CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor

Módulo 1: “Diagnóstico y mantención de sistemas de control neumático”

PFMEI-4-04/V.1[PE01-M01/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente del 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., Jefe de Proyecto Empresas
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación 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 CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.
Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento 7

1. Riesgos neumáticos 9
- 1.1 Riesgos neumáticos 9
- 1.2 Riesgos asociados a la actividad. 10

2. Neumática 14
- 2.1 Literatura técnica 14
- 2.2 Válvulas neumáticas. 32
- 2.3 Reguladores, filtros, lubricadores (FRL). 38
- 2.4 Circuitos neumáticos. 45
- 2.5 Herramientas adecuadas para intervenir circuitos neumáticos 49
- 2.6 Instrumentos de medición para circuitos neumáticos. 54

3. Control automático 64
- 3.1 Análisis de respuesta transientes, nivel avanzado. 64
- 3.2 Registrador u osciloscopio con memoria. 76
- 3.3 Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo). 78
- 3.4 Sintonía de controladores PID (ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo). 99

4. Controlador lógico programable 132
- 4.1 Programación de Controlador Lógico Programable (PLC). 132
- 4.2 Software específico de programación de PLC. 136
- 4.3 Biblioteca IEC. 152
- 4.4 Parametrización de controladores PID en PLC. 192
- 4.5 Prueba de respuesta transiente de controlador PID en PLC. 210

5. Sistema de control distribuido 246
- 5.1 Programación de Sistema de Control Distribuido (DCS). 246
- 5.2 Software específico de programación de DCS. 248
- 5.3 Biblioteca IEC 253
- 5.4 Parametrización de controladores PID en DCS. 254
- 5.5 Prueba de respuesta transiente de controlador PID en DCS. 262

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 **Mantenedor Instrumentista Especialista.**

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 listan 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 requerimientos de 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 o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a 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 buenas.

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

Módulo I: Diagnóstico y Mantención de Sistemas de Control Neumático

1. Riesgos neumáticos

1.1 Riesgos neumáticos

Existen normas y estándares en todo el mundo para el diseño, instalación y manipulación de equipos eléctricos o mecánicos con una variedad de fuentes (eléctrica, neumática, hidráulica, etc.) todo esto queda invalido ante una mala evaluación de riesgo por un técnico.

La fuente utilizada por los equipos neumáticos es el aire comprimido, junto con la electricidad, son las formas o el vector energético más utilizado en la industria. El aire comprimido se usa como fuente de energía para diferentes tipos de herramientas y máquinas y, a menudo, es una parte importante y bien integrada en muchos procesos de producción. El aire comprimido tiene ventajas como costes de mantenimiento bajos, peso bajo en relación con el rendimiento y la posibilidad de usar carga alta durante largo tiempo sin riesgo de sobrecalentamiento. Puesto que la mayoría de aplicaciones neumáticas no están conectadas a electricidad, a menudo no se comprenden los riesgos existentes. Pero de la misma forma que se deben cumplir las reglas de seguridad para máquinas y herramientas eléctricas, también hay que manipular los aparatos neumáticos con respeto para evitar accidentes graves.

Figura 1

El aire comprimido almacena grandes cantidades de energía a alta presión, lo cual significa que una manipulación incorrecta puede causar incidentes graves en el lugar de trabajo. Por ello es importante formar al personal para concienciarlo de los riesgos y hacer que cumpla con las reglas de seguridad establecidas por la empresa; por ejemplo, nunca apuntar a otra persona una pistola de limpieza con aire comprimido. También es importante considerar las limitaciones técnicas de presión de trabajo máxima, temperatura, carga, etcétera, indicadas por el fabricante para un dispositivo o una herramienta determinado/a. Las medidas de seguridad relacionadas con el uso de aire comprimido son algo cada vez más importante para empresas y autoridades, y algo que actualmente se está estudiando en muchos países.

Riesgos

El aire comprimido no sólo es aire. El aire comprimido es una corriente de aire concentrada con presión alta y velocidad alta que puede causar lesiones graves al operador y a personas que están cerca.
Jugar con aire comprimido puede comportar peligro de muerte. Un intento inocente de asustar a otra persona soplando en su espalda hizo que la persona se sorprendiera tanto que cayó hacia delante y se lesionó gravemente con las piezas móviles de una máquina. Un chorro de aire comprimido dirigido a la cabeza puede causar lesiones oculares graves o romper el tímpano del oído. El aire comprimido dirigido a la boca puede lesionar los pulmones y el esófago. El uso imprudente de aire comprimido para limpiar suciedad o polvo del cuerpo, incluso si se usan ropas protectoras, puede hacer que penetre aire comprimido en este, con el riesgo consiguiente de dañar los órganos internos.

La lesión más grave que puede causar el aire comprimido ocurre cuando se sopla aire comprimido debajo de la piel; por ejemplo por una herida. Ello puede causar embolia gaseosa; con penetración de burbujas de aire en las venas, que se transportan en la sangre. Cuando una burbuja llega al corazón se producen síntomas parecidos a un infarto. Cuando una burbuja llega al cerebro puede causar hemorragia cerebral. Este tipo de lesión puede causar la muerte inmediata. Puesto que el aire comprimido normalmente contiene pequeñas cantidades de aceite o suciedad, también pueden producirse infecciones graves si penetra aire comprimido en el cuerpo.

1.2 Riesgos asociados a la actividad.

En el ámbito laboral se utilizan una gran variedad de herramientas manuales conectadas a una red de aire comprimido mediante mangueras flexibles.
El manejo de mangueras flexibles presenta un riesgo debido a la energía que el aire a presión puede liberar.

En condiciones normales, las mangueras flexibles que se utilizan para unir cilindros, uniones, válvulas, etc. con la red de aire comprimido, pueden romperse durante su utilización debido a un desgaste por flexiones, golpes, erosiones, mala instalación, etc.
La rotura de una manguera flexible de aire comprimido, provoca un movimiento de serpenteo o latigazo, debido a la brusca salida del aire, agravándose el riesgo, si la parte desprendida dispone de elementos metálicos de conexión.

En otras ocasiones, las mangueras de aire comprimido se conectan a pistolas de soplado, cuya utilización puede ocasionar los siguientes riesgos:

* Heridas por la descarga de la pistola sobre la piel (de especial gravedad cuando se proyecta sobre la cara, oídos,...).

* Heridas en ojos por las proyecciones de partículas o polvo (tanto en el propio técnico que interviene la línea o equipo, como en compañeros que se encuentran en las proximidades)

* Riesgos higiénicos al producir la dispersión en el ambiente de materia particulada (polvo) que puede ser inhalada por los trabajadores.

* En determinadas ocasiones la creación de atmósferas polvorientas puede conllevar el riesgo de explosión, sobre todo si se trata de partículas de materia orgánica (azúcar, harina, polvo de cereales, polvo de carbón,...).

* Riesgo higiénico por exposición al ruido que se genera al liberarse el aire comprimido al medio exterior.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN

a) Al manejar mangueras flexibles:
- Se efectuará una selección de las mismas, en función de las condiciones existentes en el lugar de trabajo.

- El grado de resistencia física de la manguera será el adecuado al uso al que se destina.

- Estarán protegidas frente a posibles deterioros producidos por elementos externos (circulación de personas o vehículos sobre las mismas).

- No se utilizarán mangueras con empalmes efectuados con cintas aislantes o similares.

Figura 2

- Se seguirán las indicaciones de utilización y de mantenimiento facilitadas por el fabricante de las mismas.

b) En relación con las uniones de las mangueras:
- Se efectuarán mediante acoplamientos de acción rápida, diseñados de tal forma, que cuando se desconecte, automáticamente corte la salida del aire comprimido y despresurice lentamente la parte desconectada.

Figura 3

- No se efectuarán uniones mediante alambres, cintas aislantes, etc.

c) Al manejar pistolas de soplado:

- - En caso de prever que la operación de soplado pueda ocasionar proyección de partículas con riesgo de lesiones por impacto, se analizará la posibilidad de cambiar de método y si esto no fuera posible:
- Se habilitarán lugares adecuados al efecto para efectuar estas operaciones. También se pueden interponer pantallas y en su caso si la adopción de estas medidas no fuera suficiente, generalizar el uso de los equipos de protección a todo el personal aunque no intervengan de forma directa en la operación de riesgo.
- Se utilizarán boquillas de seguridad para reducir la velocidad de salida del aire comprimido.
- Se utilizarán pistolas dotadas de pantallas de protección antivirutas
- Se utilizarán equipos de protección individual según proceda, de cara/ojos.
- Se prohibirá la utilización de pistolas de soplado en la que la salida del aire se produzca a través de un único orificio.
- Nunca se proyectará la salida del aire comprimido sobre el cuerpo: no se empleará para la limpieza de la ropa (en su lugar se pueden utilizar aspiradores de vacío con cabeza de cepillado), y jamás se realizarán bromas con estos equipos.

Figura 4

- Su uso estará prohibido en lugares con polvos explosivos y/o en lugares con ambientes tóxicos en los que se pueda producir una mayor dispersión del contaminante.

d) Al acoplar las mangueras de aire comprimido:

- Como regla general, en todas las instalaciones herramientas portátiles, se emplearán reguladores de presión, para ajustar ésta al valor óptimo para la seguridad y la eficacia del equipo.
- Los filtros y lubricadores se montarán en la tubería de suministro del aire comprimido.

Figura 5

- Se seguirán las indicaciones de seguridad facilitadas por el fabricante de las herramientas.
- Para disminuir el nivel de ruido producido durante su uso, se utilizarán siempre que sea posibles boquillas silenciadoras.
- Presiones de salida inferiores a 2,1 bares reducen considerablemente la posible entrada de aire en la sangre a través de los poros de la piel.
- Engancharse y colocar protectores de boca giratorios.

2. Neumática

Los sistemas que emplean gas para transmitir fuerza se llaman sistemas neumáticos. Su diseño es similar a aquel de sistemas hidráulicos. Las diferencias principales es que el medio de fluido empleado normalmente es aire (el cual se puede comprimir) y la fuente es la atmósfera.

El principal componentes de un sistema neumático es el compresor neumático. Los compresores neumáticos se emplean para comprimir aire atmosférico, reduciendo su volumen y aumentando su presión. Esta presión se puede transmitir a través del sistema y usar para realizar trabajos tales como propulsar equipos.

2.1 Literatura técnica

Teoría y Leyes de la Neumática

Muchas de las teorías y leyes aplicadas a sistemas hidráulicos también se aplican a sistemas neumáticos. Estas leyes se aplican a fluidos que incluyen gases así como también líquidos. Por ejemplo, la Ley de Pascal, los Principios de Bernoulli, y la Ley de la Conservación de la Energía se aplican al aire y a los líquidos. Para mayor información sobre estas leyes y otras materias relacionadas.

Propiedades del aire comprimido

El aire a presión (comprimido) tiene las siguientes propiedades:

- Su volumen se puede comprimir o reducir.
- El aire se expande para llenar cualquier recipiente.
- La presión en un fluido confinado, estático (en reposo) actúa de igual forma e idénticamente en toda dirección. Siempre actúa en ángulos rectos a la superficie del recipiente. (Esta es la Ley de Pascal).
- Debe haber un cambio de presión para crear un flujo de aire.
- El aire fluye desde áreas de alta presión a áreas de baja presión.

Formas de aumentar la presión

En un recipiente sellado, se crea presión sobre las paredes del recipiente. Se forma rápidamente moviendo moléculas de aire que golpean las paredes del recipiente y crean una fuerza. La presión se puede aumentar:

- Reduciendo el volumen para crear más impacto sobre un área más pequeña de la pared
- Introduciendo más aire dentro del espacio confinado
- Calentando el aire de modo que las moléculas viajan más rápido y aumentan la intensidad y cantidad de impacto sobre la misma área de la pared.

Flujo de aire y presión

El aire fluye a través de conductos de una forma muy similar a aquella del fluido hidráulico.
Puesto que el área de sección transversal del conducto cambia, también lo hace la presión en la línea (asumiendo que el rango de flujo es constante). Esto se conoce como el Principio de Bernoulli.

- Ley de Boyle
- La Ley de Boyle establece que:
  A temperatura constante, la presión absoluta (P)
  Varía de manera inversa al volumen (V).

Esto se expresa en la fórmula:

$$p1 \ xV1 = P2 \ x \ V2.$$

Usando esta fórmula, todos los cálculos de presión deben basarse en presiones absolutas (psia).
Por ejemplo, un cilindro con un volumen (V1) de 200 cm3 tiene una presión (P1) de 15 psia. Al reducir la presión a V2 = 100 cm3, la presión aumenta a P2. Para calcular P2:

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

$$15 \times 200 = P2 \times 100$$

Reordenando esta fórmula:

$$P2 = 15 \times 200 \div 100$$

$$= 30 \text{ psia}$$

Ley de Charles

1. La Ley de Charles establece que:

A una presión constante, el volumen (V) de un gas varía
Proporcionalmente a su temperatura absoluta (T).

También se conoce esta afirmación como la Ley de Gay-Lussac. Se expresa en la fórmula:

$$\frac{V1}{T1} = \frac{V2}{T2}$$

2. La Ley de Charles también establece que:

Para un volumen constante de gas, la presión (P)
Varía proporcionalmente a su temperatura absoluta (T).

Se expresa en la fórmula:

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

Ley del Gas Ideal

Debido a que el gas no se comprime sin un cambio en la temperatura, las leyes de Boyle y de Charles se combinan para crear una Ley de Gas Ideal: Se expresa en la fórmula:

$$\frac{P1 \times V1}{T1} = \frac{P2 \times V2}{T2}$$

Otras consideraciones (tales como humedad, calor de fricción, y pérdidas de eficiencia) toman efecto al efectuar cálculos para sistemas neumáticos. Aun así, esta ley todavía se emplea para cálculos de diseño.

Bombas de Vacío

La fuerza de vacío es una forma de fuerza de fluidos. Una bomba de vacío extrae el aire más que comprimirlo. Las bombas de vacío existen en una variedad de distintos estilos. Ver listas de productos de fabricantes para bombas existentes. La siguiente tabla muestra los valores nominales de vacío de algunos de los tipos más comunes de bombas de vacío.

Valores nominales de bombas de vacío	
Tipo de bomba de vacío	Valor nominal continuo máximo de vacío (“Hg)
De Pistón (multigradual)	28,5
De aleta rotatoria (multigradual	29,5
De aleta rotatoria (lubricada con aceite)	28,0
De aleta rotatoria (seca)	26,0
Con rotor de lóbulos	15,0
De tornillo rotatorio	28,5
Centrífuga (periférico regenerativo)	7,0

Tabla 1

Compresores neumáticos

Antes de emplear aire en un sistema neumático, se debe comprimir para crear presión. Un compresor neumático es una bomba diseñada para aumentar la presión de aire reduciendo su volumen.

Compresor de capacidad fija

Clasificación de compresores

Los compresores se pueden clasificar por su principal operación:

Los compresores de acción dinámica entregan grandes volúmenes de aire a presiones relativamente bajas.

Los compresores de acción con desplazamiento negativo entregan volúmenes moderados de aire a altas presiones.

Los compresores también se pueden clasificar por su movimiento:

- Los compresores recíprocos tienen una acción de desplazamiento positivo.
- Los compresores rotatorios pueden tener una acción de desplazamiento positivo o dinámico.
- Los compresores rotatorios de desplazamiento positivo son compresores con aleta, lóbulos y de tornillo.
- Los compresores rotatorios dinámicos son compresores centrífugos.

Control de presión máxima

Los compresores requieren alguna forma de prevenir compresión adicional una vez que se alcanza el máximo requerido. Una forma de hacer esto es incorporar al compresor un dispositivo de descarga. Esto permite a la transmisión funcionar con la menor demanda de hp cuando alcanza la presión máxima de aire.

Dispositivos de descarga (dedos)

Un dispositivo de descarga corriente consiste en un juego de dedos controlados por una línea piloto desde la presión de aire del sistema. Estos dedos mantienen abiertas las válvulas de toma cuando se alcanza la presión máxima del sistema. Ver Figura.

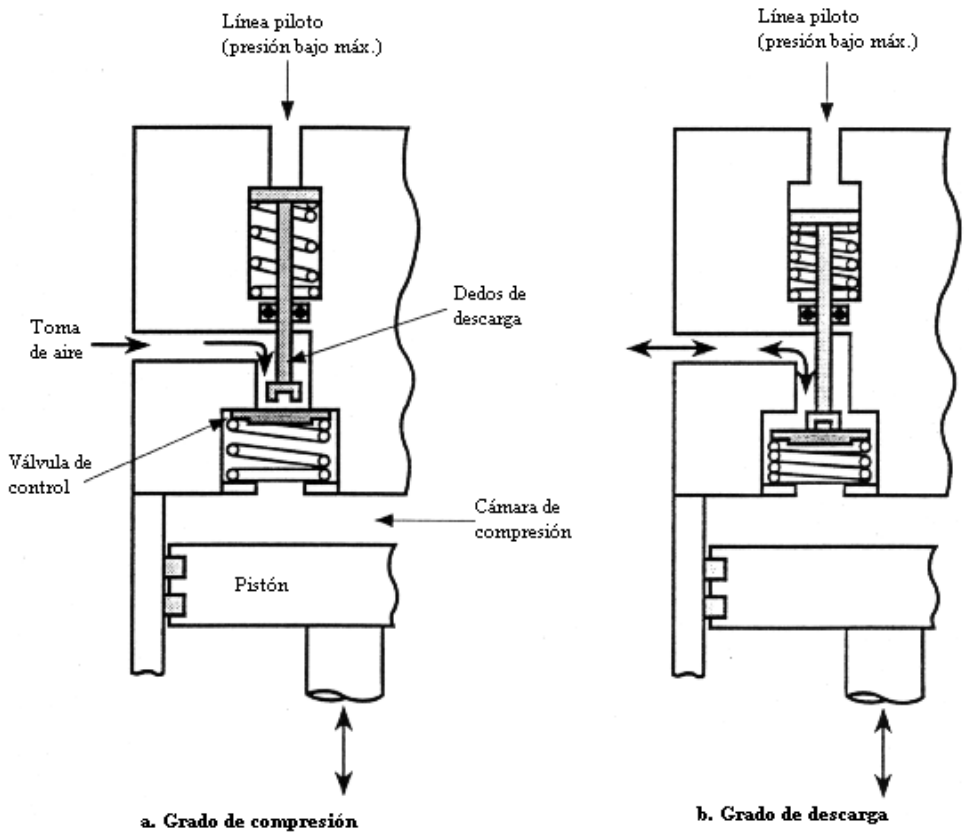


Figura 6

Dedos de descarga

Cuando la presión del aire está bajo el máximo, la válvula puede sellar. A máxima presión, a presión piloto activa los dedos que mantienen abierta la válvula de toma. Esto permite al aire de la toma fluir dentro y fuera de la cámara sin compresión.

Otros métodos

Otros métodos para controlar la presión máxima del aire del compresor:

- Estrangular la toma de aire, permitiendo así el ingreso de menos aire libre al compresor.
- Usar una transmisión de velocidad variable, como por ejemplo una unidad con motor a gasolina o diésel. (A la regulación de presión máxima, las rpm del motor se reducen y se desengancha el embrague centrífugo. esto permite que el motor funcione a bajas rpm sin ninguna carga.)
- Usar un interruptor de presión para encender y apagar un motor eléctrico. (Un interruptor de presión con un rango bajo y alto de pre-ajuste detiene y arranca el motor eléctrico.)

Compresores recíprocos

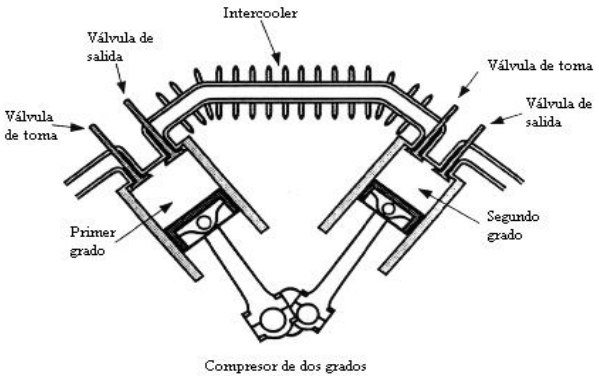
Recíproco significa el movimiento alterno de avance y retroceso del pistón. En un compresor recíproco, un cilindro contiene el aire. Un pistón deslizante aumenta y disminuye el volumen del cilindro y las válvulas controlan el flujo de aire a través del compresor. Una válvula de control de presión máxima mantiene la presión del aire por bajo un límite establecido. Se montan válvulas de control cargadas por resorte en una u otra dirección de las áreas de toma y descarga. El pistón no toca el cabezal, pero deja una brecha de holgura.

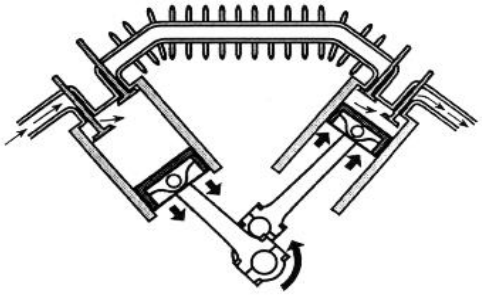
Funciona de la siguiente forma:

1. Cuando comienza la carrera de succión, el movimiento del pistón crea un vacío parcial.
2. La presión atmosférica entonces desasienta la válvula de control de toma, permitiendo que el aire llene la cámara.
3. La válvula de control de descarga permanece cerrada debido a la presión del resorte y a la presión del aire.
4. En la carrera de compresión, la válvula de control de toma se cierra y el pistón avanza, comprimiendo el aire en el cilindro.
5. Efectúa esto hasta que la presión del aire s mayor que la presión de línea y presión de resorte combinada de la válvula de control.
6. En este punto, la válvula de control de descarga se abre.
7. Esto permite al aire comprimido salga del cilindro.
8. La carrera de succión comienza y entonces se repite el ciclo.

Tipos de compresores recíprocos

Los compresores recíprocos pueden ser de una acción o de doble acción. También pueden ser de un grado o multigradual. Los compresores multigraduales consumen menos energía que los compresores de un grado. Los compresores de un grado y de doble acción entregan más aire comprimido por dólar de energía que cualquier otro compresor.





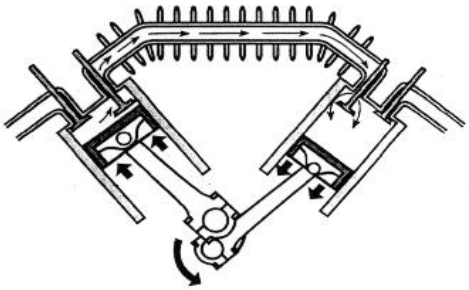


Figura 7

Compresor recíproco multigradual

Las diferencias son las siguientes:

- Los compresores de una acción comprimen aire en un lado del pistón solamente.
- Los compresores de doble acción comprimen aire en ambos lados del pistón.

- Comúnmente se les emplea para aplicaciones grandes de trabajo pesado.
- Los compresores de un grado alcanzan la presión final con una carrera de compresión.
- Los compresores multigraduales (dos o más grados) comprimen aire a una presión fija en el cilindro grande de baja presión. El aire luego se descarga a un cilindro más pequeño de mayor presión donde se comprime a una presión nominal y se descarga al receptor. Un intercooler entre los cilindros reduce la temperatura del aire.

Compresores rotatorios

Generalmente, los compresores rotatorios son más pequeños que los compresores de pistones, tienen menos vibración, y necesitan menos masa en una base al entregar el mismo volumen de aire utilizable. Algunos compresores rotatorios de alta velocidad son muy ruidosos y se deben operar con silenciadores y encerrar en una sala amortiguadora de sonido. Existen varios tipos de compresores rotatorios.

Compresores de aleta

El compresor de aleta deslizante se compone de un motor con aletas deslizantes montadas en una caja excéntrica (fuera de centro). Las aletas se mueven hacia adentro y afuera bajo fuerza centrífuga y forman un sello contra la caja. El aire es recogido a través de los puertos de toma cuando los compartimientos se expanden. El aire luego es comprimido cuando los compartimientos disminuyen su tamaño, y es descargado a través de los puertos de escape.

Los compresores de aleta vienen en unidades de un grado y multigraduales. Las unidades multigraduales requieren intercoolers entre los grados.

Lubricación y aire seco

Se requiere lubricación donde las aletas se contactan con la caja. Esto se efectúa inyectando aceite o aplicando un rocío de aceite dentro de la corriente de aire. Los separadores de aceite se emplean para extraer el aceite de la corriente del aire del compresor. El aceite absorbe algo del calor de compresión y se debe enfriar después que ha sido extraído de la corriente de aire.

Se puede obtener aire seco (sin aceite) desde un compresor de aletas empleando aletas con superficies de desgaste especiales que no requieren aceite.

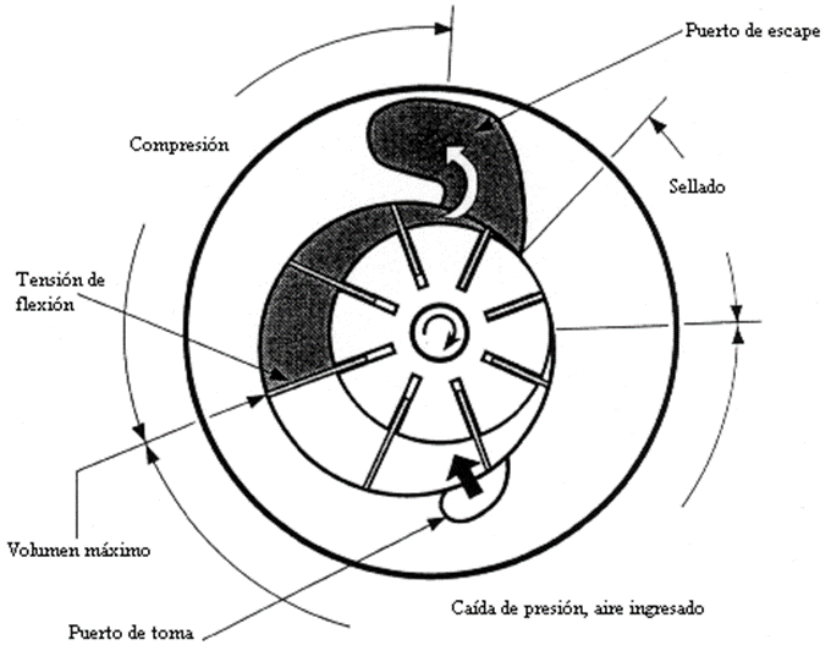


Figura 8

Acción de compresión de un compresor de aletas

Compresores de lóbulos

Los compresores de lóbulos funcionan a través de la acción de dos rotores con lóbulos estrechamente enmallados accionados por engranajes de distribución. El rango de presión generalmente es bajo, pero el volumen entregado es alto.

El aire es atrapado entre los lóbulos y la caja y circula sin una reducción mecánica en volumen. La presión se forma a partir de restricciones en el puerto de descarga y desde la resistencia del sistema al flujo.

No existe contacto de metal con metal. Por consiguiente, no se requiere lubricación de superficies o lubricación de la corriente de aire.

Marcas de combinación en los engranajes de distribución
Si se debe desarmar la máquina, revise los engranajes de distribución en busca de marcas de combinación. Estas marcas a menudo son estampadas en la fábrica, pero si ninguna es evidente, ponga un juego en ellos. Si los engranajes ya están marcados, no agregue otro juego. Un re ensamblaje exacto requiere marcas de combinación.

Compresores de tornillo

Un compresor de tornillo consiste en dos tornillos o lóbulos en una hélice. El aire es atrapado entre las unidades de enmallado y reducido en volumen a medida que se mueve axialmente hacia el puerto de descarga.

Los rotores adaptadores no tienen el mismo número de lóbulos. El conjunto 4 + 6 que muestra la figura es para uso general. Tiene cuatro lóbulos en la transmisión y seis lóbulos en el rotor de impulsado.

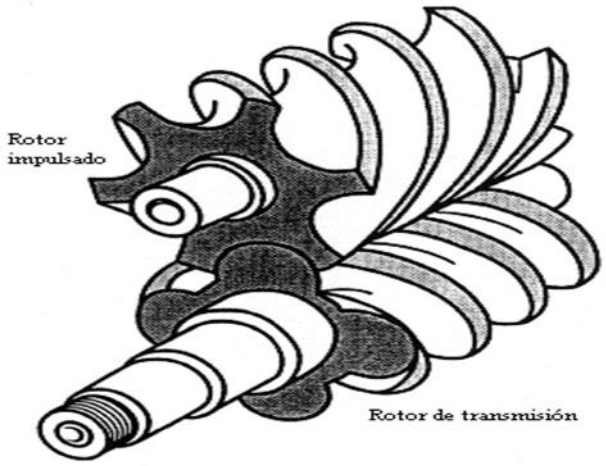


Figura 9

Un conjunto 4 + 6 de rotores para un compresor de tornillo

Otras combinaciones posibles de lóbulos son:

- 6 + 8 para condiciones de alta presión y bajo volumen
- + 4 para condiciones de baja presión y alto volumen

Compresores de tornillo seco

Los compresores de tornillo secos usan dos engranajes retardados para evitar contacto entre los rotores. El contragolpe de engranajes y el desgaste de rodamientos se deben mantener a un mínimo debido a las pequeñísimas holguras entre los rotores.

¡Precaución!
Asegúrese que los engranajes de distribución tengan marcas de combinación antes de efectuar el desensamblaje.

Compresores de tornillo húmedo

Los compresores de tornillo húmedo tienen un rotor que impulsa al otro, esto permite eliminar los engranajes de distribución. Estos rotores necesitan aceite para reducir el desgaste entre las piezas de combinación. Como con los compresores de aleta, se debe extraer el aceite desde la corriente del aire después que éste abandona el compresor. Este aceite reduce además la cantidad de escape de aire y retira algo del calor de compresión.

Escape de aire

El escape de aire es aire que retorna al lado de la toma después de las superficies de sellado en un compresor de tornillo. La cantidad de escape de aire en todo compresor de tornillo se puede reducir aumentando las rpm de los rotores. Sin embargo, rpm mayores también aumentan el ruido de la máquina al punto que el compresor debe ser aislado del área de trabajo o ser instalado en un lugar que amortigüe el ruido.

Compresores centrífugos

Los compresores centrífugos emplean una acción dinámica para crear presión. Los compresores centrífugos no tienen sellado el pasaje desde la toma a los puertos de escape. Cuando el compresor no está funcionando, el aire puede fluir desde un puerto al otro en cualquiera de las dos direcciones. Cuando está en operación, la acción dinámica resiste la inversión del flujo. Los compresores centrífugos funcionan a alta velocidad y entregan grandes volúmenes de aire. Las unidades multigraduales se emplean para aumentar la presión de trabajo entregada al sistema.

La figura muestra una sección transversal de un compresor multigradual de flujo mixto. Tiene una serie de impulsores montados en un eje sencillo. El flujo de aire ingresa al ojo del impulsor y es descargado en su periferia. Luego el aire es dirigido hacia el ojo del siguiente impulsor y así sucesivamente hasta que el aire alcanza el puerto de descarga.

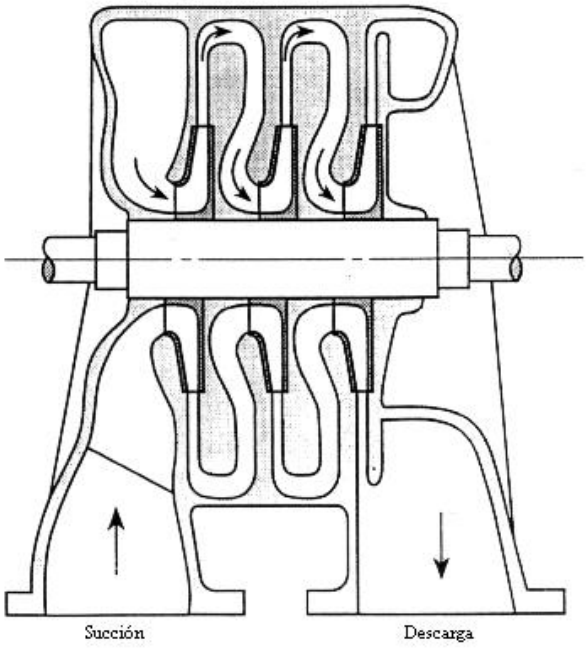


Figura 10

Compresor centrífugo multigradual de flujo mixto

La figura siguiente muestra una sección transversal de un compresor de flujo axial con una fotografía de su rotor. El aire es forzado axialmente a lo largo del rotor por una serie de aletas y dirigido por aletas estacionarias. La cavidad del propulsor disminuye desde un grado al otro. Esto comprime el aire a medida que se dirige hacia el puerto de descarga.

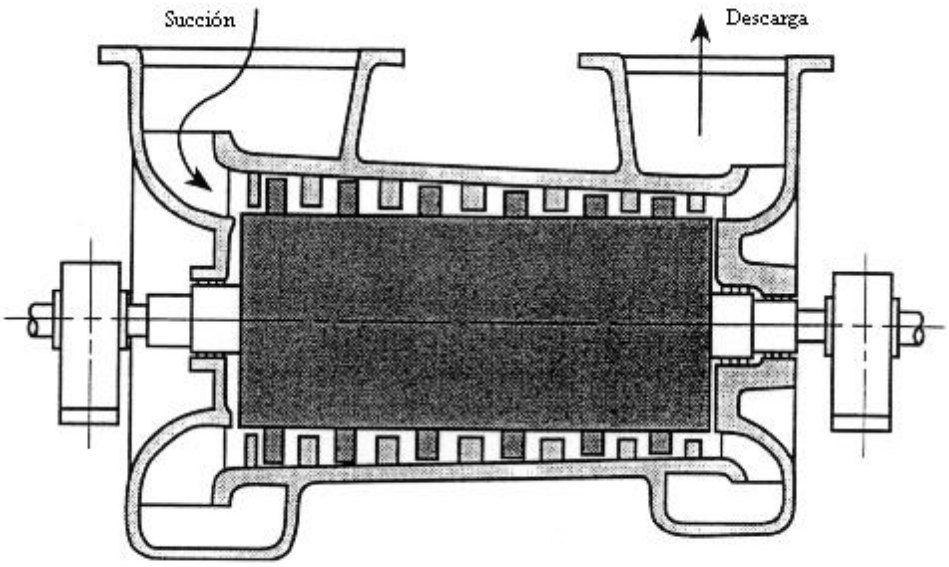


Figura 11

Compresor centrífugo multigradual de flujo axial

Tratamiento del aire

Es importante tratar el aire contra la contaminación y calor antes de usarlo en un sistema neumático. Al tratar el aire se asegura que no es dañino al sistema. El aire libre (aire atmosférico) contiene algún grado de contaminación aérea y humedad. Además, su temperatura varía. Estos factores se deben controlar por medio de algún tipo de tratamiento de aire antes que el aire ingrese a un sistema neumático. El tratamiento del aire comprende filtrado, enfriamiento, eliminación de humedad y aceite, y almacenamiento.

La siguiente Figura en la siguiente página muestra un sistema compresor con una combinación de todos los componentes descritos en esta sección. Cuando el aire comprimido está en el receptor, está bajo presión y disponible para aplicaciones específicas.

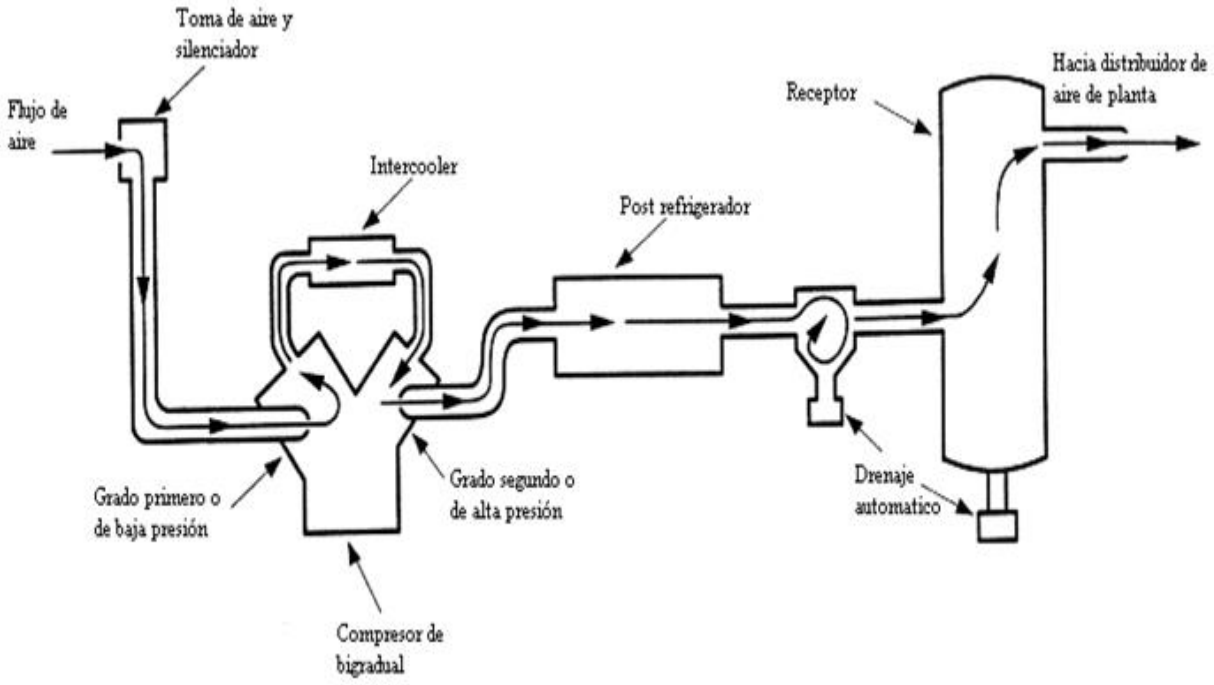


Figura 12

Sistema compresor típico

Filtros de Toma

Filtro o colador

Todo aire tiene algún nivel de contaminación en él. Dependiendo del medioambiente, varía el nivel de contaminación. Los filtros de toma (respiraderos) controlan la cantidad de contaminantes aéreos que puede ingresar al compresor. La cantidad de eliminación de contaminación depende del requerimiento del compresor. Los filtros generalmente forman parte integral del compresor. Se les debe hacer mantención de manera regular puesto que un filtro sucio obstruye a línea de toma.

Existen muchos filtros secos o de baño de aceite. La mayoría son de fieltro o algodón, que conservan su forma por medio de una malla o pantalla filtradora abierta y rígida. Extraen del aire la mayor parte de suciedad y otra contaminación sólida.

Intercoolers (interenfriadores)

Intercooler sin representación de las líneas de flujo del congelante

Enfriador que indica las líneas de flujo del congelante

A medida que se comprime el aire, se desarrolla calor en el aire. Este exceso de calor hace expandir el aire. Para una compresión eficiente, esta expansión se debe mantener a un mínimo. Cuando el aire abandona el primer grado de un compresor multigradual, se debe enfriar el aire para reducir su volumen antes de su ingreso al segundo grado y así sucesivamente. Los intercoolers se emplean para enfriar el aire entre grados.

- Los intercoolers se pueden enfriar con aire o con líquido.
- Los intercoolers enfriador por aire usan un ventilador. Se acciona desde el compresor para forzar aire sobre tubos con aletas a través de los cuales pasa aire comprimido. Las aletas y tubos se deben mantener limpios para una eficiente disipación del calor.
- Los intercoolers enfriador por líquido usan una red de tubos inmersos en líquido recirculante. El líquido enfría el aire comprimido que fluye a través de los tubos.

Punto de condensación y colectores de agua

El punto de condensación es la temperatura a la cual se condensa el agua al ser enfriada. El vapor de agua en el aire comprimido se decanta como agua libre si la temperatura del intercooler disminuye por debajo del punto de condensación. Para evitar esto, se efectúa una de las siguientes opciones:

El intercooler tiene un colector de agua para juntar y eliminar el exceso de agua.
La temperatura de refrigeración se mantiene por sobre el punto de condensación.

Colector de agua sin control manual

Colector de agua, drenado automáticamente

Los colectores de agua son componentes vitales en la extracción de agua desde el sistema. Se pueden poner en muchos lugares para expeler grandes cantidades de agua desde las líneas. Cada vez que el aire comprimido se enfría y puede disminuir por debajo de su punto de condensación, se instala un colector de agua. Las áreas comunes son después del intercooler, post-refrigeradores y secadores de aire.

Algunos colectores de agua tienen un separador de humedad dentro de la unidad para aumentar el proceso de extracción de agua. El Dibujo 11 en la siguiente página muestra este tipo de colector de agua con un drenaje automático.

El flotador se eleva con el aumento del agua hasta que la válvula se desasienta. El agua entonces es expelida fuera del colector de agua hasta que el nivel del agua permite a la válvula reasentarse y así sucesivamente.

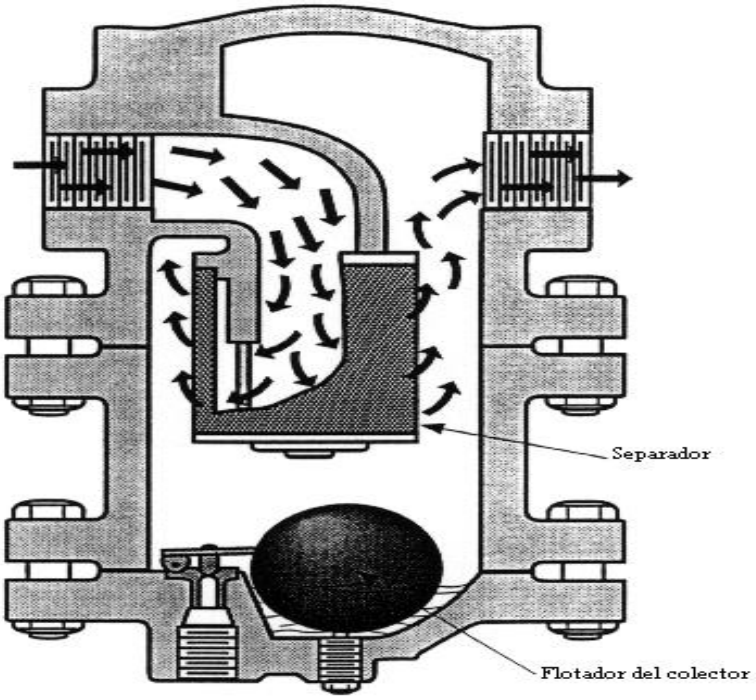


Figura 13
Colector de agua con separador de humedad y drenaje automático

Post-refrigeradores

Los post-refrigeradores son intercambiadores de calor que enfrían el aire después que éste abandona el compresor y antes que ingrese en el receptor. El receptor también puede actuar como un post-refrigerador. El post-refrigerador permite la extracción de la mayor parte de humedad y otros líquidos arrastrados que pueden estar en el aire comprimido durante los grados de compresión.

Los post-refrigeradores se pueden enfriar por aire o por agua.
Los post-refrigeradores actúan de manera similar a los radiadores de automóviles, salvo que el aire comprimido circula a través de tubos en vez de líquido.

Los post-refrigeradores tienen una bobina de tubo dentro de la cámara. El agua pasa a través de los tubos en una dirección mientras que el aire comprimido fluye sobre aquellos en la otra dirección. Al enfriarse el aire, se condensa y la humedad se colecta dentro de la cámara. El agua se drena hacia el colector de agua que puede expeler el agua hacia la atmósfera automática o manualmente. La figura siguiente muestra un post-refrigerador enfriado por agua con un colector de agua con drenaje automático.

Reutilización de calor de compresor

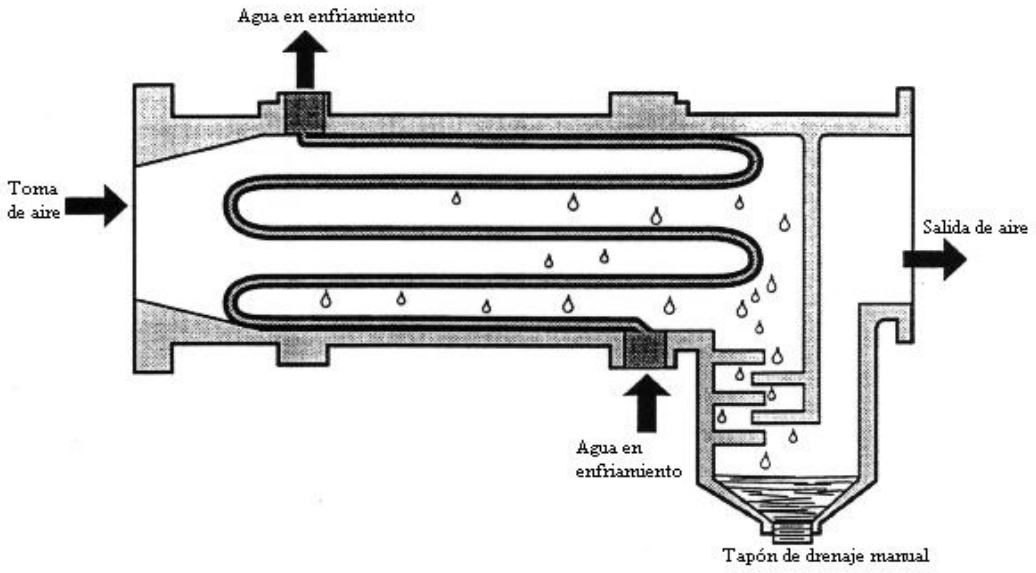


Figura 14

Vista de sección transversal de un postrefrigerador enfriado por agua

La mayor parte de la energía introducida en un compresor se pierde como calor a lo largo de su proceso. Generalmente la política de plantas ha sido desechar este calor hacia la atmósfera, pero más empresas están usando calor de compresor para calefaccionar edificios o agua potable.

Depósitos de aire (receptores)
Estanque presurizado

Un receptor de aire es un estanque de almacenamiento de aire comprimido antes de ingresar al sistema. Los receptores de aire se deben ubicar tan cerca del compresor como sea posible. El receptor cumple dos funciones:

Actúa como un depósito para acomodar cualquier fluctuación en el suministro del sistema. Esto amortigua las pulsaciones desde el compresor y proporciona al sistema una presión constante.

Reduce además a velocidad del aire. Esto permite que cualquier humedad que circule por el post-refrigerador se decante. Si no se usa un post-refrigerador, el receptor actúa como el post-refrigerador.

El receptor de aire se clasifica como un recipiente de presión no detonada. Es decir, es potencialmente explosivo y peligroso. Se fabrica según normas específicas. Una operación segura requiere que el receptor esté equipado con una válvula de escape o de seguridad, una válvula de drenaje, un fusible, y un manómetro de aire.

¡Precaución!
Los dispositivos de seguridad se deben instalar en el equipo. Lea el libro de instrucciones para informarse sobre los dispositivos de seguridad utilizados y el lugar donde se encuentran.

Válvula de seguridad

La válvula de seguridad libera cualquier presión en exceso. Este exceso se puede deber a la falla de la válvula de descarga o a la ola de presión transmitida de regreso desde el sistema. La válvula de seguridad se regula generalmente a un 5% a un 10% por sobre la presión máxima del sistema. La máxima presión operacional normal del aire es de aproximadamente 690 kPa (100 psig). Esta es regulada por el compresor, y nunca es mayor que la presión operacional máxima indicada en el receptor.

El control de presión máxima para un sistema neumático se ubica en, o sobre, el compresor, no sobre el receptor de aire. La válvula de seguridad en el receptor de aire se emplea en caso de cualquier falla en el sistema.

Válvula de drenaje

La válvula de drenaje se debe instalar en el punto más bajo del receptor. Debido al rango de diferentes formas y posiciones de montaje de los receptores, se debe tener especial cuidado de asegurar que la válvula de drenaje pueda drenar completamente el estanque. Si se altera la posición del receptor y la válvula de drenaje existente no está en el punto más bajo del estanque, se debe instalar una nueva válvula de drenaje en el punto más bajo. El agua y las emulsiones de aceite decantadas se deben drenar a través de esta válvula de manera regular.

Tapón fusible

Un tapón fusible se funde y libera toda la presión en el receptor si la temperatura del aire alcanza un nivel peligroso. Asegúrese que el paso por el cual se debe dejar escapar la presión no ponga en peligro a los trabajadores a su alrededor.

