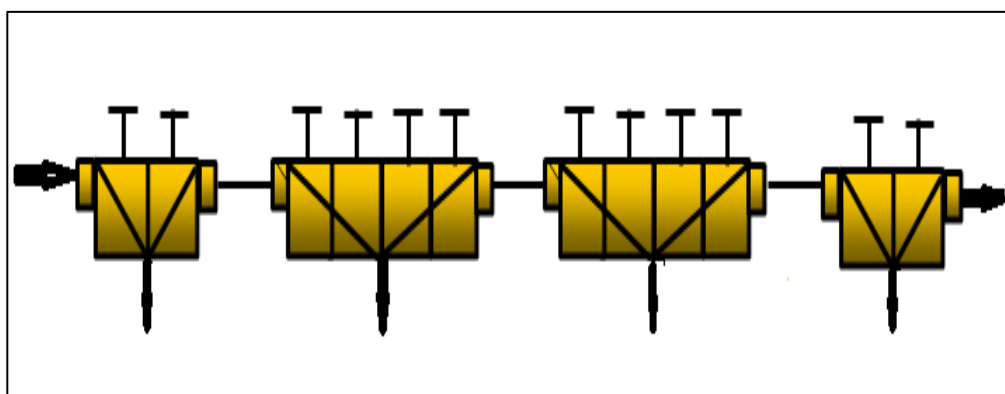


Figura 59

Banco de 10 celdas de flotación con una configuración 2-4-4-2

15.2. Componentes mecánicos de una celda de flotación

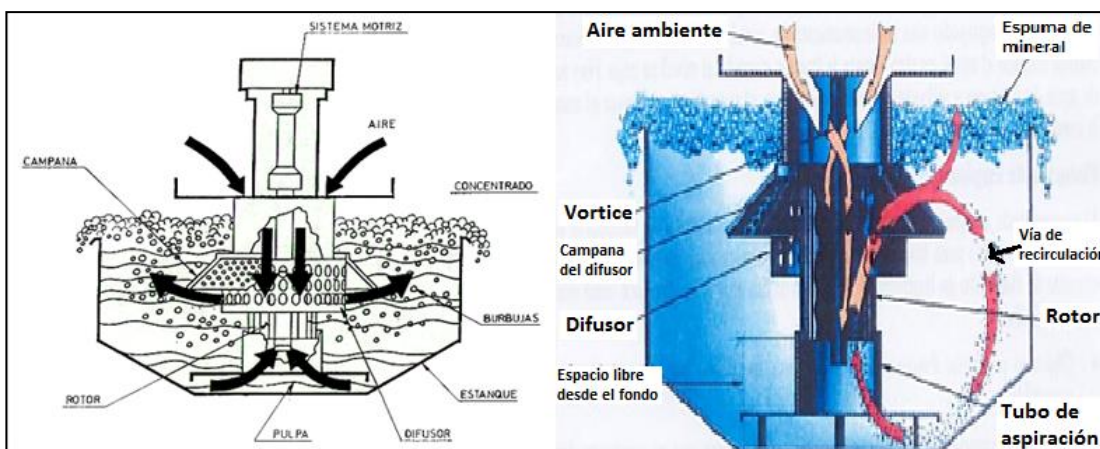


Figura 60
Celda de Flotación Wemco rectangular.

Las celdas mecánicas de flotación cilíndricas son estanques que contienen un mecanismo agitador. El mecanismo del agitador ayuda a suspender los sólidos y a dispersar el aire en la pulpa. Las celdas son de forma cilíndrica y se colocan en filas que contienen uno o más grupos de celdas (bancos).

La pulpa fluye en serie por todas las celdas de la fila. La pulpa entra en el cajón de alimentación, luego a la celda en el primer banco y a través de los cajones de unión al próximo banco de la fila, cada cajón de unión cuenta con una válvula de dardo. La pulpa sale de la última celda en el último banco a través de una o más válvulas de dardo hacia un cajón de descarga o de *colas*. Las válvulas de dardo de los cajones de unión y del cajón de colas, controlan el nivel de pulpa en el banco anteriormente a estos.

Grandes celdas cilíndricas se usan porque es estructuralmente más barato. Para producir y hacer que las burbujas entren en contacto con las partículas de minerales de la pulpa, las celdas Baker-Hughes usan a un agitador mecánico (o *rotor*) y un dispersor estacionario para mezclar eficientemente las burbujas de aire, sólidos y líquidos en el interior de la celda de flotación. El rotor tiene forma de estrella. El aire es arrastrado (auto-inducido) en la pulpa a través de un ducto vertical del mecanismo por la acción del rotor.

La acción de mezclado del rotor y del dispersor crean cuatro zonas dentro de la celda de flotación: Una zona de circulación de pulpa, una zona de mezcla de aire y pulpa, una zona de separación y una zona de espuma. La acción de bombeo del rotor arrastra la pulpa del fondo de la celda, sube por el tubo de aspiración y sale a través del dispersor. A medida que el rotor desplaza la pulpa, el aire del ducto vertical es inducido en la pulpa por los

bordes de arrastre de las aspas del rotor. Las burbujas creadas en la zona de mezcla se levantan hacia la parte superior de la celda llevando el mineral de cobre.

En la parte superior de la celda se forma una espuma de varios centímetros de profundidad que contiene minerales de cobre, pero también algo de ganga atrapada entre las burbujas. Parte de esta ganga tiene la oportunidad de caer con la pulpa mientras el agua se separa de la espuma, pero gran parte se queda en la espuma.

Se usan canaletas periféricas y radiales para recolectar la espuma. Posee un cono invertido que está conectado al ducto vertical, con la finalidad de empujar y mejorar el transporte de las espumas a las canaletas de recolección. La espuma fluye por encima del labio de la celda de la flotación hacia las canaletas que encauzan la espuma hacia una cañería de descarga única.

Un tubo de aspiración de forma cónica en el fondo más el rotor de la celda ayuda a la circulación y aumenta la velocidad de la pulpa, evitando que las partículas más grandes sedimenten en el fondo de la celda y formen bancos de arena (conocidos como embancamiento de celda). Al formarse bancos de arena en el fondo de las celdas hay una disminución del volumen efectivo de la celda y como resultado, el tiempo de retención de las celdas disminuye.

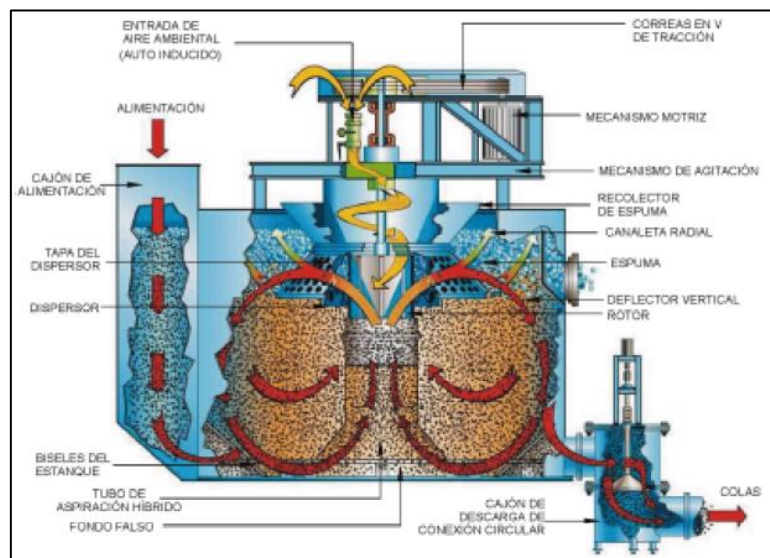


Figura 61
Componentes de una celda cilíndrica

15.3. Zonas en el interior de una celda de flotación mecánica

Recordando que el sistema dentro de una celda de flotación es heterogéneo y que una de las principales funciones del rotor es mantener en suspensión las partículas en el seno del líquido, también hay que considerar que se forma un perfil hidráulico de agitación dentro del equipo que obedece al comportamiento de las partículas sólidas fuertemente influenciado por la existencia de burbujas de aire que le dan una cualidad especial a la dinámica de partículas dentro de un sistema heterogéneo, por lo que es válido suponer la existencia de tres zonas que están relacionadas con el grado de turbulencia y estado del proceso de captación de partículas útiles que puede ser afectado por un cambio en el diseño, parámetro operacional e incluso condiciones externas al proceso como granulometría que es debido a la etapa de molienda. Lo que se ilustra en la figura 62.

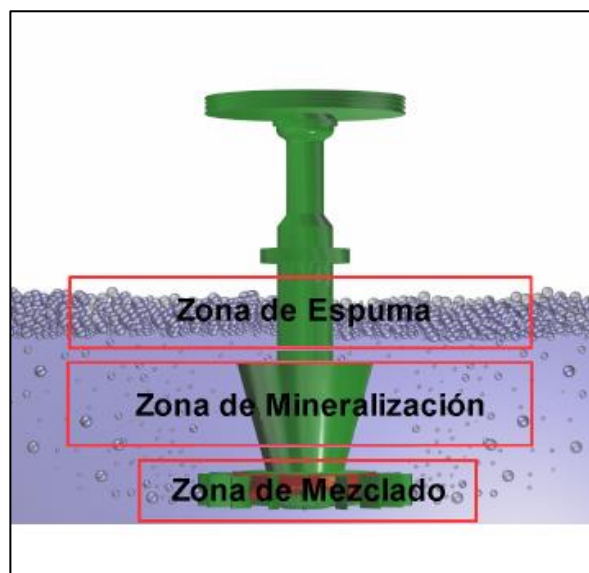


Figura 62
Zonas de agitación en una celda

- *Una zona de alta turbulencia, a nivel del mecanismo de agitación.*
- *Una zona intermedia.*
- *Una zona superior.*

En la zona de alta turbulencia o zona de agitación se producen los choques para la adhesión partícula burbuja. En esta zona deben existir las condiciones hidrodinámicas y fisicoquímicas que favorezcan este contacto.

La zona intermedia se caracteriza por ser una zona de relativa calma, lo que favorece la migración de las burbujas hacia la parte superior de la celda.

La zona superior corresponde a la fase espuma, está formada por burbujas separadas por finos canales de pulpa. La pulpa descarga por rebalse natural, o con la ayuda de paletas mecánicas.

Cuando la turbulencia en la interface pulpa/espuma es alta, se produce una contaminación debido al arrastre significativo de pulpa hacia la espuma.

En su desplazamiento vertical, la burbuja va siendo menos estable, adelgazando sus paredes, con lo que se crea un flujo de agua que retorna a la pulpa y arrastra consigo parte de las partículas que se encuentran en los canales no adheridos a las burbujas. Esta acción limpiadora depende de la altura de la zona de espuma y de sus propiedades.

Las funciones más importantes de las celdas de flotación son:

- Mantener todas las partículas, aún las más gruesas o las más densas, en suspensión dentro de la pulpa. Para conseguir lo anterior, la pulpa debe ser mezclada o sometida a circulación dentro de la celda a altas velocidades, de modo de superar las velocidades de sedimentación de las partículas más gruesas.
- La aireación, que involucra la diseminación de finas burbujas de aire dentro de toda la celda.
- Promover la colisión entre las partículas de mineral y las burbujas de aire, con la finalidad de permitir la adhesión selectiva y el transporte de las partículas de mineral deseado en la columna de espuma.
- Mantener la pulpa en condiciones de quietud, inmediatamente debajo de la columna de espuma. Las celdas se diseñan de modo de prevenir la turbulencia en las cercanías de la espuma, puesto que produce una pérdida de estabilidad de la espuma y baja la recuperación.
- Proveer un eficiente transporte de la pulpa alimentada a la celda y de la salida del concentrado y del relave desde el circuito.
- Proveer un mecanismo de control de: la profundidad de la pulpa y la profundidad de la columna de la espuma; la aireación de la celda e idealmente del grado de agitación de la pulpa.

Actividad N° 7

Operación en celdas de flotación convencional

Introducción a la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, deberán observar y luego operar una celda unitaria convencional de flotación, sin pulpa para que puedan observar las condiciones mecánicas, y observar cómo influyen los distintos parámetros en la operación de una celda.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la operación y componentes de un equipo de flotación de minerales.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar condiciones mecánicas de las celdas de flotación y sus equipos auxiliares, para detectar desperfectos o anomalías.

Verificar operación de las celdas de flotación y equipos auxiliares. Para corregir y detectar variables o parámetros fuera de rango.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de la flotación, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 25

Materiales y Recursos.

1 Peachímetro.

1 Equipo de flotación convencional por grupo de participantes

1 Equipos de flotación columnar por grupo de participantes

2 Probetas 1000 cc por grupo de participantes.

4 Baldes por grupo de 20 lt c/u.

2 Picetas de 1000 cc por grupo de participantes.

Agua.

Espumante.

1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante.

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de la medición de porcentaje de sólidos.

2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.

3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.

4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 63

Elementos de protección personal obligatorios

Desarrollo de la actividad.

La siguiente actividad consiste en verificar las condiciones de funcionamiento de la celda convencional de flotación, los beneficios del aire y reactivos en el proceso.

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad.

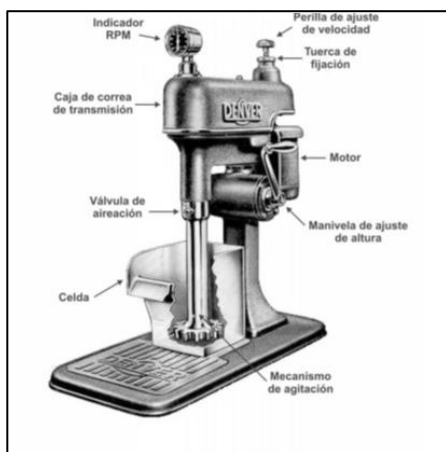


Figura 64

Celda Denver

1. El participante deberá verificar que los mecanismos de agitación y el sistema de aire del equipo de flotación se encuentren operativos.
2. Verificar que la celda unitaria esté limpia y seca.

3. El participante debe medir el volumen de la celda, agregando agua dentro de la celda con probeta hasta la marca correspondiente al llenado con pulpa, estando la celda fuera de la máquina. Esta marca corresponde al nivel del volumen de pulpa. Anotar dato obtenido.
4. El participante deberá verificar de que el sistema de agitación de la celda se encuentre desconectado del enchufe y deberá realizar prueba de energía cero.
5. Una vez verificado que el equipo de flotación está sin energía, el participante debe medir el diámetro del rotor y el estator.
6. Agregar agua a la celda hasta completar el volumen de pulpa medido en el punto 3.
7. Chequear pH del agua dentro de la celda.
8. Sumergir el sistema de agitación (rotor) del equipo en la celda con agua.
9. Cerrar la válvula del paso de aire a la celda.
10. Conectar eléctricamente la máquina de flotación.
11. Encender el equipo para observar el tipo de agitación que se presenta.
12. Regular la velocidad de agitación de la celda en 900 rpm. Observar la agitación del sistema.
13. Subir la velocidad de agitación de la celda a 1200 rpm.
14. Abrir el paso de aire a la celda y dejar un flujo de 5 litros/minuto. Observar el tamaño de las burbujas y como llegan a la superficie.
15. Cerrar la válvula del paso de aire a la celda.
16. Agregar 4 gotas de MIBC a la celda, sin aire. Observe como cambia la turbidez del medio. Anotar observación.
17. Abrir la válvula del paso de aire y ajustar flujo en 5 lt/min. Observar el tamaño de las burbujas y como llegan a la superficie.
18. Cerrar el paso de aire.
19. Agregar cal sólida hasta llegar a pH 11, medido con el instrumento peachímetro. Anotar observación.
20. Detener el motor del equipo.
21. Desconectar eléctricamente la máquina.
22. Sacar el rotor de la celda.
23. Vaciar la celda.
24. Dejar limpia y ordenada en el área.
25. Anotar y discutir sus observaciones.

Cierre de la Actividad.

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases las mediciones realizadas, observaciones efectuadas y las conclusiones obtenidas.

El participante deberá comprender la importancia del ajuste correcto del pH, el efecto del reactivo espumante en la burbuja de aire, la velocidad de agitación y flujo de aire en la

celda de flotación de minerales, además de entender cómo funcionan los componentes en el equipo. Cualquier variación en los parámetros, genera pérdidas productivas importantes.

Es de suma relevancia también, el control de las dosificaciones de reactivos, control de pH y dosificación de aire para formar espumas parejas.

16. Celda columnar

En la flotación columnar, como en las celdas convencionales, las partículas de mineral hidrofóbicas son adheridas a las burbujas, las cuales ascienden y son movidas como concentrado; pero a diferencia de las celdas de flotación convencional, las celdas columnar no usan sistema de agitación mecánico para suspender las partículas y dispersar el aire, esto las hace más eficientes energéticamente y también en mantenimiento mecánico. La pulpa de alimentación entra a una corta distancia de la parte superior de la celda. Dentro a pulpa encuentra una corriente de aire ascendente y una corriente descendente del agua de lavado. El concentrado rebosa por la parte superior de la celda, mientras que la cola es descargada por el fondo. El aire es introducido por la parte inferior de la celda columna mediante generadores. Estos generadores pueden ser hechos de varios tipos de material y

diferentes diseños con el objeto de producir pequeñas burbujas de aire. El agua de lavado es alimentada mediante ducha colocada en la parte superior de la celda.

La columna de flotación se ha constituido en uno de los desarrollos más destacados de los últimos tiempos en el campo de la concentración de minerales. Las celdas columna resultan especialmente atractivas en circuitos de limpieza, ya que es posible efectuar en una sola etapa, varias de estas etapas que anteriormente se realizaban en celdas mecánicas convencionales. Esto hace posible el uso de circuitos más simples y fáciles de controlar.

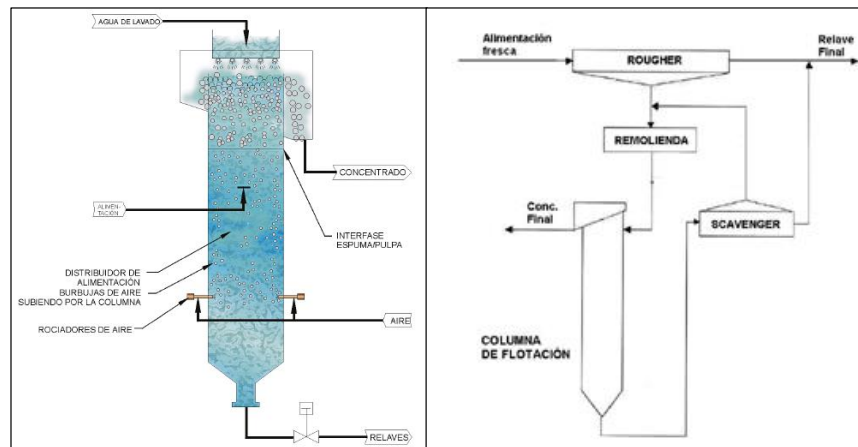


Figura 65
Celda de flotación columnar

Típicamente tienen una altura de 9 a 15 m (la gran mayoría del orden de 13 m) y están compuestas de secciones cuadradas o rectangulares, con lados comúnmente de 1 m. Siendo normal el combinarlas en una misma estructura de 4 -16 unidades (secciones de 1 m²).

16.1. Zonas de separación

En las columnas de flotación la alimentación es inyectada a aproximadamente 2/3 de altura de la columna, el concentrado sale por la parte superior de la celda, mientras que la cola o relave se recoge por la parte inferior de la columna.

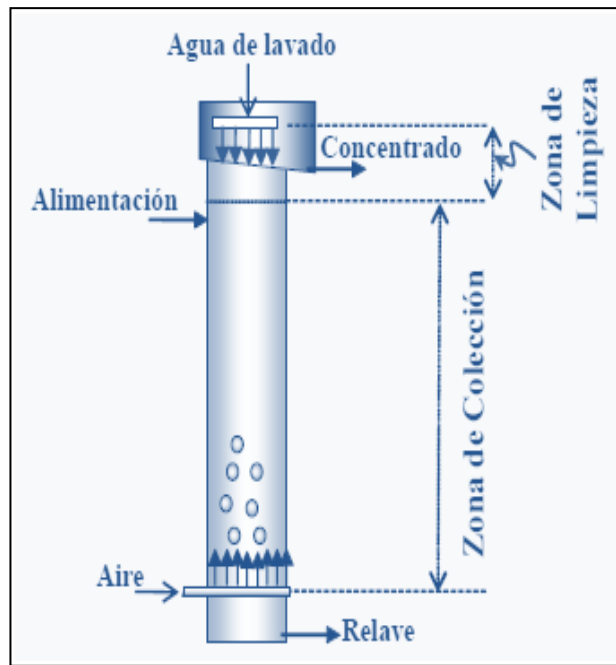


Figura 66
Zonas de una celda de flotación columnar

Básicamente, la columna de flotación consiste de dos zonas:

- a) La zona de colección también conocida como zona de recuperación.
- b) La zona de limpieza sobre la interface (también conocida como zona de espuma).

En la **zona de colección**, las partículas de la suspensión de alimentación son conectadas en contracorriente con las burbujas producidas por un distribuidor de burbujas que se encuentra en el fondo de la columna. Las partículas hidrofóbicas colisionan con las burbujas, se unen a ellas y son transportadas a la zona de limpieza. Las partículas hidrofílicas y menos hidrofóbicas son removidas por el fondo de la columna.

En la **zona de limpieza** se agrega agua cerca del tope de la espuma, lo que provee un flujo neto de líquido descendente llamado *Bias positivo*. La existencia de un bias positivo previene el arrastre hidráulico de partículas finas al concentrado. La columna ha probado ser particularmente atractiva en aplicaciones de limpieza y puede alcanzar en una sola etapa aumentos de ley del concentrado comparables al de varias etapas ejecutadas en celdas mecánicas, a menudo con mejoras en la recuperación.

Hay tres aspectos en el diseño que distinguen las columnas de flotación de las celdas mecánicas:

- *El agua de lavado (adicionada al tope de la columna).*
- *La ausencia de agitación mecánica.*
- *El sistema de generación de burbujas de aire.*

16.2. Operación de una celda de flotación columnar

La columna de flotación es una celda de flotación tipo cilíndrica, se caracteriza básicamente por sus dimensiones, su largo en varias veces mayor que su diámetro, son instaladas verticalmente o en forma de columna. En estas celdas (como en la celda convencional descrita anteriormente) también se usan espumantes, colectores y aire para recolectar partículas minerales de la espuma formada en la superficie de la pulpa.

La alimentación es distribuida cerca de la parte superior de la columna de flotación y a medida que desciende a través de la columna se contacta con burbujas de aire finamente dispersas que ascienden desde el fondo. Las burbujas de aire ascendentes atraen y atrapan el mineral que está flotando. Las partículas de ganga sedimentan en el fondo y se descargan a través de las tuberías de colas.

Una capa de espuma de 50 a 75 cm de altura, se forma en la parte superior de la columna y rebalsa hacia la canaleta colectora de concentrado. El agua de lavado se distribuye sobre la espuma. Los principales parámetros de operación en una columna son altura de espuma, flujo y distribución del agua de lavado, flujo y distribución de aire.

Las columnas de flotación tienen varias ventajas sobre las celdas de flotación convencionales. Ocupan menos área y su costo de mantenimiento y de operación son menores. Debido a que no hay partes móviles que entren en contacto con la pulpa, la falta de agitación produce condiciones de trabajo de flotación que aumentan la selectividad y recuperación de partículas finas. También en los resultados metalúrgicos obtenidos han demostrado ser mejores que los equipos de flotación convencional. Una etapa de flotación en columna puede remplazar a dos etapas de limpieza convencional y de re-limpieza.

Agua de lavado. La clave de la operación de una columna de flotación es el agua de lavado que se distribuye en la parte superior de la columna. Como las burbujas forman la capa de espuma en la superficie, un flujo constante de agua pasa entre ellas.

Primero, el agua de lavado saca las partículas de ganga débilmente atraídas o atrapadas simplemente por las burbujas. Luego, el agua de lavado desplaza el agua que acarrea la ganga que ingresó en la columna. Esta agua está sucia, es decir, acarrea partículas de ganga

muy fina. Con tasas de flujo de agua de lavado suficientemente altas, ésta desplaza al agua sucia a medida que va fluyendo hacia abajo, en contra corriente con la capa de espuma.

Profundidad de espuma (altura o colchón de espuma). Para lograr el objetivo de limpiar el concentrado, es importante mantener una altura de espuma apropiada. Si la espuma es muy alta, todas las burbujas se rompen antes que alcancen la superficie de la columna, obteniéndose una baja recuperación de mineral de cobre. Para que la columna sea totalmente efectiva, la profundidad de la espuma debe mantenerse dentro del rango entregado por los metalurgistas, con el mínimo de variabilidad. El nivel es muy difícil de controlar en forma manual y es mejor realizar este control utilizando el controlador automático.

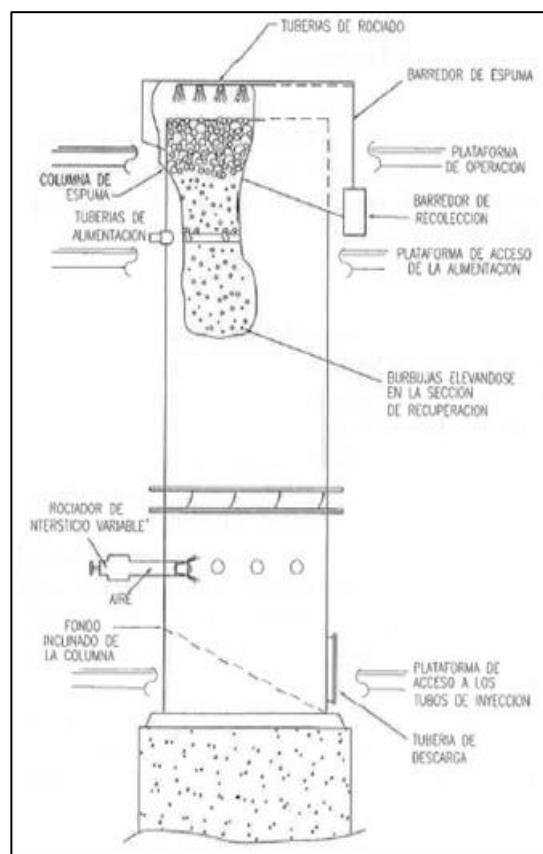


Figura 67
Componentes de una columna de flotación

Dispersión de aire. En el sistema de dispersión de aire de Minnovex, las burbujas son generadas usando tubos insertos horizontalmente al interior de las columnas. Estos tubos son llamados rociadores o alternativamente tubos de inyección. Los rociadores se disponen equidistantes alrededor de la columna y entran a un costado de la celda de columna. El

largo de los rociadores varía en diferentes lugares para asegurar una distribución equitativa de las burbujas dentro de la columna.

Se suministra aire presurizado al manifold que rodea la columna. Las burbujas de aire se forman cuando el aire sale al tubo a través del anillo. La apertura del anillo es ajustada manualmente usando la manilla ubicada al final del rociador. Girando la manilla en sentido horario se incrementa la apertura del anillo, permitiendo un flujo de aire más alto al interior de la columna.

La figura 69 ilustra una de las espitas del rociador a un costado de celda de columna. La figura 70 ilustra una sección transversal de la instalación de un rociador en la celda de columna.

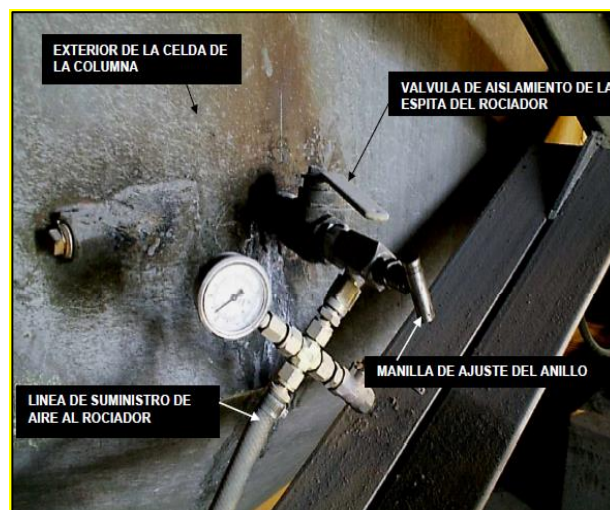


Figura 68
Instalación externa de un rociador en una celda columnar

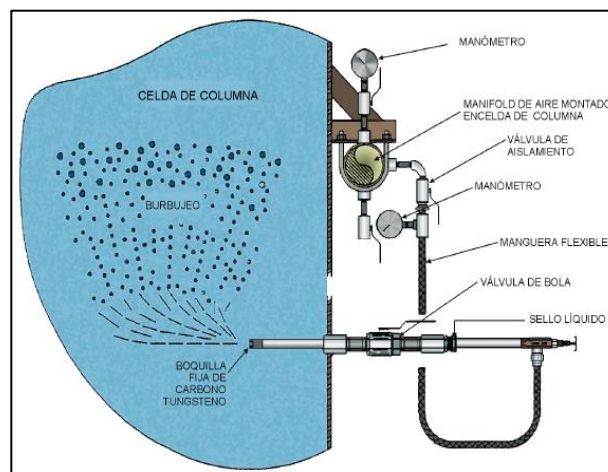


Figura 69

Componentes de un rociador en una celda columnar

Las variables operacionales más importantes de una columna de flotación son las siguientes:

- *Flujo de aire.*
- *Agua de lavado.*
- *Altura de la espuma.*
- *Tiempo de residencia de la pulpa.*
- *Porcentaje de sólidos en la alimentación.*

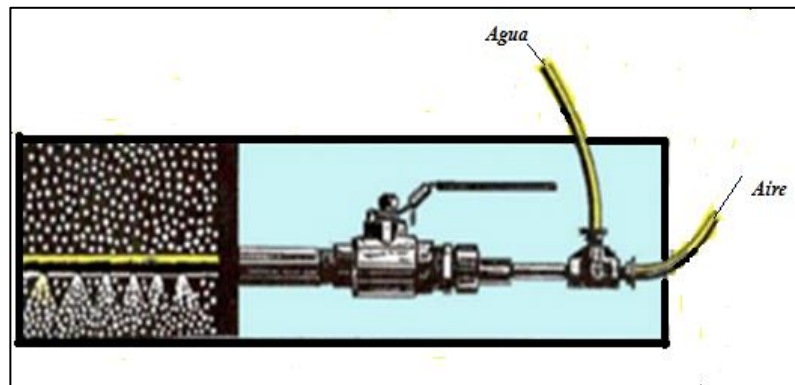


Figura 70

Tubo de inyección de agua y aire atomizados

16.3. Celdas neumáticas

Son máquinas que no tienen impulsor mecánico, la pulpa es agitada por aire comprimido. Estas celdas originalmente son tanques rectangulares con tuberías de difusión de aire instaladas en el fondo de la celda. La celda columna se considera también como celda neumática; estas celdas funcionan con sistemas de flujos en contracorriente; se tiene un flujo ascendente de burbujas generales en forma continua, desde el fondo descendente de partículas sólidas en la pulpa.

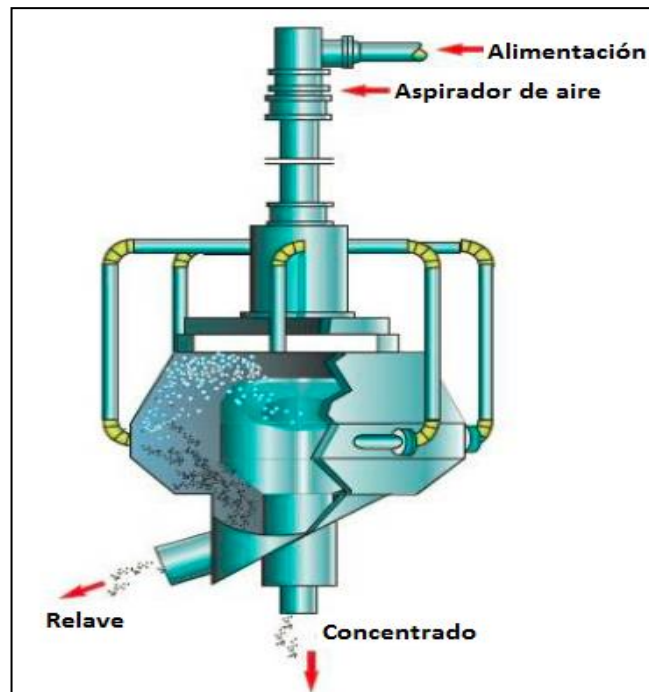


Figura 71
Celda neumática con inyección de aire natural

Actividad N° 8

Operación en celdas de flotación columnar

Introducción a la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, deberán observar y luego operar una celda columnar de flotación, sin pulpa, para que puedan observar las condiciones mecánicas, y observar cómo influyen los distintos parámetros en la operación de una celda.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la operación y componentes de un equipo de flotación de minerales.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar condiciones mecánicas de las celdas de flotación y sus equipos auxiliares, para detectar desperfectos y/o anomalías.

Verificar operación de las celdas de flotación y equipos auxiliares, para detectar variables o parámetros fuera de rango y corregirlas.

Chequear dosificación de reactivos en el proceso, de acuerdo a procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de la flotación, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | |
| Taller de trabajo | • |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | |

Tabla 26

Materiales y Recursos.

- 1 Peachímetro.
- 1 Equipos de flotación convencional por grupo de participantes.
- 1 equipos de flotación columnar por grupo de participantes.
- 2 Probetas 1000 cc por grupo de participantes
- 4 Baldes por grupo de participantes de 20 lt c/u.
- 2 Picetas por grupo de participantes.
- Agua.
- Espumante.
- 1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante.

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de la medición de porcentaje de sólidos.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 72

Elementos de protección personal obligatorios

Desarrollo de la actividad.

La siguiente actividad consiste en verificar condiciones de funcionamiento de la celda columnar de flotación, los beneficios del aire y reactivos en el proceso.



Figura 73

Celda columnar de pruebas metalúrgicas

En esta parte de la actividad se le entrega al grupo de trabajo una celda columnar desarmada con su bomba dosificadora.

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad:

Armado de celda columnar

1. Verificar que el estado de herramientas, componentes de la celda columnar, sistema de aireación desde compresor de aire y bomba peristáltica estén en buen estado y operativos.
2. Verificar que la columna flotación esté limpia y seca.
3. El participante deberá unir los cuerpos de la celda por las uniones americanas, hasta verificar que quedó bien unida. Hay que asegurarse que las uniones americanas estén con el o´ring o sello de goma
4. Ubicar o posicionar la celda verticalmente en un pedestal o estructura de soporte, verificando que quede bien asegurada.
5. Verificar estado del tubing o manguera de aire, la que se acopla en la línea de aire compresor y se conecta a la celda.
6. Unir tubing de aire a la base de la columna.
7. Conectar manguera de bomba peristáltica a la columna de flotación (salida bomba).
8. Conectar manguera desde balde pulpa alimentación a la bomba peristáltica (entrada bomba).
9. Conectar manguera desde canaleta de concentrado de la celda a un balde de 20 litros limpio y seco.
10. Conectar manguera de la cola celda columnar a un balde limpio y seco.
11. Conectar manguera desde balde pulpa alimentación a la bomba peristáltica.

Pruebas hidráulicas de la celda columnar armada.

12. El participante deberá cerrar completamente la válvula de la cola o relave, que se encuentra en el fondo de la celda.
13. Llenar con agua el balde de la bomba peristáltica, dar partida a la bomba desde botonera en terreno y bombear agua hacia la celda columnar, hasta completar $\frac{3}{4}$ del nivel de la celda.
14. Inyectar aire a la celda lentamente, regulando flujo y presión para no provocar implosiones violentas al interior de la celda.
15. Si no se observa fuga de aire o líquido del sistema, agregar más agua a la columna con la bomba peristáltica y abrir válvula de cola o de descarga de manera que el nivel del agua se mantenga constante (sin rebosar).
16. La velocidad de la bomba también se mantiene constante.
17. El flujo de la cola o relave de la celda se devuelve o recircula al balde de alimentación a la bomba.
18. Mantener el flujo de aire y observar el tamaño de la burbuja y formación de colchón de espuma en la superficie. Anotar observación.
19. Disminuir y aumentar flujo de aire desde válvula reguladora y observar espuma generada. Anotar observación.

Medición del pH y adición de espumante en el sistema (tensión superficial)

20. Agregar 1 gramo de cal al balde de cabeza (alimentación bomba) y medir el pH del agua que sale por la cola de la columna y que retorna al balde de cabeza. Anotar observación.
21. Continuar agregando cal hasta que el pH final sea 11.
22. Agregar 4 gotas de reactivo espumante al balde de cabeza.
23. El participante deberá observar la variación en la distribución y tamaño de la burbuja al interior de la celda. Anotar observación.
24. Aumentar el flujo de aire para formar en la superficie de la celda un colchón estable de burbujas, sin llegar a rebosar. Anotar observación.
25. Una vez finalizada la actividad, el participante deberá dejar materiales limpios y ordenados. Realizar **housekeeping**.

Cierre de la Actividad.

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases las mediciones realizadas, observaciones efectuadas y las conclusiones obtenidas.

El participante deberá comprender la importancia del ajuste correcto del pH, el efecto del reactivo espumante en la burbuja de aire, la velocidad de agitación y flujo de aire en la

celda de flotación de minerales, además de entender cómo funcionan los componentes en el equipo. Cualquier variación en los parámetros, generara pérdida productiva importante.

Es de suma relevancia el control de las dosificaciones de reactivos, control de pH y dosificación de aire para formar espumas parejas.

17. Circuitos de flotación

Generalmente no es posible recuperar el mineral valioso y eliminar la ganga en forma simultánea en un sólo paso, por lo que se adoptan circuitos para el tratamiento de los minerales.

Circuitos. Es el término que se emplea para expresar los caminos que siguen las corrientes de flujo principal de la pulpa que se va empobreciendo y la de los géneros que se van concentrando con objeto de aumentar la diferencia de valor entre ellos. Todos los circuitos de flotación pueden referirse a dos tipos básicos de circuitos de flotación.

Circuitos Simples

Son aquellos que en su operación sólo necesitan de la flotación para lograr la separación de los minerales valiosos, para lo cual se pueden establecer varias etapas de flotación.

Circuitos Complejos Son aquellos correspondientes a otras formas de operación que necesita la flotación y otros procedimientos diferentes, tales como remolienda; deslamado; precipitación, etc. para lograr la separación de los compuestos valiosos de la ganga. La selección del tipo de circuito de flotación depende, principalmente, de la característica de diseminación del mineral valioso en la mena y la capacidad del conjunto a aglomerarse durante la trituración.

17.1. Tipos de circuitos

Los circuitos de flotación constan de varias etapas, en la flotación de minerales de cobre se utilizan las etapas rougher, cleaner, cleaner-scavenger y recleaner.

Es importante recordar que para el caso de la flotación de molibdeno es necesario considerar dos etapas marcadas en la extracción de Molibdeno como lo es la flotación colectiva de Cu-Mo en circuitos de flotación destinados a recuperar la mayor cantidad de cobre, pero además a esto concentrados finales producidos tienen una alta composición de Mo que es conveniente separar para ello esta pulpa pasa a otro circuito de flotación

llamada selectiva de Mo, la cual está compuesta por un circuito propio de flotación que busca aumentar la concentración de molibdeno, separándolo de sus impurezas utilizando los diferentes tipos de circuitos de flotación. El diagrama de la figura muestra un resumen de lo anteriormente discutido.



Figura 74

Diagrama resumen de un circuito de flotación colectiva – selectiva de molibdeno.

Esta flotación de molibdeno se realiza en etapas (llamados circuitos), cuyos objetivos involucran una alta recuperación de la especie útil con la mayor selectividad posible. Para cumplir con estos objetivos los circuitos están divididos para que se consigan esos propósitos, y en estas etapas las celdas de flotación están ordenadas en bancos de celdas y en columnas de flotación. Así, en las plantas concentradoras de molibdeno existe el banco de celdas rougher, las celdas columnar de la etapa cleaner, el banco de celdas cleaner-scavenger, etc.

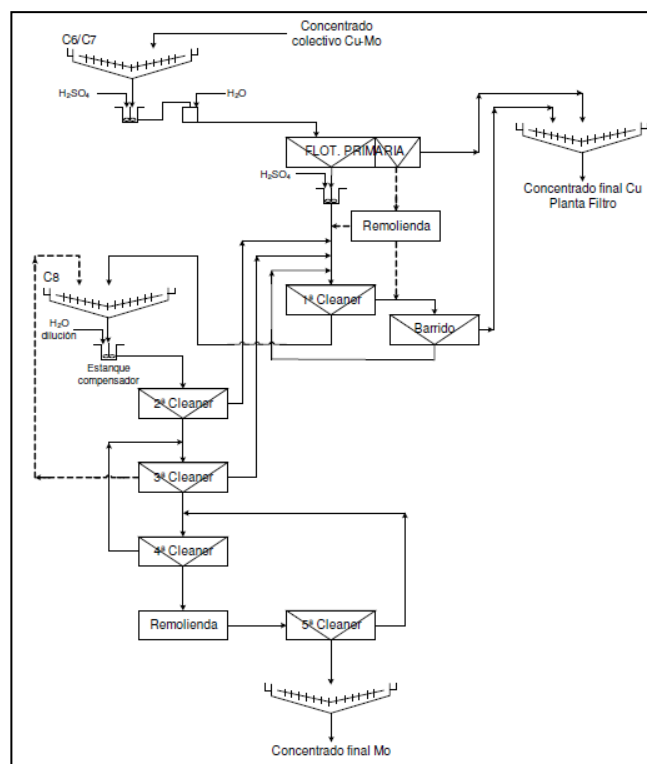


Figura 75

Diagrama de flujo simplificado de una planta de molibdeno con remolienda de concentrados rougher y cleaner.

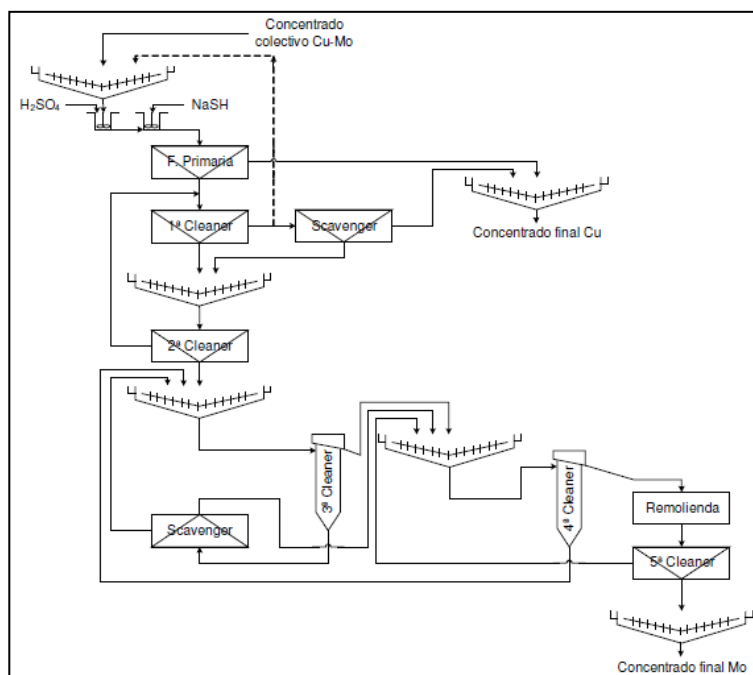


Figura 76

Circuito de Flotación de una planta de Moly con remolienda de concentrados cleaner.

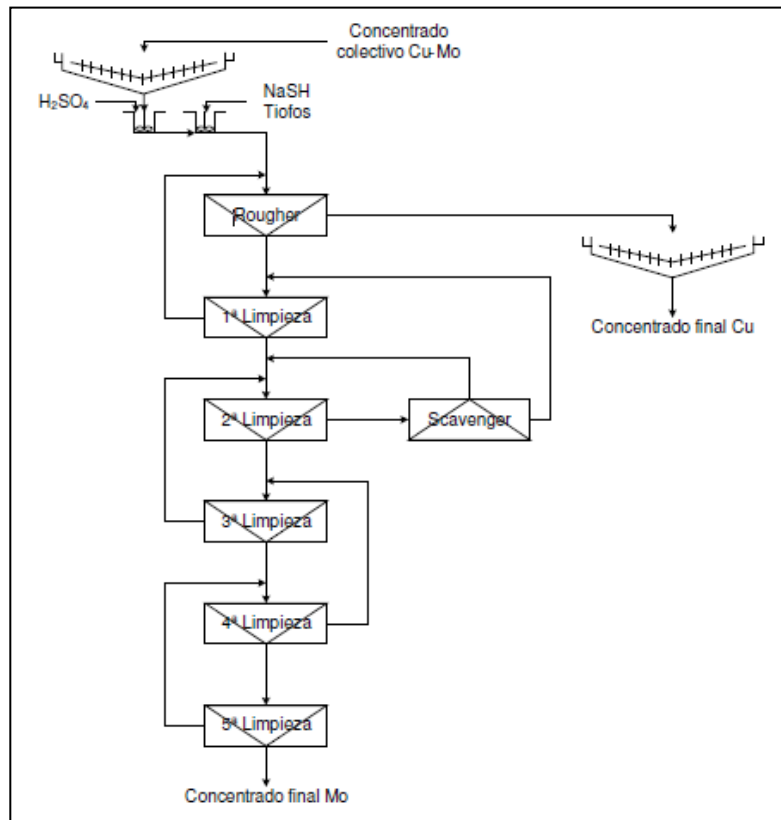


Figura 77

Circuito de flotación de una planta de molibdeno sin remolienda

17.2. Flotación rougher

La etapa rougher es la etapa primaria, en ella se logra separar el molibdeno del cobre y otras impurezas por la adición de altas concentraciones de un depresante. Al circuito rougher llega el concentrado final de la flotación colectiva de Cu-Mo proveniente del proceso de flotación de cobre y en algunas oportunidades concentrados de la etapa scavenger o colas de la etapa cleaner. Las colas de la etapa rougher son colas finales del proceso que contienen un alto porcentaje de cobre.

El circuito rougher actualmente se diseña con celdas convencionales de 300 pies³ a 500 pies³. Se ha observado en terreno que las celdas de aire forzado dan mejores recuperaciones de Mo que las celdas auto-aspirantes. Cuando se emplea nitrógeno como gas de flotación, se pueden usar celdas normales, es decir, abiertas. Sin embargo, cuando se flota con aire, o a pH 6.5 donde se genera H₂S (g), es imprescindible usar celdas selladas herméticas.

Las celdas herméticas que operan con aire, disponen de un sistema de recirculación del aire enrarecido del interior de la celda, el cual es nuevamente usado como gas de flotación. En otras palabras, emplean aire con bajo contenido de oxígeno. Esto disminuye significativamente la vía de degradación del NaSH por oxidación catalítica, disminuyendo su consumo.

17.3. Flotación scavenger

La etapa Scavenger o de barrido tiene como objetivo aumentar la recuperación de las especies útiles desde las colas de la etapa rougher o cleaner. Producen colas finales del proceso y un concentrado de baja ley que puede juntarse a la alimentación del proceso de flotación, o a una etapa de remolienda y su posterior tratamiento.

17.4. Flotación cleaner

Los circuitos cleaner o de limpieza, junto a los circuitos recleaner, tienen como objetivo aumentar la ley de los concentrados rougher molibdeno, a fin de alcanzar un producto que cumpla con las exigencias del mercado, o bien, de la etapa del proceso siguiente a que será sometido el concentrado. Dado que la etapa cleaner es selectiva, normalmente el concentrado rougher es sometido a una etapa de remolienda previa para alcanzar la mayor liberación posible de las especies útiles antes de alimentarse al circuito cleaner.

En general la primera limpieza se realiza en celdas convencionales de 100 pies³ a 500 pies³. Las siguientes limpiezas pueden ser columnares o celdas convencionales, casi siempre en contracorriente. En esta función, se ha demostrado la utilidad de columnas cortas (aprox. 4m altura). Es muy importante para las plantas de molibdeno una buena estrategia de los circuitos scavenger, los cuales son generalmente con celdas convencionales. Una buena opción es instalar un circuito scavenger para procesar la cola de primera limpieza. También cuando hay varias etapas en columnas, la primera etapa columnar debe disponer de un circuito scavenger, que mejore la recuperación global del conjunto de columnas en contracorriente.

En las plantas concentradoras de Molibdeno se utilizan circuitos cleaner-scavenger, los cuales se alimentan con las colas de la etapa cleaner. En general, el concentrado de la etapa cleaner-scavenger se junta a los concentrados rougher y alimentan la etapa cleaner. Las colas de los circuitos cleaner-scavenger, dependiendo de la ley que posea se juntan a las colas finales.

17.5. Remolienda de concentrados

El concentrado producido en los circuitos de flotación rougher y cleaner contienen partículas de tamaño mediano (mineral de Molibdeno que no se ha liberado de la ganga). Las partículas de concentrado son reducidas de tamaño en el circuito de remolienda. El circuito de remolienda de concentrado generalmente cuenta con molinos de remolienda verticales que operan en circuito cerrado con ciclones de clasificación. El concentrado es clasificado usando los ciclones y las partículas gruesas son molidas en los molinos de remolienda para liberar las partículas portadoras de cobre desde la ganga. Las partículas finas producidas durante la clasificación son enviadas al circuito de flotación de primera limpieza para un mayor beneficio.

Objetivo Primario: Moler las partículas para liberar el mineral. Esto es particularmente importante para las partículas conocidas como medianas, que son partículas no liberadas que contienen mezclas de mineral de hierro, molibdeno y ganga. La molienda fina muele la mayoría de las partículas medianas y separa o libera las partículas con minerales de molibdeno.

Objetivo Secundario: Exponer las superficies frescas de las partículas portadoras de molibdeno para hacerlas más afines con los reactivos de flotación.

Los medios de molienda son agitados mediante un tornillo de doble hélice saliente (o agitador de carga). El material alimentado y el agua ingresan al molino a través de una abertura en la parte superior del molino vertical. Una bomba de recirculación externa al molino proporciona la velocidad de levantamiento predeterminada la cual provoca una clasificación de partículas en la porción superior del cuerpo del molino. La pre-clasificación y el retiro de productos dimensionados reducen la sobremolienda y aumentan la eficiencia. Las partículas pequeñas ascienden mientras que las partículas más grandes son inducidas al medio y molidas.

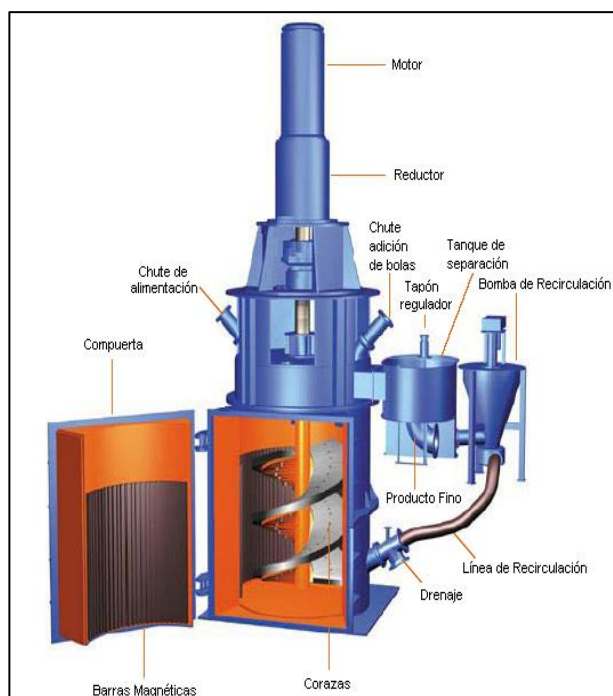


Figura 78
Molino vertical de remolienda de concentrados.

18. Fórmulas básicas del proceso

Los índices de evaluación del proceso de flotación son los siguientes:

Recuperación metalúrgica (R_m): Se define como el porcentaje de materia útil del mineral que es transferido por las operaciones de concentración desde la alimentación del proceso al concentrado. En otras palabras es la razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa del material útil en la alimentación. Se expresa:

$$\%R = \frac{C_c}{F_f} * 100$$

Recuperación en peso: Es la razón entre la masa del concentrado y la masa de la alimentación, y se define como el porcentaje de la razón del peso del concentrado y el peso de la alimentación. Se expresa:

$$\%RP = \frac{C}{F} * 100 \%$$

Razón de concentración: Es la razón entre la masa de alimentación y la masa de concentrado. En términos prácticos, se refiere a las toneladas de mineral necesarias para obtener una tonelada de concentrado. Se expresa como K o R_c .

$$K = \frac{F}{C}$$

Razón de enriquecimiento (Re): Es la razón entre la ley del componente deseado en el concentrado y la ley del mismo componente en la alimentación. Se expresa:

$$RE = \frac{c}{f}$$

Considerando la figura donde se muestran los flujos de alimentación (F), concentrado (C) y relave (T) de un sistema de flotación, haciendo un balance másico se tendrá:

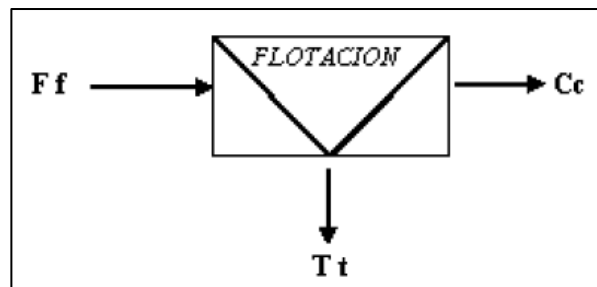


Figura 79
Circuito básico de flotación

1. $F = C + T$ (balance de flujos másicos).
2. $Ff = Cc + Tt$ (balance de finos).
3. $T = F - C$.
4. $Ff = Cc + (F - C)t$.
5. $Ff = Cc + Ft - Ct$.
6. $F(f - t) = C(c - t)$.

$$Rc = \frac{c - t}{f - t}$$

$$Rm = \frac{(f - t)c}{(c - t)f} \times 100$$

Donde F, C y T son los pesos de alimentación, concentrado y relave, respectivamente, mientras que, f, c y t son las leyes del componente útil en la alimentación, concentrado y relave, respectivamente.

19 Reactivos de flotación

La flotación de minerales requiere de la utilización de reactivos de flotación (tenso-activos), los cuales pueden ser colectores o espumantes. Estos reactivos químicos tienen una cabeza polar activa que es capaz de reaccionar con la superficie del mineral y una cadena no polar (apolar) que solo interactúa a través de fuerzas muy débiles, lo que le da como característica principal el ser hidrofóbica.

En un sistema de flotación los reactivos se dividen de acuerdo a la función específica que desempeñan en: colectores, espumantes y modificadores.

Los colectores y espumantes son sustancias orgánicas empleadas generalmente en dosificaciones comprendidas entre 1 a 1000 g/ton de alimentación. Químicamente, son clasificados como surfactantes, es decir, molécula de carácter doble, que consiste de un grupo polar y un grupo no-polar. El grupo polar posee un momento de dipolo permanente y representa la parte hidrofílica de la molécula. El grupo no-polar no posee un dipolo permanente y representa la parte hidrofóbica de la molécula.

Los surfactantes cumplen dos papeles fundamentales en la flotación. Primero, se adsorben en la interface sólido/líquido y actúan como colectores tornando hidrofóbica la superficie de ciertos minerales. Segundo, influyen en la cinética de la adhesión burbuja/mineral, actuando como espumantes. De esta forma el espumante actúa principalmente en la interface líquido/aire, promoviendo la formación de la espuma a través de la disminución de la tensión superficial.

En la flotación selectiva o diferencial de molibdenita se busca inhibir o depresar selectivamente la flotación de los sulfuros de Cu y Fe, sin alterar la flotabilidad natural de la molibdenita. Para esto se requiere de un reactivo químico capaz de destruir el recubrimiento de colector sobre los sulfuros de Cu y Fe.

19.1. Tipos de reactivos

Colector o Promotores: Compuesto orgánico, cuyo papel es hidrofobizar las partículas de mineral útil; estos se adsorben selectivamente en la superficie de los minerales sulfurados, la hidrofobizan, lo que le permite alcanzar mayor estabilidad en la interface sólido-aire, dándose las condiciones para que las partículas de mineral se unan a las burbujas de aire.

Ejemplos de reactivos colectores:

- Xantatos (SF-114).
- Ditionofosfatos (SF-554).
- Xantoformiatos (SF-203).
- Tionocarbamatos (SF-323).
- Diesel (para molibdeno).

Modificadores: Sirven para regular las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentar su selectividad, entre ellos se tienen:

- Reguladores de pH: Proporcionan el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación.
- Depresantes: Destinados a provocar el efecto inverso al de los reactivos colectores para evitar la recolección de otros minerales.
- Activadores: Destinados a provocar el efecto inverso al de los reactivos depresantes para evitar lograr recuperar un elemento depresado.

Ejemplos de reactivos modificadores:

- Cal.
- Ácido Sulfúrico.
- Sulfuro y Sulfhidrato de sodio ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y NaHS).
- Reactivo Nokes o LR-744 (producto de reacción entre $\text{NaOH}/\text{P}_2\text{S}_5$ en razón 1.3).
- Reactivo Anamol-D (producto de reacción entre As_2O_3 (20%) y Na_2S (80%)).

Espumantes: Agentes tensoactivos, dentro de su acción, son capaces de orientarse en la interface líquido-aire, disminuyendo la tensión superficial del agua. Con ello se logra una espuma estable cuyas burbujas no se rompen (no coalescen), lo cual permite la recolección y posterior evacuación de las burbujas cargadas con los minerales valiosos.

Ejemplos de reactivos espumantes:

- Aceite de Pino (AP).
- Metil-Isobutil-Carbinol (MIBC).
- Glicoles (Dow-Froth).

19.2. Almacenamiento y traslado

La zona de tanques de almacenamiento de NaSH posee una alta probabilidad de incendio y explosión debido si los tanques no cuentan con un sistema de captación de sulfuro de hidrógeno y lavado de gases.

La generación de sulfuro de hidrógeno se puede acumular en el tanque y tuberías de suministro de NaSH y producir una reacción exotérmica en contacto con llama o chispa eléctrica. Si el fuego llega las tuberías de suministro de NaSH que viene de los tanques, puede alcanzar a éstos y producir una explosión, esto si no existe un elemento que corte el paso de la llama como en el caso de las válvulas arresta llamas o supresores de llamas.

Asimismo los tanques deben contar con sistema de ventilación como es el caso de las válvulas de presión-vacío para equilibrar el espacio que se deja en el tanque al vaciarlo, sin que se forme una mezcla explosiva.

La zona de almacenamiento de tanques debe contar con un sistema eléctrico a prueba de explosión, esto es motores, cables, tableros y accesorios adecuados, además de un sistema de red contra incendio para el caso de producirse un siniestro de este tipo. Un sistema adecuado que podría complementarse con gabinetes contra incendio (casetas o bocas de incendio equipadas) sería un “sistema fijo de agua pulverizada”, que se emplea generalmente para depósitos para gases y líquidos inflamables.

En caso de producirse un derrame de NaSH en esta zona, es necesario contar con materiales absorbentes como arena, así como solución de peróxido al 3% o de hipoclorito

de sodio diluido con el fin de estabilizar el NaSH y evitar que se produzca sulfuro de hidrógeno. Si el derrame se produce en suelo desnudo, deberá retirarse el material contaminado y disponerse como residuo peligroso.

Se debe tener una losa que sea capaz de contener los rebalses adecuadamente y mantener el orden del área, ya que el NaSH es altamente corrosivo.



Figura 80
Estanques de almacenamiento de NaSH.

La descarga de camiones en los estanques de almacenamiento debe contar con sistema de descarga a tierra por la alta posibilidad de inflación.



Figura 81

Efecto corrosivo del NaSH en sistemas de transporte.

Se debe tener especial cuidado en la mantención de las conexiones y/o fugas del reactivo durante su bombeo, ya que altas concentraciones de sales de NaSH pueden provocar intoxicaciones severas por inhalación y riesgos de incendio por contacto de fuentes de calor.

19.3. Preparación y riesgos asociados

El mayor riesgo de esta zona, es el de producirse una lesión física en el personal debido a las fugas de gas (H_2S) que se generan por el proceso de concentración de molibdeno.

De acuerdo con los datos obtenidos en planta, se puede observar que el dióxido de carbono (CO_2) utilizado en el proceso de concentración de molibdeno reacciona con la humedad del ambiente produciéndose ácido carbónico que al contacto con el NaSH produce sulfuro de hidrógeno (H_2S), esto puede ser corroborado debido a la presencia de sales carbonatadas en el área de trabajo (bridas, juntas y algunas paredes), así como corrosión en algunas partes que son de acero al carbono (tuberías, pernos, tuercas etc.), lo cual de manera indirecta demuestran que el H_2S está presente, cuyas cantidades dependerán de las condiciones de operación, especialmente del pH (cuanto más alcalino mejor).

Otro riesgo importante a tomar en cuenta es el de incendio, debido a la generación de sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas inflamable además de tóxico. Es necesario que se

tomen mediciones de concentración en los puntos de muestreo que realizan los trabajadores, en los cuales las concentraciones pueden llegar a ser importantes sin haber sido detectadas como concentraciones peligrosas por los dispositivos automáticos instalados en planta. Es necesario llevar un estricto control del pH del NaSH.

Hidrosulfito de Sodio

- Formula: NaSH ó NaHS.
- Sinónimos: Bisulfito de sodio, sulfhidrato de sodio.

| CARACTERÍSTICAS | NaSH |
|-------------------------|---|
| Peso molecular | 56,1 |
| Gravedad específica | 1,152 @ 22% de solución 1,376 @ 60% de solución |
| pH de solución | 11 – 12 (fuertemente alcalino) |
| Punto de cristalización | - 15°C @ 22% de solución - 40°C @ 60% de solución |
| Olor característico | Huevos podridos por la generación de H ₂ S |

Tabla 27
Características de NaSH

Sulfuro de Hidrógeno

- Formula: H₂S.
- Sinónimos: Sulfuro de hidrógeno, ácido sulfhídrico, gas hepático.

| CARACTERÍSTICAS | H ₂ S |
|--|-------------------------------|
| Peso molecular | 34 |
| Gravedad específica | 1,54 g/ml en solución @ 0 °C |
| Densidad del vapor (aire = 1) | 1,19 |
| Punto de ebullición | - 60°C |
| Presión de vapor | 20 atm. @ 25 °C |
| Límites de inflamabilidad (% H ₂ S en aire) | Inferior : 4 Superior : 44 |
| Olor característico | Huevos podridos |

Tabla 28
Características del H₂S

19.4. Importancia y dosificación

19.4.1. Depresión por sulfhidrato de sodio

El sulfuro de sodio (Na₂S•9H₂O) y sulfhidrato de sodio (NaHS) son dos formas químicas del mismo producto. El primero es un sólido; mientras que el segundo se provee en soluciones acuosas. Es importante considerar este hecho al momento de comparar dosificaciones en kg/ton, puesto que en ambos casos la especie activa como depresor de flotación es el ión HS⁻.

En general, para conseguir una buena depresión de los sulfuros de Cu y Fe se necesita un potencial redox del orden de -600mV a -700mV en la pulpa.

19.4.2. Adición de reactivo depresor

El NaSH se prepara en estanques con capacidad suficiente para varios días de operación. En la mayoría de las plantas se usa en soluciones de 250 g/l.

La dosis de NaSH típicamente debe estar entre 3.5-4.5 kg/ton. Es preferible un tiempo de acondicionamiento corto, pues la acción del NaSH sobre el recubrimiento de colector es rápida. El reactivo en solución se puede agregar en el cajón distribuidor o directamente en el cajón de alimentación al circuito rougher. Normalmente, se requiere una segunda

adición de NaSH en un cajón intermedio del circuito rougher, para mantener en la pulpa una concentración del depresante que evite la reactivación de la flotación de Cu.

En el caso de usar reactivo Nokes (LR-744), se ha demostrado que requiere un tiempo de acondicionamiento más prolongado, para permitir la adsorción de los compuestos tiofosforados sobre la superficie de los sulfuros de Cu y Fe, por lo tanto se recomienda adelantar su adición, por ejemplo, cajón de descarga de la molienda primaria.

19.4.3. Control del depresante por potencial (Eh)

El control de dosificación del reactivo depresor se hace a menudo por métodos electroquímicos, es decir, utilizando la técnica potenciométrica, midiendo el potencial de un electrodo de Pt (potencial redox); o el potencial de un electrodo Ag/AgS específico al ión HS^- .

La medición redox es posible dado que los depresores empleados son reductores y bajan el potencial de óxido reducción de la pulpa. Por lo tanto, el control de proceso se realiza mediante el potencial Eh, generalmente midiendo Eh en la cola de un circuito.

En el caso del Na_2S el potencial requerido es de -500 a -800 mV (Ag/AgCl), con el Anamol-D se requiere un potencial de -450 a -500mV; y en el caso del LR-744 un potencial entre -100 a -300 mV.

19.4.4. Adición del colector no-polar

Es muy importante usar un colector no-polar para la molibdenita, ya que la flotabilidad natural no es suficiente. Se debe agregar diesel oil o kerosene, en dosis del orden de 200-300 g/ton, con el propósito de mejorar la su flotabilidad.

| Tipo de reactivo depresante, dosis y gas empleado en la flotación selectiva de Mo. | | | |
|--|---|---------------------|------------------|
| Planta de molibdeno | Reactivo depresante | Dosis, Kg/ton alim. | Gas de flotación |
| Codelco Norte | Sulfhidrato de sodio | 6.5 | Nitrógeno |
| El Teniente | Tiofos (Nokes + NaSH) | 8.5 | Nitrógeno |
| Andina | Sulfhidrato de sodio | 5.0 | Aire enrarecido |
| El Salvador | Anamol (NaSH + As ₂ O ₃) | 7.1 | Nitrógeno |
| Los Pelambres | Sulfhidrato de sodio | 5.0 Kg/ton | Nitrógeno |
| Las Tórtolas | Sulfhidrato de sodio | | Aire enrarecido |
| Valle Central | Tiofos (Nokes + NaSH) | ----- | Aire enrarecido |

Tabla 29

Dosis de reactivos utilizados en la industria chilena.

19.5. Riesgos en la manipulación y dosificación de NaSH

Uno de los mayores riesgos en la flotación de molibdeno es la utilización de NaSH que en medio ácido ($\text{pH} < 7$), el gas sulfhídrico (H_2S) que se genera por la reacción química constituye un alto riesgo para la salud de los trabajadores, por esto debe ser estricto el control del pH y, el control del potencial redox en el sistema es vital en estas operaciones.

Mucho mejores resultados se consiguen a pH más bajos en la flotación de molibdenita, como por ejemplo, a pH 6.0 - 6.5 sin embargo el desprendimiento de gases tóxicos de ácido sulfhídrico es muy alto y peligroso, pero por razones ambientales y de seguridad industrial, normalmente se trabaja a pH 8.0 – 8.5. En estos rangos de pH se produce poco desprendimiento de gas sulfhídrico (H_2S), que no constituye una condición de riesgo para las personas.

Dadas las ventajas metalúrgicas (selectividad y cinética de flotación), un par de plantas en Chile operan a estos pH, tanto en circuito rougher como en primera limpieza, para lo cual trabajan con celdas herméticamente selladas, lo cual les permite manejar un alto contenido de ácido sulfhídrico gaseoso. El resultado es una notable mayor selectividad en el proceso de flotación, disminuyendo el número total de limpiezas a 2 o 3 etapas.

Otro riesgo importante en la manipulación de NaSH es su facilidad para formar H_2S en medio ácido que aparte de tener un olor a huevo podrido, es un gas altamente explosivo al tener cerca una fuente de calor o chispa. Es de especial cuidado que los derrames y/o fugas del reactivo, que al contacto con el oxígeno del aire, forman sales estables que pueden ser explosivas por los residuos de H_2S que están mezclados con las sales formadas.

Actividad N° 9

Flotación rougher de molibdeno

Introducción a la Actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, deberán observar y posteriormente operar una celda de flotación convencional, con pulpa de 28 % sólidos formados con concentrado de cobre y molibdeno.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la operación y componentes de un equipo de flotación de minerales, la importancia de controlar parámetros y variables de flotación, dosificación de reactivos y mantener bien ajustado el pH sobre 7 para no generar gases tóxicos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Verificar la operación de las celdas de flotación de molibdeno y equipos auxiliares, para detectar variables y parámetros fuera de rango y corregirlos.

Chequear que los parámetros operacionales de las celdas de flotación se encuentren dentro de los rangos establecidos de operación, según condiciones de operación.

Chequear dosificación de reactivos en el proceso de flotación de molibdeno, de acuerdo a necesidades de proceso.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de la flotación, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 30

Materiales y Recursos

- 1 k Concentrado de cobre con contenido de molibdeno por grupo de participantes.
- 2 Balanzas digital.
- 1 Peachímetro por grupo de participantes
- 2 Probetas 1000 cc por grupo de participantes
- 1 Equipos de flotación convencional por grupo de participantes
- 1 peachímetro por grupo de participantes.
- Solución de ácido sulfúrico al 5% p/p.
- NasH.
- Kerosene.
- 1 Balón de nitrógeno.
- 5 Bandejas metalúrgicas por grupo de participantes
- 1 Cronómetro por grupo de participantes.
- Brocha.
- 4 Baldes de 20 lt por grupo de participantes
- 2 Picetas de 1000 cc por grupo de participantes.
- Cal sólida y Lechada de cal (pH 11).
- Agua.
- Reactivos colectores, espumantes.
- 2 Espátulas por grupo de participantes
- 1 Cuaderno y lápiz por participante.

- 1 Medidor de advertencia de gas sulfhídrico

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento para efectuar las distintas etapas de la flotación y dosificación de reactivos y aire.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, revisando equipos, materiales y entorno de trabajo.
3. El instructor deberá ser exigente con el uso de EPP de parte de los participantes, porque esta actividad puede producir gases tóxicos, si es que no se realiza según instrucciones.
4. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.

Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 82
Elementos de protección personal obligatorios

El instructor entregará al grupo de participantes 1 kilo de concentrado de cobre con contenido de Molibdeno a cada grupo.

El instructor deberá explicar a los participantes el cálculo de diésel a agregar a la celda, para los 1000 gr de concentrado.

El participante deberá seguir la siguiente secuencia para desarrollar la actividad:

1. El participante deberá verificar que el mecanismo de agitación y el sistema de aire del equipo de flotación se encuentren operativos.
2. Verificar que la celda unitaria esté limpia y seca.
3. El participante deberá conectar el balón de nitrógeno en la entrada de aire de la celda.
4. El participante deberá agregar 2,6 litros de agua en la celda de flotación.
5. Sumergir el rotor en la celda con agua.
6. Dar partida al sistema de agitación de la celda y fijar la velocidad de agitación en 1000 rpm.
7. Abrir la válvula de aire de la celda.
8. Inyectar 5 lt/min de nitrógeno a la celda por un lapso de 2 minutos, controlados con un cronómetro.
9. Completado los 2 minutos, el participante deberá cortar el flujo de nitrógeno.
10. Cerrar la válvula de aire de la celda.
11. El participante deberá agregar los 1000 gramos de concentrado lentamente dentro de la celda de flotación, con el agitador en servicio.
12. Medir el pH de la pulpa con un peachímetro. Registrar dato.
13. Ajustar el pH de la pulpa en 8, agregando lechada de cal si es que pH es inferior o de lo contrario agregando ácido sulfúrico con un gotero si es que el pH está sobre 8.
14. Usar mascara de gases medio rostro.



El pH no debe ser inferior a 8, por el riesgo de desprendimiento de gases tóxicos, que puedan afectar la salud del participante.

15. Si baja de 8 a 6, subir el pH agregando lechada de cal.
16. Una vez ajustado el pH, el participante deberá agregar 5 kg/ton de NaSH en la celda.
17. Agregar 220 g/ton de Diesel en la celda, calculado en base a los 1000 gr de concentrado.
18. Dejar 2 minutos de acondicionamiento, con el agitador en servicio.
19. Una vez completado los 2 minutos, el participante deberá abrir la válvula de paso de aire que está conectado al balón de nitrógeno.
20. El participante deberá ajustar flujo e Inyectar 3-5 lt/min de nitrógeno hacia la celda.
21. Iniciar el proceso de flotación paletendo el concentrado rougher de molibdeno cada 15 segundos, recuperando este concentrado en una bandeja metalúrgica.
22. Mantener el proceso de flotación por 10 minutos.
23. Pasado este tiempo, el participante deberá cortar el flujo de nitrógeno a la celda cerrando la válvula de paso de aire hacia la celda y cerrando la válvula del balón.
24. El participante deberá detener el agitador.

25. El concentrado obtenido y el relave se deberán vaciar en los recipientes dispuestos para estos, debidamente marcados y rotulados.
26. Dejar limpia y ordenada el área de trabajo (house keeping).

Cierre de la actividad.

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases los cálculos realizados, observaciones efectuadas y las conclusiones obtenidas.

El participante deberá comprender la importancia del estricto ajuste del pH, la velocidad de agitación del rotor, flujo de nitrógeno en la celda de flotación, etc, además de entender cómo funcionan los componentes en el equipo. Cualquier variación en los parámetros, en especial el pH generará pérdida productiva importante y condiciones sub estándar de seguridad.

Módulo IV: Remolienda

20. Remolienda con Molino Convencional de Bolas

20.1. Fundamentos del proceso de remolienda

El circuito de remolienda del concentrado tiene dos objetivos importantes:

Objetivo Primario: Moler las partículas para liberar el mineral. Esto es particularmente importante para las partículas conocidas como medianas, que son partículas no liberadas que contienen mezclas de mineral de útil y ganga. La molienda fina muele la mayoría de las partículas medianas y separa o libera las partículas con minerales útiles o minerales mena.

La remolienda tiene como objetivo liberar las partículas a una granulometría cercana a 10 micrones. Esta liberación se realiza sobre los concentrados de cobre, que aún mantienen partículas no liberadas.

Objetivo Secundario: Exponer las superficies frescas de las partículas portadoras de cobre para hacerlas más afines con los reactivos de flotación. El tamaño promedio de partícula de alimentación al circuito de remolienda es del 80% menor a 90 a 110 μm . El tamaño promedio de partícula del producto del circuito de remolienda es de 80% menor que 40 a 50 μm .

El concentrado grueso (rougher) generalmente circula por gravedad hacia el circuito de remolienda. El concentrado grueso debe molerse aún más para proporcionar un grado de liberación lo suficientemente como para lograr la calidad deseada del concentrado final, que proporcione buenas recuperaciones

Los molinos de la etapa de remolienda operan en circuito cerrado con baterías de hidrociclones porque permiten reducir de tamaño aquellas partículas en el concentrado grueso que no han alcanzado su tamaño de liberación (80% -325# Tyler).

20.2. Mecanismos de reducción en la remolienda.

Los mecanismos de reducción presentes en la remolienda, dentro del molino son por atricción y abrasión.

La eficiencia de molienda se ve aumentada por la relativa alta presión entre el medio de molienda y las partículas que están siendo molidas. Una pre-clasificación gravitacional en la alimentación y eliminación de las partículas con tamaño granulométrico adecuado del producto final, reducen la sobremolienda y aumenta la eficiencia.

20.3. Movimiento de la carga en molino de remolienda

Los mecanismos de molienda que actúan sobre las partículas son determinados en gran medida por el movimiento de la carga dentro del molino y por la composición de los medios de molienda.

Debido a la rotación y roce existente, los medios de molienda se elevan hasta alcanzar una altura máxima desde la cual caen. La carga dentro del molino presenta una superficie

inclinada en cuyo punto más alto caen los medios de molienda hasta el punto más bajo desde donde vuelven a ascender.

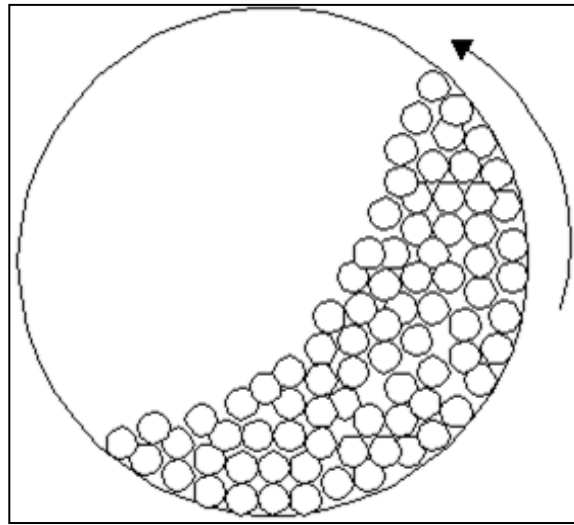


Figura 83
Movimiento de los medios de molienda

Con el movimiento, la carga se expande, permitiendo que la pulpa (partículas finas más agua) penetre entre los medios moledores. La serie de impactos entre los medios de molienda a medida que caen rodando, es el método principal de transmitir compresión a las partículas.

Cuando el nivel de carga dentro del molino es baja los medios de molienda pueden impactar los revestimientos del molino dañándolos seriamente y generando también una ruptura de los medios de molienda. Si el molino gira a una velocidad aún mayor, la carga tenderá a pegarse a la coraza (velocidad crítica), es decir se ha centrifugado, en este caso se reduce drásticamente la fractura por impacto y sólo actúan los mecanismos de abrasión y compresión.

El tipo de movimiento de la carga depende de la velocidad con que se rota el molino y de los levantadores de carga (lifter) que tenga la coraza. De acuerdo a los movimientos que se han descrito se distinguen varias zonas.

Consecuentemente en la molienda en bolas conviene tener el mínimo de catarata para evitar la fractura de las bolas y desgaste de las corazas por impacto. El material grueso,

con los golpes que aplica, se desgasta alcanzando un tamaño adecuado para ser fracturado por las bolas.

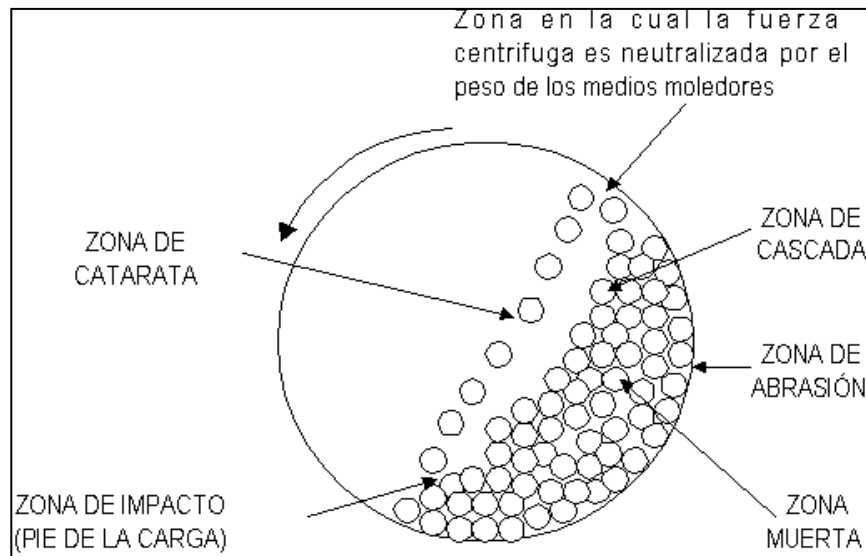


Figura 84
Zonas de molienda

El concentrado producido en los circuitos de flotación rougher y scavenger contiene partículas de tamaño mediano (mineral que no se ha liberado de la ganga). Estas partículas de concentrado son reducidas de tamaño en el circuito de remolienda, las que se realizan con molinos convencionales de menor dimensión que los molinos de molienda primaria, o por molinos verticales (vertimill).

Generalmente estas corrientes de pulpa alimentan el cajón de descarga del molino de remolienda.

La descarga de los molinos de bolas de remolienda y los concentrados rougher y scavenger se bombea a una batería de hidrociclones de la etapa de remolienda, para su clasificación. El overflow de esta clasificación alimenta a la etapa de concentración por flotación cleaner. El underflow es enviado a un cajón, desde donde retorna a los molinos de bolas de remolienda, para continuar con el proceso de conminución.

Al final, todas las partículas serán lo suficientemente finas para fluir hacia el estanque de alimentación de primera limpieza. Desde aquí, son bombeadas a las celdas de flotación del circuito de primera limpieza.

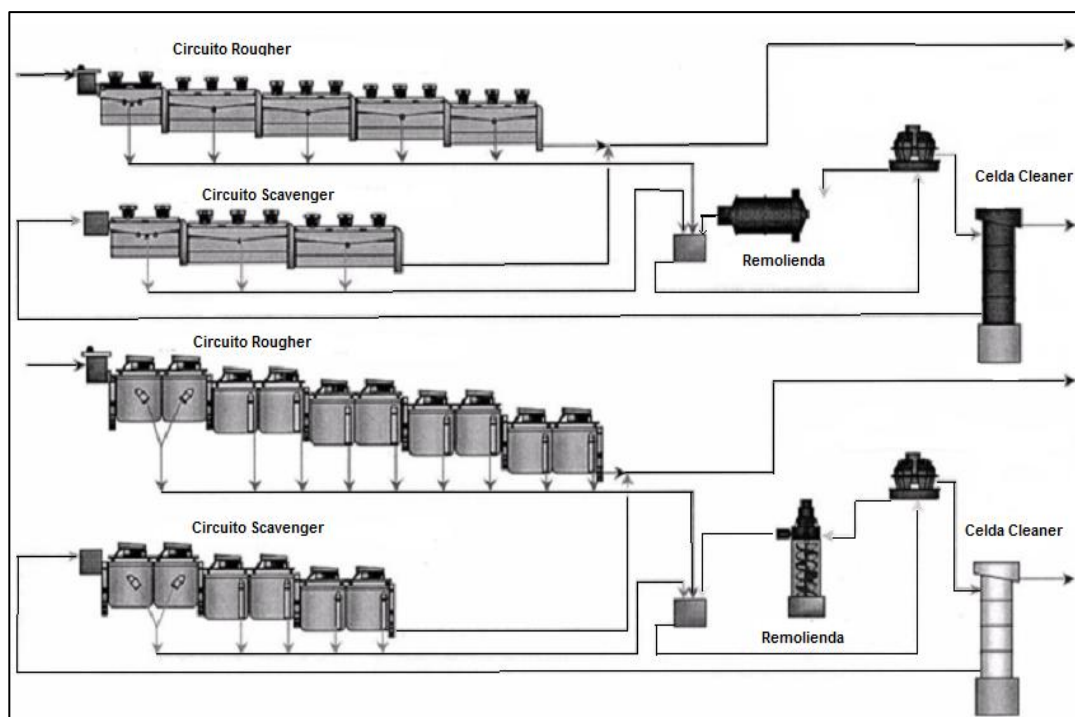


Figura 85
Circuito de flotación con remolienda

20.4. Variables operacionales

Algunas de las variables operacionales controlables en la remolienda son:

Potencia y presión de levante molino: La presión de levante es la presión de aceite que proporciona la bomba de alta en los descansos de alimentación y descarga del molino, esto evita que se produzcan esfuerzos de corte y cizalle, además de permitir una adecuada lubricación.

Presión de alimentación en los hidrociclones: Para mantener la presión en la alimentación de las baterías de hidrociclones de remolienda, se debe operar abriendo o cerrando hidrociclones, o aumentando la velocidad de la bomba, sin descuidar el nivel del cajón (sumidero).

Nivel cajón descarga molino remolienda: Un nivel alto o medio, modificará el punto de referencia de la densidad de alimentación a los hidrociclones de remolienda.

Densidad de alimentación a los hidrociclones de remolienda: Para mantener una operación estable se debe manipular en conjunto el nivel del sumidero, con la presión de alimentación de los hidrociclones.

20.5. Velocidad crítica de un molino

La velocidad crítica de un molino, es la mínima velocidad a la cual la carga centrífuga y se mantiene pegada a las corazas del molino. El valor de la velocidad crítica puede hacerse mediante un balance de fuerzas entre el peso de las bolas y la fuerza centrífuga ejercida por la rotación del molino.

Como por definición, la velocidad angular expresada en revoluciones por unidad de tiempo, N_c está dada por:



Figura 86

Diagrama de un molino girando a su velocidad crítica

$$N_c = \sqrt{\frac{2 * g}{D}} \quad \text{rad/seg}$$

$$N_c = \frac{76.6}{\sqrt{D}} \quad \text{con D en pies}$$

$$N_c = \frac{42.2}{\sqrt{D}} \quad \text{con D en metros}$$

Al ir aumentando la velocidad del molino se produce lo siguiente:

- Solo un deslizamiento, produciendo molienda sólo por fricción.
- Además de fricción se produce impacto por cascada.
- Impacto por catarata.
- La gravedad se iguala a la fuerza centrífuga.

Cuando esto sucede es que se llegó a la velocidad crítica, produciendo deslizamiento entre las distintas capas de bolas provocando molienda por fricción solamente. Un aumento en la velocidad de rotación aumenta la capacidad, pero hay poco efecto en la eficiencia de molienda (Kwh/ ton).

20.6. Sistema de lubricación del molino

La finalidad de la lubricación es evitar el contacto de metal a metal, que traería como consecuencia la formación de limaduras metálicas y finalmente la ruptura de los descansos o fundir valiosas piezas del molino causando graves pérdidas en el equipo y por ende a la producción. Estas son las razones por la cual se lubrica también constantemente el piñón y la corona que son los engranajes dentados de la transmisión del molino.

Para que esta lubricación sea lo más efectivo posible debe ser instalado un sistema automático que en caso de averiarse esté provisto de un sistema de alarma eléctrico que indique las condiciones anómalas:

- Falta de presión de aire.
- Falta de grasa en el tambor de grasa.
- Falta de presión en el sistema de engrase.

El mecanismo del sistema de engranaje consta de:

- Mecanismo de bomba.
- Control de tiempo (timer).
- Bomba neumática.
- Sistema de ingreso de aire de instrumentación.

Funcionamiento del sistema de lubricación y engrase del molino.

Todo el sistema funciona con aire a la presión de 100 lb/pulg² que viene de compresores, el cual llega a un filtro de aire donde se eliminan las impurezas, el aire limpio pasa a una válvula solenoide o de tres vías o líneas.

La primera línea se conecta a un switch de presión y al mecanismo de alarma, cualquier variación de la presión o falta de ella será registrada y sonará automáticamente la alarma. La segunda línea va a los inyectores y la tercera línea suministra aire a la bomba de contrapeso y el tambor de grasa. El tiempo de lubricación se regula en el sistema automático de reloj (timer).

Al cerrar el circuito de control automático de reloj, la válvula solenoide deja pasar aire, parte de cual ejerce presión en el tambor o recipiente de grasa y la otra parte actúa sobre la bomba haciendo salir la grasa convenientemente diluida a una presión que llega cerca de las 2000 lb/pulg².

El lubricante una vez que llega a los inyectores es atomizado por el aire a presión, lubricando de esta manera los engranajes dentados del piñón y la corona.

Lubricación de los trunnion o muñones del molino: Todo esto es un sistema cerrado y la lubricación es permanente. La circulación de aceite en el sistema es realizado por la bomba de baja presión. La presión constante asegura una lubricación normal del molino. Cualquier caída de presión actuará sobre el circuito eléctrico del molino deteniéndolo de inmediato.

De igual manera una temperatura superior al máximo establecido en el sistema hará sonar la alarma indicando con esto la necesidad de detener el molino de inmediato o de lo contrario puede fundirse los descansos principales del molino.