Manómetro de aire

El manómetro de aire monitorea la presión dentro del receptor.

2.2 Válvulas neumáticas.

Las válvulas empleadas en sistemas neumáticos funcionan de manera similar a aquellas en sistemas hidráulicos. Los sistemas hidráulicos funcionan a alrededor de 6,89 bar (100 psi) en oposición a las presiones mucho más altas de sistemas hidráulicos. Por lo tanto, las válvulas se pueden fabricar de distintos materiales. Los cuerpos de las válvulas neumáticas son a menudo de aluminio o alguna otra aleación liviana.

La presión se controla en el compresor por medio de descarga. Las válvulas reductoras (reguladores de presión) reducen la presión de líneas derivadas para aplicaciones específicas. Las válvulas de control direccional (VCD´s) controlan el movimiento de o los actuadores. Las válvulas de control de flujo controlan el volumen (y por consiguiente la velocidad) del aire hacia el actuador.

VCD´s neumáticas (válvulas de control direccional)

Los vcd´s en sistemas neumáticos difieren de aquellos en un sistema hidráulico en:

- el método en que se sellan los carretes
- el escape de aire hacia la atmósfera. El aire de escape se libera en la válvula, en el actuador, o en un área remota, a través de un conducto.

Las VCD´s neumáticas pueden ser rotatorias o de carrete, como las válvulas hidráulicas. Las válvulas rotatorias se cambian principalmente de forma manual. Las válvulas de carrete se pueden cambiar manualmente, mecánicamente, hidráulicamente o eléctricamente.

Sellado de carretes

El carrete en una válvula neumática se sella por medio del empleo de sellos dinámicos tales como O´rings o secciones en U en contacto con el diámetro interno y el carrete. Los asientos se mantienen en posición por medio de espaciadores y el carrete tiene esquinas redondeadas para permitir un fácil enganche con el sello.

La figura siguiente muestra dos métodos de uso de O´rings para sellar el carrete al cuerpo:

- En el diseño de diámetro interior empaquetado, los O´rings se fijan en ranuras en el cuerpo a través de las cuales se desliza el carrete.
- En el diseño de carrete empaquetado, los O´rings se fijan en el carrete.

El diseño de carrete sobrepuesto es otro método que tiene superficies igualadoras sobrepuestas a tolerancias precisas. Este diseño descansa en la lubricación entre las superficies igualadoras para efectuar el sellado.

Puertos

Las VCD´s se pueden emplear como una simple de corte de dos vías, o como una válvula de 3 o 4 vías, dependiendo de los puertos.

VCD´s de 3 posiciones, 5 puertos y 4 vías

En VCD´s neumáticas algunas de las válvulas de 4 vías están equipadas con 5 puertos. Estas pueden ser válvulas de 2 o 3 posiciones y se diseñan para aplicaciones multi-propósito. Existen VCD´s de 3 posiciones y 5 puertos con tres tipos de centros: de escape, presión, y bloqueado. Normalmente, el puerto de presión es el puerto de centro (1) y los dos puertos exteriores (3 y 5) son puertos de escape.

Estas VCD´s pueden tener sus puertos de presión y de escape invertidos. Esta se emplea para controlar un actuador a diferentes presiones en cada dirección. La figura muestra un ejemplo de un cilindro que se puede extender a una presión regulada y retraerse a toda presión. Esta situación se puede emplear cuando se usa un cilindro para abrir y cerrar una válvula de compuerta. La válvula de compuerta tiene una leve conicidad y requiere de poca presión para acuñar las superficies igualadoras para formar un sello hermético. Requiere de 3 a 5 veces más fuerza para abrir o desasentar la válvula.

¡Precaución!
No todas las VCD´s pueden estar invertidas - sus sellos de empaquetaduras pueden estar diseñados para sellar aire en una sola dirección. Para evitar daño interno, verlas especificaciones del fabricante.

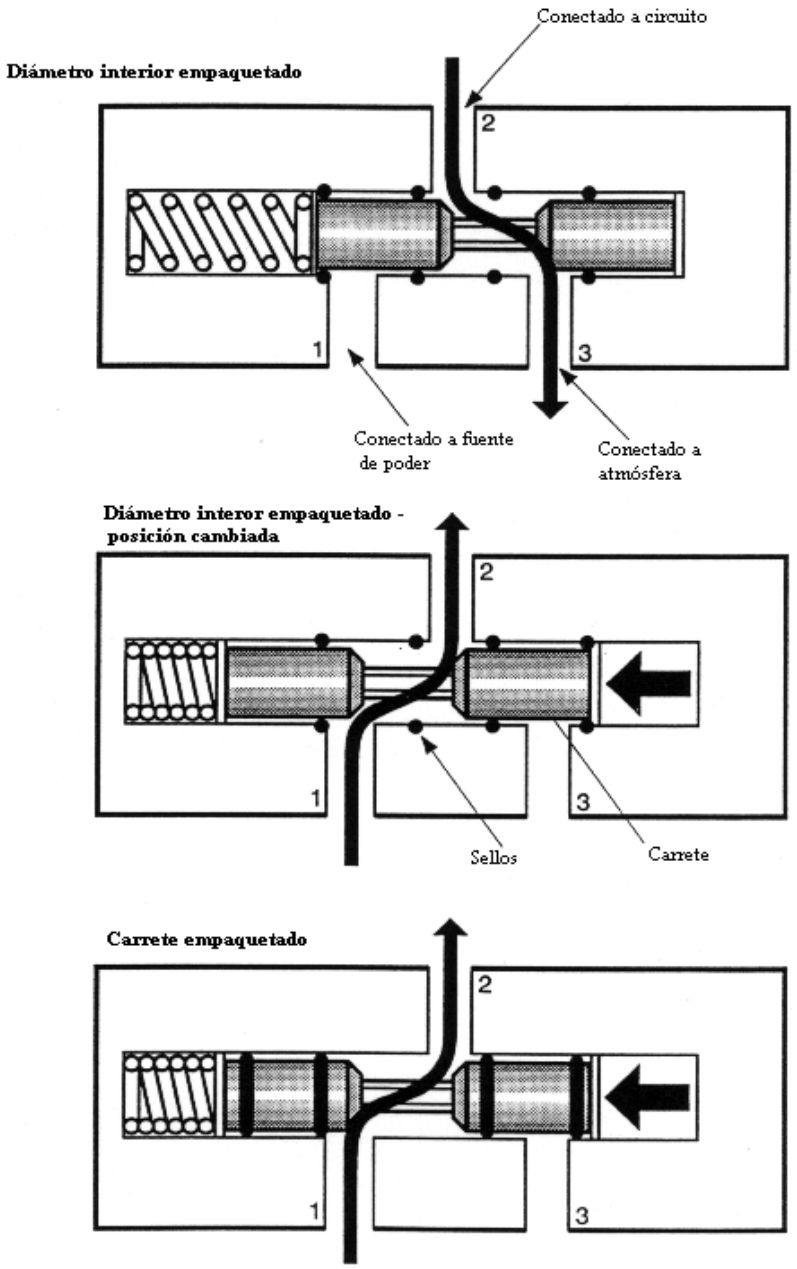


Figura 15

VCD´s con diámetro interior empaquetado y carrete empaquetado

Figura 16

Válvula de 4 vías con centro de escape, centro de presión y centro bloqueado

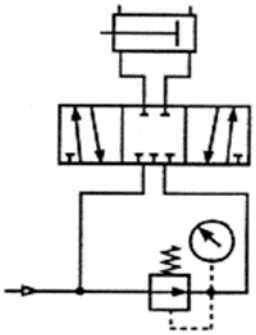


Figura 17

Cilindro de doble acción operado por VCD de 3 posiciones y 5 puertos

VCD´s controlados por solenoide

Las VCD´s se pueden controlar por medio depresión de piloto, solenoides directos, o por solenoide y válvulas piloto. Algunas válvulas controladas por solenoide se pueden activar manualmente. Esto se conoce como transferencia de mando manual y permite que la válvula opere cuando se ha desconectado la electricidad.

¡Precaución!
Antes de usar una transferencia de mando manual, asegúrese que:
1. La operación del equipo sea segura.
2. Toda persona relacionada con el equipo esté informada que la máquina puede funcionar. Deben mantener distancia de cualquier pieza móvil.

Las VCD´s controladas por solenoide permiten poco control puesto que están bien abiertas o cerradas. Debido a la acción extremadamente rápida del aire, a menudo se emplean VCD´s controladas manualmente o por piloto para controlar cilindros que se deben operar a velocidades desde filtración a bien abiertas. Ellas permiten un flujo variable de aire comprimido al actuador (es).

Válvulas de control de flujo

Las válvulas de control de flujo restringen la velocidad de flujo en un tramo de un sistema neumático. Actúan y se simbolizan de la misma forma que las válvulas de control de flujo hidráulico. La figura siguiente muestra una válvula de control, de flujo típica con flujo medido en una dirección y flujo libre en la otra. Los flujómetros se usan para medir la cantidad de flujo a través de la línea.

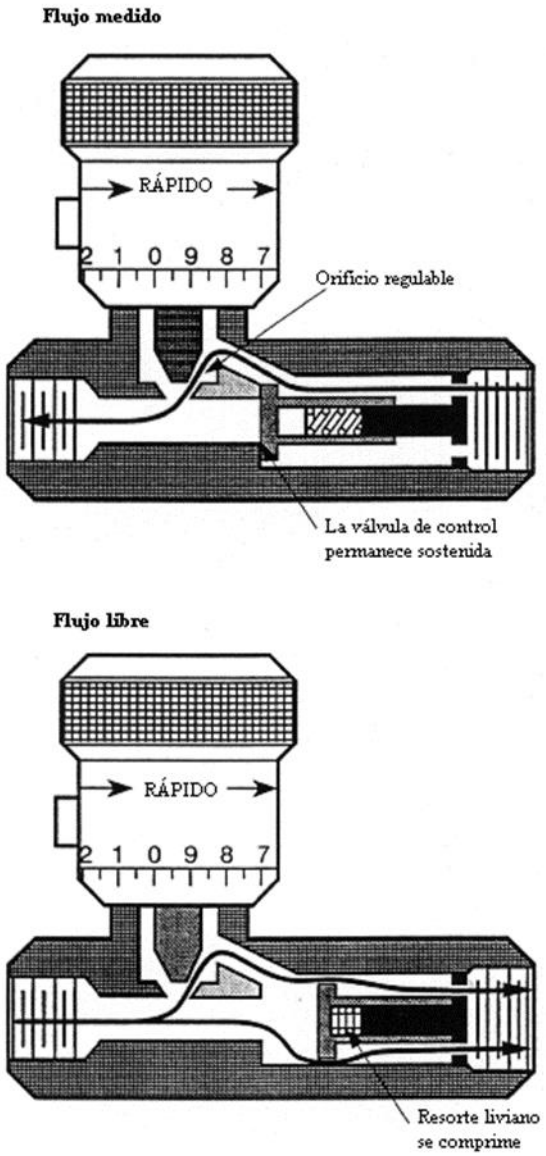


Figura 18

Operación de una válvula de control de flujo

Válvulas de escape rápido y de vaivén

Cuando un cilindro debe regresar rápidamente, se debe instalar una válvula de escape rápido en la línea de retracción del cilindro. Esto permite al aire escapar justo en el cilindro en vez de regresar a través de la VCD al escape. La figura siguiente muestra la acción de la válvula al momento en que el aire fluye hacia el cilindro y escapa.

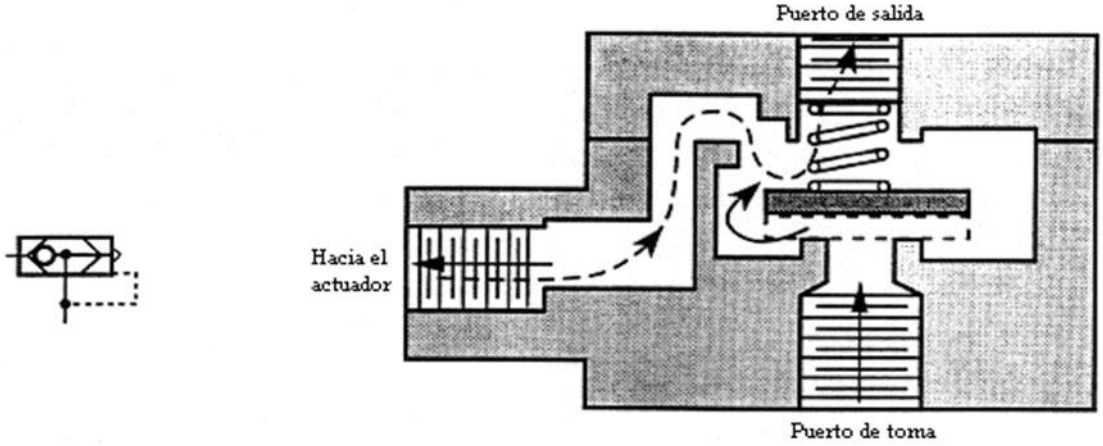


Figura 19

Válvula de escape rápido

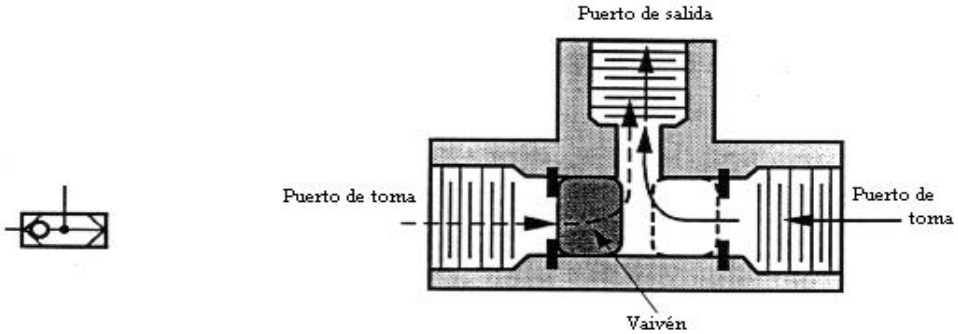


Figura 20

Válvula de vaivén

Una válvula de vaivén (auto-activada) se emplea cuando es necesario tener dos VCD´s operando un sólo actuador. Esta válvula se cambia para permitir que una de las dos VCD´s active el actuador, pero sólo una a la vez. La figura siguiente muestra la acción de la válvula de vaivén al aplicarse presión.

Tanto las válvulas de escape rápido como las válvulas de vaivén a menudo se usan con VCD´s de 3 o 4 vías. Muchas válvulas de escape rápido también se pueden usar como válvulas de vaivén cambiando la línea haca sus conexiones de puerto.

2.3 Reguladores, filtros, lubricadores (FRL).

Acondicionamiento de aire comprimido

El aire comprimido debe estar libre de contaminantes indeseados o estar condicionado para rendir bien a lo largo del sistema. Algunos sistemas requieren aire lubricado para evitar que el equipo se atasque, mientras que otros requieren aire extremadamente seco para que los instrumentos funcionen de manera precisa. El aire comprimido industrial se puede dividir en dos grupos:

- Aire para instrumentos - debe estar limpio, seco y libre de aceite.
- Aire para plantas - debe estar limpio y tener un bajo contenido de humedad y aceite.

Secadores de aire

Secador de aire

Los secadores de aire se usan para extraer el agua del aire comprimido. Esto reduce el punto de condensación. Estos secadores pueden bajar el punto de condensación hasta -400ºC (-400ºF). El punto de condensación requerido se basa en las condiciones operacionales del sistema. Existen cuatro tipos básicos de secadores de aire industriales: de delicuescencia, regenerativo, desecante, por refrigeración, y de membrana.

Secadores de delicuescencia

Los secadores de delicuescencia contienen desecantes químicos que absorben humedad. Estos desecantes se consumen en el proceso de secado. Esto significa que los químicos se deben recargar periódicamente y su desechamiento puede ser un problema.

Secadores desecantes regenerativos

Los secadores desecantes regenerativos usan un desecante sólido que absorbe agua sobre su superficie. Este desecante sólido generalmente es gel de sílica, alumina activada, o un arneo molecular. Estos secadores usan dos cámaras idénticas en las cuales se seca el aire. Cuando los desecantes en la primera cámara se saturan con humedad, esta cámara se debe secar. La acción de las válvulas re-dirige el flujo hacia la segunda cámara mientras se seca la cámara saturada. El calor se puede usar para acelerar el proceso de secado, pero se debe enfriar la cámara antes de ser usada nuevamente. Al usar calor, el 75% del tiempo se usa para calentar y el 25% se usa para enfriar.

Secadores por refrigeración

Los secadores por refrigeración condensan la humedad del aire comprimido enfriando el aire en intercambiadores de calor enfriados por refrigerantes. La humedad es llevada hacia un colector de humedad y se drena periódicamente hacia el medio ambiente. El aire comprimido es luego recalentado a su temperatura operacional antes de ingresar al sistema. Esto evita la formación de condensación en la corriente abajo de la línea de aire desde el secador.

Secadores de membrana

Los secadores de membrana son dispositivos de separación de gases. Consisten en superficies de membranas permeables que bloquean las moléculas de nitrógeno y oxígeno (aire), pero permiten pasar el vapor de agua. Típicamente, la membrana se forma de miles de tubos de fibra a través de los cuales pasa vapor de agua. Puesto que la membrana deja escapar gas (vapor de agua), no condensados, no hay necesidad de regeneración o el temor de congelamiento. Estos secadores no tienen partes móviles que se desgasten. No son eléctricos y son aptos para la mayoría de lugares peligrosos. La concha (caja) se fabrica de plástico o aluminio para evitar la corrosión.

Filtros de Aire

Filtro con colector de agua drenado manualmente

Filtro con colector de agua drenado automáticamente

Las materias extrañas en el aire del sistema son extremadamente dañinas para los componentes del sistema. Los filtros dentro del sistema se emplean para extraer del aire los contaminantes necesarios antes que el aire ingrese a los componentes. Aun cuando los filtros se instalan antes del compresor para limpiar el aire que ingresa al sistema, las materias extrañas aún pueden estar presentes en el sistema. La contaminación se produce en el sistema a causa de:

- Desechos de fabricación, ensamblaje y mantención
- Aceite llevado desde el compresor
- Partículas de desgaste operacional, escamas de tubería, y oxidación generada dentro de la línea.

El tamaño mínimo de las partículas extraídas se determina por el tamaño del valor nominal del elemento filtrante. El tamaño de las partículas se mide en micrómetros (µm) que es una millonésima de un metro o 0,000039 de pulgada.

Acción filtrante

El aire comprimido ingresa a un policarbonato (plástico de gran resistencia) o un recipiente de filtro completamente metálico. El recipiente metálico puede o no tener un vidrio visor. Funciona de la siguiente manera:

1. Una placa deflectora hace girar el aire alrededor del recipiente filtrador.
2. Un aro de refuerzo asegura que la acción de remolino se efectúa alrededor del recipiente del filtro y no alrededor del elemento filtrante
3. Esto produce que las partículas más grandes y el exceso de humedad sean expelido hacia el lado del recipiente de filtro.
4. Un deflector debajo del elemento filtrador crea una zona tranquila que permite acumularse las partículas y humedad y evita que sean arrastradas nuevamente en el flujo de aire.
5. Luego el aire es forzado a través del elemento filtrador que extrae las partículas más pequeñas.

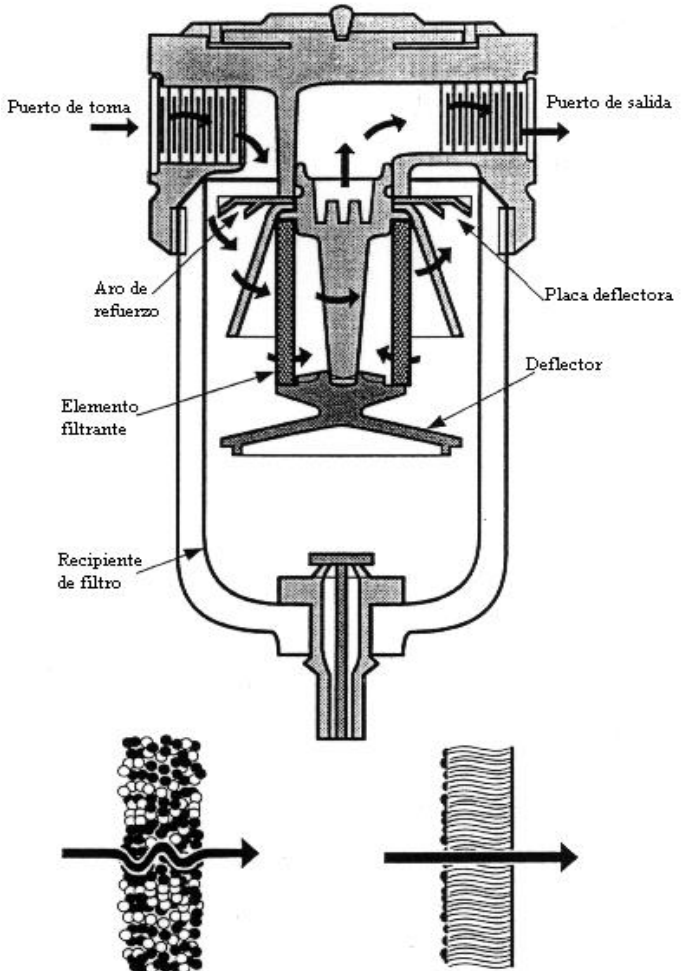
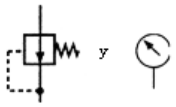


Figura 21

Típico filtro de aire

Filtros conglutinantes

Los filtros standard filtran partículas sólidas y acumula cualquier exceso de humedad que se pueda condensar en aquel momento. Los filtros conglutinantes están diseñados para extraer todas las partículas sólidas de un tamaño de 0,3 µm junto con casi el 10% de, los vapores de aceite y agua, del aire. Usan un desecante similar a aquel usado en los secadores de aire.
Reguladores de presión



Regulador de presión con manómetro

Un regulador de presión reduce la presión de línea. Los elementos de trabajo de un regulador de presión consisten en un pistón principal o diafragma que controla un disco o válvula por medio d un pasador conector. La figura siguiente muestra las partes de un regulador de presión.

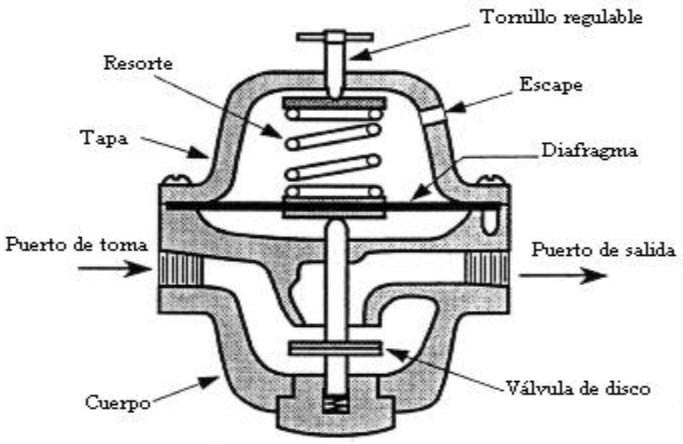


Figura 22

Regulador de presión

Funciona de la siguiente forma:

1. Un tornillo de regulación pre-carga un resorte en la parte superior del pistón.
2. El pasaje del piloto está abierto al puerto de salida. Esto permite que la presión descendiente controle el pistón.
3. A medida que la presión descendente aumenta, el pisón se eleva, junto con el disco, y el flujo disminuye.
4. Se monta un manómetro en el lado descendente del regulador de modo que cualquier ajuste del regulador se puede leer directamente.

Lubricadores de aire

Lubricador

Para funcionar correctamente, muchos componentes neumáticos requieren lubricación. Los lubricadores de aire proporcionan aceite limpio hacia la línea para ser llevado a los componentes. El lubricador se debe ubicar corriente abajo desde cualquier dispositivo que se pueda contaminar por aceite de lubricación (tales como atomizadores de pintura). El aire que pasa a través del lubricador debe estar limpio, seco y a presiones operacionales.

Si las gotas de aceite llevadas corriente abajo son relativamente grandes, a menudo se les llama niebla. Gotas más pequeñas a menudo reciben el nombre de neblina.
Los lubricadores de niebla funcionan mejor cuando el flujo hacia los componentes es recto y corto.

Los lubricantes de neblina funcionan mejor cuando el aceite se debe transportar grandes distancias, de modo que el aceite no se decante en la línea.

La lubricación se debe aplicar de acuerdo a las hojas de especificaciones del fabricante. El aceite incorrecto o el exceso de lubricación forma depósitos de carbón que hacen que los componentes presentes fugas.

Las válvulas de descarga, puertos y cilindros de sistemas neumáticos están sujetos a calor un extremo y se enfrían mediante lubricación

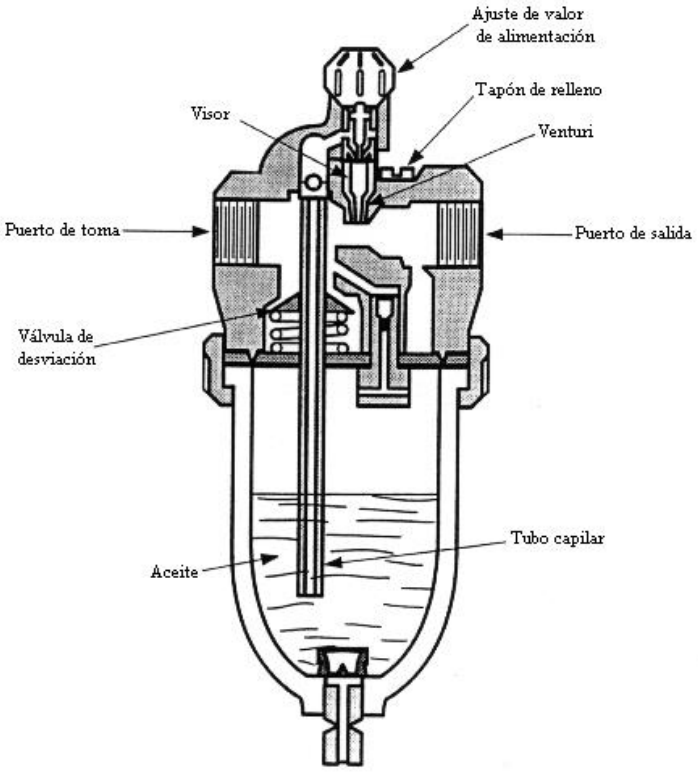


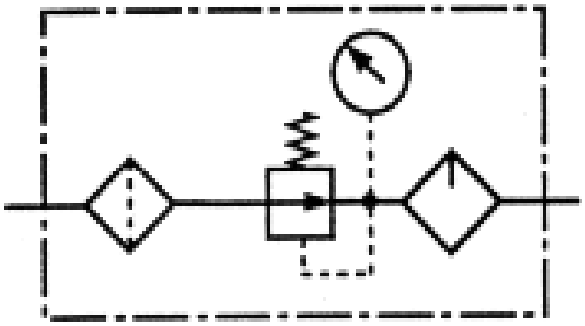
Figura 23

Sección transversal de un lubricador de neblina

Los lubricadores funcionan como sigue:

1. Cuando el aire ingresa al lubricador, una cantidad predeterminada puede ingresar al venturi.
2. El aire restante se deja pasar a través de una válvula de desviación hacia el recipiente y fuera del puerto de salida.
3. La presión del aire en el recipiente empuja el aceite hasta el tubo capilar que provee aceite al venturi. A medida que pasa aire a través del venturi, crea u área de baja presión que permite al aceite ingresar a la corriente de aire.
4. Un ajuste del valor de alimentación permite que la cantidad deseada de aceite ingrese a la corriente de aire. Sólo se requieren unas pocas gotas de aceite por minuto para la mayoría de los sistemas de lubricación.
5. A medida que el aceite ingresa a la corriente de aire, es atomizado hacia una niebla aérea de aceite o neblina que es llevada al aparato neumático.
6. Un visor de vidrio permite una inspección visual de la velocidad del aceite.

Unidades FRL (filtro, regulador, lubricador)



Unidad acondicionadora - símbolo detallado

Unidad acondicionadora - símbolo simplificado

Los filtros de aire, reguladores y lubricadores a menudo se pre-ensamblan y denomina FRL´s. En el pasado, a menudo se unían usando niples de tubería cortos. Para reemplazar o reparar un componente, tenía que extraerse todo el conjunto. Ahora existen como un sistema modular. Cualquier componente individual se puede sacar sin perturbar los otros adyacentes.

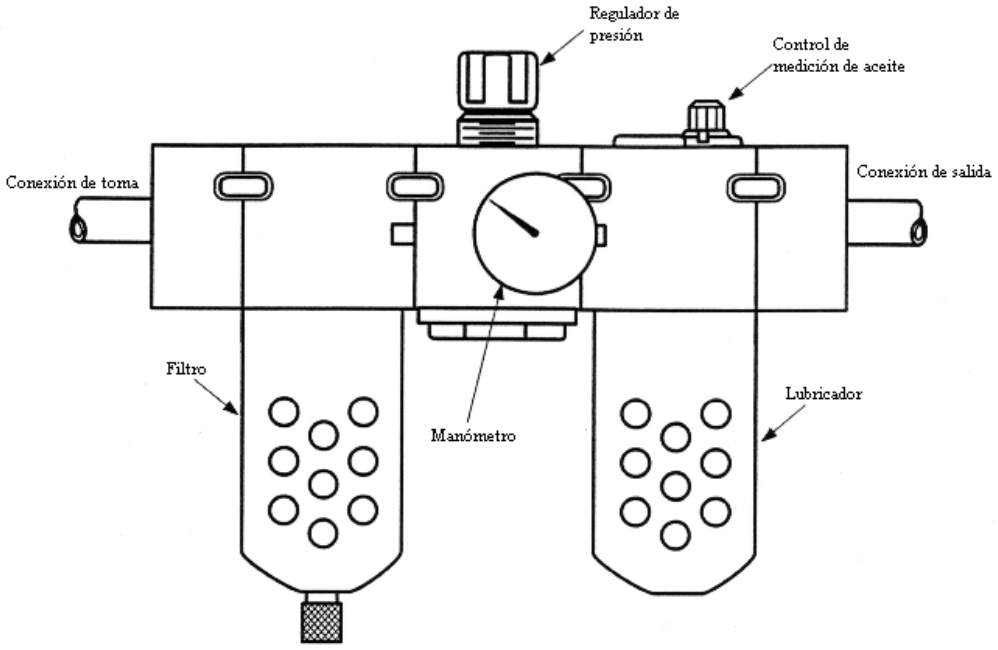


Figura 24

Unidad FRL modular

2.4 Circuitos neumáticos.

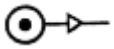
Símbolos y circuitos neumáticos

Símbolos
La fabricación de componentes neumáticos difiere de aquella de componentes hidráulicos, pero los símbolos para sus funciones son los mismos. Los símbolos que definen si un circuito es neumático o hidráulico son las flechas que indican la dirección del flujo. La flecha que muestra un flujo neumático es un triángulo contorneado (ver símbolo más abajo) mientras que el símbolo hidráulico es un triángulo invertido.

Flujo neumático

Circuitos neumáticos

Un circuito neumático se lee de la misma forma que un circuito hidráulico. Los circuitos de aire en general no muestran el compresor o el control de máxima presión, pero comienzan en cambio con un símbolo de fuente de presión neumática.

 Fuente de presión neumática

Los siguientes son algunos ejemplos de los circuitos neumáticos comunes. Las líneas de escape se indican en dirección hacia la atmósfera y pueden incluir chupetes o silenciadores como equipo adicional. El suministro de aire piloto puede ser a la presión de línea principal, pero para trabajo de precisión, el aire usualmente se toma de una fuente que tiene una válvula reductora de presión para mantener una presión constante menor a la presión del aire de alimentación.

Circuito de dos manos de seguridad

En un circuito de dos manos, la VCD tiene bloqueado el aire tanto en el puerto de suministro como en el de escape. Esto mantiene al actuador en una posición de cierre. La figura siguiente muestra un cilindro controlado por 4 VCD´s.

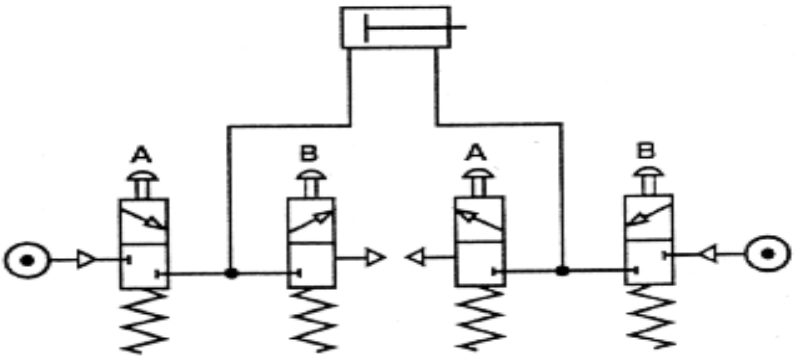


Figura 25

Circuito de dos manos

Para avanzar el pistón, el operador debe cambiar ambas VCD´s (ver figura anterior). Esto permite que el aire ingrese en el extremo de la tapa y salga del extremo del cabezal.

Para retraer el pistón, el operador debe cambiar ambas VCD´s (B) para crear un flujo de aire inverso. Si sólo se cambia una VCD, no se producirá ninguna acción.

Un circuito de dos manos a menudo se emplea en equipos para proteger las manos del operador mientras la operación está en progreso.

Circuito dual de control de escape de aire.

Este circuito muestra un actuador controlado por una válvula de 4 vías con 5 puertos y dos posiciones distintas (4/2). Ambos puertos de escape tienen salida variable, válvulas de control de flujo para controlar la velocidad a la cual el aire escapa desde el actuador. Esto controla la velocidad a la cual se mueve el actuador.

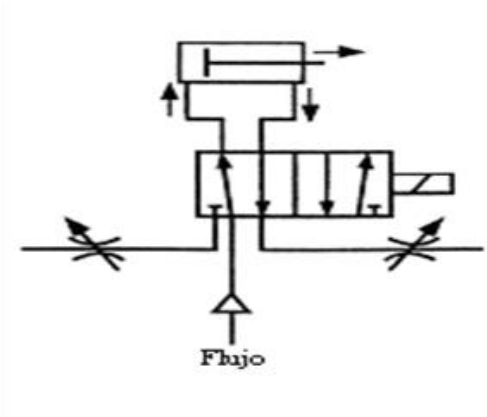


Figura 26

Control dual de escape de aire

Circuito de escape rápido

Los circuitos de escape rápido se usan donde se requiere de gran velocidad de los actuadores. La figura siguiente muestra el cilindro en una herramienta de impacto controlada por una válvula de 4/2. Se acopla una válvula de escape rápido entre el extremo del cabezal del cilindro y la VCD. Puesto que el pistón se debe extender muy rápidamente, el aire de escape puede escapar cerca del cilindro en lugar de regresar a través de la VCD. No se requiere que el viaje de retroceso se mueva tan rápidamente, puesto que el paso a través de la VCD es adecuado.

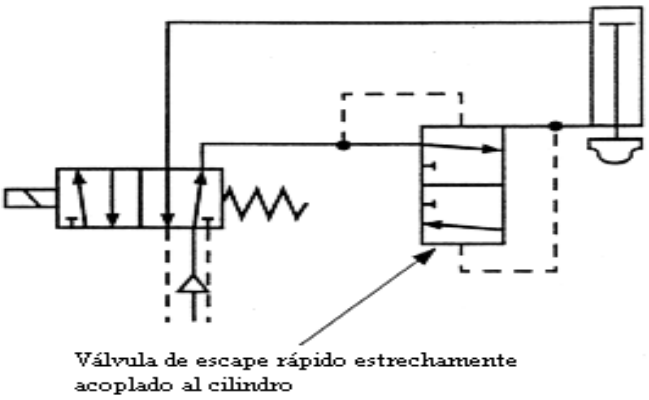


Figura 27

Circuito de escape rápido

Circuitos con múltiples posiciones de control remoto

Cuando un equipo individual se debe operar desde varias posiciones, se debe usar válvulas piloto múltiples. Las figuras siguientes en la siguiente página muestran dos métodos para lograr esto.

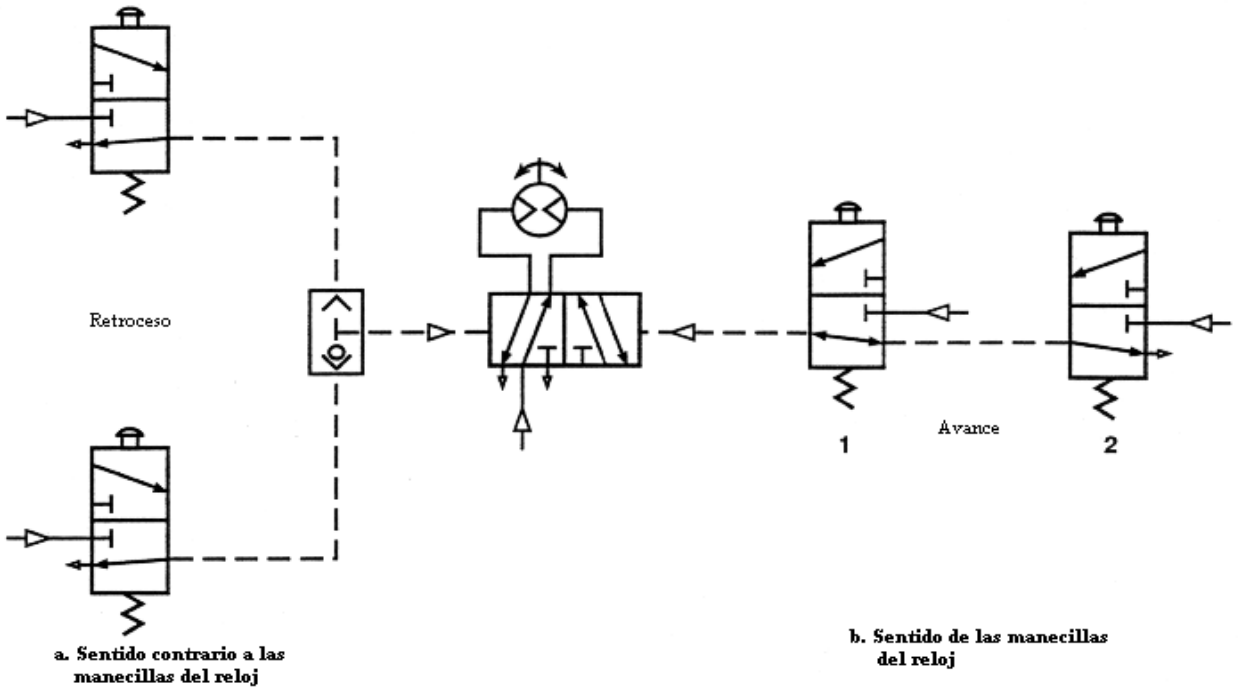


Figura 28

Posiciones múltiples de control remoto

El circuito de la figura anterior (a) usa dos válvulas piloto a lados opuestos de una válvula de vaivén para proveer presión piloto a la VCD principal. La VCD mueve el actuador en dirección contraria a las manecillas del reloj. Las posiciones operacionales se pueden extender a tres o más posiciones mediante el uso de válvulas piloto y de vaivén adicionales. La válvula de vaivén permite a una sola válvula activar el actuador en cualquier momento determinado.

El circuito de la figura anterior (b) usa dos válvulas piloto con la válvula 2 conectada al puerto de escape de la válvula 1.
Cuando se cambia la válvula 2, el aire fluye a través de la válvula 1 hacia la VCD principal. Cuando se cambia la válvula 1, bloquea el paso del flujo desde la válvula 2 y mantiene presión hacia la VCD principal.

Este circuito se podría extender a más posiciones agregando válvulas adicionales en la misma configuración. Nuevamente, sólo se permite una posición para activar el actuador en cualquier momento determinado.

2.5 Herramientas adecuadas para intervenir circuitos neumáticos

Herramientas para montaje

Para el montaje de instalaciones neumáticas, además de las clásicas herramientas de mano utilizadas en otro tipo de instalaciones como destornilladores, alicates, tenazas tipos de llaves, se han de disponer de herramientas de curvado, corte y abocardado de tubos, equipos de unión por soldaduras y herramientas eléctricas para llevar a cabo tareas tan comunes como la operación de taladro.

Además de las herramientas manuales de montaje, también es necesario disponer de útiles para tomar medidas de longitud, como flexómetro, pies de metro o medidores laser.A continuación se muestran algunas herramientas diferentes de las genéricas de montajes, ya indicadas. Las cuales dependerán del fabrícate.

Herramienta	Descripción
	Llave dinamométrica: También conocida como llave de torsión o llave de torque, es una herramienta manual que se utiliza para ajustar la fuerza de apriete suministrada a los elementos roscados. Este tipo de instrumento consiste en una llave a la que se le acopla un brazo que incorpora un mecanismo en el que se regula el par de apriete, de tal manera que si se intenta superar el par de apriete indicado por el fabricante, y previamente así dañar la unión. Cabe destacar que estas llaves no se usan para aflojar uniones y que una vez apretada la unión no se debe reapretar para evitar así sobrepasar el par de apriete máximo. Existen diferentes tipos de llaves dinamométricas como las de salto, las de reloj o las modernas llaves dinamométricas digitales, que marcan el valor del par de apriete que se está aplicando y puede avisar por medio de sonido y vibración cuando se supera el máximo apriete de la juntura previamente fijado.
	Alicate Cortatubos Son alicates muy utilizados para el corte de plásticos. Su uso no está indicado para el corte de tubos de metal ni para cables eléctricos. Existen diferentes tipologías dependiendo del material del que esté fabricado.

	Curvador de tubos: Como se ha indicado anteriormente, en la instalación donde sea posible, siempre es aconsejable usar el curvador de tubos en lugar de recurrir a la colocación de codo, ya que estos producen un cambio brusco en la dirección del fluido con la consecuencia mayor pérdida de presión de presión que lleva aparejada. Para realizar el curvador de un rígido, se recurre a una herramienta denominada curvador de tubos, Estas pueden ser manuales o mecánicas. Cabe destacar que el radio de curvatura no debe sobrepasar los valores límites para cada diámetro de tubos, indicados por el propio fabricante, para así evitar producir daños en la tubería en cuestión.
	Útil de desmontaje con cuchilla para desmontar tubos flexibles acoplados a boquilla con rosca.
	Herramienta de montaje: con cuchilla para montar tubos flexibles en boquilla con rosca.
	Tijeras cortatubos ZR Las tijeras ZR se utilizan para cortar tubos de material sintético tipo PQ-PA con diámetros exteriores de hasta 28 mm. No son apropiadas para cortar tubos flexibles con refuerzo exterior metálico.
	Tijeras para cortar tubos: Las tijeras permiten cortar tubos flexibles de material sintético y de caucho nitrílico con o sin refuerzo textil de hasta 20 mm de diámetro exterior. No son apropiadas para cortar tubos flexibles con refuerzo exterior metálico. La tijera está provista de un seguro para evitar que se abra involuntariamente.

Tabla 2

Mantención y resolución de problemas en sistemas neumáticos

Las precauciones de mantención y los procedimientos de solución de problemas son similares para los sistemas neumáticos e hidráulicos. Cada sistema tiene algunas situaciones y métodos únicos. Por ejemplo, una fuga neumática se detecta por el sonido y no por al vista, y los sistemas hidráulicos tienen una tenencia a congelarse fácilmente a bajas temperaturas.

Mantención

Se debe efectuar mantención y acondicionamiento de piezas para cumplir con tolerancias u holguras sugeridas en las especificaciones de los fabricantes. El ambiente de trabajo debe estar limpio y ordenado. Los manuales de servicio que describen los procedimientos de mantención vienen con el equipo.

Manipulación a bajas temperaturas

Cuando las temperaturas en el área de trabajo son bajo cero, las válvulas tienden a congelarse. Esto se debe a la acción enfriante creada por la expansión del aire en una baja de presión a través de los puertos. Los métodos para evitar el congelamiento dependen de las condiciones locales. Algunas formas comunes de evitar el congelamiento son:

- Instalación de luces infrarrojas o fuentes de calor sobre la válvula.
- Introducción de una pequeña cantidad de anticongelante permanente dentro del lubricante esto cuida todo el sistema.
- Uso de un anti-congelante para poner alcohol dentro de las líneas de aire - esto también cuida de todo el sistema.
- Calentamiento del suministro de aire - usualmente efectuado en una planta a vapor corriendo una línea de vapor próxima a o incluso a través de la línea de aire
- Mantención de la temperatura del edificio o área de trabajo sobre cero.
- Descongelar gradualmente una válvula congelada. Esto permite que los sellos se ablanden lentamente, que el cuerpo y componentes de la válvula se expandan a una velocidad pareja. El rápido calentamiento del cuerpo de la válvula puede producir grietas o fracturas.

¡Precaución!
No descongele una válvula abruptamente con calor concentrado tales como con un soplete de acetileno.

Las tabla 3 en las páginas siguientes proporcionan pautas para resolver problemas en unidades de compresores y circuitos neumáticos.

Pautas para resolver problemas en unidades de compresores		
Problema	Causa	Corrección
No arranca	1. Sobrecarga quemada 2. Fusible quemado 3. Interruptor de seguridad defectuoso 4. Bobina magnética dañada 5. Sistema eléctrico inoperativo	1. Reajustar sobrecarga 2. Reemplazar fusible 3. Reemplazar interruptor 4. Reemplazar bobina 5. Reparar sistema eléctrico
Mucho ruido	1. Rodamiento desgastado 2. Volante suelto 3. Pistón suelto o desgastado 4. Holgura insuficiente de cabezal	1. Reacondicionar compresor & asegurar adecuado suministro de aceite 2. Retirar volante, inspeccionar diámetro de eje de montaje, revisar diámetro interior de volante, Reemplazar ítems dañados & rearmar 3. Reacondicionar compresor 4. Medir holguras & ajustar a Especificaciones
Mucha vibración	1. Desalineación entre compresor y unidad de transmisión 2. Pernos de montaje sueltos 3. Volante dañado	1. Realinear compresor & unidad de compresor 2. Apretar pernos de montaje & revisar alineación 3. Extraer, rebalancear & reemplazar
Baja presión de aceite	1. Colector de aceite dañado 2. Bajo nivel de aceite 3. Colador de succión taponado 4. Bomba defectuosa 5. Rodamientos gastados	1. Reemplazar línea de aceite 2. Llenar a nivel correcto de aceite 3. Limpiar colador de succión 4. Reparar o reemplazar bomba de aceite 5. Reparar o reemplazar rodamientos
Alta presión de aceite	1. Paso de aceite bloqueado 2. Filtro sucio	1. Despejar todo paso de aceite 2. Cambiar el filtro
Baja presión de aire en receptor	1. Válvulas de compresor con fugas 2. Anillos de pistón pegados 3. Válvula de descarga defectuosa	1. Reacondicionar válvulas de compresor 2. Reacondicionar compresor 3. Reparar o reemplazar válvula descarga

	4. Rotura en la línea	4. Reparar línea
Mucha presión de aire en receptor	1. Válvula de descarga defectuosa 2. Válvula de seguridad defectuosa	1. Reparar o reemplazar válvula de descarga 2. Reemplazar válvula de seguridad
Sobrecalentamiento de compresor	1. Nivel de aceite incorrecto 2. Circulación inadecuada de agua de enfriamiento o de flujo de aire 3. Sistema de enfriamiento dañado 4. Filtro de toma sucio 5. Válvula térmica defectuosa	1. Mantener nivel correcto recomendado 2. Mantener agua refrigerante o flujo de aire recomendado 3. Reparar o reemplazar componentes dañados 4. Cambiar filtro de toma 5. Reemplazar válvula térmica
Sobrecalentamiento de aire	1. Demasiada humedad en intercooler 2. Agente congelante inadecuado 3. Intercooler o post-refrigerador sucio	1. Drenar humedad desde colector de agua 2. Mantener flujo recomendado de agente refrigerante 3. Limpiar el enfriador

Tabla 2: Pautas para resolver problemas en circuitos neumáticos

Problema	Causa	Corrección
Baja presión de aire	1. Regulador de presión ajustado muy bajo 2. Línea dañada	1. Aumentar presión 2. Reemplazar sección dañada
Demasiada presión	1. Regulador de presión ajustado muy alto	1. Reducir presión
Válvulas pegajosas	1. Depósitos excesivos de carbón en los componentes de válvulas 2. Lubricación insuficiente 3. Empaquetadura de válvula muy apretada	1. Reacondicionar válvula 2. Aumentar flujo de aceite en el lubricador 3. Reajustar prensa estopa de Empaquetadura
Entrega incorrecta de lubricación	1. Excesiva descarga de aceite 2. Falta de descarga de aceite	1. Reducir flujo de aceite 2. Revisar nivel de aceite en lubricador; si nivel está bien, aumentar flujo de aceite
Movimiento inconsistente de cilindro	1. Pistón o revestimiento rayado 2. Varilla de pistón doblada	1. Cambiar filtros & reacondicionar cilindro 2. Reemplazar varilla & sellos de pistón (Reacondicionar cilindro)

	3. Sellos de pistones dañados 4. Presión de aire insuficiente	3. Reemplazar sellos de pistón (Reacondicionar cilindro) 4. Aumentar ajuste de presión en regulador
Movimiento inconsistente de motor	1. Caja de rotor rayada 2. Rodamientos gastados 3. Presión de aire insuficiente	1. Cambiar filtros & reacondicionar motor 2. Reemplazar rodamientos & sellos (Reacondicionar motor) 3. Aumentar ajuste de presión en regulador

Tabla 3

2.6 Instrumentos de medición para circuitos neumáticos.

Escalas y medición de la presión

Existen escalas absolutas de presión y temperatura. Las escalas absolutas comienzan en el cero absoluto. Al cero absoluto de temperatura, toda las acción molecular en un gas cesa t se produce un vacío perfecto.