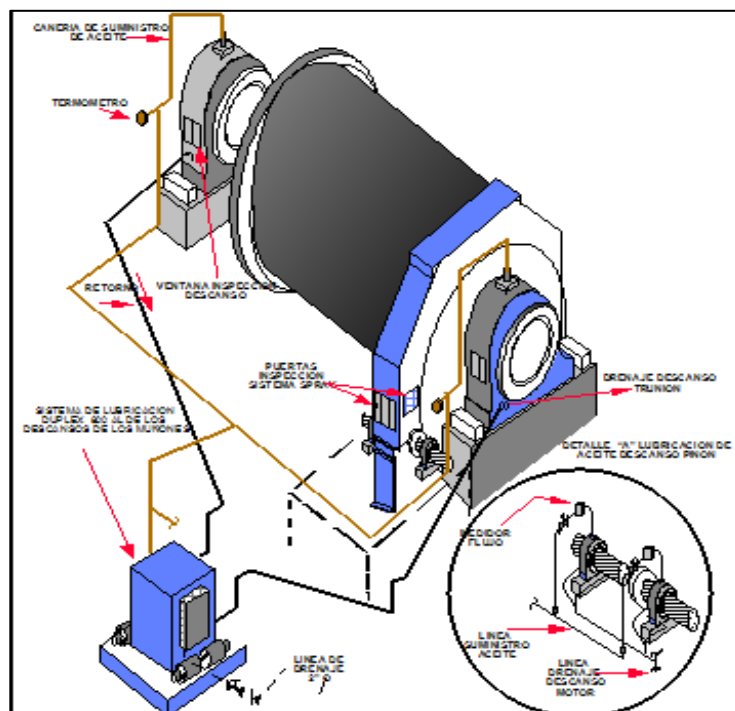


Figura 87
Sistema de lubricación automático. Circuito baja presión.

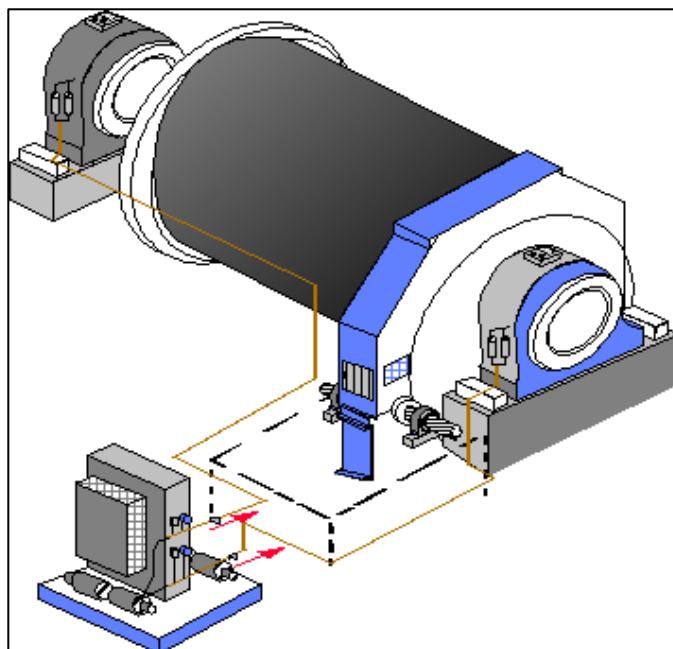


Figura 88

sistema de lubricación automático. Circuito alta presión

20.7. Sistema de embrague de partida del molino.

El embrague de aire está compuesto de un eje de transmisión que sale del motor y un eje de transmisión conectado al piñón de accionamiento del molino. Un conjunto de almohadillas de fricción con resortes se ubican en la parte exterior y giran junto con el eje del motor, el que es hueco para permitir que el aire comprimido pase al embrague. Un tambor de acero interior gira con el eje de piñón. Para operar el embrague el aire infla un tubo de caucho reforzado que está detrás de las almohadillas de fricción. El tubo comprime estas almohadillas contra el tambor transmitiendo el torque del motor al eje del piñón.

Para accionar el embrague y transmitir energía al molino se abre la válvula de solenoide de aire. Una válvula de control de flujo regulable en la línea de suministro de aire regula la velocidad de conexión del embrague y por lo tanto el tiempo de aceleración del molino. El tubo de aire activador compensa automáticamente el desgaste del patín por fricción, evitando la necesidad de ajustado. La fuerza centrífuga y los resortes de desenganche

hacen que los patines de fricción se desenganchen rápidamente del tambor cuando el aire es expelido.

El motor y el embrague del molino cuentan con diversos dispositivos de seguridad para protegerlos. Comúnmente ventearán el aire desde el embrague para evitar que el molino comience a funcionar (es decir, abortarán una puesta en marcha o detendrán la partida del molino) cuando las condiciones varían de lo normal.

Cuando se activa el embrague de aire, la energía entregada por el motor es transmitida al molino haciendo que éste se acelere gradualmente hasta alcanzar la velocidad de operación. En la siguiente figura se observa una descripción del embrague de aire con sus accesorios.

El embrague está compuesto de un eje de transmisión que sale del motor y un eje de transmisión conectado al piñón de accionamiento del molino.

Un conjunto de almohadillas de fricción con resortes se ubican en la parte externa y giran junto al eje del motor, el que es hueco para permitir que el aire comprimido pase al embrague.

Un tambor de acero gira con el eje del piñón. Para operar el embrague el aire infla un tubo de caucho reforzado que está detrás de las almohadillas de fricción.

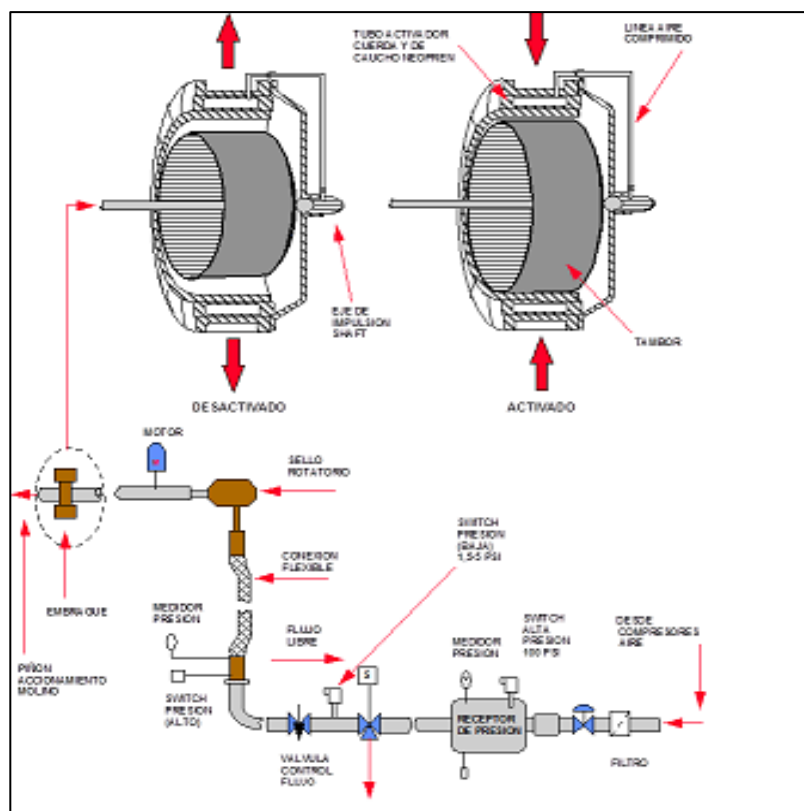


Figura 89
Sistema de embrague molino

Actividad N° 10

Remolienda con distinto tamaño de bolas

Introducción a la Actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, deberán efectuar tres moliendas con un molino de Bond.

Todas las moliendas se realizarán con 60 % sólidos, a 45% nivel de llenado molino y, con 75 % de la velocidad crítica, con la única diferencia es que se realizarán a distintos diámetros o tamaño de bolas, para visualizar como influyen en el grado de molienda.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la operación y componentes de un equipo de remolienda (con molino convencional), la importancia de controlar parámetros y variables como entre otros el tamaño y recarga de las bolas de acero.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Verificar que el molino de remolienda y partes constituyentes estén operando dentro de los rangos establecidos de operación.

Realizar mediciones y ajustes de variables para detectar y corregir las que se encuentren fuera de rango, de acuerdo a condiciones de operación.

Comparar efecto de los medios de molienda en un molino de bolas (remolienda), con un mismo mineral, a distintos diámetros de las bolas de acero.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de flotación, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 31

Materiales y Recursos.

20 k Mineral con granulometría 100 % -100# Tyler

Mesón de trabajo.

2 Balanza digital

Cubierta de plástico.

1 Pie de metro por grupo de participantes

1 Flexómetro por grupo de participantes

Bolsas plásticas con muestras de mineral.

1 Molino Bond por grupo de participantes
Bolas de acero de diferentes diámetros.
1 Mesa de rodillos
1 Horno secador de muestras
1 Shaker por grupo de participantes
1 Rotap por grupo de participantes
1 Serie de tamices por grupo de participantes
Agua
3 Baldes de 20 lt por grupo de participantes
1 Cuaderno y lápiz por participante
Material impreso (guía laboratorio) por participante



Figura 90
Molino de Bond

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de la medición de porcentaje de sólidos.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 91
Elementos de protección personal obligatorios

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad:

1. El participante deberá conocer la distribución granulométrica del mineral de alimentación al molino, para esto deberá pesar 1 kg de muestra representativa y luego realizará análisis granulométrico a esta muestra.
2. Se Pesan aproximadamente 7 kilos de mineral, luego se rolea y homogeniza hasta obtener 3 lotes de 1 kilo exactos cada uno, para realizar 3 moliendas.
3. Las 3 moliendas se realizarán con 60% sólidos, para ver el efecto en la molienda al ingresar bolas de diferentes diámetros.
4. Para determinar el agua para la molienda a 60% sólidos, se usa la siguiente fórmula:

$$Vl = \left[\left(\frac{m_s}{X} - m_s \right) \right] / \rho_l$$

donde:

- Vl : volumen del líquido (cc)
- X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).
- m_s : masa de sólido (g)
- ρ_l : densidad del líquido

5. El participante deberá calcular el volumen del molino, midiendo largo y radio con un pie de metro y un flexómetro, registrando este dato en el cuaderno. La fórmula para este cálculo es la siguiente:

$$Vm = Largo * \pi * r^2 \text{ (cc)}$$

6. El participante determinará la carga de bolas a utilizar en las tres moliendas, con la siguiente fórmula:

$$Mb = \left[(Vm \times Vu) - \left(\frac{m_s}{\rho_s} + m_s \times \frac{D}{\rho_l} \right) \right] \times \rho_{ap}$$

donde:

Mb : masa de bolas (g)

Vm : volumen del molino (cc)

Vu : fracción del volumen del molino ocupado por la carga de molienda (bola más pulpa): 45%

m_s : masa de sólido (g)

ρ_s : densidad de sólido (g/cc)

D : dilución

ρ_l : densidad del líquido

ρ_{ap} : densidad aparente de los medios de molienda (4,5 gr/cc para las bolas de acero)

7. Se trabajará con un 75% de la velocidad crítica, para asegurarnos que ocurra el efecto de catarata en el molino. El participante entonces deberá calcular la velocidad crítica (N_c) del molino y luego ajustar la velocidad de trabajo del molino (75% de la velocidad crítica).

La velocidad crítica del molino se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_c = \frac{76.6}{\sqrt{D}} \quad \text{con } D \text{ en pies}$$

$$N_c = \frac{42.2}{\sqrt{D}} \quad \text{con } D \text{ en metros}$$

8. Para las tres moliendas, el tiempo de molienda va a ser de 30 min cada una.

9. Para las moliendas se realizarán de la siguiente forma:

La primera molienda se realizará con 100 % bolas 1 ¼".

La segunda molienda se realizará con 100 % bolas 1".

La tercera molienda se realizará con 100 % bolas < 1".

10. Una vez realizada cada molienda, el participante bajo la supervisión del instructor, vaciará para cada una de las moliendas, la pulpa sobre el tamiz superior (de mayor abertura) de la serie de tamices a emplear y se tamizará en un shaker.

12. Se dejará secar el contenido de cada tamiz en un horno secador a no más de 100° C.

13. En caso de no tener un shaker, una vez concluida la molienda se secará el contenido de cada tamiz en un horno a no más de 100 °C.

14. Una vez seca la muestra, el participante realizará análisis granulométrico con la misma serie de tamices empleada en la alimentación.

Los participantes completarán las tablas de los análisis granulométricos y los gráficos correspondientes a la alimentación y descarga del molino, a cada una de las moliendas.

Para conocer la distribución granulométrica, se usarán los siguientes tamices:

| Malla N° | Retenido Parcial (g) | Retenido Parcial (%) | Retenido Acumulado (%) | Pasante Acumulado (%) |
|-------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 4 | | | | |
| 16 | | | | |
| 35 | | | | |
| 65 | | | | |
| 100 | | | | |
| 150 | | | | |
| 200 | | | | |
| 325 | | | | |
| -325 | | | | |
| | | | | |

Tabla 32

Cierre de la Actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos, observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.

Determinarán el F80, P80 y R80 a partir de los datos obtenidos en los análisis granulométricos y las gráficas correspondientes para cada molienda.

El participante deberá comprender la importancia del tamaño de las bolas de acero en la reducción de tamaño del material dentro de un molino, y por lo tanto la importancia de la recarga que debe realizar, ya sea por turno o de forma diaria.

El instructor deberá analizar con los participantes sobre los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y la importancia del tamaño de bolas en la molienda.

El instructor deberá resaltar la importancia de controlar y ajustar variables y parámetros operacionales en la conminución, y la incidencia de éstos en el buen resultado de la operación.

21. Proceso de remolienda con Molino Vertical

21.1. Características y componentes del molino.

Un molino vertical de remolienda consiste de un cilindro vertical (el cuerpo del molino) equipado con un tornillo sin fin. Un motor eléctrico de velocidad constante impulsa el tornillo sin fin. Un reductor de velocidad conectado al motor reduce la velocidad del eje del tornillo sin fin hasta aproximadamente 32 rpm. La parte inferior del cuerpo del molino tiene revestimientos magnéticos, los cuales atraen y retienen las bolas de molienda en la superficie del revestimiento, evitando de esta manera que se desgaste el armazón.

El molino vertical consta, operacionalmente hablando, de tres partes esenciales que son:

- Cilindro o cuerpo principal.
- Cajón repartidor y bomba de recirculación.
- Revestimientos.

- **Cilindro o cuerpo principal.**

El cilindro o cuerpo principal posee una puerta frontal que permite el acceso al eje del tornillo y una pequeña puerta lateral por donde se drena y descargan las bolas.

Dentro del cilindro se encuentra el tornillo de doble helicoide que hace el trabajo de transportar las bolas y el material para realizar la molienda. Este cuerpo se encuentra revestido por barras o módulos magnéticos.

El eje del tornillo es soportado en la parte superior, por medio de un acoplamiento mantenido libre en la cámara de molienda. Se mantiene perfectamente centrado sólo por la acción de la carga, el tornillo está protegido por corazas (zapatas) de alta resistencia a la abrasión. El eje está recubierto con goma, poliuretano o cerámica.

Las paredes internas del cilindro están cubiertas por corazas, las cuales consisten en barras o módulos magnéticos colocados hasta la altura superior del tornillo.

Como el sistema motriz del molino contempla motor-reductor de potencia conocida, la velocidad de giro depende de lo anterior y no debería superar los 20 rpm.

- **Cajón repartidor y bomba de recirculación.**

Una bomba de recirculación externa, de velocidad variable, proporciona una velocidad de subida predeterminada dentro del cuerpo del molino. Ello origina una clasificación de las partículas en la parte superior del cuerpo del molino. Las partículas más finas suben hasta la zona superior del molino como una función de la velocidad del flujo ascendente, mientras que las partículas más gruesas caen en la zona de carga donde son trituradas por el medio de molienda.

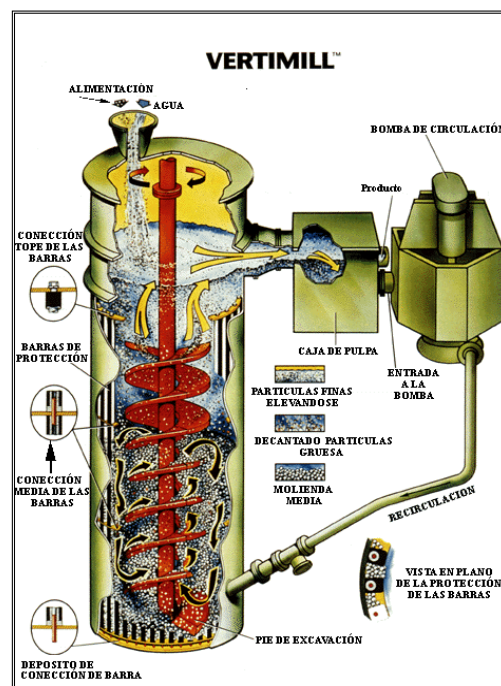


Figura 92
Corte transversal y secciones de un molino vertical

- **Revestimiento**

Los revestimientos son necesarios tanto en el tornillo como en el cilindro de los molinos

verticales. En el cilindro se han utilizado durante mucho tiempo barras de goma, poliuretano y corazas o módulos magnéticos.



Figura 93

Cilindro de un molino vertical modelo VTM-800-WB, con revestimiento magnético

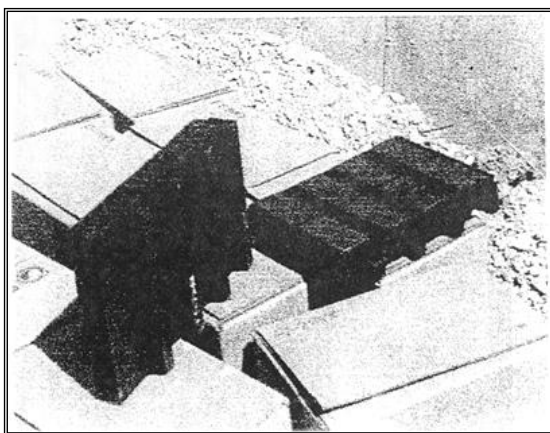


Figura 94

Revestimiento magnético para cilindros de molinos verticales (módulos de 6,25" x 10")

Una capa de bolas de acero se adhiere a los módulos magnéticos y forman una superficie de desgaste del revestimiento.

Las cantidades de módulos magnéticos que se utilizan para recubrir el interior del cilindro de los molinos verticales varían de 215 módulos para el modelo VTM-20-WB a 300 módulos

para el modelo VTM-1250-WB.

Los revestimientos del tornillo son metálicos y su sistema de sujeción es a través de pernos. Las zapatas excavadoras o puntera, ilustrada en la figura 96, están ubicadas en la parte superior del tornillo, son el ítem principal de modificaciones, y es el que sufre mayor desgaste.



Figura 95
Sistema de sujeción de pernos del tornillo.



Figura 96
Tornillo helicoidal doble con revestimiento metálico desgastado

La geometría, aleación y dureza han sido motivo de investigación durante varios años y se continua trabajando para mejorar aún más su tiempo de duración.

Últimamente se han venido desarrollando algunas modificaciones, con lo cual se logró un

100% de eficiencia en cuanto a la potencia que puede tomar el molino vertical, además de aumentar su duración en forma significativa. El tiempo de duración varía en el rango que va desde los 4 meses a mucho más de un año en la mayoría de los casos. La tabla 33 muestra el tiempo de duración del revestimiento del tornillo en las aplicaciones y modelos de molinos verticales instalados en el mundo.

| PLANTA | MODELO | DURACIÓN | APLICACIÓN |
|---|---|--|--|
| Phelge Dodge Chino mines | (4) VTM 1250-WB | 5 meses | Molienda terciaria |
| Coeur Dalene Fachinal | (1)VTM-400-WB | 14 meses | Remolienda Conc Au/Ag |
| Cominco Red-Dog | (6)VTM-450-WB (2)VTM-450-WB (1)VTM-450-WB | 8-10 meses 10-12 meses 10-12 meses | Molienda Terciaria Remolienda Conc Zn Remolienda Conc Pb |
| Coeur Dalene El bronce de Petorca | (1)VTM-100-WB | 12 meses (zapata exc. 2 meses) antiguo | Molienda Secundaria mineral de oro |

Tabla 33

Duración de los revestimientos metálicos del tornillo del molino vertical

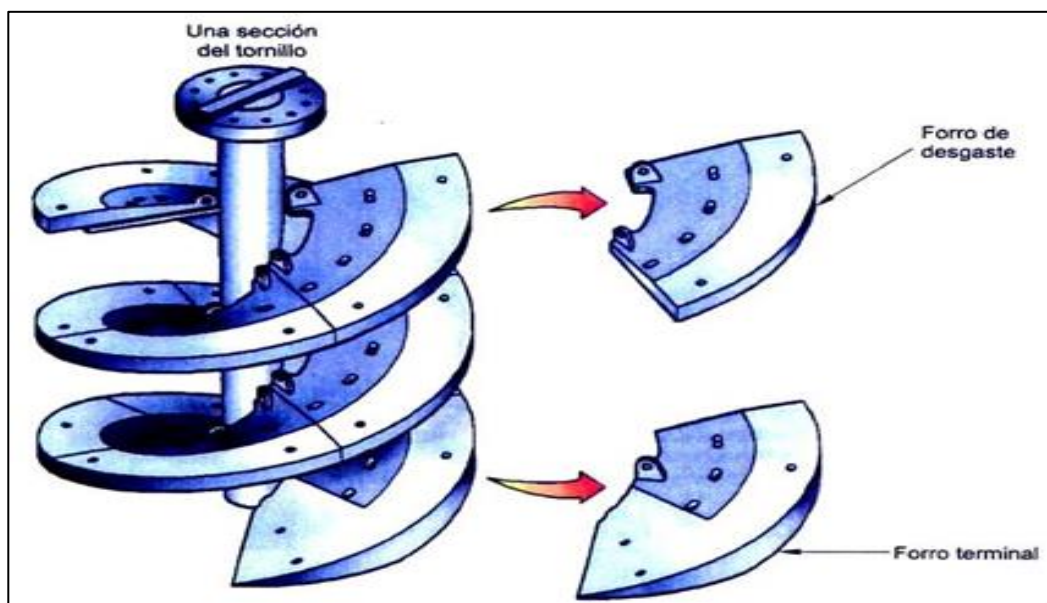


Figura 97

Componentes del tornillo sin fin

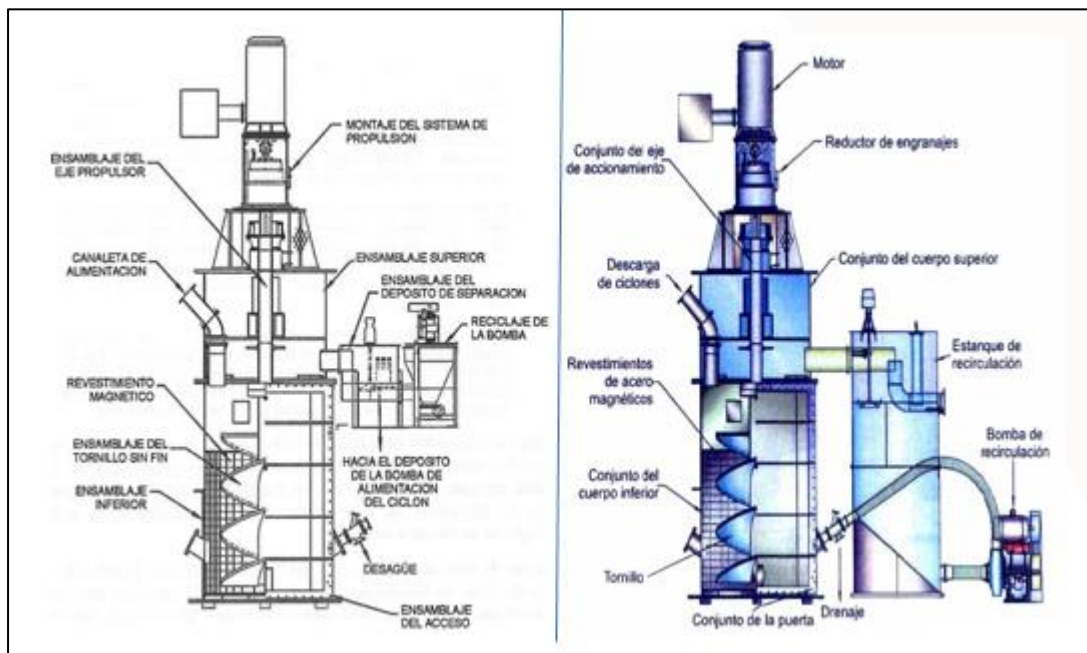


Figura 98
Componentes del molino vertical

21.2. Principio de operación del molino vertical.

Las bolas de molienda, con un diámetro entre 1 - 1,5 pulg se cargan por la parte superior del molino y se distribuyen por sí mismas en la parte inferior del tornillo sin fin. Al incrementar la cantidad de bolas se aumenta los caballos de fuerza (energía) que el molino puede extraer. Esto también aumenta la cantidad de trabajo (molienda) que el molino puede realizar. El molino debe estar lleno de agua, y nunca debe ser puesto en funcionamiento sin un mínimo de 60 centímetros (2 pies) de altura de bolas.

El flujo másico de pulpa ingresa el molino por un tubo ubicado en la parte superior del molino. Las partículas más pesadas (más gruesas) en la pulpa circulan hacia abajo a través del molino, pasando por los medios de molienda en el tornillo sin fin en movimiento. Esto resulta en una acción de molienda continua, hasta que la pulpa se descargue por la parte superior del molino y circule hacia el depósito de separación.

El estanque de recirculación, ubicado en la descarga del molino de remolienda, tiene dos cámaras. Un conjunto de válvulas de dardo operadas eléctricamente controla el flujo de pulpa desde la cámara superior del estanque hacia la cámara inferior. El producto del circuito del molino de remolienda fluye desde la lumbrera de sobré flujo ubicado en la parte superior del estanque separador, sobre el nivel de la válvula de dardo, dentro del cajón de bombas de alimentación de hidrociclones de remolienda y nuevamente es bombeado a los hidrociclones para su clasificación granulométrica.

La bomba de recirculación extrae pulpa desde el fondo del estanque de recirculación que está equipada con un motor de accionamiento de velocidad variable. La bomba de recirculación es operada a un caudal estable para mantener un flujo uniforme de pulpa dentro del molino de remolienda. Es importante evitar el flujo excesivo a través del molino de remolienda. La mejor eficiencia de remolienda se obtiene al menor caudal posible de alimentación del molino capaz de mantener los flujos del circuito equilibrados.

El movimiento de la carga de la pulpa es descendente con respecto a los medios de molienda, que por efecto de giro del molino, ascienden. Esto provoca que el mineral se ponga en contacto con el medio de molienda y se generen los mecanismos de reducción.

El tornillo o eje de doble helicoide transporta el material y las bolas para realizar la molienda. El eje del tornillo es soportado en la parte superior, por medio de un acoplamiento mantenido libre en la cámara de molienda.

Se mantiene perfectamente centrado sólo por la acción de la carga, el tornillo está protegido por corazas (zapatas) de alta resistencia a la abrasión. El eje está recubierto con goma, poliuretano o cerámica.

21.3. Sistema de lubricación del molino.

El sistema de lubricación del molino de remolienda es más simple que aquél del molino de bolas, pero no menos importante para el funcionamiento exitoso del molino. El sistema de lubricación del molino de remolienda consiste de una bomba de lubricación, un dissipador de calor del agua/aceite de lubricación, y un filtro de aceite de lubricación.

Lubricación del reductor de engranajes: La figura 99 ilustra el sistema de lubricación del reductor de engranajes del molino vertical. El aceite proveniente del reductor de engranajes circula desde el fondo de la unidad de engranajes hacia la bomba de lubricación.

Esta bomba transfiere el aceite hacia un dissipador de calor, a través de un filtro doble, y hacia la descarga por rociado en la carcasa superior del reductor de engranajes. Sensores de caudal y de presión verifican que el aceite circule hacia el reductor de engranajes. Si se detecta un caudal bajo, el motor del molino se detiene.

El aceite ingresa en la carcasa superior del reductor de engranajes, y es rociado sobre los cojinetes de alta velocidad e intermedios. Luego el aceite drena hacia el depósito ubicado en el fondo de la carcasa del reductor de engranajes. El aceite en este depósito sirve como un lubricante para los cojinetes inferiores de baja velocidad. El aceite drena desde el depósito hacia la bomba de lubricación.

Un sensor de temperatura en la línea de aceite desde la bomba mide la temperatura del aceite y activa una alarma si es alta. Los sensores de temperatura monitorean además los cojinetes y las temperaturas de bobinados de los motores.

Si la temperatura del bobinado de un motor es alta-alta, el motor del molino se detiene. Los sensores de temperatura en los cojinetes superiores e inferiores también detienen el motor del molino si la temperatura en cualquiera de estos puntos es alta-alta.

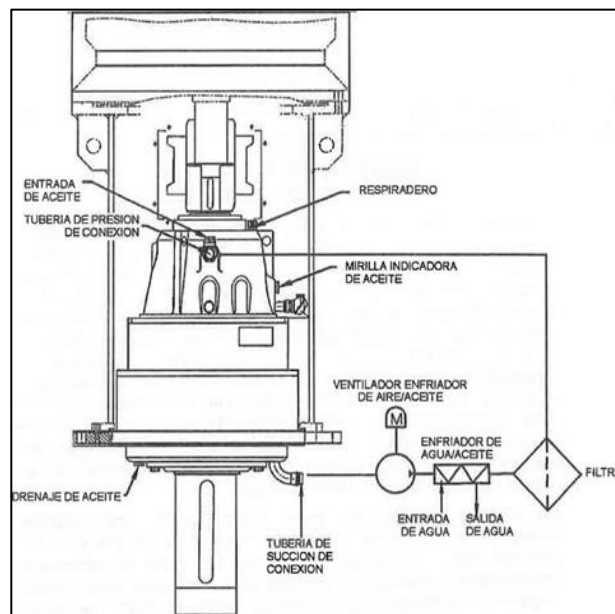


Figura 99
Sistema de lubricación reductor molino

21.4. Potencia del motor.

El motor eléctrico del sistema de transmisión del molino es de velocidad constante, acoplado a un reductor de engranajes.

La figura 100 muestra el efecto de la potencia (HP) que toma un molino vertical modelo VTM-400-WB versus la altura de llenado de bolas, en forma estática y dinámica del medio de molienda (generalmente bolas de acero).

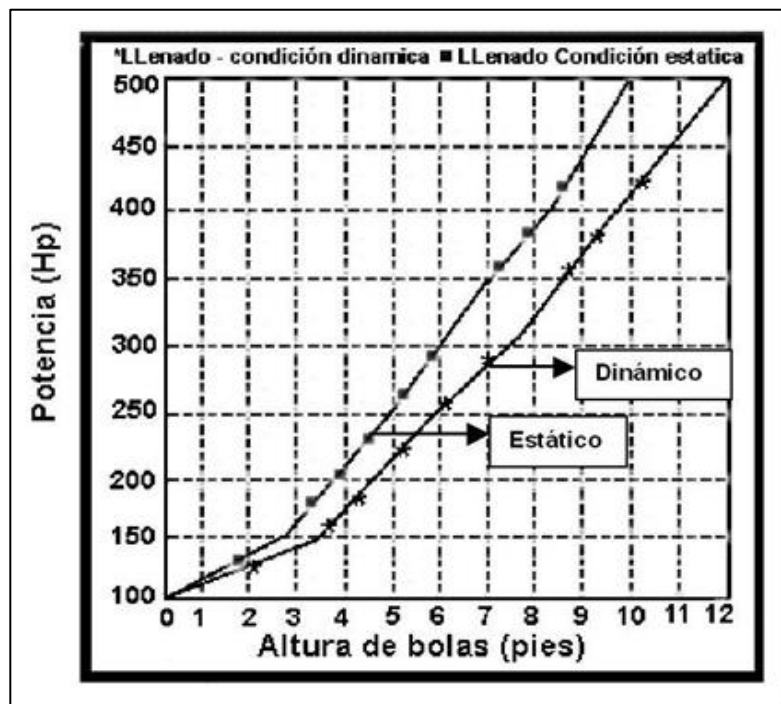


Figura 100
Potencia motor versus altura de bolas

22. Variables de operación del molino vertical.

22.1. Sistema de alimentación al molino.

La alimentación ingresa al molino por un tubo ubicado en la parte superior del molino o por el cajón de bombeo de la bomba de recirculación, la cual alimenta al molino por el costado. Las partículas más pesadas (más gruesas) en la pulpa circulan hacia abajo a través

del molino, pasando por los medios de molienda en el tornillo sinfin en movimiento. Esto resulta en una acción de molienda continua, hasta que la pulpa se descargue por la parte superior del molino y circule hacia el depósito de separación.

22.2. Nivel de llenado de bolas y mineral

Este nivel considera lo que corresponde a los medios de molienda, por lo tanto, no debería bajar en un 56 %.

La altura típica de medios de molienda es de 1.8 a 2.4 metros llegando hasta 3 metros, en algunos casos particulares, dependiendo de la aplicación. Aunque la medición del nivel puede ser solamente chequeado y verificado bajo condiciones estáticas con el molino detenido, el nivel de bolas es extremadamente importante ya que éste es el responsable directo por la eficiencia de molienda. La presión de molienda del medio de molienda (bolas de acero) varía directamente con la altura obteniendo de ésta forma una mejor molienda a mayores alturas del medio de molienda.

22.3. Efectos de la granulometría en el molino.

Las partículas más gruesas en la alimentación determinarán la velocidad que se debe mantener para una eficiencia máxima. La velocidad de subida sobre la carga de bola determinará el tamaño de partículas que descargará por la parte superior del molino vertical.

El tamaño de partícula más grueso a ser triturado y la granulometría del producto final son el criterio que determina la elección del tamaño del medio de molienda a utilizar.

Los ahorros en el consumo de energía, el medio de molienda y los revestimientos, al ser comparados con los molinos de bolas convencionales han sido demostrados en todas las aplicaciones ya instaladas a nivel mundial.

Los criterios empleados para determinar la velocidad y tamaño de la bomba son la granulometría del material, la configuración del circuito, el porcentaje de sólidos y la gravedad específica de los sólidos.

El analizar cada uno de estos aspectos ayudará a clarificar las consideraciones

operacionales y a diseñar los circuitos.

- a) Las partículas más gruesas en la alimentación determinarán la velocidad que se debe mantener para una eficiencia máxima. La velocidad de subida sobre la carga de bola determinará el tamaño de partículas que descargará por la parte superior del molino vertical.
- b) Un método práctico para la operación de circuito cerrado, es aquel en cual se debería tratar de mantener la velocidad justo por debajo del tamaño de alimentación máximo. Esta velocidad arrastrará tanto a las partículas más gruesas como a las más finas hasta el clasificador en donde la separación se llevará a cabo, lo que implica que la partículas más gruesas retornarán al molino vertical, para volver a ser molidas hasta el tamaño de producto deseado. La eficiencia máxima se obtiene al clasificar en forma continua el rebalse del molino vertical y sacar el producto terminado para así prevenir la sobre molienda.
- c) La granulometría del producto en un circuito abierto es determinado por la velocidad de subida, en donde flujos bajos son típicos para una molienda fina. Cada tamaño de molino vertical requiere una razón de flujo distinto. La figura 101 ilustra los diferentes flujos que se requieren para un mineral de gravedad específica que van desde 2,7 hasta una gravedad específica de 4,6.
- d) Este es un cálculo difícil ya que el comportamiento de la pulpa, los efectos de viscosidad, temperatura y forma de la partícula, todo esto contribuye al tamaño real que es descargado por la parte superior del molino vertical. Un simple cambio de polea o un ajuste de la velocidad de la bomba de recirculación con un variador de velocidad que permitirá tener la velocidad de subida perfecta para la pulpa durante la puesta en marcha.
- e) La densidad de pulpa y la gravedad específica afectan el volumen de la pulpa y la velocidad requerida para acarrear un tamaño de partícula deseado hasta la parte superior del molino vertical. El rebalse sobre el molino vertical es el tamaño del producto.

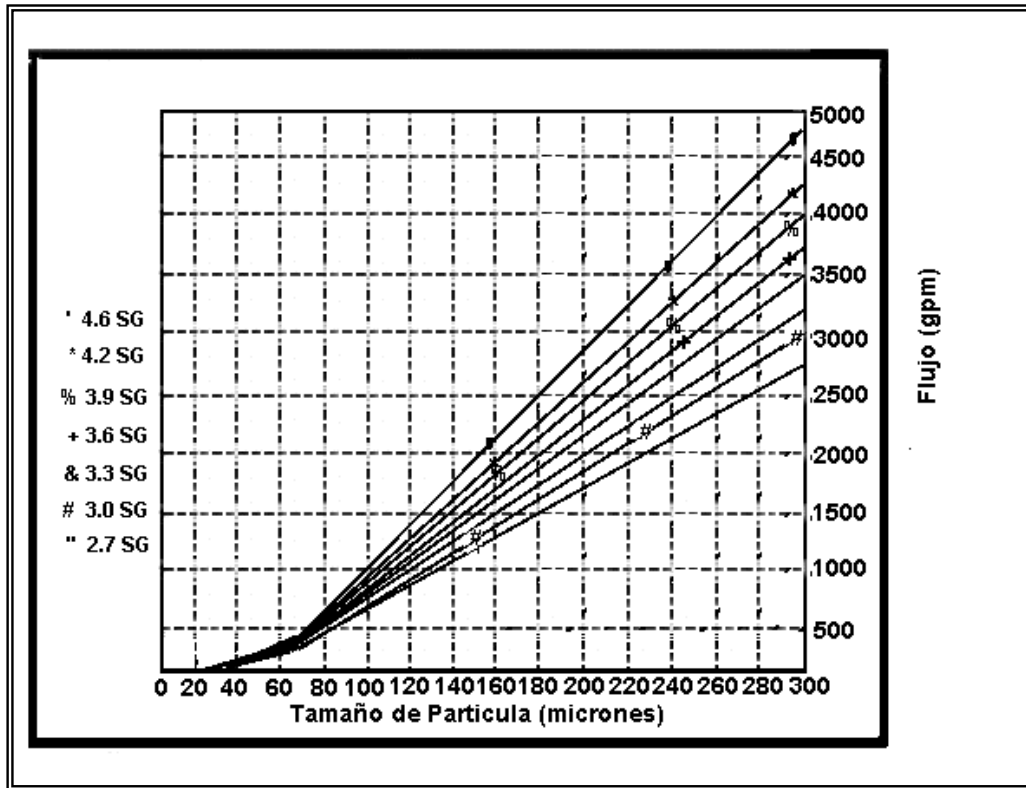


Figura 101

Gráfico flujo versus tamaño de partículas en el producto para minerales de distinta gravedad específica.

22.4. Método de molienda.

El rebalse de la pulpa se realiza por la parte superior del molino y va hacia una caja separadora o de distribución.

Existen muchas consideraciones al determinar el tamaño de la combinación bomba de recirculación y cajón separador o distribuidor que se utilizan en los molinos verticales. La figura 102 ilustra el diagrama conceptual de los flujos internos en el molino. Vemos que hay flujos de recirculación en la carga de bolas y también un flujo ascendente sobre la carga de bolas.

Un mayor flujo ascendente que se considera al diseñar un molino de mayor altura produce una molienda fina por tener mayor tiempo de residencia. Para disminuir el efecto de dicho flujo, se reduce la altura del cilindro del molino en aproximadamente, con la finalidad de

obtener un producto de molienda más grueso (versatilidad).

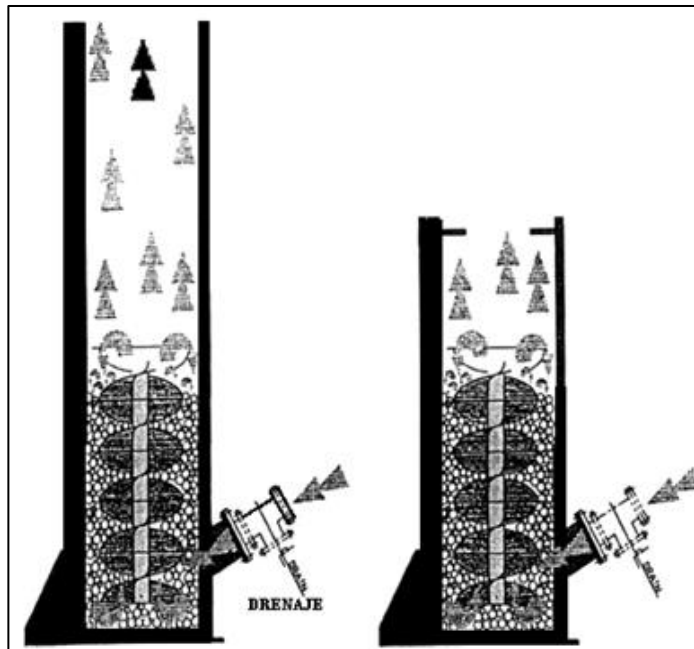


Figura 102

Diagrama conceptual de los flujos internos del molino

22.5. Carga de bolas

La carga de bola está típicamente compuesta por bolas de 1,5 pulgadas de diámetro, hasta un tamaño máximo de bolas de 2 pulgadas. El tamaño de bolas más pequeños es para una molienda más fina. Lo que determina el tamaño de bolas que se usará, es principalmente el tamaño de la partícula más gruesa a ser triturada y también la granulometría del producto deseado.

Si observamos la figura 103, para una partícula de tamaño aproximado en pulgadas versus el tamaño de bola requerido (en pulgadas), se observa que es necesario que la carga de bolas aumente debido al sobre tamaño de la alimentación para la obtención del mismo tamaño del producto.

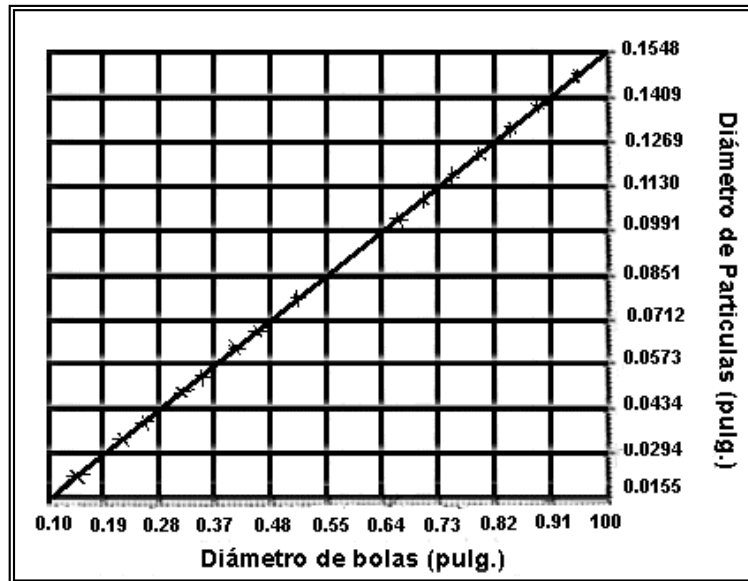


Figura 103

Análisis del tamaño de bolas para molienda fina en función del diámetro de partículas que cabe en el intersticio de tres bolas.

Mantener el apropiado nivel de carga y distribución de bolas en los molinos de remolienda es esencial para obtener la máxima eficiencia de molienda. Si la carga de bolas es muy baja, la velocidad de rotura de partículas en el molino también estará por debajo de la velocidad óptima. En este caso, la distribución granulométrica en la descarga del molino es más gruesa de lo necesario. Esto aumenta la carga circulante del molino, bajando la producción de concentrado limpio y por ende menor producción para el proceso.

Periódicamente, se agregan bolas a los molinos para compensar las bolas consumidas por el proceso. Este consumo tiene lugar principalmente debido a la abrasión con las partículas minerales, rotura de bolas, y en menor grado, por la corrosión producto de la química del agua y la pulpa.

La cantidad de bolas agregadas puede determinarse de dos formas:

Demanda de energía: Se basa en la demanda de energía del motor del molino debido a que la mayor parte de la energía requerida para accionar un molino de remolienda se usa para elevar las bolas, la demanda de energía se convierte en una indicación directa del nivel de bolas en el molino. Se agregan bolas cuando la demanda de energía del molino disminuye a un valor predeterminado. El tonelaje de bolas agregadas se basa en un gráfico, preparado específicamente para el molino de remolienda, que muestra el incremento de

energía del molino para una cantidad dada de bolas agregadas. Este gráfico se prepara durante la puesta en servicio y se actualiza según lo requerido a medida que los revestimientos del molino se desgastan.

Nivel de carga: Se basa en un nivel especificado del molino. El nivel del molino se mide en forma rutinaria cuando el molino se detiene, y se calculan las toneladas de bolas requeridas para hacer que la carga vuelva a su nivel especificado.

Se agregan bolas a los molinos usando un tambor de bolas y un huinche, y el procedimiento para agregar bolas a los tres molinos de remolienda es el mismo. Los tambores de bolas tienen una capacidad de 4 toneladas de bolas.

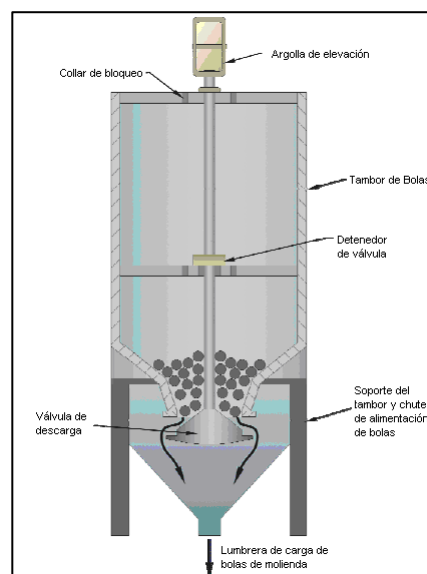


Figura 104
Buzón de carguío de bolas

22.6. Procedimiento de carguío de bolas

1. Determinar la cantidad necesaria de bolas que deben cargarse en el molino de remolienda.
2. Asegurarse que haya bolas suficientes en el sistema de carga de bolas de molienda.
3. Revisar la condición del tambor de bolas.
 - 3.1.- Revisar el tambor en busca de grietas visibles o soldaduras dañadas.
 - 3.2.- Asegurarse que no haya bolas atascadas entre las paredes del tambor y la válvula del tambor.
4. Conectar el gancho de la grúa a la argolla de elevación del tambor.

5. Levantar el tambor justo por encima del piso. Asegurarse que los frenos del huinche estén operando apropiadamente.
6. Verificar que la válvula se haya cerrado completamente.
7. Cerrar la barra de bloqueo que bloquea la argolla de elevación del tambor.
8. Usar el puente grúa, posicionar el tambor debajo de la tolva de alimentación de bolas de remolienda.



Bajo ninguna circunstancia una bola de molienda deberá estar en una posición donde pueda caer desde una cierta altura.

9. Abrir la compuerta almeja y cargue el tambor la cantidad deseada de bolas. Cerrar la compuerta al terminar.
10. Transportar el tambor hacia una posición sobre el soporte del tambor y chute de alimentación de bolas.
11. Bajar cuidadosamente el tambor de modo que descansa firmemente sobre el soporte.
12. Retirar la barra de bloqueo.
13. Hacer bajar la argolla de elevación de modo que las bolas puedan ser descargadas dentro del chute de alimentación de bolas.
14. Detener la carga de bolas de molienda cuando la cantidad predeterminada de bolas haya sido descargada dentro del molino. Levante la válvula para detener el flujo de bolas usando la grúa.
15. Poner la barra de bloqueo en posición para impedir que la válvula de descarga del tambor se abra.
16. Después de agregar las bolas al molino, devolver el tambor al piso para su almacenamiento seguro.
17. Revisar la demanda de energía del molino después de la carga.
18. Repetir el proceso a medida que se requieran bolas adicionales.
19. Notificar a la supervisión si el inventario de bolas es bajo.

Nota: Este procedimiento y sus equipos de carguío pueden variar en cada empresa minera según su diseño.

23. Clasificación húmeda

23.1. Fundamentos de la clasificación

El campo de la clasificación comprende aquellas operaciones de separación por tamaños que utilizan como principio de separación la velocidad de sedimentación. Se entiende por velocidad de sedimentación la velocidad relativa entre un fluido y un sólido que se produce por la acción de un campo de fuerzas externo como el gravitatorio o uno centrífugo.

El objetivo del uso de hidrociclones como clasificador es de separar la alimentación en dos productos, overflow y underflow. El primero contiene todas las partículas de diámetro menor que cierto diámetro de corte y el segundo todas las partículas de diámetros mayores a dicho diámetro. Este tamaño o diámetro de separación o diámetro de corte se designan por d_{50} .

23.2 Clasificadores centrífugos

Dentro del grupo de equipos centrífugos se encuentra el ciclón y el hidrociclón, que utilizan un campo centrífugo generado por la rotación del fluido, para acelerar la velocidad de sedimentación de las partículas.

El hidrociclón es un estanque cilindro-cónico, con una alimentación tangencial en la parte superior. Posee dos salidas, una situada en el centro y en lo alto de la parte cilíndrica sobre el vórtex y una en el extremo inferior del cono bajo el ápex.

La entrada tangencial produce un movimiento de vórtice en tres dimensiones. Las trayectorias son hacia abajo para las partículas gruesas que se ubican cerca de las paredes, y hacia arriba para las partículas finas que se ubican cerca del eje. Es decir existen dos vórtices concéntricos actuando simultáneamente y con direcciones opuestas. De acuerdo a este esquema, existe una superficie donde la velocidad vertical se hace cero y cambia de dirección.

Las partículas en suspensión están afectas a la acción de dos fuerzas opuesta: una fuerza de arrastre hidrodinámica dirigida radialmente hacia adentro y una fuerza centrífuga dirigida radialmente hacia afuera.

Dependiendo del tamaño y peso específico de las partículas, éstas tenderán a una posición de equilibrio que es más cercana al eje del ciclón mientras más pequeña o más liviana es la

partícula. Las partículas que se ubican en el radio de acción del vórtice ascendente serán llevados al rebose. Aquellas que se ubican a una distancia mayor serán llevadas a la descarga del hidrociclón o underflow. Mientras que aquellas que se ubiquen en la zona de velocidad vertical cero tendrán la misma probabilidad de aparecer en el rebose o descarga del hidrociclón.

Una columna de aire se desarrolla a lo largo del eje, normalmente conectada a la atmósfera a través del ápex. El comportamiento de esta columna de aire es complejo, y su efecto en el funcionamiento del hidrociclón es bastante importante. La desaparición de la columna de aire da lugar a una descarga tipo cordón, en contraste con la descarga usual tipo "paraguas". La descarga tipo cordón puede ocurrir si la acumulación de gruesos en el cono es excesiva debido a un diámetro muy pequeño del ápex, o a un aumento del contenido de sólidos en la alimentación o del flujo de entrada al ciclón. Esta situación de operación es indeseable por empeorar la clasificación.

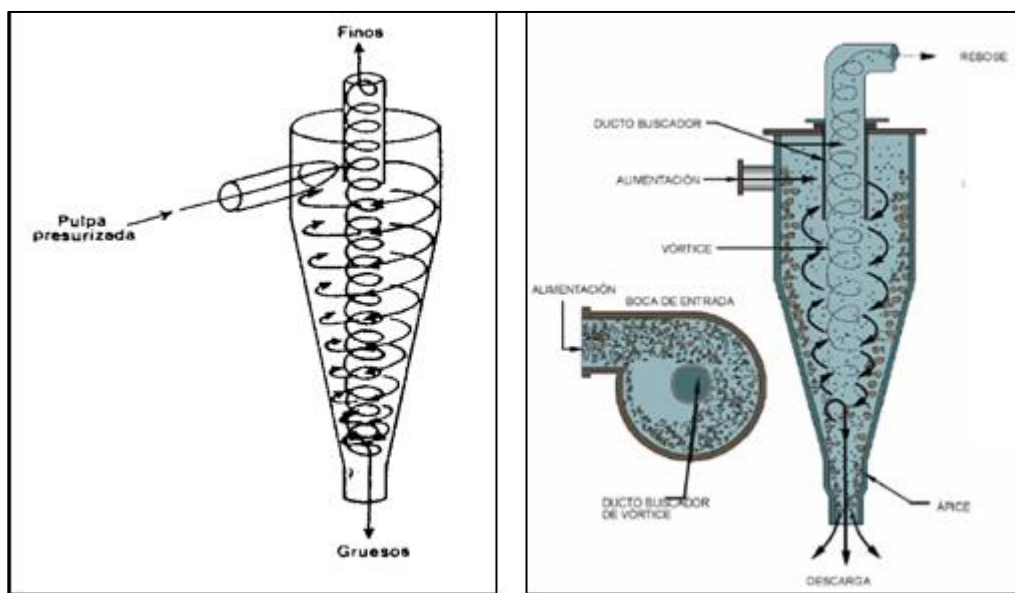


Figura 105
Operación de un hidrociclón

23.3. Tipos de hidrociclón

De acuerdo a su geometría podrían clasificarse en dos grandes grupos:

Cónicos: Dentro de este grupo se incluirán de cono pronunciado y los de cono tendido.

Cilíndricos: Este segundo grupo recogería los cilíndricos de fondo plano y descarga periférica, y los cilíndricos con descarga central.

23.4. Eficiencia de clasificación

La eficiencia de clasificación que realiza el hidrociclón, se evalúa por la fracción de la alimentación que se va a la descarga del hidrociclón, para cada intervalo de tamaño.

Una clasificación ideal sería aquella en la que todas las partículas más finas que un tamaño de corte sean seleccionadas para el rebose y las más gruesas para la descarga del hidrociclón.

Sin embargo en la práctica los hidrociclones no se comportan de esta manera y siempre habrá partículas finas en la descarga. Esto se debe seguramente a que las partículas son atrapadas y arrastradas por la pulpa densa de partículas gruesas que se mueve hacia la descarga.

23.5. Variables operacionales

Las variables se clasifican en cuatro grupos: de diseño, parámetros del material, de operación y perturbaciones.

Las **variables de diseño** definen el comportamiento grueso del hidrociclón, el tamaño de corte y la nitidez de separación. Las más importantes son:

- Tamaño de la unidad
- Tamaños de la alimentación
- Vórtex
- Ápex

Las **variables de operación** se pueden distinguir entre variables de entrada y de salida. Entre las de entrada se tiene:

- Flujo de alimentación
- Concentración
- Presión de alimentación

La **concentración** expresada como fracción volumétrica es la principal variable de control que permite cambiar en forma inmediata el tamaño de corte.

La **presión** de alimentación y el **flujo** de material están relacionados íntimamente y determinan la capacidad del equipo. Un aumento en el flujo mejora la eficiencia por un aumento en la fuerza centrífuga y así partículas más finas son llevadas al underflow y el **d₅₀** disminuye.

Entre las variables de salida interesa la **granulometría del rebose** y la **proporción de agua** que aparece en la descarga. Existe una interrelación entre ellas, ya que la proporción de agua influye en el cortocircuito y la granulometría del rebose es función de la curva de clasificación, del **d₅₀** y de la fracción de cortocircuito.

La principal **perturbación** es la distribución granulométrica de la alimentación. Esto requiere de un ajuste rápido de la concentración para mantener el **d₅₀** constante.

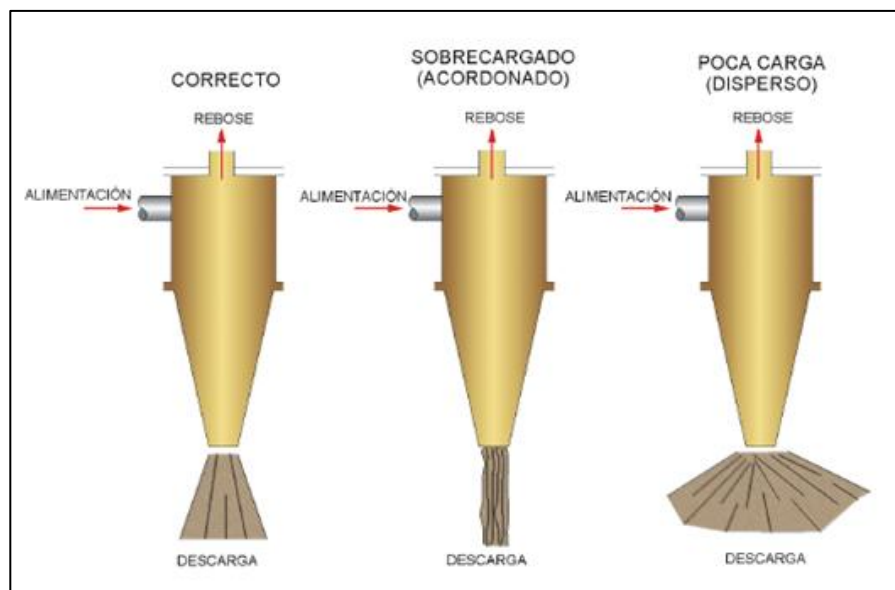


Figura 106
Tipos de descargas de un hidrociclón

Los hidrociclones se colocan en baterías para ahorrar espacio y asegurar una distribución igual de alimentación a cada ciclón. La figura 107 es una vista parcial en corte de una batería de ciclones. La pulpa proveniente de las bombas de alimentación de ciclones entra en el fondo de un distribuidor cilíndrico de alimentación, alrededor del cual las tuberías de alimentación de ciclones se colocan simétricamente. Las válvulas de alimentación que

conducen a cada ciclón pueden abrirse o pueden cerrarse independientemente. El underflow de cada ciclón descarga en una canaleta circular instalada alrededor de la tubería de alimentación. Otra canaleta circular recoge todos los reboses (overflow).

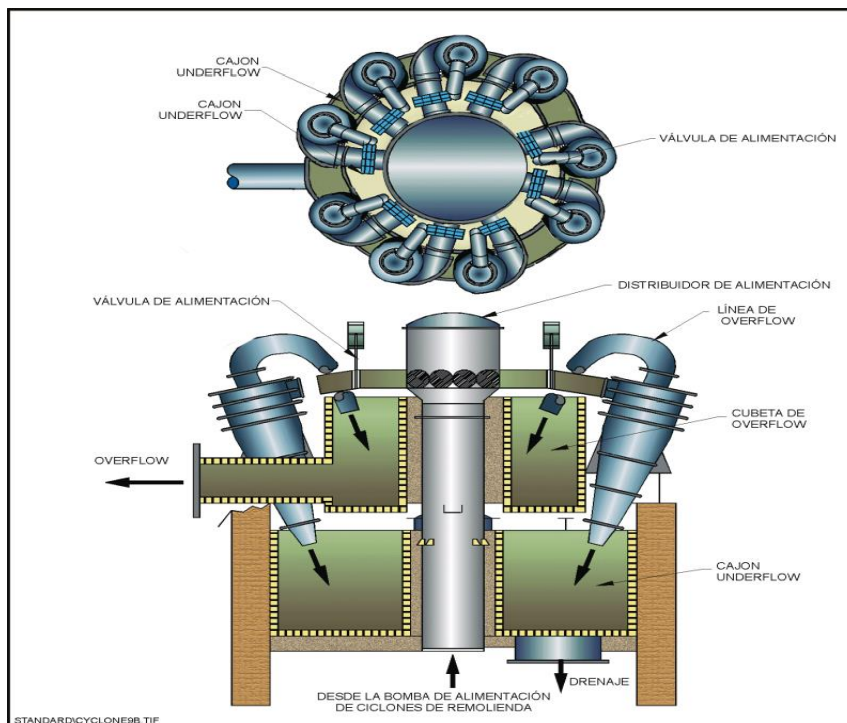


Figura 107
Baterías de hidrociclones.

Actividad N° 11

Determinar la malla de corte del proceso de remolienda.

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán determinar la malla de corte del proceso de remolienda para evaluar el equipo y la clasificación hidráulica del proceso.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la operación y componentes de un equipo de remolienda (hidrociclones) y, la importancia de controlar parámetros y variables de operación como la malla de corte en la clasificación.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Ajustar parámetros y variables de operación en el molino de remolienda y equipos auxiliares (hidrociclones), de acuerdo a condiciones de operación fuera de rango y corregirlas.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica la actividad a desarrollar.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 34

Materiales y Recursos.

20 k de concentrado rougher, en bolsas.

Mesón de trabajo.

Balanza digital

Cubierta de plástico.

1 Molino Bond por grupo de participantes

Bolas de acero de diferentes diámetros.

1 Mesa de rodillos

Agua

2 Baldes 20 lt por grupo de participantes

1 Cuaderno y lápiz por participante

1 Material impreso (guía laboratorio) por participante

Desarrollo de la actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de la medición de porcentaje de sólidos.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipo, materiales y entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 108

Elementos de protección personal obligatorios

El instructor entregará a cada grupo de trabajo 1 kilo de concentrado rougher.

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad.

1. El participante deberá revisar que el molino, mesa de rodillos y demás equipos se encuentren en buen estado y operativos.
2. Ajustar la velocidad de giro del molino en 50 rpm, en la mesa de rodillos.
3. En una probeta de 1000 cc, agregar 400 cc de agua.
4. El participante deberá agregar los 1000 gramos de concentrado lentamente dentro de la probeta con agua.
5. Completar con agua hasta completar exactamente los 1000 cc en la probeta.
6. El participante deberá pesar la probeta con la pulpa preparada, para determinar el porcentaje de sólido de la pulpa. Registrar dato.
7. Vaciar la pulpa dentro del molino, y cerrar herméticamente. El participante deberá colocar el molino sobre los rodillos con precaución.
8. Dar partida a la mesa de rodillos, ya ajustado a 50 rpm por un periodo de 15 minutos.
9. Pasado este tiempo, el participante deberá detener los rodillos y separar la pulpa de los medios de molienda, utilizando para ello 2 litros de agua.
10. El participante deberá verter la pulpa obtenida sobre la malla 325 con un movimiento constante, la cual debe estar sobre un balde de 20 lts para recibir el fino pasante.
11. El material que queda sobre la malla debe ser lavado con agua, hasta pasar todo el fino hacia el balde inferior.
12. El material grueso que quedó sobre la malla, el participante deberá ingresarlo dentro de la probeta de 1000 ml.
13. Se debe agregar agua a la probeta hasta completar exactamente los 1000 cc.

14. El participante deberá pesar la probeta con la pulpa, para determinar el porcentaje de sólido del material grueso. Registrar dato.

15. Con el porcentaje de sólido inicial y final del proceso, el participante deberá determinar la malla de corte del proceso, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Retenido malla corte} = \frac{d_{p2} - 1}{d_{p1} - 1} * 100$$

Donde:

dp_1 : densidad de pulpa inicial que se obtiene dividiendo el peso de la pulpa por 1000.

dp_2 : densidad de pulpa final, mineral grueso.

16. El participante deberá descartar todo residuo en baldes de 20 litros.

17. Dejar limpia y ordenada el área de trabajo (housekeeping)

D.- Cierre de la actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos, observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.

El participante deberá comprender la importancia del tamaño de corte producto del proceso de remolienda y clasificación, donde está establecido que la partícula mineral está totalmente liberada, la que se van a tratar en las etapas de limpieza (cleaner).

24. Bombas centrífugas

24.1. Hidráulica de bombas

Las bombas centrífugas, también denominadas rotativas, tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión.

El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor. En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido.

En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida.

Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión. En el caso de flujos bajos y altas presiones, la acción del rotor es en gran medida radial. En flujos más elevados y presiones de salida menores, la dirección de flujo en el interior de la bomba es más paralela al eje del rotor (flujo axial). En ese caso, el rotor actúa como una hélice. La transición de un tipo de condiciones a otro es gradual, y cuando las condiciones son intermedias se habla de flujo mixto.

24.2. Componentes fijos de una bomba centrífuga

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

Los elementos de que consta una instalación son:

a) Una tubería de aspiración, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.

b) El impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial (en las centrífugas), o permaneciendo axial (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando

también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

c) La voluta es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía el líquido antes de introducirlo en la voluta.

d) Una tubería de impulsión, instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

24.3. Componentes móviles de una bomba centrífuga

Rotor o Impulsor: La función del rotor es imprimirle al fluido por él recibido un movimiento de rotación, el cual a su vez hace que el líquido se desplace en dirección radial debido a la fuerza centrífuga. Además de transmitir la energía de velocidad al líquido. La energía en parte también es de empuje producido por los álabes.

Eje: Su función es la de llevar hasta el rotor la energía del elemento conductor de la bomba.

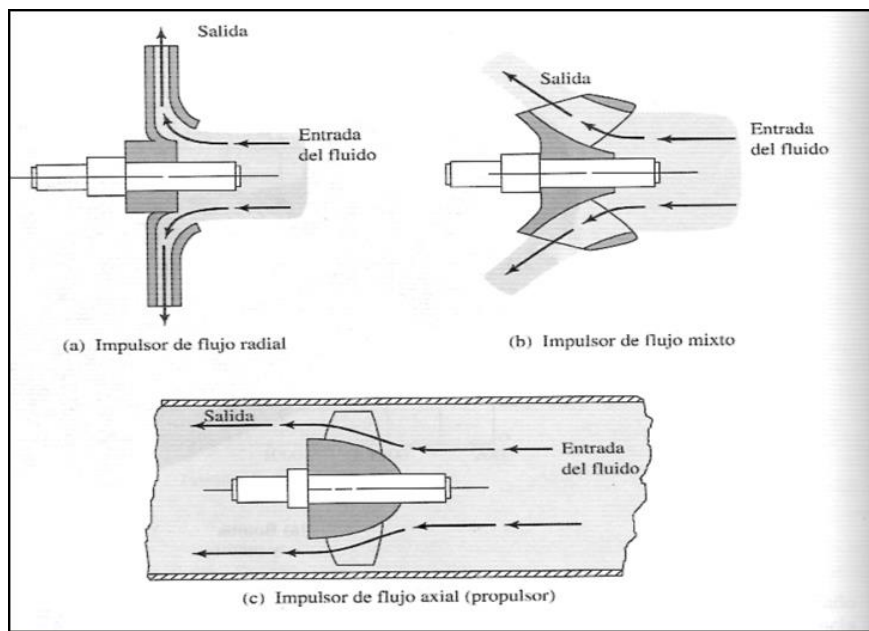


Figura 109
Tipos de impulsores según su función

Impulsores según su construcción mecánica. Un impulsor abierto es aquel en el cual los álabes están unidos a la manzana central sin plato en los extremos lo cual hacen que sean débiles sobre todo cuando son de diámetro grande, por lo cual, los llamados impulsores abiertos en realidad son semi abiertos (con excepción de los axiales), ya que llevan un plato en la parte posterior que les da resistencia.

Estos impulsores tienen la ventaja de que pueden manejar líquidos sucios y que la inspección es más simple. Tienen la desventaja que se deben mantener tolerancias muy estrictas con la carcasa para evitar recirculación.

Los impulsores cerrados pueden trabajar con tolerancias mayores entre ellos y la carcasa, ya que el líquido va canalizado entre las tapas integrales localizadas a ambos lados del álabe.



Figura 110
Tipo de impulsores según su forma

Anillos de desgaste. Debido a las diferencias de presión que se crean en las bombas, en algunos sitios es necesario dejar tolerancias muy estrechas entre partes móviles y estáticas para que no haya excesivas pérdidas; debido a estas tolerancias es casi seguro que allí va a ocurrir rápidamente un desgaste. Si además de esto, la pieza en que ocurriera el desgaste es costosa se hace necesario colocar una camisa de fácil reemplazo en las zonas de desgaste, con el fin de reemplazar esta y reducir así los costos de reparación. Un caso típico está en la zona de unión entre la manzana de succión del rotor y la carcasa de la bomba, donde se montan a presión o roscados anillos de fricción en el rotor o en la carcasa o en ambos.

Existen diversos tipos de anillos y deberá escogerse el más adecuado para la condición de trabajo y líquido manejado. Esta selección se basa solamente en la rigurosidad que se desee en las pérdidas por recirculación, ya que la otra condición, la de asumir el desgaste, todos lo hacen igual de bien.

De acuerdo a la forma que tengan, y a su capacidad para impedir el escape de flujo los anillos se pueden dividir en:

- a) Anillos planos.
- b) Anillos de forma de L.
- c) Anillos de laberinto.

Deberá mirarse con atención la tolerancia que existe entre los anillos, puesto que si es excesivo resultará en una recirculación considerable, y si es reducida, estos pueden pegarse, sobre todo si los materiales tienen tendencia a pegarse entre si como en el caso de los aceros inoxidable. Generalmente en las bombas estándar se usa bronce.

La magnitud de la tolerancia es dada por gráficas ampliamente conocida por los fabricantes de bombas, y el mantenerse dentro de ellos garantiza un mejor desempeño de la unidad.

La utilización de materiales sintéticos (caucho) tratando de simular el comportamiento de los retenedores de aceite, en las carcasas, en ninguna medida puede considerarse como una solución, ni siquiera comparable con los anillos de fricción de cualquier material metálico y de forma plana, ya que la caída de presiones función de la longitud de interferencia entre los anillos de fricción y no de un punto de contacto entre " Retenedor " y la manzana del rotor.

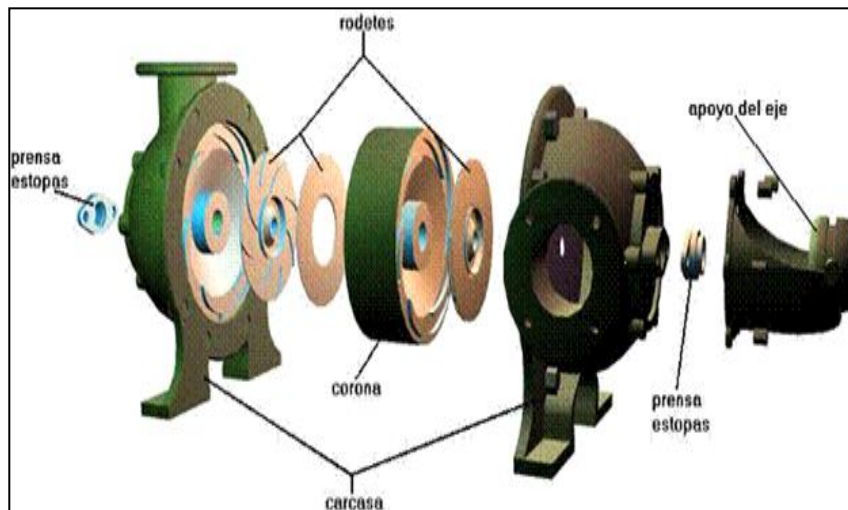


Figura 111
Anillos de desgaste

Estoperos, empaques y sellos. El estopero es una cavidad concéntrica con el eje, en la cual van colocados los empaques que impiden que el flujo se salga por el agujero por donde pasa el eje; al mismo tiempo que impide que el aire entre al interior de la bomba. Debido a que por una cara de los empaques llega la presión de la bomba, es necesario ejercer una presión sobre estos para contrarrestarla y se hace con el prensa-estopas. Gracias a estas presiones se crea una fricción alta entre los empaques y el eje, lo cual hace que se aumente la temperatura y el consumo de potencia.

Por todo esto es necesario lubricar todo el sistema de empaques. Esto se logra mediante una pieza rígida llamada "anillo linterna" a la cual se le hace llegar el líquido lubricador y refrigerante desde la misma carcasa o desde una fuente exterior.

En general si:

- a) El líquido es limpio y la altura de succión es negativa el líquido lubricante es el mismo impulsado.
- b) El líquido es limpio y la altura de succión positiva no se necesita que esté conectada la zona de descarga de la bomba con el anillo linterna.
- c) El líquido es limpio y la altura de succión es muy negativa se hace necesario alimentar el anillo linterna con una fuente exterior.

Existen además casos especiales en la disposición de los estoperos, que dependen de la aplicación particular:

- a) Cuando se manejan líquidos limpios con succión negativa y se desea el mínimo de contaminación en la corriente impulsada.
- b) Cuando la succión es positiva, y se desea recoger el líquido que sale por el estopero. Esto se hace por medio del anillo linterna.
- c) Cuando se movilizan líquidos abrasivos y se desea proteger la empaquetadura del prensaestopas.
- d) Cuando se quiere reducir a un mínimo las pérdidas por escape.
- e) Cuando se movilizan líquidos limpios con temperaturas de 105 -130°C.

La presión sobre los empaques se efectúa por medio de los prensa estopa, una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos.

Son diversos los materiales que se utilizan en los empaques de las bombas, pero los más comunes son:

- a) Empaque de asbesto, el cual es comparativamente suave y aconsejable para aguas con temperaturas no muy elevadas. Figura 112.
- b) Para presiones y temperaturas más elevadas y para algunos químicos se utilizan empaques con una mezcla de fibra de asbesto y plomo o bien plásticos con plomo, cobre o aluminio.
- c) Para sustancias químicas muy exigentes se usan empaques de fibras sintéticas como teflón.



Figura 112
Tipos de empaquetaduras.

Sellos mecánicos. Cuando se utilizan prensa estopas es necesario dejar un pequeño goteo que garantice la lubricación, lo cual puede ser molesto en algunas ocasiones.

Cuando se quiera reducir al mínimo dicho goteo es necesario utilizar el sello mecánico. Este último consta esencialmente de una parte estática y una parte dinámica cuyas caras están pulidas, siendo este último el secreto de la alta eficiencia del sello.

El apriete de la parte dinámica contra la parte estática se regula por medio de un resorte, lo cual es una gran ventaja, ya que no se necesita estar graduando manualmente como en el caso del prensaestopas. En general un sello mecánico bien escogido (con materiales adecuados al líquido movilizado) puede durar en promedio 15.000 horas sin gotear, y sin que necesite mantenimiento.

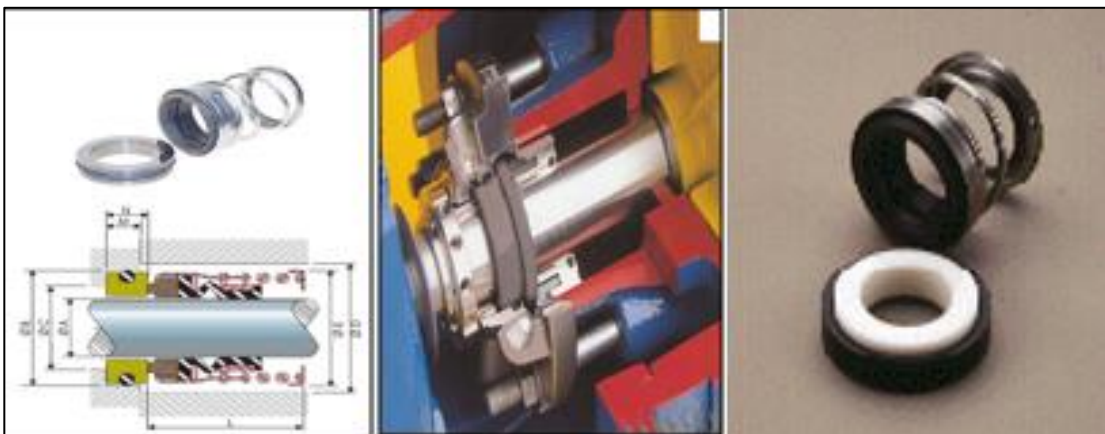


Figura 113
Sello mecánico

Ejes. El eje de una bomba hidráulica es la guía sobre la cual giran todas las partes dinámicas de esta.

Estos ejes pueden ser de una o de varias piezas dependiendo de la relación longitud/diámetro, pero en general solo en las bombas de pozo profundo en las cuales esta relación es muy grande, se utilizan ejes seccionados unidos por acoples.

Los ejes generalmente son hechos en acero, modificándose únicamente el contenido de carbono según se necesite. En casos especiales se utilizan aceros de alta aleación según la necesidad.

En la determinación del diámetro del eje debe tenerse en cuenta la potencia, el peso de los elementos giratorios y el empuje radial, teniendo cuidado al mismo tiempo que la velocidad crítica, la cual es función del diámetro este lo más alejada posible de la velocidad de operación, ya que si se opera cerca a ésta, cualquier fuerza pequeña será amplificada y podrá romper el eje. En ejes que tienen la relación longitud / diámetro muy grande se necesita más de dos puntos de apoyo.



Figura 114
Eje bomba centrífuga

Rodamientos. El objeto de los cojinetes es soportar las cargas axiales y/o radiales de las partes dinámicas, a la vez que las mantiene alineadas con respecto a las partes estacionarias.

Para lo anterior se usan generalmente rodamientos de bolas o de rodillos en todas sus variantes, ver figura 115, sin embargo en ocasiones se pueden utilizar bujes de material blando con lubricación a presión, y en bombas verticales se puede utilizar bujes de caucho (neopreno) lubricados por el mismo líquido movilizado.



Figura 115
Rodamientos

24.4. Sistemas de transmisión

Sistema de transmisión por correas. Uno de los principales usos de la transmisión por banda, es reducir o incrementar velocidad, entre el motor y la pieza conducida.

Es el más económico de los elementos de transmisión, ver figura 116, aunque su eficiencia depende de la tensión; alineación; longitud.



Figura 116
Transmisión por correas

Sistema de transmisión por acoplamiento fijo motor –eje. Los acoplamientos de ejes conectan un eje a otro eje, como el eje de accionamiento de un motor para el eje que gira los engranajes. Muchos tipos diferentes de acoplamientos de eje se utilizan para realizar estos tipos de conexiones. El acoplamiento del eje hace que los dos ejes giren sin permitir que un eje reaccione violentamente.



Figura 117
Acoplamiento del eje

24.5. Variables de funcionamiento

Si se supone una bomba que alimenta un depósito superior y se abre la válvula de impulsión, la presión disminuye y la altura manométrica también, aumentando el caudal, por lo que al ser la presión en la brida de aspiración de la bomba la misma, la presión diferencial ($p_{imp} - p_{asp}$) será menor.

Si se abre la válvula de aspiración aumentará la presión en la brida de aspiración de la bomba, disminuyendo la presión diferencial y la altura manométrica, aumentando el caudal; regulando la presión en la brida de impulsión de la bomba por medio de la válvula, se consigue el caudal deseado.

Si la velocidad del rodete es constante, un aumento del caudal supone un esfuerzo mayor para bombearlo a la misma velocidad lo que implica un aumento de la potencia.

En el arranque la potencia consumida por el motor es muy grande; inicialmente el rendimiento es nulo, y aunque la potencia en el motor sea máxima, la utilizada por la bomba es mínima, siendo el caudal prácticamente nulo.

En cuanto a la bomba hay que tener cuidado de que el caudal no baje del mínimo para evitar calentamientos en el rodete, así como no superar el máximo para evitar la cavitación o se queme el motor. Este aumento de caudal por encima del máximo puede suceder no sólo por una disminución excesiva de la presión de salida de la bomba, sino también por un

aumento excesivo de la presión de entrada. Lo que interesa es mantener siempre una presión diferencial correcta buscando el caudal óptimo.

Por lo que respecta a la densidad del líquido, la curva característica no se modifica al variar la densidad; para una misma posición de las válvulas, si cambiamos un líquido por otro de densidad menor, el caudal va a seguir siendo el mismo, y la altura manométrica también, pero la presión en la brida de impulsión de la bomba va a ser menor, proporcional a la relación entre las densidades, por lo que la presión diferencial será menor, y la curva de presión diferencial en función del caudal se desplaza hacia abajo.

En cuanto a la potencia, es evidente que para manejar el mismo caudal de un líquido menos denso, la potencia será menor.

24.6. Procedimiento de puesta en marcha y detención de una bomba centrífuga

24.6.1 Puesta en marcha

- La siguiente rutina es un método general que se puede seguir para arrancar la mayoría de las bombas. Asegúrese de no contradecir los métodos específicos de la planta o las instrucciones del fabricante para arrancar la máquina.
- Es importante estar completamente familiarizado con el sistema de la fábrica y con las instrucciones del fabricante. La seguridad es la consideración más importante en el arranque de cualquier equipo mecánico. Nunca accione una bomba sin que la protección esté debidamente colocada en su lugar. Nunca remueva un aviso de seguridad que usted no haya instalado.
- Cierre la bomba si existe alguna posibilidad de que ésta se haya vaciado mientras estaba cerrada.
- En las bombas enfriadas por fluido proveniente de una fuente externa, las válvulas de sello deben abrirse antes de arrancar la bomba. Si los sellos o los empaques de la bomba son enfriados por el fluido bombeado, las válvulas de sello se deben cerrar hasta que la bomba sea arrancada.
- La válvula de succión debe abrirse completamente.

- En el caso de algunas bombas, particularmente las de bajas velocidad, la válvula de descarga debe abrirse antes de arrancar la bomba. Verifique el método de la planta o el manual del operador.
- Después de arrancar la bomba, abra inmediatamente todas las válvulas de sello que estén cerradas.
- Si existe una válvula de purga encima de la carcasa, deje escapar el aire hasta que no haya más burbujas.
- Si la válvula de descarga está cerrada, ábrala lentamente en los diez segundos posteriores al arranque.
- Vea el manómetro de descarga para estar absolutamente seguro de que el líquido está fluyendo a través de las bombas.
- Es posible que, en un principio, la bomba emita un sonido áspero. Si ese ruido continúa es probable que la caja tenga aire. Pare la bomba y vuélvala a cebar. Si el ruido persiste, es posible que haya fugas de aire o carga de succión neta positiva, insuficiente

24.6.2. Detención programada de una bomba

- El detener una bomba implica mucho más que desconectarla. Al igual que en arranque, el paro de una bomba requiere una rutina.
- Cierre la válvula de descarga para proteger la bomba del flujo en reversa y de la contrapresión excesiva. No debe permitirse que la bomba opere con la válvula de descarga cerrada durante más de un tiempo mínimo. La bomba debe detenerse tan pronto como se cierre la válvula de descarga.
- Si los empaques o sellos son lubricados externamente, la lubricación no se debe detener antes de que la bomba se apague.
- Detenga la bomba
- Cierre la válvula de succión cuando la bomba vaya a permanecer apagada durante cierto tiempo.

- Drene la bomba si existe alguna posibilidad de congelamiento.

24.7. Fallas más comunes en la operación

- **La bomba no desarrolla presión**

La bomba no fue cebada antes de darle partida.

Eje quebrado.

No se instaló impulsor.

No hay transmisión de torque del acople al eje (no acopló, etc.)

- **La bomba genera algo de presión pero no lanza líquido**

Bolsillos de aire o vapor en la bomba o tuberías.

La línea de succión esta taponada.

Válvula de pie atrancada, atascada.

Filtros tapados.

Válvulas cheques dañadas o mal cerradas.

Tubería aplastada (revise toda la línea de succión, pida los planos y recorra toda la línea de succión hasta la bomba).

Cantidades de aire o vapor que trae el líquido bombeado o está entrando al sistema si hay vacío en la succión.

Velocidad del motor muy baja.

Rotación del motor errada.

Diámetro del impulsor muy pequeño, lo maquinaron más pequeño que el requerido por error o fue mal seleccionado.

- **La bomba desarrolla flujo menos del esperado**

Baja velocidad del motor, bajas rpm.

Dirección de rotación del motor al revés.

La presión requerida por el sistema para el flujo deseado es menor a la presión que puede dar la bomba.

Instrumentos de medición mal calibrados o mal instalados.

Recirculación del líquido a través de los anillos de desgaste.

Pérdida de líquido a través de la empaquetadura (floja, desgastada, mal instalada).

La viscosidad del líquido ha cambiado y es mayor para la cual fue seleccionada la bomba.

Voluta parcialmente tapado.

Impulsor dañado, erosionado o destruido.

Diámetro del impulsor pequeño por un mal maquinado o cambiado.

Bomba operando muy a la izquierda en la curva.
Hay obstrucción en la línea de succión o descarga.
Válvula de pie atascada o dañada.
Filtros sucios, atascados, tapados.
Nivel en el tanque de succión muy bajo frente a lo originalmente establecido.

- **La bomba vibra**

Desalineamiento entre eje motor y eje bomba.
Hay rozamiento entre partes rotatorias de la bomba y partes estacionarias.
Rodamientos desgastados.
Dirección de rotación del motor al revés.
Impulsor o voluta parcialmente atascados.
Voluta dañada.
Impulsor incorrectamente ensamblado en la voluta.
La bomba trabaja muy lejos del punto de máxima eficiencia.
Filtro en la succión tapado con material fibroso, sólidos.
Aire entra en la bomba.
Interacción entre varias bombas de un sistema.
La tubería de succión no estaba bien alineada a la brida de succión en la bomba.
La bomba opera a una velocidad crítica.
Elementos rotarios no han sido balanceados.
Se presentan fuerzas radiales no balanceadas sobre el eje.
Diámetro de la tubería de succión o descarga menor al recomendado.
Elementos de válvulas flojos.
Ejes torcidos.
Desalineamiento entre partes de las bombas.
La bomba opera a muy bajo flujo.
Fundaciones de las bombas mal diseñadas, desgastadas o corroídas.
Patatas cojas.
Pernos sueltos.
Expansión térmica no uniforme.
Rodamientos mal instalados.
Rodamientos dañados.
Lubricación de los rodamientos errada.
Obstrucción en la tubería de succión o descarga.
Excesiva cantidad de aire o gas atrapada en el fluido.
Aletas del impulsor desgastados o dañados.
Hay cavitación.

Actividad N° 12

Bombas Centrifugas.

Descripción de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán desarmar, armar e identificar los componentes de una bomba centrífuga en taller.

El objetivo de la actividad es que los participantes puedan verificar la función y posición de algunos componentes de este equipo de impulsión.



Figura 118
Bomba centrífuga.

Aprendizaje esperado que desarrolla

Identificar funcionamiento mecánico de bombas, para detectar anomalías i desperfectos, según estándares y procedimientos.

Verificar condiciones operacionales de las bombas para detectar variables o parámetros de operación fuera de rango y corregirlas.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de flotación, según lo expuesto en clases.

| | |
|-------------------------------|--|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |

| | |
|--|---|
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 35

Materiales y Recursos.

- 1 Bomba centrífuga por grupo de participantes
- Mesón de trabajo.
- 1 Juego de llaves punta corona por grupo de participantes.
- 1 juego doble de dados, de diferentes medidas
- 1 barrote con chicharra por grupo de participantes
- Huaype o trapo de aseo
- 1 tarro WD-40 por grupo de participantes.
- 1 flexómetro por grupo de participantes.
- 1 pie de metro por grupo de participantes

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de desarme y armado de la bomba.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos, materiales, herramientas y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 119

Elementos de protección personal obligatorios

El instructor deberá observar que los participantes respeten en todo momento las normas de seguridad y el uso de los EPP.

Los Participantes guiados por el instructor, deberán seguir los siguientes pasos:

- a) Retirar rejilla de protección (protección partes en movimiento)



Figura 120

- b) Retirar conexión flexible eje bomba - eje motor (absorbe desalineamientos)



Figura 121

- c) Separar carcasa del conjunto.



Figura 122

d) Retirar impulsor.



Figura 123

e) Retirar plato de soporte de impulsor.



Figura 124

f) Retirar caja de sellos.

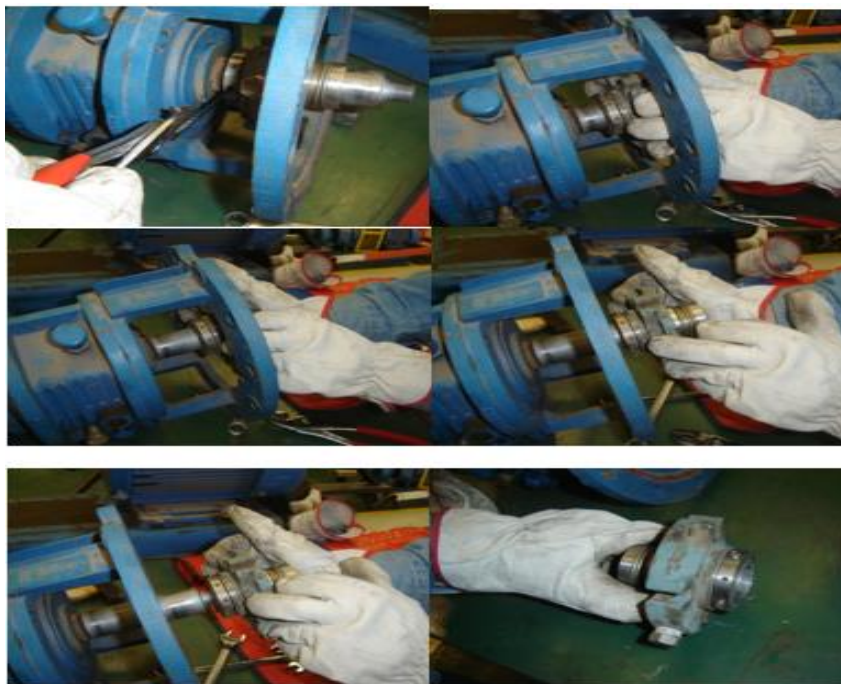


Figura 125

g) Desarmar sello (evita filtración de líquido desde bomba hacia el exterior)



Figura 126

h) Desarmar caja de rodamiento o cojinete (para soportar eje en movimiento)



Figura 127

Una vez terminado el desarme, el participante deberá registrar lo siguiente:

Tipo impulsor: _____

Diámetro de eje o camisa: _____

Tipo de sello: _____

Tipo de rodamientos: _____

Medidas bomba (succión y descarga): _____

Tipo conexión eje bomba y eje motor: _____

i) Para el armado, el participante debe seguir la secuencia inversa del procedimiento de desarme.

- Cierre de la actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases las observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.



25. Fundamentos del proceso de espesamiento

25.1. Objetivo del espesamiento

Aumentar la concentración de sólidos de la pulpa de la corriente de alimentación, mientras que en la clarificación retirar los sólidos de la corriente de alimentación.

25.2. Antecedentes

Los métodos más utilizados para procesar minerales, tales como la flotación, requieren que el mineral, reducido a un determinado rango de tamaño de partículas, se encuentre mezclado con agua. Una vez obtenido el concentrado y el relave, o la solución y el residuo, es necesario separar los sólidos del fluido.

El concentrado de una planta de procesamiento de minerales metálicos sigue su camino hacia la etapa de fundición donde debe ser sometido a calentamiento. Alternativamente, en aquellas industrias mineras que no requieren fundición, el concentrado debe venderse como tal y ser transportado fuera de la empresa. En ambos casos interesa que el producto contenga una mínima cantidad de líquido para reducir el consumo de combustible en el proceso de secado o en el costo de transporte.

La eliminación de agua del concentrado se efectúa mediante el espesamiento, la filtración y el secado. La eficiencia del espesamiento se mide, en este caso, a través del porcentaje de sólido logrado en la descarga, el que debe ser el máximo posible. Para la filtración y secado, la “humedad residual” debe ser mínima.

Mientras más eficiente es cada una de estas etapas, mejor será el rendimiento económico de la empresa.

En cuanto a los relaves finales de una planta de flotación, que son material de desecho o contaminantes, no se les debe eliminar sin antes recuperar el agua. Las empresas mineras muchas veces están situadas en regiones áridas o cordilleranas donde el agua es un recurso escaso.

La sedimentación es la remoción de partículas sólidas que se encuentran suspendidas en un líquido, mediante decantación gravitacional.

Las operaciones de este tipo se pueden dividir en Espesaje y Clarificación. Aunque se tratan de procesos en los cuales están en juego los mismos principios, estos difieren en los objetivos finales que cada uno de ellos poseen.

El espesaje tiene por objetivo principal el de aumentar la concentración de sólidos de la pulpa de descarga. En tanto que la clarificación o decantación, se provoca la remoción de partículas sólidas desde flujos relativamente diluidos.

De acuerdo a lo anterior, en la clarificación las separaciones sólido-líquido se caracterizan por una sedimentación sin una interfase clara entre el líquido claro y las partículas o sedimento, por consecuencia la capacidad está limitada por la cantidad de sólidos que son permeables en el rebose (overflow). El rendimiento de estos equipos entonces es el característico para clasificadores húmedos y pueden ser analizados mejor bajo ese punto de vista.

25.3. Definición

Se denomina espesamiento o espesaje a la operación de separar, mediante el mecanismo de sedimentación, parte del agua, de modo de obtener por una parte, una pulpa de mayor concentración de sólidos en la descarga (underflow) y por la otra, un flujo de agua clara (rebose). Se habla de *espesamiento* cuando el interés está puesto en la suspensión.

Se denomina clarificación o decantación a la operación de eliminar todo tipo de partículas o sedimentos del agua. Se habla de *clarificación* cuando hay un especial interés en el fluido clarificado.

| Características de la pulpa | Descripción del fenómeno | Aplicación |
|-----------------------------|---|---|
| Diluida (clarificación) | Partículas sedimentando inicialmente independientes, sin formación de interfase. La velocidad es función principal del tamaño de las partículas, y de la concentración. | Clarificación de agua o salmuera. Tratamiento de desechos o contaminantes. |
| | Zona alta de partículas sedimentando | Pulpas de procesos químicos y metalúrgicos. |

| | | |
|----------------------------|--|--|
| Intermedia (clarificación) | independientemente. Zona baja de sedimentación colectiva. Zona de interfase sin forma clara. | |
| Concentrada (espesaje) | Pulpa sedimenta con interfase clara. Idealmente la velocidad de sedimentación es función sólo de la concentración. En la práctica la velocidad aumenta con la formación de flóculos. | Pulpas y procesos químicos y metalúrgicos. |
| Compresible (espesaje) | Sedimentación manual con interfase, posterior sedimentación obstruida de lodos que depende del tiempo y profundidad de la zona obstruida. | Pulpas especiales con agregado de floclantes (minería metálica). |

Tabla 36
Clasificación de la operación de sedimentación

26 Teoría de la sedimentación

Se entiende por **sedimentación** la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua.

Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de *clarificación* y *espesamiento*

El concepto de sedimentación de partículas en suspensión es fundamental en la operación de espesaje, por cuanto es la base de este proceso y debe analizarse en detalle.

Se analizará en primer lugar, las principales características de las fuerzas de sedimentación que participan en la decantación de partículas sólidas. Una partícula sólida, aislada, en un fluido de menor densidad, tiende a caer aumentando su velocidad hasta llegar a una velocidad de equilibrio entre las fuerzas de gravedad y las fuerzas de resistencia del fluido. Esta velocidad de equilibrio se denomina velocidad de sedimentación. La velocidad de sedimentación es función del diámetro de la partícula que sedimenta (d), del peso específico relativo entre el sólido y el fluido (s), y la viscosidad del fluido (μ). Si W representa la velocidad de sedimentación, entonces:

$$W = W(d, s, \mu)$$

Además, dependiendo de las características del fluido y de la velocidad de sedimentación, es posible que las partículas sólidas decanten en régimen laminar o estratificado o en régimen turbulento o con estelas de remolinos. Gráficamente, estos fenómenos físicos se presentan en la figura N° 128.

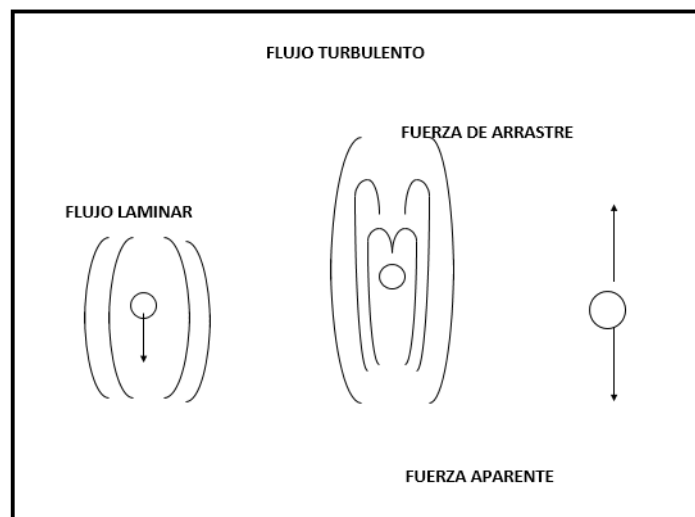


Figura 128
Representación física del régimen de decantación

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

26.1. Sedimentación de partículas discretas

Se llama *partículas discretas* a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída.

Se denomina *sedimentación o sedimentación simple* al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.

26.2. Sedimentación de partículas floculentas

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos.

A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas forma, tamaño, densidad, sí cambian durante la caída.

Se denomina *sedimentación floculenta o decantación* al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

26.3. Sedimentación por caída libre e interferida

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno *caída libre*. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina *depósito o caída interferida o sedimentación zonal*.

Sedimentación interferida: Cuando una partícula discreta sedimenta a través de un líquido en caída libre, el líquido desplazado por la partícula se mueve hacia arriba a través de un

área suficientemente grande sin afectar el movimiento. En la sedimentación interferida, las partículas se encuentran colocadas a distancias tan reducidas que el líquido desplazado se confina como dentro de un tubo y la velocidad aumenta conforme se interfiere en los campos situados alrededor de las partículas individuales.

El flujo no sigue líneas paralelas, sino trayectorias irregulares, a causa de la interferencia de las partículas en suspensión, lo que produce un fenómeno similar al que se genera en el retro lavado de un filtro.

Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una **compresión o zona de compresión**.

26.4. Expresiones de velocidad de sedimentación

26.4.1. Partículas discretas con caída libre

El fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre, también denominado **en soluciones diluidas**, puede describirse por medio de la mecánica clásica.

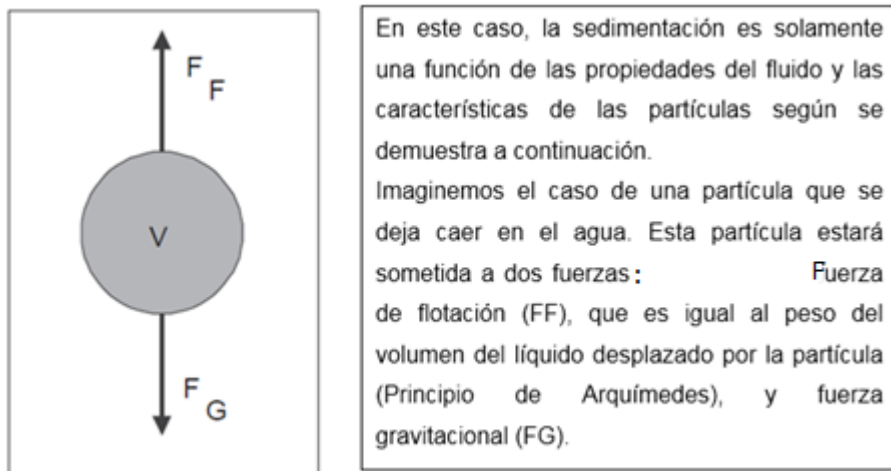


Figura 129
Fuerzas actuantes en una partícula

Si

$$FF = \rho$$

(ec.1)

Y,

$$FG = \rho_s$$

(ec.2)

donde:

ρ = densidad del líquido
 ρ_s = densidad del sólido
 V = volumen de la partícula

De la acción de ambas fuerzas tenemos la fuerza resultante, que será igual a la diferencia de estos dos valores y estará dada por:

$$F_i = g V (\rho_s - \rho) \quad (\text{ec. 3})$$

donde:

F_i = fuerza resultante o fuerza de impulsión

Arrastrada por esta fuerza (F_i), la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton, cuyo valor es:

$$F_R = C_D A \rho (V_s^2 / 2) \quad (\text{ec. 4})$$

donde:

F_R = fuerza de rozamiento

$(V_s^2 / 2)$ = energía cinética

V_s = velocidad de sedimentación.

C_D = coeficiente de arrastre

Después de un corto periodo, la aceleración pasa a ser nula y el valor de la fuerza de fricción (F_R) iguala a la de impulsión (F_i), momento en el cual la partícula adquiere una velocidad constante, conocida como *velocidad de asentamiento* o *sedimentación*. En ese momento se cumple que las ecuaciones (3) y (4) son iguales; por lo tanto:

$$g \cdot V (\rho_s - \rho) = C_D \cdot A \cdot \frac{V_s^2}{2} \rho$$

Despejando el valor de V_s se obtiene:

$$V_s = \sqrt{\frac{2 g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot \frac{V}{A}}$$

Para el caso particular de partículas esféricas:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{y} \quad V = \frac{\pi d^3}{6}$$

Siendo d = diámetro de la partícula:

$$\frac{V}{A} = \frac{\pi/6 \cdot d^3}{\pi/4 \cdot d^2} = \frac{2}{3}d$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot d}$$

En la cual:

V_s = velocidad de sedimentación.

d = diámetro de la partícula

g = aceleración de la gravedad

ρ = densidad del líquido

ρ_s = densidad del sólido

26.4.2. Sedimentación de partículas floculadas

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad.

La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60.

El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación.

Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 o Fe_2O_3), agua en 85 a 95% y turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20.

El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la figura 130.

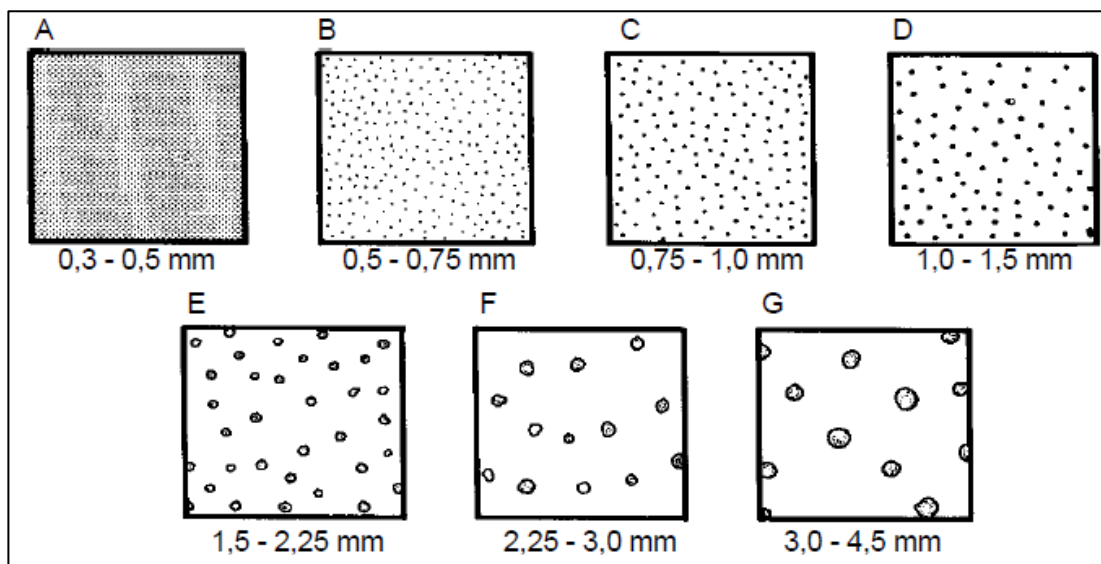


Figura 130
Índices de Willcomb para determinar el tamaño de flóculo

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas. En ellos se deben tomar las siguientes precauciones:

Que la muestra de la suspensión sea representativa y que se mantenga a igual temperatura.

Sedimentación de partículas floculentas con caída interferida. En bajas concentraciones de partículas, estas sedimentan o decantan libremente; en cambio, con alta concentración de partículas floculentas (superiores a 500 mg/l), las partículas se encuentran a distancias tan reducidas que se adhieren entre sí y sedimentan masivamente. Así, se crea una clara superficie de separación entre los flóculos y el líquido que sobrenada y esto da origen al fenómeno de sedimentación conocido con los nombres de *decantación interferida* o *zonal*.

Klinck establece las hipótesis fundamentales para la decantación interferida, en la cual la velocidad de caída de una partícula depende principalmente de la concentración de las partículas.

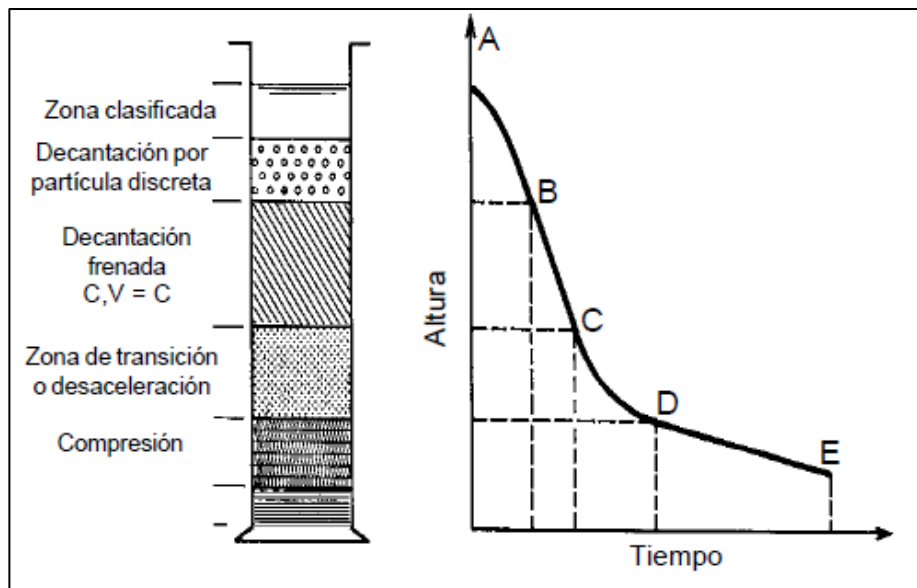


Figura 131
Decantación por caída interferida

Al llenar una columna de sedimentación de altura y diámetro adecuados con una suspensión floculenta de elevada concentración, se tiene inicialmente una concentración uniforme en toda la altura de la columna (*ho*). En diferentes tiempos se mide la altura de la capa superior de los lodos y se obtiene una curva tal como la que aparece en la Figura 131, que tiene los siguientes rasgos:

Zona A-B. La superficie de separación es muy definida. Esta es una fase de coalescencia de los flóculos seguida de una zona muy pequeña de decantación libre (en la mayoría de casos, esta primera zona no se produce).

Zona B-C. Tiene una pendiente rectilínea. Corresponde a una velocidad de caída constante definida únicamente por el tipo de floculación y la concentración de las partículas. Al incrementarse la concentración inicial de las partículas disminuye la velocidad. A esta zona se la denomina *decantación frenada*.

Zona C-D. En esta zona se produce la disminución progresiva de la velocidad de caída. Se denomina *zona de desaceleración o transición*.

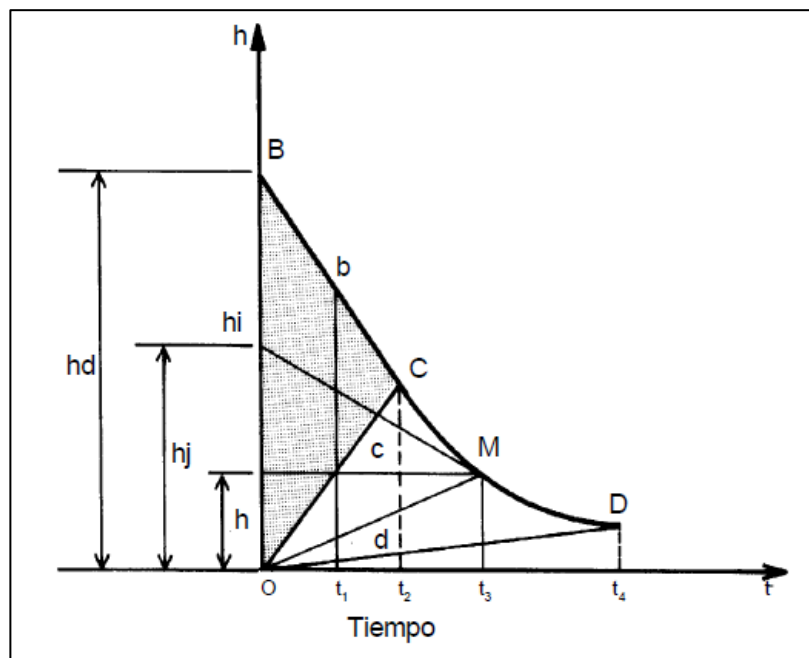


Figura 132
Análisis de la curva de decantación interferida

Zona D-E. En esta zona los flóculos se tocan y ejercen presión sobre las capas inferiores, puesto que están soportados por estas. Se le llama *zona de compresión*.

Si consideramos, por simplicidad, que al decantarse una suspensión concentrada no se produce la primera zona, se obtienen las alturas de separación de interfase como se indica en la figura 132.

En el triángulo BOC , la concentración y la velocidad de caída son constantes e iguales, respectivamente, a los valores iniciales en B .

En el triángulo COD , las curvas de equi concentración son rectas que pasan por el origen, lo que significa que, desde los primeros momentos de la sedimentación, las capas más próximas al fondo se tocan y pasan por todas las concentraciones comprendidas entre la concentración inicial y la concentración al punto D , principio de la compresión.

Para calcular la concentración en un punto M de la parte CD , se traza la tangente en M , que corta al eje de ordenadas en hi .

La altura hi permite calcular la concentración C_i , correspondiente al punto M :

$$C_i = C_o \frac{h_o}{h_i}$$

A la cual corresponde una velocidad de caída $V1 = dh/dt$ (pendiente de Mhi).

La concentración media del fango en toda la altura h será:

$$C = C_o \frac{h_o}{h}$$

26.5. Coagulación y floculación.

Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, ó sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

Los términos *Coagulación* y *Floculación* se utilizan ambos indistintamente en colación con la formación de agregados. Sin embargo, conviene señalar las diferencias conceptuales entre estas dos operaciones.

La confusión proviene del hecho de que frecuentemente ambas operaciones se producen de manera simultánea. Para aclarar ideas definiremos *Coagulación* como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la *Floculación* se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración. Por tanto:

Coagulación: Desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

Floculación: Aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

En la figura 133 se muestra como los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y la formación de flóculos. Estos flóculos inicialmente son pequeños, pero se juntan y forman aglomerados mayores capaces de sedimentar. Para favorecer la formación de aglomerados de mayor tamaño se adicionan un grupo de productos denominados floculantes.

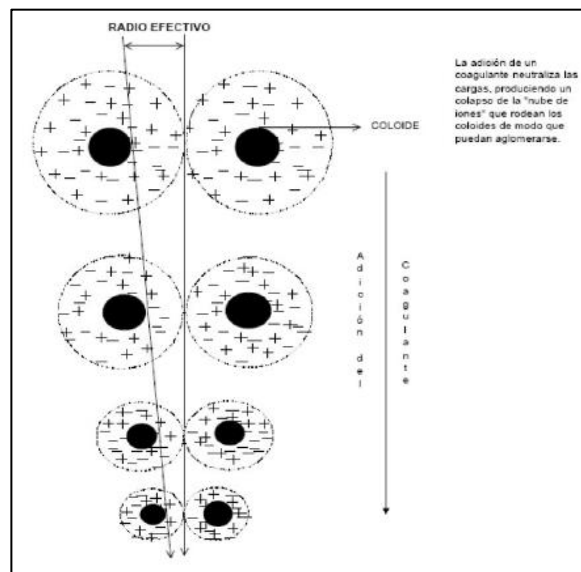


Figura 133
Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa

La precipitación del coloide implica por tanto dos etapas:

1) **Desestabilización.** Las teorías sobre el mecanismo de este fenómeno se basan en la química coloidal y de superficies.

2) **Transporte de núcleos microscópicos para formar agregados densos.** La teoría del transporte está basada en la mecánica de fluidos.

Coloides. Las especies coloidales halladas en aguas superficiales y residuales incluyen arcillas, sílice, hierro, metales pesados, color o sólidos orgánicos como por ejemplo residuos de animales muertos.

Se han postulado diversas teorías para describir el fenómeno de las repulsiones entre partículas coloidales. Prácticamente, todo lo que se necesita para definir el sistema es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. La magnitud de la carga, ilustrada por la capa que en la Figura N° 133 rodea al coloide, determina lo cerca que pueden aproximarse las partículas.

El potencial Z es una medida de esta fuerza de repulsión. Para coloides en fuentes de agua natural, con un pH entre 5 y 8, oscila entre -15 y -30 mV. Cuanto mayor es, en valor absoluto, mayor es la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial Z las partículas pueden aproximarse aumentando la posibilidad de una colisión. Los coagulantes proporcionan cargas de signo contrario para eliminar ese potencial.

La coagulación se puede presentar a un potencial pequeño sin necesidad de neutralizarlo por completo. Si se añade demasiado coagulante las partículas se cargan ahora con el signo contrario y pueden volver a dispersarse.

26.5.1. Mezclado del coagulante

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión.

El movimiento browniano, movimiento caótico comunicado a las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua, está siempre presente como una fuerza homogeneizadora natural. Sin embargo, casi siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la

frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. Así, en aguas de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos para aumentar dichas colisiones.

26.5.2. Crecimiento de los flóculos

Una vez que se ha añadido el coagulante y se ha realizado la operación de coagulación se pasa a la formación de flóculos mayores.

Puede ocurrir que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo suficientemente grande como para asentarse con la rapidez deseada. Por ello es conveniente utilizar productos coadyuvantes de la floculación ó simplemente denominados floculantes.

Un *floculante* reúne partículas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos. Un mezclado demasiado intenso los rompe y rara vez se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Una buena floculación favorece el manejo del lodo final para su desecación, filtrado, etc.

Los floculantes se fabrican en forma de sólidos secos, líquidos, emulsiones y suspensiones. Los sólidos secos requieren sistemas diseñados adecuadamente para obtener una disolución total, con una concentración característica de aproximadamente 0.5 a 1% en peso. Las formas fluidas de los floculantes son más fáciles de dispersar. Las soluciones preparadas se diluyen por lo general hasta 0.1 a 0.01% antes de agregarlas a la pulpa de alimentación del espesador. En algunos casos puede ser necesario diluirlas aún más, hasta el equivalente de 1 a 2% del volumen de alimentación, para obtener una floculación eficiente.

En los espesadores convencionales, el floculante se agrega al pozo de alimentación o en lugares diversos de manera de obtener una distribución relativamente uniforme del reactivo. Sin embargo, en muchas aplicaciones es necesario un mezclado cuidadosamente controlado del floculante y la corriente de alimentación, para mantener una eficiencia de floculación y velocidades de sedimentación altas. Esto es especialmente válido para los espesadores de alta velocidad.

Actividad N° 13

Tiempo de sedimentación

Introducción a la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, deberán medir el tiempo de sedimentación de partículas en pulpas con diferentes porcentajes de sólidos.

El objetivo de la actividad es familiarizar a los participantes en la sedimentación de partículas sólidas en un líquido y la importancia que tiene dentro de las plantas de procesamiento de minerales.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Verificar condiciones operacionales de los espesadores y partes constituyentes para detectar condiciones fuera de régimen.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el procedimiento a aplicar en la actividad, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 37

Materiales y Recursos.

2 Vasos precipitados 1000 cc por grupo de participantes

1 Balanza digital.

10 lt Pulpa de concentrado de cobre preparada.

Floculante al 0,1 % m/v

10 k mineral de granulometría 80 % -325# Tyler

4 Probetas de 1000 ml por grupo de participantes.

1 Cronómetro por grupo de participantes

Floculante.

Papel milimetrado.

Scotch

1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante.

Desarrollo de la Actividad

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de sedimentación de sólidos de una pulpa.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 134
Elementos de protección personal obligatorios

El taller se desarrollará en dos etapas:

El participante deberá seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad:

Espesamiento sin floculante.

1. El participante deberá revisar el estado y limpieza de las probetas.
2. El participante deberá preparar pulpas con mineral fino con 12, 15, 18 y 20 % sólidos, 800 cc cada pulpa en vasos precipitados de 1000 cc.

Las fórmulas a emplear son:

$$m_s = \frac{Vp}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{D}{\rho_l}}$$

$$D = \frac{1-x}{x}$$

$$x = \frac{ms}{mp}$$

donde:

- m_s : masa de sólido (g)
- Vp : volumen de pulpa a formar (cc)
- ρ_s : densidad de sólido (g/cc)
- D : dilución
- X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).

3. El participante deberá vaciar cada vaso en una probeta distinta, debidamente marcada por porcentaje de sólidos
4. Medir el tiempo de separación de la fase líquida y sólida. Anotar en el papel milimetrado pegado en cada probeta cada cierto tiempo, a criterio del instructor y anotar las observaciones.
5. Cuando las fases líquidas y el sedimento se distingan claramente, detener la medición del tiempo y terminar con la actividad. Anotar observación y tiempo de la sedimentación de las partículas.

Espesamiento con floculante

De forma paralela, mientras sedimentan las partículas de la actividad anterior, el participante deberá realizar lo siguiente:

1. Deberá revisar el estado y limpieza de las probetas
2. Deberá preparar nuevamente 4 pulpas con los mismos porcentajes de sólidos en los vasos precipitados limpios (10, 12, 15 y 18% sólidos).
3. Deberá vaciar cada vaso en una probeta distinta, también marcadas por porcentaje de sólidos.
4. Agregar con un gotero, cuatro gotas de floculante al interior de cada probeta.
6. Medir el tiempo de separación de la fase líquida y sólida. Anotar en el papel milimetrado pegado en cada probeta cada cierto tiempo, a criterio del instructor y anotar las observaciones.

5. Cuando las fases líquidas y el sedimento se distingan claramente, detener la medición del tiempo y terminar con la actividad. Anotar tiempo y observaciones.

Una vez que los participantes terminen con ambos procedimientos, el instructor entregará las siguientes instrucciones en la pizarra o por escrito en una guía lo siguiente:

- Los participantes, individualmente o en grupos, deberán anotar las diferencias que se aprecian en cada una de las probetas.
- Describir como influyó la dosificación de reactivo floculante en las probetas.
- Describir como influyó la diferencia en el porcentaje de sólidos en la velocidad de sedimentación.
- Describir si los tiempos de sedimentación de cada probeta son diferentes entre sí o muy cercanos en valor.

Cierre.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos, observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.

La sedimentación es el fundamento que sustenta el aumento de concentración de sólidos en los concentrados de minerales y el tiempo que demora la partícula en sedimentar.

El instructor con los participantes tiene la oportunidad de sacar conclusiones del proceso al comparar los tiempos en cada una de las etapas.

27. Funcionamiento y tipo de espesadores

La sedimentación moderna data de 1906 con la invención del espesador Dorr, primera unidad de sedimentación mecánica de funcionamiento continuo. Desde sus inicios el arte del espesado y clarificado ha progresado principalmente en:

- Investigaciones para incrementar el trabajo de la gravedad.
- Innovaciones de los diseños básicos y construcción de los mecanismos.
- Desarrollo de diseños especiales y tipos de máquinas que se aplican a ciertos casos bien particulares.

Las aplicaciones del espesado y clarificado son muy bien conocidas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no se obtienen separaciones absolutas del sólido-líquido o viceversa. Una de las principales ayuda a la práctica de la sedimentación es la **floculación** en conjunto a los elementos mecánicos desarrollados para promover y acelerar este fenómeno físico-químico. La **floculación** es prácticamente un paso previo para tener una eficiente **clarificación**.

El proceso de floculación es antiguo, pero la ciencia es comparativamente nueva, como también son los mecanismos diseñados para acelerar y mejorar sus efectos.

Determinadas suspensiones muy diluidas no se pueden espesar o clarificar sin la adición de un agente floculante, el cual junta y coagula el material fino. En muchos casos, donde la suspensión muestra una buena cualidad para sedimentar, el uso de un floculante con floculación mecánica puede aumentar la velocidad de sedimentación y mejorar la clarificación en forma notoria.

Convencionalmente las rastras sirven como mecanismos floculantes. Su movimiento lento a través de la suspensión induce a los flóculos a formar sólidos coloidales y semicoloidales. La velocidad de rotación de las paletas es insuficiente para deshacer los flóculos, pero si lo suficiente para asegurar la colisión y adhesión de las partículas.

27.1. Espesador

Básicamente, un espesador es un estanque cilíndrico con un fondo inclinado y un mecanismo de rotación de las rastras que conducen los sólidos a la descarga central abierta. Un rebalse periférico ubicado en la parte superior del estanque sirve para evacuar el líquido clarificado. Generalmente, un pozo circular localizado en el centro de la superficie del espesador recibe la alimentación y está diseñado de tal modo que minimiza la agitación, obteniéndose así un rebalse claro.



Figura 135
Espesador de concentrado

Los sólidos sedimentados se bombean o se conducen gravitacionalmente desde la descarga ubicada en el fondo del espesador.

Actualmente, el tamaño de los espesadores oscila entre 2,5 (m) hasta 150 (m) de diámetro, existiendo también diseños especiales de hasta 250 (m) de diámetro. La profundidad varía entre 3 (m) en los diámetros pequeños hasta 10 (m) o más para las unidades mayores.

En las unidades de diámetro menor a 20 (m), normalmente el mecanismo impulsor es soportado por estructuras metálicas, que cruzan el estanque. En las grandes unidades el mecanismo es soportado por un pilar de construcción de acero o concreto.

El mecanismo de las rastras consiste en dos brazos radiales a 180° con hojas que empujan los sólidos a la descarga central. Los brazos están unidos al eje central. Hay diseños que incluyen 3 o 4 brazos para ciertos servicios más rigurosos y raspadores espirales continuos.

El mecanismo impulsor está ubicado en el extremo superior del eje o montado sobre una plataforma circular, dependiendo del tipo de unidad.

En los espesadores de gran diámetro y en los modelos antiguos de pequeño diámetro, los mecanismos impulsores traccionan en la periferia.

También se usan protecciones para la sobrecarga, desde simples mecanismos operados en forma manual, hasta mecanismos automáticos. Dichos mecanismos, se diseñan para elevar las rastras 30 (cm) o más para el caso de eventuales sobrecargas. Si la sobrecarga se reduce, las rastras se bajan a su posición normal de operación en forma automática o manual (realizada por un operador).

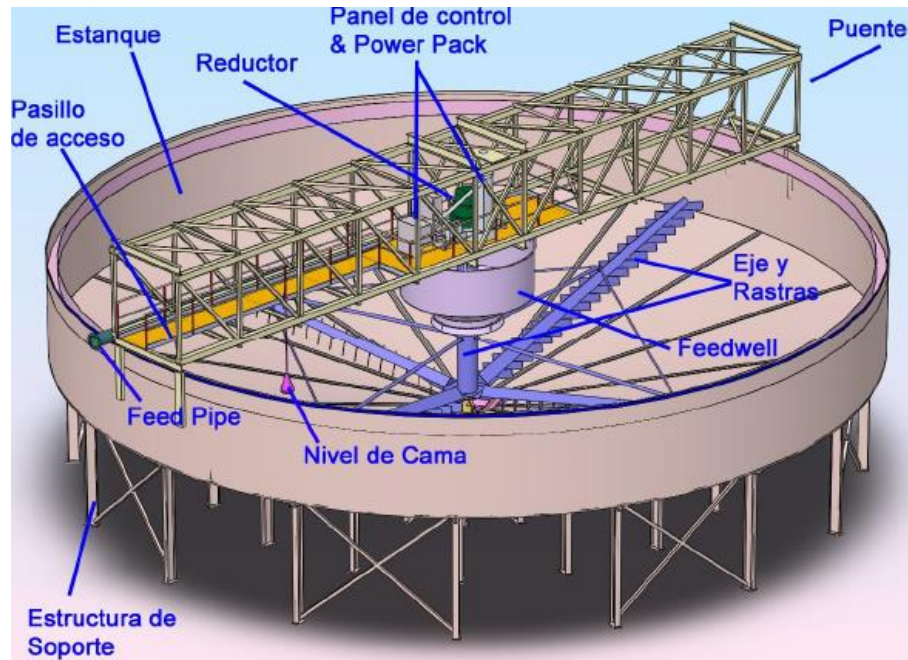


Figura 136
Componentes de un espesador

El flujo que entra en un espesador se denomina “alimentación” en tanto que el rebose se denomina “efluente”, “sobrenadante” u “overflow”. El material sedimentado en el fondo del espesador se llama “lodo” o “underflow”. La terminología depende de la industria y aplicación donde esté instalado.

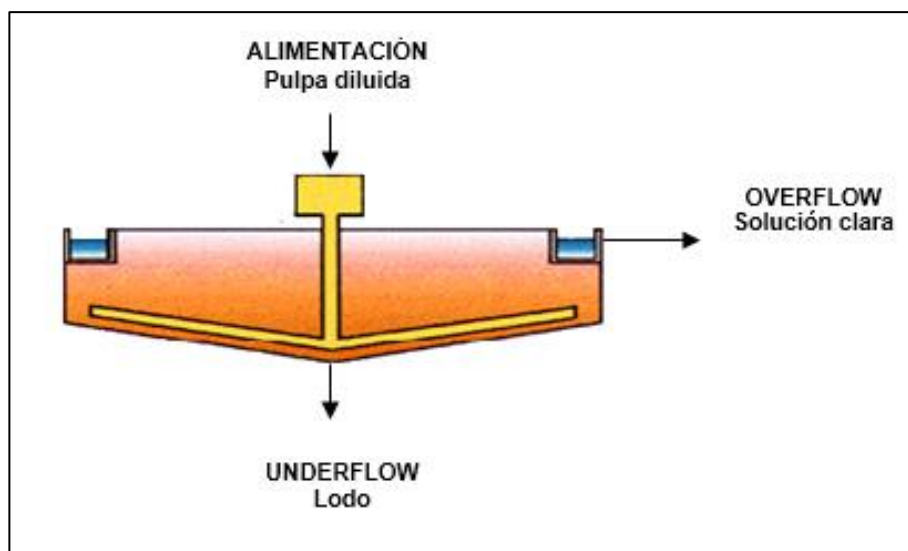


Figura 137
Esquema de un espesador

La tecnología moderna sobre la decantación se desarrolló en gran parte en la industria minera. Antes de concebirse el espesador continuo, se utilizaba la decantación por gravedad en discontinuo. En tales operaciones la alimentación diluida se bombeaba continuamente a un tanque hasta que se observaba que el rebose estaba sucio. A continuación se paraba la alimentación y se dejaban sedimentar los sólidos. Tras un tiempo de retención adecuado, el líquido sobrenadante limpio, se decantaba, y el lodo se retiraba.

Después de estas operaciones en discontinuo, aparecieron los conos de sedimentación. Estos funcionaban sin parar al poderse retirar el lodo continuamente por el fondo mientras el líquido rebosa por la parte superior sobre canales en la periferia del cono. Para conseguir un flujo uniforme del lodo y asegurar la salida de sólidos apropiada, la pendiente de las paredes del cono debía ser muy pronunciada. Esta circunstancia limitaba el tamaño del cono como unidad de sedimentación. Teniendo en cuenta que la efectividad de la decantación por gravedad es función del área, pronto se vieron las limitaciones de los conos. Conforme se desarrollaba la tecnología, se asumió la necesidad de conducir los sólidos sedimentados, sobre una gran superficie, hacia un punto de descarga común. Con este principio general y diversas modificaciones, hacia 1905 se concibió el espesador continuo.

El espesador continuo desarrollado en la industria minera tuvo después aplicación en la industria química y en las aguas residuales. Es evidente que a mayor densidad de los sólidos y mayor cantidad de éstos que deba manipular un espesador de un tamaño determinado, más robusta debe ser la concepción del mecanismo. Muchas pulpas

metalúrgicas tienen densidades de 2.6 o más, y sedimentan con concentraciones de aproximadamente 60 a 70 % sólidos en peso, o más dependiendo de las características del espesador, por lo que estas máquinas deben tener un diseño más pesado que las que operan con aguas residuales donde la densidad de los sólidos es de 1.1 – 1.3.

El espesador funciona conforme entra el flujo de alimentación en el espesador, los sólidos van decantando hacia el fondo. El líquido clarificado rebosa por la parte superior y los sólidos se evacuan por la descarga inferior. La zona A que es un líquido de rebose limpio, está libre de sólidos en la mayoría de las aplicaciones. La zona B consta de una pulpa de consistencia poco uniforme cuya concentración se aproxima a la de la alimentación. La zona C es un estado intermedio en el cual la pulpa está en una condición transitoria entre sedimentación por caída libre y compresión. La zona D muestra la pulpa en compresión, produciéndose un desplazamiento del agua por compresión de los sólidos que fuerzan al líquido a salir de sus intersticios.

En la práctica actual las características que distinguen las zonas A, B, C y D no son muy específicas aparte del aumento en concentración de sólidos, y la descripción resulta más académica que real.

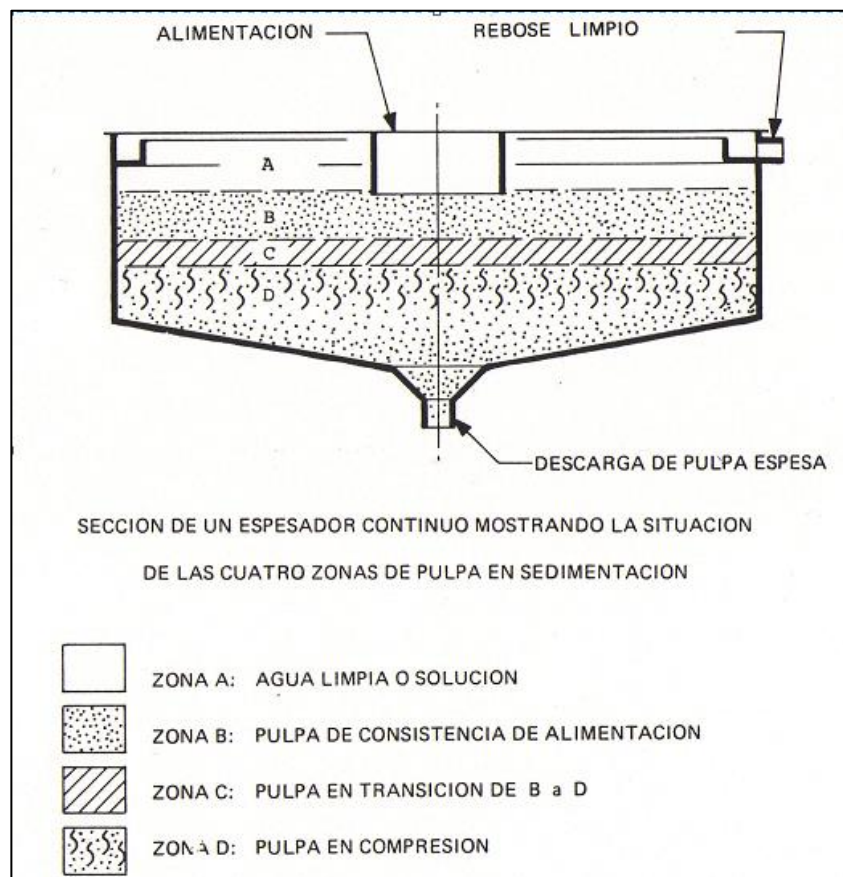


Figura 138

Cuatro zonas de pulpa en sedimentación en un espesador continuo

La pulpa alimentada se diluye a la entrada por el cuello central (a no ser que el cuello esté sumergido en una zona de pulpa con concentración moderada, y sale del cuello como una suspensión diluida en la cual los sólidos sedimentan, más bien que a partir de una determinada zona o línea determinada. Existe un desplazamiento lateral del fluido dentro y fuera del cuello para mantener esta acción de dilución. Las partículas se van aglomerando sobre la superficie de la pulpa espesada y continúan concentrándose en esta zona hasta llegar a la densidad del lodo.

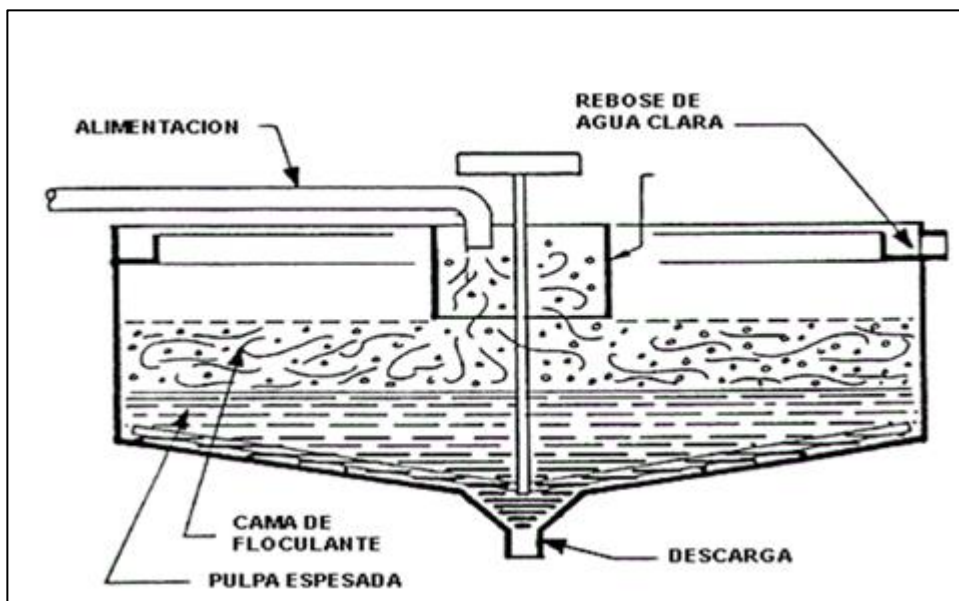


Figura 139

Sedimentación en un espesador continuo

27.2. Elementos de un espesador continuo y sus funciones

Refiriéndose a las figuras 140 y 141, donde se representan dos configuraciones básicas de un espesador, los elementos se identifican con los nombres siguientes:

Anillo de alimentación o feedwell, sirve para disipar la energía cinética que lleva el flujo de alimentación, así como para proporcionar a la entrada del tanque una condición de relativa tranquilidad y dirigir la pulpa a una profundidad adecuada dentro del espesador.

El **tanque** proporciona el tiempo de residencia necesario para producir sólidos sedimentados y líquido clarificado. El fondo inclinado ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia el punto de descarga.

Los **brazos** tienen tres funciones:

- 1) Mover los sólidos sedimentados hacia el punto de descarga.
- 2) Mantener un grado de fluidez en el espesador para asegurar la separación hidráulica, y
- 3) Aumentar la concentración de los sólidos en la descarga al establecer una especie de canalizaciones en la pulpa de la zona de compresión, que permiten la salida del agua entrampada.

El **cono** con sus **rastras**, tienen una acción similar a la de los brazos pero en la zona de la descarga.

El **canal de rebose** recoge el rebose clarificado y lo lleva a su salida correspondiente. El diseño más adecuado es el de rebose uniforme por toda la periferia del tanque.

El **mecanismo motriz** proporciona la fuerza de accionamiento (par) para girar los brazos y rastras en contra de los sólidos sedimentados.

El **dispositivo de elevación** de los brazos permite a éstos extraerlos de la zona de los sólidos más concentrados, para disminuir el esfuerzo en el mecanismo de accionamiento. La elevación puede ser efectuada con el sistema motriz en funcionamiento.

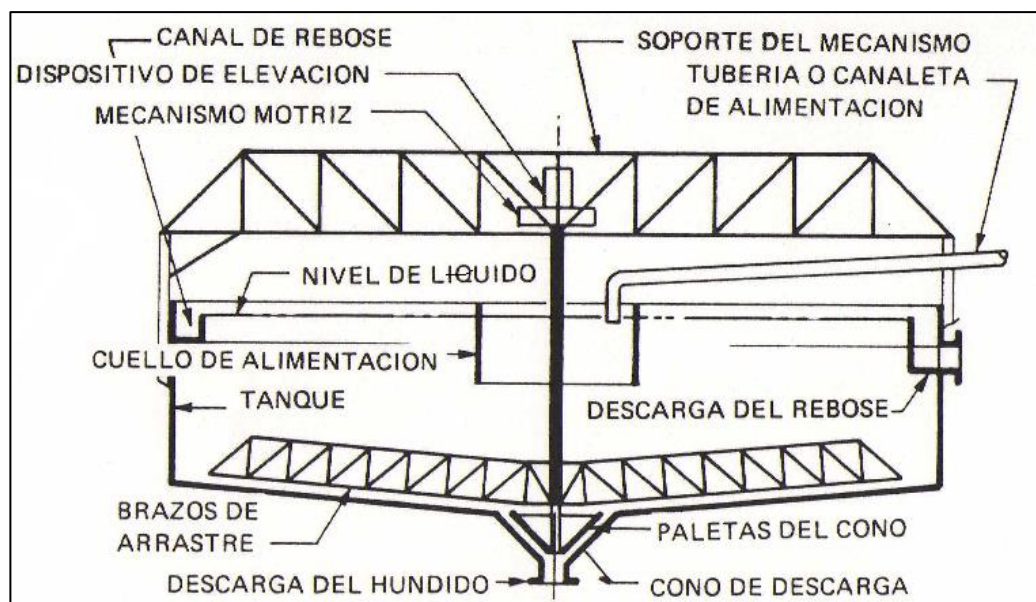


Figura 140
Tipo espesador con puente o viga soporte

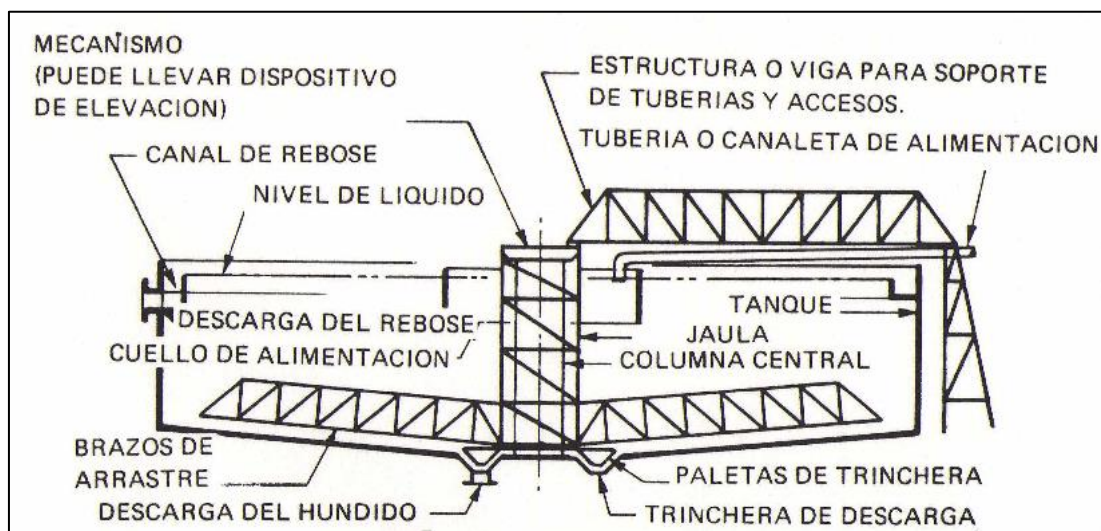


Figura 141
Espesador tipo con columna de soporte

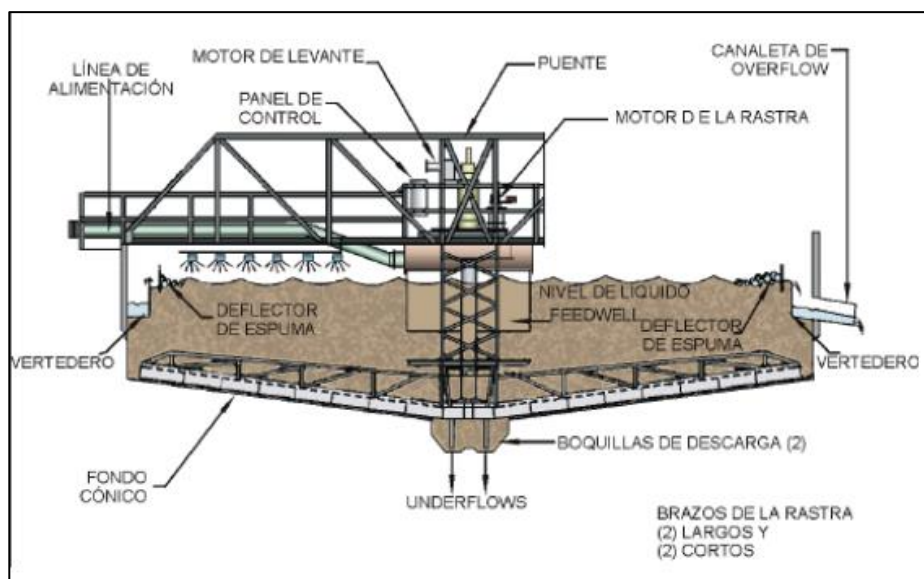


Figura 142
Componentes de un espesador continuo

28. Tipos de espesadores

Los espesadores continuos han sufrido varias modificaciones, resultado del desarrollo de gran variedad de floculantes poliméricos orgánicos. Manteniendo la misma forma estructural y los mismos elementos principales, los espesadores se clasifican en los siguientes tipos básicos: el **convencional**, el de **alta capacidad** y de **alta densidad**.

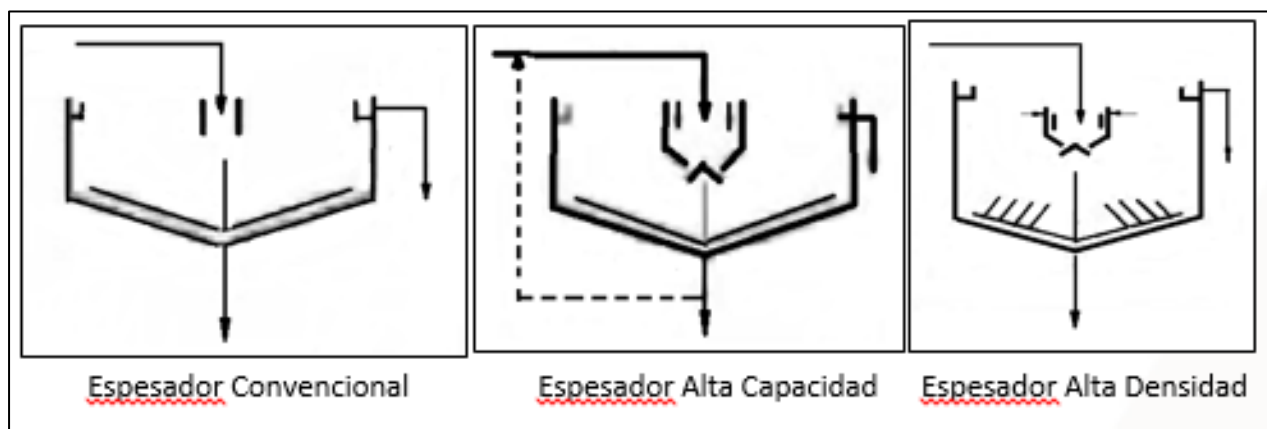


Figura 143
Clasificación básica de los espesadores

28.1. Espesadores convencionales

El espesador convencional se caracteriza porque el feedwell de alimentación se encuentra en la parte superior del equipo y, el flujo de alimentación al entrar al espesador se mezcla con parte del agua recuperada y se diluye a un valor denominado *concentración conjugada*. Esta suspensión diluida sedimenta a velocidad constante formando un manto de altura variable, para transformarse en sedimento en la parte inferior del equipo.

La corriente de alimentación se lleva al centro del espesador mediante una tubería o un canal abierto y entra al pozo de alimentación, que está diseñado para minimizar la turbulencia producida por la velocidad de entrada de la alimentación y forzar la entrada de la pulpa debajo de la superficie de líquido claro. El flujo de sólidos espesados fluye hacia el centro del espesador, para posteriormente ser descargado. El líquido del overflow se extrae del espesador por medio de un vertedero periférico.

El espesador convencional se puede utilizar con o sin floculantes, dependiendo de la aplicación. Si se utilizan floculantes, por lo general, se agregan al canal o el pozo de alimentación y la floculación ocurre como producto de la turbulencia resultante.

El diámetro del tanque seleccionado puede ser para un espesador convencional tan pequeño como 3 m. o tan grande como 120 m. y está relacionado con la estructura de apoyo del mecanismo.

Estos espesadores se dividen en tres tipos, que se distinguen por el mecanismo de impulso: apoyado en un puente; apoyado en una columna central y con impulso de tracción.



Figura 144
Espesador convencional

28.2. Espesadores de alta capacidad (high capacity)

Estos espesadores están diseñados específicamente para maximizar la eficiencia de los floculantes y difieren de los espesadores convencionales en el diseño del pozo de alimentación, las dimensiones y la forma de control. A diferencia de las unidades convencionales, los espesadores de alta capacidad deben utilizar floculantes.

Los pozos de alimentación de los espesadores de alta capacidad se diseñan para una dispersión completa del floculante en la alimentación y para admitir la pulpa floculada en la zona de sedimentación del espesador sin destruir los flóculos recientemente formados. La alimentación puede entrar directamente al lecho de pulpa si el contacto de los sólidos es el mecanismo por el que debe completarse la floculación, o puede entrar arriba del nivel de pulpa si ésta se encuentra lo suficientemente floculada para producir la claridad deseada y la densidad de underflow requerida.

Los espesadores de alta capacidad tienen como parte distintiva un feedwell de alimentación muy profundo que descarga el flujo de alimentación bajo el nivel de sedimento. Al mezclarse el sedimento forma una suspensión mayor a la de la alimentación y/o igual a la concentración crítica.

Estos espesadores tienen mayor capacidad que los convencionales y se ha demostrado que el tiempo de residencia está en el orden de minutos, en vez de horas como los espesadores convencionales, por lo que son inestables y, por lo tanto difíciles de operar y controlar.

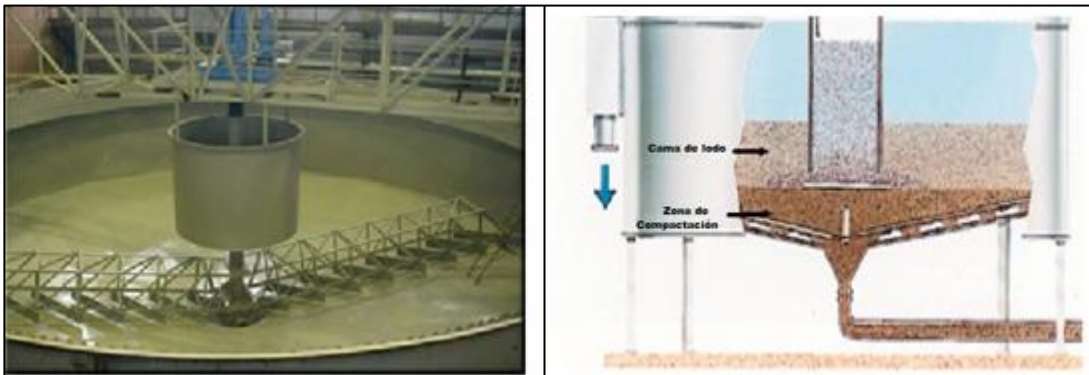


Figura 145
Espesador de alta capacidad

En el diseño del espesador de alta capacidad Eimco se utiliza una etapa de desaireación para eliminar el aire que entra con la alimentación, de manera que no genere turbulencia dentro del espesador o cause la flotación de los sólidos.

La pulpa entra al pozo de alimentación, donde se agrega el floculante en varios puntos para optimizar el mezclado con la corriente de alimentación. Algunos diseños utilizan un mezclador mecánico para dispersar el floculante, en tanto que en otros diseños dependen de la turbulencia creada por la corriente de alimentación. La floculación puede ocurrir tanto en el pozo de alimentación como en el lecho de pulpa; el grado de floculación en el pozo de alimentación depende del tiempo de residencia y de la turbulencia existente en dicho pozo.

El incremento en la eficiencia de floculación logrado en un espesador de alta capacidad puede aumentar la velocidad de sedimentación de 2 a 10 veces respecto a la obtenida en un espesador convencional y por consiguiente, reducir en un factor similar el requerimiento de área unitaria.

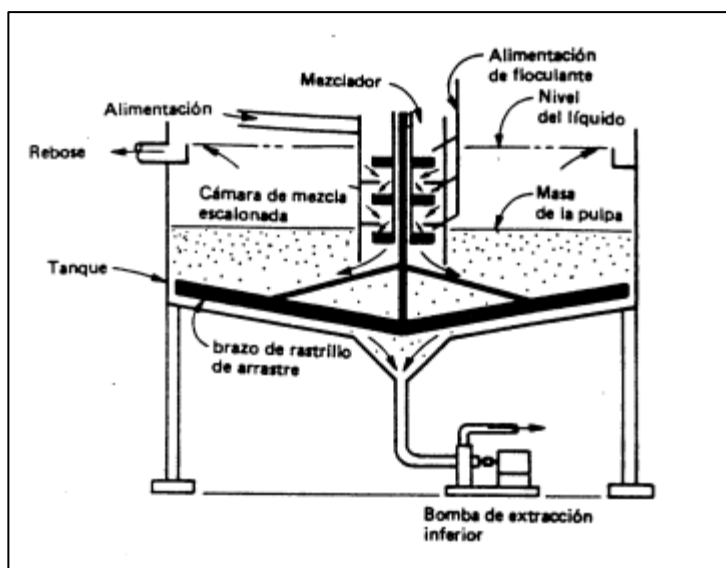


Figura 146
Espesador de alta capacidad (Eimco)

La empresa Dorr-Oliver recientemente ha introducido un nuevo concepto de espesador de alta capacidad, el cual conjuga las ideas de alta velocidad y mezcla efectiva del floculante con la pulpa de alimentación. Ofrece al mercado una variedad de modelos de feedwell (pozo de alimentador), los cuales están diseñados para lograr una óptima eficiencia de floculación y reducir el tiempo de residencia de las partículas en el espesador.

Uno de los modelos más aplicados es el Fitch Feedwell, el cual consiste de tres cámaras horizontales contenidas dentro del cilindro del feedwell. El flujo de alimentación que entra a este tipo de feedwell, se divide en dos corrientes iguales en forma tangencial. El choque de estas corrientes opuestas causa la homogenización de la pulpa con el floculante, favoreciendo con esto la floculación e incrementando la velocidad de sedimentación de las partículas.

Además, a través de una variación en el diseño del Fitch Feedwell, ofrece el modelo llamado Dynafloc Feedwell, diseñado para reducir al mínimo el consumo de polímero y para mezclas instantáneas de floculante con pulpa de alimentación a espesar, lo que favorece en gran medida la formación uniforme de flóculos. Esto se debe a que el paso de la pulpa floculada desde el feedwell hacia las zonas de sedimentación es extremadamente suave, por lo tanto los flóculos no se rompen y no es necesario agregar polímero en forma adicional.

En el Dynafloc Feedwell el floculante se adiciona directamente dentro de la zona de turbulencia que se crea en la interfase de las dos corrientes, logrando con esto una rápida dispersión del floculante.

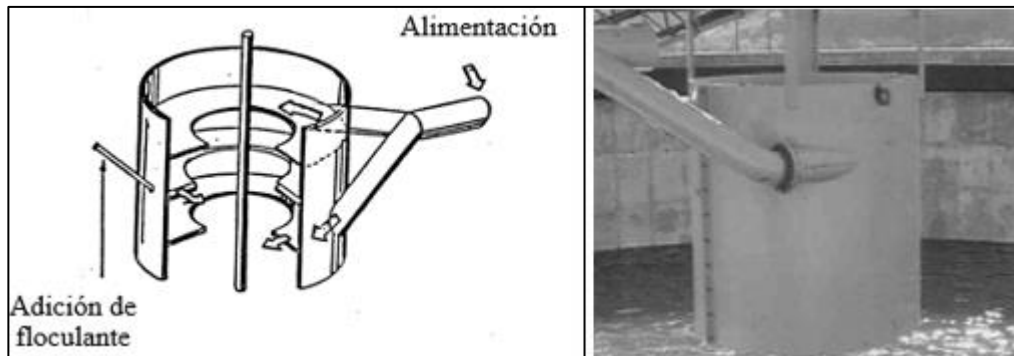


Figura 147

Diseño Fitch Feedwell de un espesador de alta capacidad Dorr Oliver, con bafles internos

28.3. Espesador de alta densidad

Los espesadores de alta densidad o espesadores de pasta, es un espesador convencional o de alta capacidad, pero de mucho mayor altura. Esta altura adicional permite obtener una gran presión sobre el sedimento que descarga del equipo y, obtener una concentración de descarga muy alta.

En muchos casos, estos espesadores tienen un cono pequeño, de modo de ayudar a evacuar la descarga.

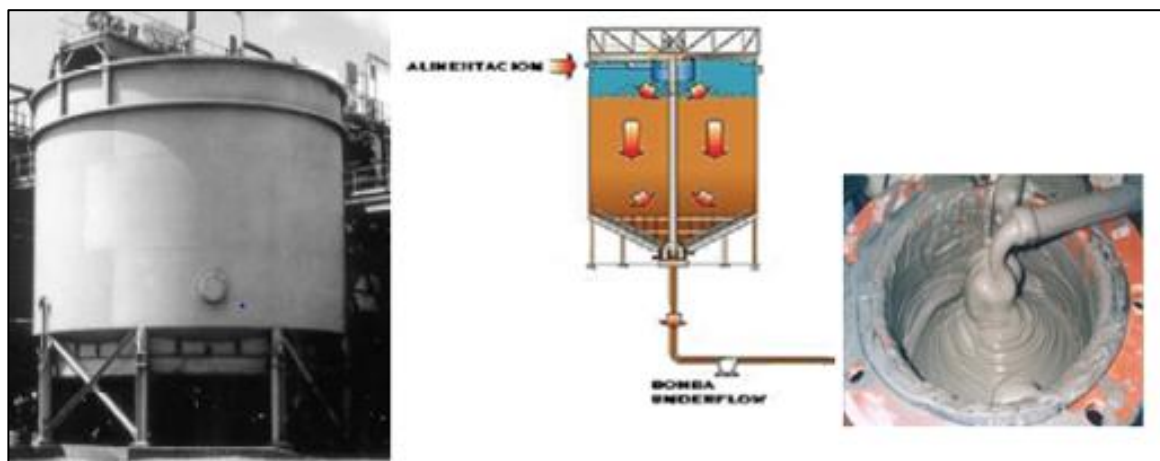


Figura 148

Espesador alta densidad

29. Operación del espesador de concentrado

Los objetivos para operar los espesadores de concentrado en forma continua y confiable son recuperar agua o salmuera clara la cual es recirculada al sistema, optimizar el aprovechamiento de las fuentes hídricas de la zona, lograr un adecuado uso de floculante y, obtener una pulpa que cumpla las condiciones de concentración fijadas para el proceso de filtración.

29.1. Seguridad en la operación

La operación de espesadores de concentrados tiene varios focos de accidentes que el operador debe reconocer, por ejemplo, un accidente puede ser originado por los fluidos que circulan en el sistema o por las bombas que los impulsan. Debido a esto, las normas de seguridad son de vital importancia.

- El operador deberá utilizar durante su trabajo su equipo de protección personal completo. En algunas ocasiones también tendrá que emplear botas de goma de caña larga, ante derrames de pulpa, vaciado del espesador, etc.
- Riesgos en el sistema de lubricación:
 - * Caída de distintos nivel.
 - * Caída mismo nivel.
 - * Golpes eléctricos.
- El operador deberá acatar la norma de quitarse el casco de seguridad al acceder al puente del espesador donde se ubica tanto el mecanismo de tracción como el sistema de alimentación de pulpa del equipo.
- Uno de los riesgos más frecuentes que experimenta el operador del espesador de concentrado es de las caídas al mismo nivel o de distintos niveles al transitar, por escalas, pasillo, túneles bajo el espesador, cajones de alimentación, etc.
- Otro factor que se deberá tener en cuenta es la condición de iluminación adecuada, tanto en el puente del espesador como en los túneles bajo éste y la zona de los cajones receptores de las tuberías de alimentación de concentrado.

- En la puesta en marcha del espesador, antes de llenar el estanque con pulpa, el operador debe chequear y retirar cualquier elemento extraño que encuentre tanto en el estanque como en la canaleta colectora del rebalse (escombros, varillas de soldaduras, restos de gomas, madera, etc.). También la rastra deberá dar varias vueltas para asegurarse que el mecanismo esté instalado correctamente, que esté bien lubricado y en condiciones de operar sin problemas.

29.2. Parámetros y variables del proceso de espesamiento de concentrado

Las variables más relevantes que necesita controlar el operador son:

- Presión hidráulica de giro de las rastras.
- Amperaje del motor de la rastra (torque eléctrico).
- Torque mecánico de la rastra.
- Altura de la rastra.
- Amperaje de la bomba de traspaso (descarga).
- Porcentaje de sólidos en la descarga.
- Flujo de descarga.
- Nivel de agua o salmuera clara.

El particulado fino se descarta rápidamente, al revés que las partículas finas. Luego que el espesador ha estado en operación por un rato, los finos arrastrados serán impulsados hacia el centro por las rastras y se mezclarán con las partículas gruesas. Sin embargo, en la puesta en marcha inicial, no existen finos decantados y cualquier material grueso en la alimentación decanta rápidamente y puede tapar la descarga del espesador.

Este material grueso no fluye y es muy difícil de remover con las rastras y puede generar torques excesivamente altos en el período inicial, hasta que los finos tienen la oportunidad de decantar y mezclarse con material grueso.

La pulpa de alimentación debiera, en la partida, ser introducida a un espesador vacío y la descarga de las bombas recicladas de inmediato (recirculación de pulpa) al pozo de alimentación. La velocidad de bombeo debiera dejarse estable en la capacidad de diseño para evitar bloqueos en las líneas de descarga. Este procedimiento extraerá material grueso desde el equipo tan rápidamente como el decanta.

Al comienzo la descarga será diluido, si no es posible decantar esta descarga diluida o no se pudiera procesar, deberá recircularse hacia la alimentación del espesador. La bomba de descarga se mantendrá operando a su capacidad total de diseño.

Amperaje del motor de la rastra: El amperaje del motor de la rastra, es una medida del grado de comprensión de la pulpa en el fondo del estanque. El torque es la fuerza generada por el motor de la rastra actuando sobre una carga de material.

Es posible influir sobre este parámetro de operación (Torque eléctrico) utilizando el mecanismo de levante de la rastra, el sistema de recirculación de pulpa (permite concentrar el sólido de la descarga).

Torque mecánico de la rastra: El torque mecánico se produce debido al aumento de la fuerza de la rastra sobre el material (mediante las aspas), debido al arrastre de material hacia el cono de descarga.

Este fenómeno se debe a la acumulación de material del espesador en un colector intermedio entre la pared del espesador y el cono de descarga. Los valores del torque de operación varían entre 15 – 18 % (dependiendo de las características particulares de cada planta).

Altura de la rastra: La altura de la rastra está definida por la condición del espesador y su carga, usualmente este parámetro se opera en casos de sobrecarga y/o embancamiento, y es un parámetro muy importante, ya que las rastras no deben subir hasta el límite (o altura máxima), lo cual indicaría que el espesador ha alcanzado su capacidad máxima de almacenamiento de carga; por otro lado si no se interrumpe la alimentación, este irremediablemente se embancará. Los valores de operación depende de las características particulares de cada planta.

Amperaje de la bomba de traspaso: El amperaje consumido por las bombas de traspaso (descarga de concentrado del espesador) es el parámetro que permite visualizar si su funcionamiento es adecuado.

Porcentaje de sólido en la descarga: El control de la densidad y el porcentaje de sólidos se efectúa tomando muestras de pulpa por medio de una balanza metalúrgica. Los valores de operación fluctúan entre (aunque estos valores dependen de las características particulares de operación de cada planta):

- Pulpa de alimentación fluctúa entre: **15 - 25 %**

- Pulpa de descarga fluctúa entre: **60 - 70 %**

Nivel de agua clara: La observación del rebose de agua o salmuera clara y la medición de la altura de la columna de líquido claro permitirá al operador tomar las medidas correspondientes respecto a la adición de floculante.

- El nivel normal en la cual se opera el nivel de líquido claro es de **50 cm** (este valor dependerá también de las características particulares de operación de cada planta).

Presión hidráulica: Es la presión que ejerce la pulpa a las rastras, la cual no debe exceder de 5 Mpa, de lo contrario las rastras suben en forma automática (este valor depende de las características particulares de operación de cada planta).

| PARÁMETROS | NORMAL | MÁXIMO |
|--------------------------------------|--------|--------|
| % Sólidos en Descarga | 63 | 70 |
| Amperaje Motor Rastras (Amp) | | |
| Torque Mecánico (%) | 35< | 70 |
| Amperaje Bomba Traspaso (Centrífuga) | | |
| Altura de Rastras (cm) | 0 – 10 | 15 |
| Altura Agua Clara Rebose (cm) | 50 | |

Tabla 38

Rangos de variables operacionales de un espesador

Actividad N° 14

Tiempo de sedimentación

Introducción a la Actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual o en grupos, observarán el efecto de la dosificación de floculante sobre la velocidad de sedimentación y cómo este efecto tiene relación con problemas operacionales en el proceso de espesamiento.

El objetivo de la actividad es familiarizar a los participantes en la sedimentación de partículas sólidas en un líquido y la importancia que tiene dentro de las plantas de procesamiento de minerales.

Los participantes calcularán la cantidad de reactivo floculante necesario para lograr la dosificación requerida, los cuales se deben agregar con los dosificadores de reactivos, los cuales adicionan en cc (centímetros cúbicos o ml).

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Ajustar parámetros y variables de operación en los espesadores, para normalizar operación, de acuerdo a condiciones de operación.

Estrategia Metodológica para el instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de espesamiento, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 39

Materiales y Recursos.

- 1 Agitadores magnético por grupo de participantes
- 5 k mineral -80% #325 Tyler.
- 2 Vasos precipitado de 1000 cc por grupo de participantes
- 2 Matraz de 1000 cc por grupo de participantes
- 1 Balanzas analítica y digital
- 4 Probetas graduadas de 1000 cc por grupo de participantes
- 1 Cronómetro por grupo de participantes
- 1 Dispositivo de iluminación para la probeta por grupo de participantes
- Cinta de parafilm
- Papel milimetrado
- Solución floculante
- 4 Baldes 20 lt por grupo de participantes
- 2 Picetas de 1000 cc por grupo de participantes
- Agua
- Cinta adhesiva de enmascaramiento.

Desarrollo de la actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de sedimentación de sólidos de una pulpa.

2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 149
Elementos de protección obligatorios

Ejecución de la actividad

El participante deberá realizar lo que indica la secuencia:

1. El participante deberá revisar el estado y limpieza de las probetas.
2. El participante deberá preparar pulpa con mineral fino con 12 % sólidos, 900 cc en vasos precipitados de 1000 cc.

Las fórmulas a emplear son:

$$m_s = \frac{Vp}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{D}{\rho_l}}$$

$$D = \frac{1-x}{x}$$

$$x = \frac{ms}{mp}$$

donde:

- m_s : masa de sólido (g)
- Vp : volumen de pulpa a formar (cc)
- ρ_s : densidad de sólido (g/cc)
- D : dilución
- X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).

3. El participante deberá vaciar la pulpa contenida en el vaso precipitado en una probeta de 1000 cc, debidamente marcada.
4. Adicionar reactivo floculante 5 g/ton a la probeta y revolver suavemente con una varilla de arriba hacia abajo. El participante deberá realizar este movimiento 4 veces por lo menos.
5. Medir el tiempo de sedimentación desde los 900 hasta los 600 cc y medir distancia entre ambos rangos.
6. El participante deberá repetir la misma experiencia, variando la dosificación a 10 g/ton y en la tercera experiencia deberá dosificar 15 g/ton. El porcentaje de sólido de la pulpa se mantiene en 12 % para todas las experiencias.
7. En cada una de estas, el participante deberá medir el tiempo de sedimentación desde los 900 hasta los 600 cc, midiendo tiempo y distancia de sedimentación.

Cierre de la actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos, observaciones y conclusiones obtenidas de las actividades realizadas.

El instructor deberá comparar con los participantes los resultados obtenidos en las experiencias realizadas. Se analizará la importancia de la dosis de reactivos floculante en las pruebas de sedimentación.

La sedimentación es el fundamento que sustenta el aumento de concentración de sólidos en los concentrados de minerales y el tiempo que demora la partícula en sedimentar.

El instructor con los participantes tiene la oportunidad de sacar conclusiones del proceso al comparar los tiempos en cada una de las experiencias.

29.3. Problemas en la operación de espesadores

Para la normal operación de espesadores se deben tener en cuenta una serie de controles eléctricos, mecánicos y operacionales, los cuales se detallan a continuación.

Nivel de ruido en motores y rastra: El nivel de ruido en motores y rastra permitirá al operador detectar anomalías en dichos equipos. Un alto nivel de ruido indicará que dichos equipos podrían estar trabajando con alto nivel de sólidos y/o problemas mecánicos (se deberá rechequear amperaje del motor).

Observación de líquido claro: El rebose de estos equipos deben encontrarse limpios y libres de sólidos en suspensión, caso contrario se trata de:

- Gualdera de retención de fino roto o suelto en algún sector del espesador.
- Material no está decantando (abundante espuma en la superficie) lo que indica un exceso de reactivos en el circuito de flotación.

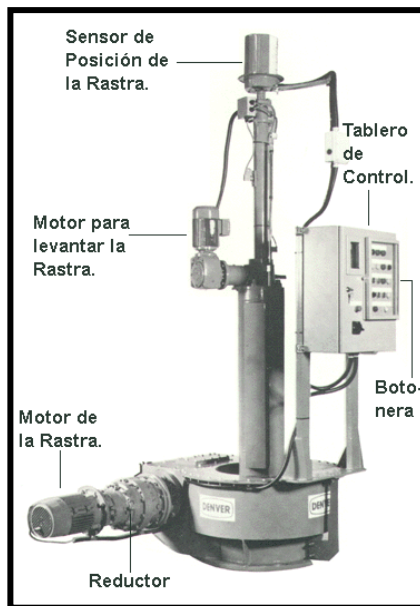


Figura 150

Prototipo de mecanismo de impulsión y elevación

Embancamiento de la descarga: Este fenómeno puede ocurrir por las siguientes causas:

- Operar el espesador con un sólidos superior a 70 % (espesadores convencionales o alta capacidad).
- Taponamiento de la descarga del espesador por corrimiento de la cama.
- Bajo rendimiento de la bomba de descarga.
- Línea de descarga obstruida o embancada.

Las medidas a tomar para evitar este problema son:

- Agregar agua por los spigots. Se recomienda tener cuidado con esta medida, debido a que el espesador se encuentra muy cargado, por lo cual se corre el riesgo de que el sólido pueda recibir la descarga pegada al piso. Hay que tener presente que todo exceso de agua diluye la salmuera en caso de plantas químicas, originando posteriormente problemas en la operación.
- Desviar la carga hacia otro sector.
- Recircular con el máximo flujo que sea posible operar.
- Botar carga al túnel para eliminar cualquier objeto extraño o alivianar la concentración de sólidos de descarga del espesador.

Esta situación se detecta de la siguiente manera:

- Alto torque de las rastras.
- Alto amperaje del motor de accionamiento de las rastras.
- Porcentaje de sólidos de descarga espesador sobre 70%.
- Viscosidad muy alta del fluido.
- Sedimentación instantánea en el cajón distribuidor del espesador.

Nota: La viscosidad es el esfuerzo de corte que opone un fluido al transportarse, además depende de la temperatura.

Alto nivel de sólido: Esto puede ser causado por un alto contenido de sólidos en el espesador (cercano a 80 %), operación normal 60 - 70 %. Esta situación puede causar lo siguiente:

- Retención de carga dentro del espesador.
- Aumento de la presión hidráulica de las rastras.
- Que la rastra se detenga al aumentar el torque y estas no suban.

Embancamiento de la bomba de traspaso (descarga del espesador): Este problema se puede evitar tomando las siguientes medidas:

- Levantar rastras.
- Adicionar agua en la línea de alimentación a la bomba.
- Recircular espesador con flujo máximo.
- Realizar cambio de bomba.
-

El sólido no sedimenta: Esto normalmente se soluciona agregando floculante en la minería metálica. No se recomienda recircular el espesador.

Agregar agua o reactivos sobre el espesador para eliminar la espuma que no sedimenta. Revisar reactivos agregados en flotación.

29.4. Análisis de falla del lecho o cama de pulpa del espesador

La figura 151 muestra un lecho o cama de pulpa normal. El rebose es relativamente claro, y los sólidos descargado en la salida del cono son de la densidad deseada. No se requieren acciones de operación para este punto

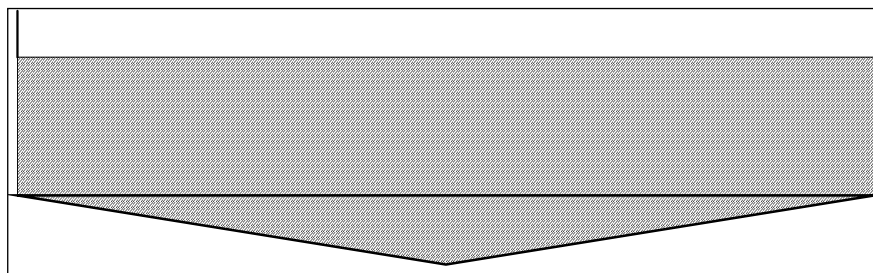


Figura 151
Lecho de pulpa normal

La figura 152 muestra un lecho poco profundo. La claridad del rebose es buena, pero la descarga de pulpa lo más probable que sea baja. En este caso, la tasa de remoción de la pulpa debe ser bajada hasta alcanzar la densidad requerida por el proceso. Entonces el estado de operación normal puede ser reanudado.

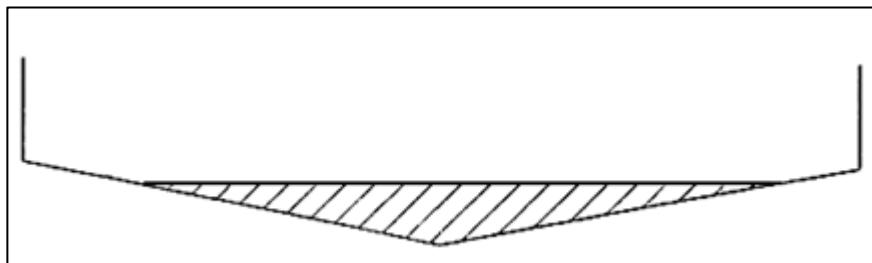


Figura 152
Lecho de pulpa superficial

La figura 153 muestra un lecho de pulpa alto. Esto puede producir una claridad pobre en el rebose y en algún momento una alta densidad de descarga en la salida de pulpa del espesador. En lo particular esto conlleva la posibilidad de un alto torque en la rastra del espesador, lo cual puede llevar a la situación mostrada en la figura 133. La tasa de la pulpa retirada puede inicialmente ser incrementada hasta obtener la claridad del rebose y la lectura de torque deseada.

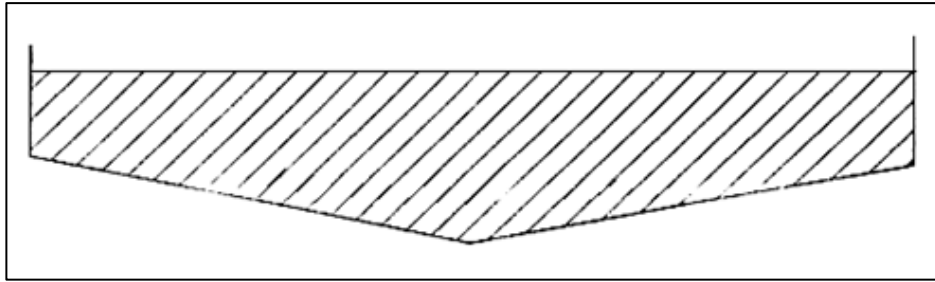


Figura 153
Lecho de pulpa alto

La figura 154 muestra isla en el lecho. La lectura del torque es alta porque la altura de la pulpa o material depositado no cubre todo el diámetro del espesador. La lectura de la densidad está ahora baja porque el lecho está en corto circuito a la descarga del espesador. El lecho de pulpa puede ser rotado con las rastras. Esta situación es extrema y requiere de inmediata corrección. La alimentación debe ser de inmediato detenida. Las rastras deben ser levantadas muy cuidadosamente y luego deben ser bajadas para disolver la rotación del lecho y estimular a la pulpa a moverse hacia el centro.

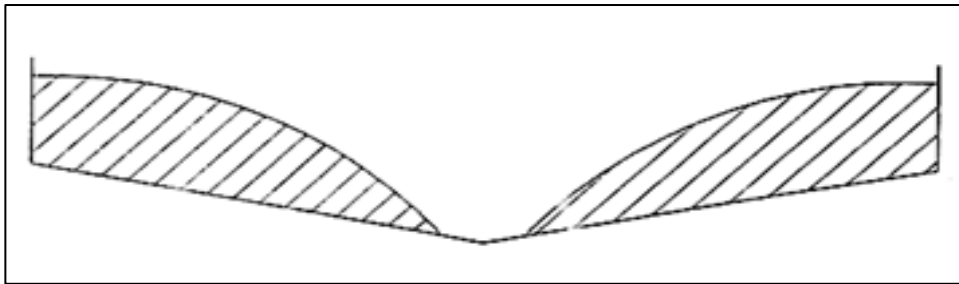


Figura 154
Lecho aislado

En esta situación se debe observar la lectura del torque cuidadosamente; esta puede incrementarse súbitamente cuando la acción de rastrillo es incrementada. Se debe incrementar la tasa de remoción de la pulpa tanto como la densidad de pulpa en la descarga se incremente. Tan pronto como el espesador vuelva a la operación normal, se reanuda la alimentación.

Módulo VI: Operación de Proceso de Filtrado de Concentrado

30. Operación de Proceso de Filtrado de Concentrado

30.1. Introducción.

Las aplicaciones de los procesos de filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

La variedad de dispositivos de filtración o filtros es tan extensa como las variedades de materiales porosos disponibles como medios filtrantes y las condiciones particulares de cada aplicación: desde sencillos dispositivos, como los filtros domésticos de café o los embudos de filtración para separaciones de laboratorio, o los sistemas de tratamiento de agua potable destinada al suministro urbano hasta grandes sistemas complejos de elevada automatización como los empleados en las industrias mineras.

La filtración es un método de separación de fluidos desde los sólidos que se basa en hacer pasar aquellos a través de una pantalla finamente perforada que retiene los sólidos. Fundamentalmente se trata de un harneado extrafino en el que la mayor parte del material que atraviesa los poros es deformable y, como ocurre en el harneado, el roce es la fuerza principal que se opone al paso.

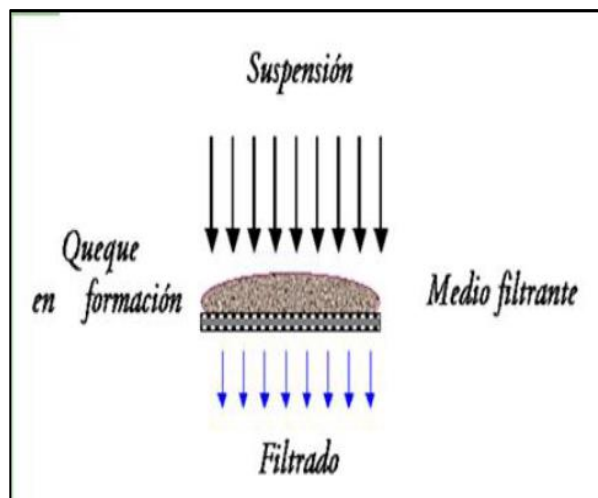


Figura 155

Separación de fluidos desde los sólidos

30.2. Métodos de filtración.

En lo que respecta a la fuerza impulsora, existen diferentes métodos de filtración, en algunos casos es la gravedad (método de filtración gravitacional), la fuerza centrífuga (método de filtración centrífugo); el vacío (método de filtración por presión de vacío), y por presión (método de filtración por presión del fluido a los dos lados de un diafragma).