Temperatura

Respecto a la temperatura, cero absoluto es cuando no se produce ningún movimiento molecular. La escala absoluto que emplea grados Celsius es la escala de Kelvin. La escala absoluta que emplea grados Farenheit es la escala Rankine. Cero grado Kelvin y cero grado Rankine es lo mismo, siendo iguales a
-273º C y -459ºF, respectivamente.

Presión

A cero absoluto, no hay presión, la presión es cero libras por pulgada cuadrada absoluta (0 psia). A nivel del mar, y bajo condiciones normales de temperatura (15,5ºC o 60ºF) y humedad, la presión atmosférica (producida por el peso del aire) es aproximadamente de 1 bar o 14,7 psia.

La presión, también a veces se mide en milímetros o pulgadas de mercurio (mm g o “Hg). Nótese que 2,04”Hg es igual a 1 psia. Ver la descripción de los barómetros de a continuación.

Manómetro

El vació se produce cuando la presión en un recipiente se vuelve menor que la presión que lo rodea (normalmente presión atmosférica). En un manómetro esto sucede cuando

la presión en el manómetro se vuelve menor a 0 psig (menos de 14,7 psia). Un vacío perfecto es igual a 0 bar (0 psia). Cuando hay un vacío perfecto en un sistema, la fuerza máxima en el sistema producida por el vacío es de 1 bar (14,7 psi).

Barómetros

El vacío a menudo se mide con un barómetro. Se mide en mm Hg o “Hg. Un barómetro sencillo consiste de un tubo (de cualquier diámetro) con un extremo sellado. El tubo se llena completamente con mercurio y se posiciona verticalmente con el extremo abierto dentro de un estanque de mercurio. Ver figura. Al cambiar la presión en el estanque de mercurio, también lo hace la altura del mercurio.

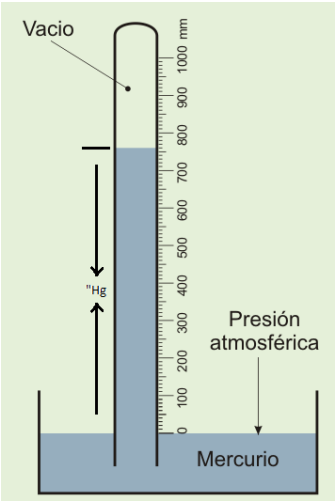


Figura 29
Principio de un barómetro

A nivel del mar, la altura del tubo debe ser mayor que 765 mm o 30”. Esto se debe a que la presión atmosférica a nivel del mar puede soportar una columna de mercurio con una altura de 760 mm o 29,92”.

En áreas donde la presión atmosférica es menor a 1 bar (14,7 psia), el vacío lograble, también es menor. Es más difícil hacer que la presión sea menor que la presión atmosférica. Una regla general de sentido común es que, para cada 1.000 pies de altitud por sobre el nivel del mar, la presión atmosférica caiga 1 “Hg.

Comparación de escalas y calibración

La figura siguiente muestra una comparación de la escala de calibración, la escala absoluta, la escala barométrica y la escala de vacío.

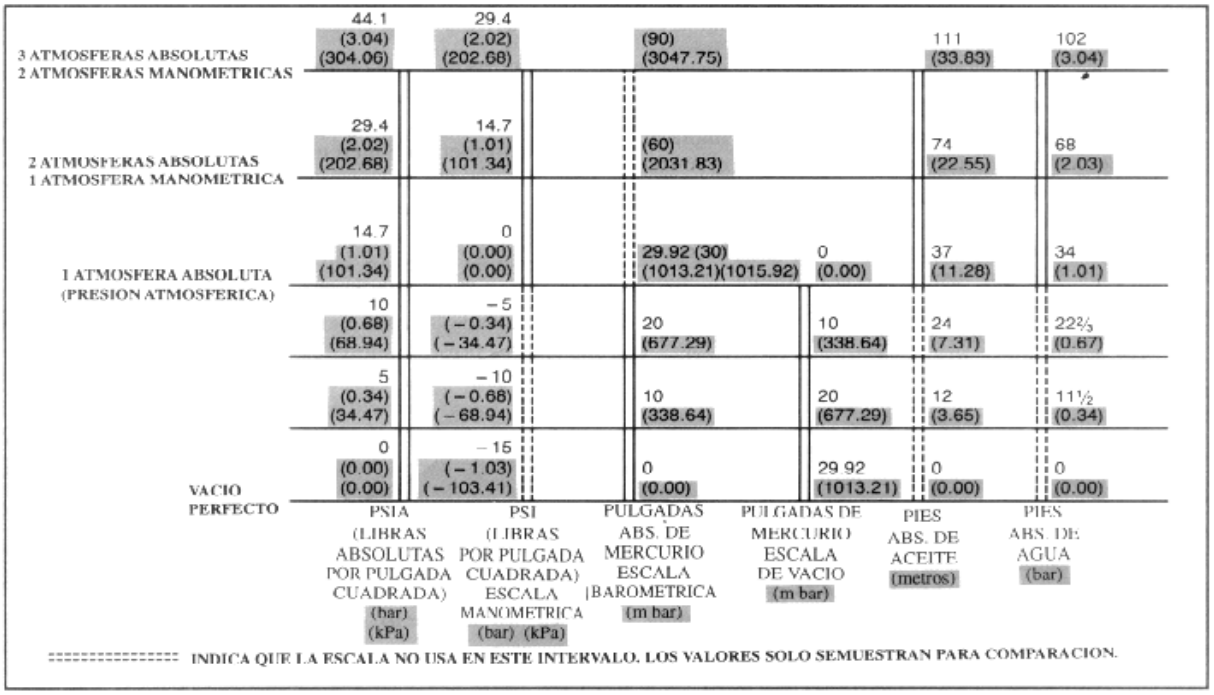


Figura 30

Manómetros

Los manómetros se calibran de distintas formas para medir presión y/o vacío. El Dibujo 3 en la siguiente página muestra algunos tipos diferentes y sus indicadores de esfera. Los manómetros están diseñados para girar en dirección de las manecillas del reloj a medida que aumenta la presión.

Escala de presión absoluta

Escala de manómetro

Escala combinada de vacío/manómetro

Figura 31

Distintos manómetros

Actividad N° 1

NEUMÁTICA

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para que el participante realice revisión de operación a instalaciones de redes de aire y componentes neumáticos.

Aprendizaje Esperado, Matriz:

- Chequear componentes, antes de intervenir el equipo, de las redes de aire de instrumentación, de acuerdo a procedimiento.
- Realizar pruebas de funcionamiento en componentes neumáticos, en terreno y/o laboratorio y según procedimientos operacionales.

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Implementación de circuito según planos y dispositivos utilizados.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Conectar en forma adecuada circuitos neumáticos.
- Demostrar conceptos del accionamiento neumático.
- Aplicar en forma correcta las formas de control de válvulas neumáticas.

Descripción de la actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que implemente circuitos neumáticos, utilizando redes de aire como alimentación e instrumentos de medición.

Materiales y Recursos (Por grupo)

- Alimentación de Aire 70 psi
- Sistema FRL Neumático.
- Kit de Herramientas.
- Mangueras de conexión rápida.
- 1 Manómetros (medir al menos 70 psi)
- 2 Válvulas 3/2 accionado por pulsador
- 1 válvula 5/2
- Cilindro Simple efecto, retornado por resorte
- Cilindro Simple efecto

Seguridad:
En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
    - Casco. (Si aplica)
    - Lente de seguridad
    - Zapatos de seguridad
    - Guantes
    - Chaleco reflectante. si aplica
    - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

Procedimiento N° 1:

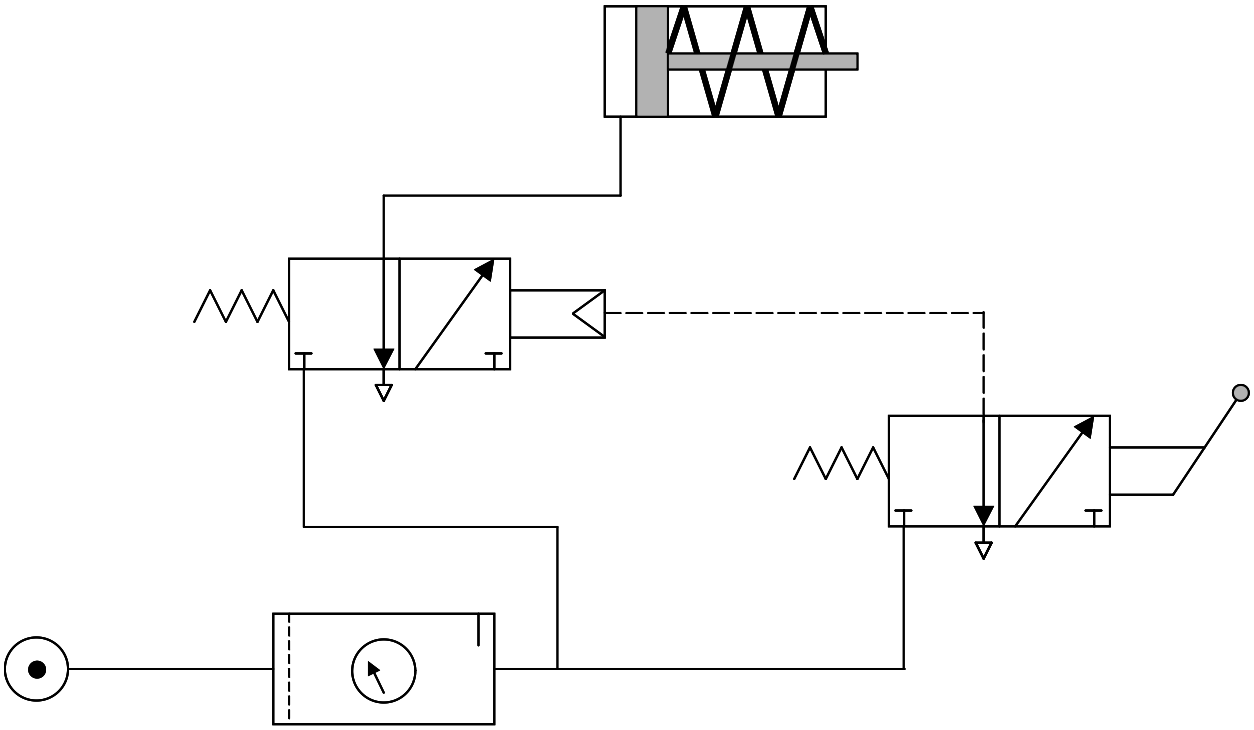
1.-Establecer grupos de trabajo de acuerdo a indicaciones del Instructor.

2.-Identificar estaciones de trabajo y recoger materiales y equipos necesarios desde pañol de Instrumentos.

3.- Establecer método para conexionado de circuitos neumáticos.

4.-Revise procedimiento de trabajo y analice el siguiente circuito: “Comando indirecto de Cilindro de Simple Efecto”

5.-Verifique la presión de salida del regulador, esta no puede exceder los 70Psi.



6.-Conectar la alimentación y los instrumentos

7.-Accione el circuito y observe el cilindro.

Procedimiento N° 2:

1.-Establecer grupos de trabajo de acuerdo a indicaciones del Instructor.

2.-Identificar estaciones de trabajo y recoger materiales y equipos necesarios desde pañol de Instrumentos.

3.- Establecer método para conexionado de circuitos neumáticos.

4.-Revise procedimiento de trabajo y analice el siguiente circuito: “Comando Indirecto de Cilindro de Doble Efecto”

5.-Verifique la presión de salida del regulador, esta no puede exceder los 70Psi.

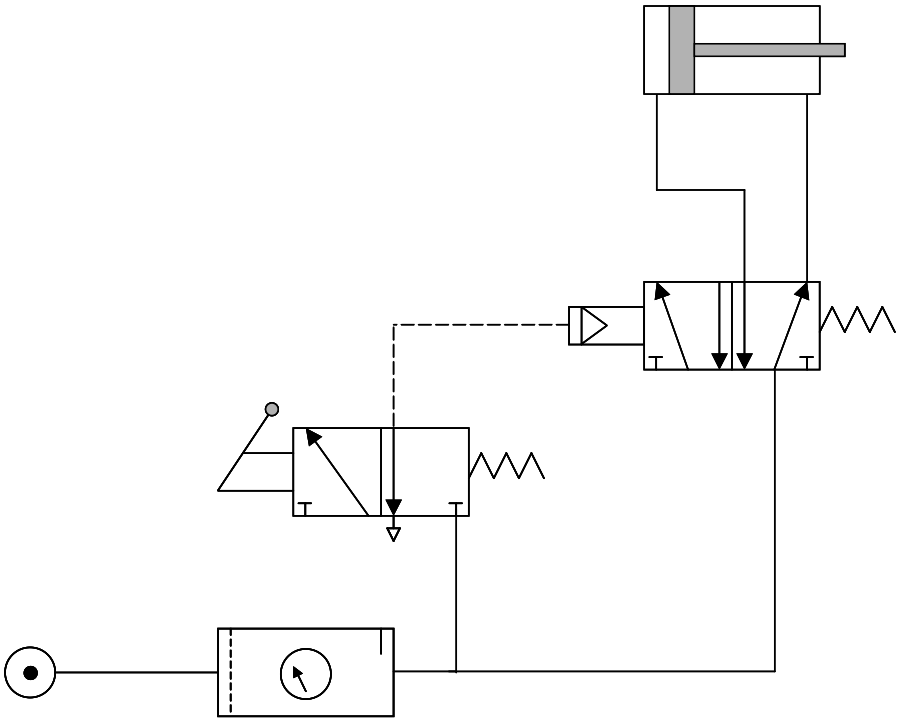


Figura 32

6.-Conectar la alimentación y los instrumentos

7.-Accione el circuito y observe el cilindro.

Resultados y Conclusiones:

Comente los resultados de la actividad con su grupo y haga las observaciones y consultas necesarias al Instructor para desarrollar las siguientes actividades:

Procedimiento N° 3:

1.-Establecer grupos de trabajo de acuerdo a indicaciones del Instructor.

2.-Identificar estaciones de trabajo, recoger materiales y equipos necesarios desde pañol de Instrumentos.

3.- Establecer método para conexionado de circuitos neumáticos.

4.-Revise procedimiento de trabajo y analice el siguiente circuito: “Utilización de Fin de Carrera en Comando de Cilindro”

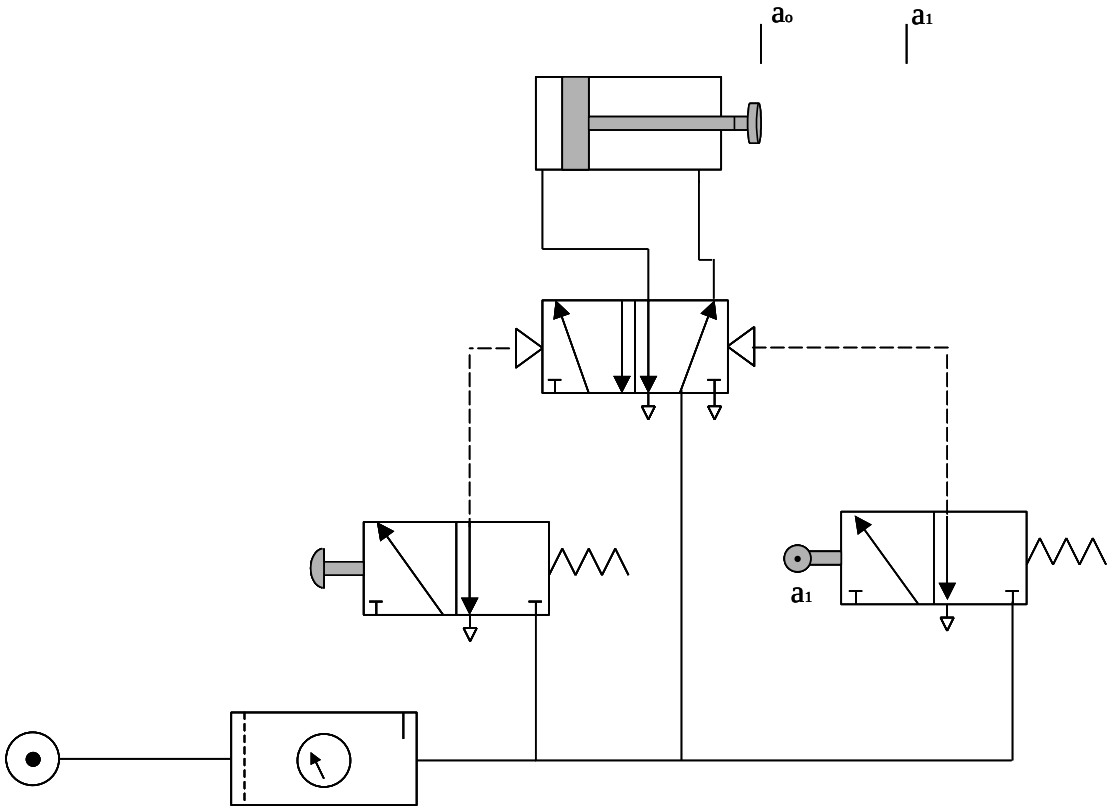


Figura 33

5.-Verifique la presión de salida del regulador, esta no puede exceder los 70Psi.

6.-Conectar la alimentación y los instrumentos
7.-Accione el circuito y observe el cilindro.

Procedimiento N° 4:

1.-Establecer grupos de trabajo de acuerdo a indicaciones del Instructor.

2.-Identificar estaciones de trabajo y recoger materiales y equipos necesarios desde pañol de Instrumentos.

3.- Establecer método para conexionado de circuitos neumáticos.

4.-Revise procedimiento de trabajo y analice el siguiente circuito: “Comando de Cilindro a Través de Válvula de Impulso”

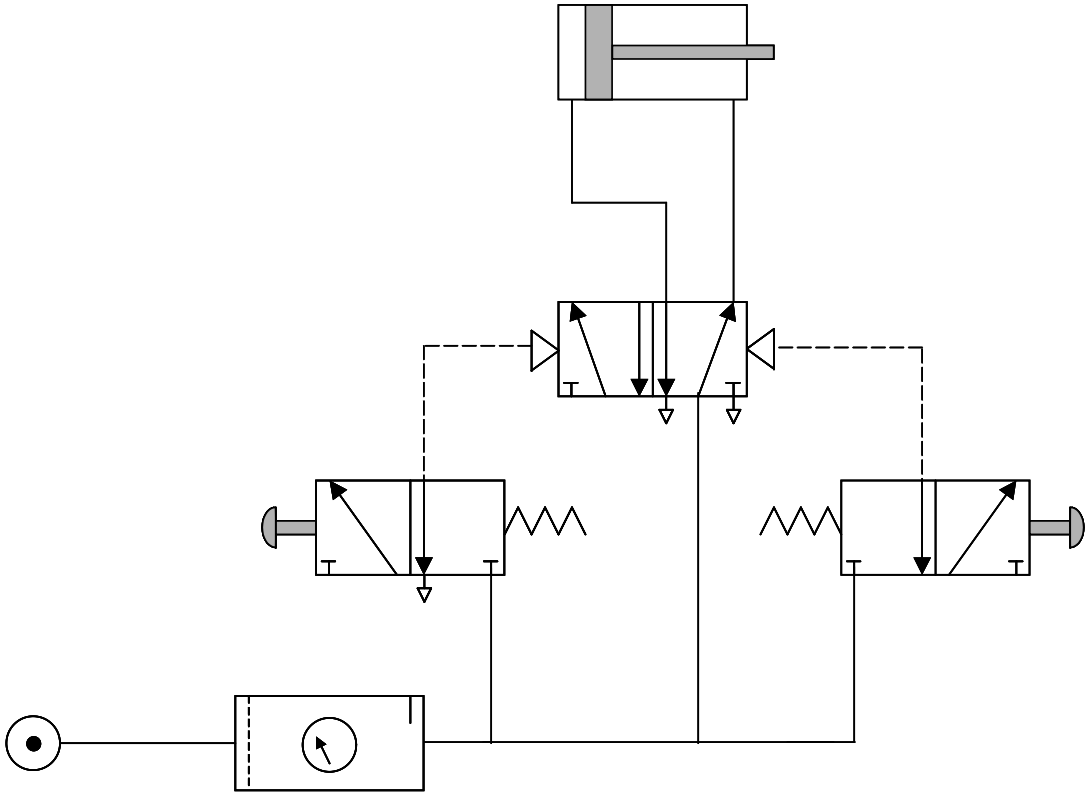


Figura 34

5.-Verifique la presión de salida del regulador, esta no puede exceder los 70Psi.

6.-Conectar la alimentación y los instrumentos

7.-Accione el circuito y observe el cilindro.

3. Control automático

3.1 Análisis de respuesta transientes, nivel avanzado.

En muchos casos prácticos, las características del comportamiento deseado de sistemas de control están especificadas en términos de magnitudes en el dominio del tiempo. Los sistemas que almacenan energía no pueden responder instantáneamente y presentan respuestas transitorias toda vez que son sometidos a entradas o perturbaciones. Las características de desempeño de un sistema de control con frecuencia se especifican en términos de la respuesta a una entrada de escalón unitario, porque es fácil generarla y es lo suficientemente drástica. (Si se conoce la respuesta a un escalón de entrada, es posible calcular en forma matemática la respuesta ante cualquier entrada).

La respuesta de un sistema ante una entrada escalón unitario depende de las condiciones iniciales. Al comparar respuestas transitorias de diversos sistemas por conveniencia se suele utilizar la condición inicial normal de que el sistema está en reposo al principio, y que por tanto, todas las derivadas son cero. Entonces se pueden comparar fácilmente las características de respuesta.

La respuesta transitoria de un sistema de control práctico con frecuencia presenta oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estacionario. Al especificar las características de respuesta transitoria de un sistema de control a una entrada escalón unitario, es común especificar lo siguiente:

1. Tiempo de retardo, td
2. Tiempo de crecimiento, tr
3. Tiempo de pico, tp
4. Sobre impulso máximo, Mp
5. Tiempo de establecimiento, ts

A continuación se definen estos parámetros y en la siguiente figura se muestran en forma gráfica.

1. Tiempo de retardo, td: el tiempo de retardo es el tiempo que tarda la respuesta en alcanzar la mitad del valor final por primera vez.
2. Tiempo de crecimiento, tr: el tiempo de crecimiento es el tiempo requerido para que la respuesta aumente del 10 al 90 %, del 5 % al 95 %, o del 0 % al 100 % de su valor final. Para sistemas de segundo orden subamortiguados se utiliza normalmente el tiempo de crecimiento de 0 % a 100 %. Para sistemas sobreamortiguados se acostumbra usar el tiempo de crecimiento del 10 % a 90 %.
3. Tiempo de pico, tp: el tiempo de pico es el requerido para que la respuesta alcance el primer pico de sobreimpulso.
4. Sobreimpulso máximo (porcentual), Mp: el sobreimpulso máximo es el valor pico máximo de la curva de respuesta medido desde la unidad. Si el valor final estabilizado de la respuesta difiere de la unidad, se suele utilizar el sobreimpulso porcentual máximo. Está definido por sobreimpulso porcentual máximo:

$$= \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \text{ x } 100\%$$

La magnitud del sobreimpulso (porcentual) máximo indica la estabilidad relativa del sistema.

5. Tiempo de establecimiento (asentamiento), ts: el tiempo de establecimiento es el que la curva de respuesta requiere para alcanzar y mantenerse en un rango alrededor del valor final con una magnitud especificada por el porcentaje absoluto del valor final (habitualmente 2% o 5%). El tiempo de establecimiento está relacionado con la constante de tiempo mayor del sistema de control. El criterio para fijar el porcentaje de error a utilizar depende de los objetivos de diseño del sistema en cuestión.

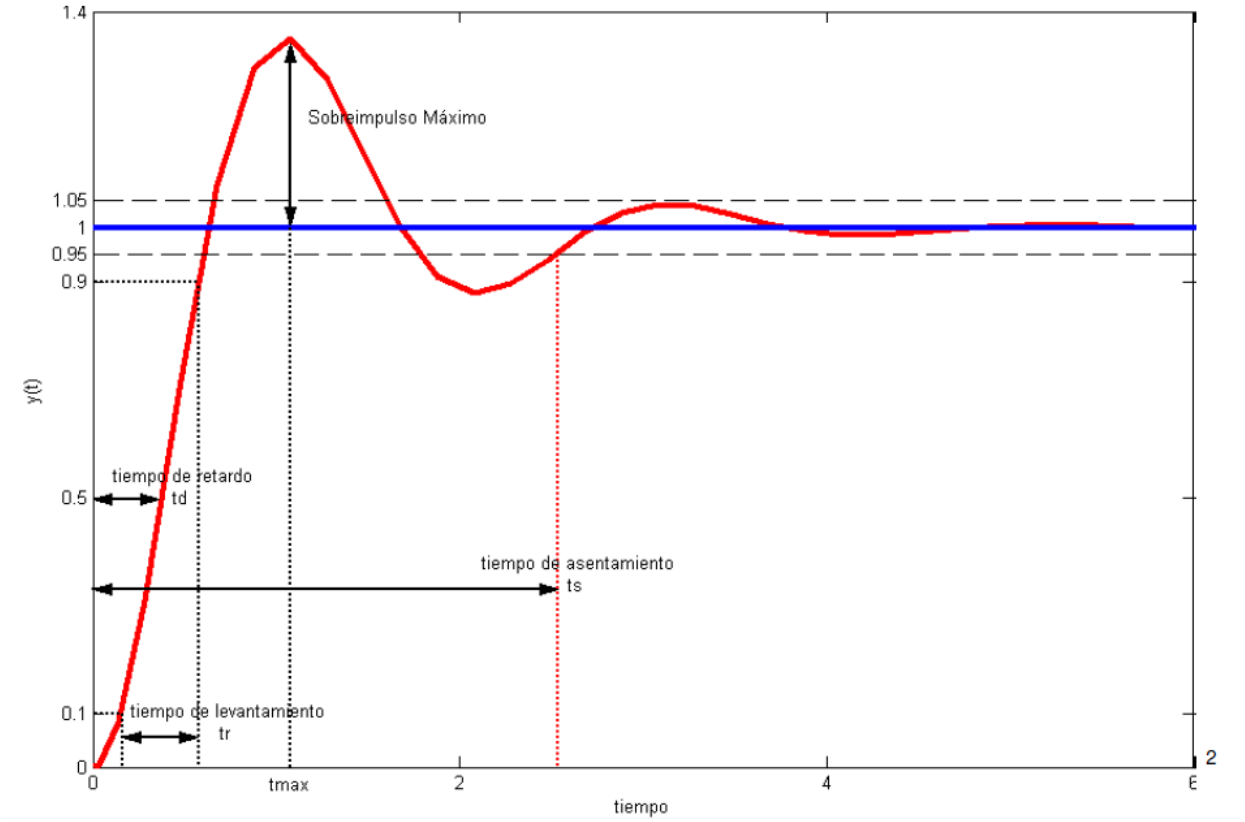
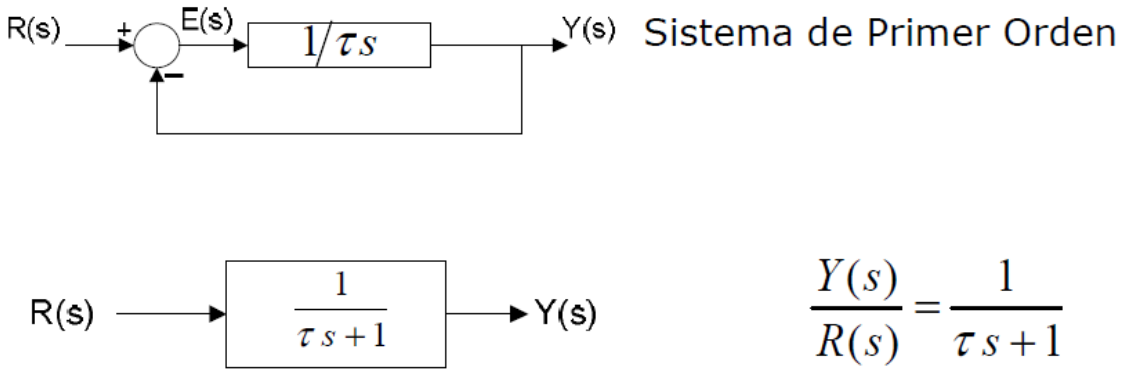


Figura 35

Sistemas de Primer Orden



$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

Figura 36

Cualquier sistema físico de esta forma, presentará la misma salida en respuesta a la misma entrada

Respuesta al escalón unitario de sistemas de primer orden

$$R(s) = 1/s$$

$$Y(s) = \frac{1}{s(\tau s + 1)} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s + (1/\tau)}$$

Como

$$y(t) = \mathscr{L}\{Y(s)\}$$

Tenemos

$$y(t) = \left(1 - e^{-t/\tau}\right)u(t)$$

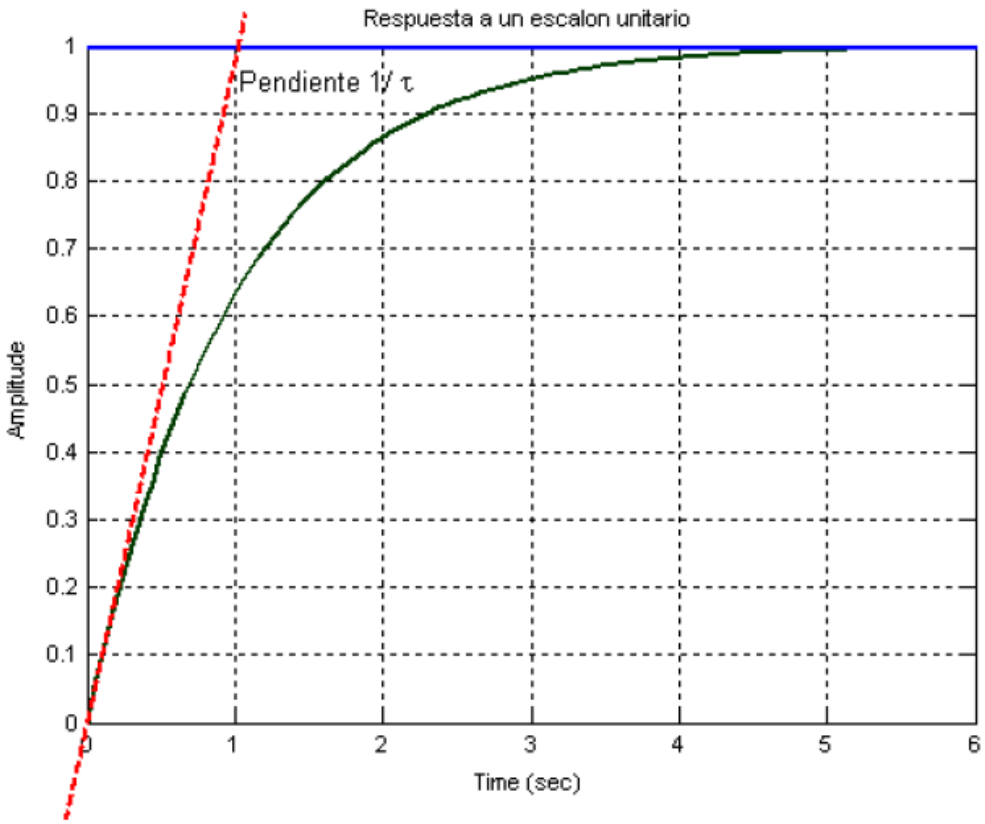


Figura 37

Características

$$T(s) = \frac{1}{s+1}$$

•Si t disminuye, la respuesta es más rápida
•La pendiente de la línea tangente en t=0 es 1/ t
•Tiempo de asentamiento se da para t> 4 t, en donde la respuesta se mantiene dentro del 2% del valor final

Respuesta a una rampa unitaria de sistemas de primer orden

$$R(s) = 1/s^2$$

$$Y(s) = \frac{1}{s^2(\tau s+1)} = \frac{1}{s^2} - \frac{\tau}{s} + \frac{\tau}{s+(1/\tau)}$$

Como

$$y(t) = \mathscr{L}\{Y(s)\}$$

Tenemos

$$y(t) = \left(t - \tau + \tau e^{-t/\tau}\right)u(t)$$

Respuesta al impulso unitario de sistemas de primer orden

$$R(s) = 1$$

$$Y(s) = \frac{1}{(\tau s + 1)}$$

Como

$$y(t) = \mathscr{L}\{Y(s)\}$$

Entonces

$$y(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$$

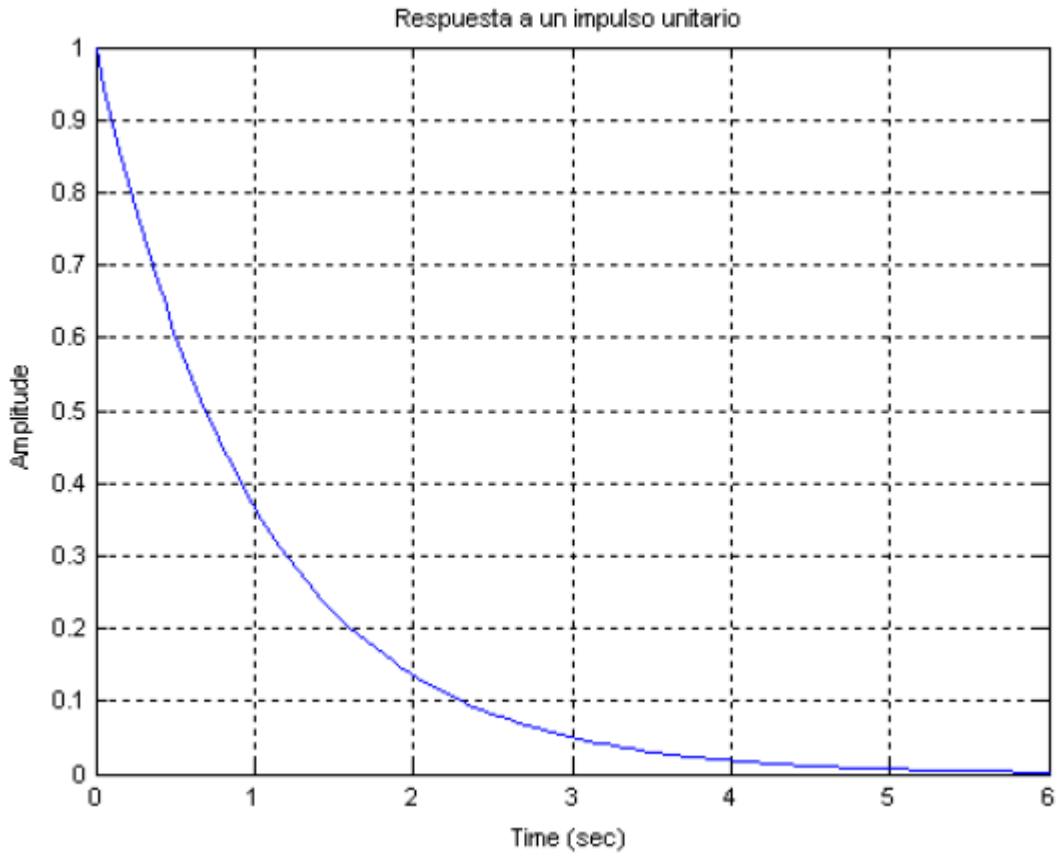


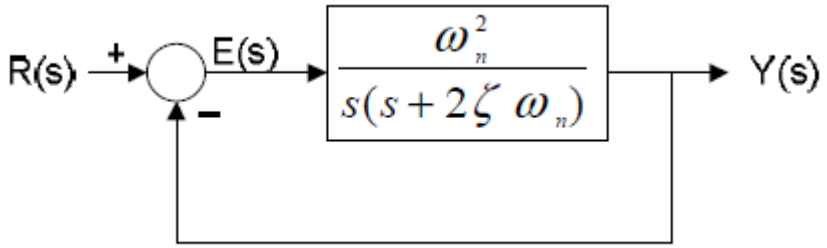
Figura 38

Propiedad de sistemas LTI

La respuesta a la derivada de una señal de entrada se obtiene derivando la respuesta del sistema para la señal original

$$\begin{array}{lll} Rampa & r(t) = tu(t) & y(t) = \left(t - \tau + \tau e^{-t/\tau}\right) \\ Escalón & r(t) = u(t) & y(t) = \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \\ Impulso & r(t) = \delta(t) & y(t) = \dfrac{1}{\tau} e^{-t/\tau} \end{array}$$

Sistemas de Segundo Orden



a = z wn = atenuación
wn = frecuencia natural no amortiguada
z = factor de amortiguamiento relativo

$$\frac{Y(s)}{E(s)} = G(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s+2\zeta\omega_n)}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

La ecuación característica de un sistema de segundo orden es:

$$\Delta s = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

Respuesta del sistema a una entrada escalón unitario

$$R(s) = 1/s$$

$$Y(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$$

$$y(t) = \mathscr{L}^{-1}\{Y(s)\}$$

$$y(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left[\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\right)t + \cos^{-1}\zeta\right] \quad para \quad t \geq 0$$

Respuesta del sistema a una entrada escalón unitario

Las raíces de la ecuación característica son:

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \sqrt{(\zeta\omega_n)^2 - \omega_n^2}$$

Condición	Polos a lazo cerrado	Tipo de sistema	Respuesta en el tiempo
$0<\zeta<1$	Complejos conjugados y se encuentran en el semiplano izquierdo del plano 's'	Subamortiguado	Respuesta transitoria oscilatoria
$\zeta > 1$	Polos reales diferentes	Sobreamortiguada	Respuesta al escalón no presenta sobreimpulso
$\zeta = 1$	Polos reales iguales	Críticamente amortiguada	
$\zeta = 0$	Polos en eje $j\omega$		Respuesta transitoria no se amortigua

Tabla 4

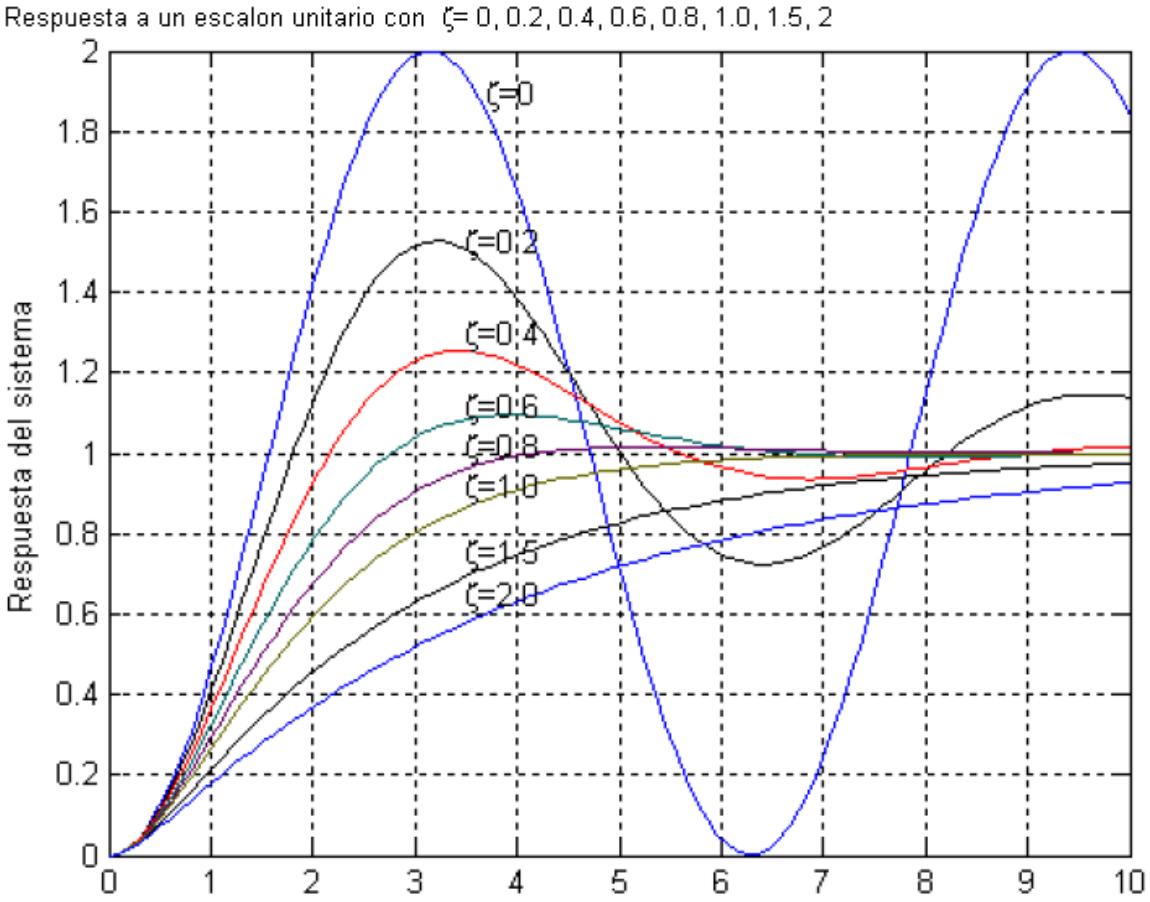


Figura 39

"wn" Tiene efecto sobre el tiempo de levantamiento, de retardo y de asentamiento pero no afecta el sobreimpulso

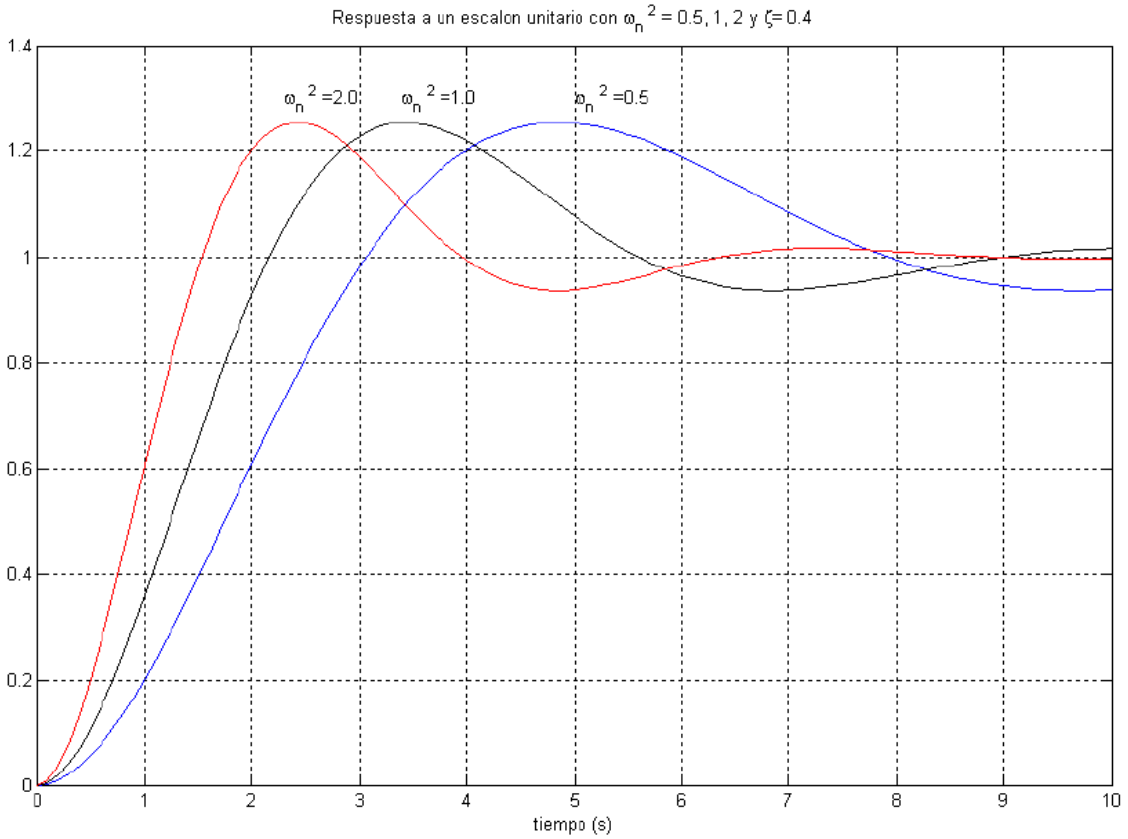


Figura 40

Factor de amortiguamiento relativo y factor de amortiguamiento

Los efectos de wn y z están ligados a las raíces de la ecuación característica

$$s_{1,2} = -\zeta\,\omega_n \pm \sqrt{(\zeta\,\omega_n)^2 - \omega_n^2}$$

$$s_{1,2} = -\zeta\,\omega_n \pm \sqrt{-\omega_n^2\,(1-\zeta^2)}$$

$$s_{1,2} = -\zeta\,\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega$$

□□= □□□n: en y(t) es la constante del exponencial controla la velocidad de decaimiento, se denomina como “factor de amortiguamiento” o “constante de amortiguamiento”
1/a es proporcional a la constante del tiempo del sistema
Los efectos de wn y z están ligados a las raíces de la ecuación característica

$$s_{1,2} = -\zeta\,\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_d$$

Del radical se puede ver que para □=1 se tienen dos raíces iguales.
Este caso se denomina Críticamente amortiguado y □=□n
Por tanto

$$\zeta = \frac{\alpha}{\omega_n}\frac{\text{factor de amortiguamiento}}{\text{factor de amortiguamiento crítico}} \Rightarrow \text{Amortiguamiento relativo}$$

Frecuencia Natural no amortiguada

Las raíces de la ecuación característica

$$s_{1,2} = -\zeta\,\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_d$$

□=0
_ Amortiguamiento es cero
_ Raíces imaginarias en □□j□n
_ y(t) es puramente senoidal

0<□<1
_ □d (frecuencia de amortiguamiento) representa la magnitud de la parte imaginaria de las raíces
Para □□0, y(t) no es periódica

Relación entre la localización de las raíces y amortiguamientos y frecuencias

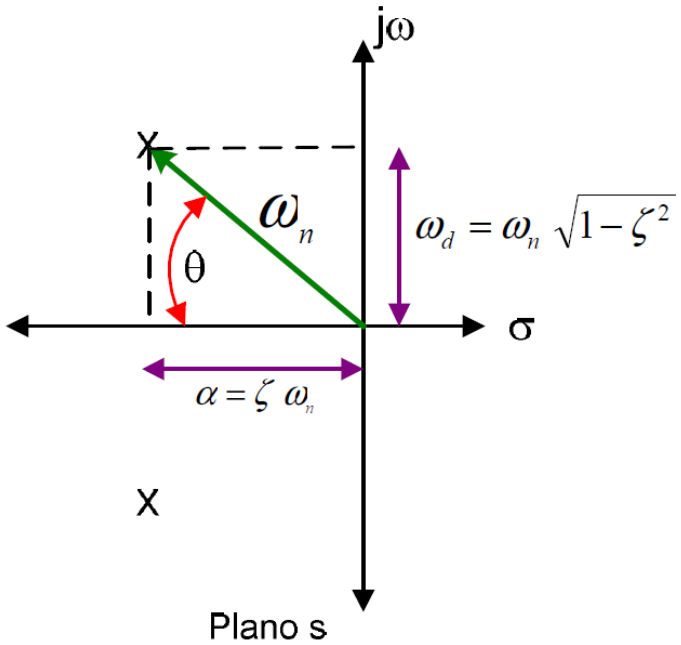


Figura 41

Dinámica de sistemas de segundo orden

Valores de ζ	Comportamiento del sistema	Raíces de la ecuación característica	Respuesta en el tiempo $y(t)$
$0 < \zeta < 1$	Subamortiguado	$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ $s_{1,2} = \zeta\omega_n \pm j\omega_d$	$y(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} sen\left[(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})t + \theta\right]$
$\zeta = 1$	Críticamente amortiguado	$s_{1,2} = -\omega_n$	$y(t) = 1 - e^{-\omega_n t}(1 + \omega_n t)$
$\zeta > 1$	Sobreamortiguado	$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}$	$y(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2-1}}\left[\frac{e^{s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{s_2 t}}{s_2}\right]$
$\zeta = 0$	No amortiguado	$s_{1,2} = \pm j\omega_n$	$y(t) = 1 - \cos(\omega_n t)$
$\zeta < 0$	Amortiguamiento negativo	$s_{1,2} = +\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$	----------

Tabla 5

El comportamiento dinámico se describe en términos de wn y z

Dos métodos para el análisis y diseño de control realimentados

1. Técnica clásica conversión de Ec. Dif. de un ΣΦ en una FT generando un MM del ΣΦ que algebraicamente relaciona una representación de la salida con una representación de la entrada.

Desventaja: limitada aplicabilidad (sistemas lineales invariantes en el tiempo)
Ventaja: rápidamente dan información de la estabilidad y la respuesta transitoria.

2. Método en el espacio de estados EE, método unificado para modelar, analizar y diseñar amplia gama de sistemas lineales y no lineales.

La respuesta transitoria se define como la parte de la respuesta que tiende a cero cuando el tiempo tiende a infinito.

Permite analizar el comportamiento dinámico del sistema.

$$\lim_{t\to\infty} y_t(t) = 0$$

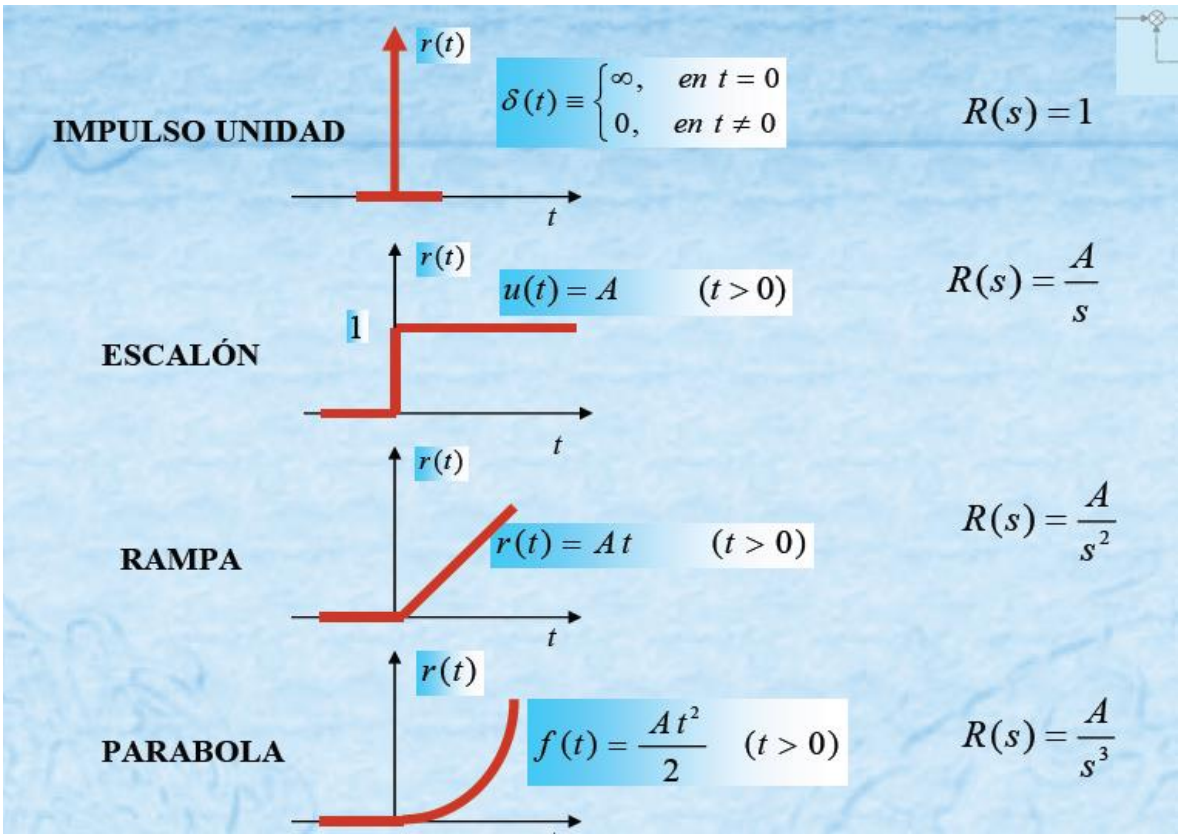


Figura 42

Señales de Entrada

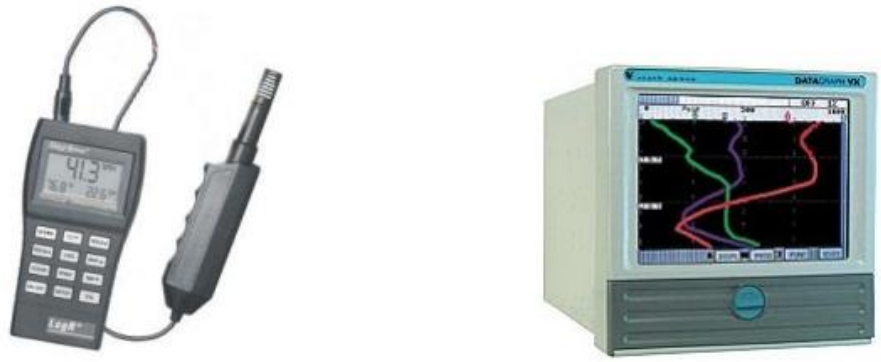
3.2 Registrador u osciloscopio con memoria.

Un instrumento de registro es un dispositivo cuya función es registrar el valor de una cantidad al medirla.

Estos dispositivos tienen circuitos de acondicionamiento de señal para que las señales de entrada se puedan escalar de algún modo antes de registrarse.

Registrador con trazo continuo o a punto la variable, y pueden ser circulares o de gráfico rectangular.

Los registradores de gráficos circulares suelen tener el grafico de 1 revolución en 24 horas, mineras que en los de gráfico rectangular la velocidad normal del gráfico es de unos 20 mm/h.



CARTA CIRCULAR:

Figura 43

Figura 44

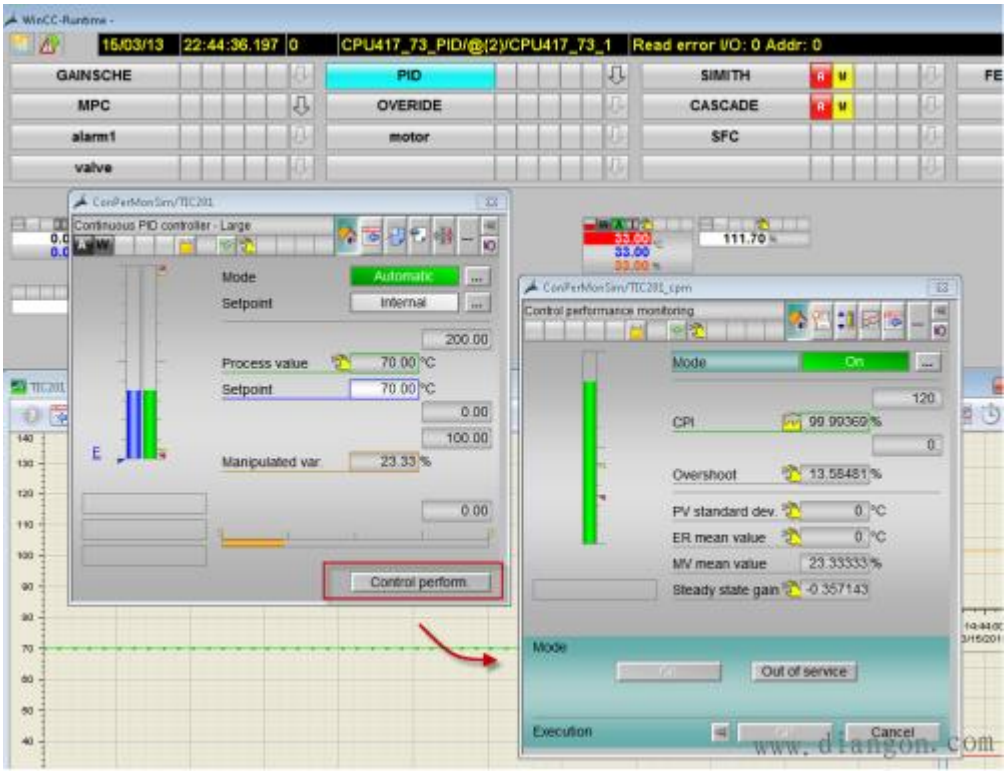


Figura 45

3.3 Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo).

Los procesos que se caracterizan por proporcionar a su salida un flujo continuo de un producto líquido o sólido se denominan procesos continuos. Este tipo de procesos se caracteriza también, en general, tanto por generar como por recibir en sus entradas variables analógicas y a los sistemas de control asociados con ellos se les suele denominar simplemente sistemas de control de procesos.

De acuerdo con la forma de llevar a cabo el control, los sistemas electrónicos de control de procesos pueden trabajar en bucle abierto o en bucle cerrado y éstos últimos son los auténticos sistemas de control automático y por ello se les dedica este capítulo.

En la figura siguiente se representa el diagrama de bloques básico de un sistema electrónico de control de procesos denominado simplemente controlador o regulador.

La variable del proceso (PV): cuyo valor se controla, se conecta al controlador y constituye una señal de realimentación (Feedback signal).

El valor que debe tener la variable PV se denomina punto de consigna [Setpoint (SP)] o referencia, y constituye otra variable de entrada del controlador.

El controlador ejecuta un determinado algoritmo y genera, mediante él, la variable de control (CV), que a través de un actuador proporciona la variable manipulada (MN). Esta última actúa sobre el proceso para hacer que la variable del proceso PV tenga el valor establecido por la variable de consigna SP.

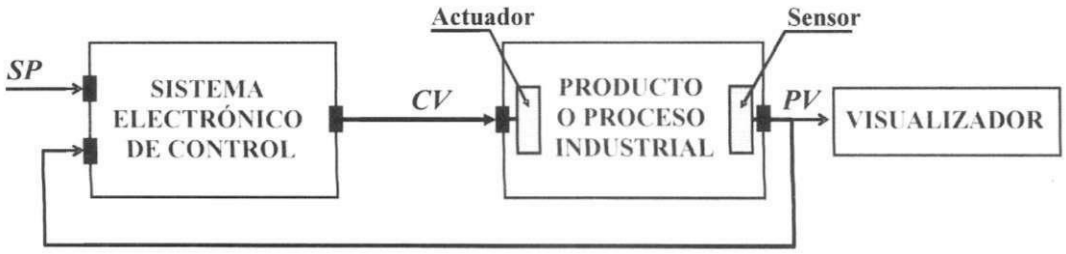


Figura 46

Diagrama de bloques de un sistema electrónico de control de procesos en bucle cerrado.

Los sistemas electrónicos de control de procesos, denominados en general controladores o reguladores, pueden utilizar internamente señales analógicas o digitales. Los controladores analógicos se utilizan cuando el producto o proceso controlado es sencillo, como es el caso de las fuentes de alimentación lineales de pequeña potencia y los controladores digitales programables son los más idóneos para controlar procesos complejos, como por ejemplo, una planta química, en los que, en general, es necesario modificar la función que ejecutan tanto en la fase de diseño como a lo largo de la vida útil de los mismos. Pero además, existen diferentes algoritmos matemáticos que tienen como

objetivo lograr que en cada instante la variable PV tenga un determinado valor independientemente de los cambios que se produzcan en otras variables que actúan sobre el proceso, como por ejemplo, las variaciones de la carga en el caso de una fuente de alimentación regulada.

Es conveniente indicar, además, que algunos fabricantes comercializan reguladores autónomos de procesos continuos realizados con microprocesadores o microcontroladores. Un ejemplo de ello, es la familia SIPART DR de Siemens. En muchos casos estos reguladores incorporan procesadores de comunicaciones que hacen posible su conexión a una red de controladores para ajustar sus parámetros mediante un computador y proporcionar información a este último del funcionamiento del regulador.

El algoritmo de control que debe ejecutar el autómata programable se puede programar en diferentes tipos de lenguajes literales y gráficos tanto normalizados como propietarios. La utilización de los lenguajes gráficos facilita al usuario la programación sin necesidad de conocer con detalle el funcionamiento del autómata programable y por ello son los más utilizados.

Controladores no lineales intermitentes

Conceptos generales

Se denominan controladores no lineales a los que, como su nombre indica, ejecutan un algoritmo de control que no es lineal. Diversos autores los denominan controladores intermitentes porque la variable CV solo tiene, en régimen permanente, un número discreto de valores. El controlador básico intermitente es el controlador todo-nada (On-Off controller). La operación de este controlador es más eficaz si se le añade una histéresis o una zona muerta y el controlador así realizado recibe el nombre de controlador todo-nada de dos posiciones. Una extensión de este último controlador es el controlador multiposición, que proporciona tres o más niveles de salida con objeto de mejorar la acción de control. Estos tres tipos de controladores se analizan a continuación.

Controlador todo-nada básico

El mecanismo de realimentación más simple se puede describir mediante el algoritmo representado en la figura siguiente que se puede indicar algebraicamente mediante la expresión:

$$CV = \begin{cases} CVmax & e > 0 \\ CVmin & e < 0 \end{cases} \qquad e = SP\text{-}PV$$

Figura 47

En la que “e” es el error y representa en cada instante la diferencia entre el valor de consigna SP y el valor de la variable PV de salida del proceso. De la expresión anterior se deduce que el controlador todo-nada compara los valores de SP y PV y asigna el valor VCmax o CVmin a CV según el resultado de la misma. La actuación de este controlador se muestra gráficamente en la figura.

Esta ley de control consiste en aplicar en cada instante la acción correctiva máxima, es decir, la variable CV tiene su valor máximo cuando el error es positivo y su valor mínimo cuando el error es negativo. Por ello a este tipo de control se puede denominar todo-nada básico (On- Off). Este tipo se producen oscilaciones de la variable CV a una frecuencia elevada.

Controlador todo-nada de dos posiciones

A fin de evitar los inconvenientes del controlador todo-nada básico descritos en el apartado anterior, se puede modificar el comportamiento del controlador de la figura siguiente para obtener un controlador todo-nada de dos posiciones, que se puede implementar de las dos formas siguientes:

Controlador todo-nada con histéresis.
Controlador todo-nada con zona muerta
.

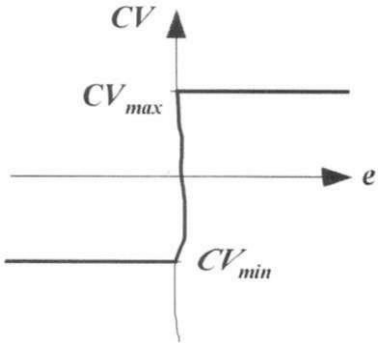


Figura 48

Representación gráfica del comportamiento de un controlador todo-nada básico

A continuación se describe brevemente cada una de ellas.

Controlador todo-nada con histéresis (On /off con histéresis)

Para evitar la indefinición que presenta el controlador todo -nada básico cuando el error es cero se le puede añadir una histéresis H. Su comportamiento se describe gráficamente en la figura, en la que se puede observar que existe una zona en la que el valor de la variable de control CV depende del sentido en el que varía el error e. Si el error aumenta positivamente a partir de cero, CV no cambia de CVmin a CVmax hasta que el error supera un determinado valor positivo.

De igual manera cuando el error disminuye negativamente a partir de cero, CV no cambia de a hasta que el error supera un determinado valor negativo. La anchura del ciclo de histéresis depende del nivel de error que puede admitir el proceso que se controla.

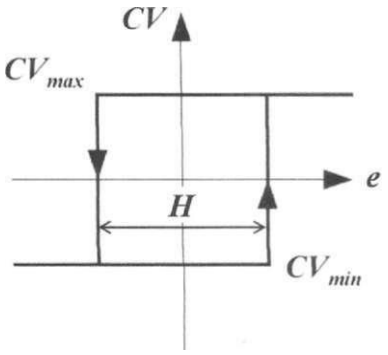
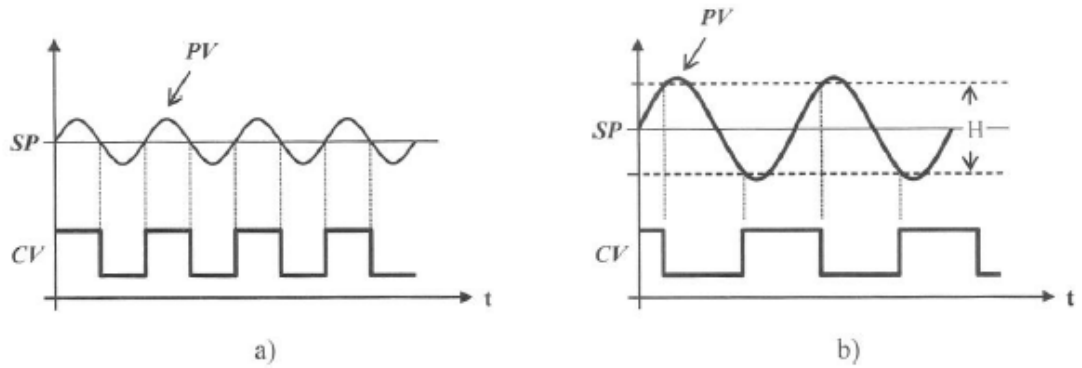


Figura 49

Representación gráfica del comportamiento de un controlador todo-nada de dos posiciones con histéresis.

En la figura siguiente se representa gráficamente la diferencia entre el comportamiento del controlador todo-nada básico y el controlador todo-nada con histéresis. En el controlador básico la variable CV cambia de nivel en cuanto el valor de PV supera positiva o negativamente el valor de SP. Debido a ello, el controlador no consigue que la variable PV se estabilice en el valor de SP sino que oscila en torno a él. Además, cualquier perturbación que modifique PV puede hacer que la variable de control CV cambie del valor máximo al mínimo y viceversa a frecuencia elevada. En ambos casos se puede producir el deterioro del actuador electromecánico, neumático o fluídico sobre el que actúa CV.



R**epresentación gráfica del comportamiento del controlador todo-nada: a) Básico:**

Figura 50

b) Con histéresis.

Por el contrario en el controlador todo-nada con histéresis se observa que la variable CV no cambia de nivel mientras el valor de PV no supera positiva o negativamente la franja centrada en SP y delimitada por H. Se evita así que la variable CV conmute a frecuencia elevada pero se introduce un error en el valor de PV porque sus variaciones que no rebasan la franja no las detecta el controlador. Además, las perturbaciones que modifiquen el valor de PV sin que rebase la histéresis H, no afectan al controlador.

Controlador todo-nada con zona muerta (On off con zona muerta)

Los inconvenientes del controlador todo-nada básico se pueden evitar también, añadiéndole una zona muerta D (Dead Zone), tal como se indica en la figura siguiente, en la que existe una zona en la que la variable de control CV toma el valor cero. Si el error aumenta positivamente a partir de cero, CV no cambia de 0 a VCmcix hasta que el error supera un determinado valor positivo. De igual manera cuando el error disminuye negativamente a partir de cero, CV no cambia de 0 a CVmn hasta que el error supera un determinado valor negativo. La anchura de la zona muerta depende también, del nivel de error que puede admitir el proceso que se controla.

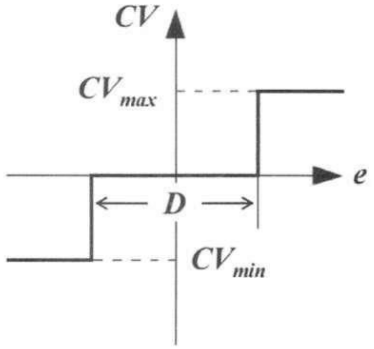


Figura 51

Controlador de dos posiciones con zona muerta.
Controlador intermitente proporcional en el tiempo (modulación de ancho de pulso)

Otro tipo de control intermitente es el que realiza el controlador intermitente proporcional en el tiempo, en el que se establece un período de tiempo fijo T A durante el cual la variable de control CV toma el valor máximo un tiempo proporcional al valor del error y permanece desactivada durante el resto del periodo, tal como se muestra en la figura siguiente. Se dice que la señal de control así generada está modulada en anchura de impulsos y se la conoce por el acrónimo PWM (Puise Wídth Modulation).

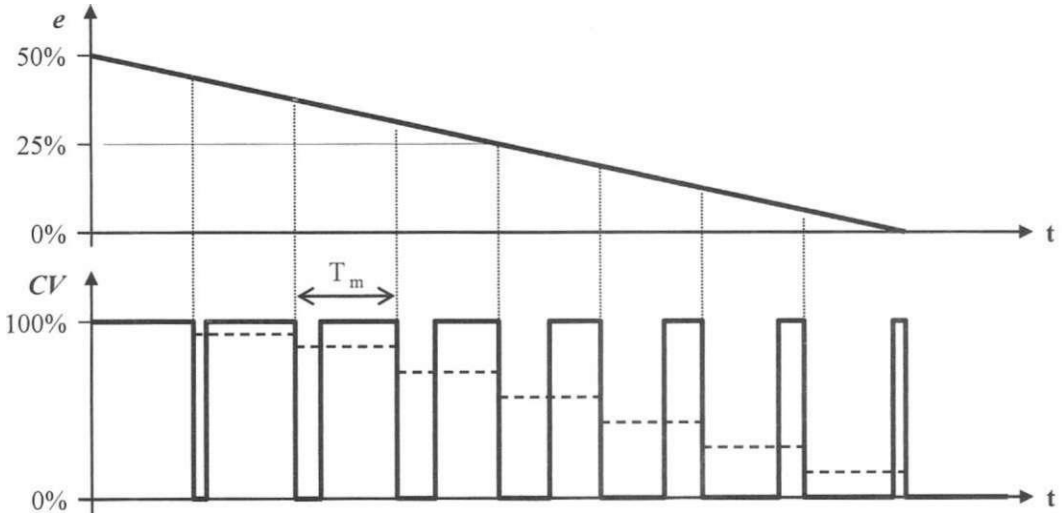


Figura 52

Controlador intermitente proporcional en el tiempo.

En la figura se supone que el error varía linealmente entre el 50% y el 0% y se establece un período. En el primer período la variable de salida CV está activada durante todo el periodo Tm debido a que el error es máximo. En los controladores PWM comerciales se puede variar el período total dentro de ciertos límites y también los porcentajes de conexión y desconexión.

Controladores lineales continuos

Introducción

Los controladores lineales continuos se caracterizan por realizar un conjunto de operaciones lineales como, por ejemplo, la resta y la multiplicación por una constante (amplificación). En los controladores lineales continuos, la variable de proceso PV se resta de la variable de consigna SP (ver figura). Se obtiene así una variable denominada error e igual a la diferencia entre el valor real de la salida y el que se pretende obtener. La variable e se aplica a un procesador electrónico que la transforma mediante un operador lineal. En función del tipo de operador lineal se obtienen diferentes controladores continuos que se estudian a continuación en sucesivos apartados.

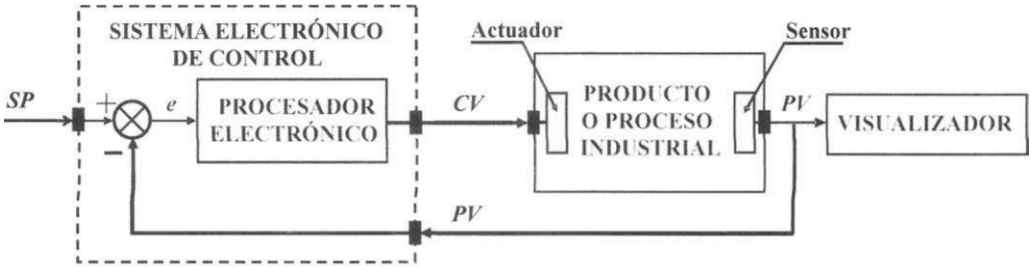


Figura 53

Diagrama de bloques de un controlador continuo.

Controlador continuo Proporcional

Se denomina regulador o controlador continuo proporcional a un sistema de control (Figura) en el que el error se multiplica por un factor de ganancia proporcional para obtener la variable de control CV que actúa sobre el proceso y modifica su punto de operación hasta que la variable de proceso PV y la consigna SP sean prácticamente iguales.

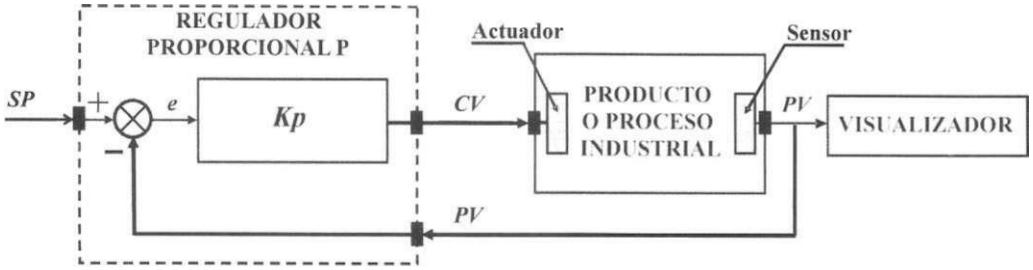


Figura 54

Diagrama de bloques de un regulador proporcional.

Para describir la actuación de un regulador proporcional se deben establecer los límites máximos CVmax y CVmin de la variable de control que vienen fijados por el actuador.

Se obtiene así una zona en la que la variable CV es una línea recta que se puede especificar de dos formas diferentes:
Mediante su pendiente, que constituye la ganancia del regulador.
Mediante la zona en la que la curva característica es lineal, conocida como banda proporcional BF. Esta zona está normalmente centrada con relación a la referencia
(e = 0).

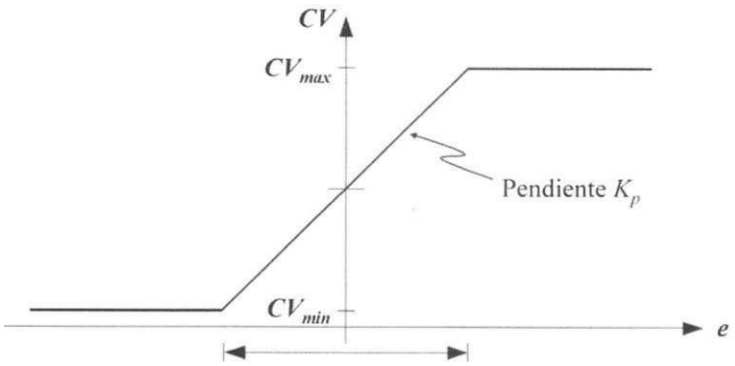


Figura 55

Actuación de un regulador proporcional.

Banda proporcional

La banda proporcional y la ganancia del regulador están relacionadas mediante la ecuación:
CVmax - CVmin =Kp BP

Normalmente se asume que CVmax - CVmin es el 100%, con lo cual Kp = 100/BP

Es interesante resaltar que el regulador proporcional actúa como un controlador todo-nada (On-Off) cuando el error de control es grande, pero se diferencia de él en que permite reducir el valor del error al mínimo, para lo cual es necesario que CV tenga el valor suficiente para influir sobre PV y hacer que se aproxime todo lo posible a SP.

De lo expuesto se deduce que, para disminuir el error al valor mínimo posible, es necesario aumentar el valor de Kp. Sin embargo, cuando se utiliza una ganancia muy grande el sistema realimentado se hace inestable y la variable de control CV no alcanza el valor establecido mediante SP. Por otra parte si, como es habitual, existe un retardo entre la aplicación de la señal CV y la respuesta del proceso, el sistema de control tiende a sobrecorregir el error.

Con objeto de mostrar lo anteriormente expuesto, en la figura siguiente se representa el sistema de control realimentado de la velocidad de un motor de corriente continua, que constituye un servomecanismo, que debe girar a 1000 rpm. La variable de salida del proceso es, en este caso, proporcionada por una generatriz taquimétrica o taco generador que constituye un sensor que genera una señal analógica cuya amplitud es proporcional a la velocidad del motor.

En principio se supone que al cambiar el valor de SP, el valor de PV cambia también, hasta que ambos sean iguales, pero en realidad esto no sucede. En efecto, tal como se muestra en la gráfica, si el valor de Kp es relativamente bajo [curva a)] el valor de PV no alcanza nunca a SP porque el error e tiene que tener, en régimen permanente, una vez transcurrido el tiempo de establecimiento, un valor significativo (Offset error) para que al

multiplicarlo por proporcione el valor de CV suficiente para que el motor gire. Para resolver este problema surge la idea de elevar el valor de Kp, por ejemplo triplicándolo.

Se obtiene de esta forma la curva b) de la gráfica en la que se observa que el error en régimen permanente se reduce significativamente aunque todavía es superior al 15 %. Si para reducir el error en régimen permanente todavía más, por ejemplo, a menos del 2 %, se multiplica Kp por 10 con respecto al utilizado para obtener la curva a), se obtiene la curva c) de la gráfica en la que se observa que la velocidad oscila antes de alcanzar el régimen permanente.

Esto es debido a que al utilizar una ganancia muy grande se eleva la pendiente de cambio de la velocidad del motor y la inercia del mismo hace que se produzca una gran sobre oscilación de la velocidad del motor, aunque el error, y por tanto la actuación, cambien de sentido.

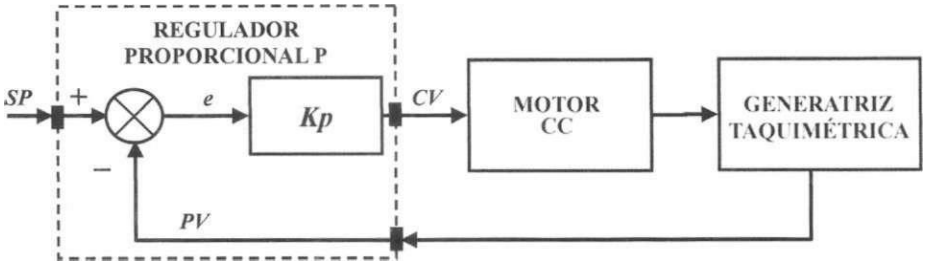


Figura 56
Control en bucle cerrado de la velocidad de un motor de corriente continua.

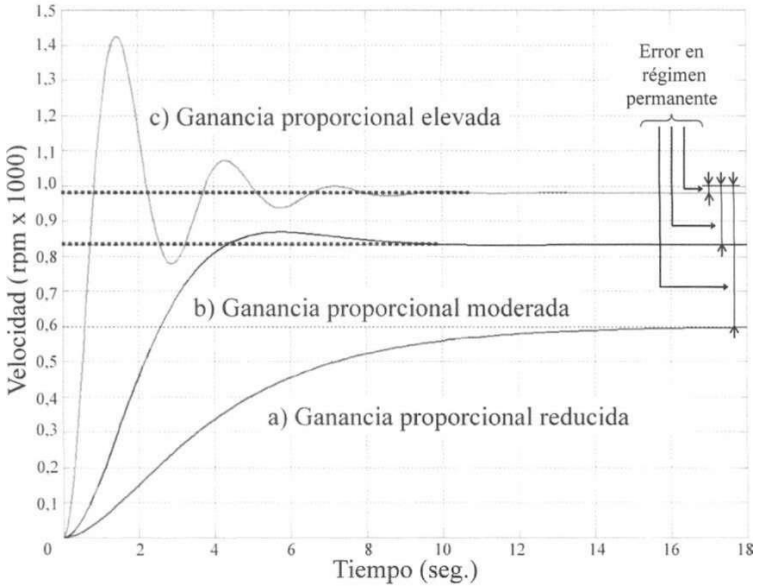


Figura 57
Respuesta de la velocidad de un motor de corriente continua con diferentes valores de la ganancia.

Tal como queda patente en este ejemplo, si se intenta mejorar el comportamiento del sistema en bucle cerrado incrementando simplemente el valor de la ganancia

proporcional Kp no se obtiene un control preciso. Aunque el comportamiento del sistema puede experimentar una ligera mejoría, un incremento excesivo hace que el sistema en muchos casos se convierta en inestable. Es necesario, por lo tanto, modificar el procedimiento que se acaba de describir para mejorar el comportamiento del sistema.

Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID) Introducción

Para mejorar el comportamiento del controlador o regulador continuo proporcional descrito anterior y hacer que la diferencia (error) entre la variable de consigna SP y la variable de salida del proceso PV en régimen permanente sea tan pequeña como sea necesario sin que se produzcan oscilaciones, se debe combinar la acción proporcional con una acción integral y una acción derivativa en las proporciones adecuadas. Surge así el regulador "Proporcional, Integral y Derivativo" conocido como PID que es un regulador realimentado continuo. La acción integral hace que se anule el error en régimen permanente y la acción derivativa proporciona al regulador capacidad para anticipar el futuro y tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso, que limita su oscilación en régimen transitorio, al mismo tiempo que aumenta la velocidad de respuesta.

Los controladores PID realizan adecuadamente el control de numerosos productos y procesos industriales, particularmente cuando la dinámica del proceso lo permite, como por ejemplo, en los casos siguientes:

El proceso es un sistema lineal con retardo, cuyo comportamiento responde a una ecuación diferencial de primer orden, como, por ejemplo, el control de temperatura de un homo.
El proceso se describe mediante una ecuación diferencial de segundo orden como, por ejemplo, un motor de corriente continua.

Ambos tipos de sistemas se caracterizan por limitar solamente el nivel de error en régimen permanente y exigir una respuesta rápida ante cambios de la variable de consigna o en presencia de perturbaciones. Los controladores PID se utilizan en el 95% de los sistemas de control continuo que existen en la industria debido en gran parte a su simplicidad y a que es posible utilizar un procedimiento de prueba y error para seleccionar la proporción en la que se combinan las tres acciones P, I, y D sin que el usuario tenga que tener un dominio profundo de la teoría de control. Debido a ello en muchas ocasiones el usuario no explota toda la capacidad de control de este tipo de controladores.

En la figura se representa el diagrama de bloques de un regulador PID en el que la señal de control CV se obtiene mediante la suma de los tres tipos de acciones. El parámetro Ti pondera la acción integral y el parámetro Td pondera la acción derivativa. Además, la señal de error se amplifica mediante el parámetro que afecta, también a las acciones integral y derivativa. El diseñador debe asignar a los parámetros Kp, Ti y Td un valor positivo o cero. Si para controlar un determinado proceso no es necesaria la acción derivativa, el valor de Td, se debe ajustar a cero y si no es necesaria la acción integral el valor de Ti se debe ajustar al valor máximo permitido (teóricamente infinito). Este tipo de regulador PID en el que las tres acciones son independientes entre sí recibe el nombre de PID no interactivo o de "Libro de texto".

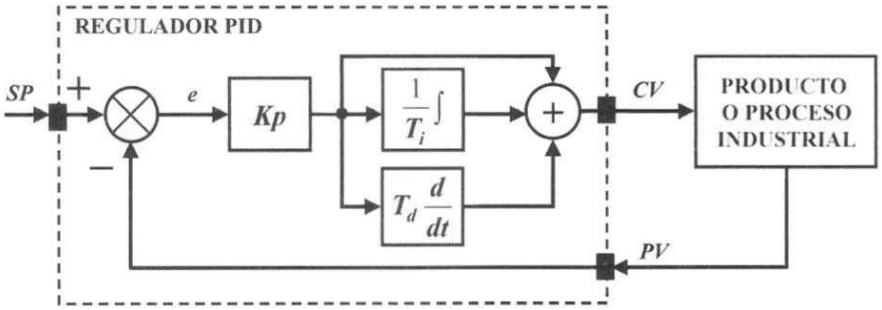


Figura 58

Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) en bucle cerrado.

Tanto si el sistema de control utiliza internamente señales analógicas como, el error es la base a partir de la cual actúa el regulador PID y, por tanto, cuanto más precisa es la medida del error mejor puede ser el control. Esta es la razón por la que son elementos críticos el sensor que se encarga de la medida de la variable PV y la transmisión de dicha medida al regulador evitando la influencia de ruidos. A partir del citado error el PID elabora la señal de control CV.

La figura muestra la principal característica de las acciones Proporcional, Integral y Derivativa con respecto al error, que es la variable en función de la que actúan. Tal como se indica en la citada figura, el efecto proporcional actúa en función del valor actual del error (presente), el efecto derivativo actúa en función de la velocidad de cambio del error (pendiente) lo que le proporciona capacidad para anticipar el futuro y el efecto integral actúa en función de la evolución previa (área sombreada) del error (pasado).

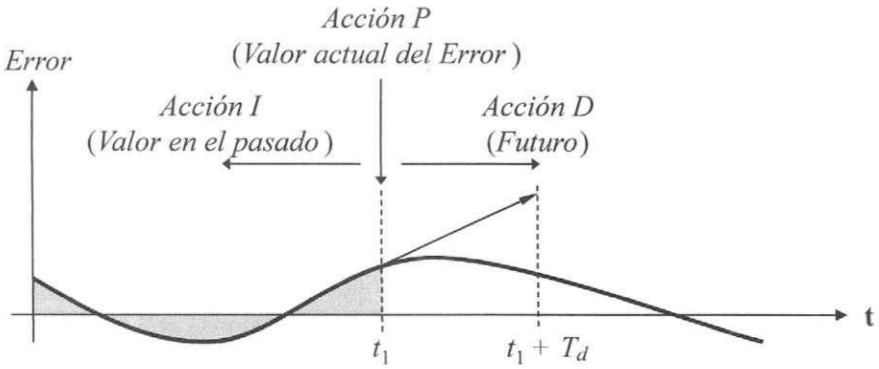


Figura 59

Efectos Proporcional, Integral y Derivativo (PID).

Acción de control Integral

Tal como se indica en el apartado anterior, la acción proporcional no permite, en la mayoría de los procesos, que el valor de la variable de salida PV se aproxime con un

error nulo al valor de consigna SP sin que se produzcan oscilaciones. Para eliminar el error en régimen permanente es imprescindible añadir una actuación adicional CV0 a la acción proporcional, de acuerdo con la ecuación:

CV = Kp(SP-PV) + CV0

En algunos controladores industriales esta actuación CV0 se puede añadir de forma manual y se suele denominar punto de trabajo. Su valor permanece invariable a lo largo del proceso de regulación y debe ser tal que anule el error.

El valor VC0 se puede obtener también mediante la integral del error, porque es una función que actúa mientras existe un error distinto de cero, de acuerdo con la ecuación:
CV0 =Kp/Ti (SP-PV) dt en la que Ti es la constante de tiempo de integración.

De esta forma, cuando el error alcanza el valor cero, la integral tiene un valor finito igual a CV0, porque de lo contrario la integral seguiría modificando dicho valor. Se obtiene así el valor CV0 automáticamente y por ello el término integral se suele denominar anulación automática
(Automatic reset).

Con la acción integral se logra que un pequeño error positivo produzca siempre un incremento de la señal de control y un error negativo una disminución de la misma, aunque el error sea muy pequeño.

La interpretación física que se acaba de dar a la actuación integral concuerda con el hecho de que cuando Ti se hace infinito el sistema no tiene actuación integral. Por lo tanto, la constante de tiempo de integración Ti da una idea del tiempo que se tarda en anular el error de forma automática (Reset time). A partir de ello se puede deducir que un valor adecuado de T. puede ser el del periodo de oscilación del sistema sin acción integral, o un tiempo algo menor.

La combinación de las acciones proporcional e integral da como resultado un regulador PI que es adecuado para controlar un gran número de procesos industriales.

Con objeto de comprender mejor el efecto de la acción integral, en la figura se analiza en bucle abierto (sin formar parte de un bucle de control) la respuesta de un regulador PI. En la figura se representa el diagrama de bloques del regulador PI a cuya entrada se aplica una señal de error en escalón. El bloque que realiza la acción proporcional genera a su salida un escalón Kp veces mayor y el que realiza la acción integral genera una rampa de pendiente Kp veces l/Ti. La señal CV es la suma de las dos acciones. En la figura b se representa la evolución de la señal CV cuando sólo se utiliza la acción proporcional (P) con Kp=3 y cuando se utiliza conjuntamente con la acción integral (PI) con T,=4.

Comparando ambas respuestas se observa que T. es el tiempo necesario para que la acción integral contribuya al valor de la salida del regulador en una cantidad igual a la acción proporcional. Ello equivale a decir que al cabo de 4 segundos el regulador

proporcional P genera una actuación CV=3 mientras el regulador PI proporciona el doble de actuación. Se debe tener en cuenta que ante un error constante el regulador incrementa su actuación de acuerdo con Ti para tratar de reducirlo lo cual no consigue porque el bucle de control está abierto.

En general los fabricantes de reguladores industriales PID suelen representar Ti de la forma indicada en la parte izquierda de la figura b, para lo cual prolongan la actuación PI hasta anular el valor de CV, lo cual es equivalente. Gráficamente se observa que para reducir al máximo el efecto integral se debe proporcionar a Ti un valor lo más elevado posible.

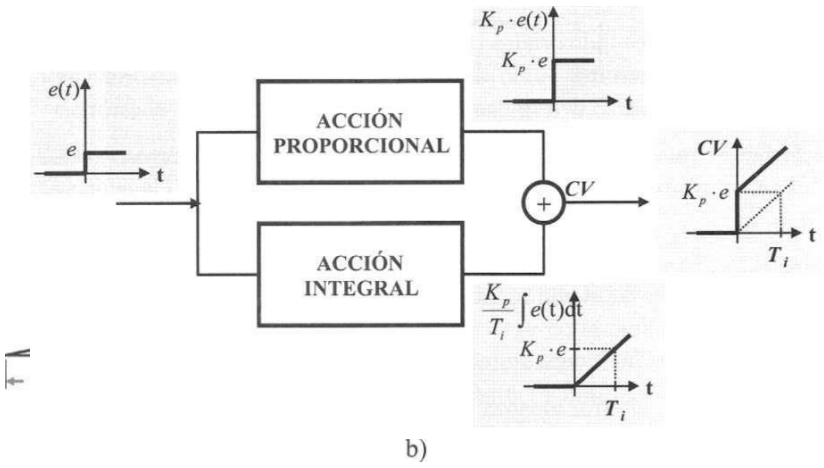


Figura 61

Aplicación de una señal de error en escalón al regulador PI: a) Esquema de bloques; b) Respuesta con Kp = 3 y Ti = 4 segundos.

Si el efecto integral se añade al control de velocidad en bucle cerrado del motor de corriente continua de la figura se obtiene el sistema de la figura en el que se tienen que ajustar la ganancia proporcional y el tiempo integral Ti. La respuesta obtenida se representa en la gráfica. En ella se puede observar que el error en régimen permanente se anula mediante la introducción de la acción integral y que el tiempo de respuesta se eleva a medida que el valor de Ti disminuye es decir, se aumenta el efecto integral.

Un valor excesivamente pequeño de Ti, como es el caso de Ti =2, hace que el sistema se convierta en sub-amortiguado y que presente una sobre oscilación (Overshoot) antes de alcanzar el régimen permanente, e incluso que llegue a oscilar. Es conveniente resaltar que el efecto integral, en la proporción adecuada, mejora notablemente el error en régimen permanente sin que para ello sea necesario elevar el valor de la ganancia proporcional y sin modificar apreciablemente el régimen transitorio.

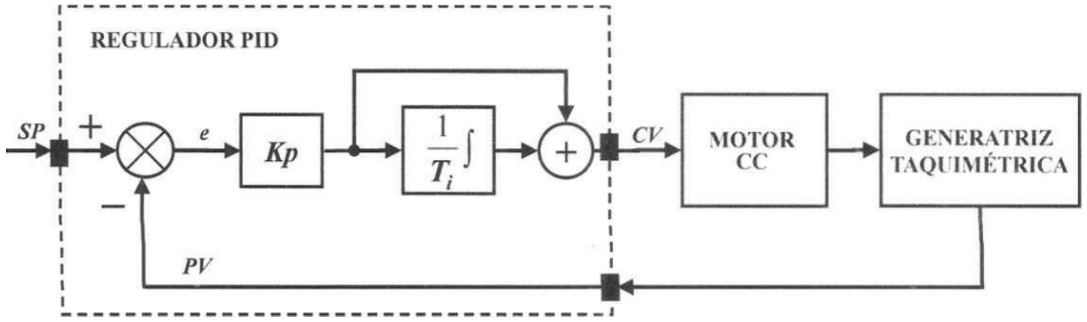


Figura 62

Control Proporcional e Integral (PI) en bucle cerrado de la velocidad de un motor de corriente continua.

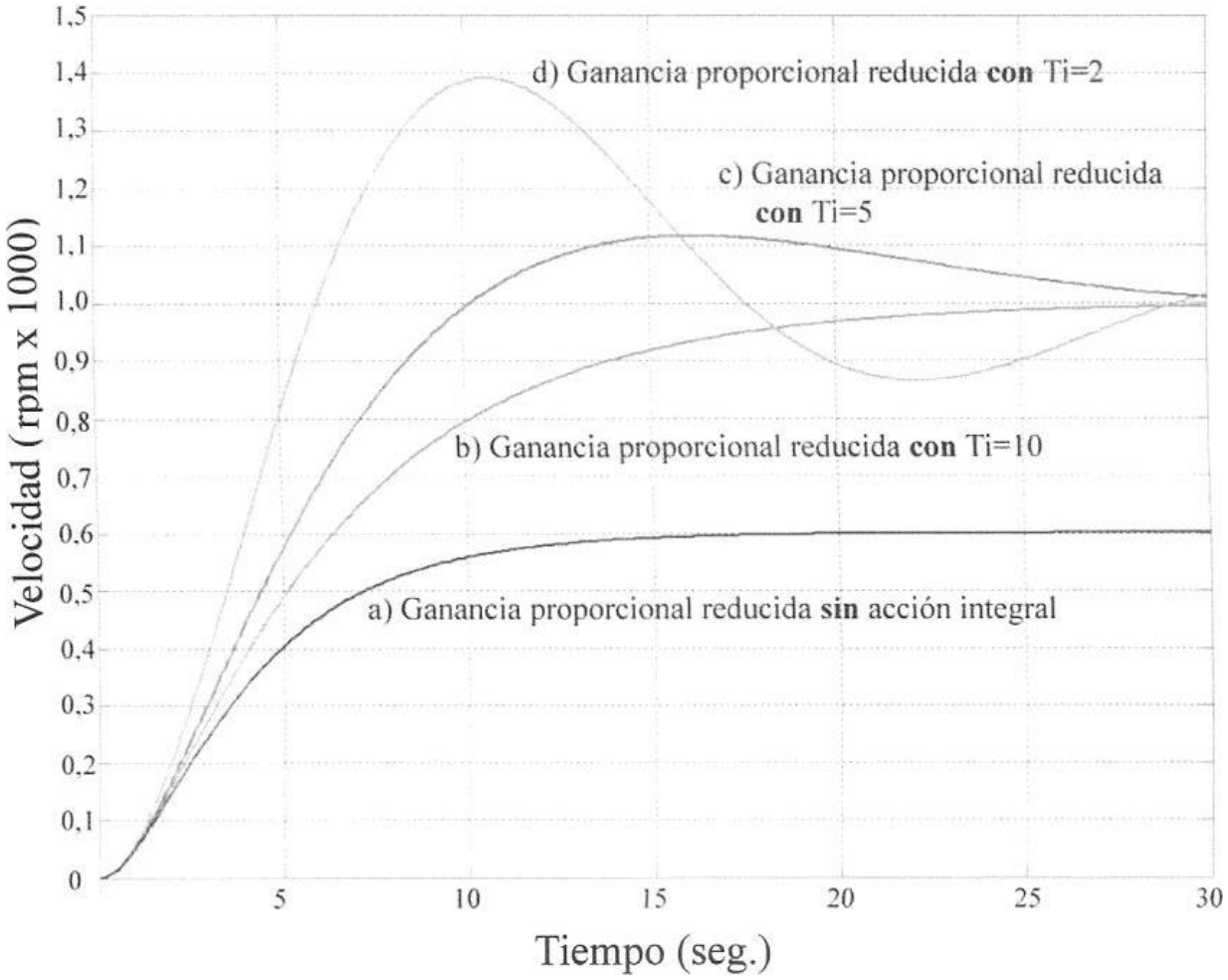


Figura 63

Respuesta de la velocidad de un motor de corriente continua con acción de control integral.