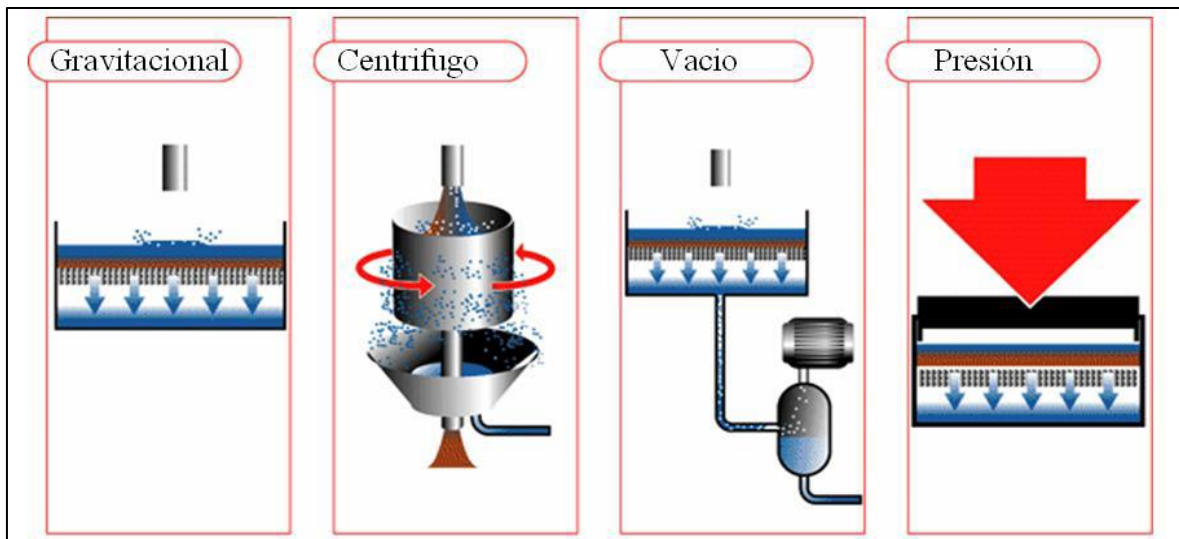


Figura 156
Métodos de filtración

30.3. Elementos que intervienen en la filtración.

La filtración es un método físico que se utiliza para separar mezclas heterogéneas, en este tipo de mezcla uno de los componentes es una sustancia líquida y otra sólida.

El verdadero medio separador es la torta, es decir, la masa de partículas sólidas retenidas en el medio filtrante, el que a su vez suele estar soportado en un entramado de metal o madera (figura 157).

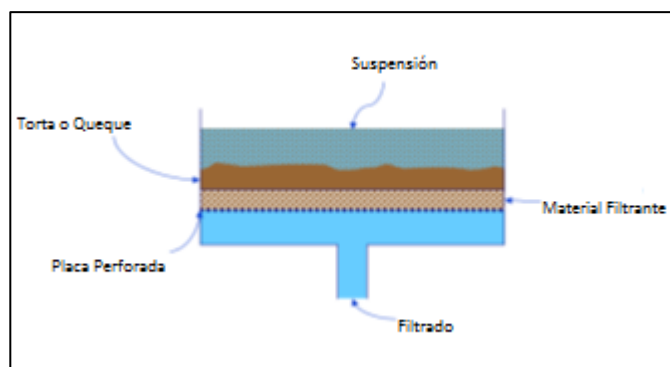


Figura 157
Elementos que intervienen en la filtración

Los elementos del filtro que se presenta en la figura 158, **A** corresponde al entramado, **B** es el diafragma, **C** la torta, **D** el fluido, generalmente con partículas en suspensión; y finalmente **p_1** y **p_2** son las presiones que prevalecen en ambos lados de la superficie filtrante y que están relacionadas por la desigualdad **$p_1 > p_2$** .

La diferencia de presión puede ser debida exclusivamente a la fuerza de gravedad, o la fuerza centrífuga provocada por un movimiento rotatorio alrededor de un eje situado en **D** en posición tal con respecto a **B** que una fracción relativamente elevada de la presión que así se genera actúen en sentido normal a **B**, o bien el espacio que se encuentra a la izquierda de **B** puede estar cerrado produciendo una presión del fluido en **D** mediante una bomba o por cualquier otro medio, o bien dejando **D** en comunicación con la atmósfera y, cerrando el espacio que se encuentra a la derecha de **B**, a la vez que se conecta a una bomba de vacío.

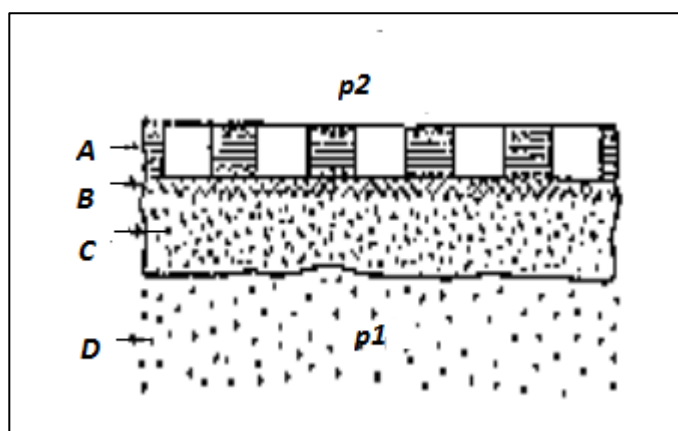


Figura 158
Zonas activas en una operación de filtrado

30.4. Clases de filtración.

Filtración con formación de queque: La filtración con formación de queque se caracteriza porque el sólido de la suspensión es retenido en la superficie del medio filtrante como una capa denominada queque. Esto se produce naturalmente cuando los poros del medio filtrante tienen un tamaño menor que las partículas. Cuando este no es el caso, es necesario cubrir el medio filtrante con una delgada capa de material fibroso, denominado *ayuda de filtración*, que bloquea el paso de las partículas a través del medio filtrante. En este tipo de filtración, el flujo de suspensión es perpendicular a la superficie del medio filtrante. La filtración con formación de queque se utiliza para suspensiones que poseen más de un 10% de sólidos en volumen y es, sin duda, el proceso de filtración más importante en la industria minera y en la industria de procesos en general.

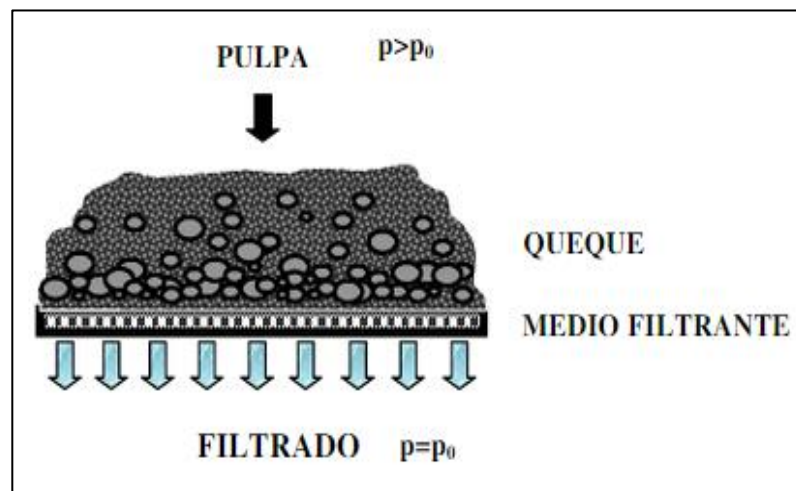


Figura 159
Filtración con formación de queque.

Filtración sin formación de queque: Cuando el flujo de la suspensión es paralelo a la superficie del medio filtrante, éste aún retiene las partículas sólidas. Sin embargo, el flujo de la suspensión produce una tasa de cizalle muy alto, la que previene la formación de una capa de sólidos retornándolos a la suspensión. En esta forma el líquido atraviesa el medio filtrante mientras que el sólido permanece en la suspensión aumentando su concentración con el tiempo. Este tipo de filtración es útil cuando se desea concentrar una suspensión sin que sea necesario un producto de baja humedad. Aun cuando la filtración sin formación de queque puede ser utilizada en la separación sólido-líquido, es principalmente utilizada en la filtración de gases polvorientos.

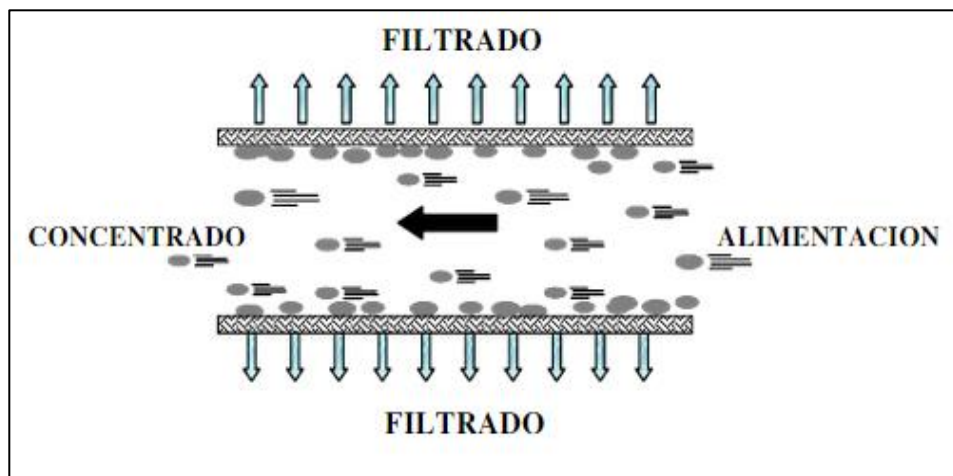


Figura 160
Filtración sin formación de coque.

Filtración profunda: Para la filtración de partículas muy finas en suspensiones diluidas se utiliza comúnmente filtros que tienen medios filtrantes de poros mayores que las partículas pero de grandes espesores. Las partículas penetran en el interior del medio filtrante y son capturadas por las fibras o partículas que constituyen el medio filtrante. Este tipo de filtro pierde su capacidad de filtración después de un cierto tiempo y es necesario limpiar el medio filtrante eliminando las partículas desde su interior, o sustituir el filtro por uno nuevo. Dos ejemplos de filtración profunda son los filtros de arena para piscinas y los filtros de aire en automóviles.

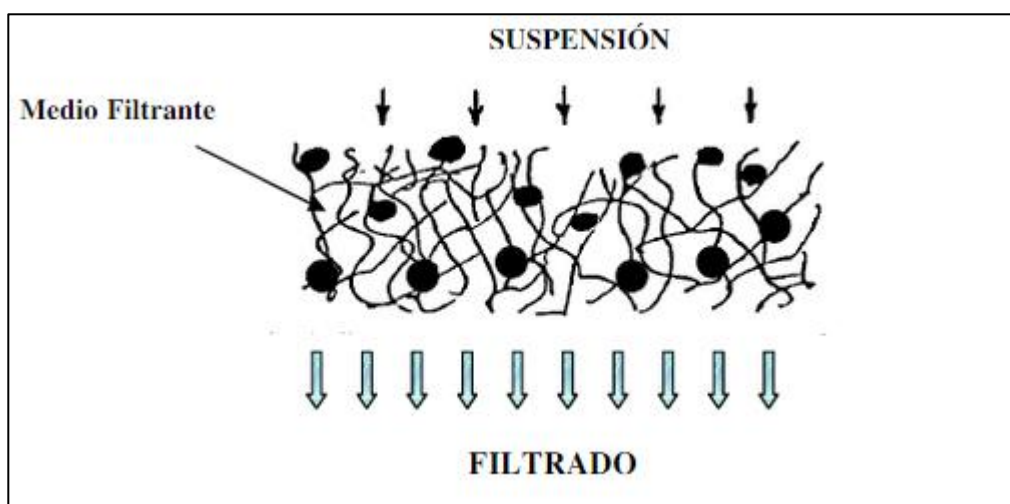


Figura 161
Filtración profunda.

30.5. Factores que influyen en la filtración.

Las condiciones en que se realiza una filtración dependen de muchos factores, entre los cuales destacan:

- Las propiedades del fluido, tales como su densidad, viscosidad y corrosividad.
- La naturaleza del sólido, tal como su tamaño, forma y distribución de tamaño.
- Las propiedades de la suspensión, tales como su concentración y compresibilidad.
- La cantidad de material a tratar.
- El valor del material y si el material valioso es el sólido, el fluido, o ambos.
- Si es necesario lavar el queque.
- Si es importante o no la contaminación del producto.

30.6. Medios filtrantes.

Un medio filtrante puede ser definido como cualquier material permeable sobre el cual, o en el cual, son separados los sólidos del fluido durante el proceso de filtración. Por consiguiente, el principal rol del medio filtrante es provocar una buena separación entre los componentes de una suspensión con el mínimo consumo de energía. En orden a realizar una cuidadosa selección de un medio filtrante se deben tomar en cuenta muchos factores.

Uno de los primeros estudios de distintos medios filtrantes fue realizado por Flood (1966), quien clasificó los medios filtrantes como medios de tipo superficie, en el cual las partículas en suspensión son principalmente retenidas sobre el medio y medios de tipo profundo, en que las partículas penetran en los poros, donde son retenidas. Estos últimos medios se usan principalmente para la clarificación de líquidos.

En los últimos 20 años, Purchas y Hardman (Purchas 1981) han realizaron estudios de medios filtrantes y los clasifican según la tabla 41. El medio filtrante se caracteriza de acuerdo a diversas propiedades físicas (mecánicas) y químicas.

| Principales tipos | Subdivisiones | Partícula más pequeña retenida (μm) (aprox.) |
|------------------------|------------------------|---|
| Fabricación sólida | Pantallas de alambre . | 100 |
| | bobinados de alambre. | 100 |
| | Anillos apilados. | 5 |
| Hojas metálicas | Perforadas. | 100 |
| | Tejido de alambre. | 5 |
| Medios porosos rígidos | Cerámicos | < 1 |
| | Carbón | 10 |
| | Plásticos | 10 |
| Cartuchos | Fabricación de laminas | 3 |
| | Camas aglutinadas. | 2 |
| | Hilo bobinado | 2 |

| Principales tipos | Subdivisiones | Partícula más pequeña retenida (μm) (aprox.) |
|-------------------|---------------------------|---|
| Hojas plásticas | Monofilamentos tejidos | |
| | Hojas porosas | |
| Membranas | Poliméricas | < 0.1 |
| | Cerámicas | < 0.1 |
| | Metálicas | 0.2 |
| Medios tejidos | Fibras de hilo | 5 |
| | Monofilamentos | 10 |
| | Multifilamentos | <10 |
| Medios no tejidos | Hojas de filtro | 10 |
| | Papel (celulosa y vidrio) | 5 y 7 |
| | Polimeros | 10 |
| Medios holgados | Fibras | 1 |
| | Polvos | < 1 |

Tabla 40
Propiedades físicas y químicas de las telas.

30.7. Telas

Las telas filtrantes más comunes son hechas de material textil, de fibra natural o sintética. Existen tres tipos de medios sintéticos usados en la industria de la filtración:

- Tejido:** puede ser de tela cruzada o satín, ya que éste aumenta la resistencia a la tracción.
- No tejido:** consiste en ensamblar varias capas de fibras.
- Compósitos:** poliuretanos (polímeros micro porosos regulados) que han dado muy buen resultado.

Básicamente, las características que se debe tener en cuenta son:

- Condiciones térmicas y químicas:** En condiciones térmicas y químicas los polímeros son los medios más adecuado para el medio filtrante. Los más usados son polipropileno (PP), polietileno (PET) y poliamida (PA).

2. **Requerimientos en la filtración:** Los principales requerimientos de la filtración son: claridad en el filtrado (es decir una alta eficiencia de retención de partículas finas), rendimiento, contenido de humedad en el queque, efectiva liberación del queque (de fácil desprendimiento), baja resistencia al paso del fluido y alta resistencia a la abrasión.
3. **Consideraciones con respecto al equipo:** Es importante donde se va a usar el medio filtrante: el tipo de pulpa, volumen del producto, contenido de sólidos requeridos, así como si es filtración a presión o vacío.
4. **Costos:** El costo del medio, así como su vida útil es de vital importancia. Este ítem puede decidir el tipo de medio a utilizar.

| Propiedades orientadas a la máquina: relacionadas con las limitaciones del uso de un medio filtrante en un tipo específico de filtro. |
|---|
| Rigidez |
| Resistencia al estiramiento |
| Resistencia al cree |
| Estabilidad en los bordes |
| Resistencia a la abrasión |
| Estabilidad a la vibración |
| Dimensiones compatibles |
| Habilidad para ser fabricados |
| Función de sellado |

Tabla 41
Propiedades de la tela filtrante

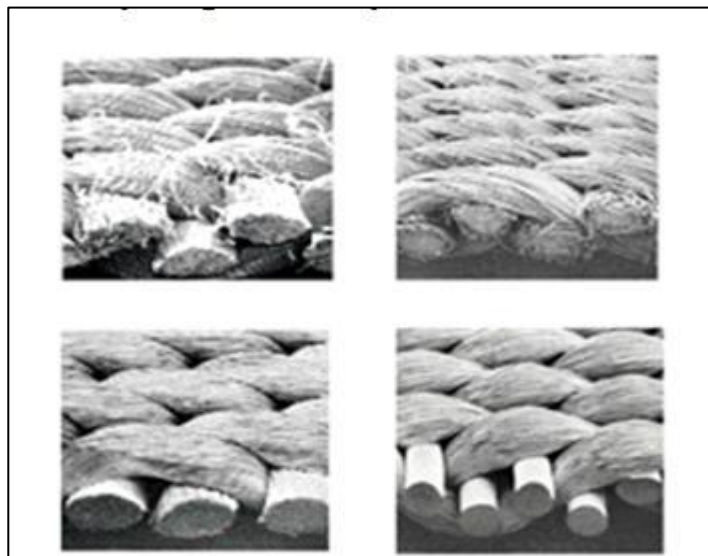


Figura 162
Tejidos y tramas de las telas filtros

Los principales daños que puede sufrir la tela pueden deberse a deformación estructural, estiramiento, fatiga a la flexión y a daños térmicos y químicos. Los primeros son el resultado de un mal diseño y a aspectos operacionales, tirón muy fuerte durante la descarga del queque o tensiones fuertes al inicio del ciclo o de la alta presión de agua usada en el lavado de la tela. Con respecto a los daños químicos (pH y corrosividad) y térmicos, estos son subsanados eligiendo una tela adecuada para el proceso en que va a ser usada. La siguiente tabla muestra las características de distintos materiales.

| Tipo Fibra | Densidad (kg/m ³) | Temperatura de operación máxima (°C) | Resistencia a: | | | |
|-----------------|----------------------------------|--|----------------|-------|----------------------|------------|
| | | | Ácidos | Bases | Agentes oxidantes | Hidrólisis |
| Polipropileno | 910 | 95 | •••• | •••• | • | •• |
| Poliétileno | 950 | 85 | •••• | •••• | • | •• |
| Poliéster (PBT) | 1280 | 100 | ••• | •• | •• | • |
| Poliéster (PET) | 1380 | 100 | ••• | • | •• | • |
| Poliamida 6.6 | 1140 | 110 | • | ••• | • | • |
| Poliamida 11 | 1040 | 100 | • | ••• | • | • |
| Poliamida 12 | 1020 | 100 | • | ••• | • | • |
| PVDC | 1700 | 85 | •••• | ••• | •••• | •••• |
| PVDF | 1780 | 100 | •••• | •••• | ••• | •••• |
| PTFE | 2100 | 150+ | •••• | •••• | ••• | •••• |
| PPS | 1370 | 150+ | •••• | •••• | •• | •••• |
| PVC | 1370 | 80 | •••• | •••• | •• | •••• |
| PEEK | 1300 | 150+ | ••• | ••• | •• | •••• |

•••• muy bueno; ••• bueno; •• aceptable; • pobre

Tabla 42
Atributos químicos y físicos de la tela.

A la tela se le realiza procesos finales de estabilización que aseguran una estabilidad dimensional y regulación de la permeabilidad. Un ajuste preciso de su permeabilidad se obtiene a través de tratamientos térmicos. Comparaciones entre las permeabilidades de diferentes medios filtrantes pueden ser hechas aplicando datos de flujos versus caída de presión. Un baño y modificación superficial hace que el queque se desprenda sin mayor problema de la superficie. Las principales características técnicas de los medios filtrantes son:

- Trama.
- Peso/área.
- Permeabilidad al aire.

- Permeabilidad al agua.
- Porosidad.
- Resistencia a la tensión.
- Fácil descarga del queque.
- Mínima resistencia al flujo.
- Mínima humedad del queque.
- Máxima vida útil de la tela.
- Menor tendencia a la colmatación (obstrucción).
- Espesor de la tela.
- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia al pH.
- Capacidad de suciedad.

Existe una infinidad de medios filtrantes dependiendo de la aplicación, por lo que la selección de un medio específico debe tomar en cuenta muchos factores. Esto hace necesario realizar distintos ensayos de laboratorio para observar el comportamiento del medio filtrante y así poder evaluar su comportamiento dependiendo de la aplicación.

Entendiendo el importante rol que juega el medio filtrante en el proceso de filtración, queda claro que una mala elección acarreará resultados perjudiciales para la filtración, traduciéndose en aumentos de costos, pérdidas de tiempo y un proceso ineficiente.

31. Funcionamiento de los diferentes tipos de filtros.

31.1. Equipos para la filtración.

Los equipos que utilizan presión en vez de vacío, deben usar mecanismos mucho más complicados, especialmente para la alimentación y la descarga. Esta ventaja de los filtros de vacío los ha hecho tradicionalmente muy populares en la industria minera y en la industria de procesos en general. La principal desventaja de los filtros a vacío es la obvia limitación en el máximo gradiente de presión disponible para el proceso, el que depende de la presión atmosférica local. Como la mayoría de las industrias mineras se encuentran situadas en montañas a gran altitud, algunas a más de 4.000 metros de altura, el gradiente de presión disponible es muy pequeño. Esta limitación y los grandes y recientes avances tecnológicos en mecanismos y sistemas de control, han introducido los filtros a presión y los han transformado en un producto preferido en la industria minera en la actualidad.

Una alternativa interesante es la combinación de ambos tipos de filtros, esto es, los filtros de vacío y los de presión. Si un típico filtro de vacío se introduce en una cámara

presurizada, se puede incrementar el gradiente de presión a los valores considerados óptimos para la filtración. Estos filtros se denominan filtros hiperbáricos y combinan la sencillez de construcción y operación de un filtro de vacío con la ventaja de mayores presiones de los filtros a presión.

31.1.1. Filtros a vacío.

Hay cuatro tipos de filtros a vacío: el filtro de tambor, el filtro de discos, el filtro de bandeja y el filtro de banda horizontal. Mientras los tres primeros son capaces de producir queques con humedades de hasta 12 a 18% el filtro de bandas logra llegar a humedades menores, del orden de 8 a 10%. A continuación describiremos cada uno de estos equipos.

Filtros de tambor: El filtro de tambor consiste en un tambor rotatorio con su parte inferior sumergida en la suspensión. La superficie del tambor está cubierta por un medio filtrante denominado *tela filtrante*. La suspensión es succionada desde el interior del tambor, donde se ha generado un vacío. Mientras el filtrado pasa al interior del tambor y es evacuado a través de tuberías apropiadas, el sólido es retenido en la superficie cilíndrica formando un queque. A medida que el tambor rota, las secciones de superficie que estaban sumergidas en la suspensión emergen de ésta, haciendo que aire sea succionado debido al vacío interior, lo que seca al queque. Durante el giro es posible lavar el queque rociando agua en su superficie y permitiendo que se seque de la misma forma anterior. Una vez completado un giro, y antes de entrar nuevamente en la suspensión, un mecanismo raspa la superficie descargando el queque en una tolva. A continuación se inicia un nuevo ciclo de filtrado-secado-lavado-secado-descarga.

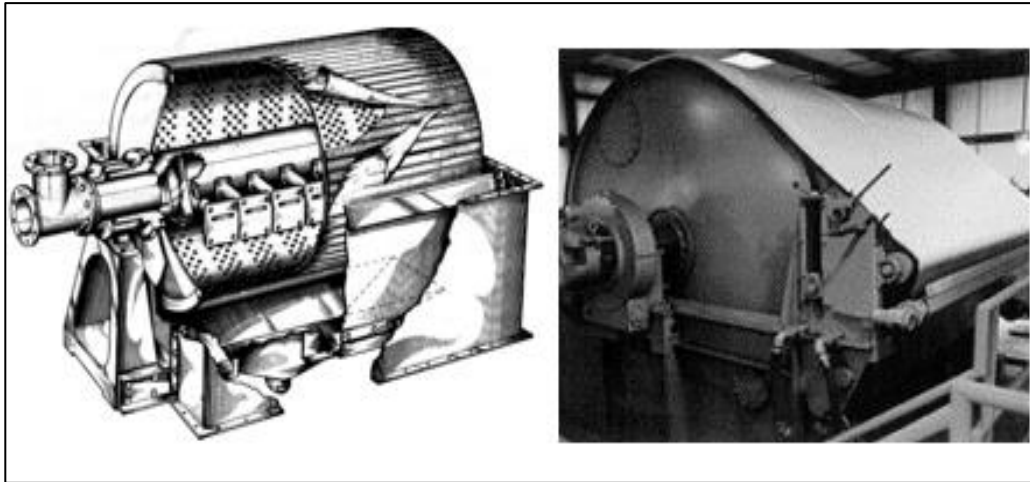


Figura 163
Filtro de tambor.

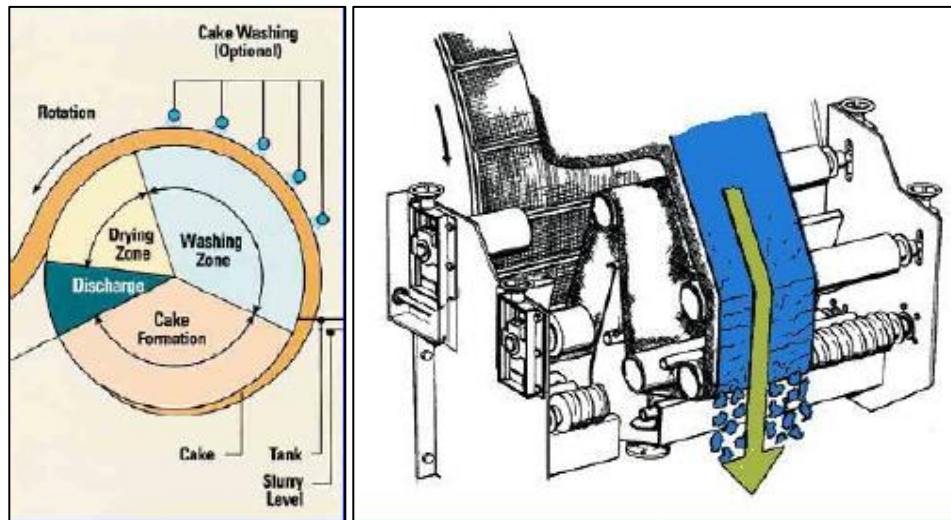


Figura 164
Ciclo de filtrado y descarga del queque.

Filtros de discos: El filtro de discos consiste en un eje central que soporta un número determinado de discos, cada uno de los cuales está conectado a un equipo de vacío. Los discos tienen su parte inferior sumergida en la suspensión, de manera similar al caso del filtro de tambor. Cada disco está cubierto de una tela filtrante y, al igual que en el filtro de tambor, trabaja en ciclos de filtrado-secado-lavado-secado y descarga a medida que el sistema de discos va girando. En los filtros de disco el lavado es más difícil de realizar. La ventaja de este equipo en comparación al filtro de tambor, es su gran superficie por unidad de área de piso ocupada, ya que cada disco permite filtrar por ambas caras y se puede acomodar un número bastante grande de discos en un solo equipo. Otra ventaja es la

forma modular por sectores en que están contruidos los discos, lo que permite mayor facilidad y flexibilidad en el cambio de telas.



Figura 165
Filtro de discos.



Figura 166
Eje del filtro de discos.



Figura 167
Secciones del filtro de disco.

Operación filtro de discos:

1. Los discos giran y al estar en contacto con la pulpa, captan el sólido (formación del queque) por efecto del vacío.
2. Cuando están en contacto con la atmósfera se mantiene el vacío (secado del queque). El lavado es opcional.
3. Para la descarga del queque se utiliza soplado de aire y raspadores.

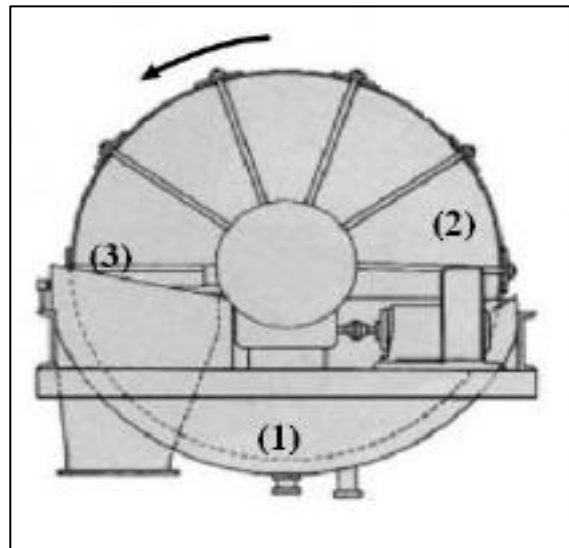


Figura 168
Etapas de la operación del filtro de discos.

Una variante de estos filtros de discos, son los filtros cerámicos. Los filtros cerámicos (figura 169) en apariencia y funcionamiento son muy similares a los filtros de discos convencionales. La diferencia está en que los sectores que componen los discos son placas de un material cerámico micro poroso como elemento filtrante, basado en óxido de aluminio.

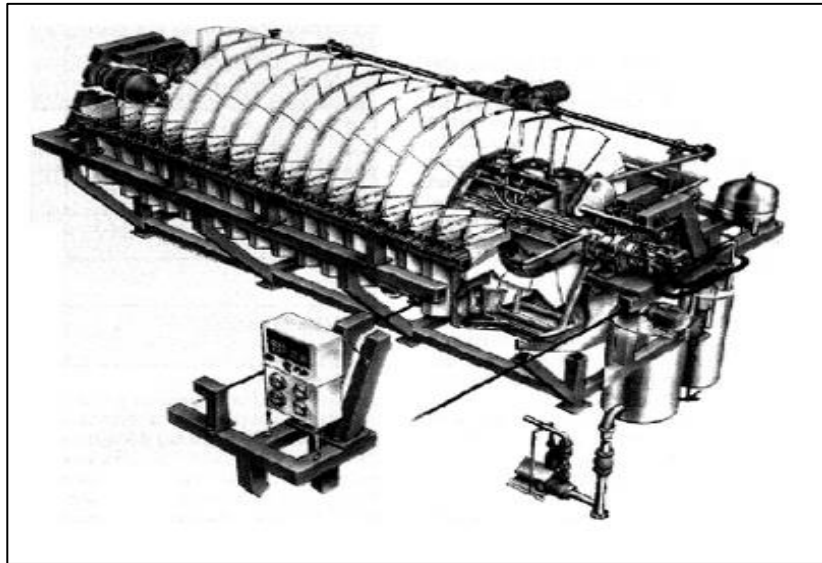


Figura 169
Filtros de discos cerámicos.

- Existen dos tipos de placas cerámicas disponibles. El primer material posee poros de 1,5 micrones con un punto de capilaridad de 1,6 bar y el segundo posee poros de 2,0 micrones con un punto de capilaridad de 1,2 bar. Al sumergirse los discos dentro de la tina con pulpa, tienen una *acción capilar* iniciando el proceso de desaguado sin fuerza externa.

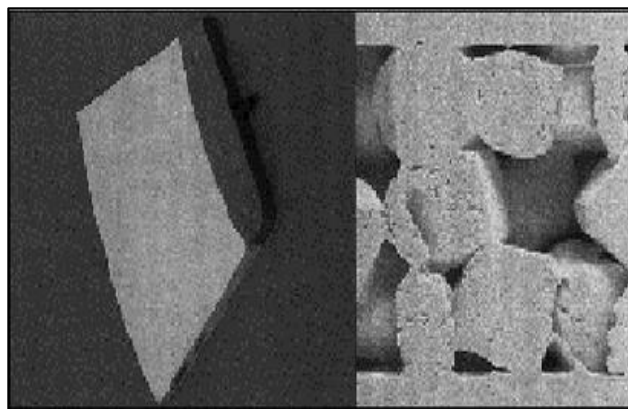


Figura 170

Placa de filtro cerámico.

Los sólidos contenidos en la pulpa se acumulan en la superficie del disco y el desaguado continúa mientras queda líquido presente. La filtración capilar es un método de filtración que combina las ventajas del filtro convencional de vacío por su construcción simple similar y el efecto capilar. Los filtros cerámicos son utilizados para la filtración de concentrados de cobre y minerales industriales.

Filtros de banda horizontal: Consisten en una superficie sin fin de drenaje hecha de caucho perforado, conectada al vacío, que soporta una banda separada hecha de una tela filtrante apropiada. La pulpa se alimenta por gravedad sobre el filtro y la filtración comienza inmediatamente, por efecto de la presión de la capa de pulpa y el vacío. En estos filtros es posible lavar el queque. En general se utiliza para sólidos gruesos o donde se requiere una alta eficiencia de lavado. Se puede alcanzar humedades más bajas que con los filtros de disco y tambor.



Figura 171
Filtro de banda

Componentes del filtro de banda horizontal:

1. Tacho receptor de pulpa: Se denomina al estanque o recipiente que recibe la pulpa con que se va a alimentar el filtro.



Figura 172
Tacho receptor de pulpa

2. Distribuidor de pulpa Filtración: Es el recipiente que distribuye la pulpa sobre la tela filtrante en forma homogénea, de manera de asegurar que la caída de la pulpa tenga la cobertura del ancho total de la tela, antes que llegue la tela a la caja de vacío.



Figura 173
Distribuidor de pulpa de filtración

3. Rodillo de retención: Es el rodillo que va situado en la parte posterior y sobre la tela filtrante y que sirve para retener la carga que alimenta al filtro.

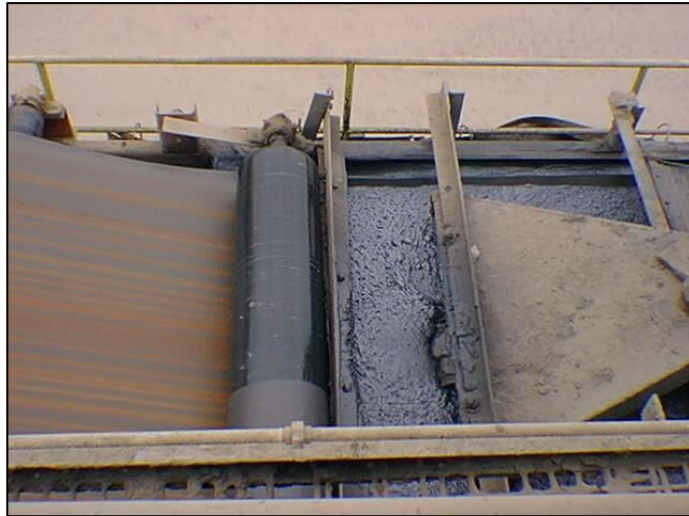


Figura 174
Rodillo de retención.

4. **Correa transportadora:** Es la correa sinfín donde va montada la tela filtrante, la cual tiene canaletas transversales para el drenaje del líquido filtrado. Cada canaleta tiene perforaciones en el centro para transmitir el vacío y extraer la solución filtrada hacia la caja de vacío. La correa va sobre dos poleas, una de ellas es la polea de transmisión o polea motriz y la otra es la polea de culata o polea de tensión. Además está sostenida sobre las tapas perforadas de acero inoxidable de las cajas de aire.
5. **Caja de aire:** Las cajas de aire es por donde se suministra aire desde un ventilador centrífugo a través de las perforaciones que tienen las tapas de acero inoxidable, con el objeto de levantar la correa transportadora durante el filtrado, reduciendo con esto el desgaste de la correa por fricción y arrastre.
6. **Caja de vacío:** Esta caja está ubicada en el centro de la correa, debajo de las perforaciones de filtrado en la correa transportadora, y sirve para distribuir la presión de vacío hacia la carga, produciendo el filtrado del concentrado.



Figura 175
Caja de vacío.

7. Polea de transmisión: Esta polea está ubicada en el extremo de la descarga del queque filtrado y que se conoce además como polea de cabezal. Es la que acciona la correa transportadora por medio de la energía proporcionado por un motor ubicado a un costado de éste.



Figura 176
Polea motriz

8. Unidad de motriz: Esta corresponde al motor del filtro y está ubicada a un costado de la polea motriz.



Figura 177
Unidad motriz

9. Buzón de descarga: Corresponde a la parte del filtro por donde cae el queque o material filtrado hacia la cancha de almacenamiento y secado.



Figura 178
Buzón de descarga

10. Rociadores de agua: Corresponde a una serie de rociadores de agua de lavado de tela, y que están situados en el extremo de descarga del filtro sobre el pozo de lavado, y su función es prolongar la vida de la tela minimizando la saturación de ésta y además reduce la acumulación del barro debajo de la polea de culata del filtro.

11. Tensor gravitacional: Esto permite dar tensión a la tela filtrante para que no esté suelta sobre la correa transportadora y para que no se descentre.
12. Correa de desgaste: Estas cintas sirven para evitar el desgaste por fricción entre la correa transportadora y la caja de vacío generando a la vez un sello de vacío. Estas cintas de sello son lubricadas con agua para evitar el resecamiento de éstas y que no se corten.
13. Ventilador: Este equipo suministra el aire necesario, a través de la caja de aire, para levantar la correa transportadora y evitar el desgaste y fricción por arrastre.
14. Centrador de tela: Este es un mecanismo electro neumático que sirve para centrar la tela filtrante en caso de que se descentre, llevándola a su posición correcta.
15. Conducto de succión: Estos son las tuberías por donde se desplaza la solución filtrada hacia los estanques de filtrado.
16. Tela filtrante: Esta es una tela de paño de filtro sinfín que va sobre la correa transportadora y que se utiliza para separar el líquido desde el sólido en una pulpa. Después de la descarga del queque, la tela filtrante y la correa transportadora se separan y ambas se vuelven a juntar en la polea de culata.



Figura 179
Etapa de filtración

17. Contrapesos: Estos fijan la caja de vacío con la correa transportadora, para evitar pérdida de vacío.

18. Cortina de retención de carga: Estas cortinas son un faldón de caucho ubicado a lo ancho de la correa y tienen la misión de esparcir en forma uniforme la pulpa de alimentación en la correa transportadora, y de retener esta pulpa dentro de un área delimitada sobre la tela filtrante.

El mecanismo de operación de los filtros de banda se puede describir para su comprensión en las siguientes zonas:

Zona de formación: Esta zona comprende el área de la correa desde el rodillo de alimentación hasta la cortina de retención de carga. La tasa de alimentación hacia el filtro es controlada mediante una válvula de control regulada por la salida desde un flujómetro en línea, y el set-point del flujo es una variable impuesta por el operador. La velocidad de alimentación y/o de la correa debería ser tal que el ancho completo de la correa sea cubierto por una capa uniforme de material o pulpa.

Zona de lavado: Las zonas de lavado son la áreas donde los sólidos son lavados con la solución de lavado recuperados del proceso de filtrado posterior. Hay una zona de lavado en cada filtro. El volumen de agua de lavado está relacionado con los sólidos secos que son tratados por el filtro y es definido como una razón de lavado donde:

$$\text{razón de lavado} = \frac{\text{tph de agua de lavado}}{\text{tph de solidos seco}}$$

Zona de secado: Esta zona es la última porción del área de filtrado sobre la correa desde la última cortina de retención de carga hasta el final de la última caja de vacío. El material sobre la correa debería emerger desde la cortina de separación sin agua en la superficie. En esta zona, el queque del filtro está más desaguado por la acción del vacío, también asistido por el aire llevado a través del queque.

Zona de descarga: En la zona de descarga la tela del filtro es separada de la correa transportadora al pasar por un rodillo separador. Esto tiene la función adicional de romper al queque para asistir a la descarga. La tela del filtro se envuelve entonces alrededor del rodillo de descarga en un ángulo de 90°. Es en este punto donde el queque seco y la tela del filtro se separan. El queque cae por gravedad en el buzón de descarga.

Zona de lavado de tela: La tela filtrante es dirigida hacia la cabeza del filtro y pasa por una cortina de agua de lavado a alta presión a través de los chiquetes o rociadores para sacar cualquier sólido arrastrado por la tela.

Filtros hiperbáricos: Los filtros de vacío tienen como gradiente de presión limitante 0,8 atmósferas en las condiciones más favorables, esto es, a nivel del mar. Si son utilizados en zonas muy altas este gradiente baja drásticamente. Un desarrollo interesante fue realizado en la Universidad de Karlsruhe en Alemania.

En la década del 80 un grupo de investigadores liderados por el Profesor Dr. Werner Stahl estudiaron y desarrollaron un sistema de filtración en el cual introdujeron un filtro de vacío dentro de una cámara presurizada, aumentando de esta forma el gradiente de presión. En esta forma nació el filtro hiperbárico. El equipo consiste en un filtro a vacío, ya sea de disco, tambor o banda, inmerso en una cámara de presión. Como en todos los filtros a presión, la descarga constituye un problema. Con este tipo de filtros se puede obtener humedades de 8% y menores.

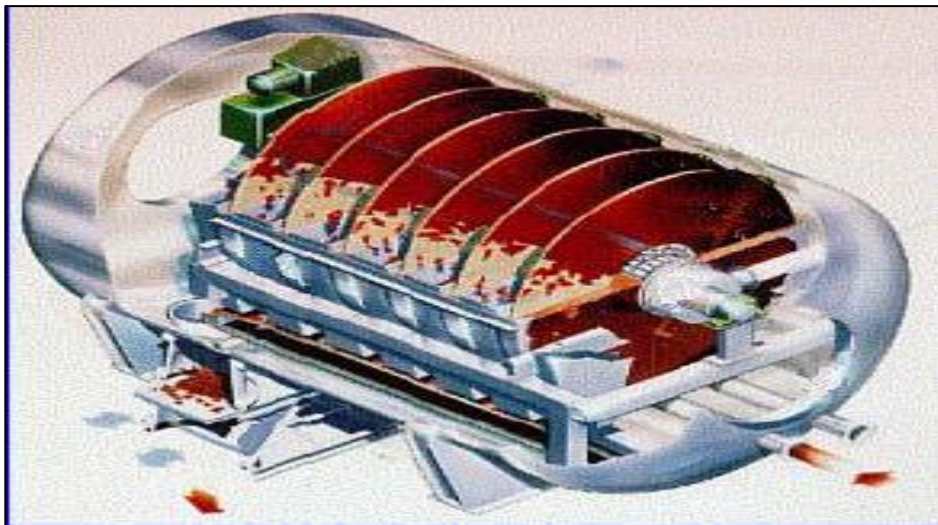


Figura 180
Filtro hiperbárico

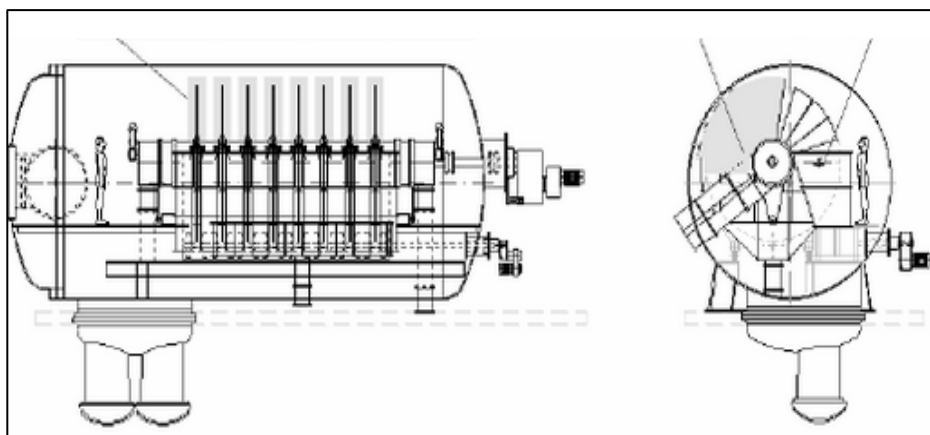


Figura 181
Filtro hiperbárico, vista lateral.

Actividad N° 15

Filtrado al vacío

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor, deberán identificar las operaciones básicas de operación de filtrado al vacío y, algunos parámetros importantes para el proceso de filtrado. El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con diferentes formas de aplicar la filtración a una solución con sólidos en suspensión.

La actividad tiene como objetivo reforzarlos fundamentos vistos en la teoría del curso sobre la operación de estos tipos de filtros cuya eficiencia será evaluada por medio del parámetro de control más relevante de este proceso el porcentaje de humedad.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar condiciones mecánicas del filtro y partes constituyentes, para detectar anomalías.

Verificar condiciones operacionales del filtro y partes constituyentes, para detectar variables o parámetros de operación fuera de rango.

Estrategia Metodológica para el instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de filtración, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 43

Materiales y Recursos.

10 k Mineral 100 % bajo malla 100 Tyler.
2 Balanza digital
1 Embudo Buchner por grupo de participantes
1 Bomba de vacío por grupo de participantes
1 Filtro de kitasato por grupo de participantes
Papel filtro
1 Horno de secado
4 Bandejas metalúrgicas por grupo de participantes
2 Vaso precipitado de 500 cc por grupo de participantes
2 Picetas de 1000 cc por grupo de participantes
Agua
4 Baldes de 20 lt por grupo de participantes.

Desarrollo de la actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de filtración al vacío de una pulpa.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizaran un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregara para control de los riesgos, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor podrá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 182
Elementos de protección obligatorios

Filtrado al vacío.

El participante deberá realizar lo que indica la secuencia:

26. El participante deberá verificar que el embudo Buchner, el matraz y la bomba de vacío se encuentren en buenas condiciones y operativos.



Figura 183
Embudo Buchner, Kitasato y bomba de vacío

27. Tarar balanza digital a cero.

28. Preparar 500 cc de pulpa en un vaso precipitado de 500 cc, por grupo de participantes, con 40 % sólidos.

Las fórmulas a emplear son:

$$m_s = \frac{V_p}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{D}{\rho_l}} \quad D = \frac{1-x}{x}$$

$$x = \frac{m_s}{m_p}$$

$$V_l = \left[\left(\frac{m_s}{X} - m_s \right) \right] / \rho_l$$

donde:

V_l : Volumen del líquido (cc)

X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).

m_s : masa de sólido (g)

ρ_l : Densidad del líquido

m_s : masa de sólido (g)

V_p : volumen de pulpa a formar, de 40 % sólidos (cc)

ρ_s : densidad de sólido (g/cc)

D : dilución

X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).

29. Pesar papel filtro o el material filtrante a ocupar. Registrar dato en el cuaderno.

30. El participante deberá verificar que el embudo Buchner esté limpio.

31. Una vez verificado que el embudo esté limpio, el participante colocará papel filtro cubriendo todos los orificios de éste

32. Humedecer levemente el papel filtro con agua desde una piceta, para evitar que se desprenda cuando se agregue la pulpa.

33. El participante dará partida a la bomba de vacío, presionando el botón de encendido.

34. Homogenizar la pulpa contenida en el vaso de 500 cc.

35. Verter la pulpa lentamente en el filtro, agitar el vaso después de cada adición.

36. Mantener operativo la bomba de vacío hasta eliminar la mayor parte del agua de la muestra. Esto se denota por la observación de caída de agua por goteo.

37. Una vez terminado el proceso, el participante deberá detener la bomba de vacío y retirar con cuidado el papel filtro con la muestra filtrada. Esto se debe realizar sin romper el filtro.

38. Pesar queque húmedo con papel filtro y llevar al horno de secado de 105°C durante 4 horas en el caso de los concentrados. Registrar peso.
39. Después de las 4 horas sacar la muestra del horno de secado con precaución y dejar enfriar por 30 minutos y pesar. Registrar dato. A este peso se deberá descontar el peso del papel filtro.
40. Con los datos de masa húmeda y masa seca, calcular % humedad por sequedad.
41. Calcular % de humedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{\text{PESO HUMEDO} - \text{PESO SECO}}{\text{PESO HUMEDO}} \right] * 100\%$$

17. Al finalizar la actividad, el participante deberá dejar todo limpio y ordenado (realizando house keeping)

Cierre de la Actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos realizados, observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.

El participante deberá comprender la importancia de que no exista fuga por el medio filtrante por rotura de éste.

31.1.2. Filtros a presión.

La filtración en equipos tradicionales, tales como filtros rotatorios y filtros de banda, están siendo menos aceptables en la industria minera y a menudo son considerados inadecuados debido a su alto contenido de humedad, obligando a hacer uso de secadores antes de obtener un producto final. Es así como los filtros de presión son considerados de una

tecnología largamente reconocida como un método confiable y eficiente para lograr más bajas humedades y mejores rendimientos demostrando ser una solución eficaz para este problema. Los filtros a presión son equipos inherentemente discontinuos. Al igual que los filtros rotatorios trabajan en ciclos, pero al contrario de estos, deben detenerse para cargar la suspensión y para descargar el queque seco. En La filtración a presión podemos identificar tres tipos de equipos: filtros prensa de placas verticales, filtros prensa de placas horizontales y filtro prensa de disco.

a) Filtro prensa de placas verticales: En los filtros de presión de placas verticales la separación toma lugar en cámaras formadas entre las superficies de drenaje de placas filtrantes moldeadas que se mantienen unidas entre sí. Estas placas poseen orificios para la alimentación de la pulpa y el drenaje líquido filtrado, las placas están fijas entre sí mediante una presión hidráulica, están montadas verticalmente sobre y entre dos barras laterales o suspendidas de vigas. Estas barras o vigas están conectadas en un extremo a un cabezal fijo o alimentador, mientras que por el otro extremo están conectados a un cabezal de cierre.



Figura 184
Filtro de prensa vertical

Las placas se comprimen entre sí mediante un arreglo de cierre de un pistón hidráulico en cuyo extremo se encuentra el cabezal móvil que empuja ordenadamente las placas contra el cabezal fijo, formando así una sola unidad filtrante compuesta por el grupo de placas de filtración.

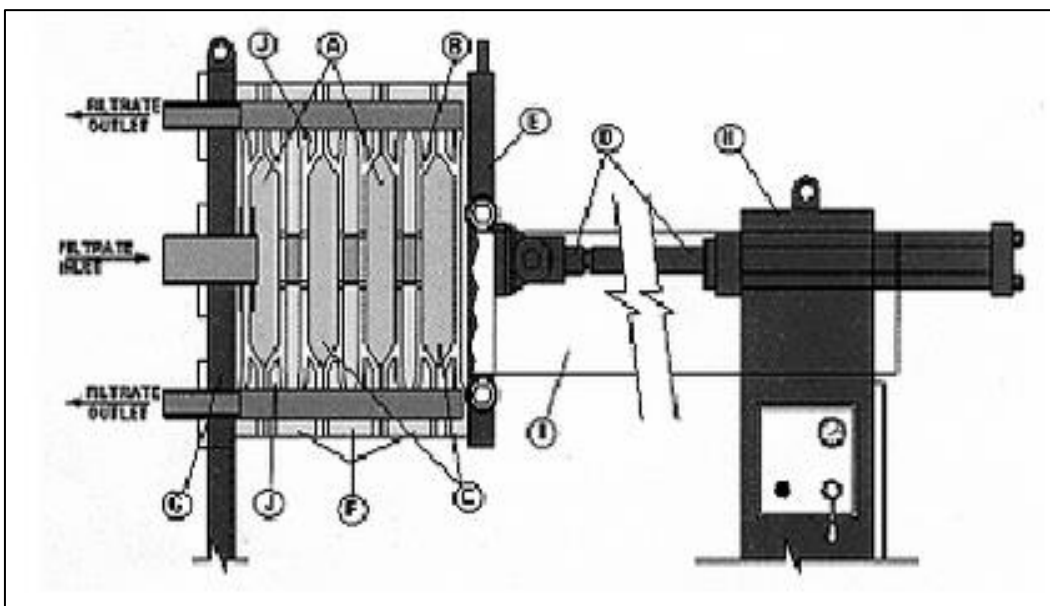


Figura 185
Esquema de filtro de placas verticales

El mecanismo de acción de un filtro-prensa se puede describir de la siguiente forma: El cabezal (G) y el soporte terminal (H) son sostenidos por rieles de las barras de soporte (I) diseñados especialmente. El pistón hidráulico (D) empuja las placas de acero (E) contra las placas de polietileno (F) cerrando la prensa. La pulpa es bombeada a las cámaras (A) rodeadas por el medio filtrante (B). Al bombear, la presión se incrementa forzando al líquido a atravesar la tela, haciendo que los sólidos se acumulen y formen un queque (C). El filtrado pasa a través de las telas y es dirigido hacia los canales de las placas y puertos de drenado (J) del cabezal para la descarga.

Este filtrado típicamente contendrá menos de 15 ppm (mg/l) de sólidos en suspensión. La torta es fácilmente removida haciendo retroceder el pistón neumático, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que el queque compactado caiga desde la cámara.

La cámara que contiene el queque, está formada de una de las dos formas siguientes, por dos placas ahuecadas que conforman una cámara o por dos placas niveladas en el medio con un marco para el queque (similar a un marco de fotografía). La cara de ambos lados de las placas de filtración poseen una superficie de drenaje en forma de ranuras o pepitas para permitir que el líquido filtrado drene por detrás de las telas filtrantes, permitiendo su evacuación a través de ojales situados en las esquinas inferiores de las cámaras. Sobre cada

una de las dos superficies de las placas están instaladas telas de filtración. Estas telas están unidas al ojal alimentador fijadas por pernos o difusores impermeables.

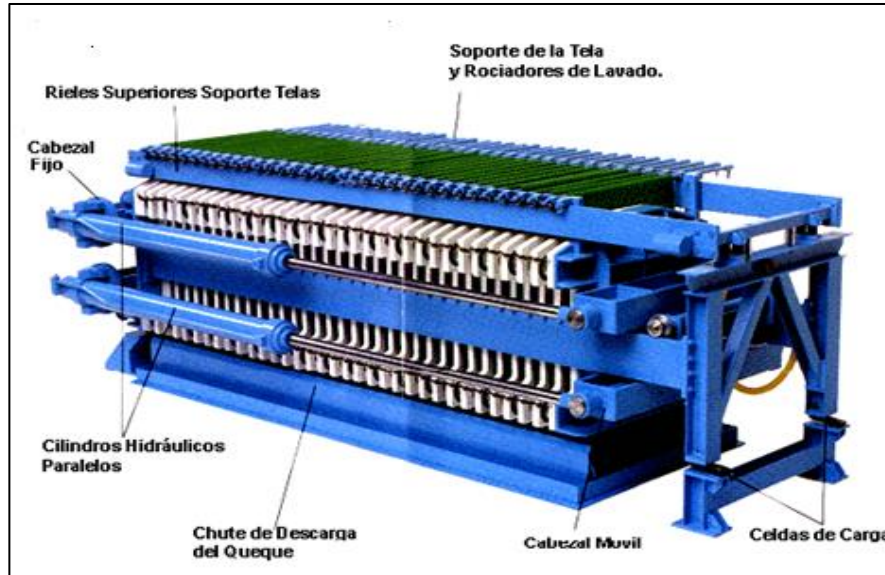


Figura 186
Filtro de placa vertical

Las etapas consecutivas del proceso de filtración no comprenden la utilización de compresión mecánica de la pulpa o queque en las cámaras filtrantes. El proceso cíclico de la filtración por presión en los filtros de placas verticales consta de las siguientes fases:

Cerrado: Las placas son comprimidas a alta presión mediante un pistón hidráulico para evitar fuga de material por entre las placas y sellar las cámaras filtrantes.

Alimentación: La alimentación de la pulpa se realiza por el ojal alimentador, o núcleo del cabezal fijo, donde la pulpa de concentrado es bombeada a lo largo de toda la longitud del filtro hasta llenar las cámaras de filtración. Como la pulpa fluye bajo presión, las partículas sólidas comienzan a distribuirse entre ambas caras de la tela filtrante formando una capa inicial de torta de filtro o pre-revestimiento. Esta capa de pre-revestimiento se transforma en el medio real de filtración y, a medida que la filtración continúa, el espesor de ésta aumenta gradualmente hasta que los queques de ambos lados del filtro se tocan o se unen.

El bombeo continúa obteniendo una compresión del queque formado, el que se detiene una vez que el flujo de líquido es prácticamente nulo. Es en este punto en que la bomba alimentadora se detiene.

Limpieza: La limpieza del residuo de pulpa que queda retenido en el interior del núcleo se realiza mediante agua a presión en contracorriente. El agua que queda retenida en el núcleo se elimina con aire comprimido. Esta etapa dura alrededor de 45 segundos.

Soplado: Aire a alta presión es introducido a las cámaras lo que genera un desplazamiento de la humedad retenida en los poros del queque.



Figura 187
Etapas del filtro vertical

Descarga: Una vez terminadas las etapas de filtración y compresión, se abren las compuertas de la tolva receptora del queque en la parte inferior del filtro. Las placas del filtro se separan por retracción del pistón al accionar de un cilindro hidráulico. El queque cae sobre una correa transportadora por simple gravedad.

Lavado: Antes de comenzar un nuevo ciclo, las compuertas de la tolva receptora del queque, son automáticamente cerradas para realizar el lavado de telas con agua y así eliminar las partículas de concentrado adheridas y mantener limpias las superficies de las placas y telas. Así se evita la posible *colmatación* o taponamiento de los poros de las telas y se reduce el desgaste por abrasión.

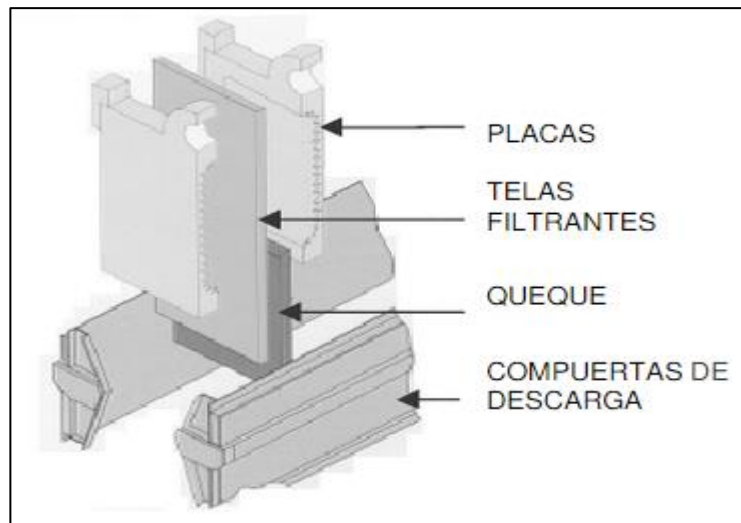


Figura 188
Etapas de descarga del queque filtrado

Actividad N° 16

Introducción a la actividad

La siguiente actividad tiene como finalidad filtrar una mezcla de sólidos con 40 % sólidos, aplicando el método de filtración por presión. El objetivo de la actividad es que los participantes puedan observar la formación de un queque filtrado al aplicar este método de filtración.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Realizar ajustes de parámetros y variables de operación del filtro para normalizar su operación, asegurando bajo porcentaje de humedad del producto filtrado.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | |
|--------------------------|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso Audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | x |

| | |
|--|---|
| Taller de Trabajo | x |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | x |

Tabla 44

Materiales y Recursos.

2 Vaso precipitado de 1000 cc por grupo de participantes
 10 k mineral de granulometría 100 % bajo malla 100 Tyler
 Filtro de lona o papel.
 Compresor de aire
 Mangueras de presión.
 1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante.
 Balanza digital.



Figura 189

Filtro de presión de laboratorio

Desarrollo de la actividad

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de filtración de una pulpa.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizaran un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregara para control de los riesgos, observando estado de equipos, materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 190
Elementos de protección personal obligatorios

Filtración por presión

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad.

1. El participante deberá verificar que el filtro de presión se encuentre con sus válvulas, manómetros, mangueras de presión, etc en buenas condiciones y operativos.
2. El participante deberá verificar que el compresor de aire, manómetros, mangueras de presión, etc, se encuentren en buen estado y operativos.
3. Verificar que el filtro a presión y manguera inferior se encuentren limpios.
4. El participante debe verificar que la llave de paso de aire del filtro esté cerrada.
5. El participante deberá conectar la manguera de aire a presión al filtro.
6. Abrir lentamente llave de paso de aire. Probar que no existan filtraciones, tanto de las mangueras como del filtro.
7. Cerrar válvula de paso del aire y desconectar las mangueras de presión desde el filtro y abrir tapa superior del filtro.
8. El participante deberá preparar pulpa con 40 % sólidos, usando las siguientes fórmulas:

Las fórmulas a emplear son:

$$m_s = \frac{Vp}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{D}{\rho_l}} \quad D = \frac{1-x}{x}$$

$$x = \frac{m_s}{m_p} \quad V_l = \left[\left(\frac{m_s}{X} - m_s \right) \right] / \rho_l$$

donde:

V_l : Volumen del líquido (cc)

X : Fracción en peso del sólido (% sólido/100).

m_s : Masa de sólido (g)

ρ_l : Densidad del líquido

m_s : Masa de sólido (g)

V_p : Volumen formar una pulpa de 40 % sólidos de pulpa (cc)

ρ_s : Densidad de sólido (g/cc)

D : Dilución

X : Fracción en peso del sólido (% sólido/100).

9. El participante deberá pesar en la balanza digital el papel filtro y luego lo colocará en el filtro de tal forma de cubrir completamente el fondo del filtro. Registrar dato.
10. Agregar los 1000 ml de pulpa desde el vaso precipitado al interior del filtro filtro.
11. Se deberá colocar la tapa del filtro sellando herméticamente. Conectar la manguera de aire a la línea de presión. Abrir completamente la llave de paso.
12. Ajustar la presión de aire a la que se desea filtrar con la válvula reguladora que se encuentra en el filtro.
13. Instalar un recipiente debajo de la manguera del filtrado hacia un balde.
14. Abrir la llave de paso de aire y filtrar hasta que no salga líquido desde la manguera del filtrado.
15. Una vez que ya no salga más líquido filtrado, cerrar válvula de paso y válvula reguladora.
16. Cerrar válvula desde la línea de aire del compresor y desconectar manguera de presión.
17. Abrir válvula de alivio para liberar el aire desde dentro del filtro.
18. Sacar tapa superior del filtro.
19. Retirar masa de filtrado desde el interior.
20. Pesar queque húmedo con el papel filtrante y llevar al horno de secado a 105° C durante 4 horas. Registrar peso.
21. Después de las 4 horas de secado, sacar la muestra del horno con precaución y dejar enfriar

22. Pesar el mineral seco, descontando el peso del papel. Registrar dato.
23. Con los datos de masa húmeda y masa seca, calcular porcentaje de humedad por sequedad con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{\text{PESO HUMEDO} - \text{PESO SECO}}{\text{PESO HUMEDO}} \right] * 100\%$$

24. Al finalizar la actividad, el participante deberá dejar todo limpio y ordenado (realizando house keeping)

Cierre de la Actividad.

El participante deberá preparar un informe ejecutivo y exponer en la sala de clases los cálculos realizados, observaciones y conclusiones obtenidas de la actividad realizada.

El participante deberá comprender la importancia de que no exista fuga por el medio filtrante por rotura del medio filtrante o por el mal sellado del filtro, etc. como ocurre en los filtros industriales, porque cualquier problema en la operación del filtro en la humedad del queque filtrado.

b) Filtro prensa de placas horizontales: Recientemente se ha desarrollado un tipo de filtro a presión semi-continuo que ha encontrado un mercado importante en las empresas mineras. Este sofisticado equipo combina las dos características más buscadas por la industria minera, una baja humedad y gran capacidad. La flexibilidad en la capacidad también es importante ya que los hace convenientes para empresas mineras grandes y pequeñas.

El método de filtración por presión es bastante utilizado en las plantas de filtrado.



Figura 191
Filtro de prensa de placas horizontales Larox

Este tipo de filtro prensa consiste básicamente en una cámara filtrante horizontal situado dentro de un marco de estructura principal. Por la forma de su diseño, permite la incorporación de cámaras adicionales montadas unas sobre otras, permitiendo incrementar el área de filtración sin generar un aumento en el área de piso de la instalación.

Cada una de estas cámaras de filtración posee sellos inflables en ambos extremos, los que se dilatan durante la operación para sellar la cámara. Las cámaras se encuentran fijas a la estructura y no poseen movimiento durante la operación de filtrado. Cada cámara posee una correa filtrante montada sobre un rodillo impulsor en cada extremo, operando independientemente de las otras correas que posee el equipo.

Cada rodillo posee un motor hidráulico que acciona la correa durante la operación de descarga del queque. En la parte superior de cada cámara se encuentra instalado un diafragma de goma flexible que es utilizado para comprimir la suspensión y el queque, siendo éste el encargado de formar y reducir la humedad del queque.

La secuencia operacional para la filtración por presión en placas horizontales, es como sigue:

Cerrado: Se desarrolla un inflado de los sellos de extremos mediante una presurización con agua para evitar fugas de las cámaras del filtro.

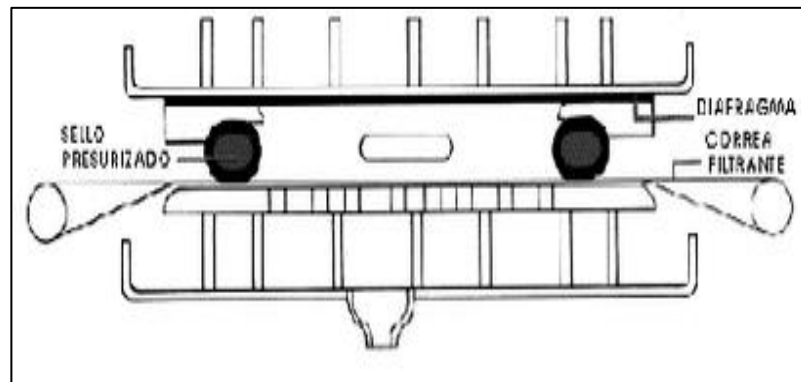


Figura 192

Inflado de los sellos extremos mediante presurización con agua

Alimentación: La pulpa es bombeada a presión hacia la cámara del filtro a una determinada presión. Una vez llena la cámara, la alimentación se corta. La etapa de alimentación va acompañada de una filtración incipiente, ya que la presión disminuye a medida que las cámaras se van llenando.

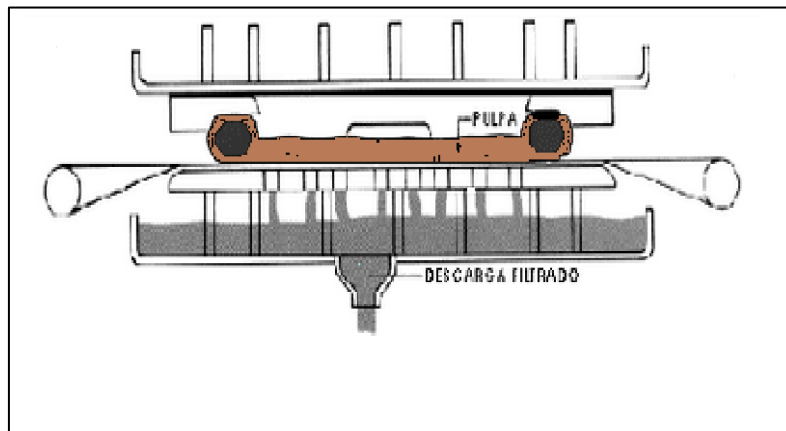


Figura 193

Etapa de alimentación

Limpieza: En forma opcional se limpia el residuo de pulpa que queda retenido: La etapa propiamente tal de en el interior del cabezal principal de alimentación.

Compresión: formación del queque comienza con la compresión de la suspensión mediante un diafragma de goma, utilizando una presión de agua. Una vez terminado el

período de formación del queque, comienza la expresión que produce una disminución de la porosidad del queque, eliminando una mayor cantidad de líquido. La alta presión permite el uso de tela de tramado denso que incrementa la eficiencia de la filtración.

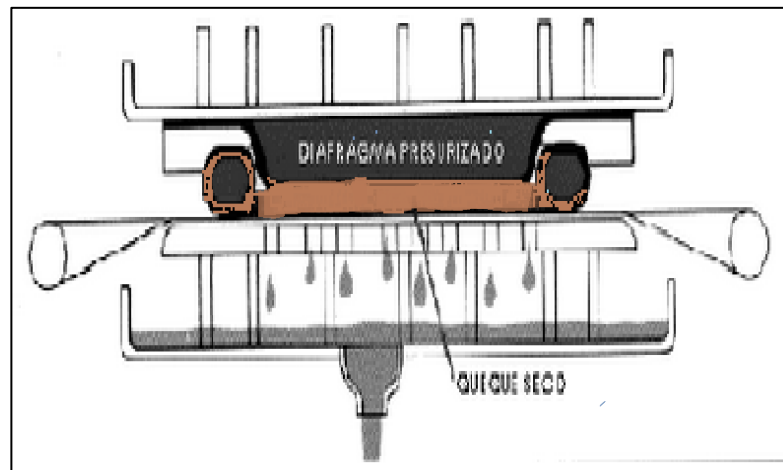


Figura 194
Etapa de compresión

Retracción del diafragma: Una vez terminada la expresión con diafragma, se admite aire que es soplado a través del queque saturado con la finalidad de desplazar el líquido allí retenido y ayudar a la retracción del diafragma.

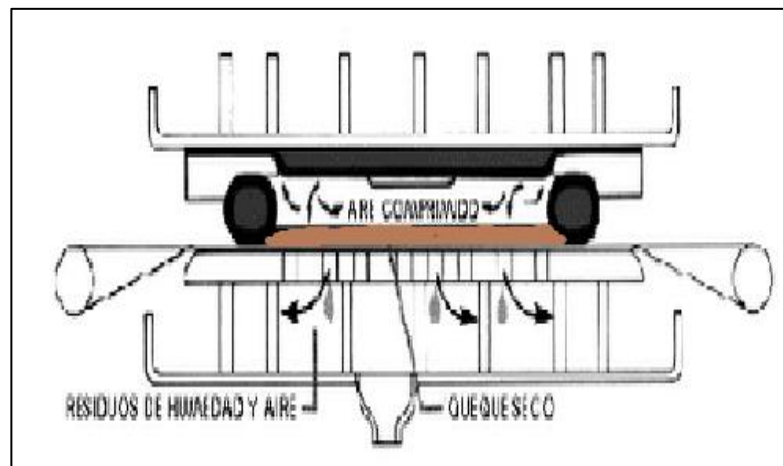


Figura 195
Retracción del diafragma

Lavado del queque: La solución de lavado es alimentada por bombeo dentro de la cámara del filtro formando un volumen parejo sobre el queque. Debido a que la torta yace plana y sin resquebrajaduras, el agua para el lavado se distribuye homogéneamente. El lavado de

queque es completamente opcional y puede ser utilizada o rechazada mediante una simple reprogramación del PLC.

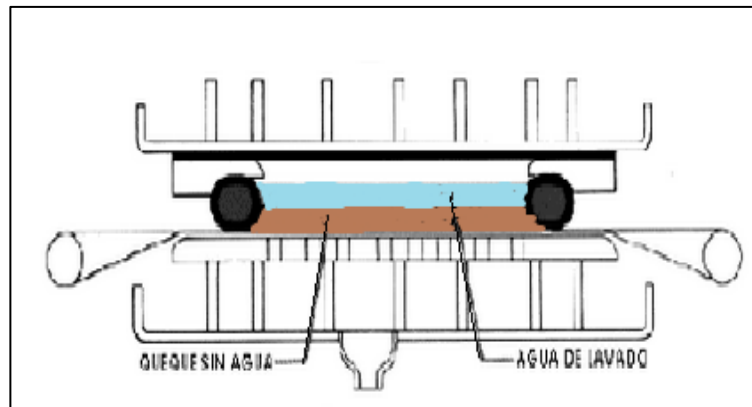


Figura 196
Lavado del queque

Segunda etapa compresión: Se presiona al diafragma nuevamente para forzar la solución de lavado a pasar a través del queque, desplazando el líquido retenido en éste casi por completo. Luego de esto, la misma presurización del diafragma exprime el queque filtrado y lavado para extraer el máximo de solución de lavado de queque.

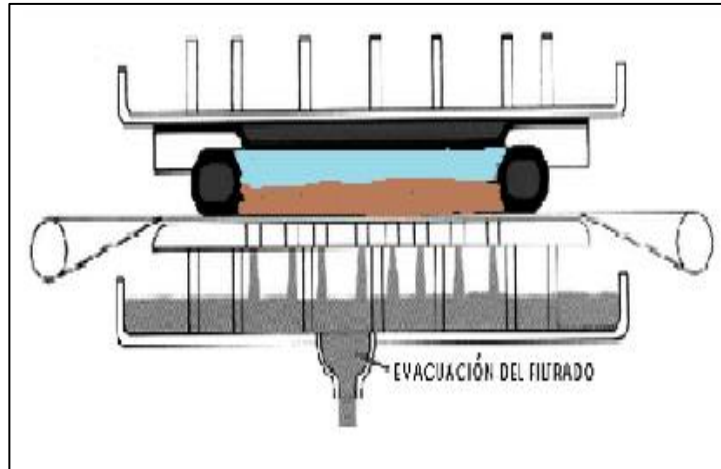


Figura 197
Segunda etapa de compresión

Segunda etapa soplado y retracción del diafragma: Después de la segunda expresión, se sopla el queque con aire comprimido por segunda vez, retrayendo el diafragma y reduciendo la humedad final del queque. Al controlar el tiempo de inyección de aire, es posible regular el porcentaje de humedad final en el queque.

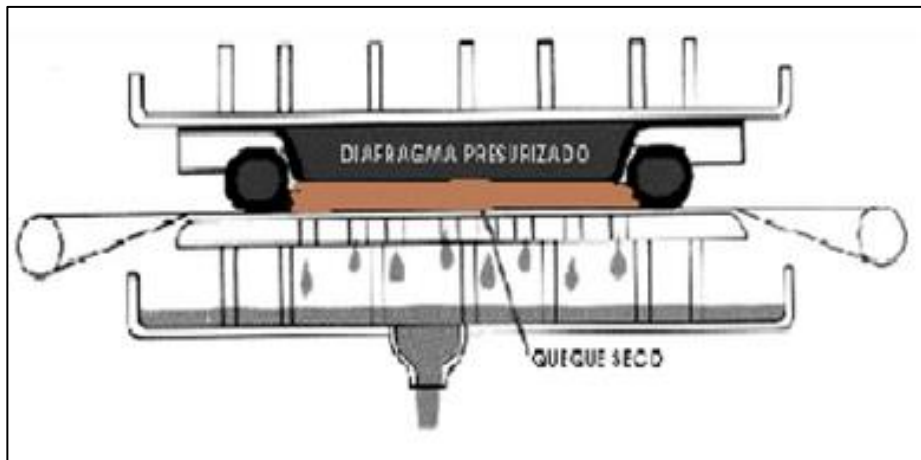


Figura 198
Segunda etapa de soplado y refracción del diafragma

Descarga del queque: Los sellos se retraen y se descarga el queque accionando la correa del filtro después que se ha completado la etapa de soplado de aire. La puerta desviadora se abre y permite la entrada del queque al buzón de descarga.

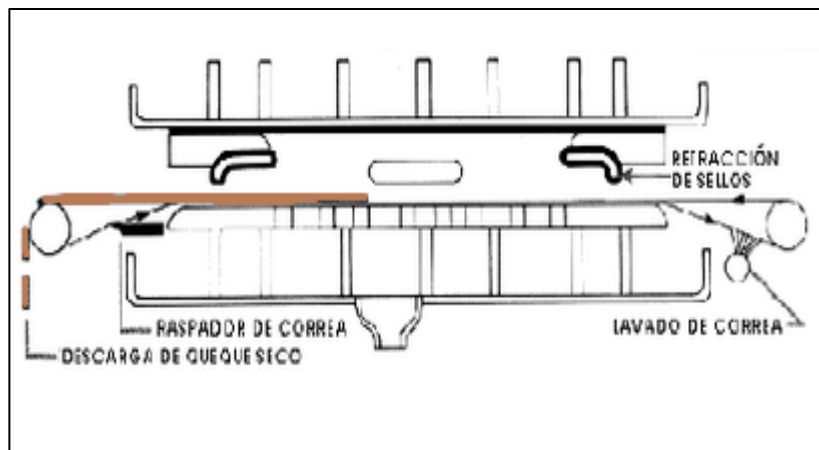


Figura 199
Descarga del queque

Lavado de la correa: Antes de comenzar un nuevo ciclo, se realiza un lavado a la correa y, durante el movimiento de retroceso de ésta, al interior de la cámara con la puerta desviadora cerrada para evitar que caiga líquido junto con el queque descargado. La correa se detiene regresando a su posición original y el ciclo se repite automáticamente.

32. Variables de operación.

Las principales variables en un proceso de filtración pueden ser separadas en: variables de entrada, variables de salida, parámetros, perturbaciones y variables controlables. El esquema indicado en la figura 200.

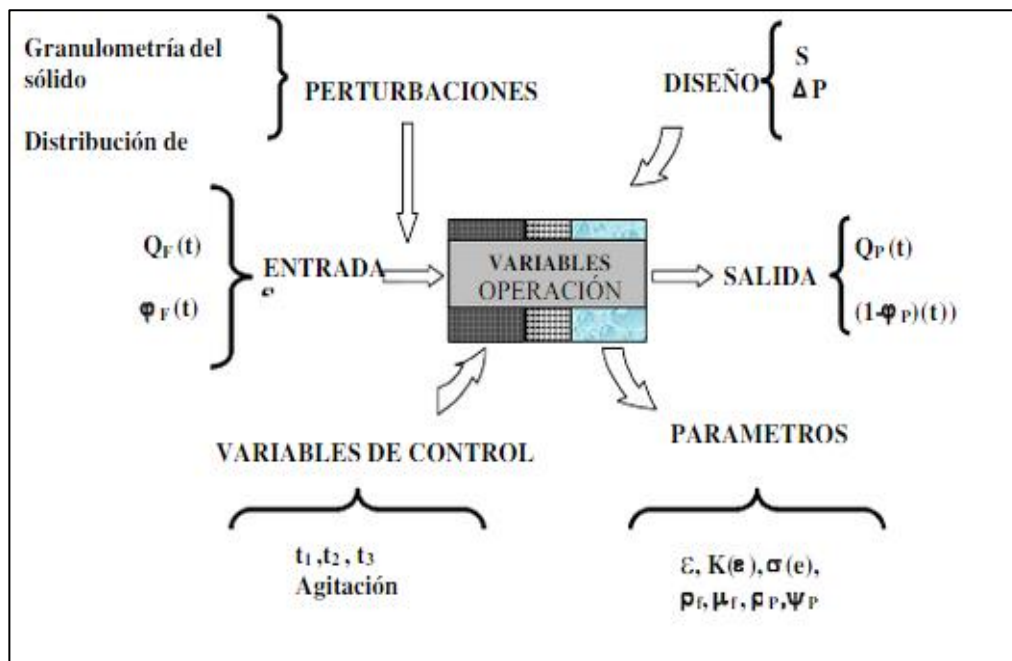


Figura 200
Variables de entrada y salida del filtro

32.1. Variables de entrada.

Son aquellas que vienen del proceso de espesamiento de concentrados o relaves. Por lo tanto, cualquier variación, generara complicaciones en la etapa de filtración. El flujo de alimentación Q_F puede disminuir por problemas puntuales, pero en tiempos no muy largos puede recuperarse. La concentración de solidos ϕ_F en la entrada, depende directamente de la operación del espesador y de las variables que se manejan en el proceso de espesamiento.

También se dan casos en que solamente los concentrados se filtran y los relaves pasan a depositarse directamente, sin embargo la concentración de sólidos C_p desde el espesamiento debe mantenerse entre rango de valores, como lo muestra la figura 201.

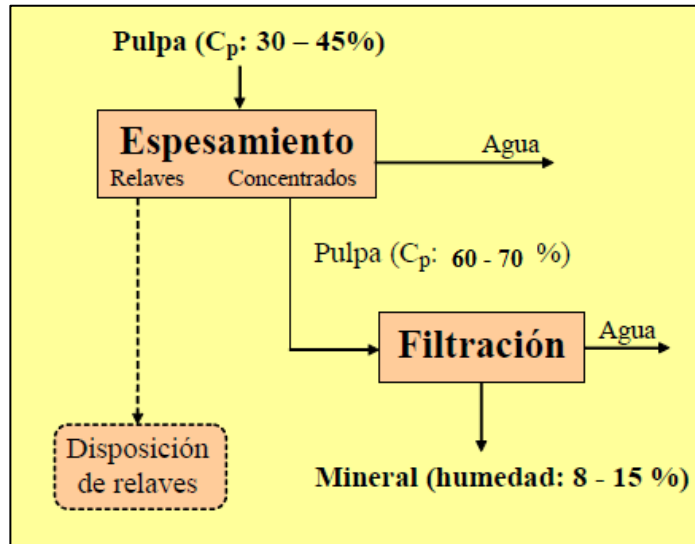


Figura 201
Concentraciones de humedad en el filtro

32.2. Variables de salida.

Estas están directamente relacionadas con las de entrada. Si el flujo de alimentación baja, obviamente el flujo de salida Q_p lo hace también. La humedad del queque ($1 - \phi_p$) depende de la eficiencia del medio filtrante, por lo tanto, cualquier alteración afecta la filtración. Es recomendable seguir las indicaciones de mantención del fabricante para el cuidado del medio filtrante.

32.3 Variables de diseño.

Están condicionadas al equipo que se elija para cumplir la función de filtrado en la planta de procesamiento. El área de filtración está directamente relacionada con la cantidad de material a tratar, por lo tanto, cada faena tiene establecido su nivel de producción y de acuerdo a eso, empíricamente se puede determinar.

Dependiendo del tipo de material a filtrar y de la magnitud del gradiente de presión el queque formado durante la filtración puede permanecer rígido o puede comprimirse.

32.4. Variables de control.

El tiempo de filtrado de una masa de queque producido puede estimarse bajo modelamiento y también experimentalmente. En la figura 202 se observa que el volumen de filtrado aumenta inicialmente en forma proporcional al tiempo y que más tarde esta proporcionalidad disminuye a la raíz cuadrada del tiempo.

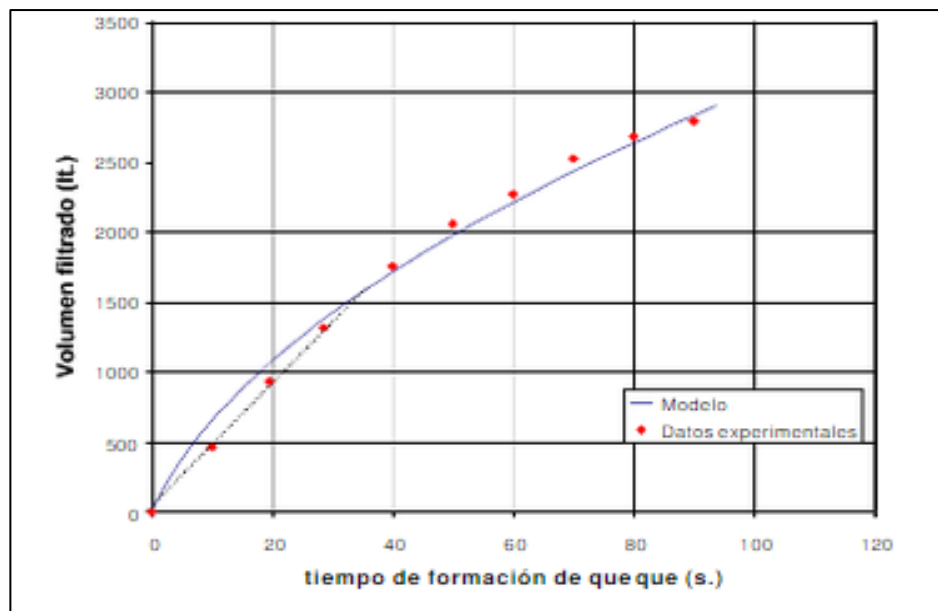


Figura 202
Gráfica de variables de control

El tiempo de secado o soplado del queque producido puede determinarse empíricamente suponiendo que el grosor del queque permanece constante, donde la saturación es igual a uno y disminuye con el tiempo.

33. Parámetros de operación.

Dentro de los valores a monitorear durante la filtración, tenemos:

Porosidad ϵ : La porosidad del queque está determinada principalmente por el tamaño, distribución de tamaño y disposición de las partículas que forman el empaquetamiento. Para comprender mejor el efecto de estas variables en la porosidad, tomemos el ejemplo del empaquetamiento de esferas. La porosidad de un lecho de esferas de un solo tamaño

es independiente del tamaño de las esferas y depende exclusivamente del tipo de empaquetamiento. En la tabla 45, (Wakeman y Tarleton 1999) se muestran valores calculados para la porosidad con diferentes tipos de empaque.

| Empaquetamiento | Número de coordinación | Porosidad ϵ |
|-----------------|------------------------|----------------------|
| | 3 | 0.7766 |
| | 4 | 0.6599 |
| | 5 | 0.5969 |
| Cúbico | 6 | 0.4764 |
| | 7 | 0.4388 |
| Orto-rómbico | 8 | 0.3955 |
| | 9 | 0.3866 |
| Tetragonal | 10 | 0.3019 |
| | 11 | 0.2817 |
| Romohedral | 12 | 0.2595 |

Tabla 45
Porosidad con distintos tipos de empaque

Permeabilidad K (ϵ): Depende de las características estructurales del medio filtrante, ya que está formado por un medio poroso heterogéneo, con poros de diferentes tamaños y geometría, cuya estructura puede causar grandes variaciones en la forma en que se depositan las partículas y grandes variaciones en la distribución del flujo de líquido en la superficie.

Compresibilidad del queque σ_c : En general, los concentrados de cobre y otros metales, especialmente cuando no se utiliza floculante en su espesamiento, son materiales incompresibles. Al contrario, los relaves de flotación son siempre floculados antes de espesar. Por esta razón son materiales compresibles.

Densidad ρ_f y viscosidad μ_f del filtrado: Estos parámetros se pueden medir desde laboratorio para establecer rangos de valores durante la operación.

Densidad ρ_p y viscosidad ϕ_p : Estos parámetros provienen desde el reconocimiento del mineral que es procesado en la planta.

Actividad N° 17

Componentes filtros

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor, deberán reconocer las condiciones de operación de cada uno de los filtros mostrados en la tabla. El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con los componentes de los filtros para comprender las condiciones ideales de operación.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar condiciones mecánicas del filtro, para poder detectar anomalías o desperfectos, según estándares y procedimientos

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica los tipos de filtros, componentes y condiciones mecánicas de operación de cada uno de ellos en el proceso de filtración, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso Audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | x |
| Taller de Trabajo | x |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | x |

Tabla 46

Materiales.

1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante.

Notebook instructor

Data sala de clases

1 Actividad impresa por participante

1 Manual del curso impreso para cada participante

Desarrollo de la Actividad.


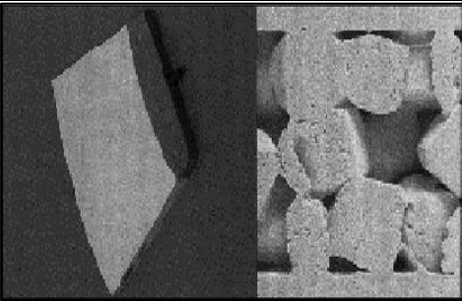
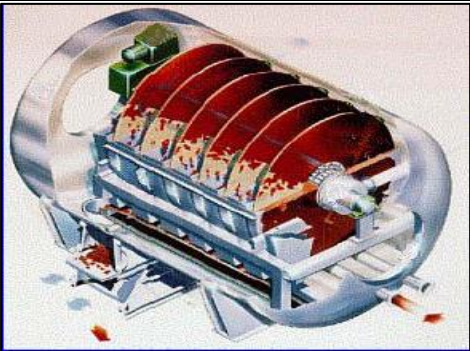

Los participantes deberán guiarse por su cuaderno de actividades, en donde aparece la tabla de evaluación de la actividad. En la primera columna, se presenta una imagen o fotografía que representa a un filtro en particular. El alumno deberá identificar y anotar en la columna siguiente el filtro a que corresponde la foto o figura. En la tercera columna de la tabla, el participante debe anotar las condiciones mecánicas ideal de operación del componente del filtro, para poder detectar anomalías durante la operación.

El instructor podrá proyectar la tabla en la pantalla, para mejorar la visión de los participantes.

Una vez terminada la actividad, el instructor invitará a cada participante a compartir las respuestas con sus compañeros.

| Imagen | Tipo de filtro | Componentes y condiciones básicas de operación |
|---|----------------|--|
|  | | |

| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |
|   | | |
|  | | |

| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |

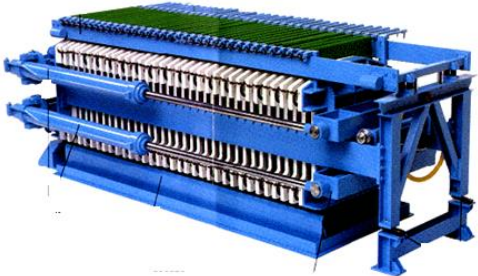
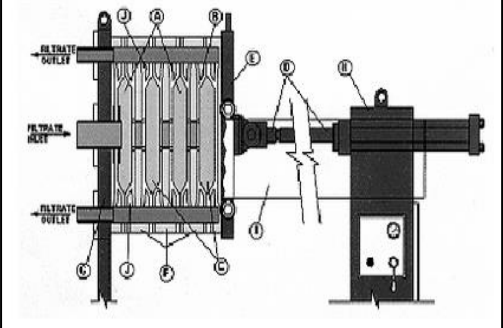
| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |

Tabla 47

Cierre

La filtración, como procedimiento de separación sólido-líquido, es muy utilizado en las plantas de procesamiento.

El participante deberá comprender la importancia de conocer los componentes del filtro para detectar condiciones mecánicas de operación con anomalías y/o desperfectos.

Los participantes deben familiarizarse con las diferentes tipos de filtros y métodos de operación, para optimizar la operación de estos ajustando las variables en el proceso cuando les corresponda operarlos.



34. Secado de sólidos

34.1. Introducción

En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secador pasa a empaquetado.

El agua u otros líquidos pueden separarse de sólidos mecánicamente mediante prensas o centrífugas, o bien térmicamente mediante evaporación. Este capítulo versa sobre el secado por vaporización térmica. Generalmente eliminar líquidos por métodos mecánicos es más barato que por métodos térmicos, y por esta razón es aconsejable reducir el contenido de líquido en lo posible antes de operar en secado térmico.

El contenido de líquido de una sustancia seca varía de un producto a otro. Ocasionalmente el producto no contiene líquido y recibe el nombre de totalmente seco, pero lo más frecuente es que el producto contenga algo de líquido.

La sal de mesa, por ejemplo, contiene del orden de 0,5% de agua, el carbón seco un 4% y el concentrado de molibdeno un 10-12%. Secado es un término relativo y tan sólo quiere decir que hay una reducción del contenido de líquido.

El objetivo de una planta de secado es reducir la humedad del concentrado de molibdeno desde un 10% a un 0,2%.

Los sólidos que se secan pueden tener formas diferentes escamas, gránulos, cristales, polvo, tablas o láminas continuas- y poseer propiedades muy diferentes. El líquido que ha de vaporizarse puede aumentar sobre la superficie del sólido, como en el secado de cristales salinos, en el interior del sólido, como en el caso de eliminación de disolvente de una lámina de un polímero, o parte en el exterior y parte en el interior. La alimentación de algunos secadores es un líquido en el que está suspendido el sólido en forma de partículas o en disolución. El producto que se seca puede soportar temperaturas elevadas o bien requiere un tratamiento suave a temperaturas bajas o moderadas. Esto da lugar a que en el mercado exista un gran número de tipos de secadores comerciales. *Las diferencias residen fundamentalmente en la forma en que se mueven los sólidos a través de la zona de secado y en la forma en la que se transmite calor.*

34.2. Clasificación de secadores

No existe una forma sencilla de clasificar el equipo de secado. Algunos secadores son continuos mientras que otros operan por cargas; unos mantienen agitado el sólido y otros no. Para reducir la temperatura de secado puede operarse al vacío. Existen secaderos que pueden operar con cualquier tipo de material mientras que otros presentan limitaciones en la alimentación.

Los equipos de secado pueden clasificarse en: secadores en los que el sólido se encuentra directamente expuesto a un gas caliente (generalmente aire) y, secadores en los que el calor es transmitido al sólido desde un medio externo tal como vapor de agua condensante, generalmente a través de una superficie metálica con la que el sólido está en contacto. Los secadores que exponen los sólidos a un gas caliente se llaman adiabáticos o secadores directos; aquellas en los que el calor es transmitido desde un medio externo reciben el nombre de no adiabáticos o secadores indirectos. Los secadores calentados por energía radiante, dieléctrica o de microondas, también son no adiabáticos. Algunas unidades combinan el secado adiabático y no adiabático, y se denominan secadores directos-indirectos.

34.3. Tratamiento de sólidos en secadores:

La mayor parte de los secadores industriales operan con partículas de sólidos durante todo o una parte del ciclo de secado, aunque, por supuesto, algunos secan grandes piezas individuales, tales como vasijas de cerámica o láminas de un polímero.

En los secadores adiabáticos los sólidos están expuestos al gas de alguna de estas formas:

1. El gas circula sobre la superficie de un lecho o una lámina del sólido, o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua. Este proceso se llama secado con circulación superficial.
2. El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que están soportados sobre una rejilla. Recibe el nombre de secado con circulación a través. Como en el caso del secado con circulación superficial, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas.

3. Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas.
4. El gas pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. Inevitablemente se produce arrastre de las partículas más finas.
5. Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente gaseosa de alta velocidad y neumáticamente transportados desde un dispositivo de mezcla hasta un separador mecánico.

En los secadores no adiabáticos el único gas a separar es el agua o disolvente que se vaporiza, aunque en ocasiones se hace circular a través de la unidad una pequeña cantidad de “gas de barrido” (frecuentemente aire o nitrógeno). Los secaderos no adiabáticos difieren básicamente en la forma en la que los sólidos se exponen a la superficie caliente o a otra fuente de calor, pudiendo ser alguna de las siguientes:

1. Los sólidos se esparcen sobre una superficie horizontal estacionaria o que se desplaza lentamente y se “cuelan” hasta que se secan. La superficie calor tal como vapor de agua o agua caliente. Alternativamente, el calor puede aplicarse por medio de un calentador radiante situado encima del sólido.
2. Los sólidos se mueven sobre una superficie caliente, generalmente cilíndrica, por medio de un agitador o un transportador de tornillo o de palas.
3. Los sólidos deslizan por gravedad sobre una superficie inclinada caliente o bien son transportados en sentido ascendente por la superficie y deslizándose posteriormente hasta una nueva localización.

35. Fundamentos de la transferencia de calor

35.1. Transmisión de calor en secadores

El secado de sólidos húmedos es, por definición, un proceso térmico. Aunque con frecuencia se complica por la difusión en el sólido o a través del gas, es posible secar muchos materiales simplemente calentándolos por encima de la temperatura de ebullición del líquido, tal vez bastante por encima con el fin de liberar las últimas trazas de material

adsorbido. Por ejemplo, los sólidos húmedos pueden secarse con vapor de agua altamente sobrecalentado. En este caso no hay difusión, sino que el problema es exclusivamente de *transmisión de calor*. En el secado adiabático la difusión está casi siempre presente, pero con frecuencia la velocidad de secado está controlada por la transmisión de calor en lugar de por la transferencia de materia. Muchos de los secaderos, tal vez la mayoría, se diseñan sobre la base exclusiva de consideraciones de transmisión de calor.

35.2. Mecanismos de transferencia de calor

Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipo de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el receptor, lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

El proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. Por lo cual existen tres mecanismos de transferencia los cuales son:

Conducción, donde el calor pasa a través de la sustancia misma del cuerpo.

Convección, en el cual el calor es transferido por el movimiento relativo de partes del cuerpo calentado.

Radiación, mecanismo por el calor se transfiere directamente entre partes distantes del cuerpo por radiación electromagnética.

Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del sol casi exclusivamente por radiación.

La transferencia de energía calórica puede tener lugar por *radiación*, *convección* o por *conducción*. El calor radiante está compuesto por ondas electromagnéticas, que pueden viajar en el vacío. El calor del sol viaja hasta la tierra a través de espacio vacío por radiación.

La convección está relacionada con el transporte de átomos y moléculas y tiene lugar en los fluidos. Por ejemplo el aire caliente se eleva, llevándose consigo la energía calorífica.

La conducción es la transferencia de energía térmica sin transporte de átomos ni moléculas. El proceso concreto es distinto en los metales, que conducen bien, que en los no metales.

Ejemplos de transferencia de calor:

a) El calentamiento de una sopa en un fogón, ilustra los tres tipos de transferencia de calor (figura 203).



Figura 203
Tres tipos de transferencia de calor

b) Si se calienta un extremo de una barra metálica, el calor viaja por conducción al otro extremo (figura 204).

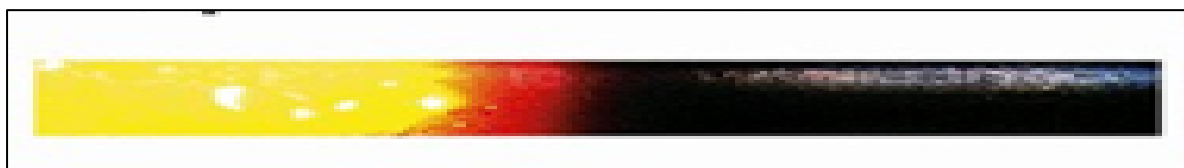


Figura 204
Transferencia de calor por conducción

35.3. Características del medio de transferencia térmica

Se define como ambiente al espacio tanto interior como exterior a la envolvente del cerramiento, en el cual se incluye todos aquellos parámetros físicos que intervienen en los procesos de transferencia de calor, ya sea por radiación, conducción y por convección. Se define como cerramientos a los elementos de separación entre el ambiente interior y el ambiente exterior de un edificio u equipo y que constituyen su envolvente ciega. Los elementos delimitadores del ambiente interior que pueden permitir el paso del aire, la luz, etc.

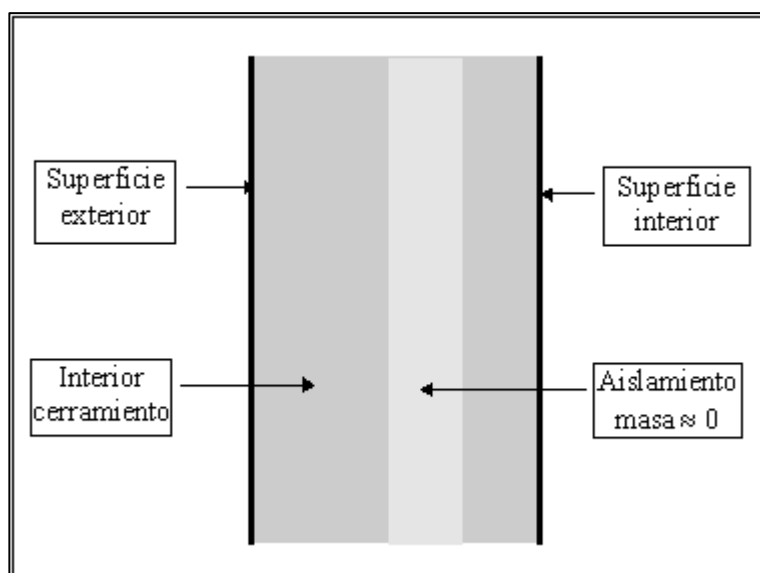


Figura 205
Regiones definidas en los cerramientos

En la transmisión del calor a través de los cerramientos, entre el ambiente exterior y el ambiente interior de los edificios u equipos, se distinguen varios mecanismos de transferencia y regiones donde se realizan:

Superficies, espacio que está en contacto con el ambiente exterior e interior, donde se intercambia calor por radiación y convección entre el ambiente y el interior del cerramiento.

Interior del cerramiento, donde se transmite calor por conducción entre ambas superficies a través de varias capas, y se almacena calor por acumulación en su masa térmica.

Aislamientos, son regiones del interior del cerramiento con elevada resistencia térmica y sin acumulación de calor. Los casos convencionales son las capas aislantes, de masa despreciable, y las cámaras de aire, que si bien actúan por mecanismos de convección y radiación, se asimilan a una resistencia térmica y por supuesto carecen de capacidad de acumulación.

35.4. Transferencia de calor por conducción

La conducción es el modo de transferencia térmica en el que el calor se mueve o viaja desde una capa de temperatura elevada del cerramiento a otra capa de inferior temperatura debido al contacto directo de las moléculas del material. La relación existente entre la velocidad de transferencia térmica por conducción y la distribución de temperaturas en el cerramiento depende de las características geométricas y las propiedades de los materiales que lo constituyen, obedeciendo la denominada la Ley de Fourier.

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \cdot \Delta T \quad [\text{W/m}^2]$$

Cuando el cerramiento se encuentra en equilibrio termodinámico resulta que el flujo de calor y la temperatura en cada punto del mismo permanece constante, y el proceso se denomina transmisión en régimen estacionario y el flujo de calor es función de la propiedad de los materiales denominada conductividad.

Cuando no existe el anterior equilibrio, ya sea porque el cerramiento no ha tenido tiempo para estabilizarse o debido a que las condiciones del entorno varían en el tiempo, el proceso se denomina transmisión en régimen transitorio, caracterizado porque la temperatura en cada punto del cerramiento varían en el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la acumulación del calor, debido a la propiedad de los materiales de absorber o disipar energía cuando varía su temperatura denominada calor específico.

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor.

En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo contrario).

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes.

En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores (computadoras) analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.



Figura 206
Transferencia de calor por conducción.

35.5. Transferencia de calor por convección

Cuando el aire de un ambiente se pone en contacto con la superficie de un cerramiento a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de calor se denomina transmisión de calor por convección. Este proceso es una experiencia común, pero una descripción detallada del mecanismo es complicada dado que además de la conducción hay que considerar el movimiento del aire en zonas próximas a la superficie.

En el caso que la fuerza motriz que mueve el aire proceda exclusivamente de la diferencia de densidad en el aire que resulta del contacto con la superficie a diferente temperatura y que da lugar a fuerzas ascensionales se producirá el proceso de transmisión denominado convección libre o natural.

Cuando exista una fuerza motriz exterior, como el viento, que mueva al aire sobre una superficie a diferente temperatura se producirá una convección forzada, que debido al incremento de la velocidad del aire se transmitirá una mayor cantidad de calor que en la convección libre para una determinada diferencia de temperatura. En el caso que se superpongan ambas fuerzas motrices, por ser de magnitudes semejantes, el proceso se denomina convección mixta. En cualquiera de los casos el fenómeno se puede evaluar mediante la Ley de Newton.

$$Q = h \cdot D \cdot T \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior que está más frío descende, mientras que al aire cercano al panel interior más caliente asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas.

La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

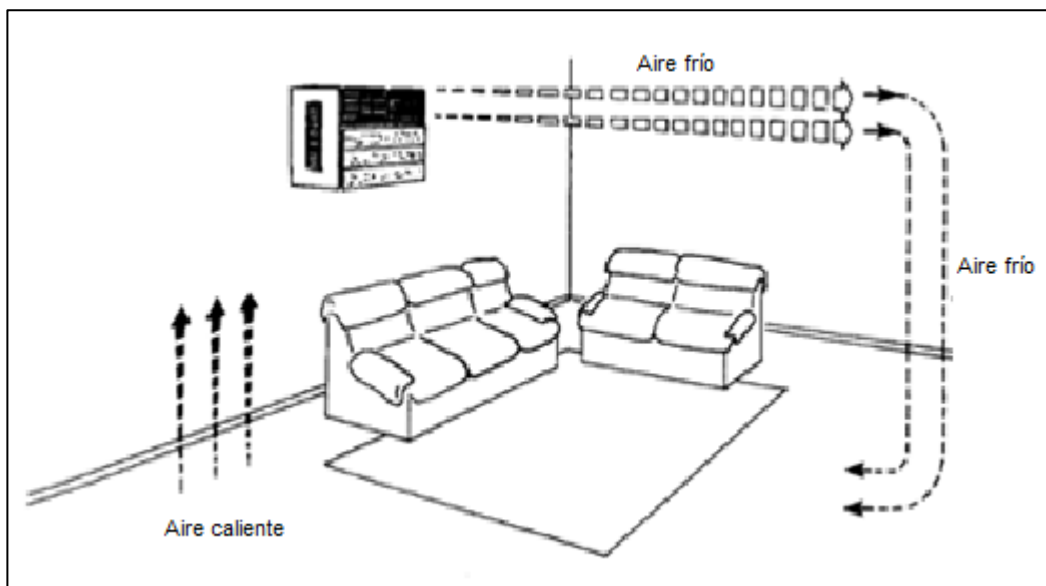


Figura 207
Transferencia de calor por convección

35.6. Transferencia de calor por radiación

Se denomina transmisión de calor por radiación cuando la superficie del cerramiento intercambia calor con el entorno mediante la absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas. Mientras que en la conducción y la convección era precisa la existencia de un medio material para transportar la energía, en la radiación el calor se transmite a través del vacío, o atravesando un medio transparente como el aire.

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia su temperatura absoluta T , y en un rango de longitudes de onda inversamente proporcional a su temperatura absoluta. Por consiguiente, los cerramientos emiten radiaciones de onda larga, correspondiente al espectro infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a temperaturas típicas del ambiente, en función de una propiedad superficial denominada emitancia, y de forma simultánea absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado irradiación.

$$Q_{\text{emitida}} = e \cdot s \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

En el ambiente también se puede considerar la presencia de radiaciones de onda corta, correspondiente al espectro de radiación visible e infrarrojo cercano, procedente de fuentes de elevada temperatura como el sol y el alumbrado artificial, para las cuales los cerramientos se comportan solo como absorbentes en función de una propiedad superficial denominada absorbancia.

$$Q_{\text{absorbida}} = a \cdot Q_{\text{incidente}} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica.

En 1905, Albert Einstein sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas. La naturaleza cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para derivar una ley fundamental de la radiación. La expresión matemática de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. El factor de proporcionalidad se denomina constante de Stefan-Boltzmann en honor a dos físicos austriacos, Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura. Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de

baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda.

Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura.

La ley de desplazamiento de Wien, llamada así en honor al físico alemán Wilhelm Wien, es una expresión matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante, 2.878 micrómetros-Kelvin. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol, máxima en las longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de ondas mayores, correspondientes al infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

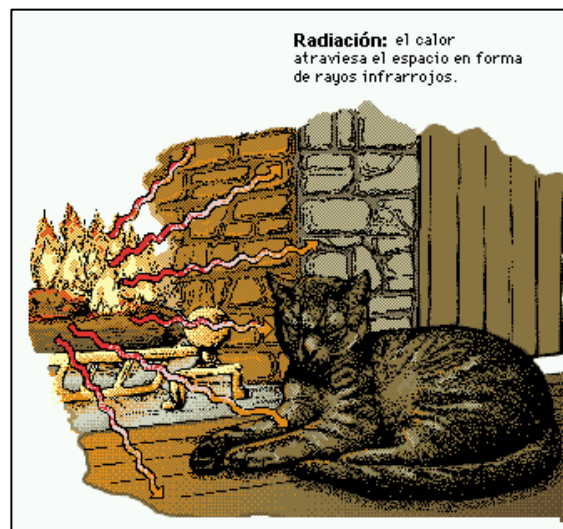


Figura 208
Transferencia de calor por radiación.

35.7. Mecanismos combinados de transmisión del calor

Los procesos de transmisión del calor por medio de la conducción, convección y radiación, junto con la eventual acumulación, se producen de forma simultánea y concurrente, de manera que en situaciones reales, e incluso en condiciones de laboratorio, es difícil

discernir con exactitud la contribución de cada mecanismo en la transmisión de calor entre los ambientes y el cerramiento.

En el intercambio de calor entre la superficie del cerramiento y el ambiente se solapan los flujos debidos a la radiación y la convección, debiéndose considerar en el primero la contribución de la absorción de onda corta, ya sea procedente del sol o del alumbrado, y la de onda larga, procedentes de las superficies del entorno e incluso, en el caso de recintos cerrados, existirían radiaciones infrarrojas emitidas por el cerramiento y reflejadas por el resto de los paramentos.

Simultáneamente a la radiación, los flujos de calor por convección dependerán si el aire es movido por fuerzas gravitatorias o son impulsados por agentes externos, o por una combinación de ambos. La complejidad del cálculo riguroso de todos estos mecanismos ha llevado a la definición de un coeficiente de transferencia superficial de calor h , de fácil aplicación en el estudio de casos simplificados, tales como los propuestos por normas oficiales de aislamiento térmico, y en los que se integran la convección y la radiación con valores típicos.

$$EQ = h \cdot D T = (h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}}) \cdot D T \text{ [W/m}^2\text{]}$$

En la transmisión de calor por conducción a través de los cerramientos hay que considerar generalmente que éste está constituido por *varias capas* con propiedades físicas diferentes, debiéndose calcular su resistencia total como la suma de varias resistencias en serie, y que las temperaturas interiores resultantes en régimen estacionario tendrán un gradiente diferente en cada capa. En el caso de existir zonas adyacentes con diferentes conductividades, tales como puentes térmicos, el coeficiente global de conductividad será la media ponderada de las conductividades en paralelo.

Por último, en el caso de conducción en régimen transitorio, se generarán sumideros y fuentes de calor por acumulación en función de la variación temporal de las temperaturas en cada punto de su interior.

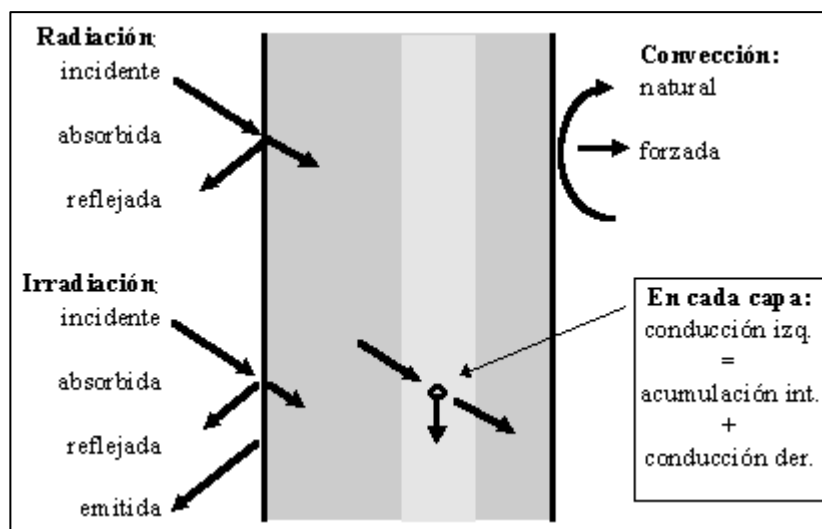


Figura 209

Esquema de los flujos de calor entre el cerramiento y su entorno

Un caso particular sería la presencia de cámaras de aire en el interior del cerramiento, en las cuales se generan mecanismos de transmisión de calor por convección y radiación, que generalmente se pueden asimilar a una capa con resistencia térmica pero sin acumulación de calor por carecer de masa apreciable.

Actividad N° 18

Transferencia de calor por convección y conducción

Introducción a la Actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán identificar las diferencias entre los fenómenos de transferencia de calor por convección y conducción, fenómeno que se produce en el secador.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Verificar condiciones operacionales del secador de molibdeno para detectar variables o parámetros de operación fuera de rango, según condiciones de operación y procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que explica el proceso de los diferentes tipos de transferencia de calor en el secador, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 48

Materiales y Recursos.

- 1 Agitador por grupo de participantes
- 1 Aro soporte por grupo de participantes
- 1 Base soporte por grupo de participantes
- 2 Calorímetros, pueden ser mecheros Bunsen, por grupo de participantes.
- 1 Cilindro de Aluminio de 50 g por grupo de participantes
- 1 Cilindro de hierro de 50 g por grupo de participantes
- 1 cilindro de gas.
- 1 Cronómetro por grupo de participantes
- 1 Cuerda
- 1 Mechero Bunsen por grupo de participantes
- 1 Nuez doble por grupo de participantes
- 1 tenaza por grupo de participantes
- 1 Probeta graduada de 100 cc por grupo de participantes
- Rejilla con amianto
- 1 Termómetro de mercurio (-10 a 110 °C) por grupo de participantes
- 1 Varilla soporte roscada por grupo de participantes
- 2 Vasos de precipitados de 250 cc por grupo de participantes
- 1 Cuaderno de actividades y lápiz por participante

Desarrollo de la Actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de medición de los fenómenos de transferencia de calor y, análisis de la transferencia de calor por convección y conducción.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos y materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 210
Elementos de protección personal obligatorios

La actividad consiste en dos etapas, la primera es una actividad de transferencia de calor por convección y la segunda etapa es transferencia de calor por conducción.

Transferencia de calor por convección

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad:

1. El participante deberá revisar que los elementos a ocupar en la actividad se encuentren en buen estado y operativos.
2. El participante montará los equipos como indica la figura adjunta.
3. Se deberá agregar 100 cc de agua en un vaso precipitado de 250 cc y se colocará sobre la rejilla ubicado en el soporte.
4. Una vez que el participante se asegura de que el vaso quedó bien instalado sobre la rejilla, procederá encender el mechero, teniendo la precaución de evitar fuga de gas.
5. El participante deberá medir la temperatura a intervalos iguales de tiempo (por ejemplo, cada 30 segundos) y anotar los resultados obtenidos, por un lapso de tiempo de 5 minutos
6. Una vez terminado los 5 minutos, el participante deberá botar el agua caliente del vaso, empleando los EPP correspondiente, utilizando tenaza.
7. El participante volverá a realizar la misma operación, utilizando esta vez 200 cc de agua.
8. El participante deberá mantener el mismo cuidado con respecto al agua caliente y fuga de gas.

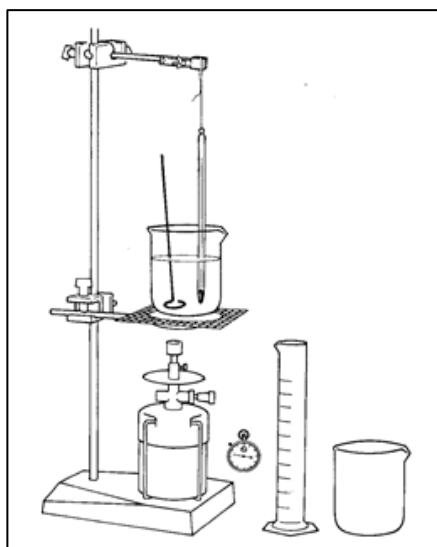


Figura 211

Transferencia de calor por conducción

1. El participante deberá revisar que los elementos a ocupar en la actividad se encuentren en buen estado y operativos.
2. Se deberá agregar 100 cc de agua en un vaso precipitado de 250 cc y se colocará sobre la rejilla ubicada en el soporte.
3. Una vez que el participante se aseguró de que el vaso quedó bien instalado sobre la rejilla, deberá Introducir los 2 cilindros de hierro dentro del vaso.
4. Se procederá a encender el mechero bunsen para calentar el agua.
5. Se calentará el agua a ebullición, con los cilindros de hierro dentro del vaso. Se debe medir temperatura de ebullición y registrar.
6. El participante deberá tener otro vaso precipitado de 250 cc, con 100 cc de agua a temperatura ambiente sobre el mesón de trabajo, Medir y registrar temperatura.
7. El participante deberá retirar con una pinza las argollas de hierro y lo introducirá en un vaso precipitado con los 100 cc de agua a temperatura ambiente.
8. Anotar la temperatura de equilibrio del agua, registrando cambios de temperatura cada 10 seg. Registrar datos de temperatura
9. El participante volverá a realizar la misma operación, utilizando esta vez las argollas de aluminio.

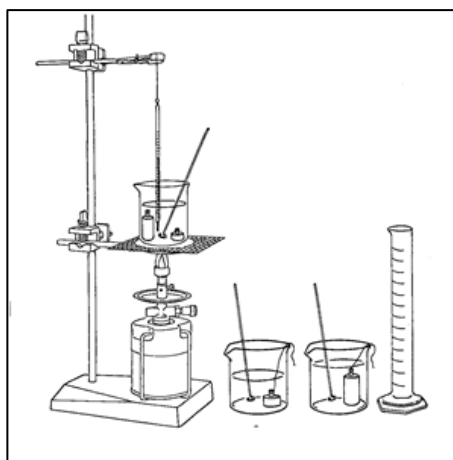


Figura 212

Tabla de datos experimentales

1. Transferencia de calor por convección

| 100 g de agua | |
|---------------|--------|
| t (s) | T (°C) |
| 0 | |
| 30 | |
| 60 | |
| 90 | |
| 120 | |
| 150 | |
| 180 | |
| 210 | |
| 240 | |
| 270 | |
| 300 | |
| 330 | |
| 360 | |

| 200 g de agua | |
|---------------|--------|
| t (s) | T (°C) |
| 0 | |
| 30 | |
| 60 | |
| 90 | |
| 120 | |
| 150 | |
| 180 | |
| 210 | |
| 240 | |
| 270 | |
| 300 | |
| 330 | |
| 360 | |

Tabla 49

2. Transferencia de calor por conducción

| | T _{cilindros} | T _{agua} | T _{equilibrio} |
|---------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| Aluminio (Al) | | | |
| Hierro (Fe) | | | |
| | | | |

Cierre de la actividad.

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases los cálculos realizados, observaciones efectuadas y las conclusiones obtenidas. En dicha presentación debe describir los fundamentos de transferencia de calor presentes y su aplicación a nivel industrial.

El participante deberá comprender la importancia de la transferencia de calor que se presenta en el secador, una de las variables importantes para mantener estable la operación, y la cual se debe ajustar desde los controladores del equipo.

36. Definiciones fundamentales en los procesos

El exceso de humedad contenida en los materiales se puede eliminar por mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor.

En general, el **secado** significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante apreciables, en la cual el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire.

Es evidente que la eliminación de agua o en general de líquidos existentes en sólidos es más económica por acción mecánica que por acción térmica. La dificultad de los mecánicos surge cuando los productos finales y gran número de productos intermedios deben cumplir especificaciones rigurosas en cuanto a la humedad final. Habitualmente un filtro trabajando con grandes cargas de sólido húmedo dejará humedades en torno al 8-15%.

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la **presión de vapor** ejercida por el sólido húmedo y la *presión parcial de vapor* de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en *equilibrio* y el proceso de secado cesa.

Entonces, es necesario definir ciertos conceptos fundamentales, previo al estudio del proceso de secado.

36.1. Propiedades de las mezcla vapor de agua – aire

En los procesos de secado, es necesario efectuar cálculos que se basan en las propiedades de mezclas de vapor de agua y aire. Para estos cálculos se requiere conocer la concentración del vapor del agua en el aire en diversas condiciones de temperatura y

presión, las propiedades térmicas de estas mezclas y los cambios que se verifican cuando se pone en contacto con agua o con sólidos húmedos para secarlos.

36.2. Presión de vapor del agua

El agua tiene tres diferentes estados físicos: hielo sólido, líquido y vapor. Su estado físico depende de la presión y de la temperatura.

En la figura 213 se ilustran los diferentes estados físicos del agua y la relaciones presión-temperatura en equilibrio. Se observan claramente las regiones de los estados sólido, líquido y vapor. El líquido y el vapor coexisten en equilibrio a lo largo de la línea **OC**, que es la línea de *presión de vapor del agua*. La ebullición se presenta cuando la presión de vapor del agua es igual a la presión total por encima de su superficie.

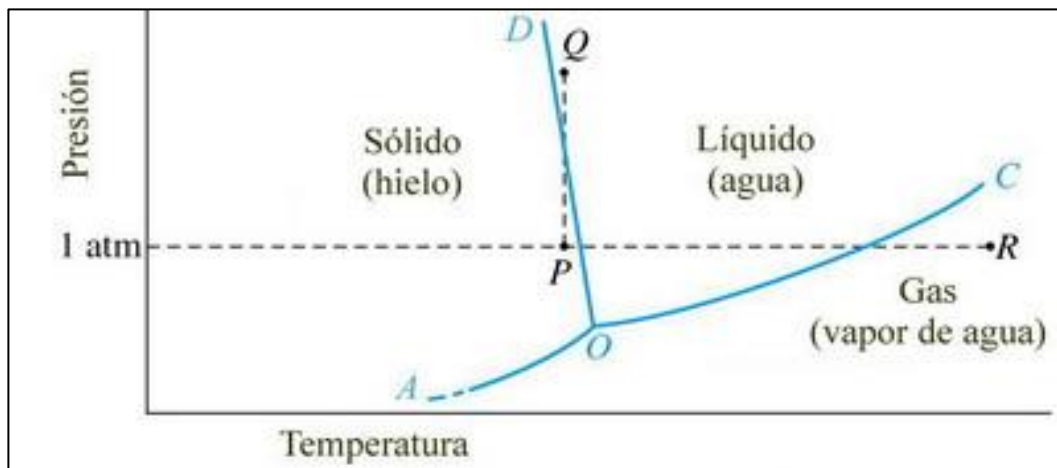


Figura 213
Diagrama de fases del agua

36.3. Humedad de una mezcla aire - vapor de agua

La **humedad (H)** se define como la masa de agua por unidad de masa de aire exento de humedad (aire seco). La **humedad molar** se define como el número de moles de agua por mol de gas exento de humedad (aire seco).

Luego

$$H = \frac{18}{28,9} * \frac{p}{P - p}$$

Donde H: humedad (kg agua / kg aire seco)
p: presión del vapor de agua en el aire
P: presión total

36.4. Humedad de saturación

El aire saturado es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en las condiciones dadas de presión y temperatura, o sea, *el aire húmedo contiene toda el agua que puede mantener a la temperatura y presión del sistema*. En esta mezcla, la presión del vapor del agua en la mezcla aire-agua es igual a la presión de vapor p_s del agua pura a la temperatura establecida. Luego, la humedad de saturación (H_s) es:

$$H_s = \frac{18}{28,9} * \frac{p_s}{P - p_s}$$

36.5. Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad H_p se define como la humedad real del aire, dividida por la humedad que tendría el aire si estuviera saturado a esa misma temperatura y presión, esto es H_s :

$$H_p = \frac{H}{H_s} * 100$$

36.6. Porcentaje de humedad relativa

La cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua también puede expresarse como porcentaje de humedad relativa H_r usando presiones parciales:

$$H_r = \frac{p}{p_s} * 100$$

36.7. Punto de rocío

La temperatura a la cual cierta mezcla de aire y vapor de agua está saturada se llama temperatura de punto de rocío, o simplemente **punto de rocío**.

36.8. Qué es la temperatura

La sensación de calor o frío al tocar una sustancia depende de su temperatura, de la capacidad de la sustancia para conducir el calor y de otros factores. Aunque, si se procede con cuidado, es posible comparar las temperaturas relativas de dos sustancias mediante el tacto, es imposible evaluar la magnitud absoluta de las temperaturas a partir de reacciones subjetivas. Cuando se aporta calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, con lo que proporciona una mayor sensación de calor, sino que se producen alteraciones en varias propiedades físicas que pueden medirse con precisión. Al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia, y en el caso de un gas su presión varía. La variación de alguna de estas propiedades suele servir como base para una escala numérica precisa de temperaturas.

La temperatura depende de la energía cinética media (o promedio) de las moléculas de una sustancia; según la teoría cinética (termodinámica), la energía puede corresponder a movimientos rotacionales, vibracionales y traslacionales de las partículas de una sustancia. La temperatura, sin embargo, sólo depende del movimiento de traslación de las moléculas. En teoría, las moléculas de una sustancia no presentarían actividad traslacional alguna a la temperatura denominada cero absoluto.

La temperatura es una cualidad del calor que se puede considerar como el nivel que éste alcanza en los cuerpos. Los efectos del calor sobre los cuerpos se utilizan en los termómetros, que son los instrumentos con los que medimos las variaciones de la temperatura y, por tanto, del calor absorbido.

Temperatura de saturación adiabática: La temperatura de saturación adiabática es aquella que se logra en estado estacionario cuando se pone en contacto una gran cantidad de agua con el gas (aire – vapor de agua) de entrada a un sistema.

Temperatura de bulbo seco: Es la temperatura que se mediría con cualquier dispositivo, por ejemplo un termómetro común.

Temperatura de bulbo húmedo: Es la temperatura de equilibrio que se alcanza cuando se pone en contacto una pequeña cantidad de agua con una corriente continua de gas (aire – vapor de agua). Supongamos que una sustancia porosa y húmeda (un pabilo) está enrollada alrededor del bulbo de un termómetro. Si el termómetro se coloca en un flujo de aire húmedo no saturado, y se mantiene húmedo el pabilo, la evaporación del agua del pabilo produce una pérdida de calor del bulbo, lo cual provoca una disminución en la temperatura del bulbo y, por lo tanto, en la lectura del termómetro. La temperatura del bulbo se estabiliza finalmente; en este punto, la lectura del termómetro corresponde a la temperatura del bulbo húmedo del aire húmedo.

La temperatura del bulbo húmedo de una mezcla aire – vapor de agua proporciona una medida de la humedad de la mezcla aire – vapor de agua. Cuando el aire está saturado, no ocurre evaporación del bulbo, y las temperaturas del bulbo mojado y del bulbo seco son iguales; *cuanto menor sea la humedad del aire, mayor es la diferencia entre las dos temperaturas.*

37. Humedad

En el procesos de secado de materiales, se debe considerar desde el punto de vista de la relaciones de equilibrio entre el gas de secado (aire - vapor de agua), y el material sólido a secar. Por esto, es importante en el secado, la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad.

Supóngase que un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de aire con humedad H y temperatura constante. Se usa un gran exceso de aire, por lo cual las condiciones permanecen invariables. Después de haber expuesto el sólido un tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, se llega a un momento en que dicho sólido tiene un contenido de humedad definido. Este valor se conoce como *contenido de humedad de equilibrio* del material en las condiciones específicas de humedad y temperatura del aire.

Algunos conceptos relacionados con la humedad de sólidos:

Contenido de humedad de sólidos base seca (x):

$$x = \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido sin humedad}}$$

Contenido de humedad de sólidos base húmeda (x').

$$x' = \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido húmedo}} = \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido seco} + \text{kg agua}}$$

(si se quiere expresar lo anterior como porcentaje, basta con multiplicar por 100 cada fracción).

37.1. Humedad de equilibrio

Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas (aire – vapor de agua). Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas.

Si el material contiene más humedad que su valor de equilibrio en contacto con el gas de secado, a determinada humedad y temperatura, se secará hasta alcanzar su valor de equilibrio. Si el material contiene menos humedad que su valor de equilibrio, absorberá agua hasta alcanzar dicho valor de equilibrio. Como no es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diverso materiales, estos son determinados en forma experimental.

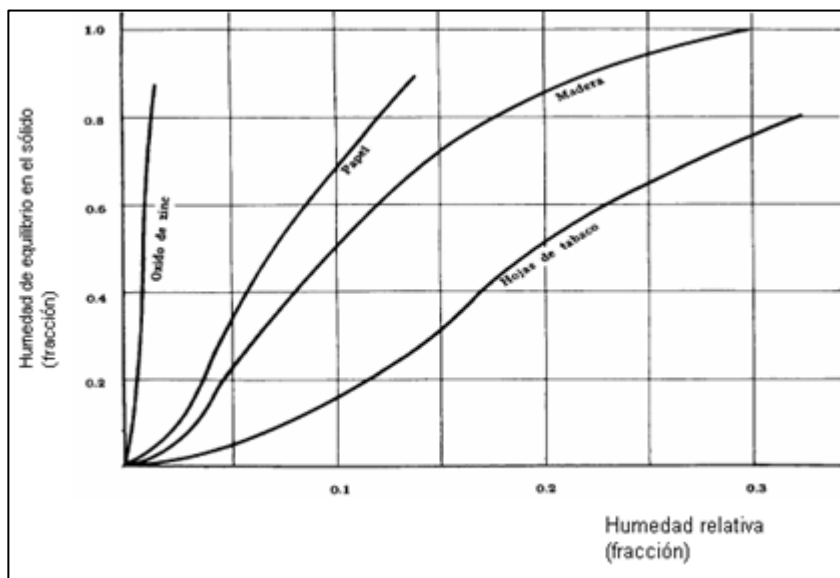


Figura 214

Contenidos típicos de humedad en equilibrio para algunos sólidos

37.2. Humedad libre

Es la humedad del sólido, que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

37.3. Humedad límite

Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menor que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura.

37.4. Humedad no límite

Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

En la figura 215, se encuentran representadas dichas humedades:

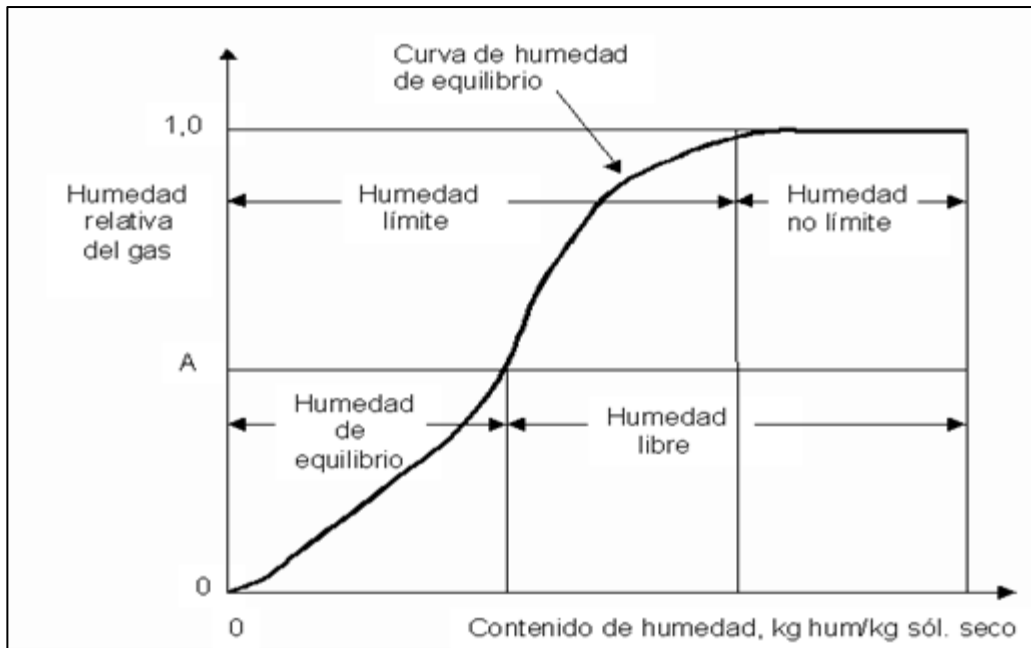


Figura 215
Tipos de humedad de sólidos

38. Velocidad de secado

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diverso materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado.

La capacidad de un secador térmico depende de la *velocidad de transmisión de calor* y de la *velocidad de transferencia de masa*. Puesto que la humedad tiene que evaporarse, hay que suministrar calor de secado a la zona de evaporación, que puede estar en o cerca de la superficie del sólido, o bien dentro del mismo, dependiendo del tipo de material y de las condiciones del proceso. La humedad debe fluir a través del sólido como líquido o como vapor, y como vapor, desde la superficie del sólido hasta el seno de la cámara de secado.

De la misma forma como las humedades de equilibrio son determinadas en forma experimental, por la imposibilidad de predecirla para distintos materiales, y puesto que el conocimiento de los mecanismos básicos de las velocidades de secado es bastante incompleto, en muchos casos es indispensable obtener algunas mediciones experimentales de la velocidad de secado.

38.1. Curva de velocidad de secado

Para estudiar el mecanismo de secado en condiciones constantes, es conveniente representar la velocidad instantánea de secado en función de la humedad libre instantánea, como lo indica la figura 216.

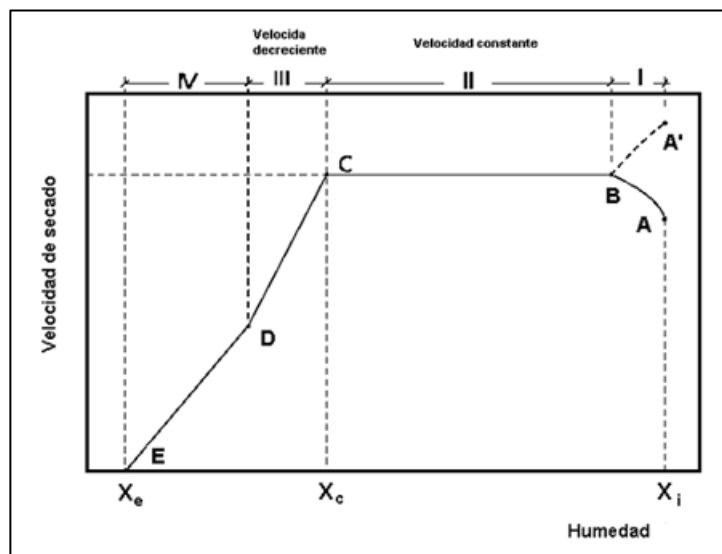


Figura 216

Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado, casi siempre produce curvas de forma variable en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado: *el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente*.

La figura 216 representa una curva característica de secado que refleja el paso del sólido por distintos periodos a medida que la humedad del sólido se reduce desde un valor inicial elevado X_i hasta el pequeño valor final, que puede incluso ser la humedad de equilibrio X_e .

38.2. Periodos de secado. Análisis.

De la figura 216, en el periodo **I** la velocidad de secado aumenta o disminuye rápidamente, desde un valor inicial (A o A'). Su duración es relativamente corta y en algunos experimentos no llega a observarse. En este periodo, se ajusta la temperatura del material a las condiciones de secado.

La línea **II** representa el período de velocidad constante (línea **AB**). Se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente de la humedad del sólido. Durante este período del sólido está tan húmedo que existe una película de agua continua sobre toda la superficie de secado y el líquido se comporta como si el sólido no existiera. Si el sólido no es poroso, el líquido evaporado en este período es esencialmente el que recubre la superficie del sólido. En un sólido poroso, la mayor parte del líquido evaporado en el período de velocidad constante proviene de su interior.

La línea **III** representa el período de velocidad decreciente (línea **BC**) y humedad crítica. Al disminuir la humedad del sólido se alcanza un cierto valor para el cual termina la velocidad constante y comienza a disminuir la velocidad de secado.

El punto en que termina el periodo de velocidad constante, representado por **C**, en la misma figura, se llama Punto Crítico. Este punto marca el instante en que el líquido que está sobre la superficie es insuficiente para mantener una película continua que cubra toda el área de secado. Para sólidos no porosos, el punto crítico aparece aproximadamente, cuando se evapora la humedad superficial; en cambio para sólidos porosos el punto crítico se alcanza cuando la velocidad de flujo de la humedad hacia la superficie no es capaz de igualar la velocidad de evaporación. Al valor de la humedad y de la velocidad que determina el punto C se les llama "Críticos", X_c , W_c .

Si la humedad inicial del sólido es inferior a la humedad crítica, no aparece el periodo de velocidad constante. La humedad crítica varía con el espesor del material y con la velocidad de secado y por consiguiente, no es una propiedad del material. El periodo que sigue al punto crítico se llama velocidad decreciente. Es evidente que la forma de la curva de velocidad de secado varía con el tipo de material, el espesor y las variables presión y temperatura.

38.3. Periodo de velocidad de secado constante

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material sólido, se procede a colocar una muestra del material húmedo en una bandeja, y esta a su vez en un gabinete o ducto a través del cual fluya el aire de secado y que permita pesar la bandeja cada cierto tiempo.

Los datos que se obtienen con este tipo de experiencia de secado por lotes, se expresan como peso del sólido húmedo (sólido seco más agua) a diferentes tiempos (horas). Luego se deben convertir estos datos a velocidad de secado.

Primeramente se recalculan los datos, calculando la humedad en base seca, o sea:

$$X_t = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \quad \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido seco}}$$

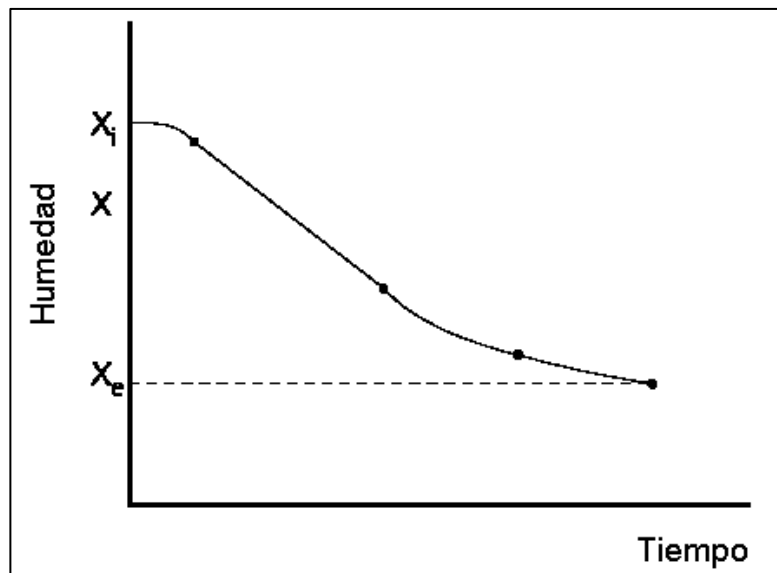


Figura 217
Curva de velocidad

38.4. Periodo de velocidad de secado decreciente

En el periodo de secado de velocidad decreciente, la velocidad de secado no es constante, sino que disminuye cuando el secado pasa por la zona de contenido crítico de humedad libre X_c , por lo cual tenemos distintos valores para la velocidad. Cuando el contenido de humedad libre X es cero, la velocidad también lo es.

Actividad N° 19

Curva de secado de un concentrado

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán realizar una curva de secado de un concentrado filtrado de 10% de humedad.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Realizar ajustes de parámetros y variables de operación del secador de molibdeno, y de los equipos auxiliares, en el panel de control del PLC local, para asegurar que el producto tenga mínima humedad, de acuerdo a condiciones de operación y procedimientos.

Estrategia Metodológica para el instructor.

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

El instructor podrá realizar preguntas a los participantes a medida que ejecuta la actividad de secado de concentrado, según lo expuesto en clases.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 51

Materiales y Recursos.

- 1 Horno de secado.
- 2 Balanza digital.
- 5 kilos de concentrado húmedo.
- 4 bandejas de metalúrgicas
- 4 Espátula de 250 gramos.

Desarrollo de la actividad.

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de medición de los fenómenos de transferencia de calor y, análisis de la transferencia de calor por convección y conducción.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos y materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.

4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 218
Elementos de protección personal obligatorios

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad.

1. El participante deberá verificar que todos los elementos y equipos a utilizar se encuentren en buen estado y operativos.
2. Deberá tarar a cero una bandeja metalúrgica.
3. El participante deberá pesar 500 gramos de concentrado húmedo en la balanza metalúrgica, dentro de la bandeja. Registrar dato.
4. El horno deberá estar a 100 °C, para pesar la muestra de concentrado.
4. Luego el participante deberá colocar la bandeja metalúrgica con el concentrado ya pesado dentro del horno secador.
5. Cada una hora el participante deberá retirar la bandeja del horno y dejar enfriar al aire libre por 10 minutos, luego pesar la bandeja con concentrado. Registrar datos. Esta actividad se realizará con un lapso de tiempo total de 4 horas.

El participante deberá llenar la siguiente tabla:

| Tiempo en horas | Peso de material en gramos |
|-----------------|----------------------------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |

Tabla 52

Cierre de la actividad.

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases las observaciones efectuadas y las conclusiones obtenidas. En dicha presentación debe describir los fundamentos de velocidad de secado y de pérdida de masa del concentrado por transferencia de calor.

39. Componentes de una planta de secado

Los equipos principales presentes en una planta de secado son:

- Correas transportadoras para el transporte de concentrado húmedo.
- Secador rotatorio del tipo directo o indirecto.
- Sistema de Combustible
- Recuperadores de polvo como: filtros de manga, precipitadores electrostáticos o ciclones.
- Sistemas de transporte neumático para el producto seco de concentrado.

39.1. Transportadores de sólidos

Transportador. Es un elemento o maquinaria de carácter preferentemente electromecánico, destinado a trasladar productos o materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí, ubicados generalmente, dentro de una misma planta elaboradora.

Uso de los transportadores. Los principales usos de los transportadores se dan mayormente en la minería, construcción, industria alimenticia, industria motriz entre otros.

Tipos de transportadores. Existen variados tipos de transportadores, y una variación de los mismos, pero los principales que podemos nombrar son:

- Cinta transportadora.
- Elevador de capachos.
- Tornillo helicoidal.

39.2. Historia de las correas transportadoras

El transporte de material mediante cintas transportadoras, data de aproximadamente el año 1795. La mayoría de éstas tempranas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente plano, así como en cortas distancias. El primer sistema de cinta transportadora era muy primitivo y consistía en cuero, lona, o correa de goma que viaja sobre una cama de madera plana.

Éste tipo de sistema no fue calificado como exitoso, pero provocó incentivar a los ingenieros para considerar los transportadores como un rápido, económico y seguro método para mover grandes volúmenes de material de una locación a otra.

Durante los años 20, la instalación de la compañía H. C. Frick, demuestra que los transportadores de cinta pueden trabajar sin ningún problema en largas distancias. Ésta instalación se realizó bajo tierra, desde una mina recorriendo casi 8 kilómetros. La cinta transportadora consistía de múltiples pliegues de algodón de pato con cubierta de goma natural, que eran los únicos materiales utilizados en esos tiempos para su fabricación. Aunque es anticuado por estándares de hoy, los sistemas de manejo de éstos materiales son seleccionados de preferencia para trabajo pesado, lo cual permite realizar una mejor elección.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los componentes naturales de los transportadores se volvieron muy escasos, permitiendo que la industria de goma se volcara a crear materiales sintéticos que reemplazaran a los naturales. La ventaja básica de los transportadores de cinta sobre otros tipos de transporte (como lo son camiones, trenes, transporte aéreo, etc.) es su variada aplicabilidad a los diferentes requerimientos de la industria. Diferentes estudios indican que hoy, los transportadores de cinta se han convertido en el primer método utilizado para el transporte de material.

39.3. Operación de correas transportadoras

Las cintas o correas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular, para conducirlo a otro punto.

Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada.

Las correas transportadoras están clasificadas como equipos críticos por que representan un alto riesgo de accidentes debido a sus partes en movimiento o mecanismos giratorios.

Estos equipos son de alta productividad, económicos, seguros y abarcan prácticamente todo el espectro industrial, minero y siderúrgico. Deben manejar una variedad de productos, incluyendo corrosivos, roca, mineral, carbón y otros, como se puede observar en la figura 219. Operan en condiciones extremas como calor o frío, humedad o sequedad. Atienden procesos desde algunos kg/hora hasta miles de ton/hora.



Figura 219
Correa transportadora

Capacidad: Las correas transportadoras no tienen competencia en cuanto a capacidad de transporte. A una velocidad de 5 m/s, y un ancho de cinta de 1600 mm, ésta puede descargar más de 100 toneladas métricas por minuto de material, esto quiere decir 1000 Kg/m³ de material.

Adaptación a los diferentes terrenos: Las correas transportadoras, pueden seguir la naturaleza ordinaria del terreno, debido a la habilidad que poseen para atravesar pasos relativamente inclinados (pendientes y gradientes, de hasta 18°, dependiendo del material transportado). Con el desarrollo de tensiones elevadas, materiales sintéticos y/o miembros

reforzados de acero, un tramo del transportador puede extenderse por millas de terreno con curvas horizontales y verticales sin ningún problema.

Una cama de camino: El sistema de transportadores de cintas o correas opera en su propia cama de polines o rodillos, los cuales requieren un mínimo de atención. Su reparación o reemplazo, es simple y fácil, y el costo de su mantención rutinaria es mínimo.

Bajo peso de la estructura del transportador: El bajo peso de carga y de la estructura del transportador por metro lineal se consigue con un diseño estructural simple que permita atravesar terrenos escabrosos o pendientes muy pronunciadas. La estructura del transportador requiere una pequeña excavación, permitiendo el afianzamiento a tierra de ésta, de la forma que se estime como la más conveniente. Debido a que la estructura es compacta, requiere un mínimo de protección.

Múltiples compuertas y puntos de descarga: Estas características son importantes en la minería o en excavaciones, en donde dos o más operaciones pueden dirigirse a un mismo punto central de carga. En el final de la descarga, el material puede ser disperso en diversas direcciones desde la línea principal.

Extensión y movilidad: Las líneas modulares de las transportadoras de cintas, pueden ser extendidas, acortadas o reubicadas con un mínimo de trabajo y tiempo.

Control: El diseño propio de los sistemas de transportadores, ha requerido reducir el control a botones de accionamiento en los diferentes tramos del transportador, y que además pueden ser controlados desde estaciones permanentes de control.

39.4. Factores que afectan la elección de la correa transportadora.

La correa transportadora por el hecho de constituir el soporte real de lo transportado, adquiere un protagonismo destacado en cada instalación, tanto del punto de vista del fabricante de la instalación, que debe haberla proyectado teniendo en cuenta las exigencias de la correa; como del punto de vista del usuario final que habitualmente centra todo el mérito de su instalación en la forma de comportarse de la correa, prescindiendo de otros elementos constitutivos del transportador.

En definitiva, el empleo del tipo adecuado de la correa será un factor decisivo en la valorización global de una instalación; pero para llegar a establecer cuales en cada uso será el tipo correcto de correa habrá sido preciso considerar una serie de factores como:

Producto a transportar: Si se trata de transportar productos a granel son datos imprescindibles el peso específico aparente del material a transportar, su granulometría, su configuración y dureza, características que incidirán en forma directa en el comportamiento de la correa en puntos tan comprometidos como las zonas de carga y descarga.

Trabajo a desarrollar por el transportador: Se deberá valorar adecuadamente la cantidad de productos que se desea transportar por periodo de tiempo, tonelada/hora. Este dato es primordial para la determinación del tipo de correa a emplear.

La determinación de la capacidad de transporte exige manipular adecuadamente los valores de velocidad adecuada, el ancho de la correa, la configuración de la cuna de deslizamiento y desde luego el peso específico aparente del material a transportar.

Tensión del trabajo: La correa de un transportador está sometida a una serie de esfuerzos que deben ser absorbidos por la resistencia de la propia correa.

Aparte del peso del material a transportar, se destaca entre estos esfuerzos:

- El peso de la propia banda.
- Los rozamientos con la cuna de deslizamiento.
- Los eventuales raspadores, gualderas, desvíos.
- Las cargas y descargas.

Características de la cobertura: Las coberturas de caucho sufren un cúmulo de agresiones provocadas por los fenómenos físicos y químicos que intervienen en el transporte, y que son originados no solo por las características del elemento a transportar, sino por las del ambiente que rodea la instalación y por las características técnicas del transportador:

- **Fenómenos físicos:**

- Térmicos: temperatura del producto a transportar temperatura ambiente.
- Mecánicos: abrasión por la acción del producto a transportar.
- Eléctricos: carga electrostática en la cobertura con riesgos de chispas que pueden ser peligrosas en ambientes sensibles.

- **Fenómenos químicos:**

Tiene su origen en la acción agresiva del ambiente o del producto transportado sobre la correa, y en especial sobre su cobertura.

Las divisiones de los ácidos, aceites, grasas, sales, humedad, hidrocarburos, detergentes, etc., son las más frecuentes.

La elección correcta de una correa transportadora exige una decisión fruto del estudio de todos los factores que intervienen en cada caso.

39.5. Componentes de una correa transportadora

Las correas transportadoras continuas están constituidas básicamente por una banda sinfín flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El desplazamiento de la banda se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos, generalmente el situado en "cabeza". Todos los componentes y accesorios del conjunto se disponen sobre un bastidor, casi siempre metálico, que les da soporte y cohesión.

Se denominan cintas fijas a aquéllas cuyo emplazamiento no puede cambiarse. Las cintas móviles están provistas de ruedas u otros sistemas que permiten su fácil cambio de ubicación; generalmente se construyen con altura regulable, mediante un sistema que permite variar la inclinación de transporte a voluntad.

A continuación se procede a explicar por partes cada uno de los componentes de una correa transportadora, los que se pueden apreciar en la figura 220.

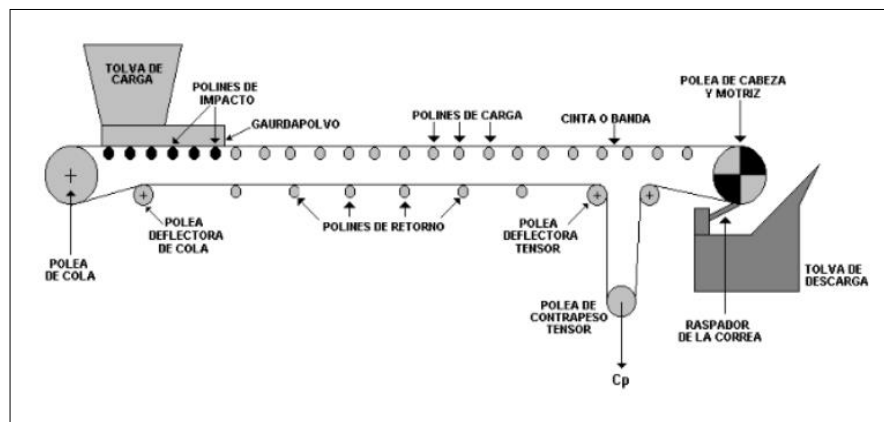


Figura 220

Esquema general de un sistema de correa transportadora.

39.5.1. Correa o cinta transportadora

La correa o cinta transportadora está construida por capas de telas engomadas desplegadas a lo largo de la cinta, en capas sucesivas según sea su funcionamiento y, su objetivo es soportar el material para poderlo transportar continuamente.

Una cinta transportadora de composición normal presenta un recubrimiento y un esqueleto o armazón.

El recubrimiento debe resistir a la abrasión de los productos químicos, al calor, etc. El material comúnmente utilizado como revestimiento es la goma de características especiales. En cuanto a la forma del recubrimiento, éste puede ser liso o con salientes (en el caso de fuertes inclinaciones) Ver figura 221.

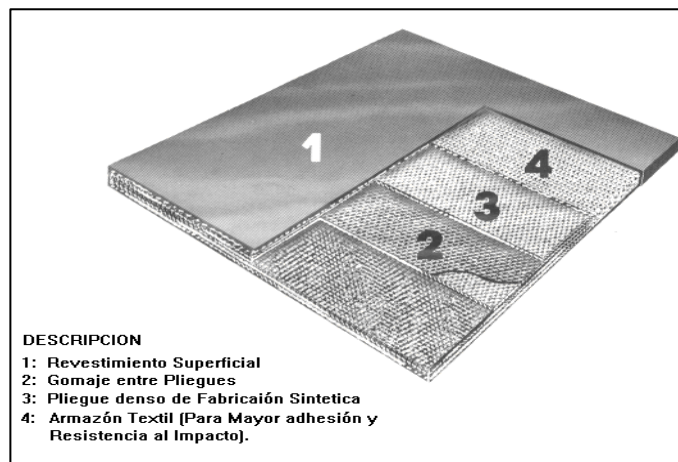


Figura 221
Constitución de una cinta transportadora

El armazón consiste en una serie de pliegues o capas, confeccionadas con materiales diversos: algodón, rayón, nylon, elementos de acero, etc. y según varias formas de tejidos.

39.5.2. Polines

El tramo superior generalmente está compuesto por polines dispuestos en collera de 3 polines cada una: Uno horizontal al medio, y dos polines laterales inclinados en forma de V para formar una sección acanalada.

Polines de retorno. El objetivo de estos polines es sostener la correa que regresa a tomar de nuevo carga, están soportados por cojinetes lubricados con grasa, sobre las cuales se apoya el trecho de retorno de la correa.

Son polines metálicos cubiertos por anillos de goma cuyo objetivo es limpiar el polvo y barro de la correa transportadora, ver la figura 222, y su posición es la de ofrecer una superficie recta al paso de la cinta.

Son de forma cilíndrica y generalmente se usan en conjunto como soporte. Son capaces de efectuar libre rotación en torno a su eje y son para soportar y/o guiar correas transportadoras.



Figura 222
Polines de retorno.

Polines de carga o conducción: Son un conjunto de rodillos en los cuales se apoya el trecho cargado de la correa transportadora. Tienen forma de cilindro y están contruirdos de acero y soportado por cojinetes lubricados con grasa, instalados siempre en la parte superior de la correa transportadora (ver figura 223). Su función es soportar y transportar la carga que está moviendo la cinta transportadora.

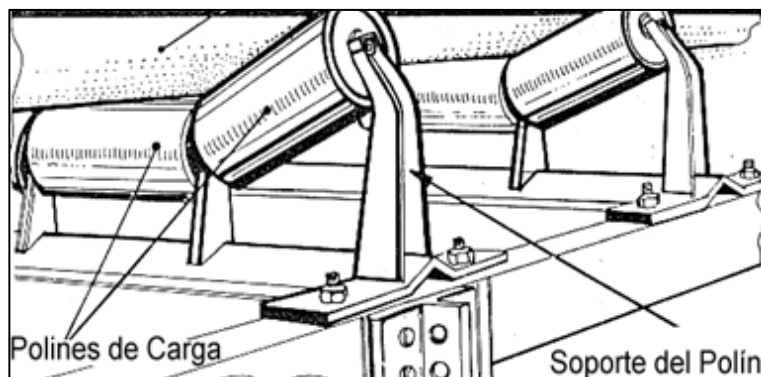


Figura 223
Polines de carga.

Polines auto alineante de carga: Son rodillos dotados de mecanismos giratorios accionados por la correa de modo de controlar el desplazamiento lateral de la misma. Son usados tanto en el trecho de carga como del retorno. Están dispuestos en puntos estratégicos en toda la cinta transportadora a objeto de mantener alineada la correa cuando está funcionando con carga. Esto significa que controlan el movimiento lateral de la correa.

Se instalan en posición vertical perpendicular a la cinta transportadora, su función es alinear la cinta transportadora. Ver figura 224.

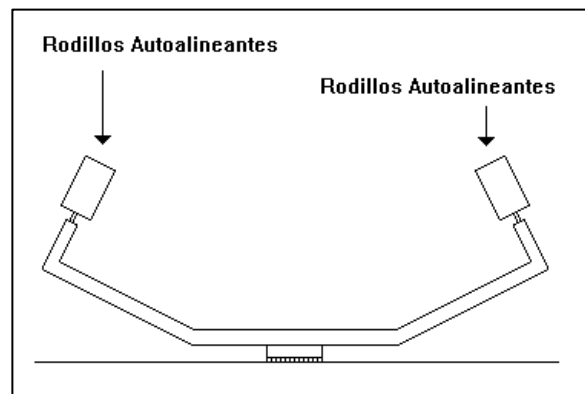


Figura 224
Disposición de rodillos.

Polines de Impacto: Conjunto de rodillos de acero montado en cojinetes lubricados por grasa, su forro exterior normalmente está construido por cilindros concéntricos de goma de mayor diámetro que el polín. Están localizados en el punto en donde la correa recibe la carga, destinados a absorber el choque resultante de impacto del material sobre la correa.

Están ubicados justo debajo de la descarga del buzón de la correa y reciben directamente la carga a medida que se descarga el suministro, están construido de material que puede amortiguar el impacto del golpe de la carga y de esta manera proteger la correa evitando que se gaste o rompa durante el funcionamiento. Ver figura 225.

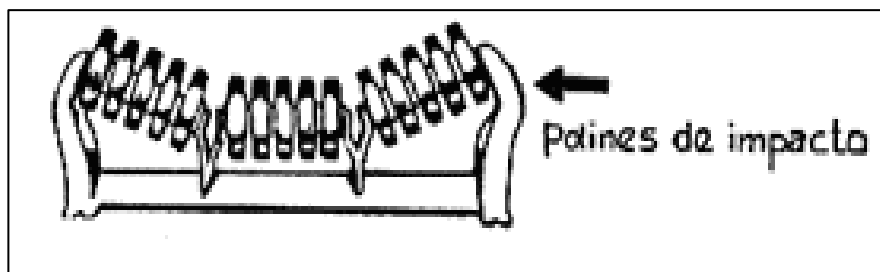


Figura 225
Polines o rodillos de Impacto.

39.5.3. Poleas.

Tambor o polea de cabeza motriz: Esta polea está confeccionada de un cilindro metálico forrado en goma apoyado en un eje concéntrico soportado por cojinetes o rodamiento, su fuerza de rotación es entregada a través de un reductor que cumple la función de multiplicar la fuerza suministrada por el motor eléctrico.

Tiene un diámetro mayor que el resto de tambores y polines teniendo como función entregar una mayor superficie de apoyo y agarre lo cual resulta una excelente tracción. Ver figura 226.

Esta pieza de la correa cumple las siguientes funciones:

- Tracciona la cinta transportadora, es por ello que está forrada en goma cuya superficie tiene forma de bizcocho.
- Si su alineamiento es correcto mantiene centrada la banda de transporte.
- El diámetro del tambor tiene como objetivo permitir doblar la cinta transportadora sin dañar las telas y la goma de que está confeccionada.

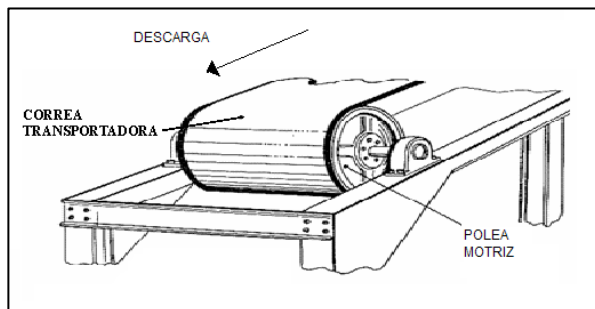


Figura 226
Polea motriz.

Polea tensora con contrapeso: Está confeccionada de un cilindro hueco apoyado en cojinetes sobre los cuales actúa un contrapeso encargado de generar la fuerza que mantiene estirada la correa, la cinta de goma se apoya en la parte exterior del cilindro cuyo diámetro es apropiado para entregar una gran superficie de agarre y contacto.

La función principal de este dispositivo mecánico es mantener estirada la cinta transportadora a objeto de que no pierda adherencia y arrastre de la polea motriz y además evitar mediante esta tensión el azote de la cinta o banda transportadora evitando daños.

El dispositivo de recuperación de tensión se hace necesario con los objetivos de:

- Dar a la rama de retorno de la cinta una tensión suficiente para asegurar un arrastre correcto.
- Impedir a la cinta el tomar una flecha demasiado acentuada entre los rodillos portadores.
- Permitir recuperar el alargamiento o encogimiento de la cinta.
- Absorber las sacudidas del arranque.
- Tener eventualmente un empalme en caso de avería.

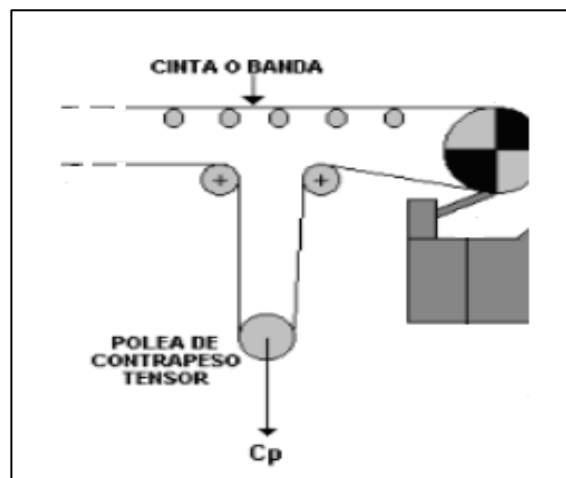


Figura 227
Polea de contrapeso o tensor.

Poleas deflectoras del tensor. Es de mayor diámetro que los polines, normalmente se encuentra cerca de la polea ubicada en los extremos de la banda de transporte; polea de cabeza (motriz) y la polea de retorno o de cola, está apoyada sobre cojinetes lubricados por grasa. Su función la cumple empujando la cinta para que cubra una mayor superficie de contacto sobre la polea de cabeza. Ver figura 228.

El objetivo de estas poleas es obligar a la cinta transportadora a adherirse a la mayor superficie de contacto con el tambor motriz.

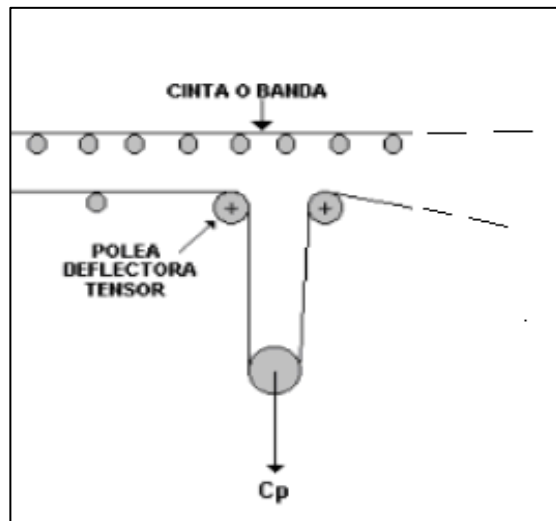


Figura 228
Polea deflectora del tensor.

Polea deflectora de cola. Es de mayor diámetro que los polines, normalmente se encuentra cerca de las poleas de retorno ubicada en los extremos de la banda de transporte; está apoyada sobre cojinetes lubricados con grasa. Su función la cumple empujando la cinta para que cubra una mayor superficie de contacto sobre la polea de retorno. Ver figura 229.

El objetivo de esta polea es obligar a la cinta transportadora a adherirse a la mayor superficie de contacto con la polea de retorno o de cola para que ayude a que ésta permanezca centrada.

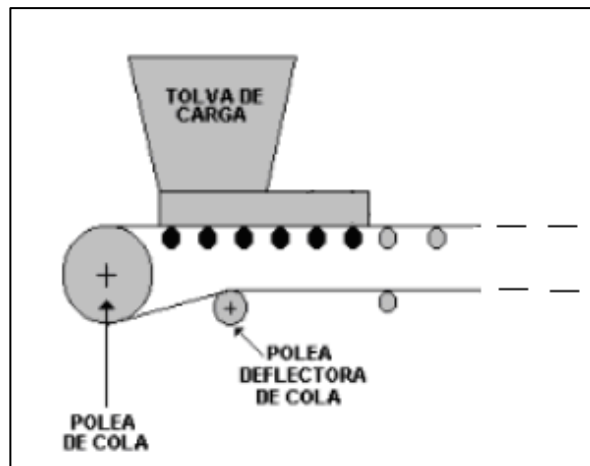


Figura 229
Polea deflectora de cola.

Tambor o polea de cola/retorno: Esta polea está confeccionada de un cilindro metálico forrado en goma apoyado en un eje concéntrico soportado por cojinetes o rodamiento, esta polea en la mayoría de las veces es conducida por la polea de cabeza y cuando la carga lo requiere también es propulsada mediante un motor con reductor.

Tiene un diámetro mayor que el resto de los tambores y polines, y tiene como función evitar el quiebre de la cinta transportadora, es decir el diámetro se diseña de acuerdo a la flexibilidad de la correa. Ver figura 230.

El objetivo de esta polea es sostener la cinta transportadora por el otro extremo por donde siempre se coloca la carga sobre la correa.

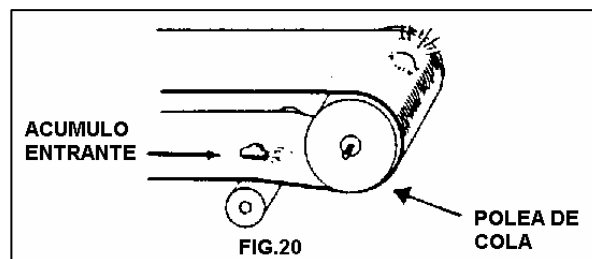


Figura 230
Polea de cola.

39.5.4. Tolvas

Tolva de carga o alimentación: La apropiada colocación del material en la correa ayuda mucho a una operación sin problemas y baja los costos de mantención.

Los requerimientos más importantes son:

- a. Alimentar el material en una razón uniforme que no cause sobrecarga ni rebase de material pero que asegure al transportador su máxima eficiencia.
- b. Situar el material centrado en la correa y ayudarla así a moverse correctamente en los polines y poleas previniendo rebases.
- c. Reducir el impacto del material sobre la correa.
- d. El material debe tener contacto con la correa a una velocidad lo más cercana a la velocidad de la correa y en la dirección del movimiento de ésta, para reducir su desgaste.

Tolva de Descarga. Normalmente se construye de fierro dispuesto para recibir la carga, y las planchas tienen la forma de embudo lo cual permite el direccionamiento de la carga.

El objetivo de estas tolvas es direccionar la carga hacia el punto de descarga, puede acumular pequeñas cantidades de material hasta direccionar hacia su destino.

Permite la salida del material de la correa en forma idónea (dirección y flujo)

Normalmente las tolvas de descarga se construyen de planchas de fierro en forma de embudo lo cual permite el direccionamiento del material sobre la correa cuando está en funcionamiento. Ver figura 232.



Figura 231
Tolva de carga.

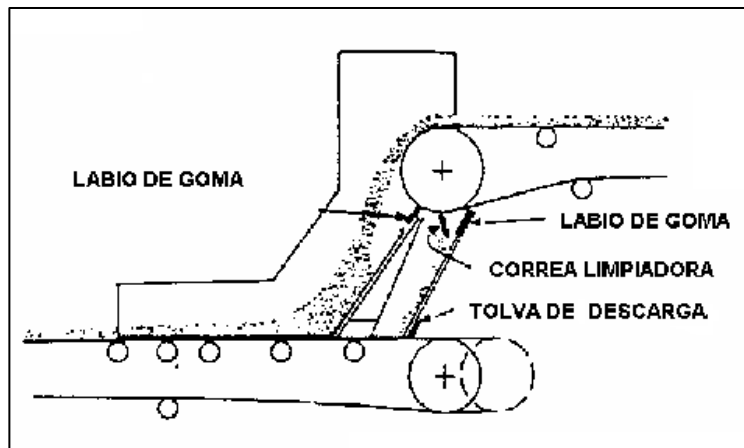


Figura 232
Tolva de descarga.

Gualdera o guardapolvo: Las gualderas son guías ubicadas en forma paralela a la correa como se muestra en la figura 233, para asegurar una buena distribución del material, permite además la decantación del material debido a la turbulencia producida en la descarga. Se usan a continuación de los toboganes de descarga, y en partes donde haya peligros de derrames. En algunos casos se llega a usar a lo largo de toda la correa.

El objetivo de las gualderas es distribuir correctamente el material en la correa y evitar que este se derrame fuera de la correa en forma peligrosa.



Figura 233
Gualderas

Raspador de la correa: Generalmente se ubica en la estructura de la tolva de descarga y está fabricada de un material que no rompa la correa pero que a la vez la limpie. El objetivo del

raspador es limpiar la correa del material que queda adherido a ella después de haber descargado. Ver Figura 234.



Figura 234
Limpiadores de correa

Freno mecánico de retroceso: Cuando las fuerzas gravitacionales (el concentrado y la correa) superan las fuerzas de fricción, como en el caso de un transportador de pendiente ascendente o que tenga partes ascendentes, un freno de retroceso mecánico debe colocarse para prevenir que la correa se devuelva cuando se detenga o sea detenida con carga.

Si una correa cargada o parcialmente cargada se devuelve, puede acumularse gran cantidad de material en el extremo inferior (culata) que debe recargarse y que posiblemente cause daño a la correa y otras partes del transportador.

El objetivo del freno mecánico es evitar que la correa se devuelva cuando esta se detenga en una pendiente y que además tenga carga.

Piolas de paradas o de emergencia: Consiste en una cuerda de acero recubierta por goma que se encuentra a ambos lados, a lo largo o en lugares estratégicamente estudiados de la cinta transportadora. Esta cinta está instalada a la estructura porta-polines y va conectada a un interruptor de parada que al ser tirada éste se acciona deteniendo la correa. Ver figura 235.

El objetivo de las piolas de parada o de emergencia es detener las correas transportadoras en cualquier momento y desde cualquier parte desde donde esta se haya accionado.



Figura 235
Parada de emergencia con piolas

Panel de control (botoneras): Estos tableros consisten en botoneras Partir - Parar, que son los encargados de transmitir las señales a las distintas correas de ésta área, transformando finalmente la señal en órdenes de operación. Ver figura 236.

Este mecanismo es el encargado de ejecutar las órdenes realizadas por el Operador en los botones locales (Partir - Parar) de los equipos involucrados en el área, las cuales se realizan mediante lazos de control que los equipos poseen.

Es importante decir que la ley establece que toda máquina electromotriz estacionaria deberá tener un interruptor instalado a no más de 13,6 metros de ella, que permita desenergizar por completo el equipo. Este interruptor debe ser instalado en un lugar de fácil acceso y ubicación, para ser rápidamente accionado en caso de emergencia.

Todos los tableros, interruptores de partida u otros dispositivos eléctricos y mecánicos, deben estar debidamente identificados en idioma español.

Todas las correas transportadoras poseen un sistema llamado "interlock o enclavamiento" que es un medio de asegurar que, si por cualquier razón una correa en una serie se detiene, todas las correas en el sistema que la alimentan deben detenerse automáticamente. Igualmente ninguna puede arrancar mientras la correa sobre la cual son dirigidas no esté en movimiento.

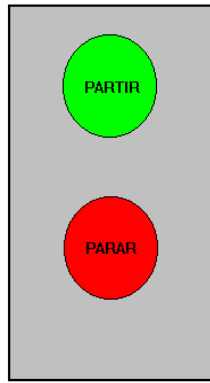


Figura 236
Botoneras de control

39.5.5. Equipos auxiliares de las correas transportadoras

Los accesorios son aquellas piezas del equipo que se usan sólo bajo ciertas condiciones y no son necesariamente importantes en el transportador.

Escariadores y limpiadores: Los escariadores y limpiadores de la correa son necesarios cuando el material que se transporta está húmedo o pegajoso. Las correas pueden limpiarse de varias formas. La figura 237 ilustra un escariador usado para el material que se pega a la correa. Este modelo de escariador se puede dirigir desde la polea motriz o desde una fuente separada.

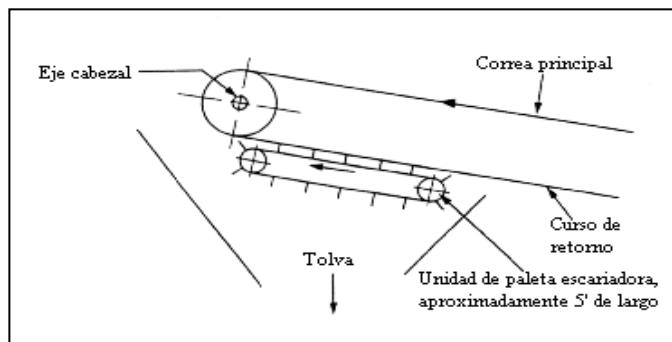


Figura 237
Escariador de correa

Otra forma de limpiar la correa es usar una unidad contrapesada, de goma, estacionaria como se ilustra en la figura 238. Esta unidad no tiene partes que se mueven y es fácil de mantener.

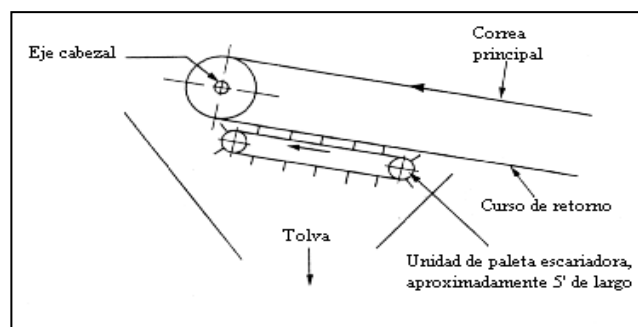


Figura 238
Escariador de correa contrapesada

La figura 239, ilustra un escariador de cepillo giratorio que opera aproximadamente a 450 rpm. Este es un buen limpiador para las correas en donde el material es seco y probablemente no se adhiera a la superficie de la correa.

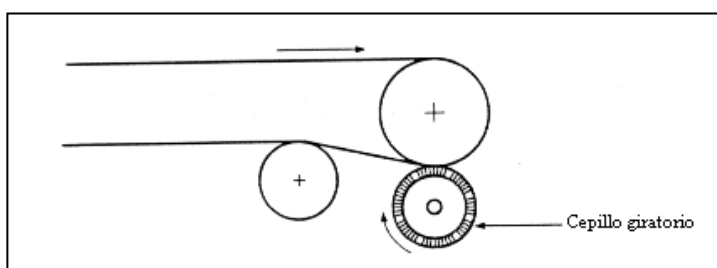


Figura 239
Escariador de cepillo giratorio

Un tercer modelo de escariador se monta sobre el extremo de cola del transportador y se usa para quitar el material de la cubierta del fondo. La figura 240 ilustra un escariador de paleta que usa un borde de caucho sobre un marco de acero para raspar la correa.

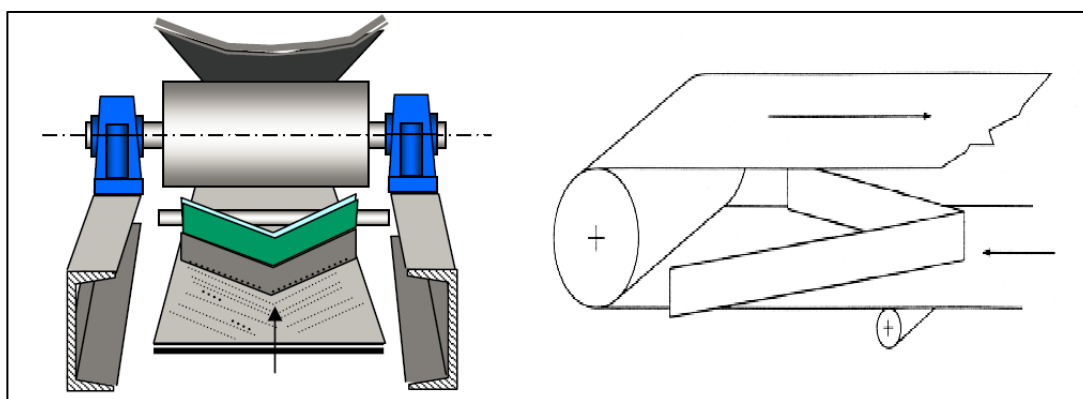


Figura 240
Escariador de paleta.

Poleas magnéticas y transportadoras de correa electromagnética. Las poleas magnéticas se usan en condiciones donde los fragmentos de hierro pueden caer sin advertencia en la correa. Los fragmentos de hierro permanecen en la polea hasta que éste se limpia o se evita que caiga después de que el conducto se abre. La figura 241 representa una forma de estilo magnético por el cual los fragmentos de hierro se eliminan.