Al analizar el control PI es conveniente estudiar la situación que se produce cuando debido a un error grande, el integrador proporciona una señal de elevada pendiente. En

este caso puede suceder que el término integral haga que la señal CV supere el valor a partir del cual el actuador se satura y deja de responder a posteriores incrementos.

Este fenómeno se denomina saturación del término integral y para eliminarlo es necesario que el regulador PI incorpore alguna técnica antisaturación. Una forma de eliminar este fenómeno consiste en dejar de calcular la integral y mantener el último valor obtenido (integración condicional) en el instante en que CV alcanza un valor límite predeterminado. Se consigue de esta forma que el valor de CV se mantenga dentro de unos límites superior e inferior especificados por el diseñador del sistema de control. Dichos límites coinciden con los valores CVmax y CVmin del regulador proporcional.

Acción de control Derivativa

Una forma de evitar las oscilaciones que a veces se producen en torno al punto de consigna cuando sólo se utiliza el efecto proporcional, es añadir otra actuación proporcional a la derivada del error, lo que dota al sistema de una cierta capacidad de "anticipación". Esto es debido a que la acción derivativa actúa proporcionalmente al error previsto segundos más tarde, tal como se comprueba a partir de la ecuación básica de un regulador PD que es:

$$K_p\left[e(t)+T_d\frac{de(t)}{dt}\right]\cong K_p\left[e(t)+T_d\frac{e(t+T_d)-e(t)}{T_d}\right]=K_p\cdot e(t+T_d)$$

Figura 64

En la figura se representa la respuesta de un sistema de control P en bucle cerrado en el que se produce una sobre oscilación. En ella se observa que en el instante t1 el error todavía es positivo, debido a lo cual el regulador sigue actuando hasta llegar al valor de consigna, aunque el error sea muy pequeño. Esto hace que, a causa de la elevada velocidad de respuesta, en breves instantes se rebase el valor de consigna. Añadiendo una acción D, en el instante A se produce una actuación contraria o "de frenado", es decir, se logra que el regulador actúe en fr con la actuación estimada para t1+Td. El sistema que utiliza un regulador PD es capaz de "frenar" antes de llegar al valor de consigna y por lo tanto tiene capacidad de anticipación.

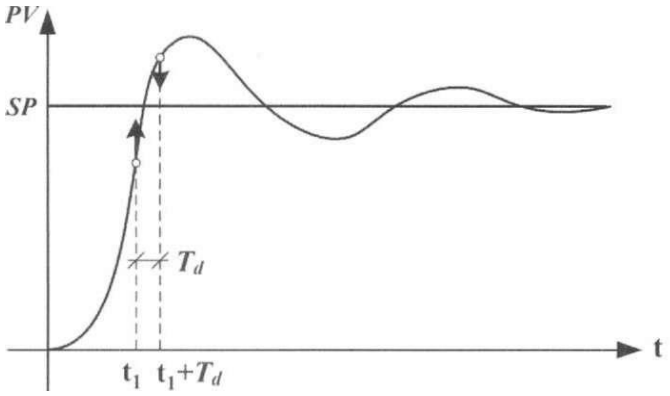


Figura 65

Efecto Derivativo.

De la figura anterior se deduce que el valor de Td, denominada constante de tiempo derivativa, debe ser inferior al periodo de oscilación del sistema sin acción derivativa. En la práctica la estimación del error al cabo de Td segundos sólo es adecuada si el valor de Td es igual o superior a cero e inferior a un cuarto del periodo de oscilación del sistema Con objeto de comprender mejor el efecto de la acción derivativa, en la figura siguiente se analiza en bucle abierto (sin formar parte de un bucle de control) la respuesta de un regulador PD. En la figura a) se representa el diagrama de bloques del regulador PD a cuya entrada se aplica una señal de error en rampa.

El bloque que realiza la acción proporcional genera a su salida una rampa de pendiente Kp veces mayor y el que realiza la acción derivativa genera un escalón de amplitud Kp veces Td. La señal CV es la suma de las dos acciones. En la figura b) se representa la evolución de la señal CV cuando sólo se utiliza la acción proporcional (P)

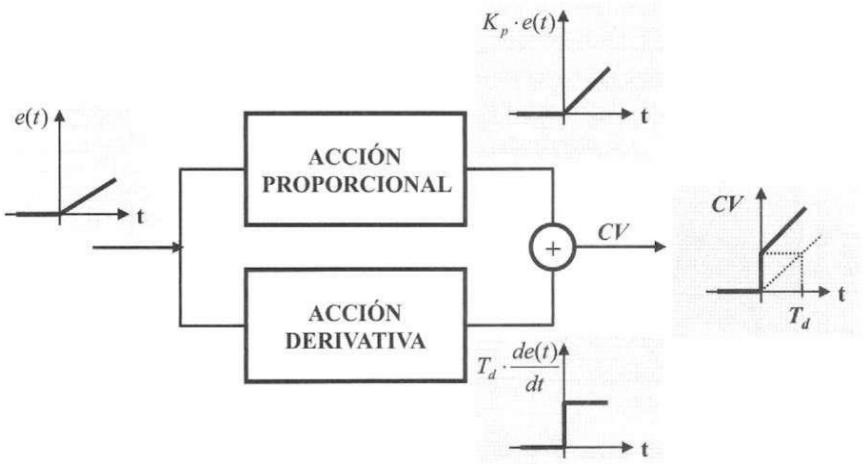


Figura 66

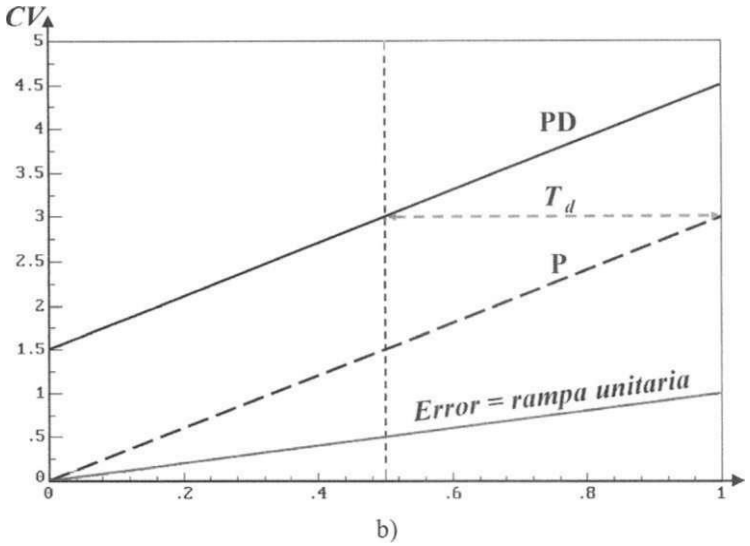


Figura 67

Respuesta del regulador PD al aplicarle una señal de error en rampa: a) Diagrama de bloques: b) Con Kp = 3 y Td = 0.5 segundos.

Kp = 3 y cuando se utiliza conjuntamente con la acción derivativa (PD) con Td = 0.5. Comparando ambas respuestas se observa que Td es el tiempo necesario para que la acción proporcional contribuya a la actuación del regulador en una cantidad igual a la acción derivativa. Se logra de esta forma que la actuación CV alcance Td segundos antes el valor debido a la actuación exclusivamente proporcional. Ello equivale a decir que sí el regulador P genera una actuación CV=3 en t=l, el regulador PD la genera 0.5 segundos antes. Para eliminar el efecto derivativo se debe hacer el valor de Td igual a cero.

Si el efecto derivativo se aplica al control en bucle cerrado de velocidad del motor de corriente continua se obtiene el sistema de la figura. En este caso se tienen que ajustar la ganancia proporcional Kp el tiempo derivativo Td. En el grafico se puede observar la respuesta del sistema con diferentes valores del tiempo derivativo Td y una ganancia proporcional Kp elevada.

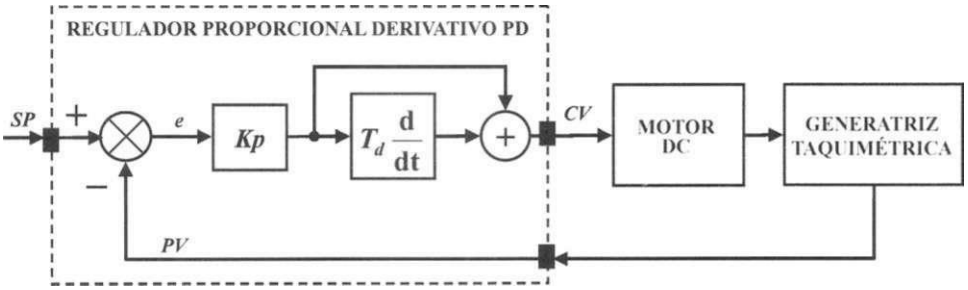


Figura 68

Control Proporcional Derivativo (PD) en bucle cerrado de la velocidad de un motor de corriente continua

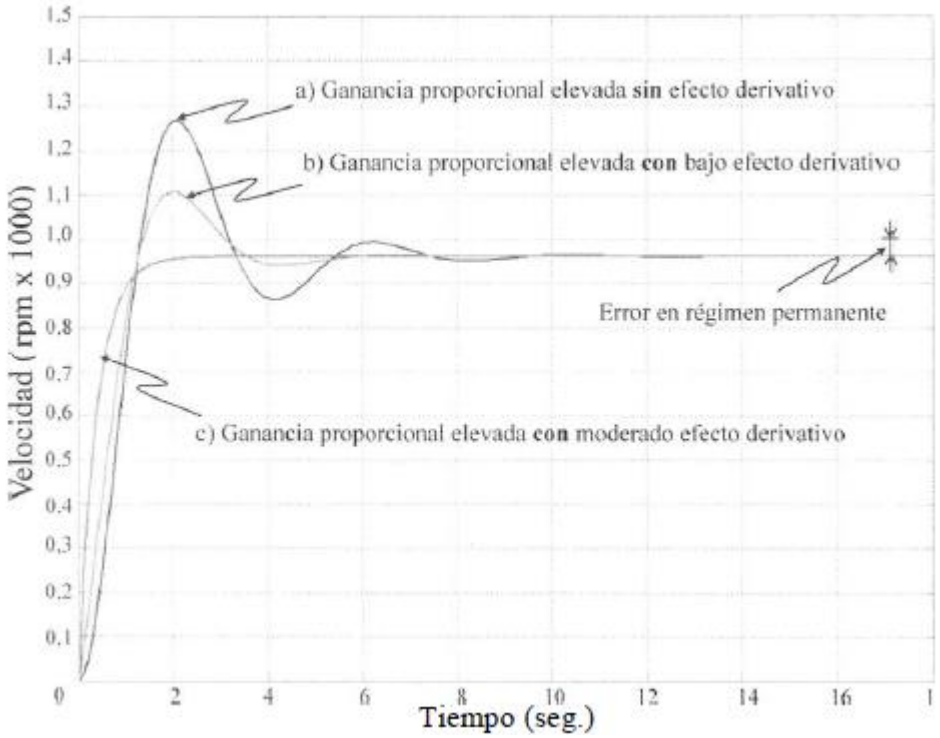


Figura 69

Respuesta de la velocidad de un motor de corriente continua con acción de control derivativa

Comparando las gráficas de respuesta integral con el derivativo se observa que el sistema se estabiliza mucho más rápidamente y que la sobreoscilación es menor e incluso llega a anularse. Sin embargo, aunque mejora la velocidad de respuesta sigue existiendo un error en régimen permanente.

Por otra parte, el diseñador debe tener cuidado al elevar el nivel de los parámetros Kp y Td porque cuando se presentan cambios bruscos del valor de consigna SP, que provocan a su vez valores muy altos de la actuación CV en el instante del cambio, se pueden producir transitorios de tensión y de corriente así como fuerzas mecánicas que dañen permanentemente al sistema.

Otro problema que surge al utilizar la acción derivativa es que puede ocasionar que variables de proceso ruidosas provoquen niveles excesivos de CV. Con objeto de eliminar estos inconvenientes, los controladores industriales modifican la ecuación del término derivativo y lo sustituyen por una derivada filtrada por un sistema de primer orden de adelanto de fase con una constante de tiempo Td / N. Los valores típicos de N están entre 5 y 20. El sistema obtenido actúa como una derivada para componentes de baja frecuencia de la señal. La ganancia, sin embargo, está limitada a Kp• N o que hace que el ruido de alta frecuencia presente en la variable PV se amplifique como máximo por

este factor. Por lo tanto, a los tres parámetros Kp, Ti y Td ya conocidos, que es preciso ajustar para sintonizar un regulador, hay que añadir un cuarto parámetro N.

En general los fabricantes de reguladores industriales PID suelen representar Td de la forma indicada en la figura, que indica la evolución de la señal CV (y en la figura) generada por un regulador PD al aplicar un escalón a la entrada de error. En ella se observa que en el instante del cambio de la entrada, el regulador añade a la actuación proporcional un impulso cuya duración es proporcional a la derivada del error.

Es conveniente resaltar que en este caso no se aprecia la relación entre Td y el tiempo de adelanto que proporciona y, por ello, resulta interesante el análisis del comportamiento del regulador PD al aplicarle una señal de error en rampa realizado al comienzo de este apartado. En la figura Vv equivale al parámetro N, xd a la señal de error e, Tv equivale a Td e yo es el punto de trabajo.

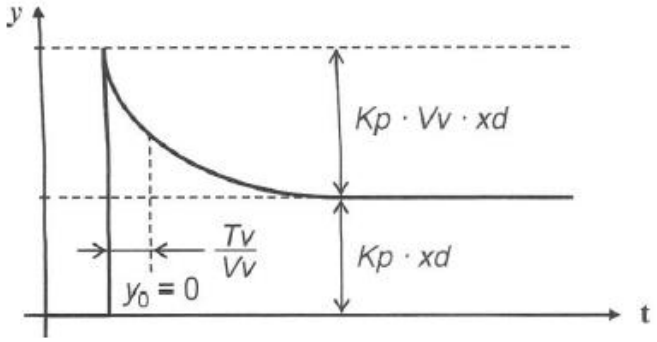


Figura 70

Respuesta de un regulador PD comercial al aplicarle una señal de error en escalón.

Combinación de las acciones Proporcional, Integral y Derivativa (PID)

Para mejorar el comportamiento del regulador continuo proporcional y lograr que la diferencia (error) entre la señal de consigna SP y la señal de salida del proceso PV en estado estacionario sea tan pequeña como sea necesario, sin que se produzcan oscilaciones, se debe combinar la acción proporcional con una acción integral y una acción derivativa en las proporciones adecuadas.

Tal como se muestra en sucesivos apartados, el regulador así obtenido:
• Es adecuado para realizar muchos sistemas de control y se utiliza en más del 95% de los casos.
• El más utilizado es el regulador PI (90%), aunque hay dos tipos de procesos en los que no es adecuado:
Cuando se producen cambios muy rápidos de la carga.
Cuando existe un retardo de tiempo significativo entre la aplicación de la acción correctora y su efecto sobre la variable PV del proceso.

Elección del algoritmo de control

Para facilitar al diseñador de sistemas de control la elección del algoritmo de control más adecuado para implantar un regulador PID, diversos autores han establecido reglas prácticas en relación con las acciones de control que se deben utilizar para obtener un adecuado comportamiento. Dichas reglas pueden hacer referencia a la naturaleza de la variable que se controla o al tipo de respuesta del proceso cuando se le aplica una entrada en escalón. A continuación se analizan ambos tipos de reglas.

Reglas relativas a la naturaleza de la variable que se controla

Para establecer estas reglas se tiene en cuenta el tipo de variable controlada. Los casos más habituales son:

Control de caudal o de presión

Se trata de sistemas de respuesta rápida, que en general incluyen retardos despreciables y en los que pueden aparecer perturbaciones de alta frecuencia. El regulador más adecuado es el PI.

Control de nivel

Se trata de sistemas cuya respuesta puede ser más o menos rápida, con retardos en general despreciables y en los que pueden aparecer perturbaciones de media frecuencia. El regulador más adecuado es el PI o el PID.

Control de temperatura

Se trata de sistemas de respuesta lenta, que pueden o no tener retardos y en los que pueden aparecer perturbaciones de baja frecuencia. El regulador más adecuado es el PI o el PID.

Control de composición de líquidos

Se trata de sistemas en los que predomina el retardo debido al análisis de la mezcla. El regulador más adecuado es el PI, aunque también se pueden utilizar otros tipos de controladores, como por ejemplo, el Predictor de Smith.

Control de procesos con integradores

Se trata de procesos que incorporan algún elemento integrador que les proporciona un comportamiento adecuado en régimen permanente tal como el control de procesos térmicos o ciertos controles de nivel. El regulador más adecuado es el regulador PD o PID.

Control en cascada

Se trata de procesos en los que el efecto de una perturbación medible (variable secundaria) puede ser corregido (controlado) antes de que afecte significativamente a la variable de proceso PV (variable primaria). Para ello se necesitan dos bucles de control anidados, uno exterior o primario y otro interior o secundario (ver figura). Para que se pueda aplicar este tipo de control, la dinámica de la variable secundaria debe ser más rápida que la de la variable primaria. En el bucle primario el regulador más adecuado es el PI o PID.

En el bucle secundario el regulador más adecuado es P o PI cuando la variable secundaria es significativamente más rápida que la primaria y PD si no lo es. En este tipo de control es necesario ajustar primero los parámetros del bucle de control interno y a continuación los del regulador externo.

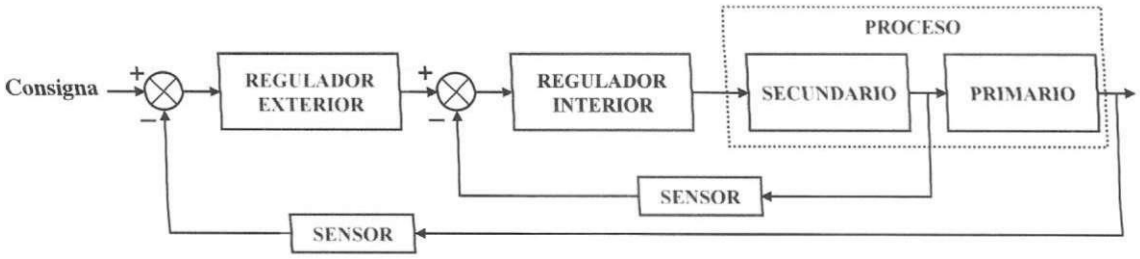
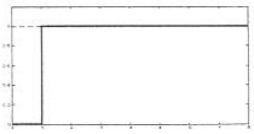
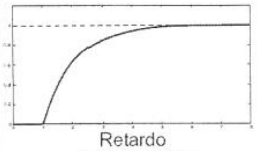


Figura 71

Control en cascada.

Elección de la estrategia de un regulador PID

Tipo de respuesta del proceso	Tipo de control			
	P	PD	PI	PID
 Retardo puro	No satisfactorio	No satisfactorio	Satisfactorio ante cambios del punto de consigna y perturbaciones	No satisfactorio
 Retardo +primer orden	No satisfactorio	No satisfactorio	Ligeramente peor que el PID	Satisfactorio ante cambios del punto de consigna y perturbaciones

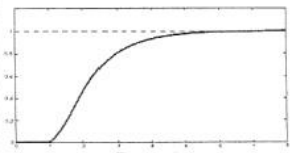
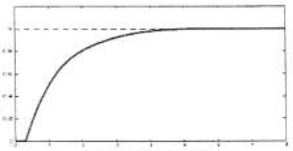
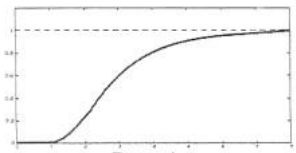
 Retardo +segundo orden	No satisfactorio	Poco satisfactorio	Peor que el PID	Satisfactorio ante cambios del punto de consigna y perturbaciones
 Retardo corto +primer orden	Satisfactorio ante cambios del punto de control	Satisfactorio ante cambios del punto de consigna y retardos	Satisfactorio ante el efecto de perturbaciones	Satisfactorio ante perturbaciones y retardos
 Retardo +orden elevado	No satisfactorio	No satisfactorio	Ligeramente peor que el PID	Satisfactorio ante cambios del punto de consigna y perturbaciones

Tabla 6

Reglas relativas al tipo de respuesta del proceso

En este caso la acción de control más adecuada se establece en función del tipo de respuesta del proceso, En la tabla anterior se indican las acciones más apropiadas, tanto para cambios del punto de consigna de la variable que se regula como para compensar la influencia de las perturbaciones.

Como resumen de las reglas antes citadas se puede indicar que, aunque en la práctica el control PI es el más utilizado, hay dos tipos de procesos cuyas características hacen que no funcione satisfactoriamente:

- Procesos en los que se producen cambios bruscos de la carga.
- Procesos que poseen grandes retardos.

3.4 Sintonía de controladores PID (ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo).

Ajuste empírico de controladores PID

Introducción

De lo expuesto en los apartados anteriores se deduce que, para realizar el ajuste o sintonía (Tuning) de un regulador o controlador PID, el diseñador debe conocer las

características del sistema a controlar así como el comportamiento que debe tener el regulador ante cambios del punto de consigna (Setpoint) o ante perturbaciones. El diseñador debe tener en cuenta además, los cambios en la respuesta del sistema en función de la carga de la máquina. Por ejemplo, si se ajusta un PID para controlar la velocidad de un motor, es necesario tener en cuenta que el sistema responde de manera diferente según el motor funcione en vacío o con más o menos carga.

Utilizando la teoría de control, se pueden calcular matemáticamente los parámetros de un regulador PID y predecir con precisión el comportamiento del proceso controlado por él. Para ello es necesario modelar la función de transferencia, es decir, obtener la relación entre la salida y la entrada del proceso a controlar, para lo cual se tienen que determinar diferentes parámetros mecánicos (como por ejemplo masa, fricción, inercia, etc.), eléctricos (como por ejemplo inductancia, capacidad, resistencia, factor de potencia, etc.), químicos, etc.

La relación entre estos parámetros es difícil de determinar y, por ello, muchos diseñadores obvian esta fase y simplemente ajustan el PID utilizando alguno de los métodos desarrollados por diferentes investigadores. De acuerdo con ello, los métodos empíricos de sintonía de controladores PID se pueden clasificar en:

Métodos basados en experimentos

Este tipo de métodos estiman en primer lugar determinadas características dinámicas del proceso mediante un experimento y a continuación calculan los parámetros del regulador mediante tablas o fórmulas deducidas en función de las características dinámicas estimadas. Estos métodos se pueden además clasificar en dos clases:

- Métodos en lazo abierto
- Métodos en lazo cerrado

Métodos basados en modelos matemáticos

Este tipo de métodos utiliza fórmulas matemáticas que optimizan algún índice de comportamiento o que permiten obtener un determinado parámetro. Entre ellos cabe citar:

- Métodos basados en la minimización de índices de error.
- Métodos basados en la especificación del margen de fase y/o ganancia.

Para aplicar tanto los métodos basados en experimentos como los basados en modelos matemáticos, es preciso estimar o identificar ciertas características de la dinámica de la planta o del proceso a controlar. Esta identificación se puede realizar excitando la planta con una señal de tipo escalón en su entrada y midiendo la repuesta en lazo abierto o realizando algún tipo de ensayo sobre el sistema con el regulador conectado en lazo cerrado. A continuación, se estudian los métodos de ajuste más representativos agrupándolos según el lazo de control esté abierto o cerrado en el momento de realizar la identificación.

Una característica común a la práctica totalidad de los métodos que se estudian a continuación, es que han sido establecidos para el modelo de PID cuya actuación en función del error es:

$$u(t) = K_p\left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t)dt \right)$$

Esta particularidad ha de ser tenida en cuenta en la práctica y para ello el diseñador debe asegurarse de que el regulador que está utilizando presenta un modelo interno similar al PID no interactivo o ligeramente modificado, por ejemplo, mediante la adición de un filtro a la parte derivativa. Algunos de los métodos que se describen a continuación se pueden aplicar con otros modelos de PID.

Métodos empíricos de ajuste con identificación en lazo abierto

Introducción

Estos métodos de sintonía con identificación en bucle abierto parten del hecho de que muchos procesos industriales presentan una respuesta monótona creciente estable (ver Figura), conocida como "curva de reacción", al aplicarles una entrada escalón en lazo abierto. Se aplican exclusivamente a este tipo de procesos, cuya respuesta típica ante una entrada escalón se puede aproximar mediante la expresión matemática:

Que corresponde a un proceso cuya función de transferencia es de primer orden de ganancia K, constante de tiempo t y retardo L. En esta expresión, cuyo conocimiento no es imprescindible para aplicar los métodos analizados en sucesivos apartados, la variable s es la variable de Laplace.

$$\frac{K \cdot e^{-L \cdot s}}{1 + \tau \cdot s}$$

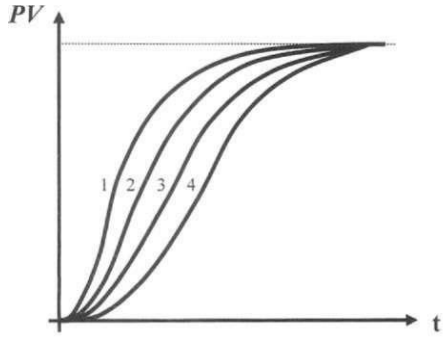


Figura 72

Característica típica de procesos industriales. 1: Rápidos (caudales, presiones y niveles); 4: Lentos (temperaturas).

Estos métodos se basan en medir ciertas características de la respuesta del sistema en lazo abierto y ajustar los parámetros del regulador a partir de los resultados obtenidos y mediante el uso de tablas.

El criterio de optimización utilizado para realizar el ajuste en estos métodos es lograr que, tanto para un cambio de la señal de consigna SP como ante una perturbación en la carga, el sistema en bucle cerrado responda con una razón de amortiguamiento de 1/4, es decir que la amplitud B de la segunda oscilación sea 4 veces menor que la amplitud A de la primera, tal como se indica en la figura. Este criterio establece en la práctica los requisitos de funcionamiento (especificaciones) que debe cumplir el sistema de control en lazo cerrado.

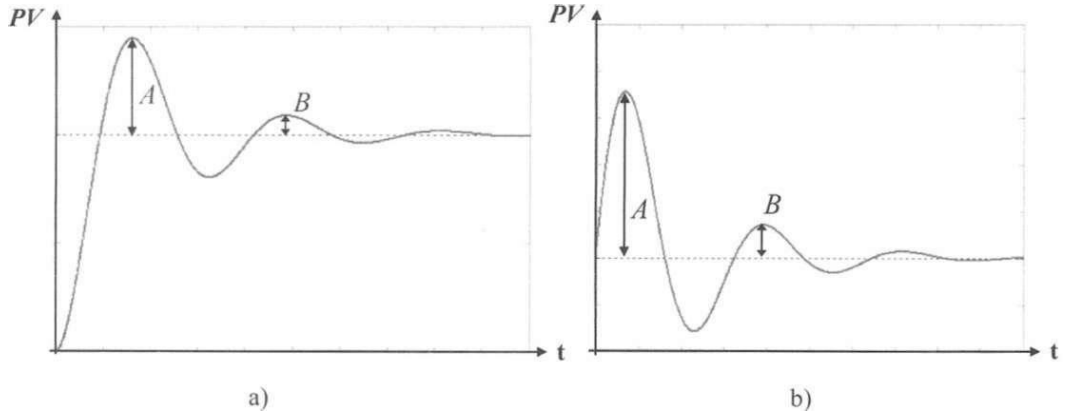


Figura 73

Razón de amortiguamiento 1/4: a) Cambio de consigna; b) Perturbación en la carga.

A continuación se estudian los métodos más representativos con identificación en lazo abierto.

Método de Ziegler-Nichols con identificación en lazo abierto

El método de sintonía de Ziegler-Nichols (en adelante ZN) fue desarrollado en 1942 por los ingenieros J.G. Ziegler y N.B Nichols de la empresa Taylor Instruments Company y consta de las siguientes fases:

1. Abrir el lazo de control y ajustar la ganancia proporcional (Kp = 1), y anular las ganancias integral (Ti y derivativa (Td = 0).
2. Aplicar un cambio brusco (escalón) a la variable de control CV. Con los ajustes realizados dicho cambio se puede conseguir aplicando un escalón a la variable de consigna SP.
3. Registrar gráficamente la evolución en el tiempo de la variable de proceso PV a partir del instante en el que se aplica el escalón. En la figura siguiente se representa la evolución de la variable de proceso PV a\ aplicar un escalón en lazo abierto a la variable de control CV del motor de corriente continua.
4. Obtener los puntos de intersección de las tres líneas siguientes:
   La tangente a la curva PV en el punto de máxima pendiente.
   La recta horizontal correspondiente al valor inicial de PV.
   La recta horizontal correspondiente al valor final de PV.

5. Asignar al retardo L el valor del tiempo que trascurre desde que se aplica el escalón hasta que se cortan la primera y segunda líneas.
6. Asignar a la constante de tiempo τ valor del tiempo que transcurre desde el punto de corte anterior hasta el punto de corte de la primera y tercera líneas.
7. Asignar a la ganancia del proceso K el cociente entre el incremento de PV y la amplitud del escalón aplicado a CV.
8. Ajustar las constantes del PÍD de acuerdo con los valores indicados en la tabla en la que

$$a = \frac{K \cdot L}{\tau}.$$

Tal como se indica en la citada tabla, el regulador resultante puede ser

Proporcional (P), Proporcional-Integral (PI) o Proporcional-Integral-Derivativo (PID).
Velocidad de giro (rpm)

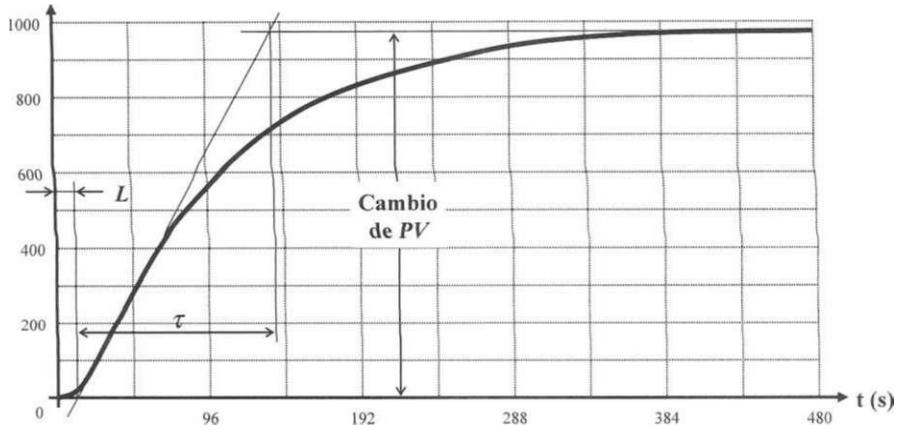


Figura 74

Evolución de la variable de proceso PV al aplicar un escalón en bucle abierto a la variable de control CV del motor de corriente continua

Regulador	K_p	T_i	T_d	T_p
P	$1/a$	-	-	4·L
PI	$0{,}9/a$	3·L	-	5,7·L
PID	$1{,}2/a$	2 · L	0,5·L	3,4·L

Tabla 7

Tabla de ajuste en lazo abierto de los parámetros de un regulador PID propuesta por Ziegler- Nichols. Tp es la estimación del periodo de la respuesta del sistema en lazo cerrado y a = K'L/t.

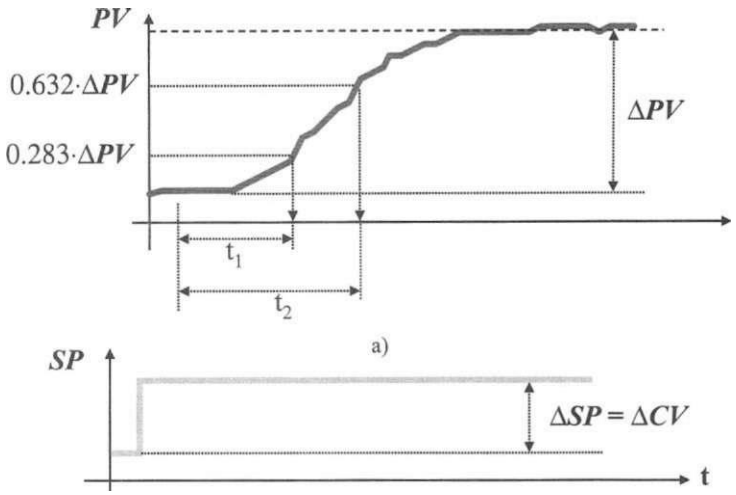


Figura 75

Respuesta en bucle abierto de un proceso, al aplicarle un escalón: a) Evolución de la variable PV; b) Escalón aplicado a CV.

En la práctica el trazado de la tangente de la figura es muy difícil de realizar con precisión y por ello, se pueden obtener de forma más precisa las constantes K,t y L, a partir de la respuesta del proceso a un cambio de la variable de control, midiendo los tiempos de respuesta ti y t2 indicados en la figura anterior. A continuación se obtienen, a partir de dichos tiempos, las constantes K,t y L mediante las ecuaciones:

K=APV/ACV
T= i.5 • (t2- ti)
L = t2 – T

Una vez obtenidas estas constantes, se utiliza la tabla, al igual que en el caso anterior, para obtener los parámetros Kp, Ti y Td del regulador.

Para abrir el bucle de control se puede desconectar la variable de proceso PV de la entrada correspondiente del regulador o colocar este último en algún modo de funcionamiento que permita aplicar un escalón a la variable CV. El modo de funcionamiento más adecuado depende de las características del regulador utilizado. El modo manual es una opción válida en general, porque permite abrir el bucle de control pero genera una rampa de elevada pendiente en vez de un escalón. En algunos reguladores se puede utilizar el modo de seguridad que, además de abrir el lazo, aplica un escalón a CV. Cuando el regulador está implementado mediante un programa de PLC en uno de los lenguajes visto, el usuario puede añadir algún bloque adicional que permita abrir el lazo y generar el escalón.

Es conveniente indicar que el método de sintonía ZN proporciona unos valores de los parámetros Kp, Ti y Td partir de las constantes K,t y L que, aunque no son los definitivos, constituyen un buen punto de partida para obtenerlos mediante un ajuste fino.
Método de Cohén y Coon

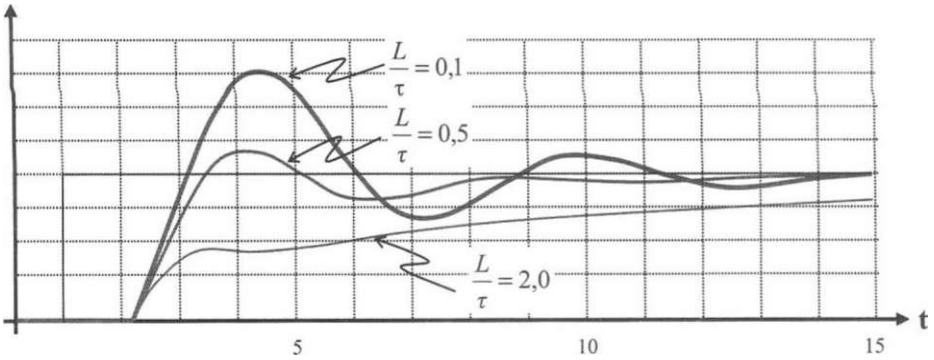


Figura 76

Respuesta al aplicar un escalón en lazo cerrado, una vez ajustado el sistema mediante el método ZN en lazo abierto.

y(t)

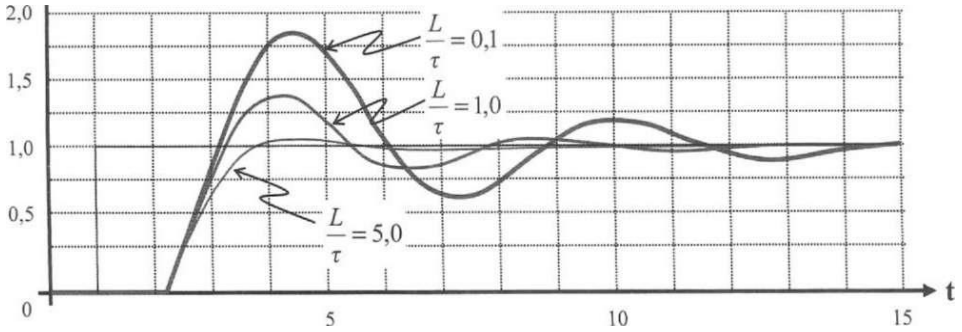


Figura 77

Respuesta al aplicar un escalón en lazo cerrado, una vez ajustado el sistema mediante el método de Cohen-Coon.

En la figura se muestra la respuesta en bucle cerrado de un regulador PID ajustado mediante el método ZN en bucle abierto, al aplicarle un escalón unitario. En dicha figura se puede observar que el método de ajuste ZN es muy sensible a las variaciones de L/t.

Por ello en 1953, Cohén y Coon desarrollaron una tabla modificada para superar esta limitación utilizando los resultados del mismo ensayo realizado mediante el método ZN en bucle abierto. La figura anterior muestra la respuesta en lazo cerrado con el ajuste de Cohen-Coon, que aunque aún es sensible a L/t , es mucho más homogénea que con el ajuste ZN.

Tabla de ajuste de los parámetros de un regulador PID propuesta por Cohen-Coon

Regulador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{K \cdot L}\left(1+\frac{L}{3\tau}\right)$	-	-
PI	$\frac{\tau}{K \cdot L}\left(0{,}9+\frac{L}{12\tau}\right)$	$\frac{L(30\tau+3L)}{9\tau+20L}$	-
PID	$\frac{\tau}{K \cdot L}\left(\frac{4}{3}+\frac{L}{4\tau}\right)$	$\frac{L(32\tau+6L)}{13\tau+8L}$	$\frac{4L\tau}{11\tau+2L}$

Tabla 8

Método de Chien, Hrones y Reswick (CHR)

Este método de sintonía, denominado CHR, fue desarrollado en 1952 y constituye también una variante del método ZN en lazo abierto.

Chien, Hrones y Reswick proponen ajustes diferentes de los parámetros según se quiera obtener la repuesta más rápida con el 20 % de sobreoscilación (ver Figura a) o sin sobreoscilación (Figura b). Además, recomiendan distintos valores de los parámetros del regulador según se pretenda optimizar su comportamiento ante cambios de la variable de consigna SP o ante perturbaciones en la carga. En función del tipo de regulador elegido, para el ajuste de los parámetros proponen la tabla.

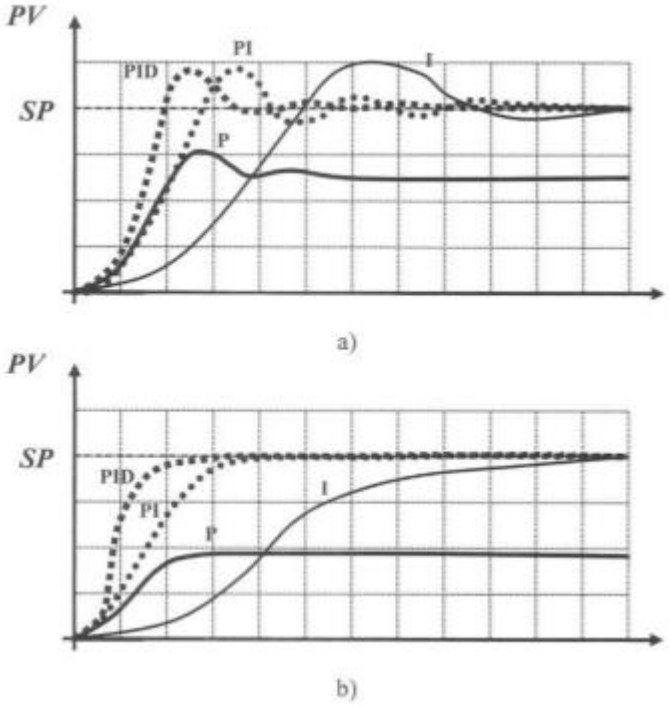


Figura 78

Tabla de ajuste de los parámetros de un regulador PID propuesta por el método CHR en la cual a = KL/t .

		0% de sobreoscilación		20% de sobreoscilación	
		Consigna SP	*Perturbación*	*Consigna SP*	*Perturbación*
Parámetro	K_p	$0{,}6/a$	$0{,}95/a$	$0.95/a$	$1{,}2/a$
	T_i	$1\cdot\tau$	$2{,}4\cdot\tau$	$1{,}4\cdot\tau$	$2\cdot\tau$
	Td	$0{,}5\cdot L$	$0{,}42\cdot L$	$0{,}47\cdot L$	$0{,}42\cdot L$

Tabla 9

Método de "Prueba y error"

Como su nombre indica, el método de sintonía mediante prueba y error es un método tecnológico que consiste en realizar determinadas acciones, comprobar su efecto y volver a realizar las acciones, adecuadamente modificadas, en función del resultado observado. Este método consta de las siguientes fases:

1.- Asignar un valor inicial pequeño a la ganancia proporcional, y anular las ganancias integrales
(T ^x) y derivativa (Td= 0).

2.- Aplicar un escalón a la variable de consigna SP.

3.- Incrementar la ganancia proporcional hasta obtener una señal PV que presente una sobreoscilación moderada. Al incrementar el valor de se obtiene una respuesta más rápida y se reduce el error permanente pero en contrapartida se pueden presentar sobre oscilaciones excesivas o incluso inestabilidad.

4.- Incrementar la constante de tiempo derivativa hasta que la sobreoscilación quede limitada al valor máximo admisible de acuerdo con las especificaciones. Al incrementar el valor de se reduce la sobreoscilación y el tiempo de respuesta pero no se reduce el error en régimen permanente.

5.- Decrementar la constante de tiempo integral T. hasta que se anule el error en régimen permanente (Offset). Valores pequeños de T. hacen que el regulador PID disminuya rápidamente el error hasta llegar a anularlo en régimen permanente, aunque valores excesivamente pequeños pueden generar oscilaciones.

6.- Una vez completada la sintonía del PID, el usuario puede ajustar la ganancia proporcional en un cierto rango. De esta forma puede obtener una respuesta más rápida ante cambios de consigna pero debe comprobar la estabilidad del sistema para todos los posibles valores de la carga.

Método de Ziegler-Nichols con identificación en bucle cerrado

El objetivo que se persigue al sintonizar el regulador PID mediante el método ZN en bucle cerrado, conocido también como método de la oscilación, es el mismo que en el método ZN en bucle abierto, es decir, ajustar mediante el uso de tablas los parámetros del regulador para conseguir que el sistema en bucle cerrado responda con una razón de amortiguamiento de 1/4.

Mediante este método se determinan dos parámetros denominados ganancia última Ku y periodo último Tu, a partir de los cuales se obtienen los valores de Kp, Ti y Td.

La sintonía de un PID mediante este método consiste en:

- Ajustar, con el bucle cerrado, la ganancia proporcional Kp a un valor inicial pequeño y anular las ganancias integral (Ti ^-<x>) y derivativa (Td= 0).
- Incrementar paulatinamente la ganancia proporcional hasta que el sistema presente una oscilación permanente de amplitud constante. Puede ser necesario realizar cambios en el punto de consigna para obtener la oscilación.
- Asignar a Ku el valor de Kp que origina la situación del punto anterior.
- Medir el periodo de la oscilación. Este periodo es el periodo último Tu.
- Ajustar los parámetros del regulador de acuerdo con la tabla.

Actividad N° 2

SINTONIZACION DE CONTROLADORES

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en implementar un lazo de control en una planta industrial. La cual permitirá desarrollas la habilidad de la sintonía de controlados modificando los parámetro de las acciones de un controlador PID.

Aprendizaje Esperado, Matriz: Realizar sintonización de controladores para el buen funcionamiento de lazos de control de plantas industriales

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Aplicar técnicas de sintonización de controlador utilizando controlador PID para controlar lazo de control en un simulador de planta industrial.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Aplicar métodos de sintonizar Controladores PID utilizando métodos prácticos.
- Graficar respuesta de los controladores de acuerdo a la sintonía programada.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual. Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.

Solicitará a los participantes que realicen sintonización de controladores utilizando software de simulación de lazo de control.

Materiales y Recursos (por Grupo)

- PC operativo.
- Software de simulador de sintonización

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
  - Casco (si aplica)
  - Lente de seguridad (si aplica)
  - Zapatos de seguridad (si aplica)
  - Guantes de faena (si aplica)
  - Chaleco reflectante (si aplica)
  - Protector auditivo. (si aplica)
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

<u>Indicaciones:</u> Simular los siguientes procesos y graficar SP, PV y OUT con al menos tres grupos de parámetros de sintonía.

1.- Planta con K=2 T=15.

Observaciones

Observaciones

Observaciones

2.- Planta con K=7.8 y T=12.

Observaciones

Observaciones

Observaciones

3.- Planta con K=34 y T=45.

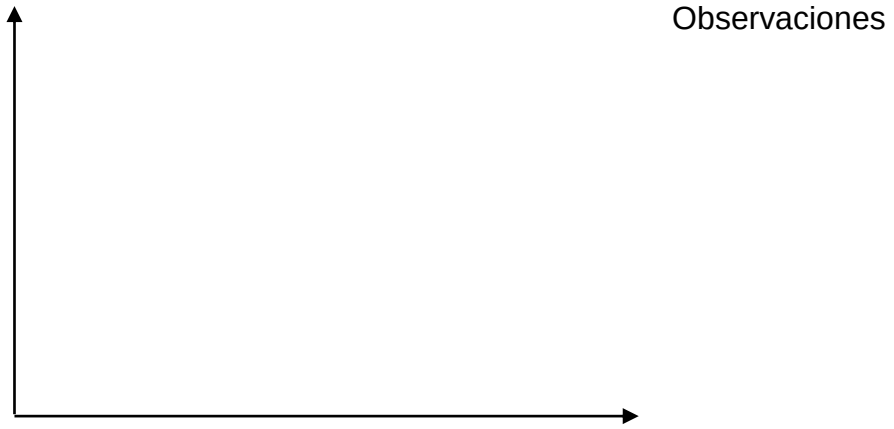
Observaciones

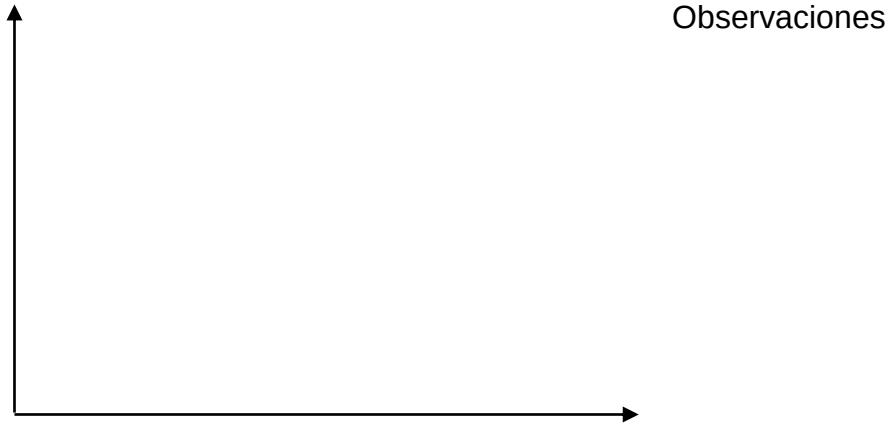
Observaciones

Observaciones

4.- Defina Ud. Mismo un grupo de parámetros de K y T, y luego sintonice.