El hierro, acero y níquel pueden ser atraídos por un imán, pero otros metales como el aluminio no son atraídos. Si estos metales deben separarse del material transportado, deben detectarse por los detectores de metal. Esto está dispuesto para apagar el transportador si se presentan fragmentos de metal.

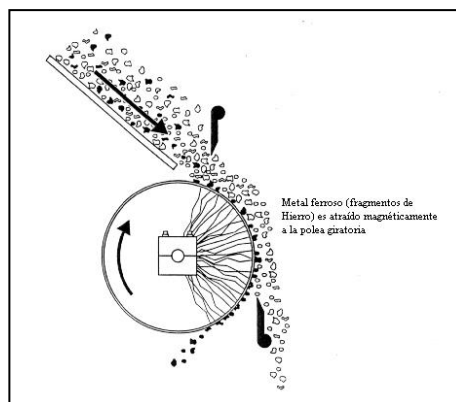


Figura 241
Polea magnética

Básculas. Las básculas se usan para calcular el tonelaje por hora transportado o para calcular la carga deseada en silos de medición. El material debe tener la oportunidad de posarse antes de pasar por la báscula.

Cuando sea posible, las básculas deben ubicarse en el extremo posterior del transportador. Si esto no es posible, entonces deben montarse de modo que dos rodillos tensores planos, dos rodillos tensores acanalados de 20° o tres rodillos tensores (uno de 35° y dos de 20°) puedan montarse entre la báscula y la polea motriz.

Compartimientos (toldos). Los compartimientos pueden ser parciales o completos. Los toldos pueden simplemente cubrir la correa y los rodillos tensores del transportador. Todo el ensamble del transportador y la pasarela pueden protegerse de los elementos. Esto permite que la mantención se realice bajo cualquier inclemencia del tiempo. Los transportadores con toldos también detienen la pérdida de material debido al viento y

pueden actuar como pantalla de protección para proteger al personal de los elementos giratorios.

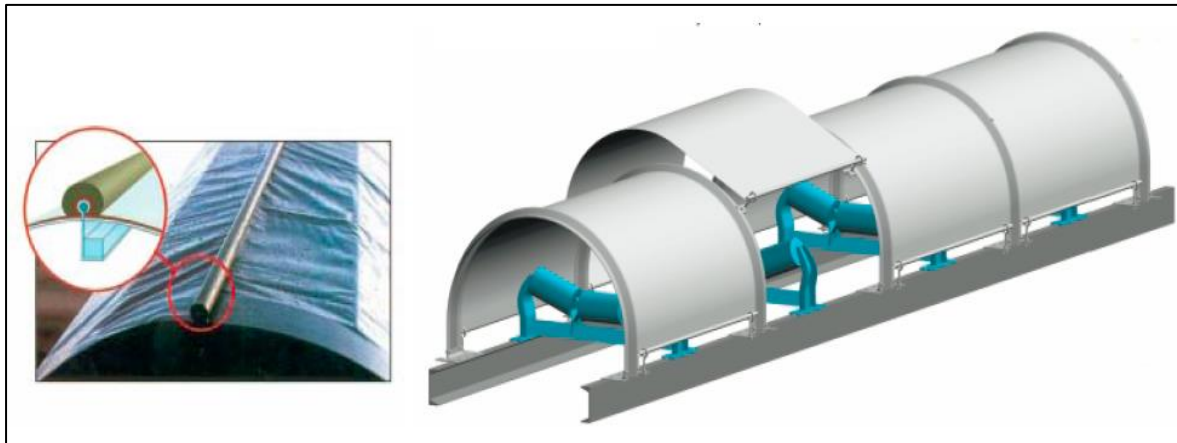


Figura 242
Cubre correas

Topes de detención (transportador inclinado). Cuando se detienen, las correas transportadoras inclinadas necesitan algún tipo de freno para evitar que la correa o el elevador giren hacia atrás. Los topes de detención del transportador son un tipo de embrague que funciona como un trinquete permitiendo que gire sólo en una dirección. El collar de bolas exterior del embrague permanece en el lugar mientras el collar de bolas interno puede girar en una dirección. Cuando el eje comienza a girar hacia atrás contra el embrague, las levas y embragues giran en contra del collar de bolas exterior y fuerzan al eje a detener la rotación. La función del tope de detención también puede llevarse a cabo mediante dispositivos anti-rodillo de repetición en la caja de velocidades (tales como dispositivos de bola de sobre velocidad).

39.6. Estilos de transmisión para los transportadores de correa

Las disposiciones de transmisión son tan variadas como los diseños de transportador. En la disposición de la transmisión influyen los materiales que se transportan, los requerimientos de rendimiento y las condiciones del medio ambiente.

La fuerza de transmisión se transmite desde la pulea a la correa por medio de la fricción entre la correa y la pulea. Al aumentar el arco de contacto o factor de curvatura en la transmisión, también aumenta la superficie de fricción. Para trabajos largos y de arrastre pesado, es muy importante mantener el coeficiente de fricción entre la correa y la pulea.

Transmisiones simples: En la figura 243a, se ilustra una transmisión simple sin polea de apoyo. El arco de contacto es de 180° o la mitad de una circunferencia. La figura 243b, ilustra una transmisión simple con polea de apoyo que ha aumentado el arco de contacto entre 190° a 240° . Con un mayor arco de contacto, el coeficiente de fricción es mayor.

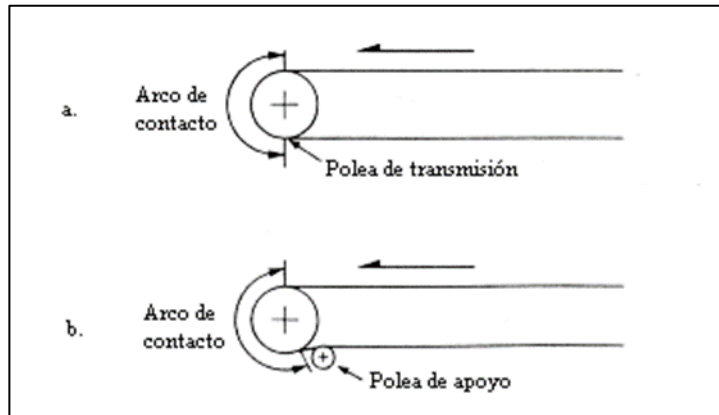


Figura 243
Transmisiones simples

Transmisiones tándem. La figura 244 ilustra una transmisión tándem. En esta forma sólo se usa un motor para dirigir ambas poleas. La primera polea está conectada directamente al motor. La segunda polea está conectada a la primera por engranajes, correas-V o cadena. El arco de contacto fluctúa de 360° a 420° .

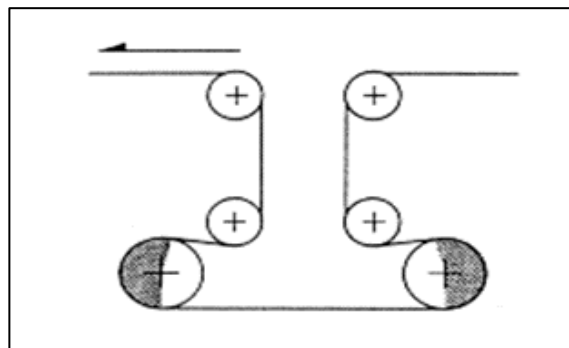


Figura 244
Transmisión tándem.

Transmisiones dobles. La figura 245 ilustra un ensamble de una transmisión doble. En este sistema se usan dos motores para dirigir las poleas. Existen dos métodos para controlar las diferentes velocidades de las poleas:

- Usar motores CC.
- Usar motores CA con acoplamientos de fluido.

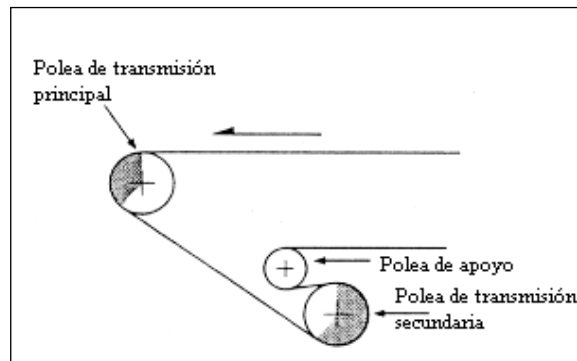


Figura 245
Transmisión doble.

Transmisiones múltiples. Con las transmisiones múltiples, el transportador es impulsado en más de un punto en la correa. Se pueden usar dos o más poleas, cada una impulsada por un motor separado. Este sistema es bueno para los transportadores largos que sostienen grandes volúmenes. Una transmisión de este tipo reduce la tensión de la correa y evita que los motores trabajen en exceso. La figura 246, ilustra un ensamble de transmisión múltiple.

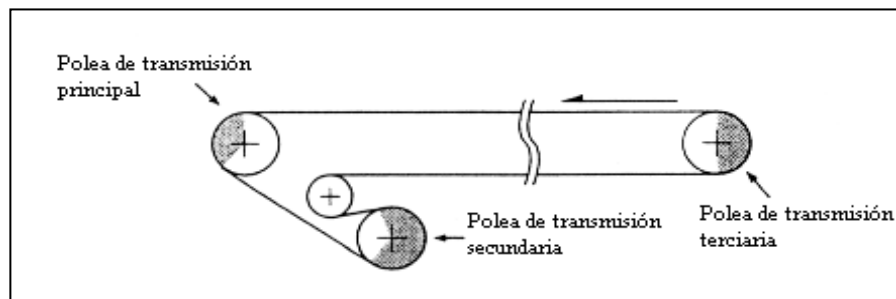


Figura 246
Transmisión múltiple.

Actividad N° 20

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en identificar e indicar los componentes de una correa transportadora.

Esto se realizará en taller en compañía del instructor, donde se trabajará en una correa en el taller.

Posteriormente el participante deberá anotar en una evaluación los componentes identificados y su función en la operación de la correa transportadora.

Los participantes además desarrollarán un informe corto que le permita preparar una exposición de su trabajo en el taller. La exposición debe ser realizada en forma grupal destacando tipo y componentes del sistema de transporte de sólidos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar condiciones mecánicas del secador de molibdeno, partes constituyentes y equipos auxiliares para detectar anomalías y/o desperfectos, según estándares y procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos para promover el aprendizaje a través de actividades.

| | |
|---------------------------------|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |

| | |
|--|---|
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |
|--|---|

Tabla 53

Materiales y Recursos

- 1 Correa transportadora
- 1 set de elementos de bloqueo por participante
- 1 Tenaza por participante
- 1 Tarjeta de bloqueo por participante
- Canastillo
- 1 Actividad impresa por participante

Desarrollo de la Actividad

1. El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso el procedimiento de medición de los fenómenos de transferencia de calor y, análisis de la transferencia de calor por convección y conducción.
2. Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes, observando estado de equipos y materiales y el entorno de trabajo.
3. El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico.
4. Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 247

Elementos de protección personal obligatorios

Los participantes deberán seguir la secuencia descrita, para desarrollar la actividad.

- Inspeccione las medidas de seguridad asociadas.
- Identifique el tipo de correa transportadora o función que cumple según lo observado en terreno.
- Describa las características del equipo.
- Identifique los componentes del sistema.
- Determine focos de peligro durante la operación.
- En el sector asignado por el instructor, desarme un componente del sistema e intercambie información con la de los demás participantes.
- Los participantes deberán llenar la tabla siguiente contestando detalladamente, de forma escrita las preguntas.

| Componente | Nombre componente | Utilidad |
|---|-------------------|----------|
|  | | |





| | | |
|---|--|--|
|  | | |
|  | | |
|  | | |
|  | | |

Tabla 54

Cierre

Los participantes reconocerán los componentes más importantes de una correa transportadora, evaluarán los riesgos de trabajar cerca de este equipo.

Los participantes deben comprender la importancia de controlar las fuentes de energía que tengan relación directa o indirecta con el equipo a intervenir, que puedan lesionar a las personas, dañar algún equipo o las instalaciones de un proceso.

40. Equipos para procesos de secado

40.1. Clasificación de las operaciones de secado

Las operaciones de secado se pueden clasificar de diferentes maneras. Una de ellas es clasificar las operaciones de secado en **continuas** y **discontinuas**. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso

semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad.

Otra clasificación es de acuerdo al método de transmisión de calor a los sólidos húmedos, esto es en **secadores directos** y **secadores indirectos**.

En los **secadores directos**, la transferencia de calor para el secado, se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de secado, es decir, con los gases calientes. Los secadores directos se llaman también **secadores por convección**.

En los **secadores indirectos**, el calor de secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también **secadores por conducción o de contacto**.

40.2. Características generales de operación de secadores directos.

1. El contacto directo entre los gases calientes y los sólidos se aprovecha para calentar estos últimos y separar el vapor.
2. Las temperaturas de secado varían hasta 1000 °K (727°C), que es la temperatura limitante para casi todos los metales estructurales de uso común. A mayores temperaturas, la radiación se convierte en un mecanismo de transmisión de calor de suma importancia.
3. A temperatura de gases inferiores al punto de ebullición, el contenido de vapor de un gas influye en la velocidad de secado y el contenido final de humedad del sólido. Con temperatura de gases superiores al punto de ebullición en todos los puntos, el contenido de vapor del gas tiene sólo un ligero efecto de retraso en la velocidad de secado y el contenido final de humedad. Por lo tanto, los vapores súper calentados del líquido que se está separando, pueden servir para secar.
4. Para secado a temperaturas bajas y cuando las humedades atmosféricas son excesivamente elevadas, quizá sea necesario deshumificar el aire de secado (transferencia del vapor de agua del estado gaseoso en la mezcla aire y vapor de agua, al estado líquido).
5. Un secador indirecto consume más combustible por masa de agua evaporada, cuanto más bajo sea el contenido de humedad.

6. La eficiencia mejora al aumentar la temperatura del gas de entrada, para una temperatura de salida constante.
7. Debido a las grandes cantidades de gas que se necesitan para abastecer todo el calor de secado, el equipo de recuperación del polvo puede ser muy grande y costoso cuando se trata de secar partículas muy pequeñas.

40.3. Características generales de operación de secadores indirectos.

1. El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de índole metálica.
2. Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación hasta mayores que 800 K (527°C), en el caso de secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
3. Los secadores indirectos son apropiados para secar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar los disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.
4. Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento, son en general económicos, desde el punto de vista el consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está secando.
5. La recuperación del polvo y material finamente pulverizados, se maneja de un modo más satisfactorio en los secadores indirectos que en los directos.

41. Equipos de secado

La siguiente tabla muestra una visión de los distintos equipos de secado, de acuerdo con la clasificación correspondiente al método de transferencia de calor, incluyendo los secadores cuyo mecanismo es la radiación.

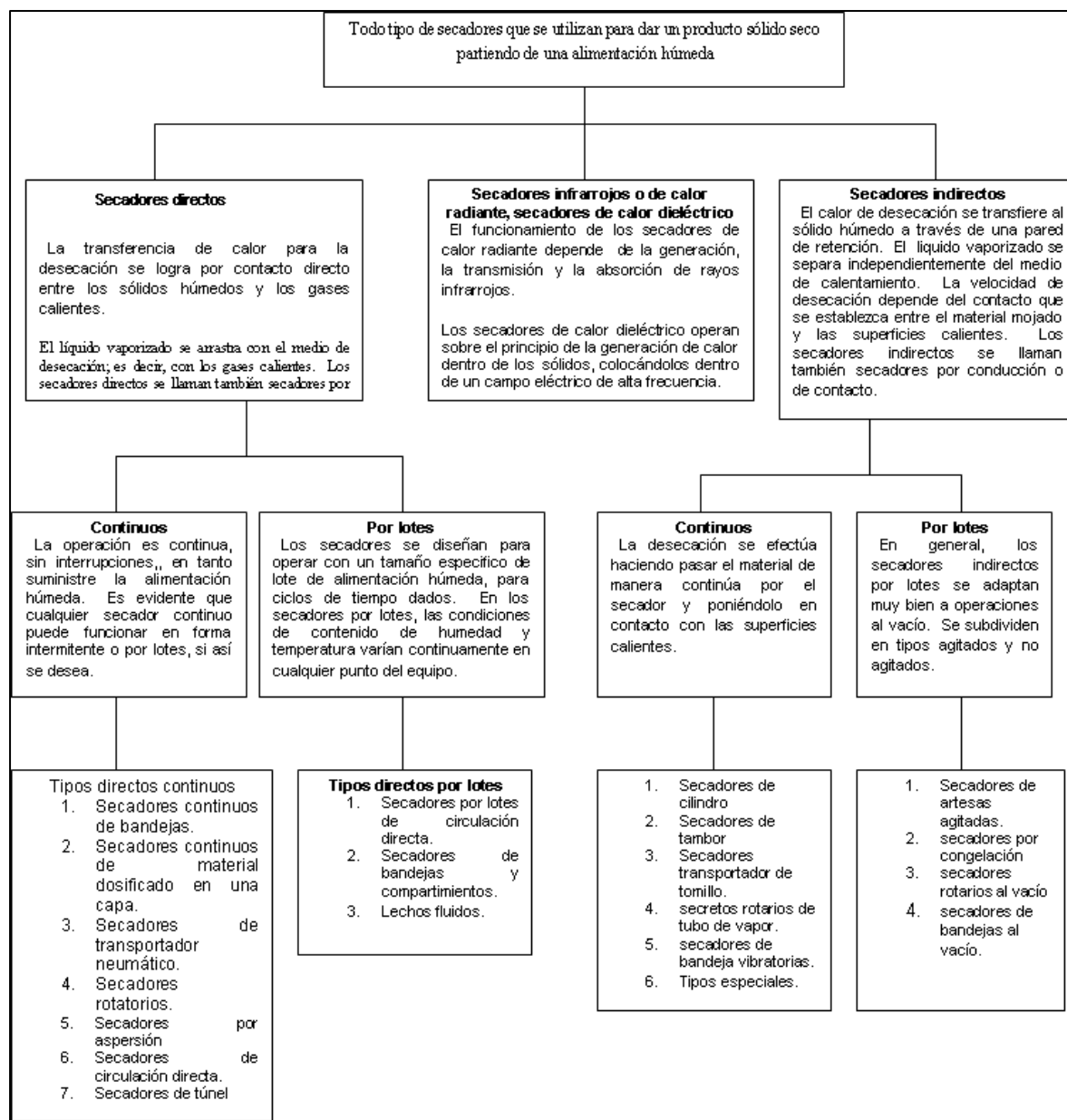


Tabla 55
Tipos de equipos de secado

41.1. Secadores continuos. Secador rotatorio.

Como mencionamos anteriormente, en los secadores continuos, el material a secar se añade sin interrupción al equipo de secado, y se obtiene material seco en un régimen continuo. Uno de estos equipos es el **secador rotatorio**.

Los secadores rotatorios son muy usados para el secado de materiales granulados o polvos, ya que sus ventajas son mayores si los comparamos con otro tipo de secadores, en lo referente al costo de operación, versatilidad y facilidad de manejo.

El secador consiste de un tambor que gira sobre su eje central por el que circula el material a secar. Por el interior del tambor se introduce una corriente de aire caliente que será simultáneamente el medio de transmisión de calor y vehículo para el transporte de humedad.

Por el interior del tambor puede hacerse circular aire o gases de combustión ya sea en paralelo o a contracorriente con el flujo del material que se quiere secar. El sólido se transporta de un extremo a otro del tambor mediante un pequeño desnivel del cilindro que desplaza al producto por deslizamiento sobre la superficie interior del tambor. Los secadores también están provistos de unas aletas interiores que levantan el material y lo dejan caer por gravedad al girar el tambor. Parte del material, los finos, son arrastrados por la corriente de aire de la que se eliminan mediante un separador ciclónico que se encuentra a la salida del aire.

Las variables que afectan al secado en un secador de este tipo son: temperatura; humedad y velocidad del aire; permanencia del material dentro del secador, que dependerá de la rapidez de giro del cilindro y de la inclinación del mismo; número de aletas que tenga el tambor y de las características particulares del material a secar, tamaño, porosidad, densidad, etc.

El gas utilizado como medio de secado puede fluir en paralelo o a contracorriente con respecto al flujo de sólido a secar, éste último se utiliza en materiales sensibles al calor como en el caso de la alfalfa, yeso y piritas de hierro.

- **Contracorriente:** expone el material seco a la sección más caliente (contra la llama) este diseño se aplica para obtener niveles de humedad bastante bajos en el producto final.
- **Paralelo:** introduce el material húmedo y los gases calientes en la misma dirección (a la entrada del material) para lograr una operación eficiente.

Existen algunos tipos, en los cuales el calentamiento se provee por medio de una camisa exterior al tambor, por la cual se hace circular el vapor o algún otro medio de calentamiento. Estos últimos secadores favorecen el sobrecalentamiento que puede afectar al material a secar, si éste no es estable a temperaturas mayores que la del secado.

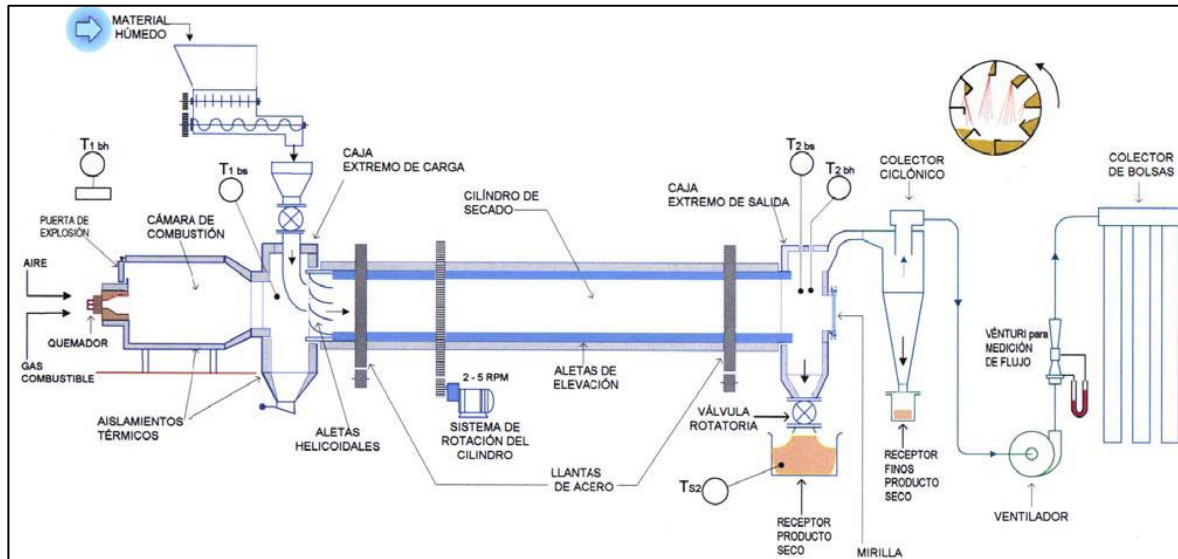


Figura 248
Componentes de un secador rotatorio

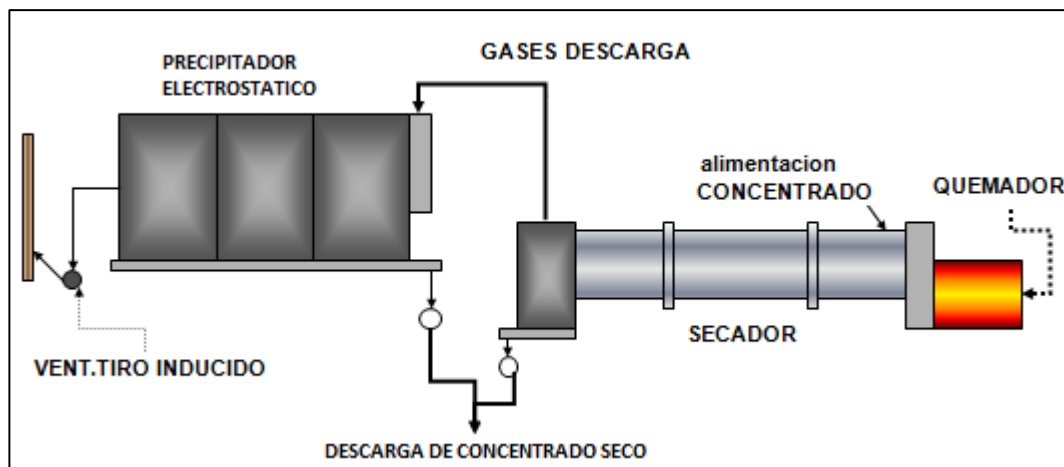


Figura 249
Secador rotatorio de uso industrial

41.1.1. Datos operativos.

- La capacidad evaporativa típica de secadores rotatorios varía entre 1000 y 6000 Btu/hr ft³.
- El sólido ocupa del 5 al 15% del volumen del cilindro.
- Su relación longitud/diámetro varía entre 4 y 15.

- La velocidad óptima del gas a través del cilindro es de 1.7 a 3.4 m/s (4.9 a 9.8 pie/s).
- El tiempo de retención de sólido en secadores rotatorios comerciales varía de 5 min a 2 hr.
- La pendiente del cilindro está comprendida entre el 2.5 y 5% con respecto a la horizontal.

41.1.2. Campo de aplicación.

Los equipos rotatorios se aplican al procesamiento de sólido tanto por lotes como continuo, que tienen un flujo relativamente libre, y el producto que descargan es granular.

Los materiales que no poseen un flujo completamente libre en la forma en que se alimentan se manejan de una manera especial, ya sea reciclando una porción del producto final y pre mezclándola con la alimentación en una mezcladora externa para obtener una alimentación granular uniforme para el proceso, o bien manteniendo un lecho de producto de flujo libre dentro del cilindro, en el extremo de admisión de la alimentación, y en esencia, realizando la operación de premezclado dentro del cilindro propiamente dicho.

Los hornos rotatorios directos y los calcinadores indirectos sin aspás internas u otras obstrucciones, a menudo están provistos de cadenas de enlace colgantes. Estas pueden servir como superficie en las cuales se acumula material hasta el momento en que se desprende convertido en sólido granular y continúa su movimiento por el cilindro. Las cadenas de raspado se pueden utilizar también en calcinadores indirectos, para mantener limpias las paredes interiores.

41.1.3. Tiempo de residencia del material en el secador

El secador rotatorio constituye una de las formas más ampliamente utilizadas para el secado continuo. Es sencillo y razonablemente versátil y en consecuencia, es adecuado para el secado de una amplia gama de materiales, en forma rápida y con un bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades. Se pueden diseñar estos secadores para tiempos de secado comprendidos entre 5 y 60 minutos y capacidad de secado desde uno pocos cientos de Kilogramos por hora hasta alcanzar las 200 t/h.

Una estimación del tiempo de residencia es dificultosa de obtener debido a la compleja interacción de los siguientes factores:

- Porcentaje de carga.
- Número de elevadores.
- Diseño de elevadores.

- Inclutación del secador desde la base horizontal.
- Velocidad de rotación de la carcasa del secador.
- Longitud (efectiva) del secador.
- Diámetro del secador.
- Propiedades físicas del material a secar.
- Velocidad del aire dentro del secador.

Una expresión empírica encontrado por Williams-Gardner, basado en trabajos experimentales, para el tiempo de residencia es:

$$t = \frac{K * L}{n * D * S} + Y * v$$

donde:

t: Tiempo de retención, min.

L: Longitud efectiva del secador, pie.

n: Velocidad angular, rpm.

D: Diámetro de la carcasa, pie.

S: Inclutación de la carcasa, pulg/pie.

v: Velocidad del aire, pie/min.

K,Y: Constantes.

Las constantes K y Y dependen de ciertos características de diseño tales como número y diseño de los elevadores, tamaño y densidad de partícula, y método de operación del secador.

Para secadores directos de carcasa sencilla,

$$t = \frac{6KL}{nDS}$$

Donde se asume de 10 a 15%, en volumen, de elevadores. K tiene un valor de 0.52 a 2.0 cuando se trabaja con flujos en contracorrientes y de 0.2 a 0.17 para flujos en paralelos.

41.1.4. Rendimiento y variables del proceso de secado

La eficiencia térmica varía de 30 a 55% para secadores calentados con vapor, y de 50 a 75% para secadores que utilizan combustible. La velocidad de operación en un secador calentado con vapor va desde 0.2 a 2.0 lb agua/pie³. Para secadores directos de combustible la evaporación va de 2.0 a 7.0 lb agua/pie³.

Efecto de la velocidad del gas. La velocidad del gas afecta el comportamiento del secador de varias maneras, directa e indirectamente. Con respecto a lo primero, la velocidad del gas tiene un efecto significativo sobre el coeficiente de transferencia de calor. Con respecto a lo segundo, la velocidad del gas influye en el tiempo de retención del producto y en el grado de arrastre del producto.

Efecto de la velocidad de rotación. El tiempo de retención es inversamente proporcional a la de rotación. La velocidad rotacional del secador usualmente está entre 25 y 35 rpm.

Efecto de la inclinación de la carcasa. Para una velocidad de rotación dada, la inclinación del secador se incrementa y el tiempo de retención decrece. Para el rango de inclinaciones y velocidades de rotaciones comúnmente usadas ($\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ pulg/pie y 2 a 7 rpm) el tiempo de retención es inversamente proporcional a la inclinación.

Efecto de la carga del secador. El porcentaje de carga en el secador, es decir, la razón de material en el secador al volumen del secador, influye en el tiempo de retención. La carga óptima de un secador yace entre 8 a 12% del volumen del secador.

➤ Variables que afectan el rendimiento:

- Tiempo de residencia
- Cantidad y temperatura de los gases
- Cantidad de aire secundario
- Velocidad de rotación
- Humedad del material alimentado
- Humedad del material en la descarga
- Temperatura del material alimentado

41.2. Secador rotatorio continuo directo

El secador rotatorio de calor directo está equipado comúnmente con aspas en el interior, para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de gas a su paso por el cilindro. Estas aspas se ubican en forma alterna cada 0.6 a 2 mt. Para asegurar una cortina de sólidos más continua y uniforme en el gas. La forma de las aspas depende de las características de manejo de los sólidos. En el caso de materiales de flujo libre se utiliza un aspa radial con reborde de 90°. Cuando se usa materiales pegajosos se usa un aspa radial

plana. Cuando el material cambia de características durante la operación, el diseño de las aspas varía a lo largo de la extensión del secador.

En el diseño de secadores estándar emplean aspas planas sin ningún reborde en el primer tercio de la longitud del secador, medido este desde el extremo por donde entra la alimentación, en el tercio intermedio se utilizan aspas con rebordes de 45° y en el tercio final aspas con rebordes de 90° . En el primer metro de distancia con respecto a la entrada de alimentación casi siempre se instalan aspas espirales para asegurar el movimiento de entrada bajo el transportador de alimentación, y evitar fugas en el anillo de reten del extremo de alimentación en dirección de los sellos para gas.

Para flujo en paralelo de gas y sólido, las aspas se pueden omitir en el último metro cercano a la salida para reducir el arrastre de producto seco en el gas de salida. Por otro lado la aspersión de la alimentación mojada en el extremo de entrada de un secador a contracorriente sirve a menudo como medio eficaz para lavar los sólidos secos arrastrados en la corriente de gas, antes que esta salga del cilindro.

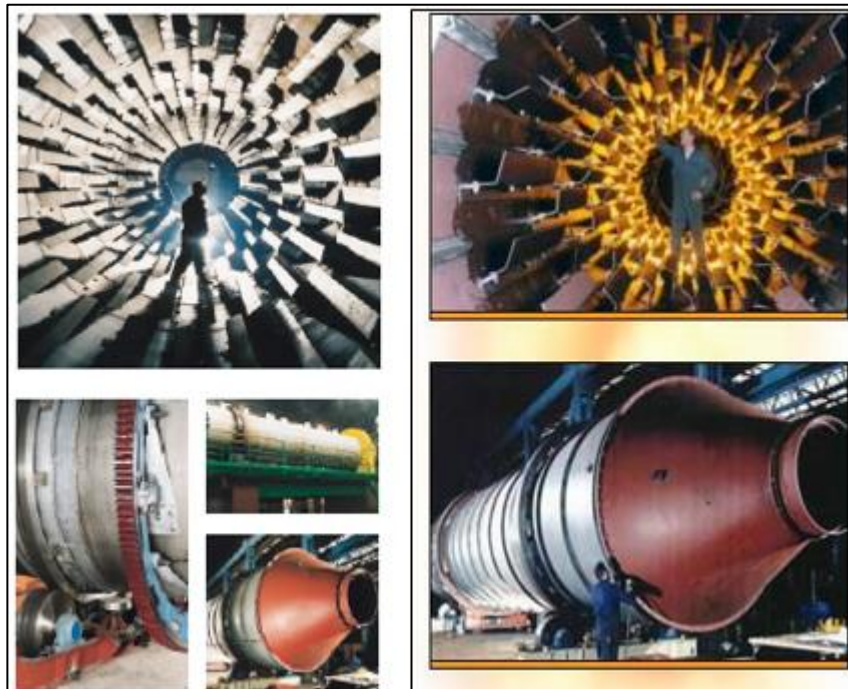


Figura 250
Secadores rotatorios con diferentes tipos de aspas

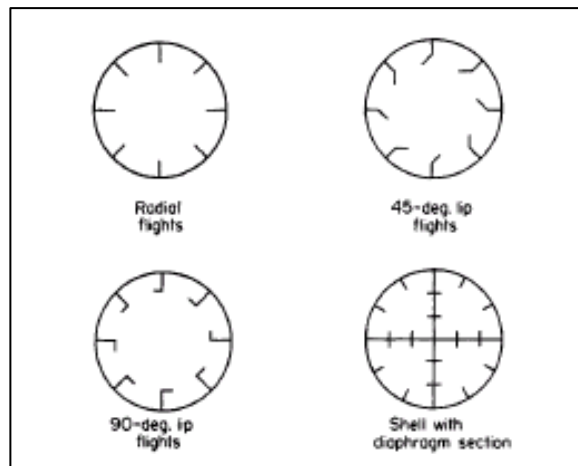


Figura 251

Diferentes configuraciones de aspas para secadores rotatorios

El flujo a contracorriente del gas y los sólidos genera mayor eficiencia de transferencia de calor con una temperatura de gas de entrada determinada; pero el flujo en corrientes paralelas se utiliza con mayor frecuencia para tratar materiales sensibles al calor a temperatura de gas de entrada superiores, debido al rápido enfriamiento que sufre el gas durante la evaporación inicial de la humedad de la superficie.

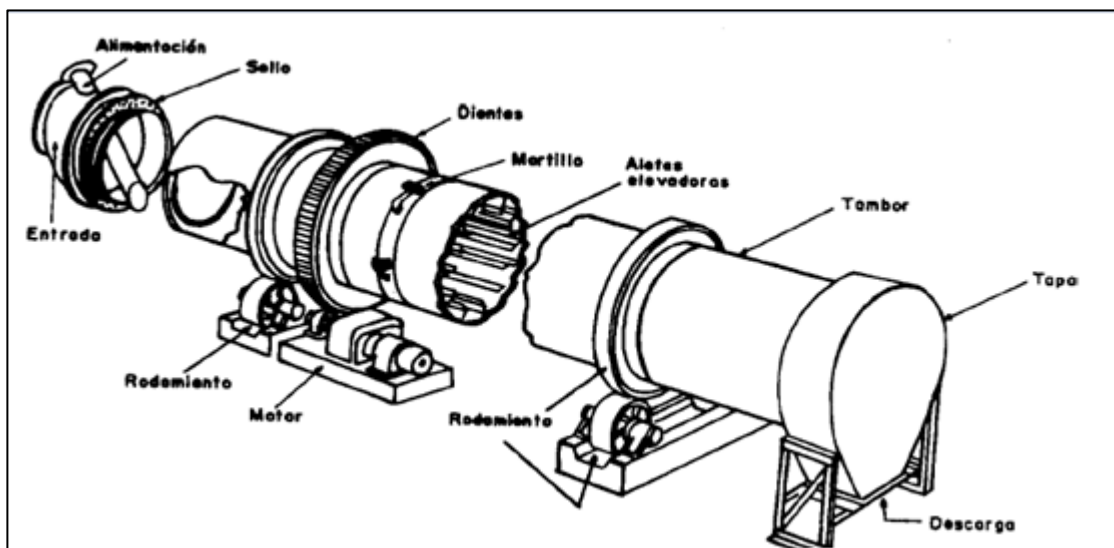


Figura 252

Configuraciones de componentes de secador rotatorio directo a contracorriente

42. Componentes principales de una planta de secado



Figura 253
Secador rotatorio

1. Generador de gases calientes.
2. Planta de combustibles.
3. Tambor rotatorio (Secador directo e indirecto).
4. Buzón de descarga.
5. Recuperadores de polvo: filtros de manga, precipitador electrostático y ciclones.
6. Sistema de extracción de gases: ventilador extractor tipo Inducido VTI.
7. Ductos.

42.1. Generador de gases calientes

Objetivo: Quemar en forma eficiente y segura el combustible, con el fin de generar gases calientes para secar el producto.

Cámara de combustión: cilindro revestido interiormente con refractario (alta temperatura). Es donde se desarrolla la reacción de combustión (mezcla de aire y combustible a alta temperatura).

Este tipo de calentadores es alimentado con gas o petróleo, su cámara de combustión es cilíndrica y tiene una longitud aproximada de dos diámetros. Los productos calientes de la combustión descargan dentro de una cámara de mezclado donde se mezclan con el resto del total del aire (aire de enfriamiento o de dilución). Para obtener una combustión completa, de manera que no se produzca una corriente gaseosa humeante, es necesario

utilizar un quemador con tiro forzado, ya que el de tiro inducido es insuficiente para hacer funcionar los quemadores de baja presión.

Prácticamente todo el calor liberado en la llama aparece como el calor sensible de los gases y como las pérdidas de calor por las paredes son comparativamente pequeñas, la temperatura de la pared está entre unos 100° a 200°C por debajo de la temperatura de la llama. Cuando el quemador trabaja con una baja relación de exceso de aire, las paredes de éste alcanzarían una temperatura de pared de aproximadamente 1700° C y sería necesario usar un material súper refractario, el cual es muy costoso. Para superar esto se debe operar con un exceso de aire de un 100%, del cual se admite un 30% en el quemador y el 70% restante por un anillo de tomas dispuesto alrededor de la cámara de combustión, lo cual mantendrá la temperatura del material refractario alrededor de los 1400°C, teniéndose una temperatura en la llama de aproximadamente entre 1500° y 1600° C. El uso de un ventilador es suficiente para obtener el exceso deseado.

La cámara de mezclado del aire de dilución debe tener idealmente una longitud aproximada de 10 a 12 diámetros para asegurar un mezclado satisfactorio. En la práctica esto no resulta cómodo, pero la introducción de una o más curvas en ángulo recto o un cortacorriente anular mejora el mezclado y resulta sencillo de disponer. Además, la curva actúa como blindaje a la radiación, lo cual es importante cuando el combustible usado es petróleo, pues la cámara se comporta como un cuerpo negro a 1500° C.



Figura 254

Interior cámara de combustión, revestimiento con refractarios

Quemador para gases y/o petróleos. Es el encargado de entregar el combustible en las condiciones adecuadas para mezclarse con el aire de combustión (gasificado o atomizado)



Figura 255
Quemador de gases

Ventilador de aire de combustión: aire necesario para quemar el combustible.

Ventilador de aire de dilución: aire para disminuir la temperatura de los gases de secado a niveles aceptables para el producto a secar



Figura 256
Ventilador de aire

A veces tiene integrado el chute de alimentación de producto hacia el secador.

Control de la relación aire combustible: Es el dispositivo (mecánico o electrónico) encargado de mantener constante la relación aire – combustible en todo el rango de operación.

Control del proceso de secado: Su función es mantener constante la temperatura de descarga de gases del secador, ya que con ello se logra mantener la humedad del producto de salida dentro del valor esperado.

Control de seguridad del quemador: Es un programador dedicado, cuya función es monitorear las condiciones de seguridad del quemador y además realizar las secuencias de encendido y apagado del quemador en forma segura.

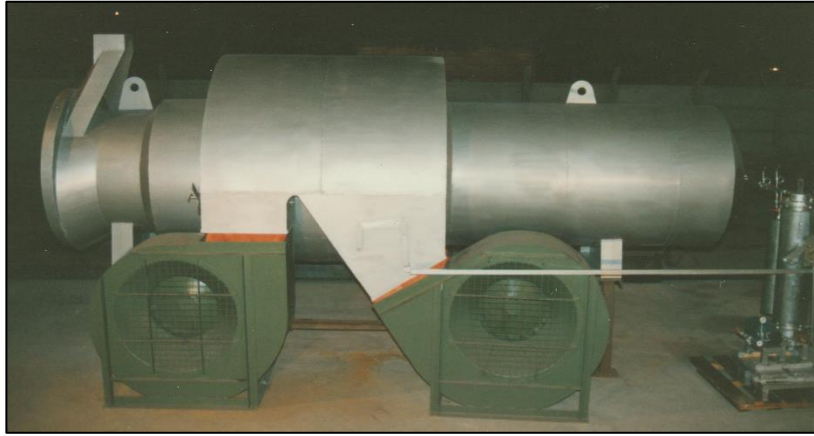


Figura 257
Generador de gases calientes

Su funcionamiento consta fundamentalmente de dos etapas:

Primera etapa:

En esta etapa se produce la combustión completa del combustible. Éste es atomizado finamente mediante aire comprimido (en el caso de diesel o fuel oil N°6) y luego mezclado íntimamente con aire para ser introducido en la cámara de combustión. En ella se lleva a cabo una combustión completa, limpia y estable. La relación aire/combustible se mantiene constante en todo el rango de operación.

Segunda etapa:

Los gases de combustión a alta temperatura son eficazmente mezclados con aire o recirculación de gases, para conseguir una temperatura de ingreso al secador adecuada al material en proceso. La cantidad de aire de enfriamiento se puede regular en forma independiente del quemador. Esto permite mantener una adecuada velocidad de gases, con el objeto de minimizar el tiempo de residencia del producto en el secador y obtener la máxima capacidad del equipo.

Estos equipos fueron diseñados pensando en una operación continua y tienen las siguientes características:

- La atomización se efectúa en una boquilla que utiliza un fluido auxiliar (vapor o aire comprimido) a una presión intermedia.
- El aire de combustión lo proporciona un ventilador centrífugo.
- La relación aire/combustible se ajusta generalmente mediante una leva de perfil regulable, que permite mantener una proporción óptima y constante en todo el rango de capacidad.
- El encendido es mediante un piloto de gas interrumpido.
- El detector de llama es del tipo ultravioleta.
- La automatización y el control los realiza un Controlador de Seguridad de Llama.
- El control de seguridad incluye el apagado automático del quemador cuando los siguientes parámetros están fuera de rango:
 - Sobre temperatura en los gases de salida.
 - Baja o alta presión del gas.
 - Baja temperatura del combustible.
 - Baja presión del fluido de atomización (aire o vapor).
 - Baja presión del aire de combustión.
 - Falla de llama en el quemador (ausencia de llama durante la etapa de encendido y/o operación).

42.2. Planta de combustible

Tren de combustible (bombas, filtros, válvulas, cañerías e instrumentos). Es el encargado de conducir el combustible hacia el quemador en condiciones adecuadas de temperatura, presión y flujo.

42.2.1. Algunas características de los equipos de la planta de combustible

Bombas. Para el bombeo de todo líquido denso como: petróleo crudo, fuel-oil, gasoil, diesel-oil, aceites minerales o vegetales, glicerina, grasas líquidas, etc., siempre que la viscosidad del líquido no sea excesiva. Es condición esencial para el buen funcionamiento de esta bomba que los líquidos a impulsar estén limpios, libres de sustancias sólidas, debiendo poseer además un cierto poder lubricante. No es conveniente bombear agua común o líquidos similares, pues provocaría un rápido desgaste de los engranajes por falta de lubricación.

El tipo de bombas que se utiliza para transportar el combustible es de desplazamiento positivo del tipo de engranajes.



Figura 258
Bomba del tipo de engranajes

Filtros. Además para asegurar la limpieza del combustible se cuenta con un sistema de filtros de combustibles cuya objetivo es frenar el avance de cualquier residuo sólido que pudiese provocar la obstrucción de las líneas próximas al quemador o inclusive la boquilla del mismo quemador.

La función del filtro de combustible diésel es la de proteger el sistema de inyección en los quemadores. Los filtros diésel eliminan las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes:

- Contaminación durante la producción, el transporte, el almacenamiento, las reparaciones, etc.
- Entrada de las partículas a través del sistema de ventilación del depósito de combustible.
- Contaminación con las impurezas y la oxidación presentes en el depósito o en los conductos de combustible.
- Condensación de agua en el depósito de combustible debido a las variaciones de temperatura.

Estos contaminantes pueden obstruir los sistemas de inyección, provocando que el sistema de combustión, el quemador, se dañe.



Figura 259
Filtro de combustible

Características de los combustibles utilizados

Kerosene. El kerosene es una fracción refinada del petróleo crudo utilizada normalmente para alumbrar, calentar, cocinar, así como combustible para motores diesel, tractores, cohetes, mecheros y como base para insecticidas. Por mucho tiempo fue empleado para el alumbrado de las casas y largamente conocido como combustible para lámparas. Es de color amarillento y es catalogado como un aceite ligero.

Petróleo. Todos los tipos de petróleo se componen de hidrocarburos, aunque también suelen contener unos pocos compuestos de azufre y de oxígeno; el contenido de azufre varía entre un 0,1% y un 5%. El petróleo contiene elementos gaseosos, líquidos y sólidos. La consistencia del petróleo varía desde un líquido tan poco viscoso como la gasolina hasta un líquido tan espeso que apenas fluye. Por lo general hay pequeñas cantidades de compuestos gaseosos disueltos en el líquido; cuando las cantidades de estos compuestos son mayores, el yacimiento de petróleo está asociado con un depósito de gas natural.

Existen tres grandes categorías de petróleos crudos (denominados a veces simplemente 'crudos'): los de tipo parafínico, los de tipo asfáltico y los de base mixta. Los petróleos parafínicos están compuestos por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior en dos unidades al doble del número de átomos de carbono. Las moléculas características de los petróleos asfálticos son los naftenos, que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono. Los petróleos de base mixta contienen hidrocarburos de ambos tipos.

Otra clasificación se establece en función de su densidad, distinguiendo entre ligeros, medios y pesados. Dado que la densidad está en relación directa con la composición, podemos afirmar que en los ligeros dominan las parafinas mientras que, cuanto más

pesado son, mayor proporción de componentes asfálticos tienen, con una presencia importante de átomos de oxígeno y azufre.

Acondicionadores. Los acondicionadores son necesarios debido a la viscosidad del petróleo y para facilitar su transporte. Son calentadores por medio de cintas calefactoras o vapor, necesarios para subir la temperatura del fluido por sobre los 110°C con lo cual su viscosidad disminuye y su fluidez aumenta.

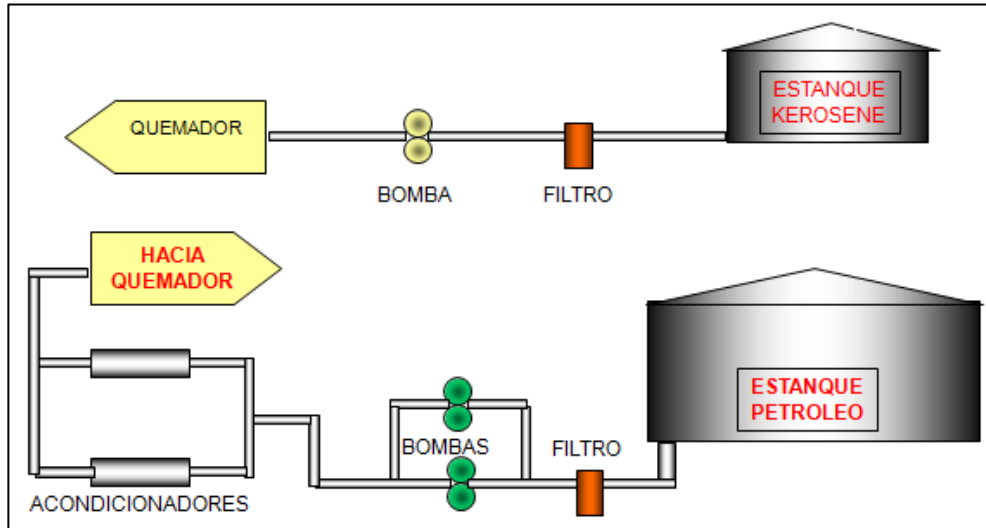


Figura 260
Área de combustible

La figura 260 muestra una planta de combustible con dos combustibles diferentes para asistir el proceso de combustión, pero es importante destacar que los secadores modernos utilizan una baja cantidad de gas para encender el piloto de la llama en el quemador, para luego inyectar el combustible de combustión para el calentamiento de los gases.

Otro aspecto importante a considerar en el caso del petróleo fuel oil N°6 es su viscosidad, por ello para facilitar su transporte es necesario en muchos casos el calentamiento por sobre los 110°C antes de iniciar el proceso de secado, por ello es un parámetro de control del proceso de secado.

42.3. Tambor rotatorio (secador)

El objetivo del tambor rotatorio es contactar el producto a secar con los gases calientes. Para ello cuenta con un sistema de aletas alzadoras (lifters) y un sistema motriz y de rodadura que mediante el giro del cilindro va levantando el producto y dejándolo caer en la corriente de gases.

Además el tambor se instala con una leve inclinación hacia el lado de descarga, para asegurar el avance del producto hacia la salida del secador.

42.4. Caja de descarga

El objetivo de la caja de descarga es efectuar la separación gravitacional primaria del producto. En ella se separa el material de mayor granulometría de la corriente de gases, cayendo hacia algún sistema de transporte instalado en la parte inferior de la caja, el que puede ser un tornillo helicoidal, correa transportadora, rastra u otro.

Por la parte superior salen los gases, que arrastran las fracciones más finas del producto, para pasar a la etapas siguientes de separación (ciclones y filtros mangas).

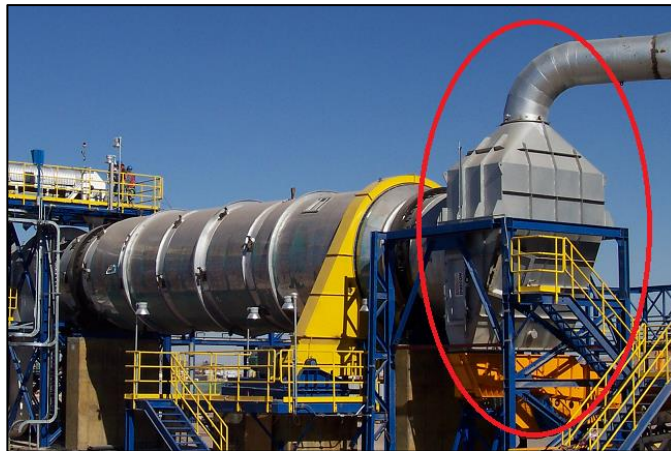


Figura 261

Cajón de descarga de secador rotatorio



Figura 262
Cajón de descarga de secador rotatorio

42.5. Ciclones

Los ciclones realizan la separación secundaria del material cuya granulometría permite ser arrastrado por los gases. Solamente permiten recuperar con altas eficiencias el material cuya granulometría está por encima de los 70 micrones.

El material más fino, es descargado del ciclón junto con los gases efluentes y pasan a la etapa siguiente de recuperación en los filtros mangas.

Ciclón recuperador de polvo



Figura 263
Ciclón recuperador de polvo

42.6. Filtros de manga

Los filtros de manga realizan la etapa final de limpieza de los gases, para cumplir con las normas de emisión de material particulado.

La filtración se realiza a través de telas de distintos materiales dependiendo del material a filtrar y de las condiciones del gas a filtrar (temperatura, humedad, corrosividad, abrasividad, etc.)

Los filtros de manga cuentan con mangas filtrantes (SNAP BAND) y con un sistema de limpieza mediante pulsos de aire comprimido en corriente reversa (JET PULSE).

En su parte inferior tiene una tolva para recoger el material y entregarlo sobre un tornillo helicoidal.



Figura 264
Filtro de mangas

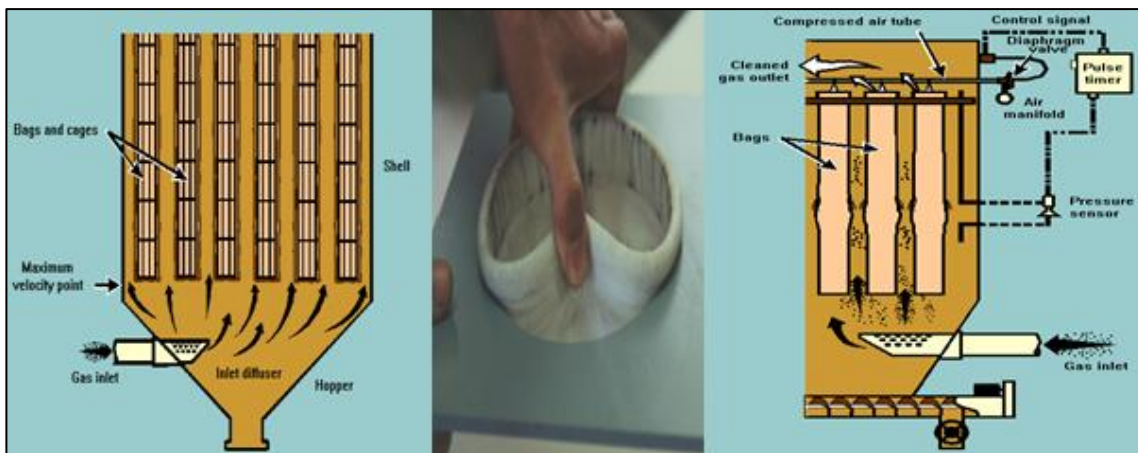


Figura 265
Filtro de mangas

42.7. Precipitador electrostático

El precipitador electrostático es un dispositivo utilizado para la descontaminación del aire que utiliza las fuerzas eléctricas para la remoción de la fracción sólida de un efluente, dirigiendo las partículas hacia las placas del colector. Las partículas se cargan mediante el choque con iones gaseosos creados por la ionización del aire creado entre los electrodos, tras la carga las partículas siguen las líneas de campo producidas por el alto voltaje hasta la superficie del electrodo colector. Las partículas deben ser eliminadas de las placas y recolectadas en una tolva, evitando que se reencaucen en la corriente gaseosa.

42.7.1 Precipitador de placas planas.

En este tipo de precipitadores electrostáticos, de menor tamaño, se sustituyen los alambres por placas planas para los electrodos de alto voltaje. Esto incrementa el campo eléctrico promedio usado para recolectar partículas y proporciona una mayor área superficial. Las coronas no pueden formarse entre placas planas, por lo que hay que incorporar electrodos adicionales a la entrada de las placas que generen las coronas.

Los precipitadores de placas planas son menos susceptibles a la formación de corona invertida, siendo especialmente útiles para la recolección de material con gran resistividad. Además, son menos propensos a la formación de chispas, por lo que suelen ser de polaridad positiva, para minimizar la formación de ozono.

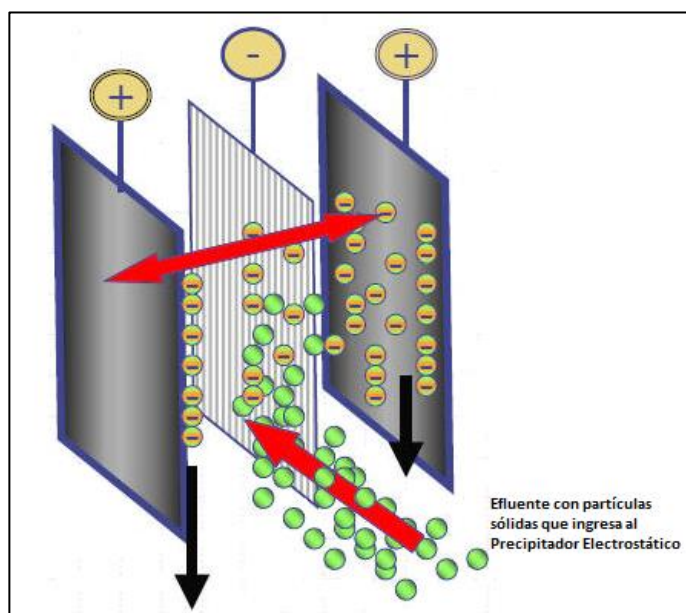


Figura 266
Precipitador electrostático

La electricidad es un fenómeno originado por la interacción entre cargas eléctricas en reposo o en movimiento.

La ciencia que estudia los fenómenos que ocurren en cargas en reposo recibe el nombre de “electroestática”, mientras que el estudio de las cargas en movimiento es estudiado por el “electromagnetismo”.

Cuando un cuerpo tiene un exceso de electrones, se dice que éste tiene carga negativa. En caso contrario, ante la ausencia de electrones, se dice que el cuerpo tiene carga positiva.

La fuerza eléctrica se define como la fuerza de atracción (entre cargas de signos opuestos) o repulsión (entre cargas de signos iguales) que ocurre entre dos cargas puntuales; y el valor de ésta es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas (Ley de Coulomb).

El campo eléctrico es toda la región del espacio en donde se sienten los efectos de fuerzas eléctricas producidas por la interacción entre cargas. Se representa a través de líneas imaginarias de fuerza y su magnitud es proporcional a la fuerza entre las cargas.

La diferencia de potencial o “voltaje” es la energía necesaria para realizar el trabajo, de llevar una unidad de carga de un punto a otro dentro de un campo eléctrico y es proporcional al producto entre la distancia recorrida y la magnitud o intensidad del campo eléctrico.

Ventajas en la utilización de un precipitador electrostático:

- Versatilidad, funcionamiento eficaz en casi todos los procesos industriales.
- Eficiencia, alta recuperación de material particulado (sobre el 99%).
- Consumo de energía 20-60 KW por cada 100 pie³ de gas.
- Pérdida de presión, resistencia despreciable rara vez es más de 0,4” columna de agua. Por ende la potencia del ventilador es baja.
- Adaptabilidad.
- Normalmente el polvo se recolecta en su estado original.
- Baja mantención de partes internas.

Modo de trabajo simple: Es un aparato que limpia gases del proceso usando fuerzas eléctricas para quitar partículas sólidas que acarrea el flujo de gas. Los gases sucios se pasan a través de un campo eléctrico entre electrodos de polaridades opuestas. Los

electrodos de descarga, llamados así por la corona de descarga que resulta de la aplicación de alto voltaje, imparten una carga negativa a las partículas. Estas partículas son atraídas a los electrodos de recolección que son positivos respecto a los electrodos de descarga y en la práctica están conectados a tierra, tal como lo muestra la figura 267.

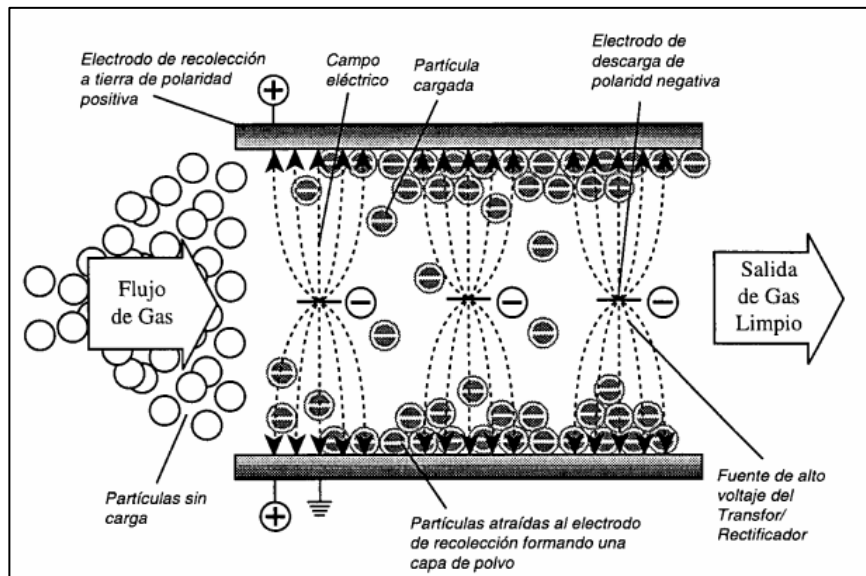


Figura 267

Principio de operación básico de un precipitador electrostático

En el caso de polvo, las partículas se acumulan en el electrodo de recolección hasta que una fuerza de sacudido se aplique a los electrodos para soltar y desalojar esta capa en aglomerados lo suficientemente grandes que por su peso caen en la tolva sin reintroducirse en el efluente gaseoso.

42.8. Ventilador de tiro inducido (VTI): tipo centrífugo

El objetivo de este ventilador es aspirar los gases desde el secador y hacerlos pasar por todo el sistema de limpieza de gases (caja de descarga, ciclón y filtro de mangas o precipitador electrostático).

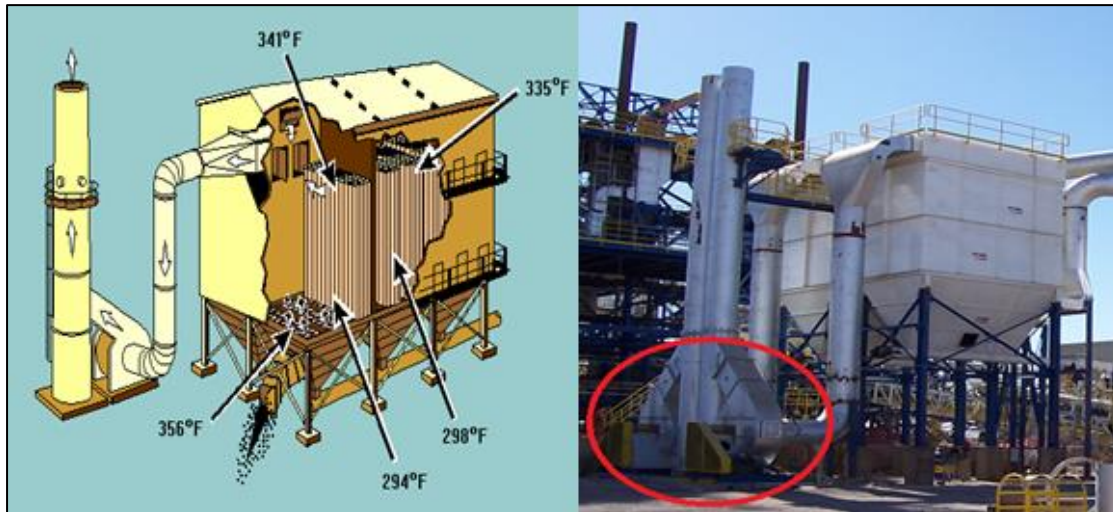


Figura 268
Sistema de extracción de gases

Se denomina tiro a la presión existente dentro del secador con respecto a la atmosférica, este puede ser:

1. Positivo (tiro forzado).
2. Negativo (tiro inducido).
3. Equilibrado (tiro equilibrado).

El tiro refleja pues la capacidad que tiene la cámara para aportar aire de combustión y extraer los gases resultantes para enviarlos a la atmósfera.

En un secador, o en cualquier unidad Industrial de secado donde se desee conseguir un cierto grado de depresión en la cámara de combustión, resultan imprescindibles dichos ventiladores.



Figura 269

Ventilador de tiro inducido: Tipo centrífugo

Los VTI tipo centrífugo van ubicados posteriores a los filtros, ya sean electrostáticos, de telas etc., desde donde aspiran el aire provocando, en función de la potencia, el grado de vacío del hogar en la caldera.

Existen diversos tipos de ventiladores de tiro inducido, los más utilizados en centrales industriales son:

- Ventiladores centrífugos de flujo radial.
- Ventiladores centrífugos de axial de simple etapa con álabes fijos.
- Ventiladores centrífugos de flujo axial de doble etapa con álabes móviles.

Los ventiladores centrífugos de flujo axial de doble etapa con álabes móviles, están accionados mediante motores, normalmente eléctricos del tipo asíncrono.

El motor y el ventilador van unidos entre sí por medio de dos acoplamientos y un eje intermedio.

Los rodets van apoyados en los cojinetes. Con el fin de absorber los esfuerzos axiales, va dispuesto un cojinete de empuje. Este cojinete va encerrado en un cuerpo de fundición y recibe constantemente aceite para su lubricación. Existen mirillas para poder ver los diferentes niveles de aceite en cojinetes y partes móviles.

Aparte de la lubricación y refrigeración de los cojinetes desde su sistema de aceite, el recinto que rodea este cojinete principal dispone de una refrigeración adicional mediante aire.

A ambos lados, se colocan unos compensadores con el fin de no transmitir las vibraciones del ventilador a las tuberías de los lados de aspiración y de presión.



Figura 270
Ventilador centrífugo VTI.

42.9. Ductos

El objetivo de los ductos es canalizar la aspiración de gases desde el secador y mantener el sello del sistema de vacío en el secador.



Figura 271
Ductos de una planta de secado

43. Riesgos en el proceso

43.1. En el generador de gases calientes

- Riesgos inherentes al fuego y alta temperatura.
 - Incendios.
 - Explosiones (gas piloto).
 - Daño a las personas e instalaciones (producto).
- Problemas operativos.
 - Capacidad: déficit de combustible.
 - Calidad: mala calidad de combustión, producto manchado.

43.2. En el tambor rotatorio

- Riesgo de partes móviles (daños personales, protecciones).
 - Problemas operativos.
- Acumulación de carga (alta humedad).
 - Desprendimiento de carga pegada (pulso).
 - Detención con carga en el interior.

43.3. En el ciclón y filtro de mangas

- Atochamientos con carga.
- Obstrucción que disminuye caudal de extractores.
- Falta de capacidad.
- Riesgos: partes móviles (válvulas rotativas y tornillos transportadores).

43.4. En el ventilador extractor

- Riesgo de partes móviles (daños personales, protecciones).
 - Problemas operativos: El funcionamiento de este equipo tiene una incidencia fundamental en la capacidad del secador.
- Falta de capacidad (menor velocidad, correas patinan, problemas eléctricos, suciedad).
- Desbalanceo por ensuciamiento del rotor (vibraciones).

44. Transporte neumático de la descarga del secador

44.1. Transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático se utilizan ampliamente en la industria para transportar materiales secos, finos y a granel porque son extremadamente versátiles, adecuados y económicos para muchos procesos. El transporte neumático de sólidos se ha practicado por más de un siglo en el mundo y hoy se puede encontrar sistemas de este tipo en las más variadas industrias: la minería, industria del cemento y construcción, química y farmacéutica, plásticos, de alimentos, papel, vidrio, energía, etc. Por ejemplo, el transporte y descarga neumática de cemento, cal, azúcar, pellets plásticos en camiones a granel presurizados; sistemas de transporte e inyección neumática de concentrado de cobre seco a convertidores Teniente, y sistemas similares para carbón pulverizado que alimentan calderas y hornos; sistemas de transporte neumático de yeso, coke, cenizas, sal, alimentos, granos, aserrín, etc. en plantas de procesos; sistemas de captación y transporte neumático de polvo, etc.

Los sistemas de transporte neumático permiten trasladar material particulado a través de ductos (o cañerías), suspendido en un gas mediante el mecanismo de arrastre.

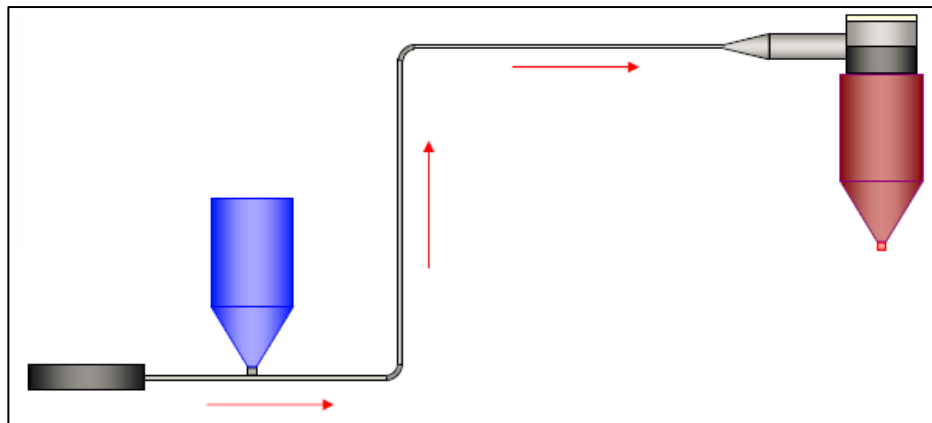


Figura 272
Esquema de transporte neumático básico

El objetivo principal de un sistema de transporte neumático es transportar materiales sólidos a granel desde un punto a otro por medio de un flujo de gas a presión, ya sea positiva o negativa, y a través de una cañería. Materiales particulados finos en el rango de los micrones hasta partículas de 20 mm se pueden transportar en forma horizontal y/o vertical, desde algunos metros hasta máximo dos kilómetros de distancia, y con capacidades de hasta 1000 t/h a través de cañerías de hasta 500 mm de diámetro.

La principal ventaja del transporte neumático de sólidos a granel es que los sistemas son cerrados, y por lo tanto, no-contaminantes. El material transportado se “encierra” totalmente dentro de la cañería, lo cual protege al producto del medio ambiente y viceversa (al medio ambiente del producto en caso de transportar materiales peligrosos, explosivos, tóxicos, biológicos, etc.). Además, son sistemas muy limpios, adecuados para muchos y variados procesos, flexibles para cambiar de dirección, requieren de un reducido espacio y son fáciles de automatizar.

Dentro de las desventajas es importante destacar que no todos los materiales particulados se pueden transportar neumáticamente a través de cañerías, sino sólo aquellos materiales secos, no cohesivos, de fácil escurrimiento libre por gravedad, y relativamente finos. Materiales frágiles pueden sufrir de excesiva atrición y materiales abrasivos pueden causar desgaste prematuro en las cañerías y codos. Otras limitaciones del transporte neumático son el tamaño máximo de partícula, la capacidad máxima de transporte, la distancia a transportar y el mayor consumo de energía.

Para entender mejor el funcionamiento de un sistema de transporte neumático será de utilidad dividirlo en zonas relacionadas con sus funciones dentro del sistema. De esta

forma, podemos decir que los sistemas de transporte neumático se dividen principalmente en cuatro áreas.

En donde el área inicial descrita como motor constituye la etapa de secado y la final puede estar compuesta por un precipitador electrostático.

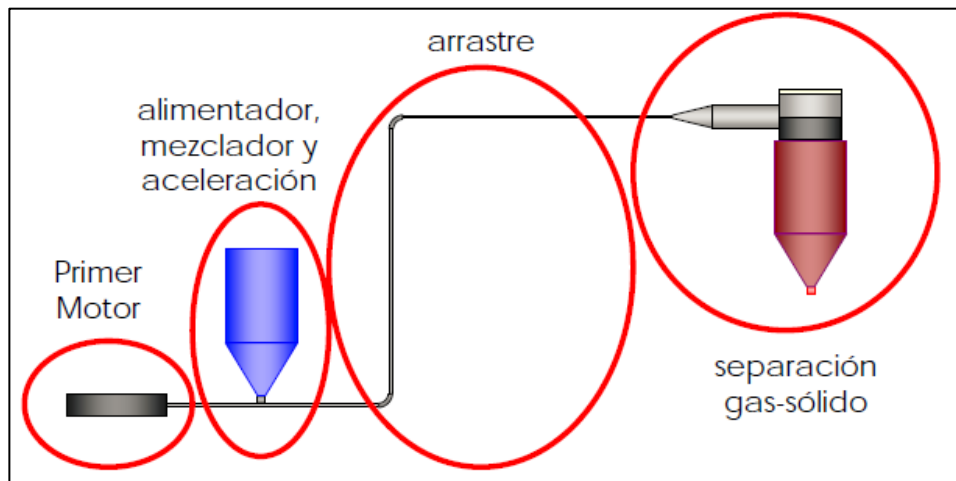


Figura 273
Etapas del sistema de transporte neumático

Primera etapa: Primer motor. La primera de ellas es el primer motor (en inglés: prime mover), el cual está encargado de alimentar al sistema de la energía necesaria para el transporte neumático.

Para su diseño se debe identificar el gas (fluido) y la presión (positiva o negativa) requerida para el arrastre.

Dado el amplio rango de presiones utilizadas en el transporte neumático y a que éste se realiza en ductos (cañerías) es necesario secar, enfriar y filtrar el gas.

Segunda etapa: Alimentador, mezclador y aceleración. Luego podemos identificar la zona donde se encuentran el alimentador, mezclador y la zona de aceleración. Esta área es considerada una de las más cruciales (críticas) en cualquier sistema de transporte neumático. Ocurre un gran cambio en la cantidad de movimiento (o momentum) cuando el sólido es mezclado con el flujo de gas.

El gas le transfiere una gran cantidad de movimiento al material particulado.

¿Qué es el momentum?. La cantidad de movimiento o magnitud vectorial, que se define como el producto entre la masa y la velocidad en un instante determinado.

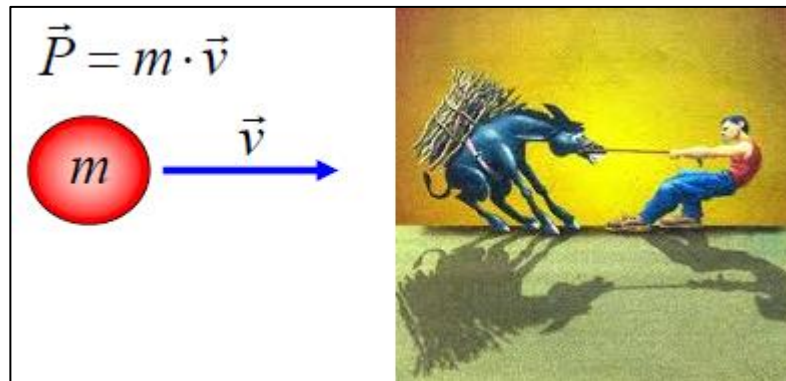


Figura 274
Momentum de un cuerpo

Asociado con este cambio de la cantidad de movimiento, es necesario contar con una zona de aceleración. Si el espacio físico lo permite, la zona normalmente consiste en una pieza de un ducto, de una cierta longitud de diseño, de tal forma que los sólidos son acelerados hasta asemejarse a un flujo en estado constante (permanente).

Para una operación efectiva de un sistema de transporte neumático, es esencial la selección de un alimentador que cumpla tanto con los requerimientos de los sólidos, así como con los requerimientos del sistema.

Tercera etapa: Arrastre. La tercera área es la correspondiente a los ductos que conducen el gas y que se conoce como zona de transporte.

Una vez que los sólidos hayan pasado por la zona de aceleración, ingresan a la zona de transporte, la que consiste en ductos (cañerías).

La selección de los ductos tiene una serie de parámetros, entre los que se incluyen lo abrasivo del producto transportado, los requerimientos de presión, etc.

La zona de transporte puede tener curvas y válvulas divergentes, produciéndose cambios en la dirección del flujo. Como las curvas constituyen un cambio en la dirección del flujo, los sólidos son desacelerados cuando pasan a través de la curva. Normalmente, se requiere una zona de aceleración por cada curva que atraviese el flujo, para re-arrastrar los sólidos.

Cuarta etapa: Separación gas-sólido. La última zona es la de separación gas-sólido. En ésta, los sólidos son separados de la corriente del gas (flujo) en la cual han sido transportados en forma de arrastre. En esta etapa se pueden presentar dos equipos característicos como lo son los ciclones y los precipitadores electrostáticos.

44.2. Clasificación de los sistemas de transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático pueden ser clasificados de varias formas. Quizás la clasificación más conveniente es la basada en el promedio de concentración de partículas en la tubería. En términos de esta definición, los sistemas de transporte neumático pueden ser clasificados en dos diferentes categorías:

- Sistemas de fase diluida.
- Sistemas de fase densa.
- Régimen de flujo inestable.
- Régimen de flujo inestable/estable.
- Régimen de flujo estable.

Por simplicidad, cada fase es categorizada en términos de la tasa de flujo de masa, la cual es definida como el cociente entre la masa de sólidos y la masa de fluido transportador. Así, en estos términos, tenemos:

| Fase | Relación de caudales másicos |
|---------|------------------------------|
| Diluida | 0 - 15 |
| Densa | Mayor que 15 |

Tabla 56

44.3. Sistema de transporte fase diluida

En general, los sistemas de fase diluida (a veces definida como fase inclinada), utilizan grandes volúmenes de gas a altas velocidades. La corriente de gas lleva materiales como partículas discretas con las fuerzas de sustentación y arrastre del medio que actúan sobre las partículas individuales. Los sistemas de fase diluida constituyen los más extensamente usados de todos los sistemas de transporte neumático.

Diversos tipos de sistemas existen para el transporte neumático de materiales sólidos a granel, incluyendo sistemas abiertos o cerrados, de presión positiva o negativa, de flujo diluido o denso, continuos o batch, etc. Actualmente, los sistemas de transporte neumático

de baja presión positiva, continuos, de alta velocidad y fase diluida, son los más usados en la industria debido a su mayor capacidad de transporte en cuanto a flujo, mayores distancias de transporte, el flujo es muy estable y se puede controlar y regular fácilmente, y porque permiten transportar materiales desde un punto de alimentación a varios puntos de descarga.

A modo de ejemplo, la figura 275 muestra esquemáticamente los componentes básicos de un sistema de transporte neumático en fase diluida, continuo y de baja presión positiva (inferior a 1 bar).

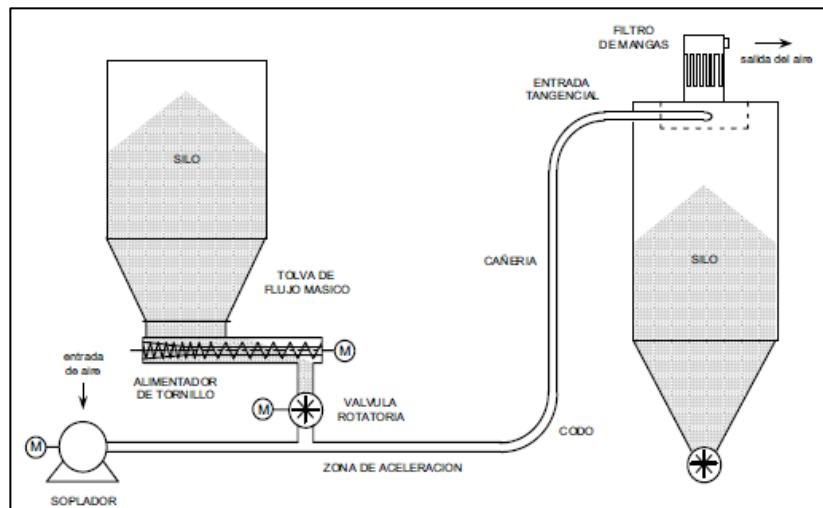


Figura 275

Esquema de un sistema de transporte neumático en fase diluida y de baja presión positiva

En este tipo de sistemas de transporte neumático, el material es transportado en suspensión dentro de la cañería, las partículas se distribuyen uniformemente en toda la sección transversal de la cañería (flujo homogéneo), la concentración de sólidos es relativamente baja (inferior a 10 kg de sólidos por kg de gas) y la velocidad de transporte es relativamente alta. El soplador provee el flujo y la presión de aire necesario para transportar al material desde el punto de alimentación hasta el punto de descarga. El alimentador introduce las partículas sólidas dentro de la cañería donde se mezclan con el gas de transporte y a un flujo controlado para evitar sobrecargar la línea.

Sistemas de presión positiva requieren de un mecanismo de sello para alimentar el material (generalmente a presión ambiente) dentro de la cañería que está presurizada. En el ejemplo se muestra además un tornillo de flujo másico como alimentador (para asegurar flujo másico de descarga en el silo), una válvula rotatoria tipo 'airlock', una tee en la unión con la cañería, los silos de almacenamiento, la cañería, codos y un filtro de mangas.

Uno de los parámetros más importantes para el diseño y la operación eficiente de sistemas de transporte neumático en fase diluida es la correcta determinación de la velocidad de transporte para un material y sistema en particular. Este parámetro afecta además el tipo de flujo desarrollado en la cañería y la caída de presión.

Sistemas de transporte neumático diseñados para operar a altas velocidades (flujo homogéneo) están sujetos a un alto consumo de energía, posible degradación y/o segregación del material, y desgaste excesivo de cañerías y codos, lo cual se puede traducir en una operación costosa y poco rentable. Por otro lado, sistemas diseñados para operar a bajas velocidades o elevados flujos de sólidos pueden sufrir la depositación de partículas sobre el fondo de la cañería, flujo errático de material, e incluso llegar a tapar o embancar la cañería, lo cual detiene completamente el sistema. Por lo tanto, como determinar la velocidad óptima de transporte es considerado uno de los pasos más importantes en el correcto dimensionamiento y operación de sistemas de transporte neumático.

Dos tipos de flujo se pueden distinguir claramente en sistemas de transporte neumático horizontales: flujo sobre la velocidad mínima de transporte y flujo bajo la velocidad mínima de transporte del material, como se mencionó anteriormente. En el primer caso, las partículas fluyen a alta velocidad, en suspensión y homogéneamente dispersas en la misma dirección que el aire (flujo homogéneo). En el segundo caso, algunas partículas se depositan en el fondo de la cañería mientras otras deslizan sobre estas dunas en reposo, como se muestra esquemáticamente en la figura 276.

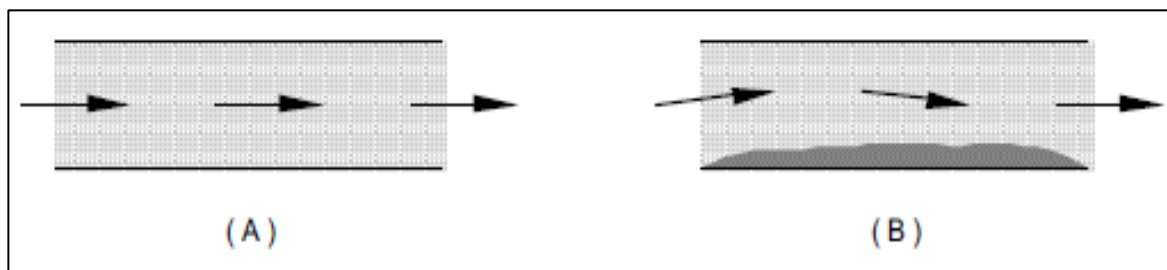


Figura 276

Flujos en cañerías horizontales: sobre (A) y bajo (B) la velocidad mínima de transporte

44.3.1. Velocidades en fase diluida

- Velocidad de palpitación, es la mínima del aire requerida para evitar la depositación de las partículas sobre el fondo de una tubería horizontal.
- Velocidad de captación, es la velocidad mínima del aire requerida para captar, embarcar, re suspender o separar las partículas del resto, desde el fondo de la tubería.

- Velocidad de obstrucción, es la velocidad mínima del aire necesaria para evitar la caída de las partículas en una tubería horizontal.

La velocidad de seguridad para el transporte de una material dado, aumenta con el tamaño de la partícula, la densidad, el diámetro de la tubería, y la razón de carga de sólidos.

La velocidad del aire por efecto de la fracción con la tubería es menor en la paredes que en la zona central.

44.3.2. Parámetros de operación del sistema

Presión de entrada cámara de mezcla.

Presión de salida cámara de mezcla.

Flujo de aire de transporte.

Razón de carga.

Capacidad de diseño.

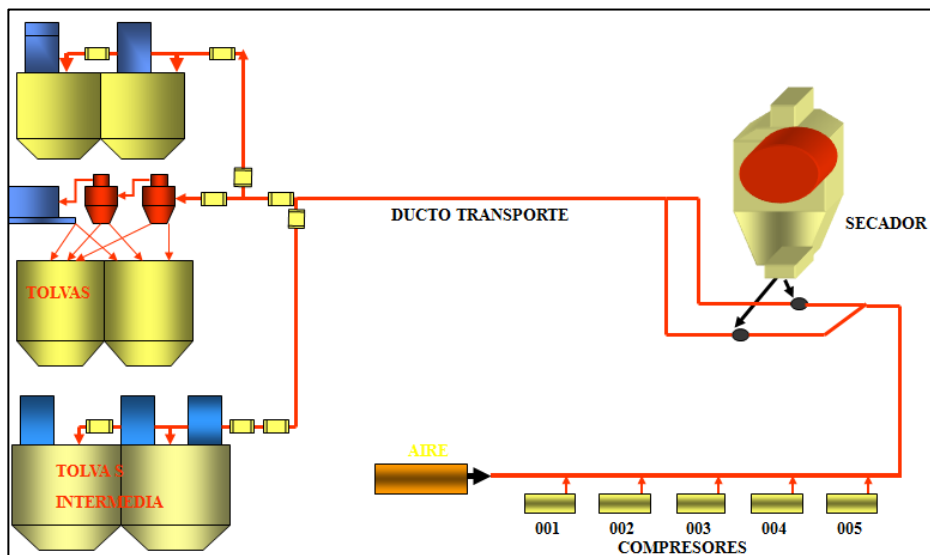


Figura 277
Sistema de transporte en fase diluida

Los transportadores neumáticos pueden funcionar al vacío o a presión:

- Los sistemas al vacío son ideales para transportar material desde varias fuentes y trasladarla a una tolva principal.

- Los sistemas presurizados esencialmente toman el material desde una fuente (la entrada) y la trasladan a cualquier número de destinos.

Otra forma de trasladar el material es a través de los transportadores de gravedad activados por aire o deslizadores de aire.

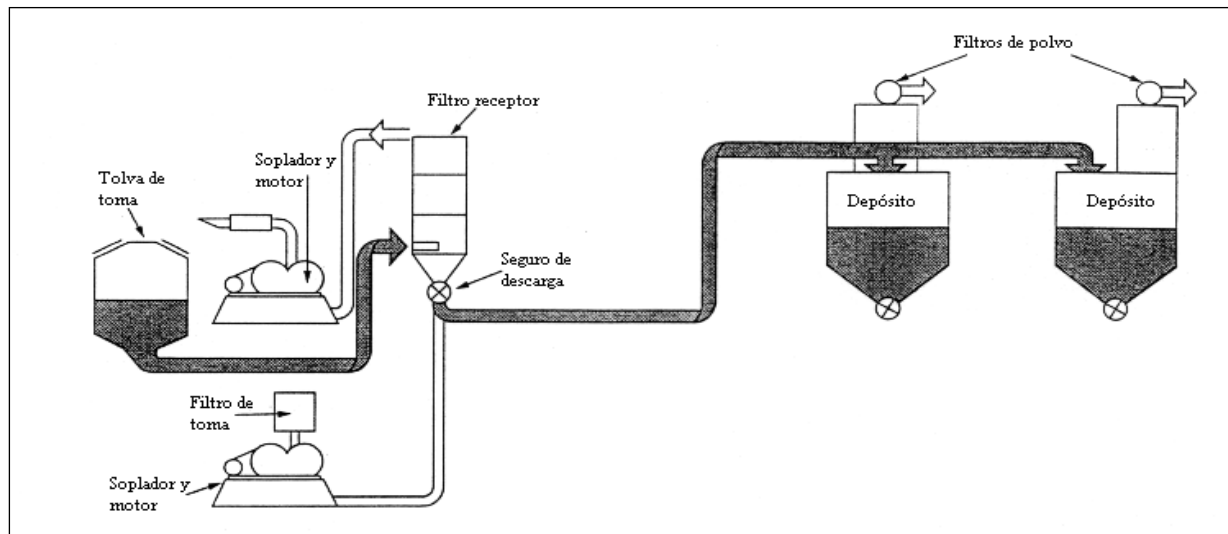


Figura 278
Combinación de sistema de transporte de presión al vacío

44.4. Fase densa

Una reducción en la velocidad del gas a un valor más pequeño que la velocidad de salto (en flujo horizontal) produce una distribución no uniforme de los sólidos en la sección transversal del ducto de transporte.