Observaciones





Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán identificar las acciones e influencia en el comportamiento de la VP. Variando las constante Kp, Td y Ti.

Actividad N° 3

SINTONIZACION DE CONTROLADORES

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada de una planta industrial. La cual permitirá desarrollar la habilidad de la sintonía de controlados modificando los parámetro de las acciones de un controlador PID.

Aprendizaje Esperado, Matriz: Realizar sintonización de controladores para el buen funcionamiento de lazos de control de plantas industriales

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Aplicar técnicas de sintonización de controlador utilizando controlador PID para controlar lazo de control en planta industrial para estudio.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Sintonizar Controladores PID utilizando métodos prácticos.
- Graficar respuesta de los controladores de acuerdo a la sintonía programada.
- Aplicar criterios de Sintonía de Controladores.

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que realicen sintonía de controladores, a componentes reales y una aplicación de planta industrial.

Materiales y Recursos (Por grupo)

- Controlador (de una marca industrial).
- Manuales de usuario del controlador
- Herramientas (juego de destornilladores, alicates).
- Planta industrial para estudio(temperatura, Nivel o presión)
- Registrador

Seguridad:
En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
  - Casco (si aplica)
  - Lente de seguridad (si aplica)
  - Zapatos de seguridad (si aplica)
  - Guantes (si aplica)
  - Chaleco reflectante (si aplica)
  - Protector auditivo. (si aplica)
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

1.- Identificación las características del lazo a controlar
1.1.- Identificar SP, PV, OUT del Controlador (Dibujar Diagrama)

1.2.- Identificar la instrumentación asociada:
Sensor:_____
_____
_____
_____
_____
_____

Actuador:_____
_____
_____

_____
_____
_____

Controlador:_____
_____
_____
_____
_____
_____

2.- En las páginas siguiente (3 y 4) dibujar el diagrama P&ID del lazo utilizando Norma ISA S5.1 y el diagrama de Lazo (Conexiones de señales entre los instrumentos).

Dibujo: _____ **Revisó:** _____ **Aprobó:**	Laboratorio de Instrumentación y Control **PI&D Nº1**

3.- Conectar la instrumentación de acuerdo al diagrama de lazo implementado. Utilizar la información anexa que se entrega.

4.- Establecer las pautas de trabajo, coordinar con los otros grupos de trabajo en el taller y proceder a realizar la Sintonía del Controlador.

Anotar algunos parámetros de K, Ti y Td y mencionar el efecto sobre la respuesta en el sistema.

4.1.- Situación 1:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

4.2.- Situación 2:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

4.3.- Situación 3:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

4.4.- Situación 4:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán identificar las acciones e influencia en el comportamiento de la VP. Variando las constante Kp, Td y Ti.

4. Controlador lógico programable

4.1 Programación de Controlador Lógico Programable (PLC).

Este estándar fue creado para dictaminar una serie de conceptos alrededor del hardware, la programación y la comunicación de los PLC.

La parte de la norma que regula la programación de los PLC se conoce como IEC61131-3, tal como se muestra en la figura esta parte se puede dividir en dos temas, el primer tema habla acerca de los elementos comunes de la programación en PLC y la segunda habla acerca de los diferentes lenguajes de programación establecidos por la norma.

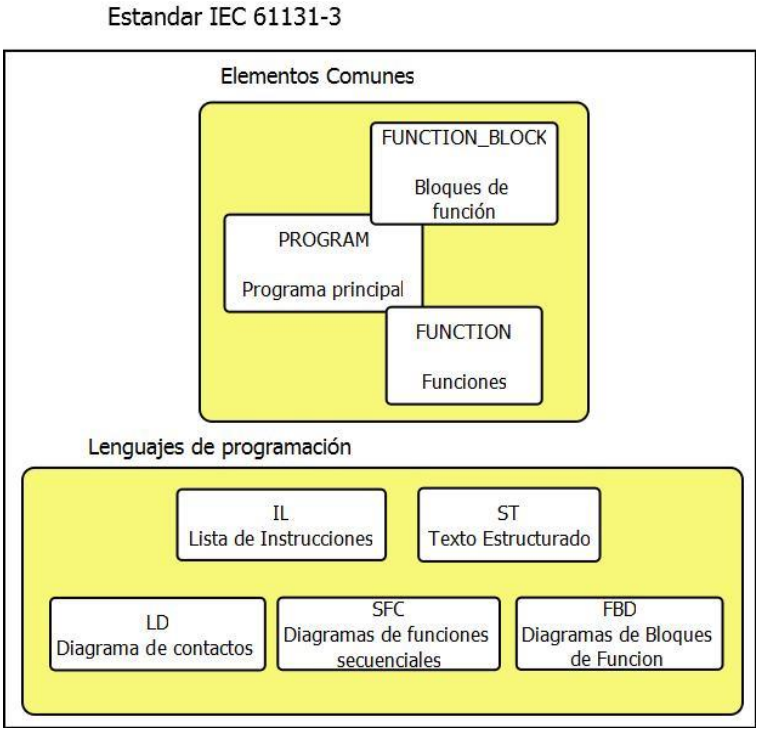


Figura 79

Elementos Comunes.

Los elementos comunes son los conceptos que se usan en todos los lenguajes de programación de la norma, entre estos elementos tenemos las palabras reservadas, los tipos de datos, las variables y las Unidades de Organización de Programa, POU.

Unidades de Organización de Programa

Dentro de la norma IEC 61131-3, los programas, bloques de Funciones y funciones se denominan Unidades de Organización de Programas, POU.

Funciones

La norma específica funciones estándar y funciones definidas por usuario. Las funciones estándar son por ejemplo ADD (suma), ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), SIN (seno), y COS (coseno), las cuales son de uso común. Las funciones definidas por usuario, una vez implementadas pueden ser usadas indefinidamente en cualquier POU.

Las funciones no pueden contener ninguna información de estado interno, es decir, que la invocación de una función con los mismos argumentos (parámetros de entrada) debe suministrar siempre el mismo valor (salida).

Bloques de Funciones

Los bloques de funciones son los equivalentes de los circuitos integrados, IC, que representan funciones de control especializadas. Los FB contienen tanto datos como instrucciones, y además pueden guardar los valores de las variables (que es una de las diferencias con las funciones). Tienen una interfaz de entradas y salidas bien definida y un código interno oculto, tal como un circuito integrado. Un lazo de control de temperatura, PID, es un excelente ejemplo de un bloque de función. Una vez definido, puede ser usado una y otra vez, en el mismo programa, en diferentes programas o en distintos proyectos. Esto lo hace altamente reutilizable.

Los bloques de funciones pueden ser escritos por el usuario en alguno de los lenguajes de la norma IEC, pero también existen bloques de funciones estándar como los contadores y los temporizadores. Existe la posibilidad de ser llamados múltiples veces creando copias del bloque funcional que se denominan instancias. Cada instancia llevará asociado un identificador con sus parámetros de entrada y variables de salida.

Programas

Los programas son un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el tratamiento de señal previsto que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómata programable. Un programa puede contener, aparte de la declaración de tipos de datos, variables y su código interno, distintas instancias de funciones y bloques funcionales.

Tipos de datos

Dentro de los elementos comunes, se definen los tipos de datos. Los tipos de datos previenen errores en una fase inicial, como por ejemplo la división de un dato tipo fecha por un número entero. Los tipos comunes de datos son: variables booleanas, número entero, número real, byte y palabra, pero también fechas, horas del día y cadenas (strings).

Basado en estos tipos de datos, el usuario puede definir sus propios tipos de datos, conocidos como tipos de datos derivados. De este modo, se puede definir por ejemplo un canal de entrada analógica como un tipo de dato.

Variables

Las variables permiten identificar los objetos de datos cuyos contenidos pueden cambiar, por ejemplo, los datos asociados a entradas, salidas o a la memoria del autómata programable. Una variable se puede declarar como uno de los tipos de datos elementales definidos o como uno de los tipos de datos derivados. De este modo se crea un alto nivel de independencia con el hardware, favoreciendo la reutilización del software.

La extensión de las variables está normalmente limitada a la unidad de organización en la cual han sido declaradas como locales. Esto significa que sus nombres pueden ser reutilizados en otras partes sin conflictos, eliminando una frecuente fuente de errores. Si las variables deben tener una extensión global, han de ser declaradas como globales utilizando la palabra reservada VAR_GLOBAL.

Pueden ser asignados parámetros y valores iniciales que se restablecen al inicio, para obtener la configuración inicial correcta.

Lenguajes de programación

Dentro de la norma existen 5 diferentes clases de lenguajes de programación que son comúnmente utilizados, ellos son:

- El diagrama de contactos (LD).
- El diagrama de funciones (FBD).
- El diagrama de funciones secuenciales (SFC).
- El texto estructurado (ST).
- Lista de Instrucciones (IL).

Estos lenguajes nos permiten hacer cualquier programa sobre un PLC, incluso se puede trabajar sobre distintos lenguajes ya que podemos pasar de un lenguaje a otro. En la Figura siguiente se encuentra una imagen alusiva a cada uno de ellos.

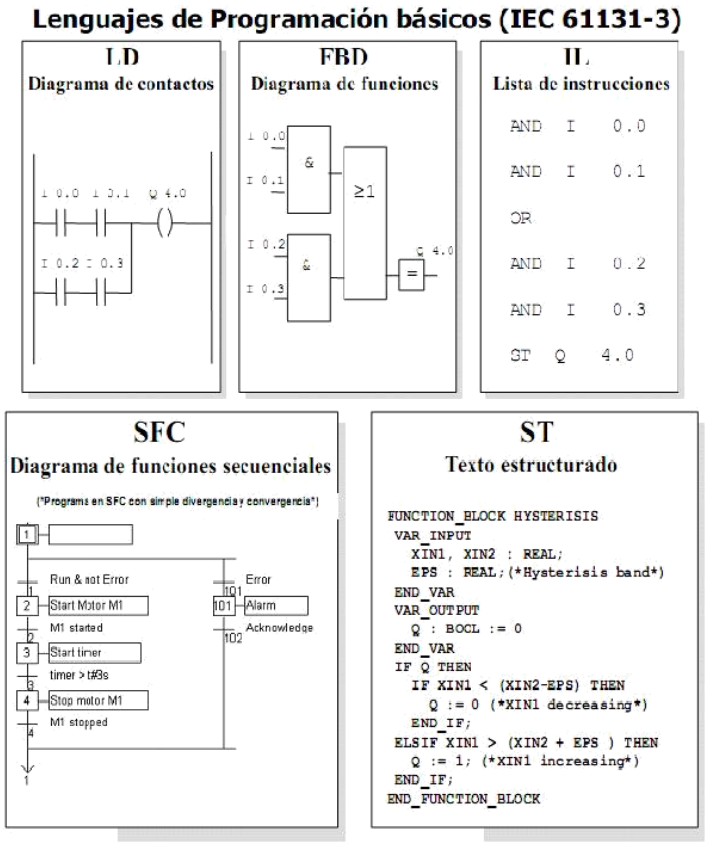


Figura 80

Como se puede apreciar en la Figura anterior, 3 de los lenguajes son completamente gráficos y 2 de ellos son textuales, el primero se construye mediante contactos y bloques que representan funciones tales como temporizadores, el segundo se realiza mediante bloques de comparación y compuertas, el tercero se hace mediante sentencias “and”, “or”, “xor”, etc., el cuarto es uno modelo de bloques enteramente secuencial llamado Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC en inglés), y el quinto es el que se acerca más a un lenguaje de programación de software de alto nivel.

4.2 Software específico de programación de PLC.

Creación del primer proyecto con Step7.

En el primer proyecto que vamos a realizar en el curso, vamos a insertar un solo equipo. Dentro del proyecto vamos a incluir tanto el hardware que estemos utilizando, como los bloques de programación (programa propiamente dicho).

El programa identificará el equipo que vamos a ocupar en nuestro trabajo. Además, sabrá las tarjetas que tenemos instaladas y las opciones de las que dispone cada tarjeta. Si intentamos utilizar alguna instrucción que no soporta nuestra CPU, nos avisará indicándonos que aquella instrucción es imposible. Además cuando entremos en la opción “Propiedades del objeto” de cualquier objeto que tengamos en la instalación, tendremos disponibles las propiedades de ese objeto en concreto.

Además tendremos la posibilidad de ajustar desde el software propiedades del propio hardware. Por ejemplo nos permitirá cambiar las alarmas, el tiempo de ciclo de scan preestablecido para la propia CPU, las direcciones de cada uno de los objetos, etc.

Cada vez que hagamos un proyecto nuevo tendremos que definir un hardware nuevo para cada uno de los equipos que tengamos en la red.

Veamos como haríamos esto prácticamente.

Abrimos el Administrador de SIMATIC. Tenemos disponible un asistente de nuevo proyecto. Si queremos utilizar el asistente, no tenemos más que ir contestando a lo que se nos pregunta. Si queremos podemos cancelar el asistente y generar nosotros nuestro nuevo proyecto.

Figura 81

Si hacemos el proyecto con el asistente, no tendremos en el proyecto las tarjetas de entradas y salidas que estamos ocupando.

Para generar un nuevo proyecto, podemos ir bien al menú “Archivo > nuevo”, o bien al botón que tiene como icono una hoja en blanco.

Aparece una ventana en la que podemos decir si queremos crear un proyecto nuevo o una librería nueva.

En nuestro caso decimos que queremos un proyecto nuevo.

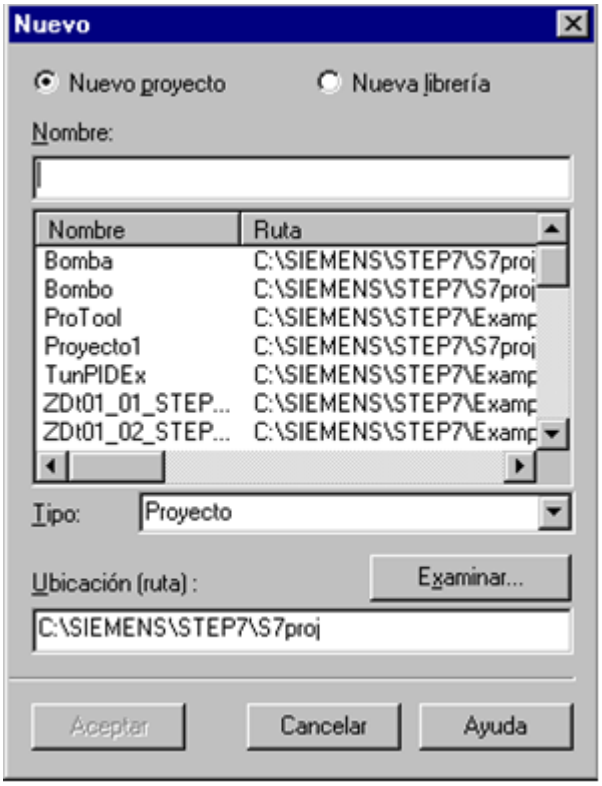


Figura 82

A continuación le damos el nombre que queramos al proyecto. Una vez tenemos el nombre, aceptamos y observaremos que tenemos una ventana con el nombre de nuestro proyecto en la parte izquierda y con la red MPI en la parte derecha.

El ícono de la red MPI aparece por defecto. Es necesario que tengamos al menos una red MPI porque la programación de la CPU se hace a través del puerto MPI de la CPU. Posteriormente podremos insertar tantas redes como nos haga falta.

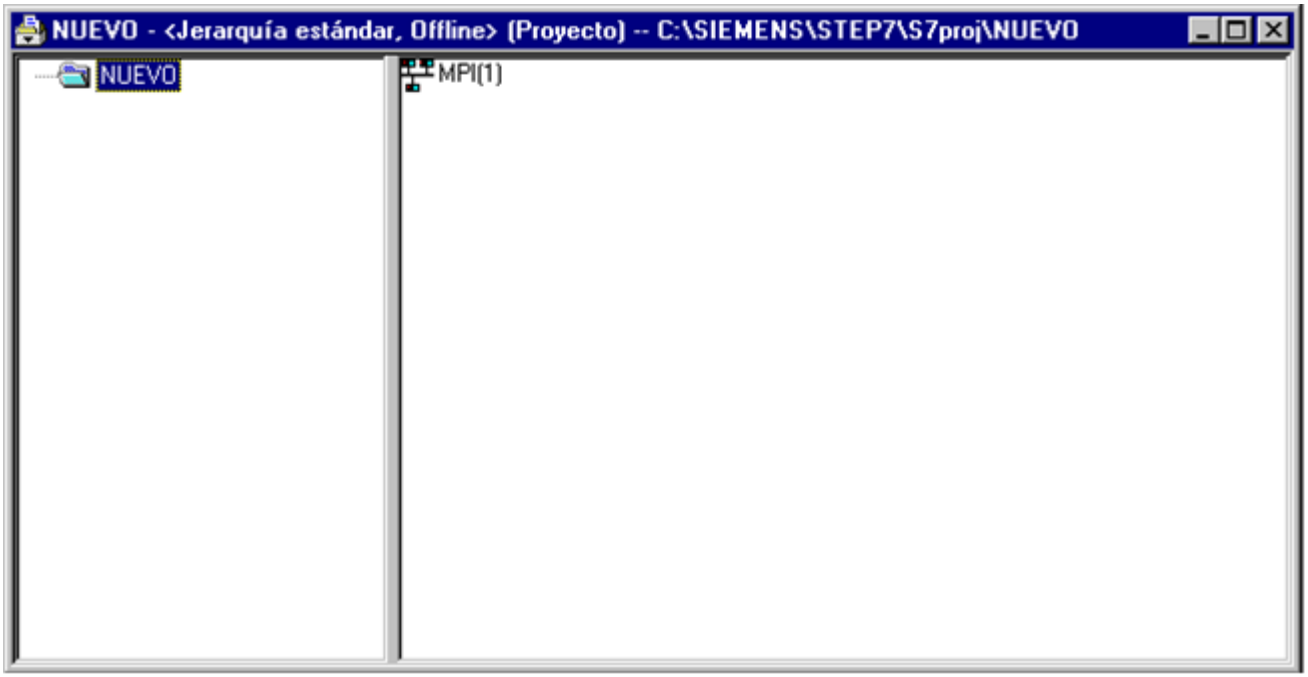


Figura 83

Vamos a rellenar el proyecto. Lo primero que tenemos que hacer es insertar los equipos que van a formar parte de nuestro proyecto. En este caso vamos a insertar un solo equipo. Para ello, vamos al menú de “insertar” y elegimos el equipo con el que vayamos a trabajar. En este caso tenemos un equipo 300.

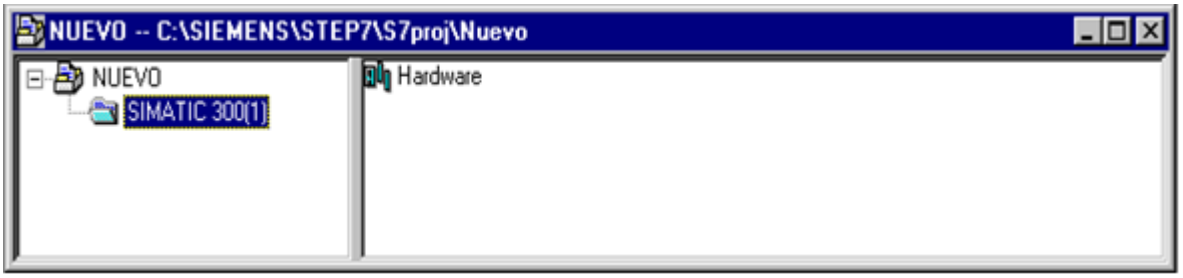


Figura 84

Veremos que en nuestra ventana del proyecto se ha creado un equipo. Hacemos doble clic sobre el equipo, y en la parte derecha de la ventana, veremos que aparece un icono que se llama “Hardware”.

Hacemos doble clic sobre él y entramos el editor de hardware. En principio veremos que está todo en blanco. Para insertar los módulos que nosotros tenemos en nuestro equipo, tendremos que abrir el catálogo. Suele estar abierto por defecto. Si no lo está, podemos abrirlo con el botón que representa un catálogo, o desde dentro del menú de “Ver”, con la opción “Catálogo”. (También funciona con la combinación de teclas Ctrl K).

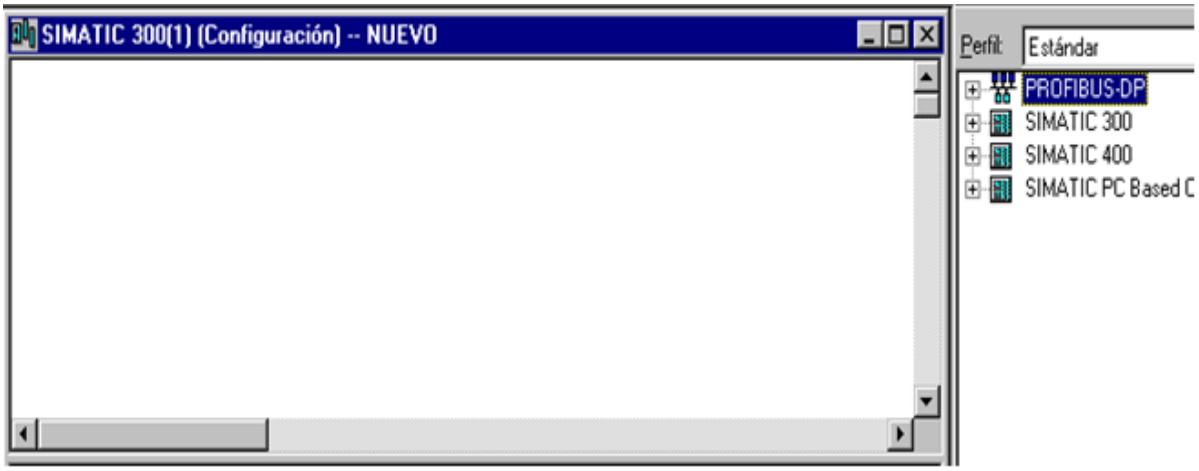


Figura 85

Una vez tengamos el catálogo abierto, desplegamos la cortina del equipo que tengamos que definir. En este caso desplegamos la cortina de SIMATIC 300.
Lo primero que tenemos que insertar es un bastidor. Desplegamos la cortina de los bastidores, y vemos que tenemos un perfil soporte. Hacemos doble clic sobre el perfil soporte. Veremos que en la instalación del hardware se sitúa en la posición cero.
A continuación tenemos que ir rellenando el resto de posiciones que tengamos ocupadas. Nos situamos en la posición 1 y vamos a insertar la fuente de alimentación que es lo primero que tenemos en nuestro equipo.

Desplegamos la cortina de las PS, y elegimos la que tengamos en cada caso.
A continuación nos situamos en la posición 2 para insertar la CPU. Desplegamos la cortina de las CPU. Vemos que existen varias del mismo modelo. Si pinchamos una sola vez encima de cada una de las CPU (o cualquier otro elemento del catálogo), vemos que en la parte inferior del catálogo, tenemos una pequeña explicación sobre el elemento seleccionado, y además la referencia del elemento.

Tenemos que comprobar que esta referencia coincida con la referencia del elemento que tenemos nosotros.

En la posición 3 no podemos insertar cualquier módulo. Es una posición reservada para los módulos IM. Estos módulos sirven para realizar configuraciones en más de una línea de bastidor. En nuestro caso tenemos una única línea de bastidor. No tenemos tarjeta IM. En este caso tenemos que dejar la posición 3 libre.

Pasamos a la posición 4. En ella y en las siguientes posiciones, tenemos que insertar los módulos de entradas/salidas que tengamos. Si encontramos en el catálogo varios del mismo modelo, tendremos que comprobar para cada caso la referencia del elemento.

El hardware que tenemos en el equipo didáctico quedaría de la siguiente manera:

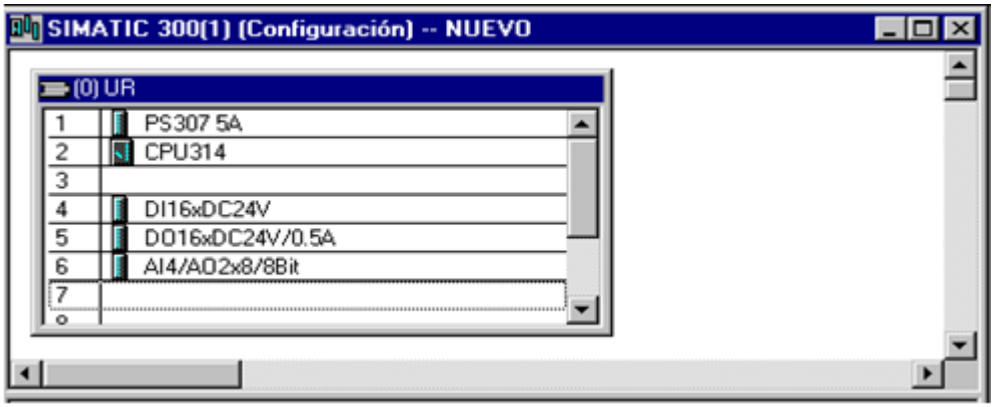


Figura 86

Veremos qué debajo de esta tabla, se va creando otra en la que podemos ver los elementos que vamos creando con sus referencias y además con las direcciones que le corresponde a cada uno de los módulos.

Una vez hemos terminado la configuración, tenemos que guardarla. Estamos trabajando con dos CPU a la vez. Estamos trabajando con el programa del PC y con el PLC. Tenemos que guardar la información en ambos sitios. Con el icono que representa un disquete, guardamos la información en el programa del PC, y con el icono que representa un PLC y una flecha que entra, guardamos la información en el PLC. Una vez tenemos la información guardada, salimos del editor de hardware.

Veremos que volvemos a la misma ventana en la que estábamos antes, es decir, volvemos al administrador de SIMATIC. En nuestro proyecto, tenemos el equipo. Vemos que al lado del equipo hay un +. Si desplegamos todo lo que tenemos, vemos que dentro del equipo está la CPU, la carpeta para el programa, los bloques y las fuentes. Si pinchamos encima de los bloques, vemos que en la parte derecha tenemos los datos de sistema y el OB 1.

Es el primer bloque que vamos a programar. Aparece por defecto, aunque está vacío.

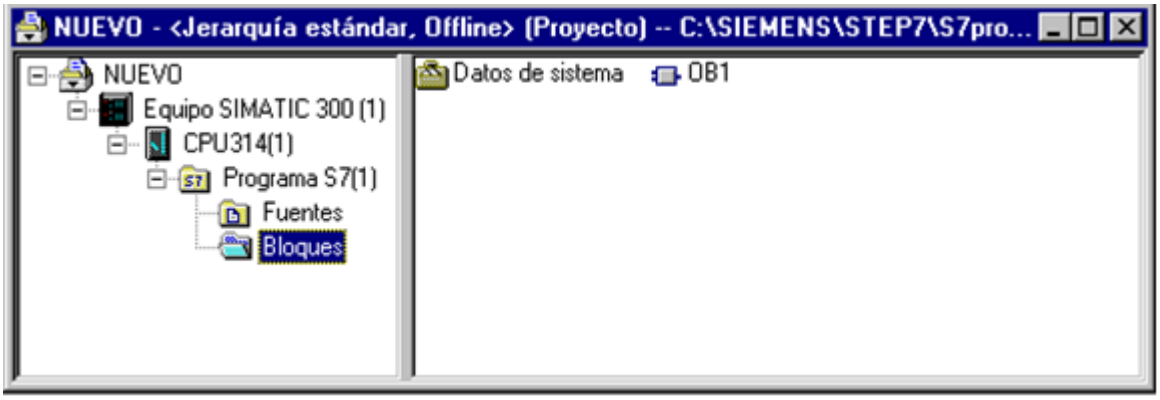
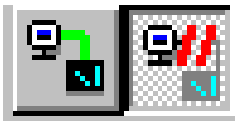


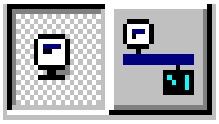
Figura 87

Estando en el administrador de SIMATIC vemos que tenemos abierta una ventana con nuestro proyecto que acabamos de crear. En los iconos de la parte superior vemos que tenemos uno seleccionado que representa un PC y un PLC cortados por una doble barra roja. Este es el icono de “offline”. A su lado vemos que tenemos otro icono que representa el mismo PC y el mismo PLC pero unidos con una línea verde. Este es el icono de “online”.

Versiones 3 y 4



Versión 5



En este momento tenemos apretado el icono de “offline”. Apretamos también el icono de “online”. Vemos que en el administrador de SIMATIC tenemos dos ventanas parecidas. Con May. F2, nos organizamos las ventanas.

Siempre que estemos en “offline”, estamos trabajando en el programa del PC. Estamos leyendo del disco duro del programa del PC. Vemos que en los bloques sólo tenemos el OB 1 que es el que ha creado el proyecto por defecto.

Siempre que estemos en “online”, estamos trabajando directamente en el PLC. Estamos leyendo directamente lo que tenga el PLC. Vemos que tenemos otros bloques. Son los bloques que lleva integrados y protegidos la CPU. Dependiendo de la CPU con la que estemos trabajando, tendremos unos bloques diferentes. Estos bloques no los podemos borrar. Tampoco podemos ver lo que hay programado en ellos. Sólo podemos utilizarlos. Tenemos una ayuda de cada uno de ellos en la que nos explica cómo se llama cada uno de los bloques, lo que hace y como debemos utilizarlo y rellenarle sus parámetros. Para ver esta ayuda, sólo tenemos que seleccionar el bloque que queremos, y en esta posición pulsar la tecla F1.
Si aparecen bloques que no sean los de sistema (SFC´s o SFB´s) quiere decir que en el PLC tenemos algún programa. Antes de empezar con nuestro programa vamos a borrar todo lo que tenga el PLC.

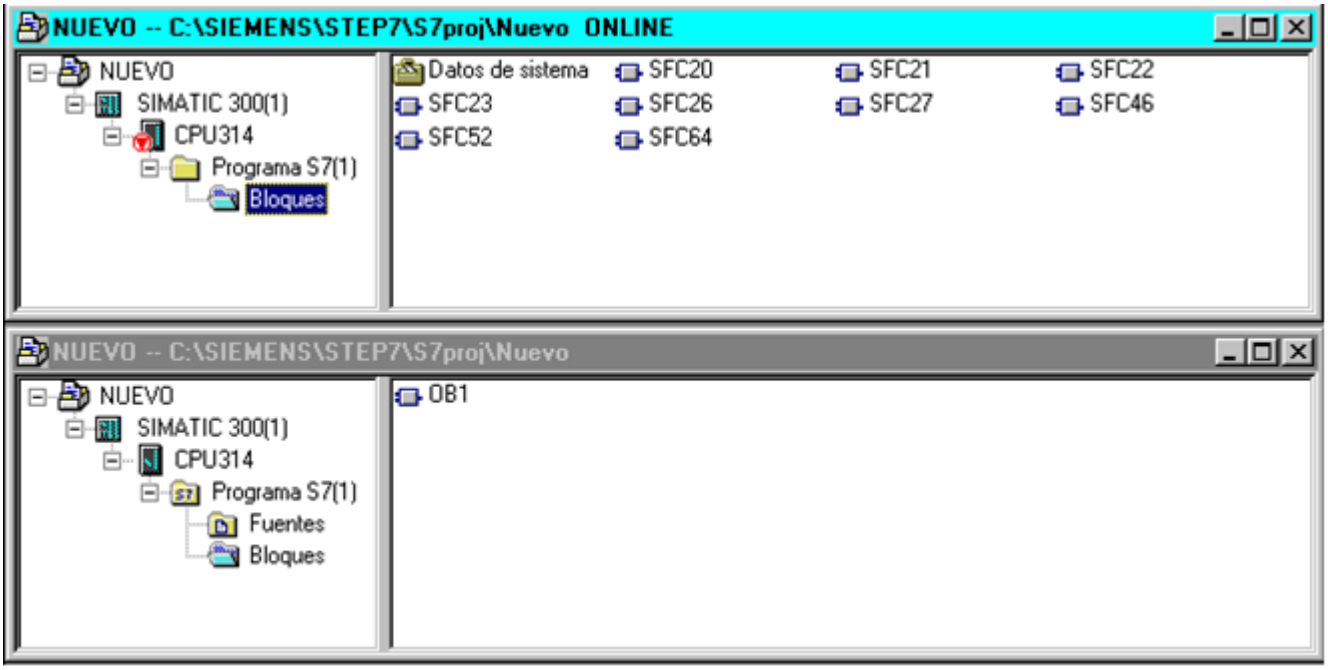


Figura 88

Para ello pinchamos encima de la CPU de online. En esta posición vemos al menú Sistema Destino, y elegimos la opción “Borrado Total”.
Con esto borramos todos los bloques que tuviera la CPU excepto los de sistema. El hardware no lo borramos.

Si volvemos a pinchar en bloques veremos que sólo tenemos los de sistema.

A la hora de trabajar sobre los distintos bloques, lo podemos hacer tanto en “offline” como en “online”. A la hora de guardar lo que hemos programado, lo podemos guardar tanto en el programa del PC como en la CPU, tanto si estamos trabajando en “online” como si estamos trabajando en “offline”.

A la hora de trabajar con los distintos bloques, tenemos que tener en cuenta que en un momento dado podemos llegar a estar trabajando con tres bloques con el mismo nombre a la vez. Por ejemplo, supongamos que estamos trabajando con un OB 1. El bloque que estamos viendo en la pantalla del programa del PC, mientras no lo guardemos en ningún sitio, lo tenemos únicamente en la RAM.

Se puede dar el caso de que tengamos un bloque en el PLC, tengamos otro bloque diferente guardado en disco duro, y acabemos de hacer una modificación y la tengamos en la pantalla del programa del PC pero todavía no la hayamos transferido. Si teniendo el bloque en la pantalla pinchamos el ícono de “guardar” o el ícono de “transferir al autómata”, estaremos guardando el disco duro o en el autómata lo que tengamos en la pantalla. Pero si volvemos a la pantalla principal (Administrador de Simatic) sin haber guardado previamente el bloque en disco duro, y transferimos algún bloque arrastrándolo

con ayuda del ratón, vamos a transferir lo último que hubiésemos guardado en disco duro, y no las últimas modificaciones que hemos hecho en el bloque.

¿Cuántos tipos de bloques podemos programar?

OB
Bloques de sistema.
FC
Funciones.
FB
Bloques de función.
DB
Bloques de datos.
UDT
Tipo de datos.

Veamos lo que podemos hacer con cada uno de estos bloques.

OB: Son bloques de organización. Cada OB tiene una función determinada. El OB 1 es el único bloque de ejecución cíclica. Es el que ejecuta la CPU sin que nadie le llame. Los demás OB´s tienen una función determinada. Se ejecutan cuando les corresponda sin que nadie les llame desde ningún sitio del programa. Tenemos OB´s asociados a diferentes errores de la CPU, a alarmas, etc.

FC: Funciones. Son trozos de programa que yo me creo. Realizan una función determinada dentro de mi proyecto. Se ejecutan cuando se las llama desde algún punto de mi programa. Pueden ser parametrizables o no. Además, de las FC´s que yo me creo, existen FC´s hechas en librerías. Se utilizan exactamente igual que las que yo programo. No podemos entrar en ellas para ver la programación.

FB: Bloques de función. En principio funcionan igual que las FC. La diferencia está en que las FB se guardan la tabla de parámetros en un módulo de datos. Esto tiene dos ventajas. Una es que podemos acceder a los parámetros desde cualquier punto del programa. Otra es que cada vez que llamemos a la FB no es necesario que le demos todos los parámetros. Los parámetros que no rellenemos, se tomarán por defecto los últimos que hayamos utilizado.

DB: Módulos de datos. En estos bloques no realizamos programa. Son tablas en las que guardamos datos. Luego podremos leerlos y escribir sobre ellos.

UDT: Tipo de datos. Nos podemos definir nuestros propios tipos de datos para luego utilizarlos en los DB.

Resumen Programación

El software de programación STEP 7 permite estructurar el programa de usuario, es decir, subdividirlo en distintos bloques.

Bloque	Descripción breve de la función
Bloques de organización (OB)	Los OBs definen la estructura del programa de usuario.
Bloques de función del sistema (SFBs) y funciones de sistema (SFCs)	Los SFBs y SFCs están integrados en la CPU S7, permitiéndole acceder a importantes funciones del sistema.
Bloques de función (FB)	Los FBs son bloques con "memoria" que puede programar el mismo usuario.
Funciones (FC)	Las FCs contienen rutinas de programa para funciones frecuentes.
Bloques de datos de instancia (DBs de instancia)	Al llamarse a un FB/SFB, los DBs de instancia se asocian al bloque. Los DBs de instancia se generan automáticamente al efectuarse la compilación.
Bloques de datos (DB)	Los DBs son áreas de datos para almacenar los datos de usuario. Adicionalmente a los datos asociados a un determinado bloque de función, se pueden definir también datos globales a los que pueden acceder todos los bloques.

Tabla 10

Los bloques de organización (OB) constituyen el interface entre el sistema operativo y el programa de usuario. Son llamados por el sistema operativo y controlan el procesamiento cíclico y controlado por alarmas del programa, el comportamiento de arranque del sistema de automatización y el tratamiento de los errores. Programando los bloques de organización se define el comportamiento de la CPU.
La ejecución de un OB puede ser interrumpida por la llamada de otro OB. Qué OB puede interrumpir a otro OB depende de su prioridad. Los OBs de mayor prioridad pueden interrumpir a los de menor prioridad. La prioridad más baja la tiene el OB de tarea no prioritaria.
La programación esta sostenida en OB1. Aunque la totalidad de la programación puede realizarse en OB1 es recomendable solo en programas muy sencillos.

En la carpeta fuente del explorador se puede encontrar OB1

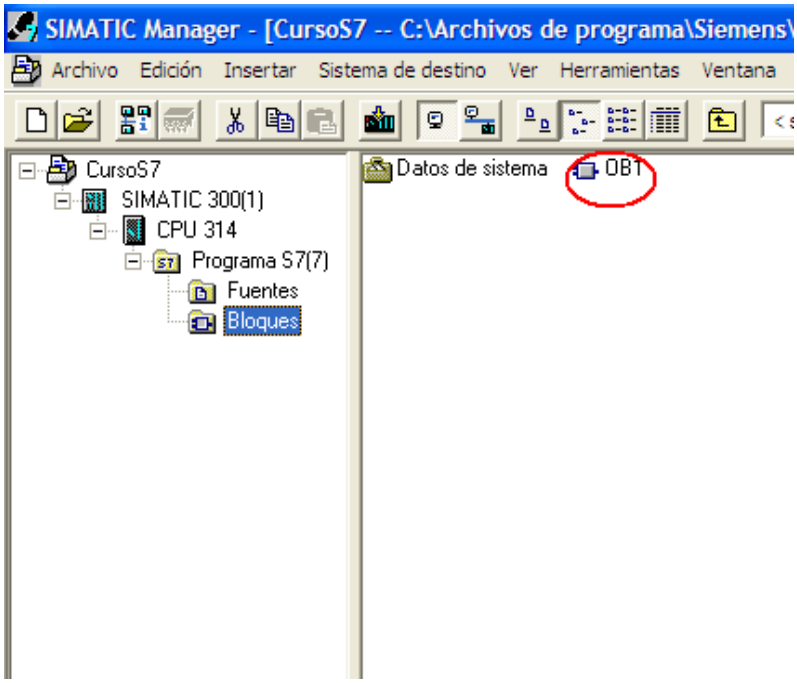


Figura 89

Al hacer doble clic en el ícono se abrirá la ventana

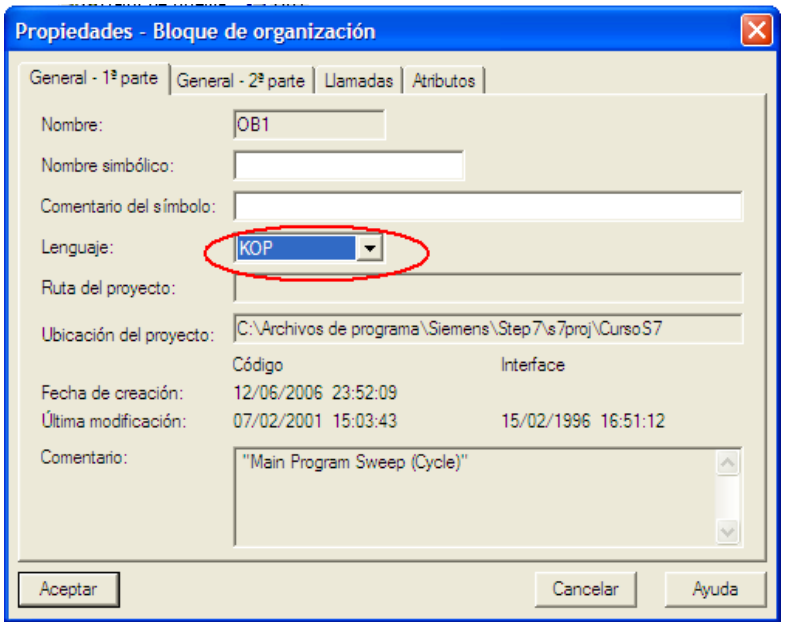


Figura 90

En esta ventana podemos configurar el tipo de lenguaje de programación a utilizar que puede ser

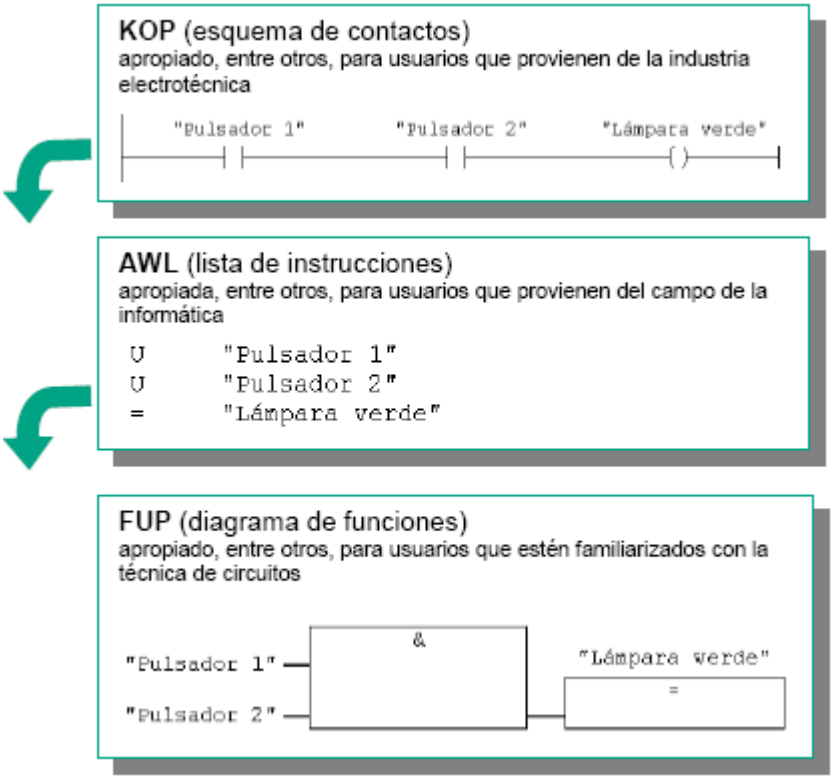


Figura 91

- Cargar y probar el programa
- Establecer una conexión online

Para realizar la conexión On Line, deben considerarse los siguientes Pre requisitos:

- Haber configurado el hardware para el proyecto
- Configurar el hardware siguiendo las instrucciones del manual

Ejemplo de conexión en serie (función U (Y)): La salida A 4.0 se enciende sólo (en el módulo de salidas digitales se enciende el diodo A 4.0) cuando se oprime el pulsador E 0.1 y el pulsador E 0.2 con ayuda de la CPU y los cables necesarios.

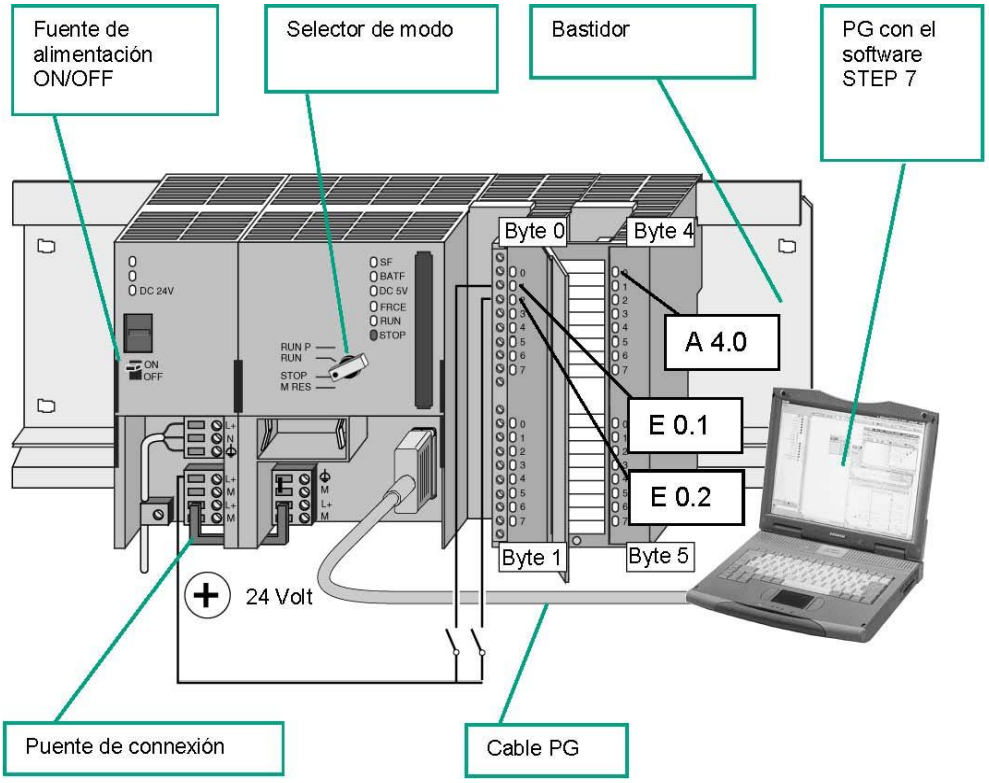

Fuente de alimentación ON/OFF
Selector de modo
Bastidor
PG con el software STEP 7
Byte 0
Byte 4
A 4.0
E 0.1
E 0.2
Byte 1
Byte 5
24 Volt
Puente de connexión
Cable PG

Figura 92

Montar el hardware

Para montar un módulo en el perfil soporte:

- enchufe el módulo en el conector del bus
- cuélguelo moviéndolo un poco hacia abajo
- atorníllelo
- monte los demás módulos
- inserte la llave en la CPU después de montar todos los módulos

El test también se puede llevar a cabo con un hardware distinto del que acabamos de mostrar. Lo único que deberá tener en cuenta son las direcciones de las entradas y salidas.

STEP 7 ofrece varias posibilidades para realizar el test; p.ej.: observando el programa (status) o con la tabla de variables.

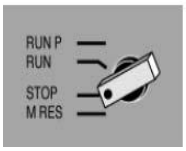
Para más información acerca del montaje de los módulos centrales, consulte los manuales "S7-300 – Configuración, instalación y datos de las CPU" o "S7-400, M7-400 – Configuración e instalación"

Figura 93

Cargar y probar el programa
Cargar el programa en el sistema de destino
Para poder cargar el programa se tiene que haber establecido la conexión online.
Aplicar tensión

Conecte la alimentación con el interruptor ON/OFF a 'ON'. Se encenderá el diodo "DC 5V" de la CPU.