Los factores que afectan al tipo de fases son las características de los sólidos, la velocidad del gas, la tasa de flujo de sólidos y factores tales como la rugosidad de los ductos, tamaño de los ductos, etc.

44.4.1. Características del vaso presurizado.

En general es una tolva hermética con geometría semi cilíndrica para distribuir mejor las presiones en el interior. Está compuesto por una celda de carga que pesa en material antes de su transporte, válvulas de corte on/off para presión. Durante la operación este cumple un ciclo de trabajo que comprende las siguientes etapas.

Carga.
Pesaje.
Presurización.
Descarga.
Despresurización.

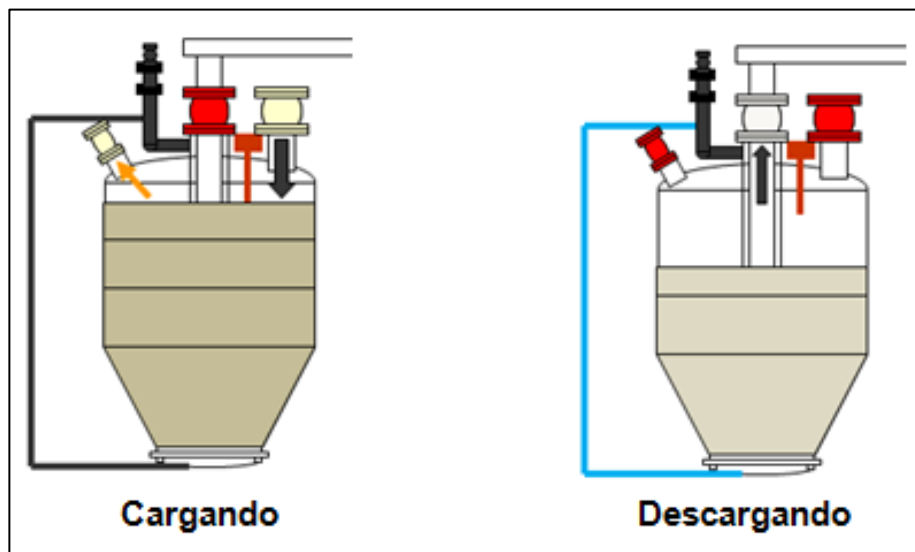


Figura 279
Etapas del sistema carga de material

Para llevar a cabo este ciclo el sistema cuenta con un panel de control que da seguimiento a este ciclo de trabajo por etapas.

Características de la fase densa

Alta presión de aire.
Baja velocidad.
Menor desgaste.
Menor daño al producto.
Menor diámetro de tuberías.
Menor consumo de aire.
Transporta a mayor distancia.

Condiciones de operación

Razón de carga de sólidos mayor a 30 kg sólido/kg aire.
Caída de presión de 45 a 14 psig.

Velocidad de aire en la alimentación de entre 2 a 8 m/seg.

Velocidad de aire en la descarga de entre 6 a 25 m/seg.

Desventajas de la fase densa

Flujo inestable y discontinuo.

Muy sensible a las características del mineral.

Material debe ser permeable, es decir con tendencia natural a retener el aire.

Material debe poseer buenas características de fluidización.

Altos costos de inversión.

Equipos complejos.

44.5. Sistemas de presión positiva

Es la configuración más usada en transporte neumático y satisface bien a las aplicaciones en las cuales el material es tomado desde un único punto y entregado a varios compartimientos de recepción. El cambio desde un compartimiento a otro, usualmente es efectuado mediante válvulas multi puerto.

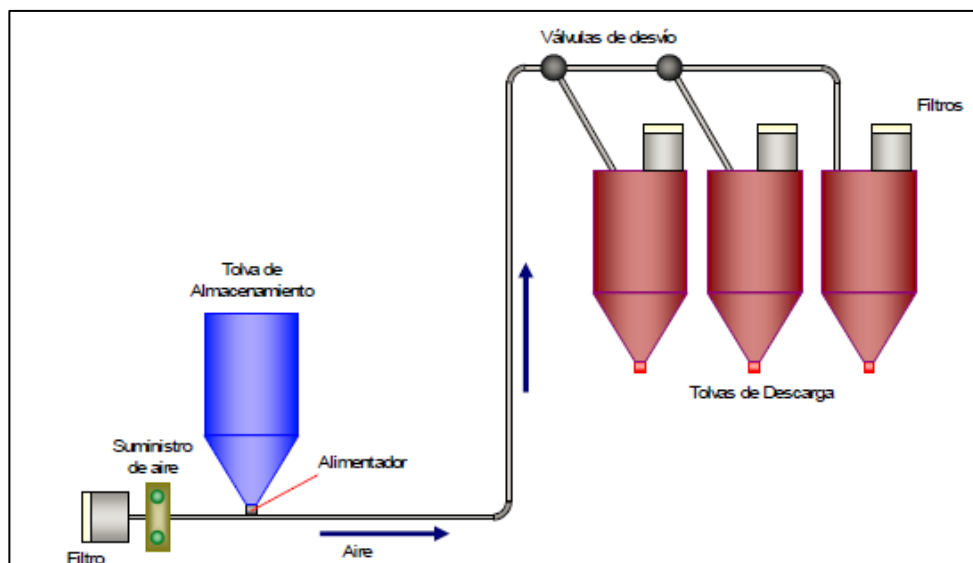


Figura 280
Sistema de presión positiva

Para su correcta operación requieren dispositivos de alimentación con los cuales pueden introducir el material el cual normalmente es almacenado a presión atmosférica dentro de una línea presurizada.

Dependiendo del el caso (modo) y la distancia a ser transportada, se pueden requerir presiones sobre 1 MPa. La necesidad de un dispositivo alimentador de sólidos efectivo, capaz de soportar esta alta presión resulta crítico para su operación efectiva.

Si están diseñados correctamente, entonces los sistemas de presión positiva pueden ser utilizados para tener recogida múltiple.

44.6. Sistemas de presión negativa

En general, son usados para transporte de material desde varios puntos de alimentación a un punto de colección común. Puesto que la operación implica el uso de sistemas de ventilación de varias clases, estos sistemas están limitados en distancia y capacidad.

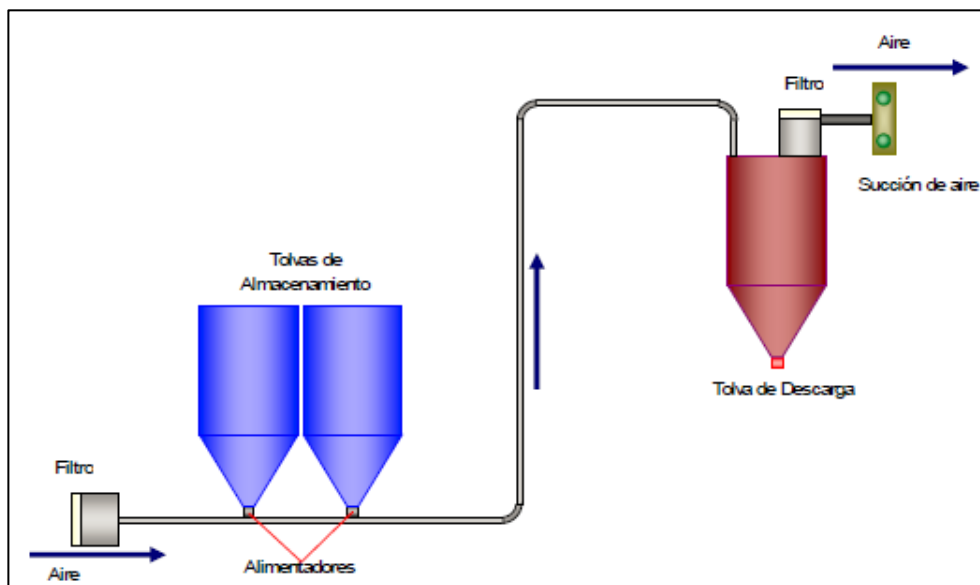


Figura 281
Sistema de presión negativa

Los sistemas de presión negativa son usados en gran medida en transporte de materiales tóxicos y peligrosos. Estos sistemas permiten una alimentación libre de polvo y también proveen una característica de seguridad adicional, ya que cualquier escape en el ducto no generará contaminación al ambiente por un escape de material.

Debido al aumento de requerimientos de operaciones libres de contaminación, los sistemas de presión negativa están ganando gran aceptación en numerosas industrias.

Los sistemas de presión negativa varían en tamaño de acuerdo a su uso, desde pequeñas industrias con operaciones limpias, a otras cuyas operaciones comúnmente descargan millares de toneladas por hora.

44.7. Sistemas de presión combinada negativa-positiva

Es un sistema de transporte neumático versátil que se obtiene al fundir ambos esquemas. Estos sistemas combinados a menudo están referidos a sistemas “soplar-aspirar” y son bastante usados en muchas industrias. Procurando que la línea de succión sea lo más corta posible, se obtiene un sistema de manejo relativamente eficiente. Está previsto para múltiples tomas y descargas de un número de productos.

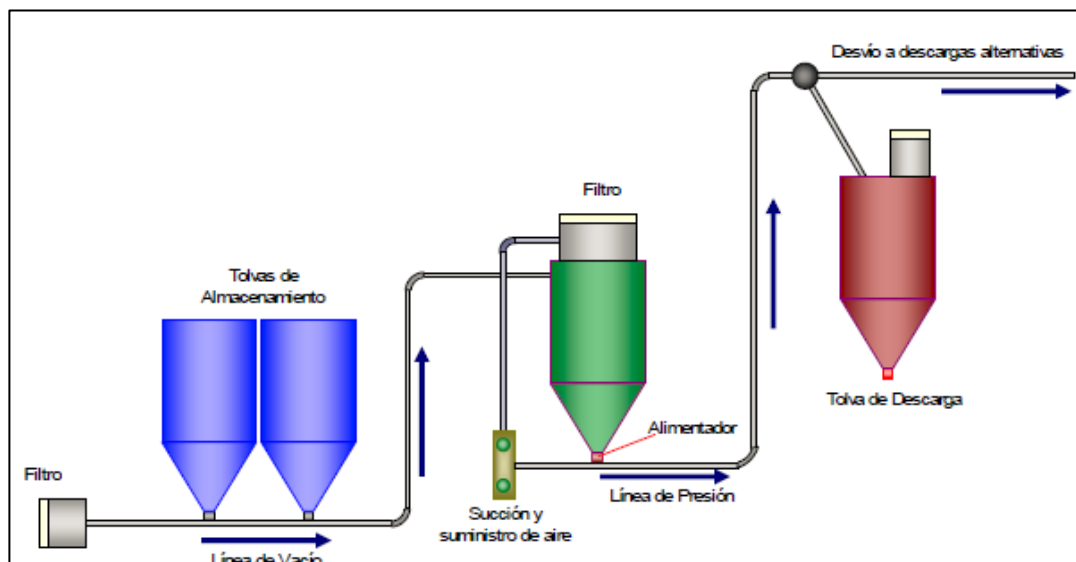


Figura 282
Sistema de presión combinado

44.8. Sistemas de transporte al vacío.

Un sistema de transporte al vacío se usa cuando hay una necesidad de transferir los materiales desde varios lugares a un solo lugar. Los sistemas al vacío usan aire presurizado negativo, es decir, la presión es menor a la presión atmosférica, que es de 14,7 psi. Esta presión de aire negativa arroja el material en el ducto para transportarlo.

Los sistemas al vacío pueden trasladar fácilmente los materiales con un diámetro de 2 pulgadas, y en algunos casos especiales incluso materiales más grandes. Este tipo de transportador es bueno para descargar vagones de mercancías de ferrocarril y carros tolva

como también para barcos y barcazas. El vacío se crea por medio del uso de un soplador de desplazamiento positivo.

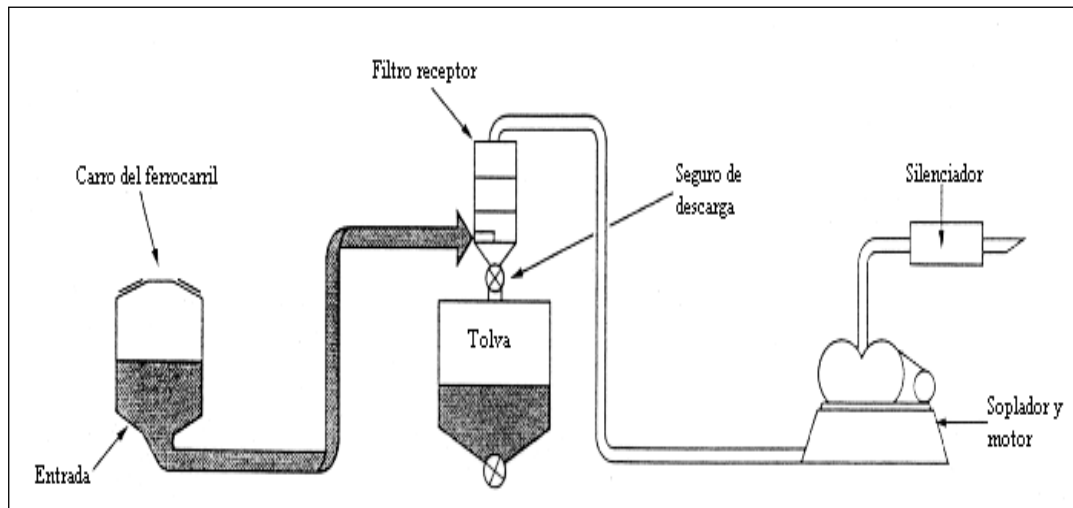


Figura 283

Sistema al vacío para descargar carros de ferrocarril

44.8.1. Sistemas de transporte de baja presión

Un compresor de desplazamiento positivo del tipo lóbulo se puede usar para crear la presión para el transportador de baja presión. A diferencia del sistema al vacío, la presión es positiva. La salida de este sistema es limitada aproximadamente a 12 psig. La figura 284, ilustra un sistema de transporte de baja presión.

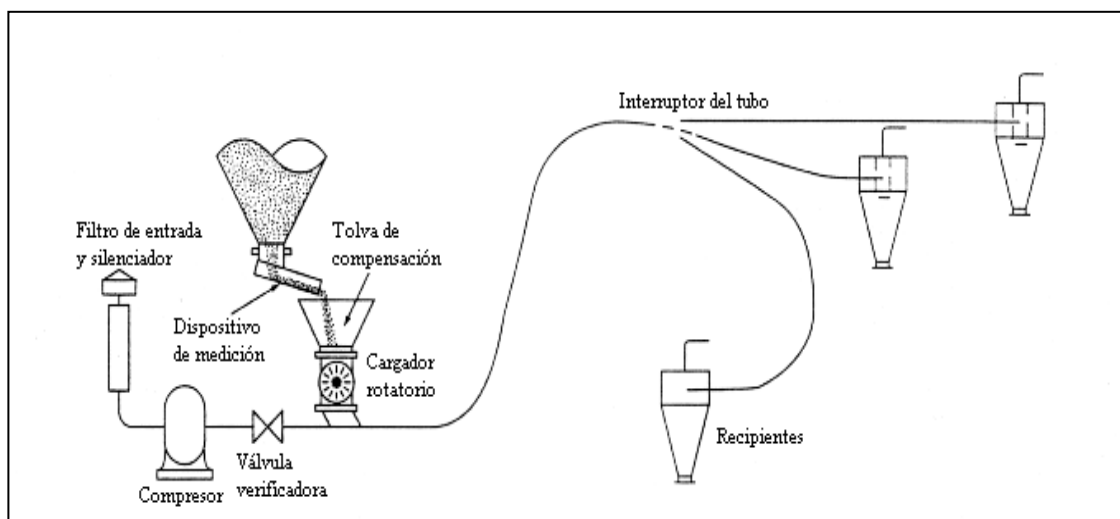


Figura 284

Sistema de transporte de baja presión

44.8.2. Sistemas de transporte de presión media

Los transportadores de presión media funcionan a presiones entre 15 psig y 45 psig. Con estos sistemas el material puede moverse por el soplador rotatorio o por un compresor de aspa de deslizamiento con bomba de fluidos sólidos (sistema de mezcla de aire). La figura 285, ilustra un sistema de mezcla usado para mover el material.

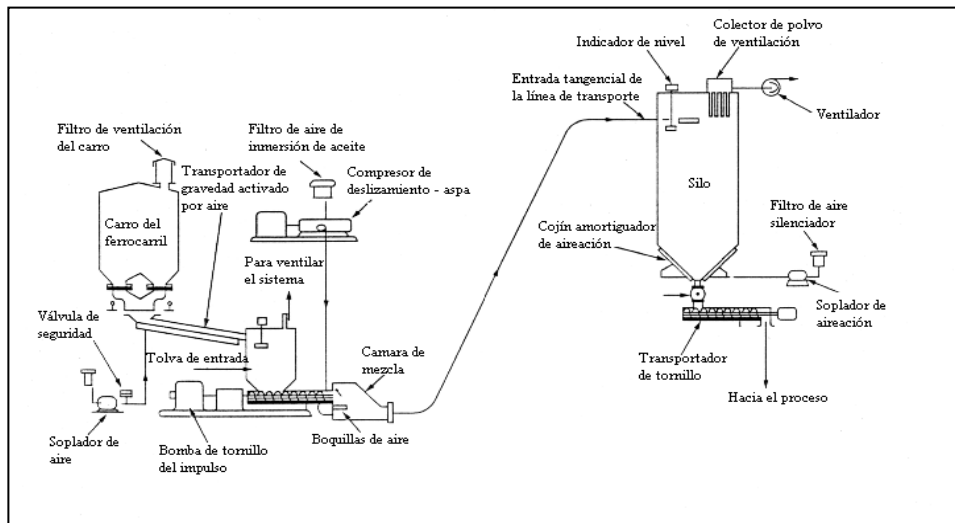


Figura 285
Sistema de mezcla de aire

Si se usa una bomba de fluido de sólidos, el material debe pulverizarse hasta la fineza en el cual el 60% del material pueda pasar a través de un filtro de 200 # Tyler.

El material que se transporta debe estar seco y tener un tamaño y forma uniforme. El sistema puede transportar material hasta una distancia de 650 m aproximadamente (2.000 pies). Se usa para transportar materiales a cualquier parte de la planta o para transportar vehículos. Los sistemas de presión media se usan en plantas de cemento para transportar mezcla de material en bruto y cementos terminados.

44.8.3. Sistemas de transporte de alta presión

Los sistemas de alta presión funcionan a presiones entre los 45 psig y los 125 psig. El equipo en este sistema está compuesto de algún tipo de compresor (recíproco o de deslizamiento son los comunes), un receptor para el aire comprimido y un estanque de viento.

El gas comprimido debe estar libre de aceite por dos razones:

- Para evitar la contaminación del producto
- para asegurar que el material esté seco y libre de cualquier efecto de aglomeración. Como el aceite no se seca tan rápido como el agua, el problema de aglomeración es más importante.

Los secadores químicos y luego los refrigerantes son necesarios para asegurar un transporte de aire libre de humedad. Si existe alguna posibilidad de incendio o explosión desde el material transportado, se inyecta un gas inerte dentro del sistema.

44.8.4. Sistemas ciclo cerrado

En el sistema de ciclo cerrado, el gas con que se transporta es reciclado. Este tipo de transporte es particularmente conveniente para manejo de materiales tóxicos y radiactivos. El sistema también puede prever la recirculación del gas transportador y satisface bien los sistemas donde el gas que se emplea no es aire.

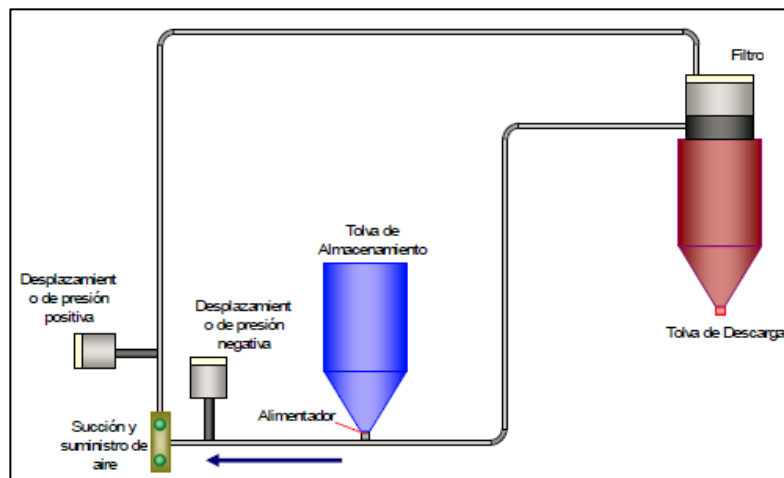


Figura 286
Sistema de presión ciclo cerrado

Es muy importante destacar que, durante la operación de sistema, el aire comprimido contenido dentro de las líneas de transporte se encuentra a altas presiones. Si las prácticas de seguridad apropiadas no se incorporan en el programa, procedimientos de funcionamiento y mantenimiento, podrían producirse incidentes o accidentes con resultados de lesiones serias.

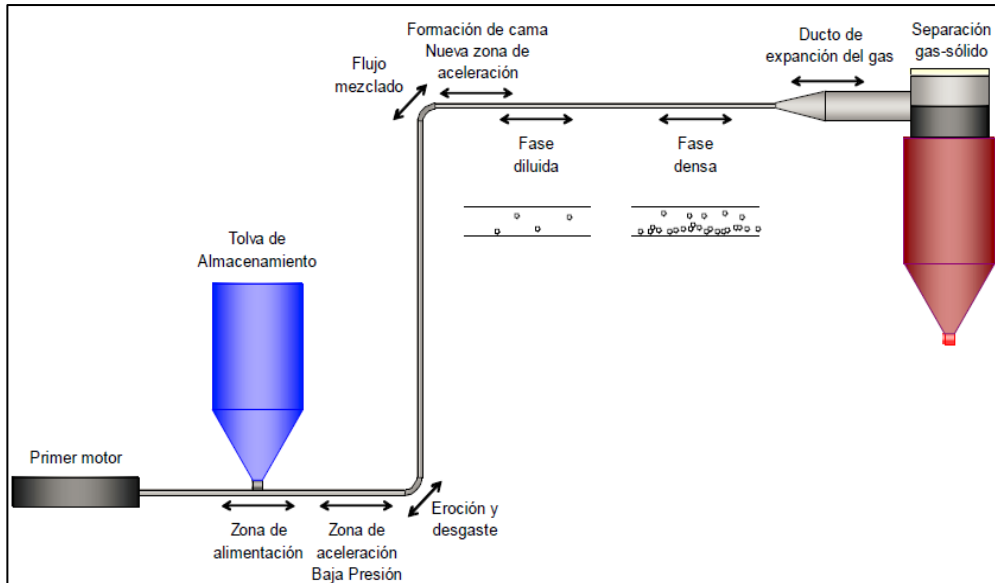


Figura 287
Sistema de transporte neumático general

44.8.5. Estanques de viento

Los estanques de viento realizan en mucho la misma función que los receptores de aire. El material se pone en el estanque hasta que alcanza un nivel predeterminado. El aire, desde el compresor, ingresa al estanque de viento y así puede fluir a través del material, fluidizándolo. La presión aumenta en el estanque hasta que el material comienza a fluir a través de la línea de transporte. La proporción de comparación del flujo varía en todo el ciclo de transporte. La figura 288, ilustra un estanque de viento de alta presión y de baja presión.

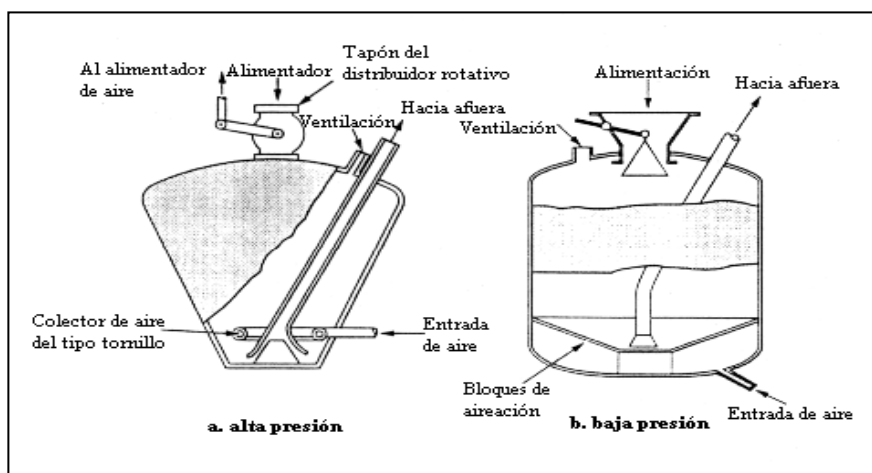


Figura 288
Estanques de viento

Cuando todo el material ha sido transportado, el interruptor de solenoide corta el flujo de aire y abre las válvulas de entrada de material para que el estanque se rellene. Este ciclo da tiempo al receptor de aumentar la presión para el ciclo de transporte. Si se desea un flujo continuo, se debe emplear un sistema de doble estanque de viento.

44.8.6. Combinación de sistemas de transporte de presión al vacío.

En un sistema de combinación, el sistema al vacío generalmente se usa para descargar o recuperar el material desde el lugar de almacenamiento. El material se arroja al estanque receptor donde se descarga en el sistema de presión.

Un problema que hay que resolver es el retorno de aire desde el lado de la presión al lado del vacío del transportador. El método más efectivo es usar dos cargadores rotatorios en tándem. Esto elimina la presión de retroceso y permite que el material fluya a través de los cargadores sin detenerse.

45. Sistema de secado indirecto

Un tipo de secador indirecto posee una carcasa rotatoria inclinada, como los secadores directos, pero en lugar de elevadores está provisto de tubos que contienen vapor o agua caliente. Los equipos pequeños poseen una sola fila de tubos, pero los equipos de mayor tamaño emplean dos filas de tubos, de las cuales la interna está formada por tubos de menor diámetro que los tubos de la fila externa (ver la figura 289).



Figura 289

Secador Indirecto

La alimentación se calienta por contacto directo con los tubos sobre los cuales fluye formando una delgada capa. Se inyecta aire a través del secador en cantidad suficiente para eliminar el vapor de agua. El aire abandona el secador prácticamente saturado, por lo cual la cantidad requerida, suele ser mucho menor que en un secador rotatorio directo. El problema de la eliminación de polvo en el aire de salida está simplificado y en muchos casos es adecuada la circulación natural del aire sin ayuda de ventiladores. La velocidad del aire se encuentra por lo común alrededor de los 0,3 m/s.

El vapor de calefacción es introducido dentro de los tubos, y el condensado eliminado mediante un distribuidor dispuesto en el extremo de descarga de los sólidos. Los sólidos secos se descargan a través de aberturas practicadas en la carcasa, las cuales poseen una pestaña que permite mantener un espesor de lecho suficiente.

Este secador es especialmente adecuado para materiales que presentan un período de secado a velocidad decreciente prolongado y por ello deben mantenerse durante un largo tiempo a una temperatura prácticamente constante. Por otra parte, la rotación evita la formación de terrones de material y facilita la salida del vapor de agua. Puesto que hay poca pérdida de calor en la corriente gaseosa que sale, su rendimiento térmico es elevado. Este equipo es adecuado para el secado de materiales termo sensible, pues la temperatura máxima alcanzable puede ser controlada con precisión al controlar la temperatura del fluido calefactor. No es adecuado para el secado de materiales que formen costras adherentes sobre los tubos de calefacción.

Por razones de índole mecánica los secadores indirectos no pueden ser tan grandes como las mayores secadores directos utilizados para producciones muy grandes, pero afortunadamente las producciones de materiales para los que es particularmente adecuado este secador, son relativamente pequeñas. Las dimensiones de las carcasas varían 1.5 a 3.0 m de diámetro y 10 a 20 m de longitud, y los tubos de calefacción tienen como dimensiones típicas las siguientes: fila externa, 110 mm, y fila interna, 75 mm; obteniéndose coeficientes de transferencia de calor del orden de los 2 KW/m°C.

Dentro del elemento calefactor, la presión general del vapor es constante. Cuando el vapor caliente toma contacto con la superficie interna de un elemento calefactor, el vapor condensa sobre la superficie y la energía es liberada debido a la transformación de la fase. El calor liberado sobre la superficie interna del elemento es luego conducido a través de la pared de la superficie externa.

La transformación de la fase crea la caída de la presión local cerca de la superficie interna del elemento calefactor. Esta diferencia de presión crea un flujo de vapor hacia la superficie interna y el vapor fresco condensará continuamente sobre la superficie. Esto continuará mientras el calor sea transferido desde la superficie externa del elemento a un concentrado más húmedo y la gradiente térmica a través de la pared se mantendrá. Con la rotación del tambor, el elemento calefactor no está más en contacto con el concentrado húmedo, la gradiente térmica disminuirá a través de la pared y el vapor se consumirá sólo para calentar el vapor del agua y purgar el aire en esta área en particular. Con la rotación del tambor, el elemento se sumerge nuevamente en la cama de concentrado y toma contacto con el concentrado, y la temperatura del gradiente es reasumida.

45.1. Operación del secador

La operación de este equipo se basa en las instrucciones de operación del generador de gases calientes.

Se debe tomar en cuenta que el secador rotatorio es un equipo de alta intensidad de combustión, que requiere para su correcta operación una adecuada temperatura del refractario del fogón. Los cambios bruscos de temperatura acortan la vida útil del refractario.

45.2. Puesta en marcha

Antes de la puesta en marcha se debe verificar que los equipos están en condiciones de ser movidos y operados. Recorrer visualmente que todos los elementos estén con sus tapas instaladas y libres de toda obstrucción.

La secuencia de encendido es la siguiente:

- Extractor principal. Debe arrancarse con el dámper cerrado.
 - Esclusas.
 - Correa transportador de descarga o tornillo sin fin.
 - Cilindro rotatorio.
 - Ventilador de dilución. El ventilador de dilución debe abrirse para bajar la temperatura de ingreso de gases.
-
- Se debe encender el quemador con el mando en modo manual y fuego mínimo.

- Mantener en esa condición por 10 minutos para calentar todos los equipos. El quemador se detendrá por alta temperatura de gases de salida y se encenderá cuando la temperatura baje del valor de alarma de alta temperatura.
- En el ciclo de encendido del quemador debe adicionarse carga haciendo funcionar la correa de alimentación.
- Cuando la temperatura de secado este cerca del *set point de temperatura de operación* se traspasa el mando a automático.
- El control de temperatura dará la señal al quemador para mantener la temperatura de salida de gases del secador. El set point debe situarse de manera que el producto salga seco del secador. A menor temperatura de salida del secador mayor es el ahorro de combustible y mayor es la humedad de salida del producto. El set point debe situarse lo más bajo posible de acuerdo a las condiciones de operación; flujo de material y humedad de entrada.

Es muy importante que la temperatura de salida no sobrepase nunca la temperatura máxima que resisten los componentes mecánicos. Como también, es muy importante que la temperatura de salida no baje nunca de 80°C, dado que es la temperatura de rocío y el humedecimiento de los equipos por su interior hace que se adhiera el polvo en las paredes y se obstruyen. Es decir se debe evitar que condense agua en el interior. Para evitar este fenómeno se debe mantener la temperatura en torno al set point de operación normal.

45.3. Detención

Durante la operación, el refractario del fogón permanece a una alta temperatura. Si es enfriado bruscamente sufrirá serios daños.

Para detener el equipo debe bajarse la carga a un mínimo y después detener la alimentación de carga y el quemador. Los ventiladores se detienen cuando el equipo esté suficientemente frío.

¡NOTA IMPORTANTE!

EL TAMBOR DEBE GIRAR HASTA QUE SE ENFRIE COMPLETAMENTE EL EQUIPO. NO DEBE DETENERSE EL EQUIPO CON CARGA.



Módulo VIII: Operación de Proceso de Envasado, Carguío y Despacho

46. Envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno.

La operación de esta área implica el conocimiento de la totalidad de equipos utilizado, así como también los componentes principales para detectar a tiempo fallas mecánicas y operacionales de manera preventiva para el envío de sulfuro de molibdeno a los silos de una planta de tostación, así como también para el envasado, carguío y despacho de concentrado de Molibdeno cumpliendo con las especificaciones establecidas por los clientes y considerando la protección del medio ambiente, seguridad y salud ocupacional de la personas.

Los equipos principales presentes en el área de envasado, carguío y despacho de concentrado de molibdeno están compuestos por sistemas de transporte de sólidos como; tornillo helicoidal (sin fin), elevadores de capacho y de presión. Además de equipos auxiliares como: tolvas, válvulas, compresores y grúa horquilla.

Estos equipos deben ser inspeccionados por el operador para detectar fallas o ajustar parámetros que mejoren el control del proceso.

La figura siguiente muestra la distribución de los equipos de sistema de transporte desde la etapa de secado hasta el envasado y descarga de concentrado de Molibdeno.

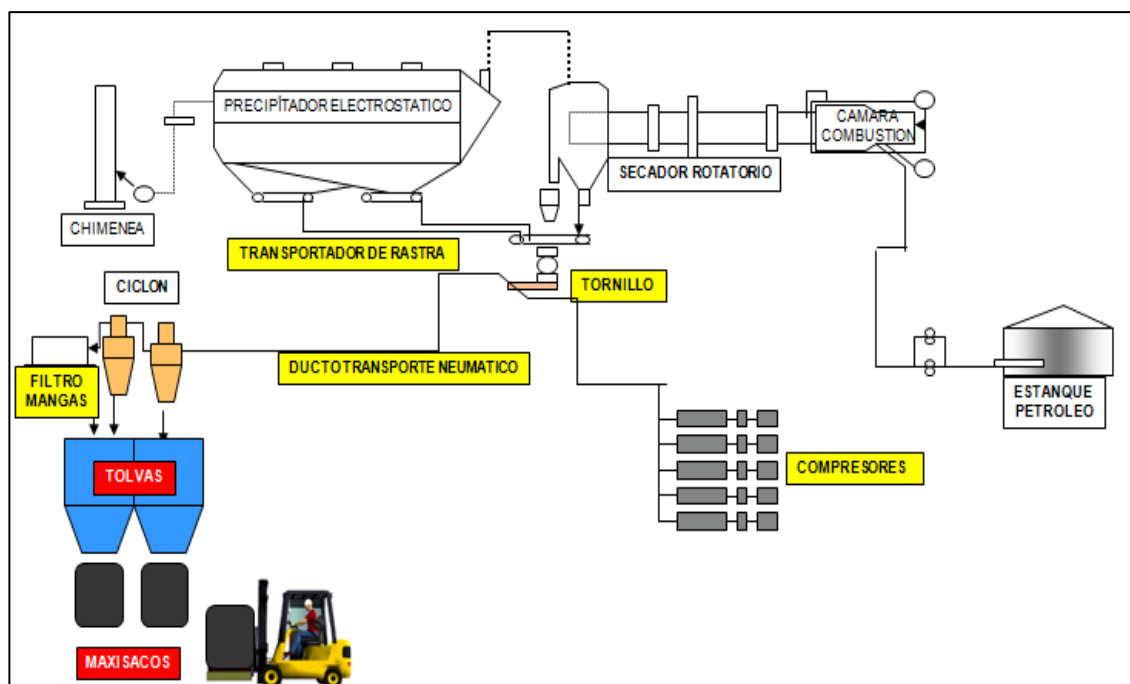


Figura 290

Sistema de almacenamiento, envasado, carguío y despacho del concentrado de Molibdeno.

46.1. Fundamentos del transporte de sólidos

Un transportador, es un elemento o maquinaria de carácter preferentemente electromecánico, destinado a trasladar productos o materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí, ubicados generalmente, dentro de una misma planta elaboradora.

Existen variados tipos de transportadores, y una variación de los mismos, pero los principales usados en el proceso de envasado del molibdeno son:

- Elevador de cubeta o capacho.
- Tornillo helicoidal.

46.1.1. Elevadores de cubeta o capacho

Los elevadores de cubeta están compuestos de una serie de cubetas montadas en una cadena o correa. Se usan para elevar material pulverizado, granulado o grumoso. El

material se recibe en la caja de carga y se eleva para descargar el conducto donde las cubetas están vacías. La mayoría de los elevadores de cubeta están cerrados y habitualmente se sostienen en el marco de la estructura de edificación, aunque existen momentos en que los elevadores de cubeta se auto sostienen.

46.1.2. Componentes del elevador de cubeta

Las partes que componen el elevador de cubeta son: la caja, correa o cadena, ruedas dentadas o poleas, rodamientos y cubetas.

Caja. La caja es el compartimiento por el cual viajan las cubetas del elevador y la cadena. El grosor puede ser de cualquier tamaño dependiendo de los materiales que se transportan. La caja habitualmente es nervada con un hierro de ángulo para entregar fuerza y sostén.

Cabezal. El cabezal del elevador sostiene la polea motriz, los rodamientos, el conducto de descarga, y el ensamble de la transmisión. La sección de la cabeza puede o no tener un compensador de tornillo.

Las transmisiones pueden ser:

- reductores de engranaje montado en eje con un tope de reposo incorporado
- Correa V y roldada.
- motores de cabeza de engranaje con transmisiones de cadena.

Los rodamientos generalmente son del modelo de cojinete.

Caja de Carga. Esta es la sección de fondo de la caja, y contiene una polea de cola, rodamientos, y un compensador de tornillo. Algunos elevadores usan la gravedad como dispositivo de tensión y por lo tanto no necesitan compensadores mecánicos. La caja de carga también guarda el miembro de carga o conducto.

Correa y cadena: La correa habitualmente es una correa de superficie de fricción. Puede estar recubierta por caucho, sintético, nylon, resistencia al calor, o algún otro diseño. La cadena del elevador habitualmente es de clase SBS, S o C como se define en las aplicaciones del fabricante.

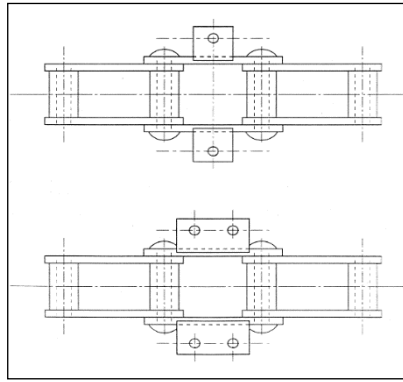


Figura 291

Cadena clase C con ajustes K1 y K2 para las cubetas.

La figura 292, ilustra una rueda dentada de cadena de división para la cadena del elevador. Una rueda dentada con dientes de oscilación, no se muestra, tiene un número impar de dientes.

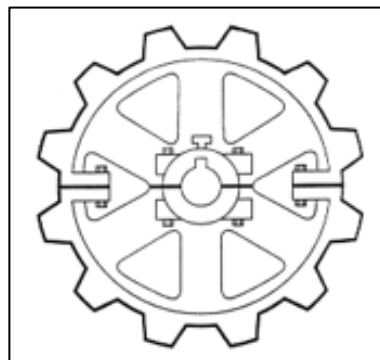


Figura 292

Rueda dentada

Esto, junto con la cadena de paso doble, contacta diferentes grupos de dientes cada revolución por segundo, lo que aumenta la vida de la rueda dentada en ejes de alta velocidad.

Cubetas: Las cubetas transportan los materiales, existen muchos modelos, dependiendo de la aplicación. Para los materiales abrasivos, se puede usar un cubeta templado o de hierro fundido. Las cubetas pueden fabricarse de plástico, y nylon para el grano. Los modelos de cubetas usados según su empleo, dependen de las especificaciones de los fabricantes.

46.1.3. Funcionamiento de correas elevadoras y componentes de un elevador de correa a cangilones

Los elevadores de correa a cangilones son los equipos más comunes y económicos para el movimiento vertical de materiales a granel. Los cangilones son los recipientes que

contienen el material, tomándolo en la parte inferior del sistema y volcándolo en la parte superior, para este cometido deben tener una configuración adecuada. Los cangilones van montados sobre la correa que es la que trasmite el movimiento del tambor de accionamiento y la que debe absorber los esfuerzos provocados por esta transmisión además del peso efectivo del material elevado y el peso propio de los cangilones. Las correas utilizadas deben poseer una gran resistencia transversal para garantizar la sujeción de los bulones del cangilón. Las mismas deben ser seleccionadas en función del cálculo a realizar de acuerdo a las características de cada elevador.

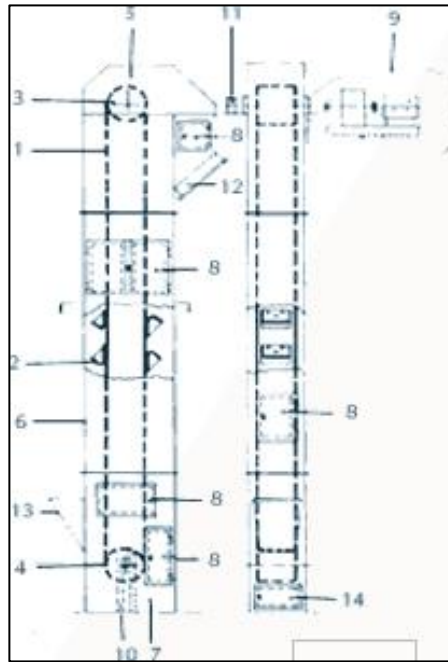


Figura 293
Elevador de correa a cangilones

- 1- Correa
- 2-Cangilones
- 3-Tambor de Accionamiento
- 4- Tambor de Reenvío
- 5- Cabeza del Elevador
- 6-Pantalones
- 7- Pie del Elevador
- 8- Puertas de Inspección
- 9- Unidad de Accionamiento
- 10- Estirador
- 11- Freno Automático
- 12- Descarga del Elevador

13- Tolva de Alimentación

14- Puerta de Limpieza

46.1.4. Descripción de los componentes

Unidad de accionamiento. Se encuentra localizada en la parte superior del elevador, está constituida por un motor y un reductor que puede estar ligado directamente al eje del tambor de accionamiento o a través de un acople elástico. Toda la unidad se sustenta por una plataforma construida a tal fin.

Tambor de accionamiento: Es el encargado de transmitir el movimiento a la correa, normalmente fabricado en fundición o chapa de acero. Pueden tener una pequeña biconicidad a los efectos de centrar la correa y siempre y cuando el cangilón lo permita. Es altamente recomendable el recubrimiento del mismo con caucho a los efectos de protegerlo del desgaste producido por la gran cantidad de polvo que genera el sistema. Este recubrimiento evita también el desgaste prematuro de la correa y hace eficiente el uso de la potencia ahorrando energía. También aumenta el coeficiente de rozamiento haciendo más difícil un eventual patinamiento. El diámetro del mismo se calcula en función de la descarga y la velocidad para lograr una operación eficiente.

Cabeza del elevador. También localizada en la parte superior del elevador y es una estructura metálica que contiene al tambor de accionamiento, formando parte de la misma la unidad de accionamiento, el freno y la boca de descarga. El capot de la cabeza o sombrero debe tener el perfil adecuado para adaptarse lo más posible a la trayectoria del material elevado en el momento de producirse la descarga. Esta trayectoria depende de varios factores como ser el tipo de cangilón, la velocidad de la correa y el diámetro del tambor de accionamiento.

Freno. Es un sistema ligado al eje del tambor de accionamiento. Permite el libre movimiento en el sentido de elevación. Cuando por cualquier motivo el elevador se detiene con los cangilones cargados, este sistema impide el retroceso de la correa, evitando así que el material contenido en los mismos sea descargado en el fondo del elevador. Los dispositivos más usados son: el de malacate o el de cinta.

Ramal de subida. Junto con el ramal de bajada une la cabeza con el pie del elevador. Normalmente fabricado en chapa plegada y soldada de construcción modular. Cada cuerpo se une al siguiente con pernos bulones. Su largo depende de la altura del elevador. Sus dimensiones deben ser tales que permitan el paso de la correa y los cangilones con holgura. Este ramal (también denominado "pantalón") contiene a la correa y cangilones

cargados en su movimiento ascendente. Sobre el mismo normalmente se encuentra ubicada la puerta de inspección.

Ramal de bajada. Caben las consideraciones generales indicadas para el ramal de subida. Este ramal (también denominado "pantalón") contiene a la correa y cangilones vacíos en su movimiento descendente.

Tambor de reenvío. Se localiza en la parte inferior del elevador. Sobre el eje del mismo se encuentra montado normalmente el dispositivo de estiramiento. Su construcción se recomienda que sea aleteada o tipo "jaula de ardilla" para evitar que el material derramado se introduzca entre el tambor y la correa provocando daños a la misma. Su diámetro es generalmente igual al tambor de accionamiento.

Dispositivo de estiramiento. Como su nombre lo indica este dispositivo permite el tensado de la correa para lograr un perfecto funcionamiento del sistema. Este dispositivo puede ser de dos tipos: a tornillo (el más usual) o automático (para elevadores de grandes capacidades).

Pie del elevador. Se encuentra ubicado en la parte inferior del elevador y contiene al tambor de reenvío. Son partes integrantes del mismo la tolva de alimentación y el dispositivo de estiramiento. Esta parte de la estructura se encuentra regularmente provista de puertas de inspección y de limpieza.

Correa. Estructuralmente y en términos generales las correas utilizadas en elevación son iguales a las utilizadas en transporte. No obstante debe tenerse muy en cuenta al momento de su selección, la mayor robustez que deben poseer. No olvidemos que su resistencia longitudinal se va a ver afectada por el perforado al que es sometida para la fijación de los cangilones a través de los bulones y debe poseer mayor resistencia transversal para lograr una correcta sujeción de los mismos.

A la hora de la selección de una correa elevadora y por lo expresado en el párrafo anterior, no solo es importante realizar el cálculo de tensión de la correa sino que la misma deberá dimensionarse en función de su robustez, de su capacidad para soportar el arrancamiento de los cangilones, de su porcentaje de estiramiento como así también la forma de estirarse en función del tiempo de uso, sus resistencias químicas y físicas, su capacidad para disipar la energía estática siempre presente en estos sistemas de elevación, su necesidad de ignifugancia (resistencia al fuego), y cualquier otro factor particular del sistema en estudio y que pueda influir de un modo determinante en la selección de la correa.

Cada modelo de correa posee una resistencia nominal al arrancamiento de los cangilones que se expresa en una proyección máxima que los mismos deben tener. Este es un dato que aporta el fabricante como así también el de porcentaje máximo de estiramiento y la forma de producirse el mismo a través del tiempo de uso. En función de este último punto es siempre recomendable la utilización de correas con urdimbre (sentido longitudinal) de poliéster, fibra que tiene un menor porcentaje de estiramiento (normalmente no mayor de un 1,5%) y el mismo se produce en los primeros meses de uso, luego del cual la correa ya no se estira.

Respecto a las dimensiones de la correa se recomienda observar los siguientes requisitos en cuanto al ancho de la misma: debe ser de 10 mm a 25 mm, más ancha que el cangilón de cada lado (entre 20 mm a 50 mm más ancha en total que el largo del cangilón).

La distancia del borde de la correa al lateral del pantalón debe ser como mínimo de 50 mm para elevadores de hasta 30 metros de altura y de 75 mm para los de mayor altura, a fin de evitar rozamiento lateral. Es también importante tener en cuenta el diámetro mínimo de tambor que la correa soporta como elevadora y que también es un dato aportado por el fabricante para cada modelo.

Durante el proceso de perforado de la correa para el alojamiento de los bulones del cangilón, es importante tener en cuenta que los agujeros deben ser del mismo diámetro que los bulones a utilizar y que deben estar alineados y escuadrados (ángulo de 90°) respecto a la línea central de la correa, para evitar distorsiones en el funcionamiento (vaivén).

Cangilones. Dentro del sistema de elevación son los elementos que alojan a la carga en su carrera ascendente. Según su construcción, pueden ser metálicos de chapa soldada o estampados, de material plástico, de fibra, de acero inoxidable o de fundición. Existen infinidad de formatos y dimensiones, cada fabricante de elevadores normalmente cuenta con un diseño particular. Existen también grandes fábricas de cangilones de diferentes materiales y con diseño estandarizado.

Las medidas básicas con las cuales se define un cangilón, son tres: Largo, profundidad y proyección (ver figura 294). En el proceso de selección de los mismos, se aconseja seguir las indicaciones del fabricante respecto a la velocidad de la correa y al diseño del capot o sombrero del elevador, fundamentalmente en los elevadores centrífugos donde el "momento" de descarga del cangilón es factor determinante de la eficiencia del sistema y está íntimamente ligado a la velocidad de la correa y diseño del capot indicados.

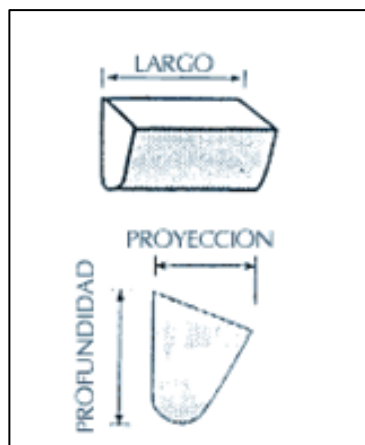


Figura 294
Medidas de un cangilón

Los cangilones son fijados a la correa a través de pernos bulones especiales de cabeza plana y de gran diámetro (ver figura 295). Es aconsejable el uso de arandela bombeada y tuerca autofrenante. El cangilón debe poseer un porción embutida anular a la perforación y que permita el alojamiento de la cabeza del bulón y de la correa para que dicha cabeza no sobresalga de la superficie interna de la correa, hecho que puede provocar aflojamiento de los mismos como así también pérdida de adherencia al tambor de mando cuando el mismo no se encuentra recubierto.



Figura 295
Detalle del perno bulón de fijación del cangilón

De acuerdo a como se monten los cangilones, diseño de los mismos y velocidad del sistema, los elevadores se pueden clasificar en:

Elevadores de descarga centrífuga. Como su nombre lo indica la descarga del cangilón se efectúa por fuerza centrífuga al momento de girar la correa sobre el tambor de mando. Los cangilones van montados en una o varias filas según su diseño. La carga se efectúa

normalmente por dragado del material depositado en el pie del elevador. La velocidad de la correa es alta (entre 1,2 a 4 m/seg).

El "paso" entre cangilones normalmente es de 2 a 3 veces su proyección. Existe una variante a este sistema, donde los cangilones son "sin fondo" y el espaciamiento es mínimo (entre el 10% y el 11% de su profundidad); cada un número determinado de cangilones sin fondo se intercala uno de igual perfil pero con fondo. Con este último sistema se logra una verdadera "columna" de material que permite diseñar elevadores de menores dimensiones para una misma capacidad de elevación. Estos elevadores se utilizan en materiales que fluyen libremente y secos (granos, azúcar).

Elevadores de descarga por gravedad. Los cangilones están instalados en forma continua, sin espaciamiento entre ellos y la descarga se efectúa por gravedad utilizando la parte inferior del cangilón precedente como tolva de descarga. La carga se realiza directamente desde tolva (no por dragado). La velocidad de la correa es baja (entre 0,5 a 1,0 m/seg). Estos elevadores se utilizan en materiales frágiles, muy húmedos o de alta granulometría.

Alineación de la correa. En un sistema de elevación, la falta de alineación de la correa provocará problemas tales como rotura y arrancamiento de cangilones, rotura de correa y daños estructurales en el elevador. Las causas de desalineación de correa más comunes en un sistema de elevación son:

- Uniones de correa descuadradas.
- Fijación de cangilones descuadradas.
- Carga del elevador descentralizada.

La doble conicidad de tambores de mando puede ser un auxiliar importante en la alineación de la correa, pero podrá ser utilizada solamente en aquellos casos donde el cangilón lo permita.

46.1.5. Datos requeridos para la correcta selección de una correa elevadora

En función de todo lo expuesto, a continuación detallamos los datos a obtener para la correcta selección de una correa elevadora:

- 1.- Material transportado
- 2.- Capacidad máxima de elevación
- 3.- Ancho de la correa
- 4.- Distancia entre centros de tambores

- 5.- Diámetro de tambores (mando y reenvío)
- 6.- Superficie del tambor de mando (recubierta o no)
- 7.- Tipo de sistema tensor
- 8.- Cangilones
- 9.- Velocidad de la correa
- 10.- Potencia instalada
- 11.- Sistema de carga

46.2. Modelos de elevadores de capacho

Existen varios modelos diferentes de elevadores de capacho, los principales modelos son:

- Descarga centrífuga
- Cubeta continuo
- Súper capacidad
- Descarga positiva

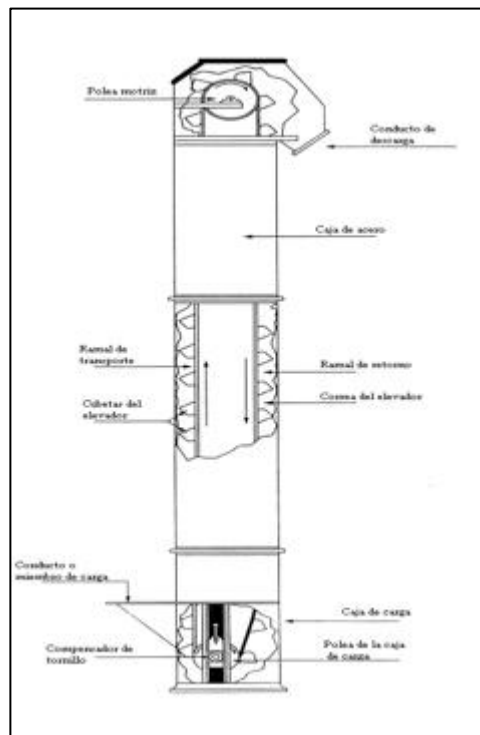


Figura 296
Elevador de capacho o cubeta común

46.2.1. Elevadores de cubeta de descarga centrífuga.

Este modelo de elevador funciona a alta velocidad, habitualmente de 56 a 90 m/min para la cadena y el sistema de rueda dentada. Este elevador toma el material desde la sección de la caja de carga y lo descarga mediante fuerza centrífuga una vez que ha pasado sobre la rueda dentada superior.

La velocidad de la trayectoria de la cubeta en este transportador es crítica ya que si las cubetas se mueven demasiado rápido, el material se descargará antes de tiempo y si la velocidad es demasiado lenta, el material no se descargará. En ambos casos, el material caerá sobre el soporte del elevador. Aunque el tamaño de la rueda dentada superior y las rpm pueden cambiar, una vez que están hechos los cálculos de la velocidad de la cadena y de la correa, éstas no deben ser alteradas.

En el curso de retorno la cadena o correa pueden flectarse pero sólo si hay espacio. Si no existe espacio suficiente, entonces las guías deben instalarse para que las cubetas avancen. Este modelo de elevador puede manipular la mayoría de los materiales finos o de pequeños agregados como también los materiales secos y de flujo libre como el polvo de grano o de piedra caliza.

46.1.4. Elevadores de cubeta continuo.

Los elevadores de cubeta continua no escarían el material fuera de la caja de carga como lo hace la descarga centrífuga. Este modelo de elevador debe cargarse de forma directa a través de un miembro de carga y a velocidades reducidas. La velocidad más baja reduce la posibilidad de que el material más delicado se dañe. Por lo tanto, estos elevadores son perfectos en donde se evitan las condiciones de polvo y el material quebradizo. Ellos manipulan material fino seco, de pequeños agregados y se usan para piedra, cemento, etc. Los materiales mojados o húmedos se intentan evitar.

Este modelo de elevador no debe funcionar a velocidades superiores a 45 m/min. Si el material no es de flujo libre, la velocidad debe reducirse. Si se usa en exteriores, la polea motriz debe revestirse. Si el material concentrado es un problema, pueden usarse las poleas de aletas. Estos elevadores generalmente están equipados con cadena.

Uso de una correa. Al igual que la descarga centrífuga, la velocidad puede aumentar si las cubetas se montan sobre una correa. Sin embargo, la velocidad de la correa generalmente no excede los 60 m/min. Cuando se usan correas el diámetro de la polea motriz aumenta sobre el diámetro de la rueda dentada de la cadena.

46.2.3. Elevadores de super capacidad.

Estos elevadores son del modelo de cubeta continuo; sin embargo, son mucho más pesados y usan una cadena de rodillo de acero de doble ramal, para trabajo pesado de paso largo. Como los elevadores de cubeta continua son más livianos, los elevadores de súper capacidad se alimentan a través del miembro de carga. Pueden equiparse con guías para que la cadena viaje y mantenga las cubetas en su lugar. Las transmisiones y rodamientos están ubicados en la estructura de acero debido a su peso.

Los elevadores de súper capacidad están diseñados para altas elevaciones y de grandes capacidades incluyendo materiales abrasivos desde finos hasta gruesos. Este elevador puede manipular piedra caliza seca, rocas, o carbón. Sin embargo, si el material está húmedo, el elevador no se debe usar. Son lentos en su operación, generalmente entre 23 y 37 m/min. Estos elevadores están contruidos para un servicio extremo y debe operarse en su propio rango velocidad.

46.2.4. Elevadores de descarga positiva.

Los elevadores de descarga positiva son similares a los de descarga centrífuga excepto que las cubetas están montadas en la parte posterior entre dos cadenas. Las cubetas en este transportador se unen a la cadena por ajustes fijos o ajustes de rótulas (ver figura 297)

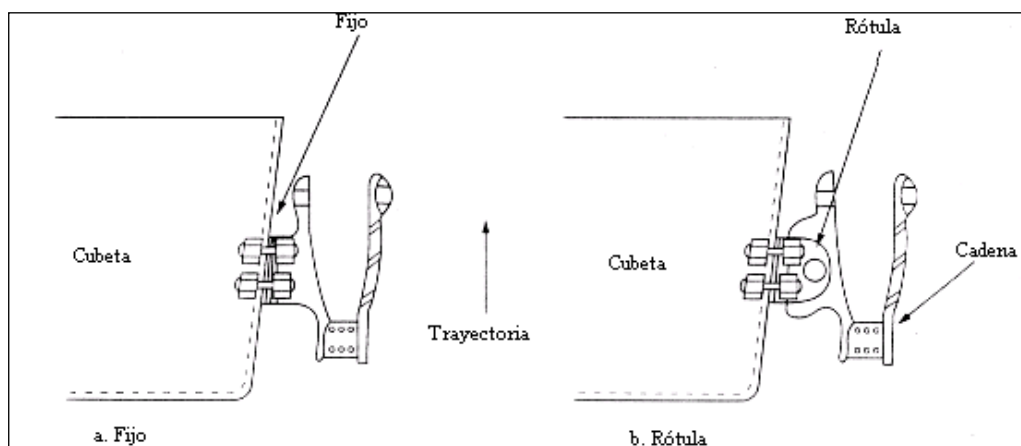


Figura 297
Ajustes de cubeta para elevadores de descarga positiva

Este elevador usa una cadena de clavija o cadena de rodillo. La velocidad de la cadena es de aproximadamente 37 m/min. Como las cadenas no se estiran de igual manera, los ajustes sólidos o fijos pueden quebrarse si una cadena se estira demasiado.

Las conexiones de la cadena son tales que las partes grandes del material pueden tomarse fuera de la caja de carga. Esto es similar a la descarga centrífuga. Sin embargo, debido a su baja velocidad las cubetas deben invertirse por medio de ruedas dentadas de apoyo como se ilustra en la figura 298.

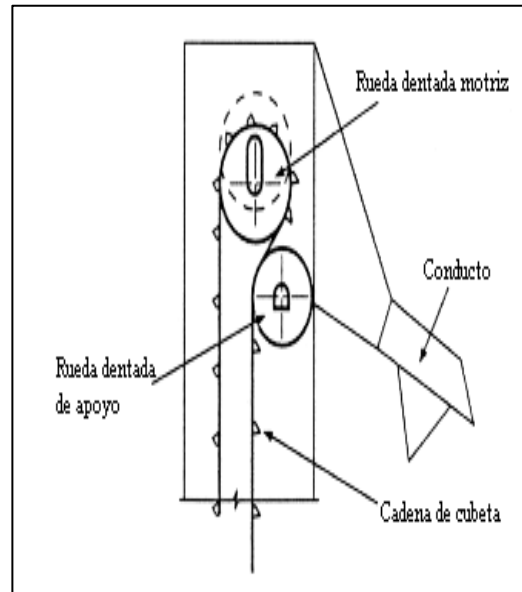


Figura 298

La rueda dentada de apoyo invierte las cubetas en un elevador de descarga positiva

Los elevadores de este modelo pueden manipular material que se puede pegar al acero y debido a su baja velocidad puede manipular materiales de flujo libre o delicado.

46.3. Transportadores de tornillo sinfin

Los transportadores de tornillo sinfin son unidades compactas que requieren un mínimo de mantenimiento cuando desempeñan su trabajo. Los transportadores de tornillo sinfin tienen varias ventajas y son los más versátiles de los transportadores:

- Los tornillos sinfin pueden mover el material horizontalmente, verticalmente o en forma inclinada.
- Pueden tener varias aperturas de entrada y salida lo que los hace buenos transportadores en cuanto al almacenamiento.
- Pueden diseñarse para ambientes libres de polvo.

- Los transportadores de tornillo sin fin poseen mango derecho o izquierdo y pueden tener diferentes intervalos que pueden aumentar o disminuir la de velocidad del material según se necesite, en todo el sistema.
- Las paletas del transportador pueden tener varios diseños para poder adaptarse a las diferentes aplicaciones.

Existen dos modelos básicos de transportador de tornillo sin fin. En uno, el tornillo sin fin gira dentro del tubo. En el otro, el tornillo sin fin se monta dentro del tubo para que ambos giren al mismo tiempo.

46.3.1. Componentes del transportador de tornillo sin fin

Los componentes básicos de la mayoría de los transportadores de tornillo sin fin son los mismos, pero sus diseños varían con respecto a su propósito (ver figura 299).

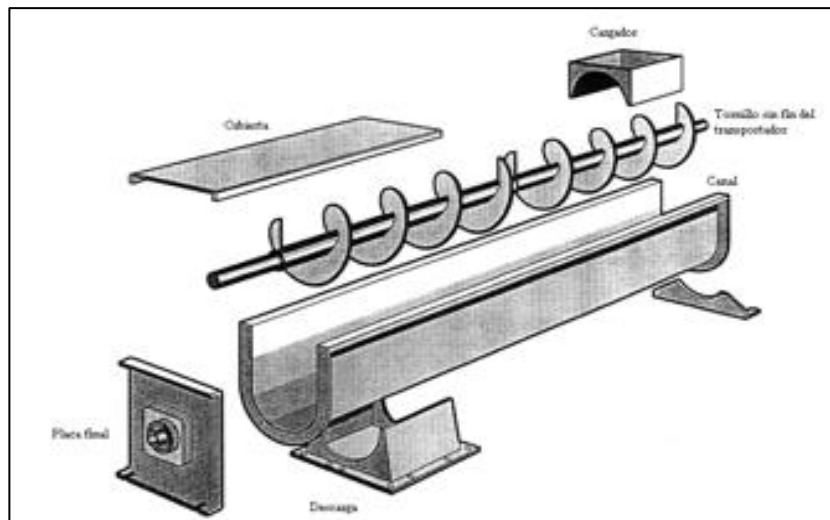


Figura 299
Tornillo sin fin

Tornillos. Los dos aspectos principales del tornillo sin fin en el transportador son el tipo de paleta y de paso.

Tipos de paletas. La paleta puede ser derecha o izquierda (ver figura 300):

- Si al mirar hacia abajo la longitud del tornillo sin fin, la paleta parece enrollarse en el sentido inverso de las manecillas del reloj, entonces es una paleta izquierda.
- Si parece enrollarse en el sentido de las manecillas del reloj, es una paleta derecha.

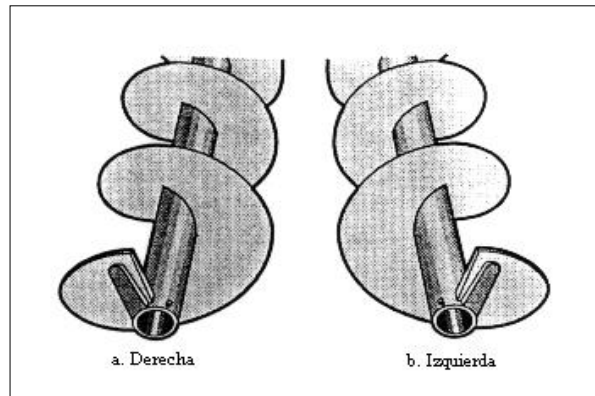


Figura 300
Paleta derecha e izquierda

Además, el diseño de paleta puede ser cualquiera de los siguientes:

Seccional: Las paletas seccionales pueden sacarse sin tener que remover todo el sistema. Estas paletas están disponibles en diámetros especiales, grosor, pasos o tamaños de tubo (ver figura 301). También están disponibles en acero inoxidable, bronce, cobre y otros metales. Las paletas pueden ser soldados por puntos al tubo, de soldado continuo en un lado o soldado continuo en ambos lados. Los extremos habitualmente están sujetos por argollas soldadas en el extremo.

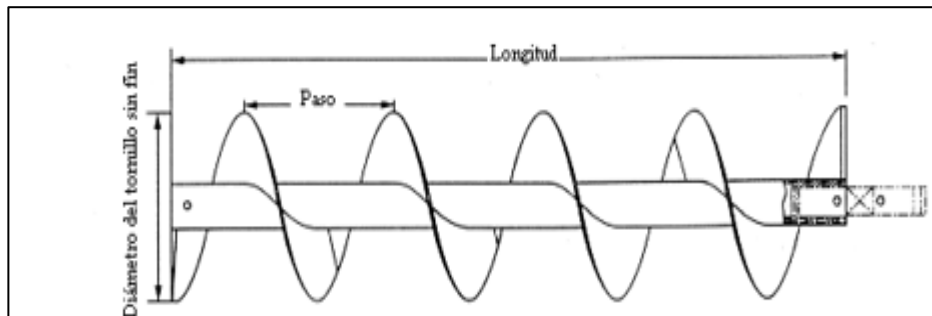


Figura 301
Tornillo sinfín seccional

Doble paleta: Este tornillo sin fin tiene dos veces el número de paleta en el misma vuelta que un tornillo sin fin estándar. Es decir, tiene la mitad de paso. Éste minimiza las ondas

cuando carga las escalas debido a su descarga uniforme. Habitualmente las dos paletas se necesitan sólo en los últimos giros del tornillo sin fin.

Helicoidal: Estas paletas son más gruesas y más resistentes que las paletas seccionales. La superficie de las paletas es de trabajo templado y suave. Una vez que estas paletas se instalan no hay costuras o divisiones que obstaculicen los materiales. Este modelo de paleta es particularmente bueno para el transporte de grano.

El Paso. El paso de un tornillo sin fin generalmente es igual al diámetro de la paleta. Es decir, si la paleta tiene 25 cm de diámetro, el tornillo sin fin tiene un paso de 25 cm. Sin embargo, se usan diferentes variaciones de paso para diferentes tipos de material, como los que se indican a continuación:

Estándar: El paso estándar es en el que el paso es igual al diámetro de la paleta.

Paso corto: El paso en este tornillo sin fin es menor que en el paso estándar. Estos tornillos sin fin se usan como cargadores a otros equipos. El diseño evita la caída de gran cantidad de material en el transportador y también se usa en las pendientes excesivas.

Paso largo: El paso largo está diseñado para un rápido movimiento de materiales de flujo libre como los líquidos.

Paso variable: Estos transportadores se usan bajo largos depósitos de almacenamiento como los tornillos sin fin cargadores. Este tipo de paso permite que el material se extraiga de toda la longitud de la apertura.

Paso escalonado: Este tipo de paso aumenta ligeramente a medida que se mueve a lo largo del canal. Este diseño proporciona un flujo suave de materiales a lo largo de toda la longitud de la paleta.

Diámetro cónico: Estos tornillos sin fin crean una extracción uniforme a través de la apertura. Pueden usarse con la mitad del paso y deben usarse en canales cónicos.

46.3.2. Canales y cubiertas

Diferentes modelos de canales se usan en los transportadores de tornillo sin fin. La mayoría de los canales tienen la forma de U ya que deben ser redondos en el fondo para

acomodar el contorno cilíndrico del tornillo sin fin. También existe una amplia selección de cubiertas usadas tanto para seguridad como sellos para polvo.

Canal de doble brida. Las bridas laterales dan fuerza y sostén al canal. Los canales de doble brida (figura 302) proveen un transportador a prueba de polvo cuando usan cubiertas diseñadas para los lados con bridas. Las cubiertas pueden suministrarse con burlete para un mejor sellado. Estos canales pueden ser de acero inoxidable o de otros metales.

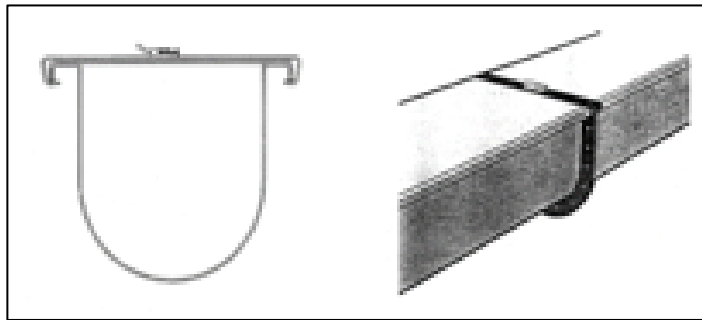


Figura 302
Canal de doble brida

Canal angular. Un canal angular tiene un hierro de ángulo que corre por toda la longitud del canal junto a la arista de corte. Como el ángulo es de otra pieza de metal ésta provee apoyo a los lados del canal. Este canal puede ser de acero enrollado o de otras aleaciones. La figura 303, ilustra el canal angular con una cubierta plana y una cubierta de techo de caballete como protección al aire libre.

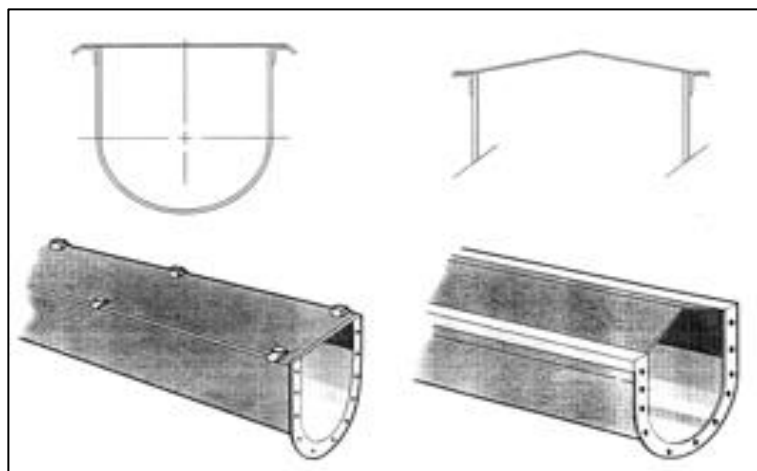


Figura 303
Canal angular

Otros canales especiales. Los diseños de canales especiales incluyen el tubular, chaqueta para refrigeración, rectangular, abocinado, y de fondo.

46.3.3. Soportes colgantes.

Los soportes colgantes son las partes que llevan el peso del tornillo sin fin entre los extremos del canal. Los rodamientos pueden ser de madera, bronce, nylon o de otros productos como el teflón. Están diseñados para usarse en varias condiciones. Ellos pueden:

- Ofrecer baja resistencia al flujo y están mejor adaptados para condiciones de prueba de intemperie.
- Estar diseñados para condiciones de polvo abrasivo
- Tener rodamientos de auto alineación y usarse en tornillos sin fin largos, de lenta rotación.
- Ajustarse al uso a secciones de altas temperaturas del transportador. Los soportes colgantes se deslizan a lo largo del ángulo para acomodarse a la expansión y contracción.

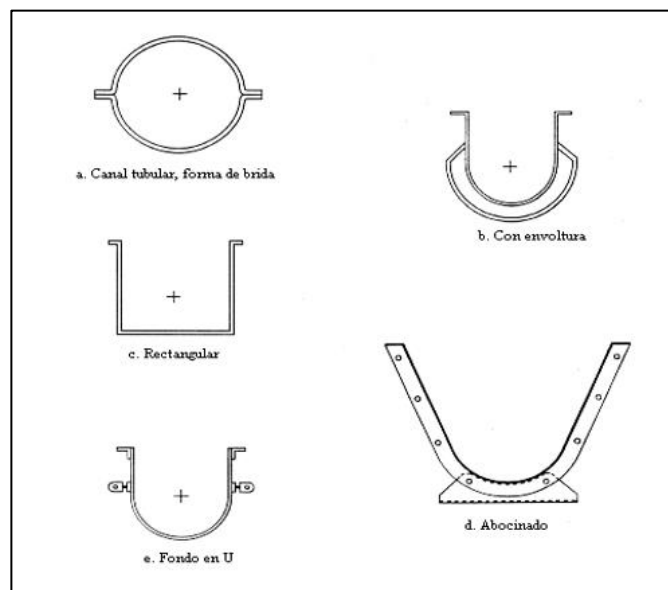


Figura 304
Canales especiales

46.3.4. Ensamblajes de transmisión y acoplamientos de eje para los transportadores de tornillo sin fin.

Las transmisiones habitualmente son un tipo de reductores de engranaje montado en un eje. Son dirigidos por motores de caballo de fuerza fraccionales o integrales a través de las correas en V. El motor puede conectarse al eje de entrada con cadena y rueda dentada, transmisiones hidráulicas o poleas de paso variable entre el motor y el reductor.

Otros diseños incluyen cargadores de fondo vivo, que tienen un número de tornillos sin fin dirigidos en tándem. Estos sirven como fondo para el depósito.

Los tornillos sin fin pueden acoplarse por medio de un buje de tubo o acero sólido, enrollado en frío.

46.3.5. Designaciones del transportador de tornillo sin fin.

Los transportadores de tornillo sin fin se designan con una serie de números y letras. Por ejemplo, el número del transportador se lee 12H512 RH y entrega la siguiente información:

El primer número (de uno o dos dígitos) en el diámetro en pulgadas:

En este caso, el diámetro es 12".

La próxima unidad es una letra que denota el tipo de paleta:

En este caso H denota helicoidal.

La próxima unidad en un solo dígito que da el diámetro del acoplamiento:

$2 = 1''$ $3 = 1 \frac{1}{2}''$ $4 = 2''$ $5 = 2 \frac{7}{16}''$ $6 = 3''$ $7 = 3 \frac{7}{16}''$

La cuarta unidad es de dos dígitos que denota el grosor de la punta de la paleta en 64 centésimas de pulgada:

En este caso, el número 12 indica el grosor de la paleta = $12/64'' = 3/16''$.

Las últimas dos letras denotan la posición derecha o izquierda.

Este tornillo es un tornillo sin fin helicoidal de 12" con un acoplamiento de diámetro $2 \frac{7}{16}''$ y con una paleta con un grosor de $3/16''$ en la posición derecha.

46.4. Transportadores de rodillos

Los transportadores de rodillo se usan para manipular depósitos con pesos que fluctúan desde unos pocos gramos hasta aproximadamente 25 toneladas. El extremo más pesado está restringido a aplicaciones especiales como los molinos de acero. Los transportadores de rodillo tienen dos modelos: gravedad y energizado (*vivo*).

46.4.1. Transportadores de rodillo de gravedad.

Los transportadores de rodillo de gravedad pueden trasladar material en forma rápida y en cualquier dirección horizontal. Si está inclinado, pueden usar la gravedad para mover el material. En una superficie nivelada, el objeto puede ser empujado por un impulsador o por las cargas de materias desde una fuente externa. Estos transportadores son prácticos para las cargas con un fondo plano resistente. La figura 305, ilustra un depósito de rodillo de gravedad común.

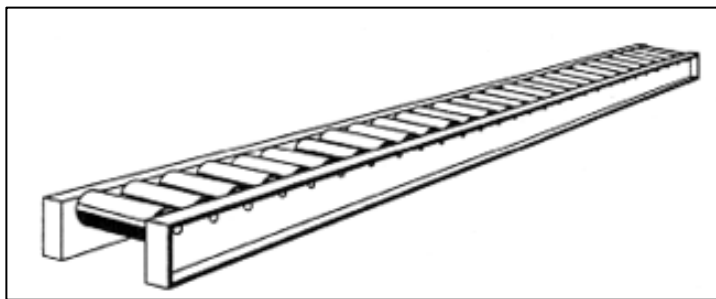


Figura 305
Transportador de rodillo de gravedad

46.4.2. Transportadores de rodillo vivo.

Existen tres modelos básicos de transportadores de rodillo vivo:

- rodillo vivo de transmisión por cadena
- rodillo vivo de transmisión por correa
- correa que se desplaza la base del rodillo

Generalmente los rodillos de transmisión por cadena y por correa se van a usar en un plano horizontal; sin embargo, algunas veces se puede usar un plano ligeramente inclinado o inclinado. Estos transportadores pueden usarse donde se permite la acumulación de material. Los transportadores de correa generalmente no se usan en áreas de acumulación, sino de preferencia en planos inclinados.

Rodillo vivo de transmisión por cadena. Se usan tres configuraciones (ver figura 306) para la transmisión de los rodillos por cadena:

- Todos los rodillos se accionan.
- Los rodillos se accionan entre sí.
- cadena continua.

Las diferentes configuraciones permiten transportar los pesos menores o mayores. Este tipo de transportador requiere cargas con fondos levemente rígidos que permitan que los depósitos se deslicen por los rodillos. Son convenientes para cargas pesadas como vigas y plataformas de carga. No se deben usar en transportadores de más de 10° de inclinación o declinación.

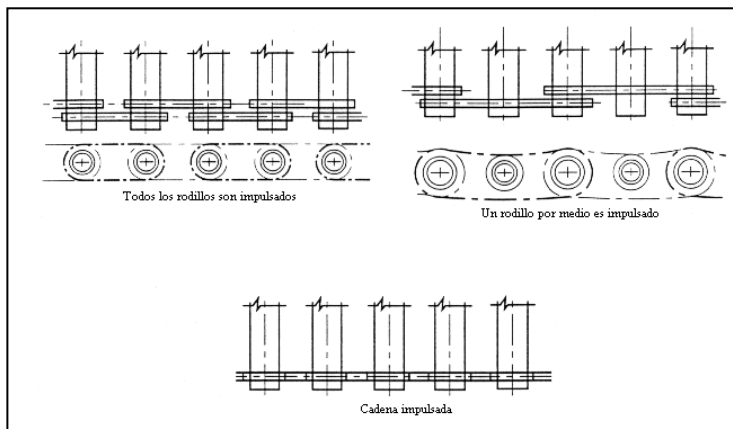


Figura 306

Configuraciones de transportadores de rodillo vivo de transmisión por cadena

Rodillo vivo de transmisión por correa. El rodillo en este transportador se acciona por una correa que va entre los dos rodillos. Al igual que con la cadena, este transportador se provee a sí mismo de una fácil adaptación para transferir y desviar las cargas. Los rodillos de presión que mantienen la correa de transmisión en contacto con los rodillos de transporte son ajustables. Los rodillos vivos de transmisión por correa no deben usarse en transportadores de más de 10° de inclinación o declinación.

La figura 307 ilustra un transportador de rodillo vivo de transmisión por correa con rodillos de presión ajustables. La ventaja es que la presión puede disminuir en áreas de acumulación de carga y aumentar en áreas de transporte recto sin interrupciones.

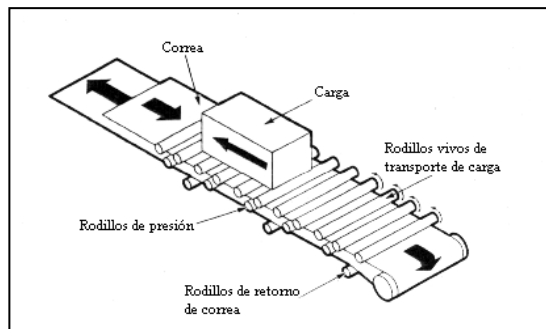


Figura 307

Configuraciones de los transportadores de rodillo vivo de transmisión por correa

Transportadores de base de rodillo (correa que se desplaza sobre la base del rodillo). Los transportadores de base de rodillo permiten una mayor inclinación que los rodillos vivos de transmisión por cadena o correa. Se pueden usar en planos inclinados o inclinados de hasta 30°. La figura 308, ilustra un transportador de base de rodillo común. Este modelo de transportador es el más versátil. La correa puede transportar más tipos de productos y a mayor inclinación. La mayor inclinación permite un movimiento de piso a piso y área a área sin equipo especial.

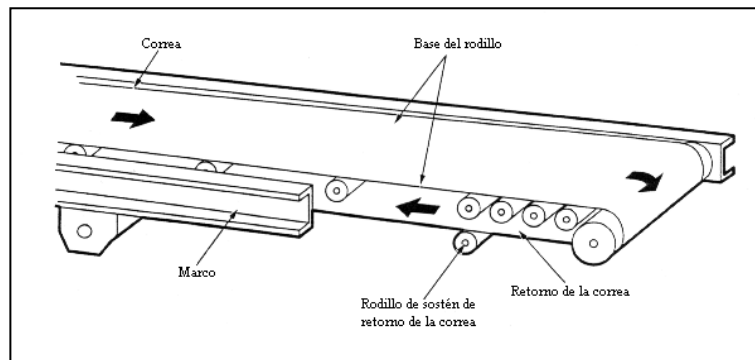


Figura 308

Transportador de base de rodillo común

46.4.3. Componentes del transportador de rodillo

Varios componentes conforman un sistema de transportador de manipulación del depósito:

- Rodillos
- depósitos de rodillo
- rodamientos

- transmisiones
- curvas de rodillo vivo de transmisión por correa
- correas.

47. Sala de compresores

El compresor es el elemento que toma las partículas de aire libre desde la atmósfera, mediante una fuerza externa las reducirá de volumen y luego las almacenara o las devolverá a la atmosfera.

El aire: Es el nombre que recibe la combinación de gases que forma la atmósfera de la Tierra.

El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado y está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias tales como el nitrógeno (78%), oxígeno (21%), vapor de agua (variable entre 0-7%), ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y algunos gases nobles como el criptón o el argón.

La atmósfera se divide en capas de acuerdo a la altitud, temperatura y composición del aire. La presión del aire disminuye con la altitud.

El aire es una mezcla de gases y vapor de agua, sujetos por la fuerza de gravedad alrededor de la Tierra, formando una capa llamada atmósfera. Ella sostiene y protege la vida en este planeta.

47.1. Aire comprimido

Consiste en el proceso de reducir el volumen del aire; mediante un equipo que actúa como una bomba compresora ejerciendo presión sobre éste. Una vez comprimido se transforma en energía, con la que podemos mover, accionar un mecanismo o una herramienta.

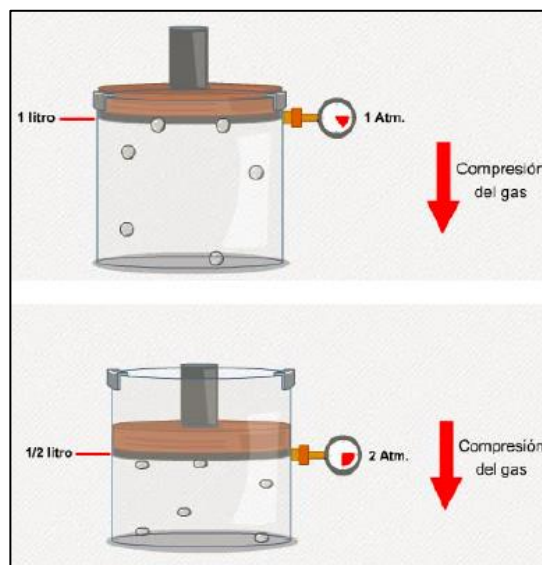


Figura 309
Compresión de aire

Las aplicaciones son muy variadas. Algunas de las más comunes son:

1. Actuadores neumáticos en procesos industriales, donde la robótica tiene un campo muy especial.
2. En la industria farmacéutica y de alimentos, donde se requiere aire comprimido de excelente calidad y pureza.
3. Para el transporte de productos y materiales; como por ejemplo:
 - a. El transporte de concentrado de cobre mediante lecho fluidizado.

- b. Transporte de muestras metalúrgicas a laboratorio.
 - c. Transporte de documentos y valores en supermercados y bancos.
4. Para usos diversos, tales como: herramientas neumáticas, pintura, inflado de neumáticos, etc.

47.2. Etapas de un sistema básico de aire comprimido

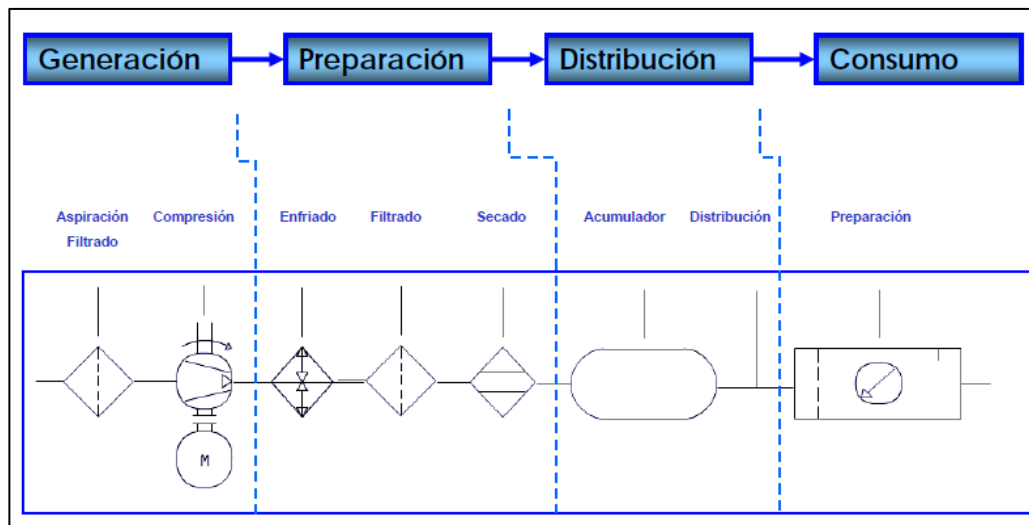


Figura 310
Etapas de la compresión de aire

En la primera etapa llamada de *Generación* identificamos la aspiración, el elemento filtrante y el compresor.

La función del elemento filtrante es atrapar las partículas de mayor tamaño, arrastradas por el flujo de aire que ingresa al compresor.

La función del compresor es reducir el volumen del aire y esto se efectúa mediante diferentes métodos:

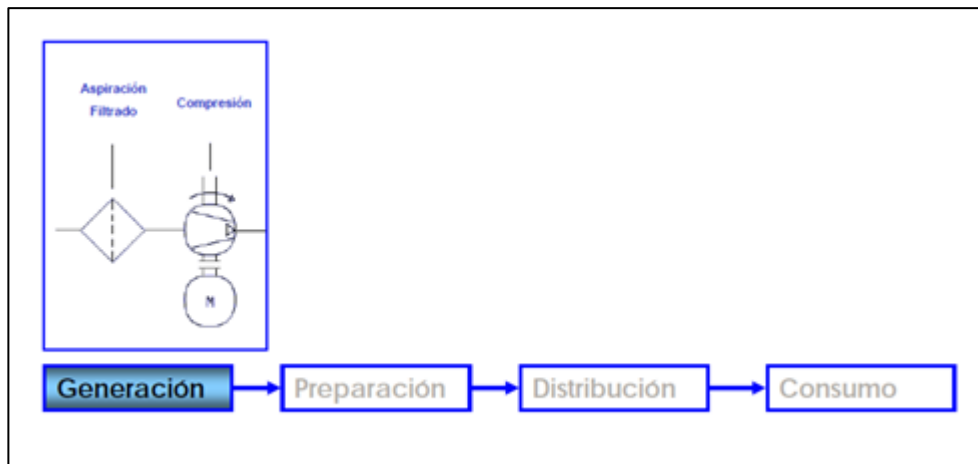


Figura 311
Generación

- a.- Compresor de embolo o pistón.
- b.- Compresor de rotor.
- c.- Compresor de paletas, de los cuales hay centrífugos y axiales

El aire una vez que ha sido comprimido, dependiendo del tipo de compresor usado en el proceso, requiere ser tratado antes de ser enviado a proceso; esto dependiendo del uso o aplicación posterior, entrando a la etapa de *Preparación*.