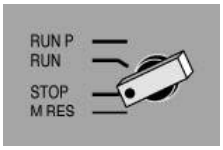
Gire el selector de modo hasta la posición 'STOP' (si no está ya en 'STOP'). El LED "STOP" rojo se encenderá.



Borrar totalmente la CPU y ponerla a RUN
Gire el selector de modo hasta la posición MRES y manténgalo en esta posición unos 3 s como mínimo hasta que el LED "STOP" rojo parpadee lentamente.
Suelte el selector y, antes de que transcurran 3 s, vuélvalo a poner en la posición MRES. Si el LED "STOP" parpadea rápidamente, significa que ha finalizado el borrado total de la CPU.
Si el LED "STOP" no parpadea rápidamente, repita el proceso.

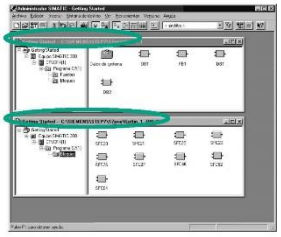
Al realizar un borrado total se borran todos los datos de la CPU. Después, la CPU se volverá a encontrar en su estado inicial.

Cargar el programa en la CPU:
Para cargar el programa, el selector debe encontrarse en la posición "STOP".



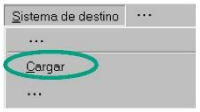
Arranque el Administrador SIMATIC y abra el proyecto "Getting Started" en el cuadro de diálogo "Abrir" (si es que aún no está abierto).

Además de la ventana "Getting Started Offline", abra la ventana "Getting Started Online". El estado offline/online se distingue por el color de la barra de título.
Navegue en ambas ventanas hasta la carpeta Bloques.

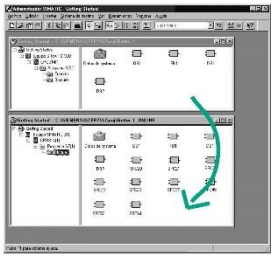


En la ventana "Offline" se muestra el bloque que reside en la PG, mientras que en la ventana "Online" se muestra el bloque que reside en la CPU.

A pesar de haber realizado un borrado total, en la CPU se encuentran las funciones del sistema (SFCs). Estas funciones dependen de la CPU. No se tienen que cargar, pero tampoco se pueden borrar.



Seleccione la carpeta Bloques en la ventana "Offline" y, a continuación, cargue el programa en la CPU eligiendo el comando Sistema de destino > Cargar.
Confirme con Aceptar.



En la ventana "Online" se visualizarán los bloques del programa después de la operación de carga.

Con el comando **Herramientas > Preferencias** se puede cambiar el modo de visualización del lenguaje de programación durante el test.

Conectar la CPU y comprobar el estado operativo

Gire el selector de modo hasta la posición **RUN-P**. Entonces se encenderá el LED "RUN" verde y se apagará el LED "STOP" rojo. La CPU está lista para el servicio.

Cuando el LED verde está encendido se puede realizar el test del programa.

Si el LED rojo no cambia a verde, significa que se ha producido un error. Para diagnosticar este error se deberá evaluar el búfer de diagnóstico.

Cargar bloques de uno en uno

Para poder reaccionar rápidamente a los errores que se presenten, se han configurado los bloques de tal modo que se puedan transferir uno a uno a la CPU mediante 'Drag and Drop'.

Al cargar bloques, el selector de la CPU debe estar en "RUN-P" o "STOP". Los bloques cargados en el estado operativo "RUN" se activan inmediatamente. No olvide:

- Si se sobreescriben bloques correctos con bloques que contienen errores, puede producirse una avería en la instalación. Para evitarlo, pruebe los bloques antes de cargarlos.
- Si no se ha seguido el orden correcto al cargar los bloques – primero los niveles inferiores, y después los superiores –, la CPU pasará al estado operativo "STOP". Para evitarlo, cargue todo el programa en la CPU.

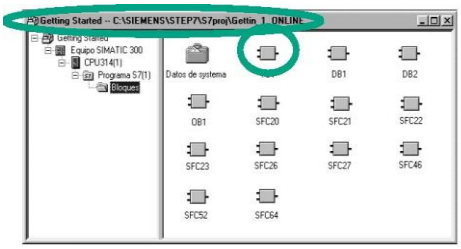
Programar en modo online

En algunos casos puede ser interesante para el test modificar los bloques que ya se han cargado en la CPU. Para ello haga doble clic en el bloque deseado en la ventana "Online", así se abrirá la ventana KOP/AWL/FUP. A continuación programe el bloque del modo habitual. No olvide que, una vez programado, se activará inmediatamente en la CPU.

Para más información elija **Ayuda > Temas de Ayuda** y vaya a los temas "Cargar" y "Establecer enlaces online y ajustar la CPU".

Figura 94

Test visualizando el estado del programa
Con la función 'Status' (observar el programa) se puede testear el código de un bloque. Para ello tiene que haberse establecido una conexión online con la CPU, la CPU tiene que estar en RUN o RUN-P y el programa tiene que haberse cargado en la CPU.



Abra el OB1 en la ventana "Getting Started Online" del programa.
Se abrirá la ventana KOP/AWL/FUP.
Active la función Test > Observar.
Probar el programa con KOP

Se visualiza la conexión en serie del segmento 1 en KOP. Hasta el pulsador 1 (E 0.1), el circuito se representa mediante una línea continua, es decir, se aplica tensión hasta el pulsador 1.

Probar el programa con AWL

	RLO	STA	ESTANDAR
"Pulsador 1"	0	0	0
"Pulsador 2"	0	0	0
"Lámpara verde"	0	0	0

En AWL los
– resultados lógicos (RLO),
– bits de estado (STA) y
– estados estándar (STANDARD) se visualizan en forma de tabla.

Probar el programa con FUP

El estado de señal se marca con un "0" o un "1". La línea discontinua significa que no hay resultado lógico.

4.3 Biblioteca IEC.

La existencia de diferentes sistemas de lenguajes propietarios hizo que la Comisión Electrotécnica Internacional [International Electrotechnical Commision (IEC)], con el objetivo de responder a la complejidad creciente de los sistemas de control y a la diversidad de autómatas programables incompatibles entre sí, elaborase la norma IEC 1131-3 que está siendo paulatinamente adoptada por los diferentes fabricantes. Dicha norma constituye un sistema de programación que está formado por dos tipos de lenguajes de programación diferentes:

Lenguajes literales

Las instrucciones de este tipo de lenguajes están formadas por letras, números y símbolos especiales. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de lista de instrucciones [Instruction List (il)].
- El lenguaje de texto estructurado [Structured Text (st)].

Lenguajes gráficos

Son lenguajes en los que las instrucciones se representan mediante figuras geométricas. Son lenguajes de este tipo:

- El lenguaje de esquema de contactos [Ladder Diagram (LD)].
- El lenguaje de diagrama de funciones [Function Block Diagram (FBD)].

El Diagrama funcional de secuencias [Sequential Function Chart (SFC)], cuyo principal antecedente es el lenguaje GRAFCET (Grafo de control etapa-transición) desarrollado por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (AF- CET).

Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación al usuario y la elección de uno u otro depende de su experiencia y conocimientos (en Electrónica Digital, Informática, implementación de sistemas de control lógico con relés, etc.), de la forma en que se especifica el problema de control a resolver y de la complejidad del mismo.

En este capítulo se analizan los principales lenguajes de programación de los autómatas programables definidos en la norma IEC 1131-3. Dichos lenguajes se describen, a través de un conjunto de ejemplos, para formar al lector en el diseño de sistemas de control lógico, basados en un autómata programable, que los utilicen.

Características generales del sistema normalizado IEC 1131-3

Aunque los distintos lenguajes del sistema normalizado IEC 1131-3 presentan diferencias notables entre ellos, existe un conjunto de elementos comunes a todos que es conveniente conocer previamente. A continuación se analizan los más importantes.

Tipos de datos

Los datos constituyen la información básica con la que se realizan operaciones. En la norma IEC 1131-3 se definen los tipos de datos que se indican en la tabla siguiente

Tabla Principales tipos de datos de la norma IEC 1131-3.

Denominación	Bits	Ejemplo	Descripción
BOOL	1	FALSE o TRUE	Variable binaria o lógica (Boolean)
INT	16	-32768 .. 32767	Número entero con signo (Integer)
UINT	16	0 .. 65535	Número entero sin signo
REAL	32	0.4560	Número real
BYTE	8	0.. 255	Conjunto de 8 bits (Byte)
WORD	16	0 .. 65535	Conjunto de 16 bits (word)
DWORD	32	0.. 232- 1	Conjunto de 32 bits (Double Word)
TIME		T#5d4h2m38s3.5 ms	Duración
DATE		D#2002-01-01	Fecha
TIME OF DAY		TOD#15:35:08.3 6	Hora del día
DATE_AND TIME		DT#2002-01-01-15:35:08.36	Fecha y hora
STRING		'AUTOMATA'	Cadena de caracteres

Tabla 11

Unidades de organización del programa de un proyecto

Un autómata programable se utiliza para controlar una máquina o un proceso determinado. Para ello es necesario conocer las especificaciones concretas y a partir de ellas realizar un proyecto o aplicación que da como resultado un conjunto de tareas que, una vez programadas en el autómata programable, hacen que este se comporte de la manera prevista.
En las aplicaciones sencillas, el proyecto se realiza mediante una única tarea que se encarga de la ejecución cíclica del programa.

Cuando la aplicación es compleja, es preciso programar varias tareas que se encarguen de la ejecución de una o más unidades de organización del programa, denominadas POU (acrónimo de Program Organization Unit) que son instrucciones o conjuntos de instrucciones relacionadas entre sí, que proporcionan una determinada funcionalidad. Se consigue así una división del proyecto en partes fácilmente comprensibles y una mayor facilidad para su puesta en marcha. En la figura se muestra gráficamente la relación entre un conjunto de tareas y las distintas unidades de organización del "programa global" de un proyecto.

Existen tres tipos de unidades de organización del programa (proyecto) que son los subprogramas (programas si son llamados desde una tarea, tal como indica la figura), las

funciones (FC en la figura) y los bloques funcionales (FB en la figura). A continuación se analiza cada uno de ellos.

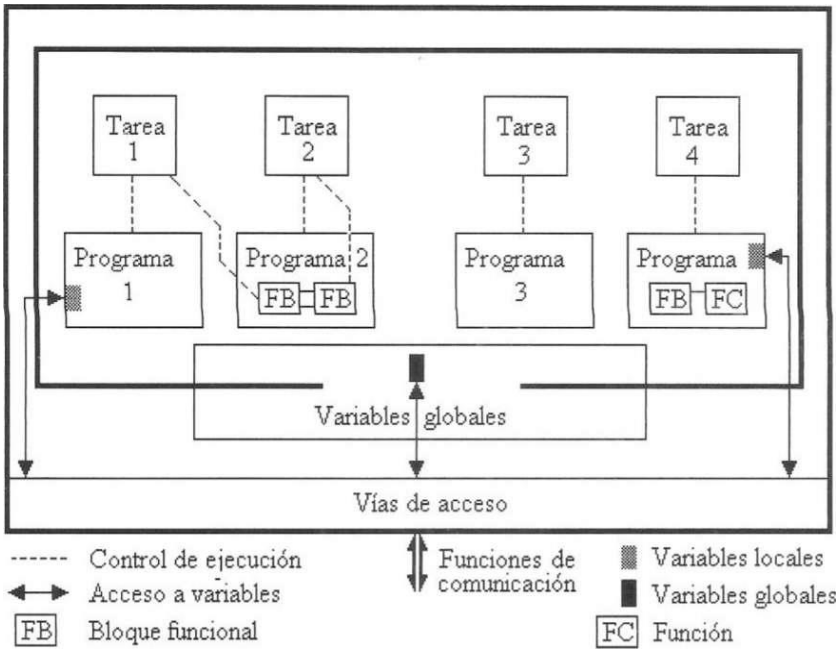


Figura 95

Representación gráfica de la relación entre las tareas, las variables y las unidades de organización del programa global del sistema normalizado IEC 1131-3 de programación de autómatas programables.

Subprogramas

Los subprogramas son unidades de organización del programa que tienen como objetivo: Agrupar las instrucciones que tienen que ejecutarse varias veces a lo largo del programa. Subdividir el programa en partes fácilmente comprensibles.

Los subprogramas se pueden considerar como un caso particular de los denominados genéricamente "programas" en la norma. No precisan argumentos de entrada o salida.

Funciones

Una función es una unidad de organización del programa que, cuando se ejecuta, proporciona únicamente un dato (una única salida). Su invocación se puede realizar en los lenguajes literales como operando de una expresión. Se suele denominar FC (abreviatura de Function).

La norma IEC 1131-3 establece el conjunto mínimo de funciones que deben poseer los lenguajes de un autómata programable para poder ser considerado normalizado. Dichas

funciones se indican en la tabla. La forma de utilizarlas en cada uno de los lenguajes normalizados se describe en los apartados correspondientes.

Tabla Funciones establecidas por la norma IEC 1131-3.

Numéricas de una sola variable		Aritméticas (de dos o más operandos)	
ABS	Valor absoluto	ADD Suma	
SQRT	Raíz cuadrada	MUL Multiplicación	
LN	Logaritmo natural	Aritméticas (de dos operandos)	
LOG	Logaritmo en base 10	SUB Resta	
EXP	Exponencial natural	DIV División	
SIN	Seno en radianes	MOD Módulo	
COS	Coseno radianes	EXPT Elevación a exponente	
TAN	Tangente en radianes	MOVE Asignación	
ASIN	Arcoseno		
ACOS	Arcocoseno		
ATAN	Arcotangente		
Decalaje		Lógicas (Booleanas)	
SHL	Desplazamiento hacia la izquierda	AND Operación lógica Y	
SHR	Desplazamiento hacia la derecha	OR Operación lógica O	
ROR	Rotación hacia la derecha	XOR Operación O-exclusiva	
ROL	Rotación hacía la izquierda	NOT Negación	
Selección		Comparación	
SEL	Selección	GT Mayor	
MAX	Máximo	GE Mayor o igual	
MIN	Mínimo	EQ Igual	
LIMIT	Limitador	LE Menor	
MUX	Multiplexor	LT Menor o igual	
		NE Desigual	
Cadenas de caracteres			
LEN	Longitud	INSERT	Inserción
LEFT	Caracteres a la izquierda	DELETE	Borrado
RIGHT	Caracteres a la derecha	REPLACE	Sustitución
MID	Caracteres intermedios	FIND	Búsqueda

CONCAT	Concatenación		
Conversión de tipo			
* TO **	Conversión de un tipo a otro		

Tabla 12

Las funciones normalizadas no contienen ninguna información de estado interno, lo que equivale a decir que la utilización de una función con unos argumentos determinados (parámetros de entrada de la función) debe proporcionar siempre el mismo valor (salida de la función). Se definen funciones de conversión de un tipo de dato en otro (conversión de tipo), numéricas, aritméticas, de comparación, de selección, etc. Ejemplos de funciones son ADD (suma), ABS (cálculo del valor absoluto), SIN (seno), COS (coseno), etc.

Todas las funciones normalizadas se pueden representar mediante un símbolo. Como ejemplo en la figura siguiente se representa el símbolo de la función MAX que proporciona a su salida el valor máximo de las variables aplicadas a sus entradas.

Figura 96

Símbolo de la función MAX.

Además de utilizar las funciones normalizadas, el programador puede definir (Declare) sus propias funciones y utilizarlas el número de veces que sea necesario.

Bloques funcionales

Un bloque funcional, denominado FB (Function Block) representa un algoritmo que puede ser utilizado en numerosos sistemas de control y constituye una unidad de organización del programa que, al ser ejecutada, proporciona una o más variables de salida. Su comportamiento se puede aproximar mediante el concepto de "caja negra" (Black Box) que funciona de una forma perfectamente definida. Se caracteriza por poseer variables de estado interno que pueden almacenar resultados parciales.

Es conveniente resaltar que, a diferencia de las funciones, los bloques funcionales no generan siempre el mismo conjunto de valores de salida a partir de unos valores determinados de las entradas. Ello es debido a que su estado interno puede ser diferente de una ejecución a otra.

Los bloques funcionales pueden realizar una función normalizada, como por ejemplo, un biestable, o una función definida por el usuario, como por ejemplo, un bucle de control de temperatura.

A cada bloque funcional normalizado le corresponde también un símbolo. Como ejemplo en la figura se representa el símbolo del bloque funcional contador ascendente CTU (Counter Up) que puede contar los flancos de una determinada variable. En el apartado siguiente, dedicado al lenguaje de lista de instrucciones, se representan los símbolos de los bloque funcionales más habituales con objeto de aclarar su comportamiento.

A título informativo, en la tabla se indican los bloques funcionales de que deben disponer como mínimo los lenguajes de un autómata programable que cumpla la norma IEC 1131-3.
Al igual que en el caso de las funciones, el programador, además de utilizar los bloques funcionales normalizados, puede definir sus propios bloques funcionales y utilizarlos el número de veces que sea necesario.

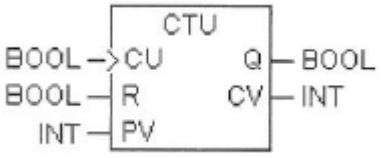


Figura 97

Símbolo del bloque funcional contador ascendente (CTU).

Bloque funcional	Operadores	Descripción
SR	S1,R	Biestable RS de activación prioritaria
RS	S,R1	Biestable RS de desactivación prioritaria
R TRIG	CLK	Convertidor de flanco ascendente en impulso
F TRIG	CLK	Convertidor de flanco descendente en impulso
CTU	CU, R, PV	Contador ascendente
CTD	CD, LD, PV	Contador descendente
CTUD	CU, CD, R, LD, PV	Contador reversible (ascendente - descendente)
TP	IN, PT	Temporizador de impulso
TON	IN, PT	Temporizador de retardo a la conexión
TOF	IN, PT	Temporizador de retardo a la desconexión

Tabla 13

Tabla Bloques funcionales predefinidos o establecidos por la norma IEC 1131-3

Variables

Las variables constituyen la información de los terminales de entrada/salida de un autómata programable o la contenida en una posición de su memoria interna.

Las variables pueden estar predefinidas y, en caso contrario, deben ser definidas por el programador. Una variable predefinida está establecida en el lenguaje y el programador puede utilizarla en cualquier punto del programa. Una variable no predefinida puede ser accesible desde cualquier punto del programa o solamente dentro de la unidad de organización en la que se define. En el primer caso la variable es global y se le asigna el nombre VAR GLOBAL.
En el segundo caso es local y se denomina simplemente VAR (ver Figura). Ambos tipos de variables junto con otros tipos disponibles y las constantes, se muestran a título informativo en la tabla. En sucesivos apartados se estudian con más detenimiento.

Las variables pueden ser inicializadas (serles asignado un determinado valor), en el momento en que se definen, mediante el símbolo ,por ejemplo, para definir la variable local "Cierto" de tipo lógico y con valor inicial verdadero (true), se utiliza la siguiente definición:

VAR Cierto:BOOL:=TRUE; END VAR

Los bloques funcionales, también necesitan la definición de una variable que especifique el tipo de bloque concreto a utilizar. Por ejemplo la expresión:

VAR Biestable:SR; ENDVAR define una variable denominada Biestable que es del tipo SR (Ver Tabla)

Tabla Palabras clave para la definición (declaración) de variables en la norma IEC 1131-3.

Palabra clave	Utilización de la variable
VAR	Variable local interna a la unidad de organización en la que se declara.
VAR_INPUT	Suministrada externamente. No modificable dentro de la unidad de organización
VAR_OUTPUT	Suministrada por la unidad de organización
VAR_IN_OUT	Suministrada externamente. Modificable dentro de la unidad de
VAR_EXTERNAL	Variable global suministrada externamente. Es modificable dentro de la unidad de organización
VAR_GLOBAL	Variable global
VAR_ACCESS	Variable accesible a través de una vía de comunicación
RETAIN	Variable no volátil o retentiva (No pierde la información que contiene al dejar de aplicar la tensión de alimentación)
CONSTANT	Constante (variable que no puede ser modificada) Ejemplo Binario: 2#1111_1111 (255 decimal) Ejemplo Hexadecimal: 16#FF (255 decimal)
AT	Asignación local

Tabla 14

Relación entre el sistema STEP7 y el sistema normalizado IEC1131-3

El lenguaje de lista de instrucciones AWL de STEP7 está desarrollado de acuerdo con los mismos principios básicos que el lenguaje de lista de instrucciones IL de la norma alemana DIN EN-61131-3, que coincide con la norma internacional IEC 1131-3.

Como resumen del citado archivo se puede indicar;
Tipos de datos elementales

Son: BOOL, INT, DINT, REAL, TIME, DATE, TIME_OF_DAY o TOD, DATE_ AND TIME or DT, STRING, BYTE, WORD, DWORD

Tipos de datos complejos

Admite matrices (Array data types) y registros (Structured data types).

Variables predefinidas

Al igual que en la norma, en la versión inglesa de STEP7 se identifican mediante las letras I (entradas), Q (salidas), M (marcas), X (solamente en las variables lógicas (bits) utilizadas en los módulos de datos DB), B (octetos), W (palabras) y D (dobles palabras). La principal diferencia con la norma es que no se utiliza el símbolo "%" para la identificación de las variables predefinidas. Por ejemplo, en STEP7, la variable Q3.1

representa siempre una salida física del autómata y no puede ser una variable definida por el usuario.

Definición de variables

Se utilizan las palabras reservadas de la norma VAR, VAR_IN, VAR_OUT, VAR_ INOUT

Funciones estándar

AWL incorpora un subconjunto de las funciones estándar establecidas en la norma. Entre ellas destacan las siguientes:

° Funciones de conversión de tipo
*_TO_** en la cual * es, por ejemplo, un dato INT y ** es otro tipo de dato, como por ejemplo REAL.
TRUNC trunca hacia cero una variable de tipo real.
BCD_TO_* * y *_TO_BCD convierte variables de tipo BYTE, WORD, DWORD, etc., a BCD natural o viceversa.
° Funciones de una variable
ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), LN (logaritmo natural), EXP (exponencial natural), SIN (seno en radianes), COS (coseno en radianes), TAN (tangente en radianes), ASIN (arcoseno), ACOS (arcocoseno), ATAN (arcotangente).
° Funciones aritméticas
ADD (+), MUL (*), SUB (-), DIV (/), MOD, MOVE (:=).
° Funciones de desplazamiento
SHL (desplazamiento hacia la izquierda), SHR (desplazamiento hacia la derecha), ROR (rotación hacía la derecha), ROL (rotación hacía la izquierda).
° Funciones lógicas
AND, OR, XOR , NOT.
° Funciones de operación con cadenas (strings):
LEN (longitud de una cadena), LEFT (caracteres a la izquierda), RIGHT (caracteres a la derecha), MID (caracteres a partir de una posición), CONCAT (concatenación), INSERT (inserción), DELETE (eliminación), REPLACE (sustitución), FIND (localización). ° Funciones de modificación de datos de tipo fecha y hora:

ADD_DT_T (suma), SUB_DT_T (resta), SUB_DT_DT(resta), CONCAT_D_ TOD (concatenación).
° Funciones de actuación sobre biestables:
SR (desactivación prioritaria) y RS (activación prioritaria.)

Direccionamiento de Memoria

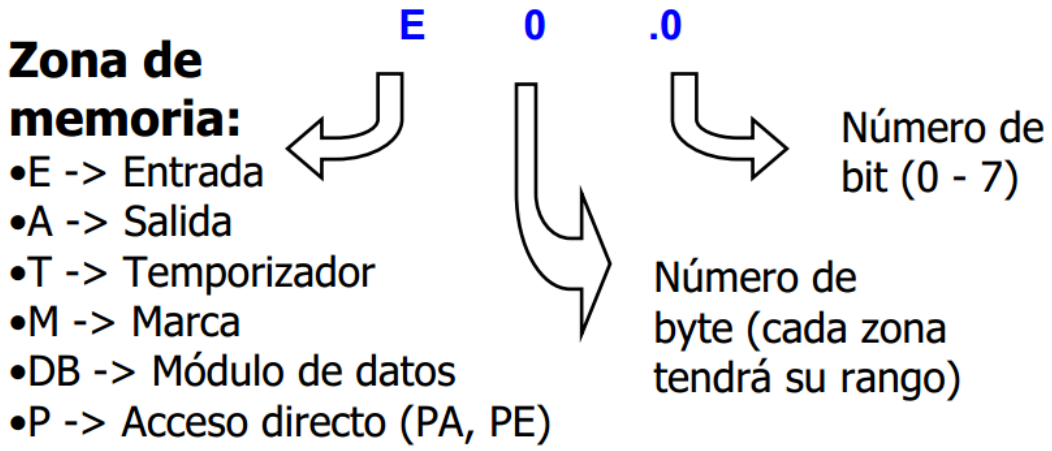


Figura 98

Instrucciones

Operaciones de comparación

Las operaciones comparan las entradas IN1 e IN2 según los tipos de comparación siguientes:

== IN1 es igual a IN2
<> IN1 es diferente a IN2
> IN1 es mayor que IN2
< IN1 es menor que IN2
>= IN1 es mayor o igual a IN2
<= IN1 es menor o igual a IN2

Si la comparación es verdadera, el resultado lógico (RLO) de la función es "1", en otro caso "0". La negación del resultado de comparación no existe ya que éste puede obtenerse con la función de comparación inversa.

Se dispone de las operaciones de comparación siguientes:

CMP ? I : Comparar enteros
CMP ? D : Comparar enteros dobles
CMP ? R : Comparar números en coma flotante

CMP ? I : Comparar enteros

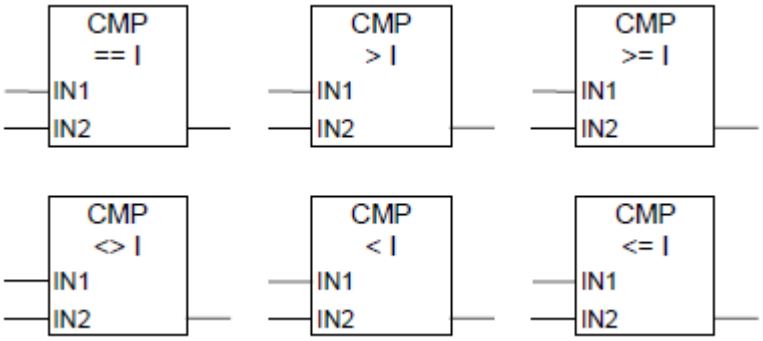


Figura 99

La operación comparar enteros ejecuta una operación de comparación cuya base es un entero en coma fija de 16 bits. La operación compara las entradas IN1 e IN2 según el tipo de comparación seleccionado en el cuadro.

CMP ? D : Comparar enteros dobles

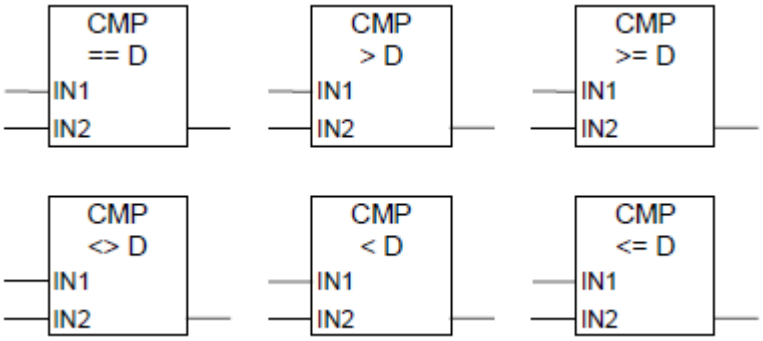


Figura 100

La operación Comparar enteros dobles ejecuta una operación de comparación cuya base es un entero en coma fija de 32 bits. La operación compara las entradas IN1 e IN2 según el tipo de comparación seleccionado en el cuadro.

CMPR : Comparar números en coma flotante

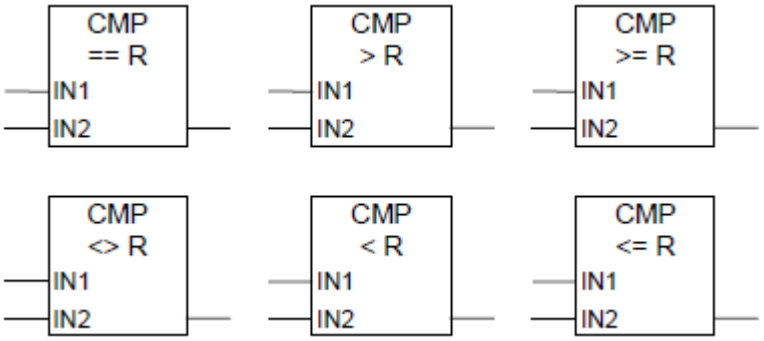


Figura 101

La operación Comparar números en coma flotante ejecuta una operación de comparación cuya base son número en coma flotante. Esta compara las entradas IN1 e IN2 según el tipo de comparación seleccionado en el cuadro.

Operaciones de conversión

Lista de operaciones de conversión

Las operaciones de conversión leen el contenido del parámetro IN y lo convierten o le cambian el signo. El resultado se puede recoger en el parámetro OUT. Las siguientes operaciones se utilizan para convertir números decimales codificados en binario y enteros a otros tipos de números:

BCD_I : Convertir de BCD a entero
I_BCD : Convertir de entero a BCD
BCD_DI : Convertir de BCD a entero doble
I_DI : Convertir de entero a entero doble
DI_BCD : Convertir de entero doble a BCD
DI_R : Convertir de entero doble a número en coma flotante

Para formar complementos de números enteros o para cambiar el signo de un número en coma flotante se utilizan las siguientes operaciones:

INV_I : Complemento a 1 de entero
INV_DI : Complemento a 1 de entero doble
NEG_I : Complemento a 2 de entero
NEG_DI : Complemento a 2 de entero doble
NEG_R : Cambiar el signo de un número en coma flotante

Para convertir un número en coma flotante de 32 bits IEEE-FP en un entero de 32 bits (entero doble) se utilizan las operaciones descritas a continuación. Las operaciones difieren en el método de redondeo.

ROUND : Redondear a entero doble
TRUNC : Truncar a entero doble
CEIL : Redondear número en coma flotante a entero superior
FLOOR : Redondear número en coma flotante a entero inferior

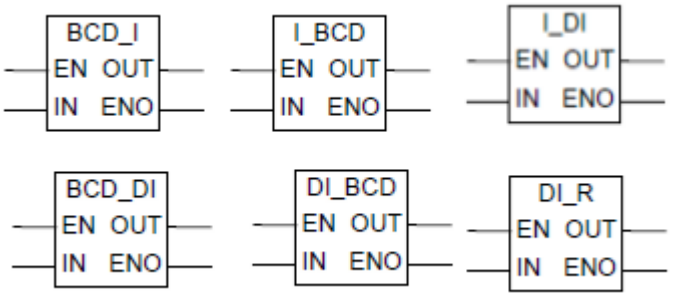


Figura 102

Estas instrucciones permite la conversión dependiendo del tipo de dato BCN, entero, doble entero y coma flotante.

Operaciones aritméticas

SUB_I : Restar enteros

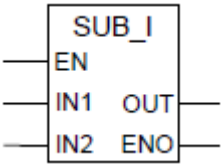


Figura 103

Un estado de señal de "1" en la entrada de habilitación (EN) activa la operación Restar enteros. Esta operación resta la entrada IN2 de IN1. El resultado puede determinarse consultando OUT. Si el resultado se encuentra fuera del área válida para enteros, los bits OV y OS tienen el valor "1" y ENO el valor "0".

MUL_I : Multiplicar enteros

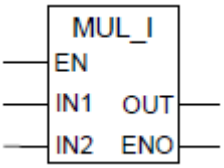


Figura 104

Un estado de señal de "1" en la entrada de habilitación (EN) activa la operación multiplicar enteros. Esta operación multiplica las entradas IN1 e IN2. El resultado es un entero doble y puede determinarse consultando OUT. Si el resultado se encuentra fuera del área válida para enteros de 16 bits, los bits OV y OS tienen el valor "1" y ENO el valor "0".

DIV_I : Dividir enteros

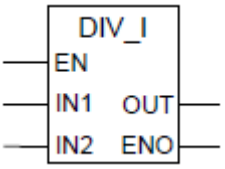


Figura 105

Un estado de señal de "1" en la entrada de habilitación (EN) activa la operación dividir enteros. Esta operación divide la entrada IN1 por IN2. El cociente (fracción entera) puede determinarse consultando O. El resto no puede ser determinado. Si el cociente se encuentra fuera del área válida para enteros, los bits OV y OS tienen el valor "1" y ENO el valor "0".
MOVE : Transferir un valor

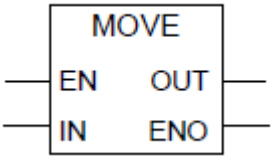


Figura 106

La operación transferir un valor permite inicializar variables con valores determinados. El valor indicado en la entrada IN se copia en el operando indicado de la salida OUT. ENO y EN tienen el mismo estado de señal.

La operación transferir un valor puede copiar con el cuadro MOVE todos los tipos de datos simples de 8, 16 o 32 bits de longitud. Los tipos de datos definidos por el usuario tales como campos o estructuras tienen que copiarse con la función de sistema SFC 20 "BLKMOV".

La operación transferir un valor es afectada por el Master Control Relay (MCR). Para más información sobre el funcionamiento del MCR v. también apto. MCR on/off.
En resumen podemos indicar las instrucciones vista e instrucciones con entradas doble entero, con coma flotante

Las operaciones aritméticas con enteros sirven para ejecutar las siguientes operaciones aritméticas con dos enteros (16 y 32 bits):

ADD_I : Sumar enteros
SUB_I : Restar enteros
MUL_I : Multiplicar enteros
DIV_I : Dividir enteros
ADD_DI : Sumar enteros dobles
SUB_DI : Restar enteros dobles

MUL_DI : Multiplicar enteros dobles
DIV_DI : Dividir enteros dobles
MOD_DI : Obtener el resto de división de enteros dobles
ADD_R : Sumar números en coma flotante
SUB_R : Restar números en coma flotante
MUL_R : Multiplicar números en coma flotante
DIV_R : Dividir números en coma flotante

Con las operaciones aritméticas de números en coma flotante se pueden ejecutar las siguientes funciones con un número en coma flotante (32 bit, IEEE-FP):

ABS : Calcular el valor absoluto de un número en coma flotante
SQR : Calcular el cuadrado de un número en coma flotante
SQRT : Calcular la raíz cuadrada de un número en coma flotante
EXP : Calcular el valor exponencial de un número en coma flotante
LN : Calcular el logaritmo natural de un número en coma flotante

Calcular funciones trigonométricas de ángulos representados mediante números en coma flotante
- seno (SIN) y arcoseno (ASIN)
- coseno (COS) y arcocoseno (ACOS)
- tangente (TAN) y tangente (ATAN)

ABS : Calcular el valor absoluto de un número en coma flotante

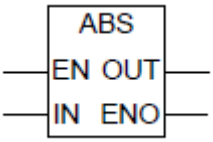


Figura 107

Con la operación Calcular el valor absoluto de un número en coma flotante se puede calcular el valor absoluto de un número en coma flotante.
SQR : Calcular el cuadrado de un número en coma flotante

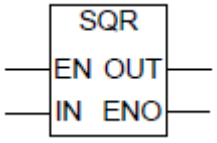


Figura 108

Con la operación Calcular el cuadrado de un número en coma flotante se puede elevar éste al cuadrado. Si una de las entradas o el resultado no son números en coma flotante, el valor de los bits OV y OS es “1", y el valor de ENO es “0".
SQRT : Calcular la raíz cuadrada de un número en coma flotante

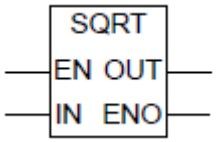


Figura 109

Con la operación Calcular la raíz cuadrada de un número en coma flotante se puede calcular la raíz cuadrada de un número en coma flotante. Esta operación dará un resultado positivo cuando el operando sea mayor que “0". Si una de las entradas o el resultado no son números en coma flotante, el valor de los bits OV y OS es “1", y el valor de ENO es “0".
EXP: Calcular el valor exponencial de un número en coma flotante.

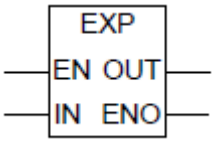


Figura 110

Con la operación calcular el valor exponencial de un número en coma flotante se puede calcular el valor exponencial en base e (= 2,71828...) de un número en coma flotante. Si una de las entradas o el resultado no son números en coma flotante, el valor de los bits OV y OS es “1", y el valor de ENO es “0".
LN: Calcular el logaritmo natural de un número en coma flotante.

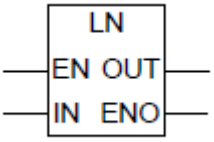


Figura 111

Con la operación Calcular el logaritmo natural de un número en coma flotante se puede calcular el logaritmo natural de un número de este tipo. Si una de las entradas o el resultado no son números en coma flotante, el valor de los bits OV y OS es “1", y el valor de ENO es “0".

Calcular funciones trigonométricas de ángulos representados mediante números en coma flotante
Con las siguientes operaciones puede calcular funciones trigonométricas de los ángulos que están representados por números en coma flotante (32 bits, IEEE-FP):

Operación	Significado
SIN	Calcula el seno del número en coma flotante de un ángulo indicado por la medida de su arco.
ASIN	Calcula el arco seno del número en coma flotante. El resultado es un ángulo indicado por la medida de su arco. El valor queda dentro del siguiente rango de valores: p / 2 <= arcoseno <= + p / 2, siendo p = 3.14...
COS	Calcula el coseno del número en coma flotante de un ángulo indicado por la medida de su arco.
ACOS	Calcula el arco coseno del número en coma flotante. El resultado es un ángulo indicado por la medida de su arco. El valor queda dentro del siguiente rango de valores: 0 <= arcocosenov +p, siendo p = 3.14...
TAN	Calcula la tangente del número en coma flotante de un ángulo indicado por la medida de su arco. El ángulo se guarda como número en coma flotante.
ATAN	Calcula el arco tangente del número en coma flotante. El resultado es un ángulo indicado por la medida de su arco. El valor queda dentro del siguiente rango de valores: -p / 2 <= arcotangente <= + p / 2, siendo p = 3.14...

Tabla 15

Estructura y configuración de las señales analógica en un PLC.

En muchas aplicaciones, es necesario disponer del valor de una variable análoga. Puesto que el PLC trabaja con datos ordenados en bit o palabra, es necesario convertir la magnitud analógica en una información digital. La parte del PLC encargada de efectuar esta tarea es el módulo de entrada análogo. El elemento principal del módulo es un conversor análogo – digital.

Similarmente, en muchas aplicaciones, es necesario comunicar a los actuadores de terreno, el valor de una variable análoga calculada por el PLC. Puesto que el PLC trabaja con datos ordenados en bit o palabra, es necesario convertir la magnitud digital en una información analógica. La parte del PLC encargada de efectuar esta tarea es el módulo de salida análogo. El elemento principal del módulo es un conversor digital –análogo.

Los módulos señalados constituyen interfaces entre el PLC y las señales de terreno. Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación entre la unidad central y el proceso, filtrando, adaptando y codificando de forma comprensible para dicha unidad las señales procedentes de los elementos de entrada, y decodificando amplificando las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida.

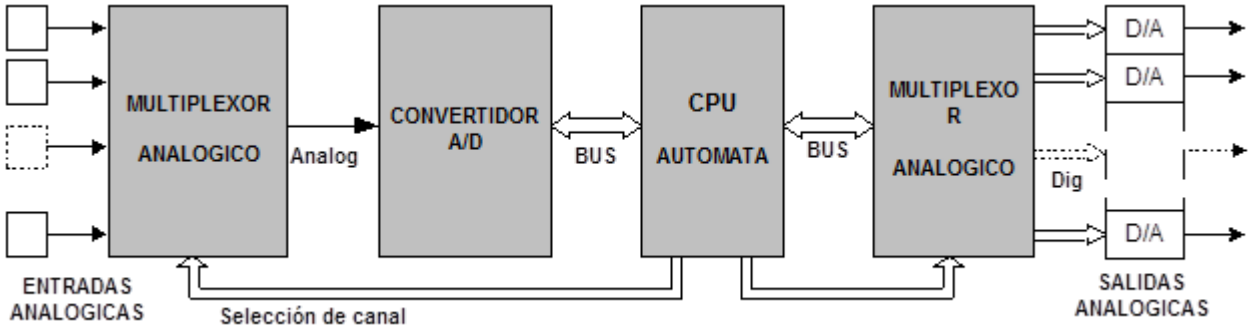


Figura 112

Proceso de adaptación de las señales de E/S analógicas.

En la figura anterior, se representa un esquema genérico para la transformación de señales análogas provenientes de terreno, su procesamiento en el PLC y su posterior salida a terreno para la actuación. Más adelante, se revisa el detalle de los elementos involucrados.
Los elementos de captación de magnitudes físicas de planta, llamados genéricamente sensores o transductores, tienen la función de convertir el valor de la magnitud física en una señal eléctrica analógica (4 a 20 mA. ; 0 a 10 V, otros), para ser compatible con un determinado sistema de control (PLC, DCS, etc.).

Es necesario que el autómata programable disponga de un módulo de entrada análoga para realizar la conversión análogo/digital, ya que el PLC procesa los datos de forma digital, como todos los sistemas basados en microprocesador y, por lo tanto, las señales de terreno de tipo analógico deben ser previamente digitalizadas para ser procesadas.

No todos los autómatas programables son capaces de manipular señales analógicas, pero es frecuente que existan módulos de ampliación para PLC compactos o tarjetas analógicas en los de tipo rack, que si son capaces de procesar este tipo señales.

Así, para el tratamiento de señales analógicas, es preciso contar con módulos de entradas capaces de convertir dichas señales a formato digital. La forma digital consiste en representar la magnitud de la variable analógica por un número codificado en forma binaria o BCD (decimal codificado en binario). Esencialmente, la función que realiza el módulo de entrada análoga es convertir las señales análogas provenientes de terreno en señales digitales codificadas (conversor análogo a digitales, A/D).

Conversor Análogo - Digital (A/D)

La mayoría de sistemas electrónicos de medición, control, comunicaciones, etc., están, compuestos por circuitos de entrada que convierten las señales análogas en palabras digitales (conversores A/D). Internamente, estas palabras se procesan de acuerdo al requerimiento (medición, comparación, sincronización, control automático, registro histórico de datos, etc.) y, por lo general, se entrega un resultado en forma de palabra

digital. A continuación, se revisan las características más relevantes de los conversores A/D.

Frecuencia de Muestreo

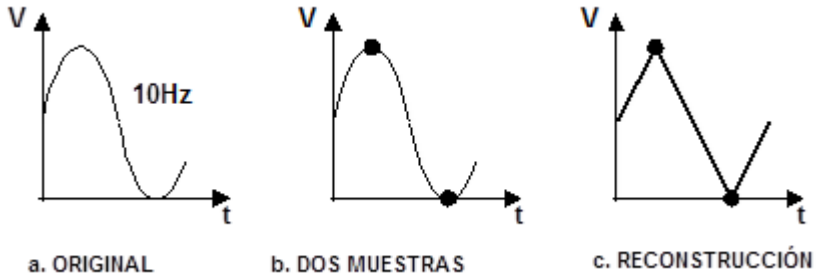


Figura 113

Muestreo mínimo de una señal.

El procesamiento de una palabra digital no es instantáneo, sino que demanda un cierto tiempo. El circuito de conversión toma muestras en intervalos de tiempo lo más corto posible considerando el tiempo empleado en la conversión. Por otra parte, tampoco es aceptable tomar muestras muy espaciadas en el tiempo, porque se pierde información relevante de las variables muestreadas.

Del análisis anterior surge la inquietud de cómo definir el intervalo entre muestras sucesivas (tiempo de muestreo) en que el conversor A/D debe medir la señal análoga de entrada para convertirla en una palabra digital de salida.

A modo de ejemplo, en la Fig.(a) se muestrea con dos puntos por período, una señal análoga sinusoidal con una frecuencia de 10Hz (10 ciclos por segundo); En la Fig. anterior se observan los niveles de voltaje que corresponden a los puntos de muestreo; y en la Fig. (c) se muestra la forma de la señal análoga que resulta a la salida del conversor A/D, la que difiere significativamente de la señal análoga original.

Por otra parte, en las Figuras siguiente se presenta la misma señal de la entrada, pero muestreada en ocho puntos en el periodo. En la Fig. (c) se aprecia que la señal resultante del proceso de conversión A/D es mucho más parecida a la señal original que en el caso de la Figura.

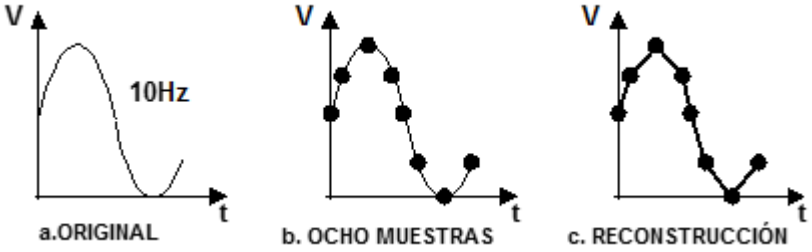


Figura 114

Muestreo mejorado de una señal.

Para poder digitalizar una señal análoga, sin pérdida de información, se requiere que la frecuencia de muestreo sea (como mínimo) dos veces la frecuencia máxima de la señal análoga de entrada (esto se conoce como "teorema de/ muestreo", y la frecuencia de muestreo se la llama "frecuencia de Nyquist'). Por ejemplo, sí se quiere digitalizar una señal análoga de 1000Hz, el muestreo se debe realizar a una velocidad de por lo menos 2000 veces por segundo.

Funcionamiento del Módulo de Entrada Análogo

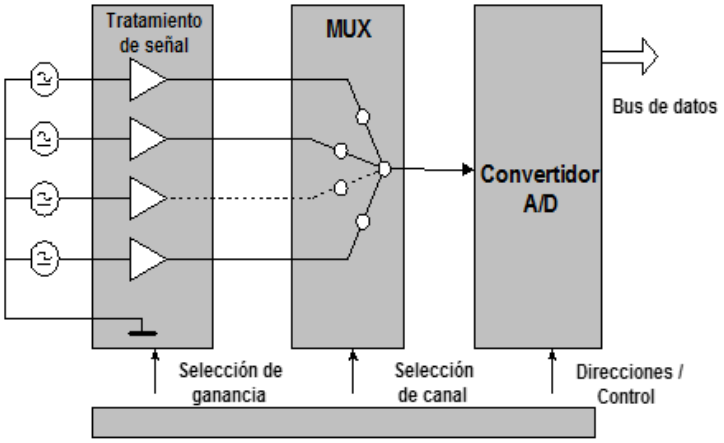


Figura 115

Etapas del proceso de conversión análogo/digital.

Descripción del funcionamiento.

Los módulos de entrada de tipo analógico para autómatas suelen disponer de varios canales de entrada. Para ello es necesario que en cada momento sólo una de ellas esté conectada al convertidor, realizándose la conversión de forma cíclica, una tras otra. El switch electrónico que selecciona el canal se llama multiplexer (MUX).

Se acostumbra a representar las transformaciones que experimenta una variable o señal dentro de un instrumento mediante un diagrama de etapas, en dichos diagramas cada rectángulo representa una de las transformaciones, la flecha indica el orden de procesamiento.

En la figura se presenta el diagrama por etapas de una interfaz de entradas analógicas completa para n canales. Se puede ver que se dispone de una serie de transductores analógicos cuyos datos deben ser procesados por la unidad central, la que puede seleccionar en cada momento el canal que se desea leer e incluso el factor de escala que se debe aplicar.

Formato de la palabra de datos de entrada del módulo análogo

Los módulos de entrada analógica convierten valores reales analógicos (temperatura, tensión, etc.) en valores digitales en formato de palabra (de 16 bits). Las entradas analógicas son valores de solo lectura que una vez digitalizados pueden ser registrados en determinadas área de la memoria previamente establecidas por el programador. El área de memoria donde se almacenan los datos, tiene cierto formato de 16 bits donde 12 son los bits de conversión análogo digital los ubican a la izquierda en el formato de palabra de datos.