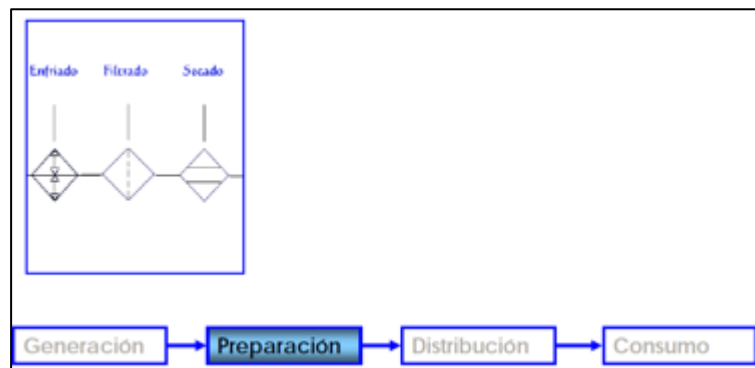


Figura 312
Preparación

Enfriado: El aire se calienta al comprimirse, por lo cual hay que enfriarlo antes de distribuirlo.

Filtrado: Si se trata de un compresor de tornillo, se necesita separar el aire del aceite, empleado en la etapa anterior de compresión.

Secado: Esta etapa es opcional, dependiendo del uso posterior del aire (uso todo propósito o para instrumentación).

Una vez seco el aire o completada la etapa de preparación, puede pasar a la etapa de *Distribución*.

Para la distribución del aire comprimido se requiere de: estanques acumuladores, estanques pulmones, soportes y anclajes a estructuras. Los estanques se usan como almacenamiento de aire a presión. Permiten mantener un poco más estable la presión de la red y poder tener reserva en caso de una mayor demanda en los puntos de consumo.

Otra finalidad es que los compresores trabajen más aliviados y con un menor consumo de energía. Si el estanque está mal dimensionado o en los puntos de consumo hay pérdidas, obligará al compresor a trabajar de manera continua y en consecuencia, la vida útil de partes y piezas se verá acortada.

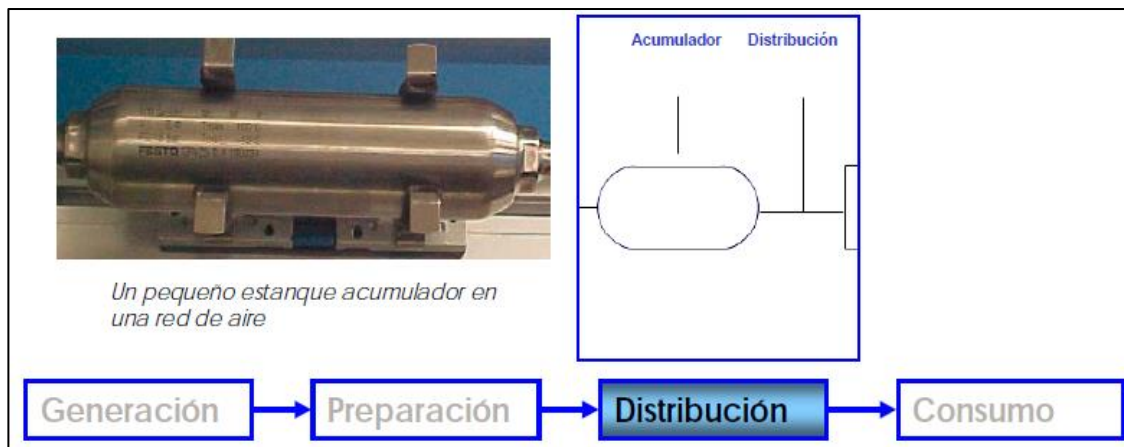


Figura 313
Distribución

47.3. Normas de sistemas de distribución básicas

Las líneas o cañerías de fluidos, ya sean gases o fluidos cuentan con una norma de identificación del fluido, mediante el color de la cañería.

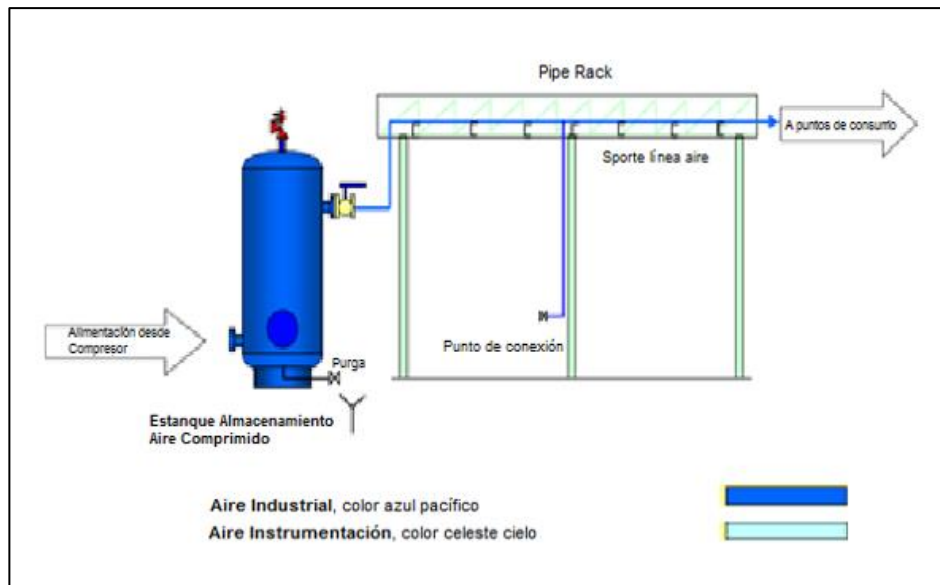


Figura 314
Distribución y colores de líneas

Para poder efectuar el consumo del aire acondicionado, se requiere de equipos y elementos que permitan operar de modo seguro y sin que produzca daño a los procesos, a los materiales, o a las personas

Para esto intervienen diferentes elementos o sistemas:

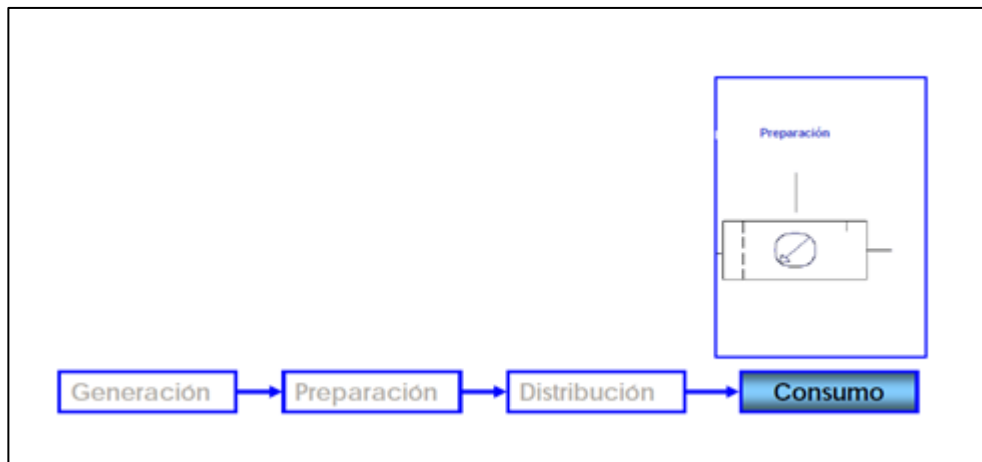


Figura 315
Consumo

1. Suministro local de energía.
2. Sensores.
3. Elementos de procesamiento.
4. Elementos de mando.
5. Actuadores

6. Accesorios

47.4. Elementos del sistema neumático que consumen aire comprimido

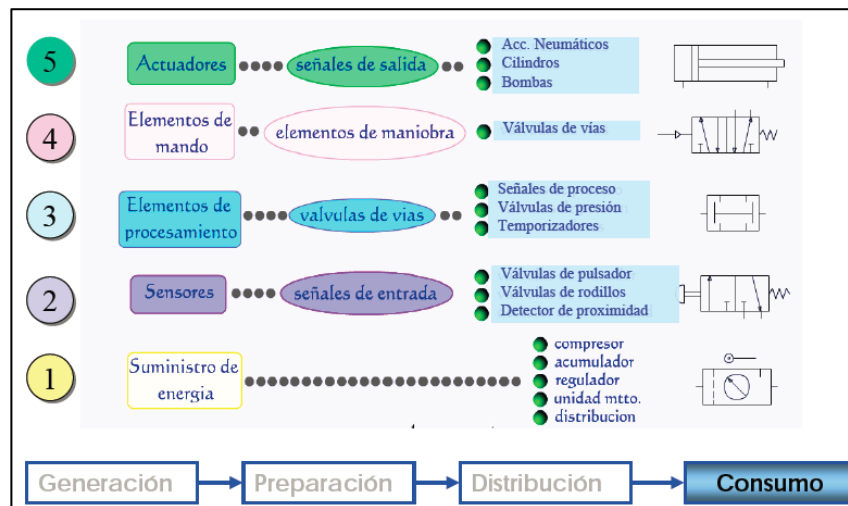


Figura 316
Consumo de aire del sistema neumático

Las redes principales trabajan normalmente a media presión, sin embargo para el uso puntual, es necesario regular la presión mediante un “regulador” de presión. Normalmente en los puntos de consumo se emplean módulos compactos que incluyen, además del regulador, un filtro y un lubricador (FRL). Este último dependerá si el sistema o equipo necesita ser lubricado para su funcionamiento, de lo contrario, el módulo puede tener sólo filtro y regulador (FR).

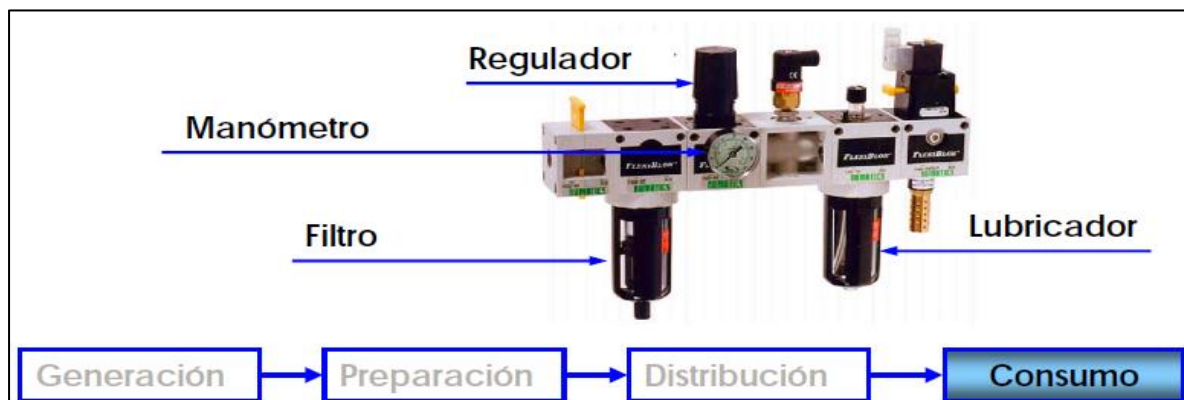


Figura 317
Control de presión

48. Envasado y carguío de concentrado de molibdeno

48.1. Envasado

El envasado del concentrado de molibdeno se realiza en maxisacos certificados de 1200 a 2000 ton de capacidad, cuyas características y resistencia al peso vienen certificadas de fábrica. Algunos datos de esta certificación de los fabricantes.

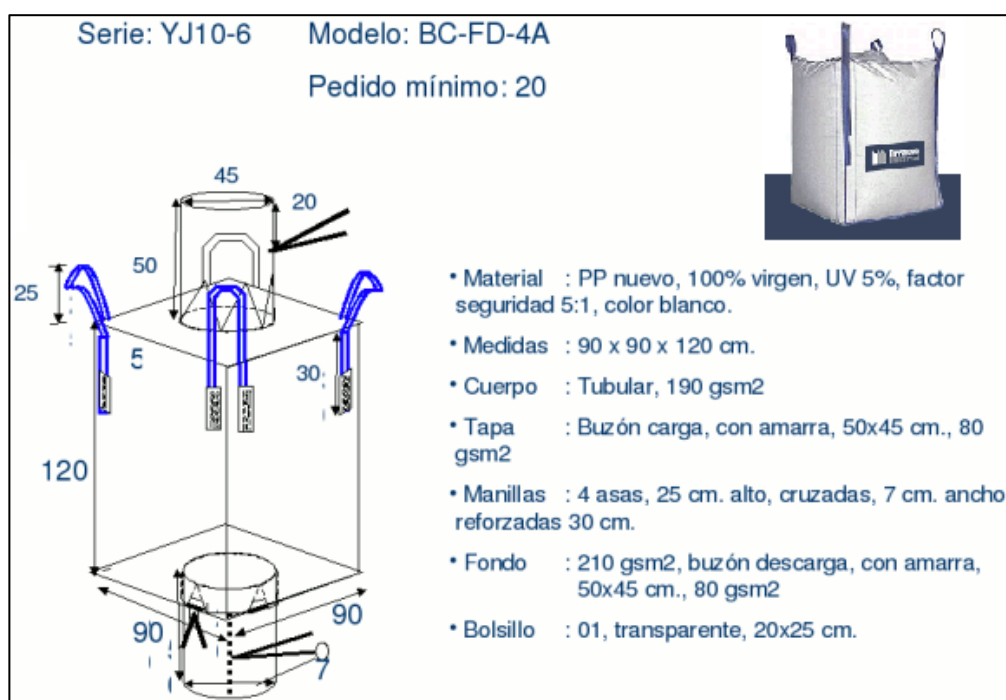


Figura 318

Datos técnicos de un maxisaco industrial

El envasado final del concentrado seco de molibdeno se realiza en una máquina semi-automática para maxisacos de capacidad entre 1500 a 2000 kilos de peso aproximadamente.

El maxisaco se coloca debajo de la tolva de carga que posee un sistema de envasado semi automático, en el cual el operador con la botonera partir inicia el ciclo de carga en el cual la báscula o pesa registra el peso inicial del sistema y luego abre la válvula para iniciar la carga del concentrado, fase que terminará una vez se alcance el peso máximo impuesto por el sistema 1500 kilos. Cuando el peso máximo sea registrado por la báscula, se inicia el cierre de la válvula de carga. Existen sistemas de envasado que son capaces de almacenar dos o tres

programas diferentes para diferentes pesos de carga como 1000, 1500 ó 2000 kilogramos, en cuyo caso el operador antes de iniciar el proceso de llenado del maxisaco debe seleccionar el programa de acuerdo a la capacidad del maxisaco a utilizar. Ante cualquier problema que pudiese presentarse como el no cierre de la válvula cuando llegue al peso máximo, el operador puede manejar de forma manual la válvula para forzar el cierre en caso de que los sensores no operen.



Figura 319
Sistema de carguío semiautomático de concentrados

Una vez que el maxisaco ha sido cargado, el operador debe registrar el peso en planilla de control que luego debe ser informado a jefatura para el cierre de turno y cuadratura con romana.

El patio de almacenamiento de maxisacos es un área cercada y con acceso restringido. En ella se almacenan los maxisacos en espera de su transporte definitivo. El sector permite en su interior el desplazamiento de grúas horquillas y un sector de carguío de camiones.

El maxisaco cargado es retirado con la grúa horquilla por un operador autorizado para la operación de equipo pesado. El operador de terreno debe indicar a operador del equipo si están sujetas las cuatro orejas del maxisaco como manera de asegurar el retiro de la carga hacia bodega de almacenamiento en donde la carga queda en espera de los camiones que la trasladarán hacia el punto de distribución.



Figura 320
Sistema de traslado con grúa horquilla

Los derrames por eventuales roturas que pudiesen producirse en los maxisacos por manipulación o disposición al interior del patio, destapes por obstrucción en la línea de transporte neumático, se recogen en seco y son reprocesados en la planta.

48.2. Muestreo de la producción de molibdeno

El sistema de envasado semi automático en general cuenta con un sistema de muestreo automático que tiene lugar cada vez que se realiza el proceso de carga de un maxisaco, que al término de este proceso el operador cambia la bolsa con muestra por otra vacía y procede a la rotulación de la muestra de acuerdo al código adjudicado al saco. Esta muestra es enviada al laboratorio metalúrgico y químico para análisis de humedad y análisis químicos.

La humedad del molibdeno envasado debería ser $< 1\%$. Por instrumentos de rayos X (espectro fotómetro de absorción atómica) se determinan concentraciones, en %, de Molibdeno, Hierro, Cobre, Arsénico, Zinc, Calcio, Azufre e Insolubles.

Las concentraciones promedios de algunos elementos importantes. para el concentrado de molibdeno son:

Mo $> 48\%$

Cu $< 2.5\%$

As $< 0.15\%$

Pb $< 0.040\%$

En caso que el muestreo sea manual al término de carguío del maxisaco, el operador procede a utilizar una sonda para muestreo de 1 mt de largo y 1" de diámetro.

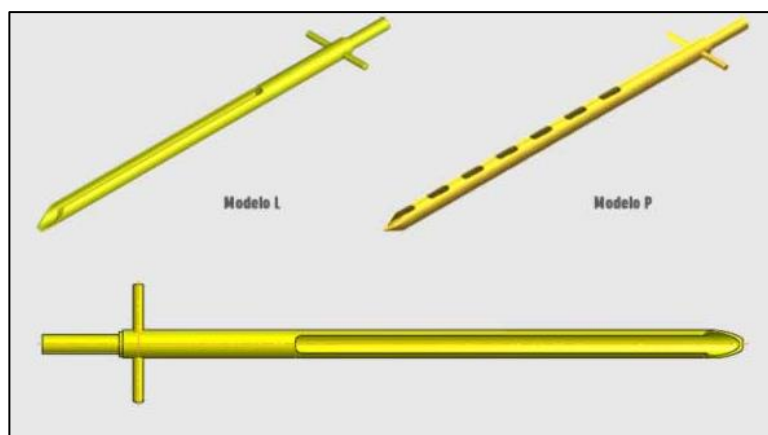


Figura 321
Sondas para muestreo

Para ejecutar este muestreo procede a realizar una malla de 4 puntos en la boca del maxisaco. Todos los incrementos tomados son almacenados en una bolsa plástica de polipropileno, la cual se sella y se identifica con la siguiente información antes de ser enviada al laboratorio químico para su análisis químico:

Fecha de operación
Número de muestra
Nombre del material

En caso de que el lote envasado no cumpla con las especificaciones del cliente, se clasifica como Producto No Conforme (PNC), se siguen procedimientos establecidos y se devuelve para ser reprocesado en la planta.

49. Carguío con grúa horquilla

49.1. Introducción a la operación de grúa horquilla

Gran parte de las actividades que se realizan en las empresas, consisten en movilizar materiales en las diferentes etapas del proceso productivo.

Paulatinamente, estas actividades se han ido mecanizando para hacer más productivo este movimiento de materiales, que en su conjunto consta de diferentes operaciones como:

Transportar

Levantar y depositar
Apilar o almacenar

Entre los equipos mecanizados más utilizados, por su versatilidad, está la grúa horquilla o montacargas, que permite realizar prácticamente todas las operaciones de manejo de materiales con excelente rendimiento.

49.2. El operador de la grúa horquilla

Las grúas horquillas sólo deben ser operadas por personal entrenado en su manejo, esto es lograr el transporte y almacenamiento, sin causar lesiones a personas ni daños al equipo ni materiales. En la medida que se convierte en conductor eficiente y seguro, será un mejor conductor.

Toda persona que conduzca u opere éstos equipos deberá estar debidamente autorizada y poseer licencia de conductor clase D, conforme a lo indicado en el Art. 12ª, inc. 5ª de la ley de tránsito N° 18.290, y en concordancia con el Art. 5° de la misma ley y además debidamente autorizado por el Departamento de Prevención de Riesgos de la Empresa.

Es la obligación del operador utilizar en todo momento los Elementos de Protección Personal que se le hayan asignado, además es el responsable de la operación segura del equipo.

49.3. Manejo seguro en la grúa horquilla

El operador de la grúa horquilla debe ser un trabajador capacitado en el manejo mecanizado de cargas o materiales en ejercicios de movimientos, movilización, apilamiento y transporte de todo tipo de materiales de diferentes formas y tamaños.

Las diferentes tareas que realiza una grúa horquilla son:

- a) Movilizar materiales desde un punto a otro operando la maquina
- b) Cargar y descargar camiones con materiales desde y hacia las bodegas o sector de almacenamiento
- c) Apilar materiales dentro y fuera del sector de acopio o almacenamiento
- d) Efectuar inspecciones visuales antes de operar, durante la operación y después de terminar la faena

Los lugares más comunes en donde está expuesto un operador de grúa horquilla a situaciones críticas son:

- a) Interiores de galpones, almacenes, bodegas con espacios reducidos y exteriores.
- b) Sobre superficies de trabajos irregulares.
- c) Áreas de trabajos cerradas y mal ventiladas.
- d) Ambientes nocivos y ruidosos.
- e) Áreas con mucho tráfico de camiones u otras grúas o maquinarias.
- f) Lugares con muchas personas transitando como transeúntes.

En esta actividad existen muchos riesgos asociados tales como:

- a) Golpes contra estructuras metálicas estacionadas.
- b) Exposición a ruidos.
- c) Caídas de distinto nivel al subir o bajar de la máquina y en superficies inestables y/o dispares.
- d) Caídas y golpes en volcamiento de la máquina por efecto péndulo de la carga o por sobre pasar el límite de carga de la grúa.
- e) Prendimiento y atrapamiento de otros trabajadores.
- f) Exposición a sustancias peligrosas en su manipulación o en el ambiente de trabajo cerrado.
- g) Sobre esfuerzo por postura de trabajo en la cabina.
- h) Golpes por caída de la carga suspendida por falla en el sistema hidráulico de levante.
- i) Golpes contra estructuras por falla en el sistema de dirección o frenos.

Atención. Al comenzar el turno, el operador deberá revisar la grúa horquilla en base a las indicaciones de la hoja de chequeo diario. Si alguna de ellas no estuviese en condiciones, llevará la grúa horquilla a reparar al área que corresponda, previa comunicación al Supervisor.

El conductor, no reparará ninguna deficiencia de la máquina. Su obligación es reportar de inmediato la deficiencia.

Al conducir, colocará sus manos sobre el volante y mandos, y no adoptará posiciones inseguras cuando la maneja. De esta manera evitará perder el control de la grúa horquilla. Mantendrá siempre su cuerpo (brazos, cabeza y piernas) en posición normal y correcta, cuando circule mantendrá su máquina bajo control, evitando virajes o cambios de dirección bruscos

Una de las condiciones más críticas que debe controlar el operador de grúa horquilla es la velocidad, este factor es determinante al momento de controlar una carga o simplemente evitar un volcamiento. Una velocidad segura es aproximadamente 15 km/h, para poder tener un buen control de la grúa en lugares de muy buena visibilidad del entorno. En pasajes estrechos y congestionados, nunca deberá conducir a más de 5 km/h, lo que equivale al paso de un hombre aproximadamente.

Puntos claves para una condición segura

- a) Un conductor seguro jamás sobrepasará las velocidades de seguridad.
- b) El conductor, se detendrá siempre, o por lo menos disminuirá la marcha ante una condición insegura (esquinas, cruces, manchas u obstáculos en el piso, aglomeraciones, etc.)
- c) Dará cuenta de inmediato a sus superiores de las condiciones inseguras que observe.
- d) Deberá conservar, por lo menos, tres largos de su vehículo de distancia, con respecto a cualquier vehículo o persona que se desplace delante de él.
- e) Estará atento para frenar ante cualquier emergencia.
- f) Utilizará la bocina únicamente en caso de un posible riesgo de accidente.
- g) Nunca se adelantará a otro vehículo en movimiento dentro de la planta.

Se podrá conducir marcha atrás solamente:

- a) Cuando descienda cargado por una pendiente.
- b) Cuando la carga sea tan alta que impida una correcta visibilidad.

En ambos casos lo hará mirando hacia donde se dirige la grúa horquilla.

El operador deberá detener totalmente el vehículo cada vez que tenga que invertir la marcha.

Un operador seguro será responsable de:

- a) Las operaciones que efectúa.
- b) De la máquina (grúa horquilla)
- c) De la carga y los equipos.
- d) Su entorno.

49.4. Causas de los errores en la operación de grúas horquilla

49.4.1. Ley de causalidad

Las fichas de dominó representan el hecho de que si una de ellas, se cae, botará también a las otras; esto se interpreta como si una operación con grúas horquillas resulta mal, esto quiere decir que se daña el equipo, la mercadería, las instalaciones o el operador. Esto es consecuencia de un trabajo mal hecho, y esto tiene una causa que se le conoce como acción o condición subestándar que tiene a su vez una causa origen, la que finalmente se debe a una falta de control de la administración superior.

49.4.2. Acción subestándar

Estas son actos de las personas que están reñidos con la forma establecida o entendida como correcta de hacer las cosas. Es importante corregir las acciones subestándar porque normalmente son los errores que se cometen por desconocimiento, o falta de habilidad. Hay acciones subestándar de origen G (gente), por ejemplo, cuando una persona o el operador se ubica bajo la carga.



Figura 322
Acción subestándar

49.4.3. Condición subestándar

Estas son externas a las personas y se puede entender como deficiencias en los equipos, materiales o el ambiente de trabajo, como por ejemplo que el equipo esté defectuoso, o que tenga adosado un tanque improvisado de combustible, o un sobre contrapeso. El hecho de que no dependan de usted no significa que no deba atenderlas; cuando las descubra informe de inmediato a su jefe.

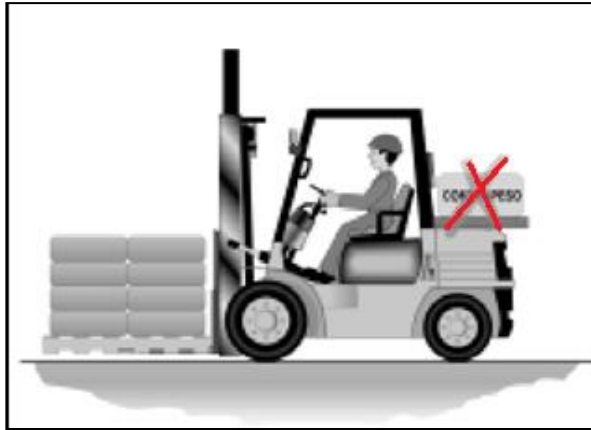


Figura 323
Condición subestándar

49.5. Principios de funcionamiento de una grúa horquilla

Principio del balancín

Las grúas horquillas funcionan por el principio de la palanca autopropulsada, o del balancín. Por esta razón resulta crítica la carga máxima que se le puede aplicar, ya que de ser superior a su máximo permisible, hará que el equipo se vuelque. El equilibrio de este equipo se establece sobre tres puntos, que son:

- Carga
- Punto de apoyo
- Contrapeso.

Acción de la dirección sobre las ruedas traseras. El mecanismo de dirección actúa en un eje central sobre las ruedas traseras, esto produce una sensación en la conducción distinta a la de un vehículo convencional. Entre los tres apoyos se forma el triángulo de equilibrio o estabilidad de la grúa horquilla.

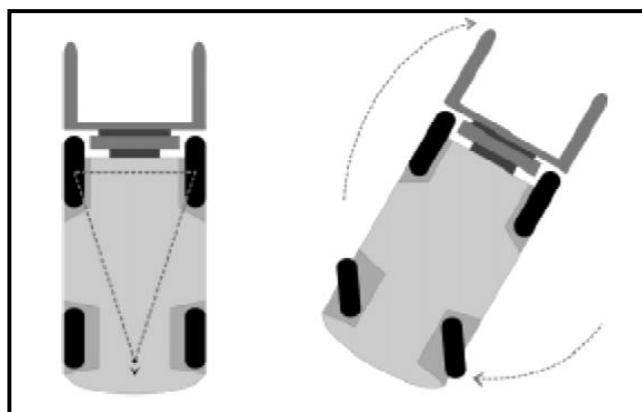


Figura 324
Mecanismo de dirección

El equilibrio y el centro de gravedad. Es frecuente ver operadores mal calificados, que para equilibrar el sobre peso que colocan a la máquina, ubican a un par de personas sobre el contrapeso lo que es una violación de las normas de seguridad y un atentado contra la vida útil de la máquina.

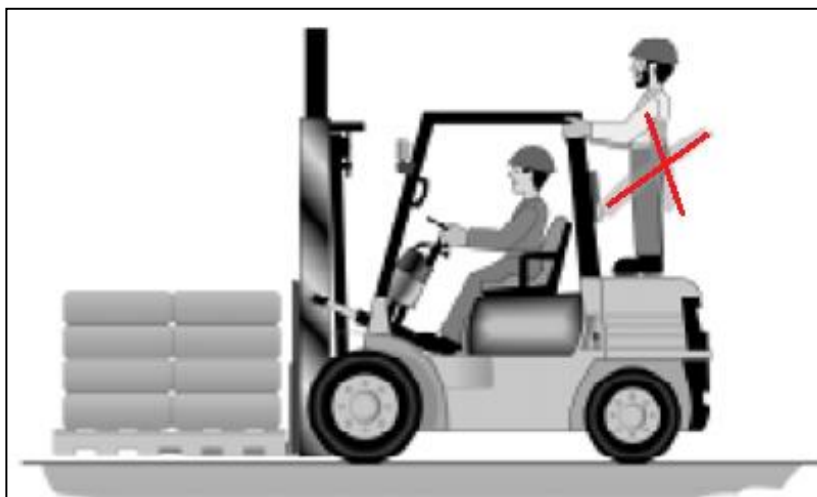


Figura 325
Equilibrio y centro de gravedad

El equilibrio del equipo está directamente relacionado con el centro de gravedad de la carga; éste está indicado en una placa en la estructura de la grúa, el que normalmente en equipos pequeños a medianos está a 60 cm. del eje delantero. Se debe estudiar las características técnicas de la grúa que están especificadas en la placa de información técnica.

49.6. Responsabilidad del operador ante la condición física y psíquica

La actividad industrial es cada vez más competitiva, a medida que sus administradores, se dan cuenta de la importancia de hacer bien las cosas, luchan enérgicamente contra las causas que atentan contra su desarrollo, e impiden que cada tarea se haga en forma correcta.

Dependiendo de la actividad económica en que se desarrolle la industria, algunas de ellas emplean hasta un 70% de su tiempo y más en solo movilizar cargas. Por esta razón este curso ha sido pensado para ayudar a las empresas que se enfrentan al desafío de hacer bien las cosas.

Entonces el manejo mecanizado de materiales a través de montacargas o grúas horquillas, aparece como solución del problema, esto no es ningún secreto, pero tampoco lo es que se comete gran cantidad de errores por parte de la administración de la empresa, ya sea por la mala asignación de las tareas, la falta de supervisión y control, el mantenimiento incorrecto y las pésimas condiciones de operación de los equipos. No es extraño encontrar, personal que no sabe operar los equipos y que nadie se preocupa de que lo haga en forma correcta. Más que una invitación a los participantes, los desafiamos a realizar su trabajo en forma correcta, estamos seguros de que esto no sólo les servirá para su trabajo, sino, que para cualquier actividad que realicen en su vida, lo que les proporcionará gran satisfacción personal.

Durante la ejecución de una actividad laboral, una persona está inserta en un sistema complejo, caracterizado por la interacción de distintos factores. Sólo con el propósito de estructurar el análisis, se acepta que tales factores pueden ser agrupados atendiendo a sus propiedades en común. A esto se debe agregar la variabilidad que se puede encontrar en las respuestas físicas (biológicas), cognitivas o psíquicas de distintas personas frente a determinadas condiciones de trabajo. A continuación se examinan estas ideas.

49.6.1. Carácter multifactorial

Desde la perspectiva de la Ergonomía, las demandas o exigencias a las que podría estar expuesto un trabajador pueden ser agrupadas en cuatro conjuntos; a saber:

- a) Factores físicos (carga física)
- b) Factores ambientales (carga ambiental)

- c) Factores mentales (carga mental)
- d) Factores organizacionales (carga organizacional)

El Artículo 2º del Decreto Supremo Nº 71, establece que, para efectos de calificar como trabajo pesado una labor y con independencia de las características individuales de quien la realiza, se debe considerar a lo menos los siguientes factores:

- a) **Factor físico:** constituido por las exigencias del puesto de trabajo que demandan un esfuerzo adaptativo fisiológico, reflejado en mayor gasto energético y con modificaciones del metabolismo. En este ámbito, se incluyen también las exigencias biomecánicas, por ejemplo las asociadas al desarrollo de fuerza, postura sostenida y el trabajo repetitivo.
- b) **Factor ambiental:** que corresponde a la presencia, en los puestos de trabajo, de agentes ambientales que pueden afectar negativamente la salud de los trabajadores, su bienestar y su equilibrio fisiológico. En este conjunto, se incluyen agentes físicos (exposición a ruido, vibraciones, calor, frío, etc.), agentes químicos (exposición a gases, vapores, humos, polvos, etc.) y agentes biológicos (exposición a virus, bacterias, hongos).
- c) **Factor mental:** es la exigencia del puesto de trabajo que demanda esfuerzos adaptativos del sistema nervioso y de la estructura psicoafectiva del trabajador. Esto incluye, por ejemplo, manejo de la incertidumbre y de la complejidad, atención y vigilancia constante, entre otros.
- d) **Factor organizacional:** son las exigencias del puesto de trabajo derivadas de la organización y diseño de la labor y su entorno psicosocial. Este ámbito incluye trabajo en turnos, sobrecarga cualitativa y cuantitativa, conflicto de roles, entre otros

Si el operador no se siente física o psíquicamente en buenas condiciones, debe comunicarlo a su jefatura directa.

En ningún caso, hora o jornada, el trabajador puede operar un equipo bajo la influencia del alcohol o drogas no autorizadas por la empresa (la autorización de las drogas como tratamientos médicos deben ser autorizadas por personal competente de la empresa).

49.7. Condición del equipo y mantención preventiva

Antes de operar el equipo, debe efectuar las siguientes revisiones, cuando corresponda (dependiendo del tipo de motor):

| BITÁCORA GRÚA HORQUILLA Revisión Pre-operación | | | | | | NUMERO DE REGISTRO: | | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|----|----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|---|------------|--------|--|
| | | | | | | FORMULARIO: | | | | | | |
| NOMBRE DEL OPERADOR /INSTRUCTOR: | | | | | | | | | | | | |
| FECHA | | | | | | MARCA | | | | MODEL O | | |
| HODÓMETRO | | | | | | PATENTE | | | | | | |
| Marque con un <input checked="" type="checkbox"/> B: BUENO M: MALO NA: NO APLICA | | | | | | | | | | | | |
| Ítem | Descripción | B | M | NA | Estado | Ítem | Descripción | B | M | NA | Estado | |
| Documentos | Permiso de Circulación | | | | | Accesorios | Extintor | | | | | |
| | Seguro obligatorio | | | | | | Botiquín | | | | | |
| | Certificado Revisión Técnica | | | | | | Triángulos (conos) | | | | | |
| | Certificado de Gases | | | | | | Alarma retroceso | | | | | |
| | Programa de mantención | | | | | | Barrote | | | | | |
| Luces | Altas | | | | | | Llave de rueda | | | | | |
| | Bajas | | | | | | Bocina | | | | | |
| | Retroceso | | | | | | Cinta reflectante | | | | | |
| | Virajes | | | | | | Pértiga | | | | | |
| | Emergencias | | | | | | Baliza | | | | | |
| | Freno | | | | | | Cinturón de seguridad | | | | | |
| | Tercera luz de freno | | | | | | Radio comunicación | | | | | |
| | Estacionamiento | | | | | | Relojes Indicadores | | | | | |
| | Interior cabina | | | | | | Conmutador limpia parabrisas | | | | | |
| Pértiga y Balizas | | | | | Juego de Cuñas | | | | | | | |
| Neumáticos | Delantero derecho | | | | | | Coque | Aceite de motor | | | | |
| | Trasero Izquierdo | | | | | | | Agua Radiador | | | | |
| | Trasero derecho | | | | | | | Aceite de Transmisión | | | | |
| | Delantero Izquierdo | | | | | | | Aceite Hidráulico | | | | |
| Vidrios | Parabrisas delantero | | | | | Combustible (diésel o bencina) | | | | | | |
| | Puerta Derecha | | | | | Horquillas | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------|---------------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | |
| | Parabrisas trasero | | | | | | Carro desplazable | | | | |
| | Puerta Izquierda | | | | | | Cilindros de elevación | | | | |
| Espejos | Lateral Derecho | | | | | Cilindros de basculación | | | | | |
| | Lateral izquierdo | | | | | Cadenas de la columna o torre | | | | | |
| | Interior cabina | | | | | Mangueras y flexibles | | | | | |
| Bajo capot | Capot (apertura y cierre) | | | | | Funcionamiento en Cabina | Bocina de servicio | | | | |
| | Niveles (complete Ítem 8) | | | | | | Control de encendido | | | | |
| | Correas | | | | | | Luces del tablero principal | | | | |
| | Batería | | | | | | Freno de manos | | | | |
| | Llave de paso (gas) | | | | | | Dirección | | | | |
| | Llave de paso (bencina-Diésel) | | | | | | Frenos de servicio | | | | |
| | Fugas | | | | | | Acelerador | | | | |
| | Ventilador | | | | | | Trans. (avance-retroceso) | | | | |
| | Papas de llenado | | | | | | Aire AC | | | | |
| | | | | | | | Asiento y cinturón de seguridad | | | | |
| | | | | | | | Limpieza | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | | | | | |

Tabla 57

Si el operador detecta fallas o cualquiera anomalía o deterioro que implique riesgos, deberá informarlos a su supervisor o jefe directo

49.7.1. Identificación de componentes

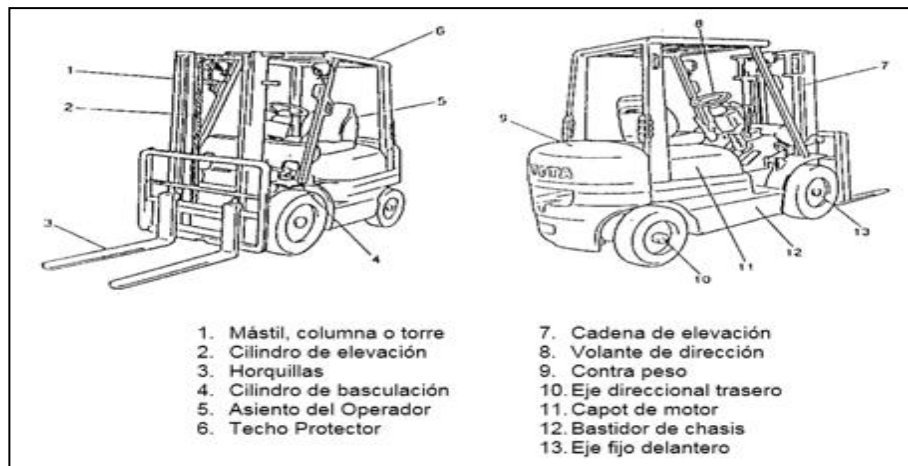


Figura 326
Identificación de componentes

Sistema de combustible a petróleo. Los principales componentes de un motor petrolero se muestran en la figura. Al compararla con otros sistemas de combustibles, notamos que éstas no tienen carburador, bujías, distribuidor.

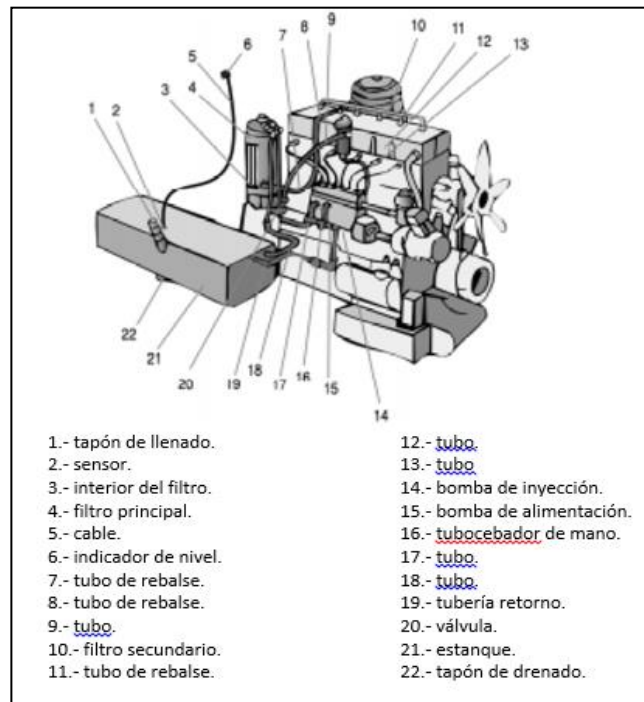


Figura 327
Sistema de combustión a petróleo

Sistema eléctrico. La principal característica es que no requiere de combustible ya que todos los motores son accionados por una gran batería que además le sirve de contrapeso por su gran tamaño y peso. Esta batería acciona motores independientes de dirección y

freno, de desplazamiento; y de accionamiento de los circuitos hidráulicos de levantamiento e inclinación de la torre.

Componentes eléctricos típicos de una grúa horquilla. Algunos de los componentes típicos de una grúa horquilla a combustión interna, son comunes a cualquier tipo de grúa.

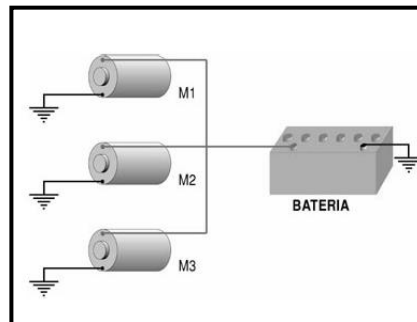


Figura 328
Sistema eléctrico

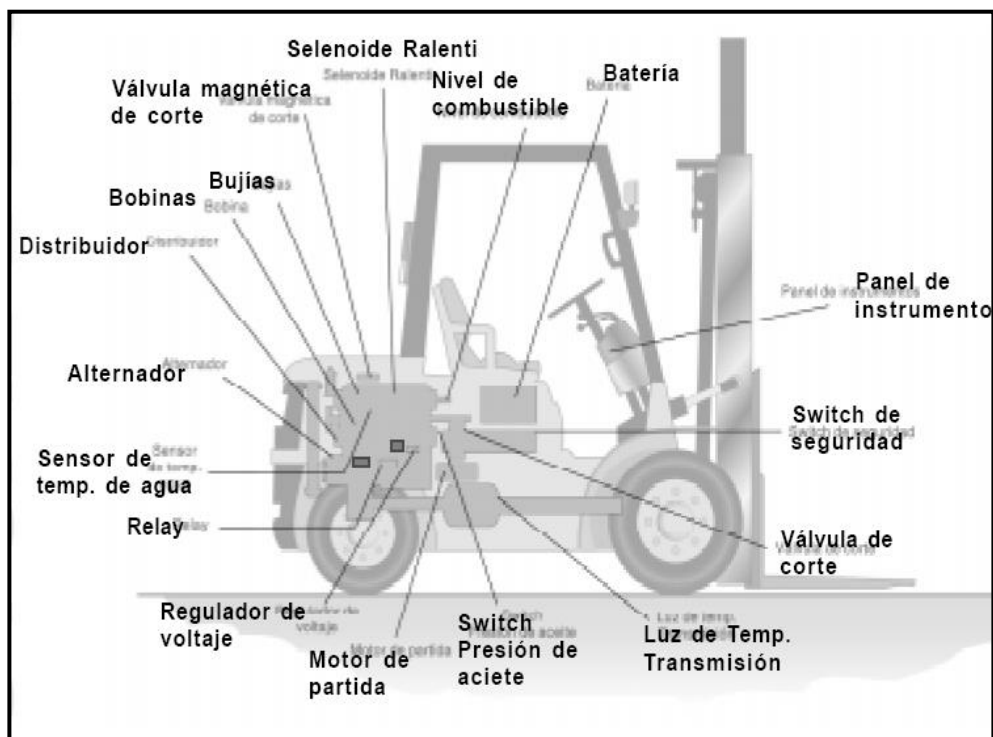


Figura 329
Detalle sistema eléctrico

49.8. Conociendo las grúas horquillas

A medida que el hombre ha introducido la tecnología en la industria, ha evolucionado desde el uso de su propia fuerza, al manejo de las bestias de carga, luego con la revolución industrial introdujo el motor de combustión interna y con ellos las grúas horquillas, las que por sí solas fueron toda una revolución.

49.8.1. Ventajas y desventajas de las grúas horquillas

Las ventajas más relevantes son:

- Versatilidad de movimientos,
- Gran movilidad y desplazamiento en espacios reducidos.
- Capacidad significativa de levante.
- Ideal para cargas envasadas o embaladas.

Algunas desventajas son:

- Resulta riesgoso levantar cargas grandes a máxima altura.
- Requieren de pavimentos planos y de poca pendiente.
- Requieren de un operador entrenado, para obtener un buen resultado.

49.8.2. Tipos de grúas horquillas

Las grúas horquilla se pueden clasificar de acuerdo a:

a) Según su capacidad de levante y pueden ser:

Pequeñas : 1 tonelada
Mediana : 1 y 5 toneladas
Grandes : 5 toneladas

b) Según su función específica, de acuerdo al uso que se les da:

Frontal - paralela (es la más conocida)
Aserraderos (troncos)
Petrolíferas (tambores)
Portal o caja Interior (paquetes de maderas)

c) Fuente motriz (energía)

Petrolera o gasolina
Gas licuado
Eléctrica

Actividad N° 21

Revisión pre-operacional del equipo con bitácora de grúa horquilla

Introducción a la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán aplicar la herramienta de Condición del equipo (Chequeo del equipo) y mantención preventiva llamada Bitácora de Grúa Horquilla.

El objetivo de esta actividad es que los participantes a través de una Bitácora, puedan realizar una revisión pre-operacional, de acuerdo a una secuencia lógica y en etapas para que comprendan la importancia de este chequeo del equipo.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 58

Materiales y Recursos

Taller o patio maquinarias
 Grúa Horquilla
 Hoja de control de riesgos
 Bitácora de Grúa Horquilla
 Check list de la grúa horquilla
 Manual del alumno
 Radio de comunicación 2 vías

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso la actividad a desarrollar.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes.

El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico y aclarar todas las dudas del participante.

Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 330
Elementos de protección personal obligatorios

El instructor debe tener en el taller una grúa preparada con todos los accesorios necesarios para realizar esta tarea. Además las pautas impresas, las llaves de la grúa horquilla, bitácora del puente y los implementos de seguridad.

El participante deberá realizar inspección visual y de funcionamiento de los componentes de la Grúa Horquilla siguiendo paso a paso las indicaciones del instructor, utilizando tabla de revisión pre-operacional, aplicando la secuencia lógica para no dañar las piezas y causar accidentes.

Además el instructor estará con los alumnos en todo momento que se esté realizando el ejercicio. La mala manipulación de los componentes puede causar daños a las personas y al equipo.

Pasos que deben realizar los participantes para realizar la actividad:

1. El participante deberá realizar el entorno, para asegurarse de que no exista otro equipo cercano o personas en la cercanía.
- 2.- Deberá llenar una hoja de identificación de riesgos.
- 3.- El participante deberá esperar instrucciones de parte del del instructor antes de acercarse a la grúa horquilla.
- 4.- El participante deberá aplicar pauta de inspección visual para Grúa Horquilla.

Pauta de inspección visual para grúa horquilla.

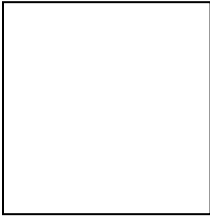
| | | |
|---|---|---------------|
| Participantes | | Fecha: |
| Componente ensayado: Grúa horquilla | | |
| Procedimiento aplicado Revisar entorno Realizar charla de seguridad 5 min con los compañeros asignados por el instructor Revisar llave de arranque de la grúa, bitácora, grúa y documentos. Poner atención a las indicaciones de la tarea dadas por el instructor Elegir a un compañero, quien hará las anotaciones de la inspección Realizar inspección siguiendo paso a paso la pauta de revisión visual de pre-uso. Anotar el trabajo realizado en bitácora Realizar housekeeping | | |
| Conclusiones de la actividad El participante debe anotar las conclusiones de la actividad | | |
|  Fotografía del componente Si es posible | Nombre Inspector : _____ | |
| | Firma Inspector : _____ | |
| Recomendaciones : | | |

Tabla 59

Cierre

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases los resultados de la actividad.

El participante deberá comprender la importancia de realizar una revisión pre-operacional, de acuerdo a una secuencia lógica y en etapas, según la bitácora de la máquina, para operarla con seguridad.

49.9. Técnicas de operación del equipo

49.9.1. Puesta en marcha del equipo y detención segura del motor

La puesta en marcha del equipo es un procedimiento bastante simple, pero si lo realiza una persona que no está entrenada o con falta de conocimientos técnicos podría causar grandes daños al equipo, a las instalaciones e incluso a sí mismo.

Para poder poner en marcha un equipo pesado el operador debe tener licencia municipal clase D, las empresas tienen la obligación de entrenar a los operadores antes de que estos suban a los equipos.

La Ley Nº 19.495 del 8 de marzo de 1997, modificó la Ley Nº 18.290, respecto de la licencia de operadores de grúas horquillas, y dice lo siguiente:

Licencia no profesional, clase D, licencia especial, habilita para conducir maquinarias automotrices como:

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Tractores agrícolas | Tractores sobre neumáticos |
| Sembradoras | Cosechadoras |
| Bulldozer | Palas mecánicas |
| Palas cargadoras, | Aplanadoras, |
| Grúas | Motoniveladoras, |
| Retroexcavadoras | Traíllas y otras similares. |

ADVERTENCIA

No intente arrancar el motor haciendo un puente en el circuito de arranque del motor. Dicha negligencia puede causar lesiones corporales graves y provocar un incendio.

PRECAUCIÓN

Arranque el motor únicamente después de haberse sentado en el asiento del operador. Antes de poner en marcha el motor mueva la palanca de avance/retroceso y la de velocidad alta/baja (grúas horquillas con embrague) a la posición neutral, y mueva la palanca del freno de estacionamiento en dirección trabar.

El gas es tóxico. Cuando se pone en marcha el motor en espacios cerrados o en sitios mal ventilados, tenga especialmente en cuenta el problema de la ventilación.

Si no está sentado debidamente en el asiento del operador, al momento de desplazarse con la grúa, esta podría serpentear lo que provocaría un accidente.

Componentes de cabina

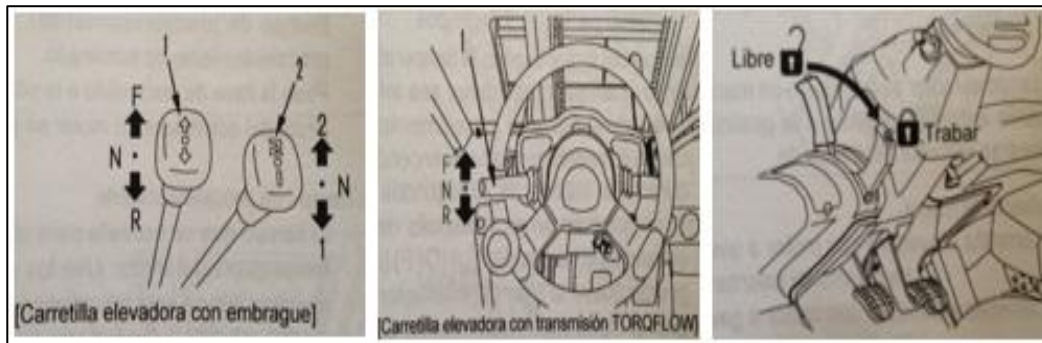


Figura 331
Encendido del motor

- 1) Mueva la palanca de avance/retroceso y la palanca alta/baja a la posición neutral (N)

Observación: El motor no arrancará a menos que la palanca de avance/retroceso esté en la posición (N)

- 2) Aplique el freno de estacionamiento tirando la palanca a la posición trabado (se jala hacia la parte trasera de la grúa).

Componentes de cabina:

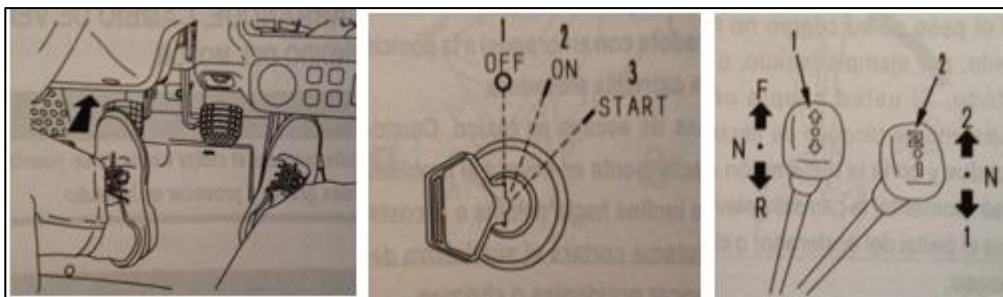


Figura 332
Aplicación del freno

- 3) Las grúas horquillas elevadoras con transmisión Torqflow, apriete el pedal de marcha lenta.
- 4) Para las grúas horquillas elevadoras con embrague, apriete completamente el pedal de embrague.

49.9.2. Uso del interruptor de arranque de la grúa horquilla.

Motor a gasolina:

Pase la llave de encendido a la posición [i] (3 Start) (Arranque). NO poner el pie sobre el acelerador. El motor se pondrá en marcha.

Motor diésel (gasoil):

Pase la llave de encendido a la posición [i] (2 ON) (Encendido). El indicador de incandescencia del panel de instrumentos se enciende para indicar que el motor se está empezando a precalentar. El indicador de incandescencia se apagará luego de algunos segundos para indicar que está listo para que pueda llevar la llave a la posición Start.

Arranque en frío:

EL arranque del motor cuando la temperatura ambiente es inferior a 15°C (5°F) el operador debe seguir los siguientes pasos:

- Gire la llave del interruptor a la posición Start y haga girar el motor durante 20 segundos aproximadamente.
- Si el motor no arranca en el primer intento deje pasar un minuto y vuelva a realizar un arranque durante 20 segundos más.
- Si el motor sigue sin arrancar repita la acción.
- Cuando el motor comience a rotar suelte la llave y esta volverá a la posición de encendido (2)
- Una vez que el motor está rotando por sí solo deje en ralentí hasta que alcance una temperatura óptima de operación (aproximadamente 75°C)

Apagado del motor de la grúa horquilla



Figura 333
Apagado del motor

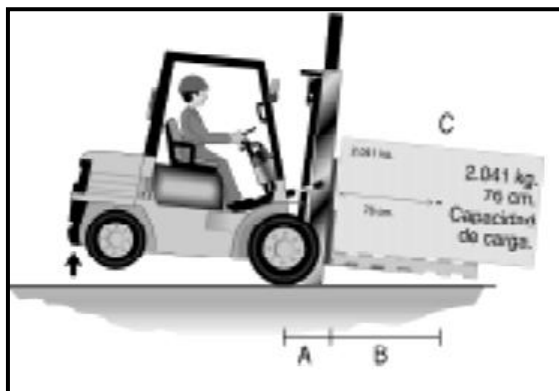
Apagado de motor

- a) Pise completamente el pedal del embrague y mueva la palanca de avance/retroceso (1) a neutral (N) la palanca de velocidad alta/baja (2) a la posición [1] (baja).
- b) Luego lleve la palanca del frenos de manos a la posición Trabar.
- c) Espere aproximadamente 3 minutos antes de apagar el motor diésel.
- d) Por último lleve la llave de arranque a la posición OFF.

50. Técnicas operacionales en el manejo de la carga

50.1. Determinación de la capacidad de levante.

La capacidad de levante se determina como:



$$\text{Cap} = (A + B) \times C$$

$$\text{Cap} = 60 \times 2.500 = 150.000 \text{ kg-cm}$$

Figura 334
Capacidad de levante

Si se tiene como dato la capacidad de levante, el peso a levantar se calcula como:

$$C = \text{Cap.} / (A + B)$$

La ubicación del mayor peso, por lo tanto, siempre debe ser más cerca del talón de la máquina.

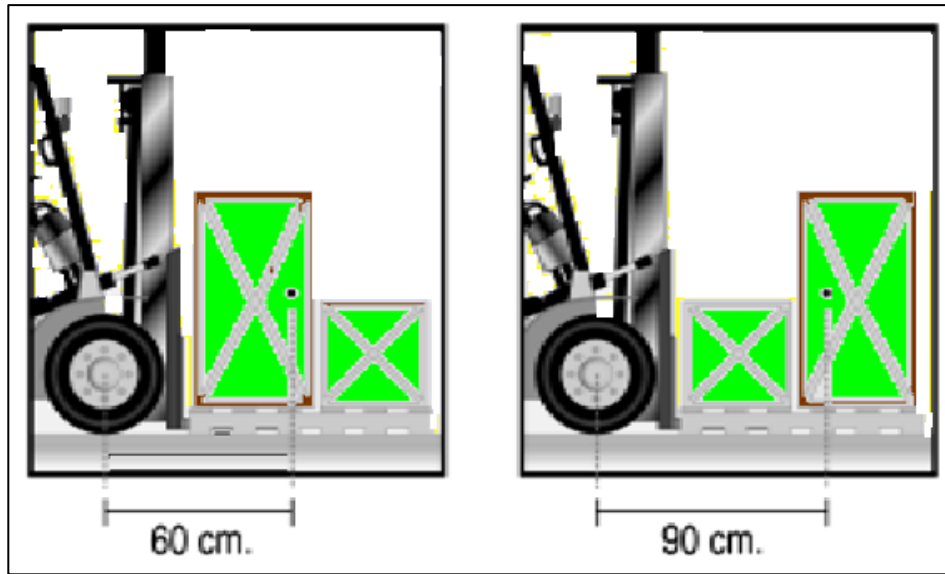


Figura 335
Ubicación del mayor peso

La colocación de la carga, en lo posible, debe ser de modo que el centro de carga se aleje lo menos posible del talón.

Ejemplo:

Si un montacargas tiene de acuerdo a la placa de capacidad límite, una capacidad máxima de 4.000 libras, con centro de carga a 24", y tiene 14" desde el centro del eje delantero al talón de las horquillas.

A: 14" (pulgadas)

B: 24" (centro de la carga)

C: 4.000 lbs (1800 Kg).

$(A+B) \times C = 38 \times 4.000 = 152.000 \text{ lbs/pulg.}$

Luego la capacidad del montacargas es de 152.000 libras-pulgadas (Torque).

Sin embargo, si se varía la distancia "B" debido a que se maneja una carga distinta, variará también la capacidad del montacargas.

A continuación se ve un ejemplo para calcular las cargas máximas a otros centros de carga. Consideramos el mismo montacargas anterior, pero para manejar una carga de 36" de largo. En este caso, ¿cuál es el peso máximo tolerable?

A: 14"

B: $36/2 = 18$ " (centro de la carga)

A+B = 32 (pulgadas)

Al dividir las libras/pulgadas obtenidas en el ejemplo anterior por 32 (pulgadas) resultará en 4.750 libras a 18" (centro de la carga).

$152.000:32 = 4.750$ libras.

Luego, el montacargas que tiene una capacidad de 4.000 libras a 24" (centro de la carga) el peso máximo tolerable de 4.750 libras a 18" (centro de la carga).

Si la distancia "B", es decir el centro de la carga es menor que la indicada en la placa del vehículo, la capacidad de resistencia a volcarse aumentará. Pese a ello no debe excederse la capacidad de carga del montacargas por razones estructurales.

De acuerdo con lo anterior, conocer el centro de la carga es vital para no conducir una grúa horquilla con una sobrecarga.

50.2. Etapas del manejo de materiales con grúas horquillas

El manejo mecanizado de materiales con grúas horquillas, se realiza en tres etapas; en cada una de ellas existe una forma correcta de hacer las cosas.

50.2.1. Levantamiento o descenso de la carga

Procedimiento correcto de levantamiento y descenso de la carga.

- 1.- Detenerse a 25 cm del apilamiento.
- 2.- Colocar la torre en forma vertical.
- 3.- Ajustar la horquilla en altura de a la carga
- 4.- Acercarse a la carga, hasta tocarla.
- 5.- Levantar la carga suavemente.
- 6.- Retirarse de la línea de apilamiento.
- 7.- Bajar la carga hasta 15 cm del piso.
- 8.- Inclinar levemente la torre hacia el operador.
- 9.- Conducir a velocidad suavemente moderada.

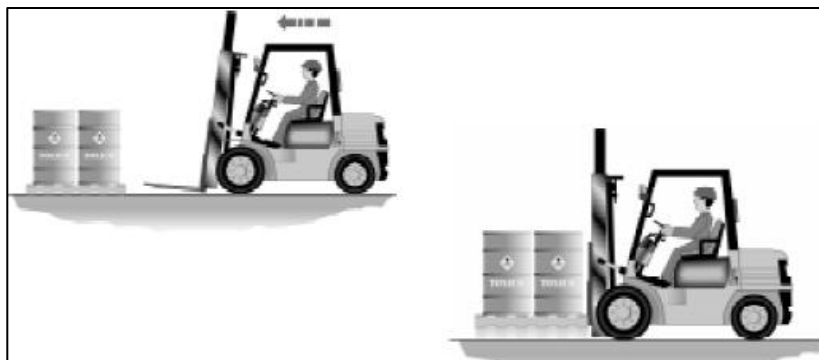


Figura 336
Levantamiento o descenso de la carga



Figura 337
Levantamiento de la carga

Acérquese con velocidad controlada

No golpee la superficie donde descansa los tambores

En el levantamiento la carga se sube y baja con suavidad.

Para no perder el control sobre la carga asegúrese de que las horquillas estén separada y en los extremos. Al introducir la horquilla, se debe hacer en forma horizontal.

Forma Correcta

Forma Incorrecta

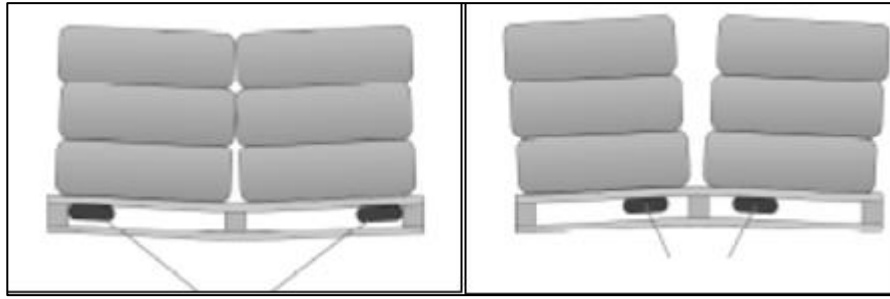


Figura 338

Introducción de la horquilla en la carga

El palletizado es un elemento muy importante para levantar las cargas en forma correcta. El objetivo es evitar que la carga cualquiera sea esta se caiga durante el proceso de traslado.

Estas distribuciones son recomendadas para:

- Transporte de Bloques
- Transporte de ladrillos
- Para varios usos

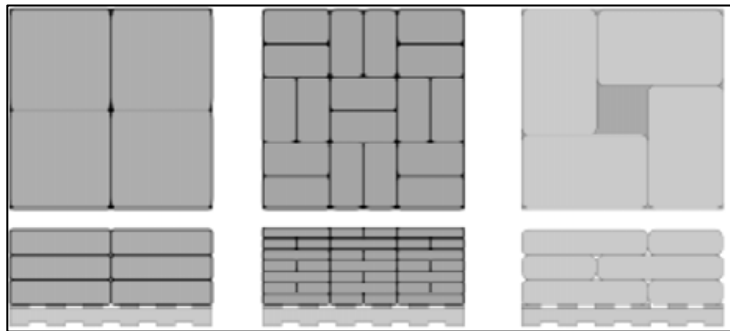


Figura 339

Distribución de carga

50.3. Técnicas de desplazamiento por terrenos disparejos

50.3.1. Traslado o desplazamiento de la carga

La velocidad es una de las medidas más importantes a tener presentes, normalmente debiera ser no más de 20 km/hr. Son aplicables todas las reglas de la Ley N° 19.495, (marzo 1997 del reglamento del tránsito) y Decreto N° 594/99 - MINSAL.

La conducción sólo deben realizarla personas que posean la respectiva licencia de conducir, además, se deben tener presente las siguientes indicaciones de seguridad:

- Conducir por la derecha.
- Tocar la bocina en esquinas ciegas.
- Preferencia a peatones.
- Distancia de seguimiento no menor a tres largos del equipo.
- Con las horquillas a no más de 15 cm del suelo.
- Al cruzar líneas de ferrocarril, debe hacerse en forma diagonal.

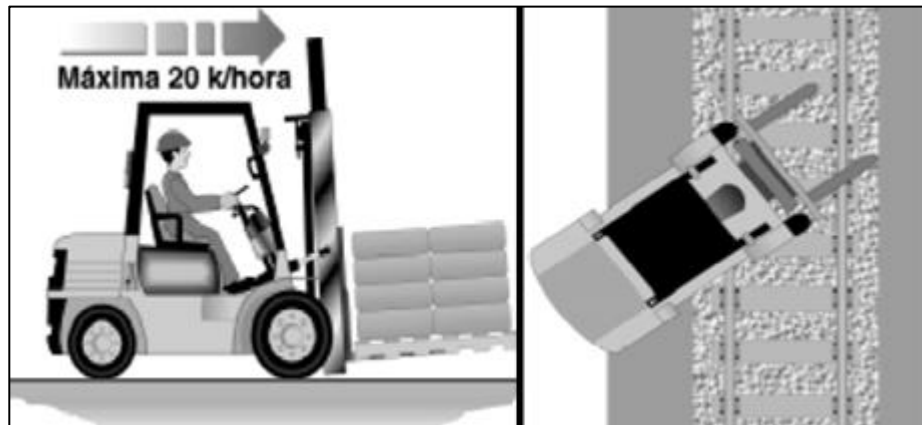


Figura 340
Condiciones de conducción

50.3.2. Efectos de la inclinación del mástil sobre el equilibrio.

A medida que se inclina el mástil hacia atrás se tiene un efecto favorable, de mayor estabilidad; y hacia adelante es negativo, de menor estabilidad, por lo tanto mayor posibilidad de volcamiento.

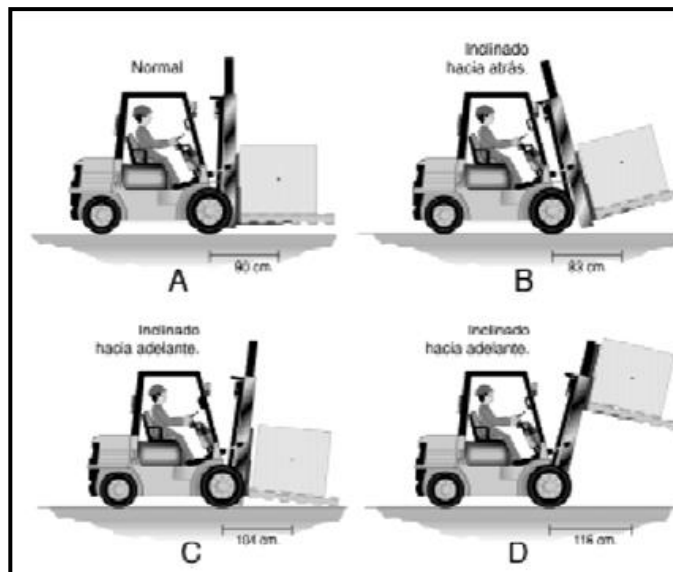


Figura 341
Efectos de la inclinación del mástil

La subida o bajada de pendientes se debe hacer a velocidad reducida. En pendientes con un desnivel superior al 10 por ciento, el montacargas se conducirá con la carga cuesta arriba. La carga debe inclinarse hacia atrás y elevarse sólo lo necesario para que no toque la superficie del suelo. Se debe ejercer una supervisión permanente esta operación.

El Operador debe evitar levantar o empujar cualquier objeto o material que pueda caer sobre sí mismo u otra persona que esté cercana. La defensa de la torre y el sistema de protección de la cabina para proteger al operador contra el impacto de objetos o materiales, otorgan una razonable protección, pero no pueden protegerle contra impactos de gran violencia.

Si el operador debe realizar trabajos con un montacargas en lugares cuyas condiciones sean adversas (reducido espacio para almacenar, pasillos de circulación estrechos, condiciones de luz insuficientes) con alto riesgo de choques u otros tipos de accidentes, deberá solicitar que se le asigne un señalero.

50.3.3. Interacción con otros equipos



Figura 342
Interacción con otros equipos

Existen varias técnicas de operación para poder trabajar con otros equipos en forma segura, la comunicación entre los operadores es fundamental y se puede realizar en forma radial o a través de señales, que por lo demás estas normalizadas.

En el caso de que existan almacenes o galpones con espacios reducidos, el operador de la grúa que necesita cruzar de un punto a otro en una esquina del bodegaje, debe detenerse y tocar la bocina para advertir a los demás trabajadores que pasar por ese sector. Los pasos preferentes se rigen al igual que la ley de tránsito, esto permite minimizar el riesgo de colisión y choque.

50.4. Almacenamiento de carga.

50.4.1. Técnicas de apilamiento, almacenar, elevar y depositar pallet.

- a) Nadie, excepto el conductor, podrá subirse a una grúa horquilla.
- b) Cuando se necesite la ayuda de otro operario, este se desplazará caminando, alejado de la máquina.
- c) No se puede utilizar la grúa horquilla para elevar personas. Salvo que sea imprescindible y a manera de excepción, se colocará una plataforma con barandas sobre las uñas, afirmada firmemente a la torre, y la persona será elevada sentada, con sus manos sobre las rodillas,

dejando esta posición, cuando este a la altura deseada. Para esta operación la máquina debe estar detenida, con el freno de mano colocado y con el operador en su puesto.

- d) El conductor, debe conocer la capacidad de carga de su máquina y nunca excederla.
- e) Un conductor seguro y responsable por su máquina, jamás tratará de aumentar la capacidad de carga agregando contrapeso.
- f) No transporte en su grúa horquilla cargas mal estibadas, debe exigir que reúna las condiciones de seguridad para su transporte.
- g) Antes de levantar una carga, deberá calcular cuidadosamente el peso de la misma, a fin de evitar superar la capacidad de la máquina, si fuera necesario, realice varios viajes.
- h) Recuerde que el eje de las ruedas delanteras es uno de los apoyos de la grúa horquilla, por lo tanto, para evitar que el centro de gravedad se desplace fuera de este, lleve la carga lo más próxima posible a la torre, así, evitara un sobre-esfuerzo de la máquina, el quedar sin dirección o volcar hacia delante.
- i) No manipule estibas altas, son poco estables y difíciles de controlar.
- j) Las uñas (u horquillas) deben quedar perfectamente centradas bajo la carga.
- k) No transporte cargas a gran altura, ya que un pequeño desnivel en el piso originaría que el centro de gravedad se desplace en forma lateral, volcando, lo mismo ocurrirá al girar en una pendiente.
- l) Cuando circule con o sin carga, lleve las uñas lo más bajo posible, se recomienda como una altura segura a 10 cm. del piso.
- m) No utilice nunca las uñas de su máquina para empujar, golpear, etc. ya que las mismas fueron diseñadas exclusivamente para mantener pesos.
- n) Deberá tener especial cuidado al circular por techos o instalaciones bajas.
- o) Como responsable de los operarios que lo ayudan o se encuentran en los alrededores de la zona en que usted opera, nunca deberá pasar las cargas por encima de personas, ni permitirá que nadie se ubique debajo de ellas.
- p) No es seguro subir con su máquina sobre camiones, montacargas, plataformas o pisos, sin antes controlar el peso que soporta.
- q) Nunca abandonara la máquina, con carga levantada.
- r) En caso de tener que dejar la grúa horquilla estacionada, deberá dejarla con el motor apagado, las uñas sobre el piso y el freno de mano activado.
- s) Cuando cargue combustible, hágalo únicamente con el motor accionado, la maquina frenada, sin fumar, evitando los derrames y teniendo siempre a mano un extintor.



Figura 343
Ejemplos de carga y descarga

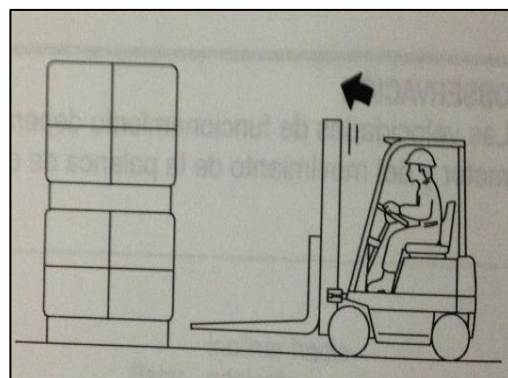


Figura 344
Carga

1) Detenga la maquina frente al pallet y coloque las horquillas en posición horizontal.

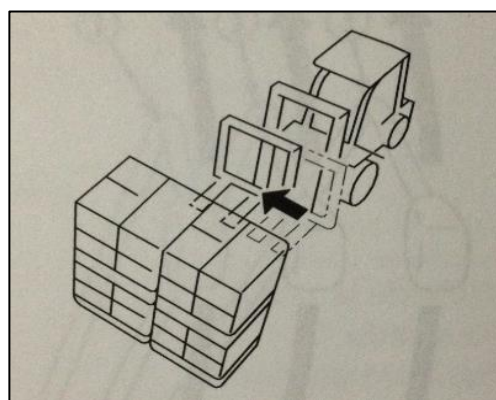


Figura 345
Detenerse frente al pallet

- 2) Alinee el centro del bastidor de desplazamiento y proceda a cargar el bulto accionando la palanca de desplazamiento. De esta forma las horquillas quedaran perfectamente ubicadas en el centro de la carga.

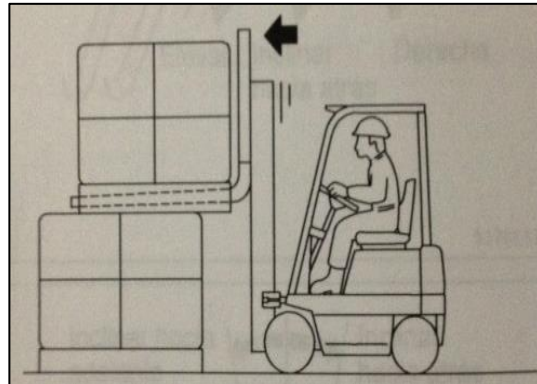


Figura 346
Ubicación de la horquilla

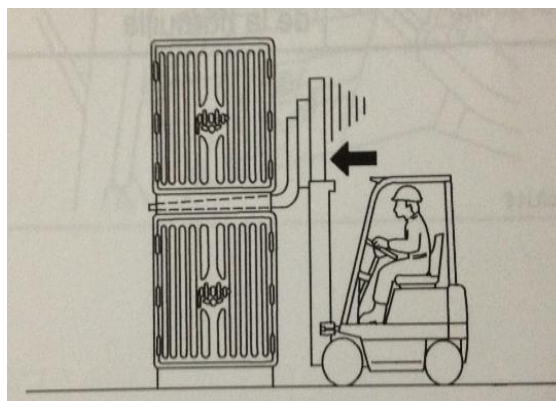


Figura 347
Elevación del mástil

- 3) Introduzca las horquillas en el pallet y levante la carga unos 10 cm (4 pulgadas), luego de marcha atrás lentamente hasta que la carga pueda ser descendida lo más pronto posible a unos 15 a 20 cm del suelo.

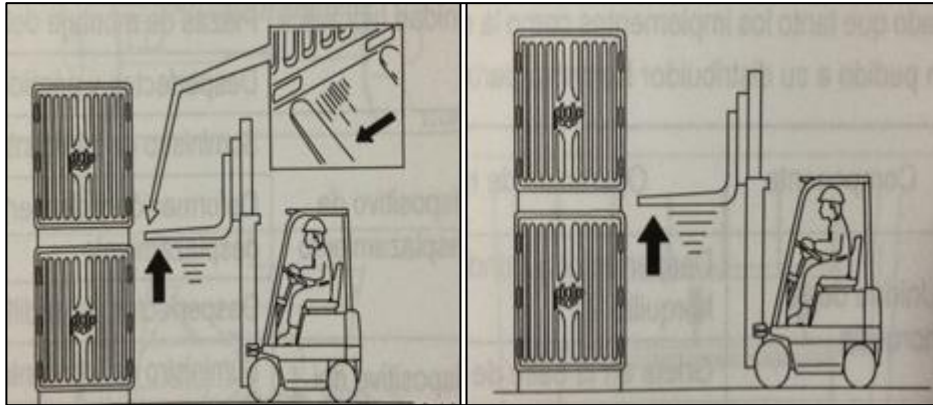


Figura 348
Ejemplo de carga

- 4) Cuando el operador desee tomar una carga que esta apilada sobre otra, debe hacerlo con bastante precisión y para eso existen máquina que están equipadas con un desplazador de bastidor de carga.

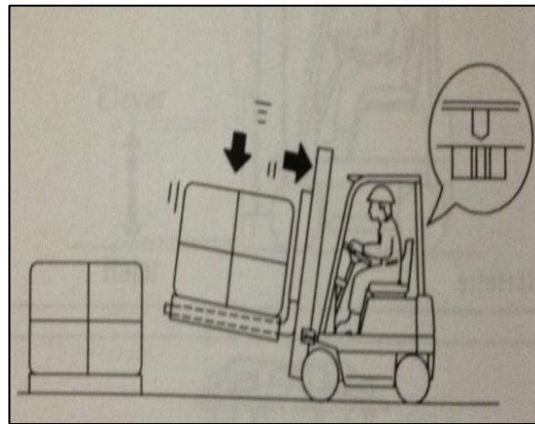


Figura 349
Precisión en el levante de carga

- 5) Una vez que la carga este abajo y controlada, alinee el centro del bastidor de desplazamiento y la barra de patines, para finalizar una buena postura de desplazamiento de la carga incline el mástil hacia atrás.

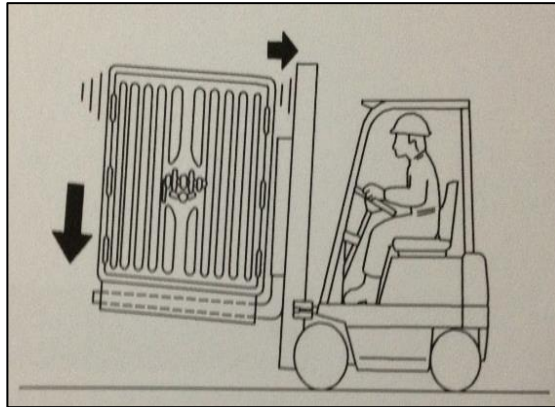


Figura 350

Alineamiento del bastidor y la barra de patines

- 6) Controle en todo momento la carga y circule a baja velocidad, máximo 20 km/h.

La operación de un equipo crítico en el interior de un galpón o almacén está sujeta a que el operador esté atento a su entorno de trabajo sin perder ningún punto de vista, un solo descuido podría ocasionar un accidente que puede ir de lo más leve a uno de muerte.

Atención:



Figura 351

Control de la carga y velocidad máxima

Actividad N° 22

Técnicas de apilamiento de cargas y descarga de pallet con grúa horquilla

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que los participantes

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, deberán aplicar la técnica de apilamiento de carga y descarga en pallet con grúa horquilla.

El objetivo de esta actividad es que los participantes aprendan a maniobrar la grúa horquilla para poder trabajar con otros equipos en forma segura, y el procedimiento de trabajo en galpones y espacios reducidos.

Aprendizaje esperado

El objetivo de esta actividad es que los participantes a través de un procedimiento de operación puedan apilar y descargar un pallet con material empleando una grúa horquilla, de acuerdo a una secuencia lógica y en etapas, para que comprendan la importancia de este trabajo.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

| | |
|--|---|
| Recurso Plataforma Web | |
| Recurso audiovisual | |
| Formulación de Preguntas | ✓ |
| Taller de trabajo | ✓ |
| Propuestas de Situaciones Problemáticas | ✓ |

Tabla 60

Materiales y Recursos

Taller o patio maquinarias.

Grúa Horquilla

Hoja de control de riesgos

Bitácora de Grúa Horquilla

Manual del alumno

Pallet con algunos componentes que generen peso

Radio de comunicación de 2 vías

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en una pizarra paso a paso la actividad a desarrollar.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregará para control de los riesgos presentes.

El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida de que vaya realizando la actividad, para medir grado de conocimiento práctico y aclarar todas las dudas del participante. Además solicitará a los participantes que cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea, donde se evaluará además al alumno la actitud hacia el trabajo seguro.

Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 352
Elementos de protección personal obligatorios

La actividad deberá ser realizada en taller o en el patio de maquinarias.

Cada participante, de forma individual tendrá que cargar un pallet previamente dispuesto para esta tarea y luego retirar el equipo y bajar las horquillas para posteriormente disponerse a descargar el pallet.

Secuencias de la actividad que deben seguir los participantes:

1. El o los participantes antes de iniciar la actividad deberán llenar una hoja de identificación de riesgos.
2. El participante deberá revisar el entorno, para asegurarse de que no exista otro equipo cercano o personas en la cercanía.

3.- El participante deberá esperar instrucciones de parte del instructor antes de acercarse a la grúa horquilla.

3.- Una vez que el instructor autorice iniciar la actividad, el participante deberá dar partida al motor de la grúa horquilla, con el freno de mano activado.

4.- El participante, una vez que el instructor le indique, deberá aplicar procedimiento de apilamiento de pallet con Grúa Horquilla, descrito en la bitácora.

Bitácora de trabajo

| | |
|--|---------------|
| Participantes | Fecha: |
| Componente ensayado: Grúa horquilla | |
| Procedimiento aplicado Revisar entorno Realizar charla de seguridad 5 min con los compañeros asignados por el instructor Revisar llave de arranque de la grúa, bitácora, grúa y documentos. Poner atención a las indicaciones de la tarea Realizar inspección a la pauta de revisión visual para comprobar que todo está en buenas condiciones Desde el asiento y bajo procedimiento dar arranque al motor Posicionar la grúa frente a la carga con las horquillas rectas Tomar la carga desplazarse hasta el lugar de apilamiento Estando en el lugar de apilamiento levantar la carga en forma recta hasta que llegue a unos 15 cm de la pila Avanzar lentamente y depositar la carga Retirarse y bajar las horquillas a 20 cm del piso. Anotar el trabajo realizado Realizar housekeeping | |
| Conclusiones de la actividad El participante debe anotar las conclusiones de la actividad | |

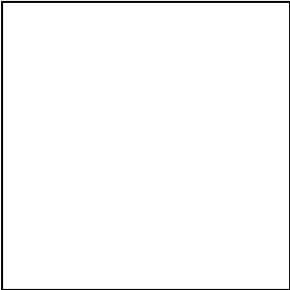
| | |
|--|--|
|  <p>Fotografía del componente Si es posible</p> | <p>Nombre Inspector :</p> <p>_____</p> |
| | <p>Firma Inspector :</p> <p>_____</p> |
| | <p>Recomendaciones :</p> |

Tabla 61

Cierre

El participante deberá realizar un informe sobre la actividad, exponiendo en sala de clases los resultados de su desempeño en la maniobra de la grúa horquilla y las conclusiones obtenidas.

El participante deberá comprender la importancia de aplicar técnicas de operación para poder trabajar la grúa horquilla con otros equipos, con personas cerca y la aplicación de técnicas de almacenamiento y apilamiento de cargas de forma segura.

El instructor deberá comentar con los participantes las conclusiones que sacó durante el desarrollo de la actividad, para mejorar la habilidad de operar la grúa horquilla

51. Despacho de concentrado de molibdeno

En el despacho del concentrado de molibdeno, el operador debe solicitar por vía radial o telefónica información a romana con la patente del camión si la tara es efectiva, antes de proceder a su carga y registro en planilla de control. En otros casos existe un sistema cerrado en línea entre romana y zona de carguío en el cual operador y romanero ingresan al sistema los datos de cada camión como guía de despacho, patente del camión, tara, número de maxisacos cargados, números de serie y peso registrado en báscula de planta. En cualquiera

de los dos casos operadores deben solicitar la documentación al chofer y verificarla con romana.

Una vez que el operador verifica los datos del chofer y el camión, procede a solicitar su estacionamiento en la zona de carga, bajo el siguiente protocolo:

- Operador grúa horquilla autoriza ingreso de camión a la zona de carguío.
- Operador grúa horquilla solicita planilla de ruta a chofer para colocar timbre de operaciones.
- Chofer del camión debe proceder a acuñar el camión.
- Operador grúa horquilla solicita llaves a chofer, la cuales se colocan en una caja de bloqueo manual.
- Operador grúa horquilla segrega el área de carguío para impedir acceso de otras personas o equipos mientras opera el equipo.
- Segregada el área, el operador grúa horquilla inicia traslado de maxisacos al camión.
- El operador grúa horquilla levanta el maxisaco y lo posiciona en la rampla del camión.
- En caso que un maxisaco se rompa total o parcialmente, deberá recuperarse el producto derramado. El maxisaco se retira y se reemplaza por uno nuevo.
- Terminado el proceso de carguío, se retiran conos de segregación.
- Se entregan llaves a chofer, el cual procede a retirar sus cuñas.
- Se autoriza retiro de camión.
- Se avisa a romana el despacho del camión, para permitir el ingreso de otro al área.
- El operador de romana registra hora de entrada y salida del camión, aparte de los demás datos correspondientes.

51.1. Transporte de concentrado de molibdeno

El transporte de concentrado de molibdeno se realiza en camiones de hasta 30 ton de capacidad, de acuerdo a los programas de despacho que establece cada empresa en particular durante la fase de operación. El transporte se realiza por vía terrestre, generalmente a través del servicio de terceros, desde las instalaciones de la planta hasta los lugares de comercialización.

El concentrado de molibdeno se realiza en maxisacos con una capacidad aproximada de 1.500 a 2.000 kilos de peso. A objeto de minimizar el riesgo de derrame en caso de eventuales incidentes, los camiones deben tener barandas de 65 cm. y carpas de protección de la tolva, resguardos que permiten evitar la caída de los maxisacos y cubrir adecuadamente la carga

para evitar pérdidas de concentrado de molibdeno por efecto eólico al momento del transporte.



Figura 353
Despacho de concentrados

Esta actividad que es ejecutada por empresas especializadas, deberá contar con los correspondientes planes y procedimientos de seguridad y contingencia, acordados de forma previa con la autoridad competente, dando cumplimiento a los requerimientos básicos señalados a continuación, tanto para las condiciones generales de transporte como para el caso de incidentes.

51.2. Condiciones generales del transporte

Estas condiciones implican cumplir con lo siguiente:

- a) Los maxisacos debes ser marcados y etiquetados de acuerdo con el material que contienen.
- b) Los maxisacos se estibarán en forma segura, conforme lo indique la respectiva guía técnica de seguridad entregada por la empresa.
- c) No se transportarán los maxisacos de concentrado de molibdeno conjuntamente con otro tipo de carga.
- d) Después de la descarga de un vehículo en que se haya transportado el molibdeno, éste y el depósito o plataforma destinada a la carga deberán limpiarse.
- e) Durante el proceso de la carga y descarga, el vehículo se dejará inmovilizado mediante un dispositivo que lo asegure (cuñas).



Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