El bit más significativo indica el signo, si este bit es cero indica que el valor es positivo de lo contrario si este bit tiene valor 1 indica que el valor es negativo. En formato unipolar los tres ceros a la derecha modifican el valor de la palabra de datos en incrementos de 8 por cada cambio del valor de conversión A/D. En formato bipolar los 4 ceros a la derecha modifican el valor de la palabra de datos en incrementos de 16 por cada cambio del valor de conversión análogo digital.
Formato de la palabra de datos.
(Por gentileza de Schneider Electric Chile S.A.)

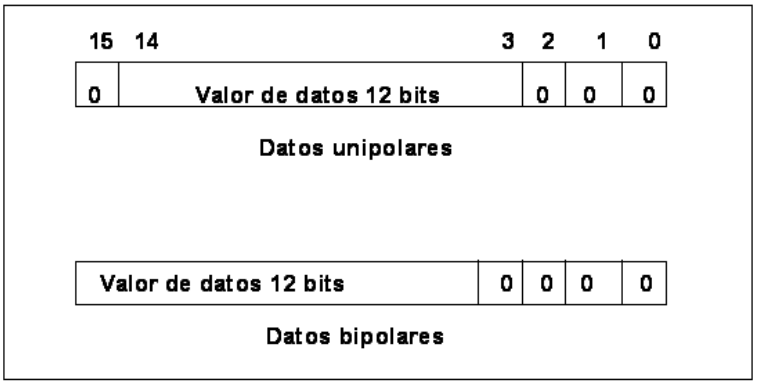


Tabla 16

Formato de la palabra de datos. (Por gentileza de Schneider Electric Chile S.A.)

Los datos recibidos en formato de palabra tienen direccionamiento mediante registros de entrada que son básicamente posiciones de memoria en las cuales se almacenan valores numéricos enteros en el rango de 0000 a 9999.

Un ejemplo de tarjeta entrada analógica es la AVI0200 mostrado en la figura y sus características son las siguientes

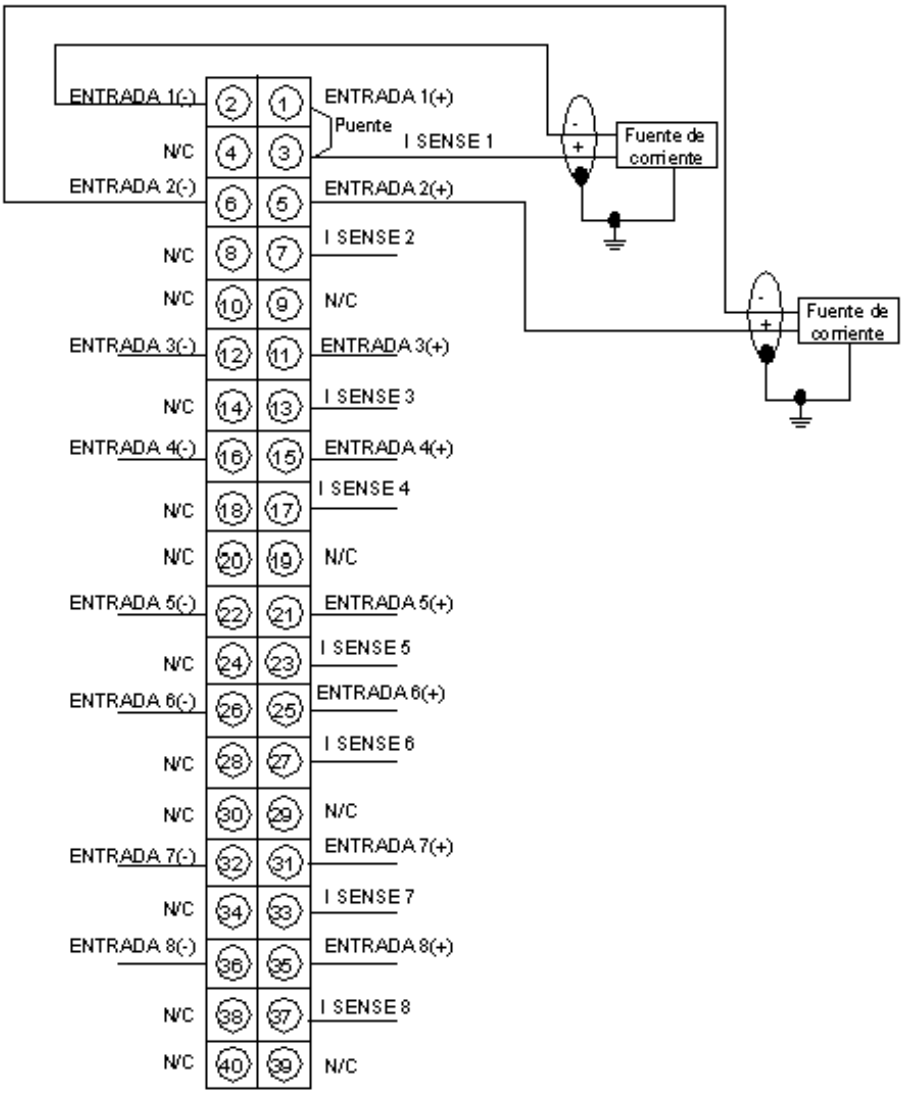


Figura 116

Cantidad de canales	8 diferenciales
LED	Active F 1 a 8 (rojo): El canal indicado está fuera de rango o se ha detectado una condición de conductor interrumpido (4 a 20mA)
Direccionamiento necesario	9 palabras de entrada
Rangos de entrada (selección por canal)	Bipolar +/-10 V CC +/- 5 V CC +/- 20 mA

	Unipolar 0 a 10 V CC 0 a 5 V CC 0 a 20 mA Unipolar con offset 1 a 5 V CC 4 a 20 mA
Entrada de tensión Rango de medición lineal	(Rango de entrada) x 1.024
Entrada máxima absoluta	50 V CC
Impedancia de entrada	>20 MW
Entrada de corriente Rango de medición lineal	(Rango de entrada) x 1.024
Entrada máxima absoluta	25 mA
Impedancia de entrada	250W + 0,03%
Resolución	16 bits+/- 10 V CC, 0 a 10 V CC 15 bits+/-5 V CC, 0 a 5 V CC, +/- 20 mA, 0 a 20 mA 14 bits1 ... 5 V CC, 4 a 20 mA

Tabla 17

ESCALAMIENTO

Antecedentes generales:

El Escalamiento es un procedimiento (Matemático) utilizado para representar alguna variable dentro de un rango predeterminado, en otro rango o unidades distintas mediante una conversión lineal. Un ejemplo de este proceso, sería la conversión de corriente de 4-20 mA en velocidad de 0-1500 rpm, registros de 0-4095 cuentas en porcentaje de 0-100%, frecuencia de 0-50 Hz en voltaje de 2-10 V, etc. Gráficamente esto sería:

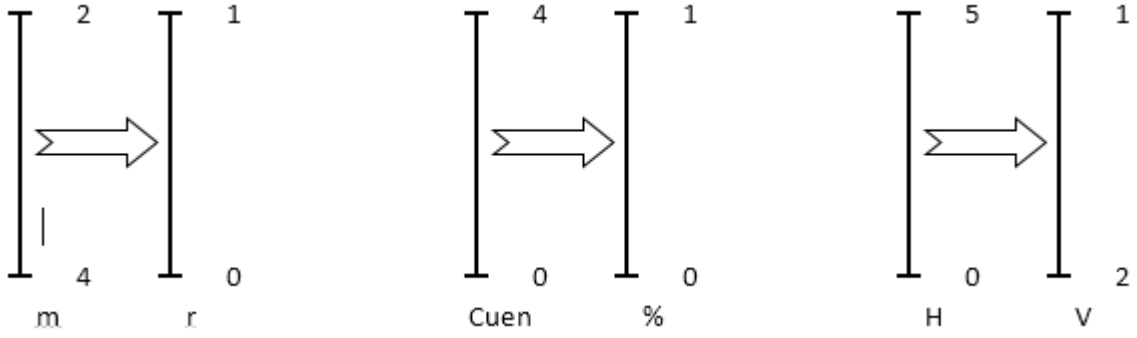
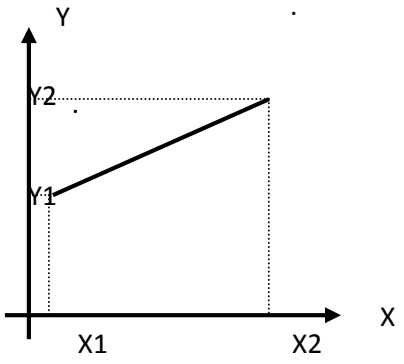


Figura 117

Para poder realizar este procedimiento, es necesario utilizar la ecuación de la recta, de tal forma de encontrar la relación entre la nueva variable y la variable inicial o variable conocida.

En términos prácticos, esto es:



Aquí:
X: es la variable inicial o conocida.
X1: es el valor mínimo del rango X.
X2: es el valor máximo del rango X.

Y: es la nueva variable.
Y1: es el valor mínimo del rango Y.
Y2: es el valor máximo del rango Y.

La fórmula que relaciona X con Y es:

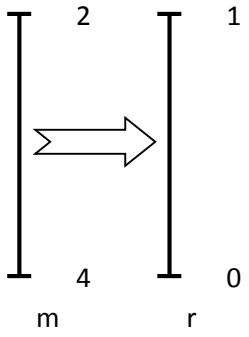
$$y = m \cdot x + n \quad donde:$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$n = y_2 - m \cdot x_2 \quad ó$$

$$n = y_1 - m \cdot x_1$$

Ejemplo: Conversión de 4-20 mA en 0-1500 rpm.



X: corriente	Y: velocidad
X1= 4	Y1= 0
X2= 20	Y2= 1500

$$y = m \cdot x + n \quad donde:$$

$$m = \frac{1500 - 0}{20 - 4} = \frac{1500}{16}$$

$$n = 1500 - \frac{1500}{16} \cdot 20 = -375$$

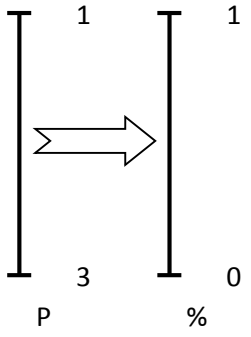
$$Luego:$$

$$y = \frac{1500}{16} \cdot x - 375$$

Para comprobar esto se puede generar una tabla de valores entre la corriente y la velocidad:

Corriente (mA)	4	8	12	16	20
Velocidad (rpm)	0	375	750	1125	1500

Ejemplo 2 Conversión de 3-15 Psi en 0-100 %.



X: Presión
X1= 3
X2= 15

Y: Porcentaje
Y1= 0
Y2= 100

$$y = m \cdot x + n \quad donde:$$

$$m = \frac{100-0}{15-3} = \frac{100}{12}$$

$$n = 100 - \frac{100}{12} \cdot 15 = -25$$

$$Luego:$$

$$y = \frac{100}{12} \cdot x - 25$$

Para comprobar esto se puede generar una tabla de valores entre la presión y el Porcentaje:

Presión (Psi)	3	6	9	12	15
Porcentaje (%)	0	25	50	75	100

El proceso de escalamiento es muy utilizado en Sistemas de Adquisición de Datos para la representación de variables de proceso. A continuación se muestran algunos escalamientos que realizan en forma interna los SAD del tipo PLC.

Ejemplo PLC Modicon

Los PLC Modicon de la serie 984 y Compact realizan la conversión de señales analógicas de distintos rangos (V, I), en cuentas que van hasta 212 =4096. En términos gráficos este escalamiento es:

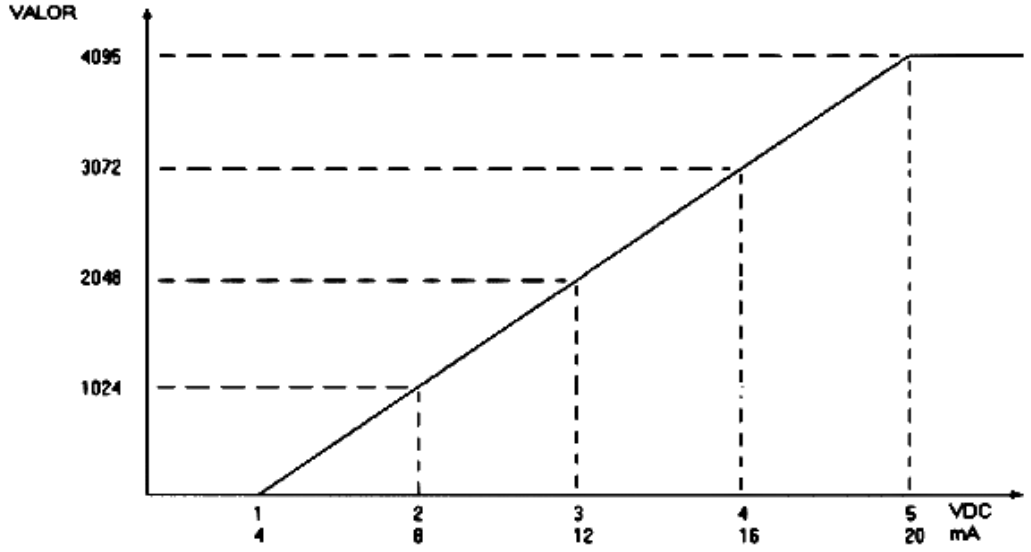


Figura 118

Lectura de Señales Analógicas utilizando el PLC S7-300.

Para manejar señales análogas hay que tener en cuenta las direcciones de las tarjetas análogas, estas tarjetas digitalizan las señales analógicas del proceso para que puedan ser procesadas por el CPU. El valor medido ya digitalizado se almacena en una memoria contenida en la tarjeta, de allí se transfiere al CPU, donde prosigue su procesamiento.

Para direccionar las señales análogas hay que tener en cuenta que son palabras las que se van a utilizar, por lo tanto, hay que direccionarlos como palabras, además, hay que tener en cuenta siempre la letra P de periferia para direccionarlos de manera adecuada. Por ejemplo, si tengo una tarjeta análoga en la dirección 100, entonces su correcta dirección seria: PEW100
Si desea el contenido de PEWxx puede ser copiada hacia una marca por medio de la instrucción MOVE.

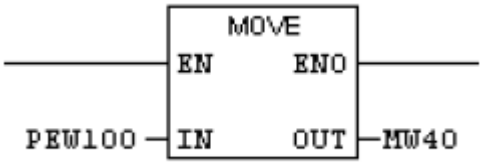


Figura 119

Verificación en la configuración del Hardware
Configure los módulos de entrada y salida de las tarjetas análogas de su PLC en el HW

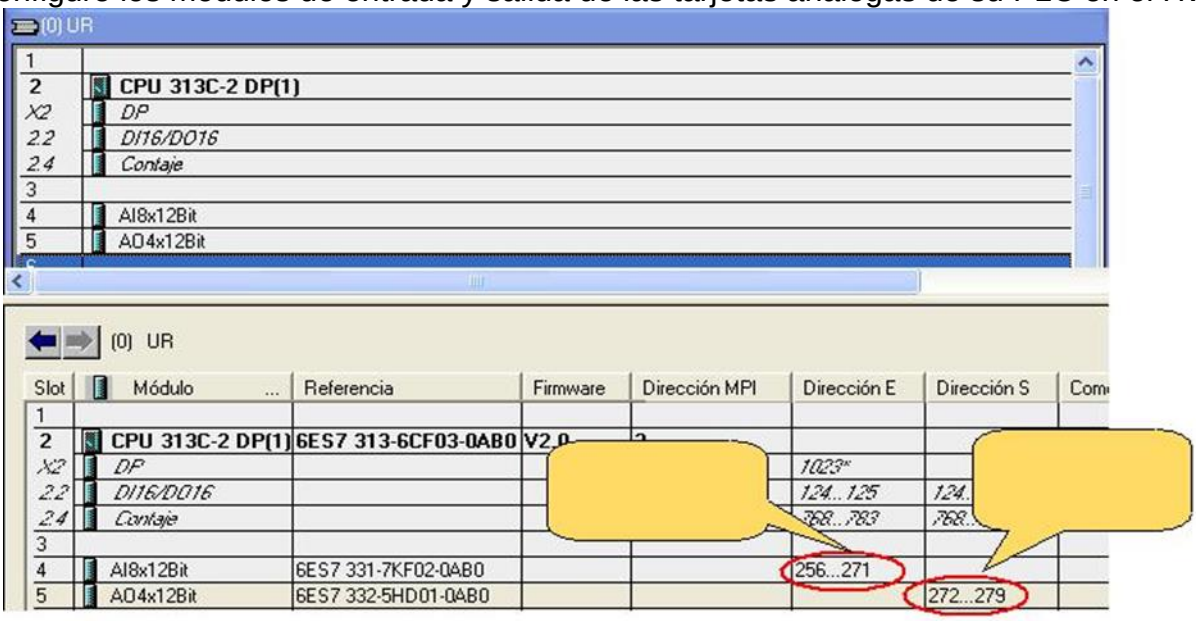


Figura 120

Por ejemplo, para este caso según lo observado en el Hardware el direccionamiento de los canales de entrada y salida análogo seria los siguientes:

Entradas Análogas	Salidas Análogas
Ch-0 PEW256	Ch-0 PAW272
Ch-1 PEW258	Ch-1 PAW274
Ch-2 PEW260	Ch-2 PAW276
Ch-3 PEW262	Ch-3 PAW278
Ch-4 PEW264	
Ch-5 PEW266	
Ch-6 PEW268	
Ch-7 PEW270	

Tabla 18

Escalamiento de la señal de analógica de entrada.

Como la señal de entrada analógica está convertida en bits, si queremos escalarlo a unidades de ingeniería o valores por unidad o quizás porcentuales, tenemos que utilizar la función de escalamiento del programa:

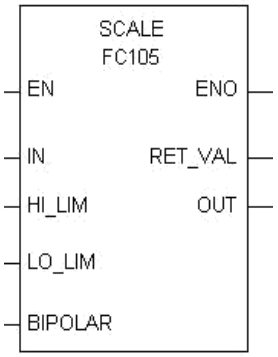


Figura 121

La función de escalamiento, SCALE, toma un valor entero en la entrada IN y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior (LO_LIM) y un límite superior (HI_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT. La función SCALE aplica la fórmula siguiente:

OUT = [((float (IN) – K1) / (K2 – K1)) * (HI_LIM – LO_LIM)] + LO_LIM

Las constantes K1 y K2 se aplican de forma diferente, dependiendo de si el valor de entrada es BIPOLAR o UNIPOLAR.

BIPOLAR	El valor entero de entrada debe estar entre -27648 y 27648, por lo tanto, **K1 = -27648.0 y K2 = +27648.0**
UNIPOLAR	El valor entero de entrada debe estar entre 0 y 27648, por lo tanto, **K1 = 0.0 y K2 = +27648.0**

Tabla 19

Si el valor entero de entrada es mayor que K2, la salida (OUT) se une a HI_LIM y se indica un error. Si el valor entero de entrada es menor que K1, la salida se une a LO_LIM y se indica un error.
Se puede efectuar la conversión escalar inversa programando los límites de tal forma que el valor en el campo límite inferior sea mayor que el valor en el campo límite superior (LO_LIM > HI_LIM)En esta conversión escalar inversa, el valor de la salida disminuye cuando aumenta el valor de la entrada.

Parámetros de la función SCALE:

Ejemplo de Escalamiento a la Entrada y a la Salida.

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Area de memoria	Descripción
EN	Entrada	BOOL	E, A, M, D, L	La entrada de habilitación con estado de señal 1 activa el cuadro.
ENO	Salida	BOOL	E, A, M, D, L	La salida de habilitación tiene el estado de señal 1 si la función se ejecuta sin errores.
IN	Entrada	INT	E, A, M, D, L, P, o constante	Valor de entrada a convertir a escala en valor REAL.
HI_LIM	Entrada	REAL	E, A, M, D, L, P, o constante	Límite superior del rango escalar.
LO_LIM	Entrada	REAL	E, A, M, D, L, P, o constante	Límite inferior del rango escalar.
BIPOLAR	Entrada	BOOL	E, A, M, D, L	El estado de señal 1 indica que el valor de entrada es bipolar; con el estado de señal 0 indica que es unipolar.
OUT	Salida	REAL	E, A, M, D, L, P	Resultado de la conversión a escala.
RET_VAL	Salida	WORD	E, A, M, D, L, P	Da el valor W#16#0000 cuando la función se ejecuta sin errores; si los valores son distintos de W#16#0000, véase la información sobre errores.

Tabla 20

Leer y normalizar un valor analógico a la entrada (FC105)

La función SCALE toma un valor entero en la entrada IN y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT.

La figura muestra un ejemplo: La función se ejecuta cuando el estado de señal de la entrada E0.0 es 1 (activada). En este ejemplo, el valor entero 22 se convierte en un valor REAL escalado entre 0.0 y 100.0, y éste se escribe en la salida OUT. El valor de entrada es BIPOLAR, tal como lo indica el estado de señal de la entrada E2.0.

Si la función se ejecuta sin errores, los estados de señal de la salida de habilitación (ENO) y de la salida A0.0 se ponen a 1 (activadas).

Escalar un valor analógico a la salida (FC106)

La función UNSCALE toma en la entrada IN un valor real que está ajustado a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM), y lo convierte en un valor entero. El resultado se escribe en la salida OUT.

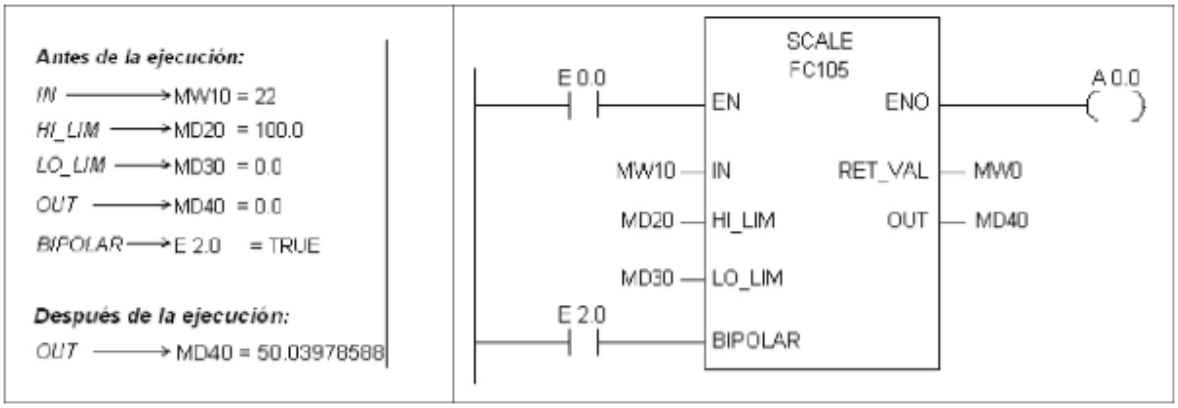


Figura 122

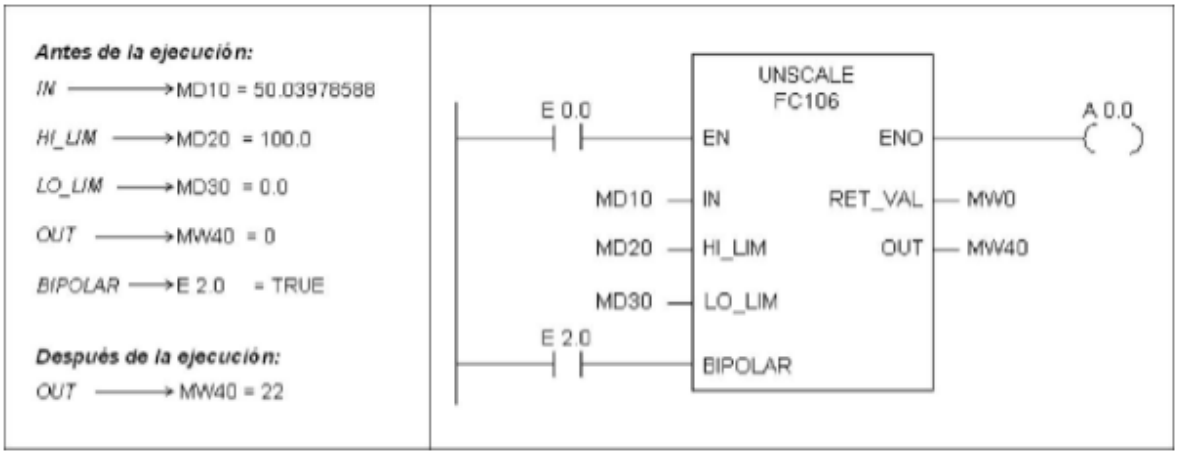


Figura 123

Escalamiento de Señales de Entrada y Salida Analógicas

Se tiene un tanque de agua, el cual se desea mantenerlo siempre lleno.

El ingreso de agua al tanque se controla mediante una válvula eléctrica proporcional de 0…10V, cuya apertura y cierre es inversamente proporcional al porcentaje del nivel de agua faltante, así por ejemplo, si el nivel de agua está en 80%, la válvula se abrirá en 20%. El PLC recibe la información del nivel de agua a través de un sensor de nivel con transductor de presión incorporado de 0…10V proporcional al nivel de agua 0...100% Además, la salida del agua se gobierna por medio de otra válvula y de manera manual.

Bloques disponibles:

En el programa emplearemos dos bloques de la librería del STEP 7:
FC 105: SCALE
FC 106: UNSCALE

Estos módulos funcionales ejecutan conversiones entre el margen nominal de una tarjeta analógica y un margen normalizado, que el usuario puede especificar.

Creación de un proyecto

Primero creamos un proyecto con un equipo SIMATIC (S7 300). Si desea use el asistente para crear el proyecto o cree su proyecto manualmente. A nuestro proyecto lo llamaremos Nivel_esc
En la configuración Hardware verifique la dirección de la entrada y salida analógica

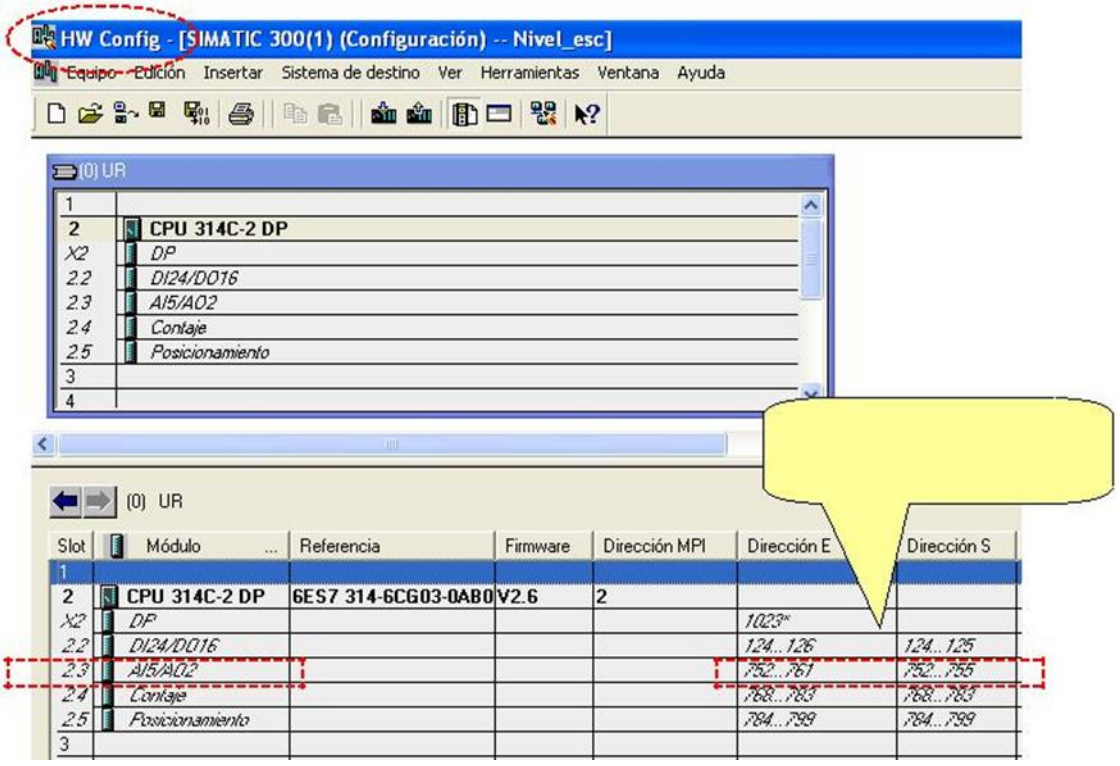


Figura 124

Tome nota de estas direcciones asignadas a la E/S analógicas

Creación de la Tabla de símbolos:
Luego creamos la tabla de símbolos desde el menú Herramientas \ Tabla de símbolos, como se muestra en la figura:
Edite los símbolos para el sensor de Nivel y la Válvula

Figura 125

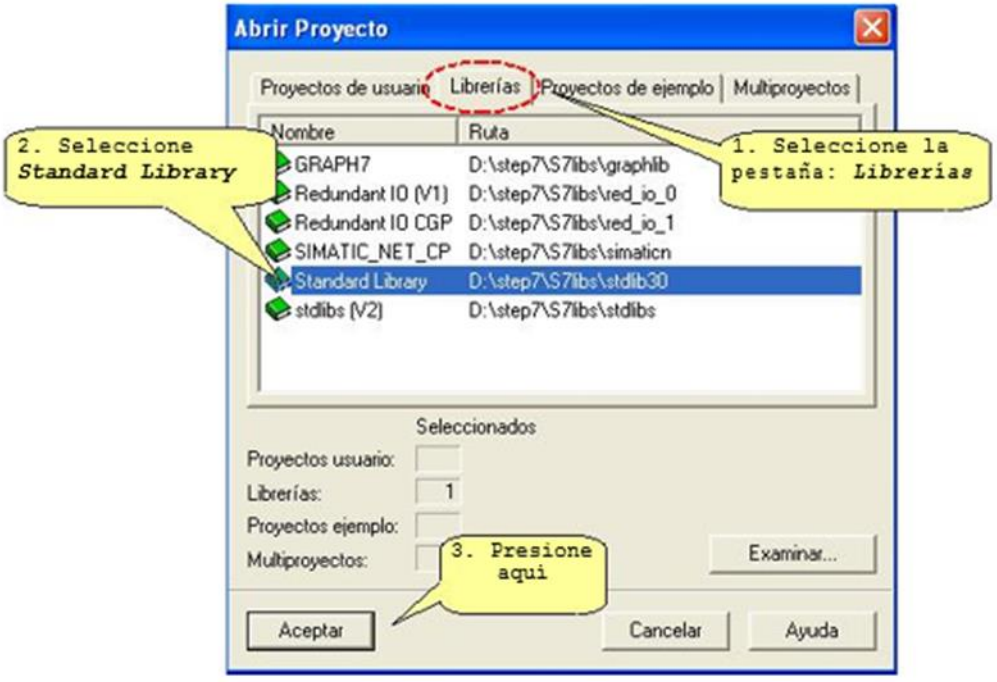


Figura 126

Cargar los bloques de escalamiento

Desde el SIMATIC Manager, seleccionamos en el menú Archivo \ Abrir

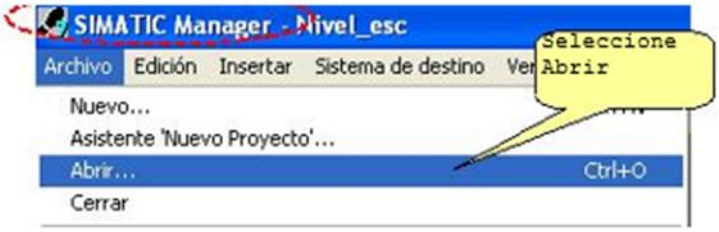


Figura 127

Se presenta la siguiente ventana, donde permite elegir la librería adecuada:

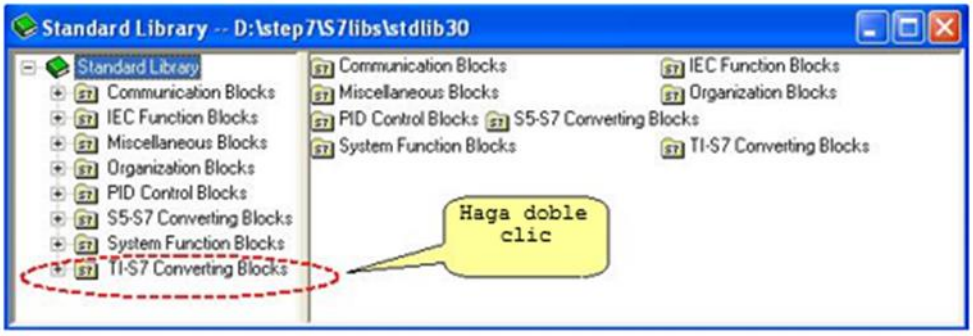


Figura 128

Luego seleccionamos TI-S7 converting blocks

Aquí podemos observar los Bloques FC 105 (SCALE) y FC 106 (UNSCALE)

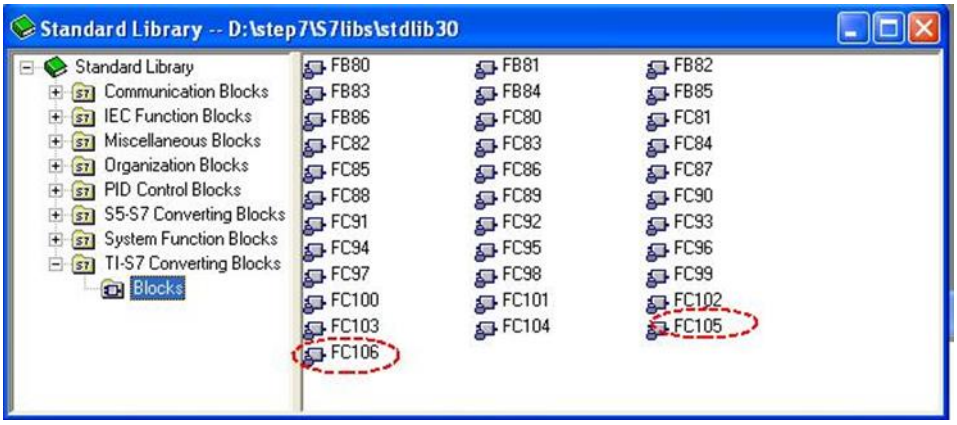


Figura 129

Si desea ver los detalles de los Bloques, active desde el menú la opción ver\detalles. Se verá información adicional de cada bloque como se muestra en la figura de abajo.

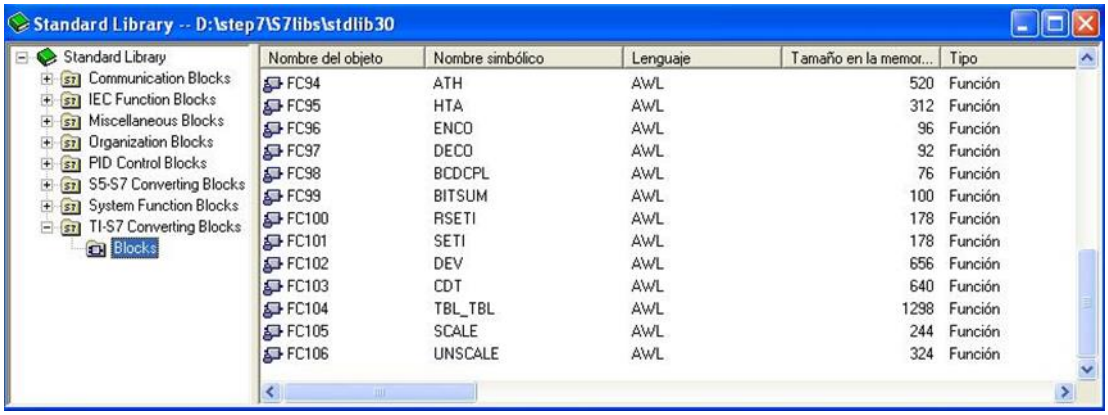


Figura 130

6. Luego seleccione los dos bloques FC 105 (SCALE) y FC 106 (UNSCALE) y debemos copiar
(Ctr + C) y pegar (Ctr +V) en nuestro proyecto (en la ventana de abajo)

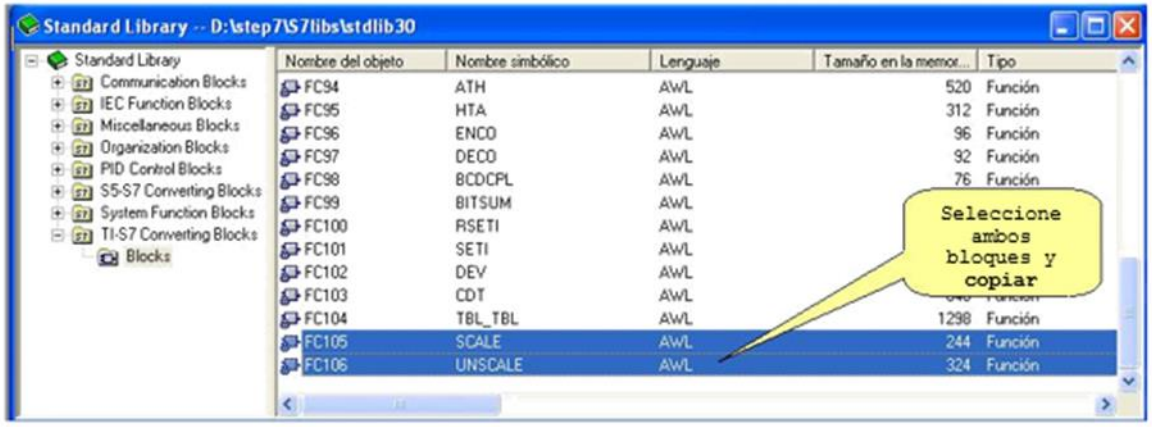


Figura 131

Crear el bloque de datos DB1
7. Estando en Bloques, damos click derecho con el mouse e insertamos el bloque de datos DB1.

Figura 132

8. Este bloque de datos nos permitirá manejar los bloques escalados. Parametrizamos como DB1, tipo global y aceptamos.

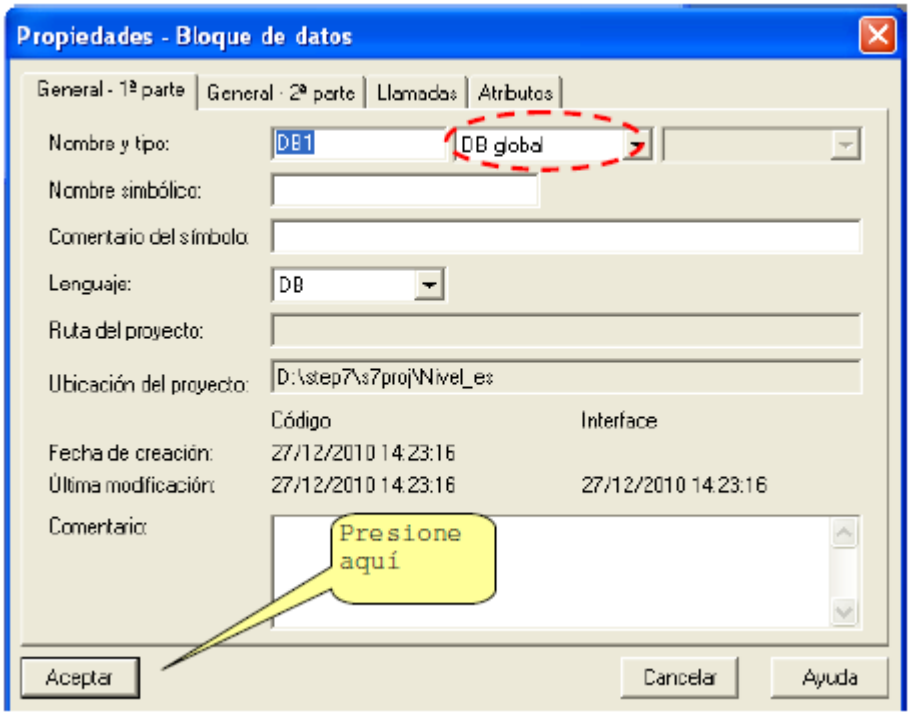
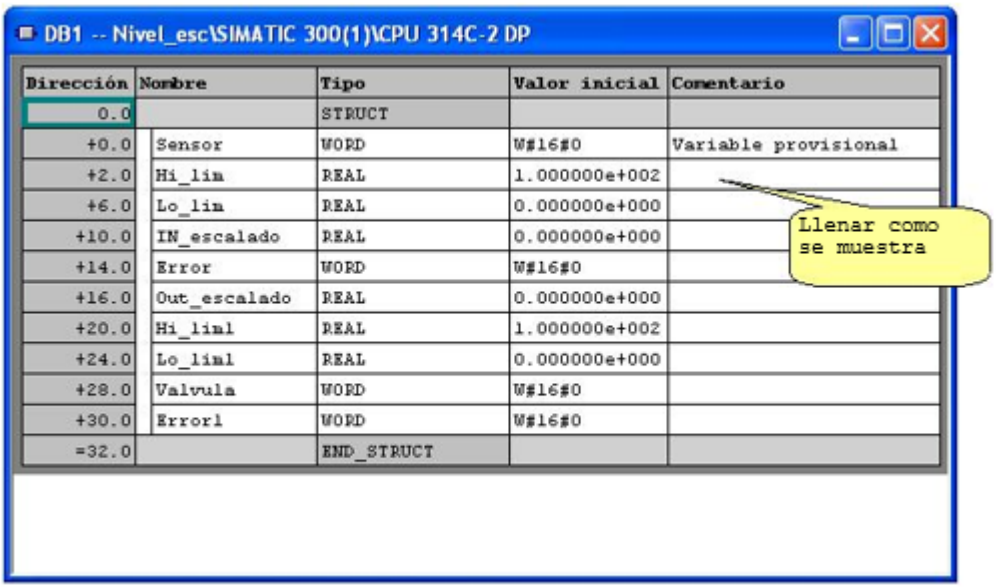


Figura 133

9. Luego hacemos Doble click sobre el DB1 creado para configurarlo.

Figura 134

10. Ingresamos los siguientes datos en nuestro DB1. Para este ejemplo, consideramos todas las variables de los bloques FC105 y FC 106.



Dirección	Nombre	Tipo	Valor inicial	Comentario
0.0		STRUCT		
+0.0	Sensor	WORD	W#16#0	Variable provisional
+2.0	Hi_lim	REAL	1.000000e+002	
+6.0	Lo_lim	REAL	0.000000e+000	
+10.0	IN_escalado	REAL	0.000000e+000	
+14.0	Error	WORD	W#16#0	
+16.0	Out_escalado	REAL	0.000000e+000	
+20.0	Hi_lim1	REAL	1.000000e+002	
+24.0	Lo_lim1	REAL	0.000000e+000	
+28.0	Valvula	WORD	W#16#0	
+30.0	Error1	WORD	W#16#0	
=32.0		END_STRUCT		

Figura 135

Programar el bloque de programa FC1

De la misma que se creó el bloque de datos, crear el bloque de programa FC1.

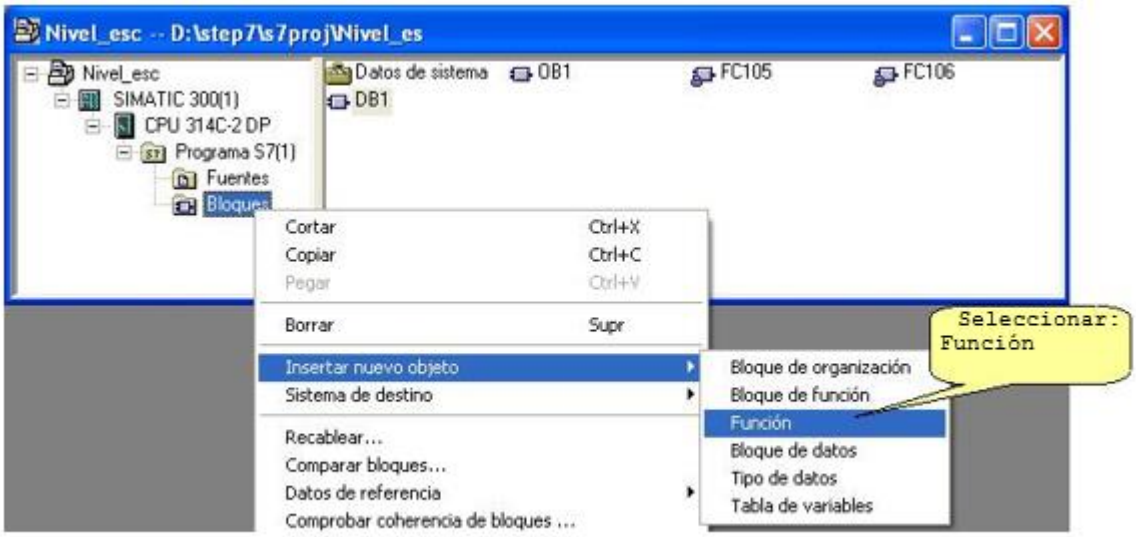


Figura 136

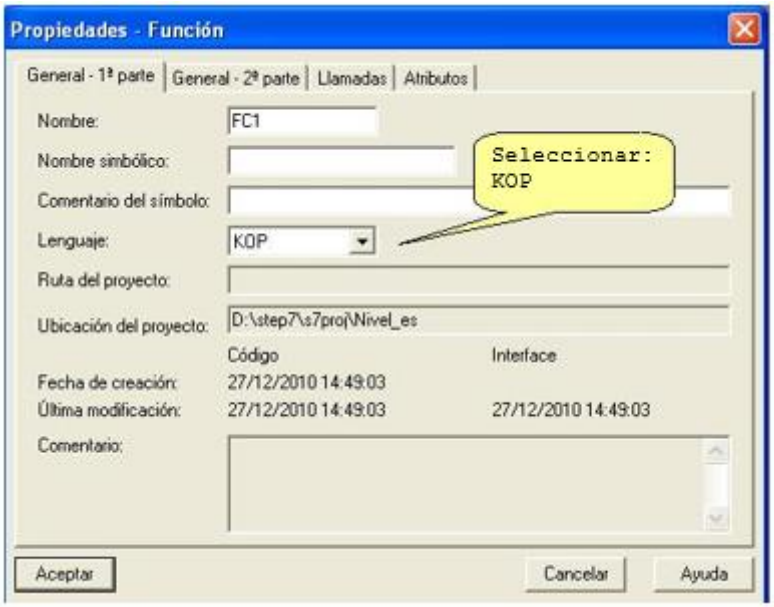


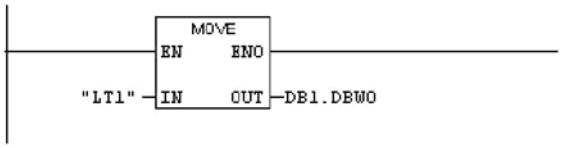
Figura 137

FC1 : Título:

Comentario:

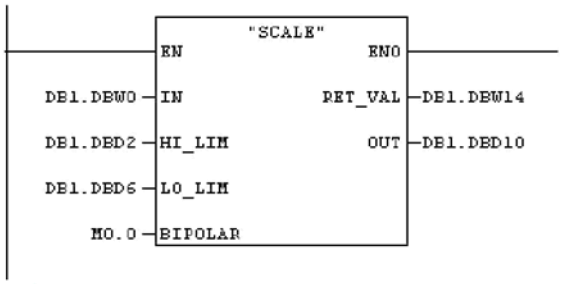
Segm. 1 : Título:

Mover sensor de Nivel a Bloque de datos



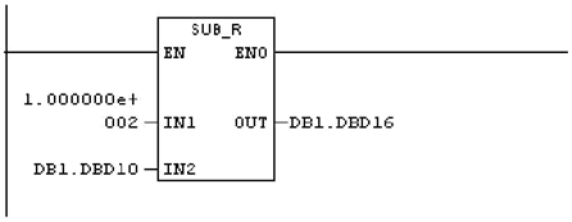
Segm. 2 : Título:

Escalar Sensor de Nivel



Segm. 3 : Título:

manejo de la valvula



Segm. 4 : Título:

Desescala valvula de control

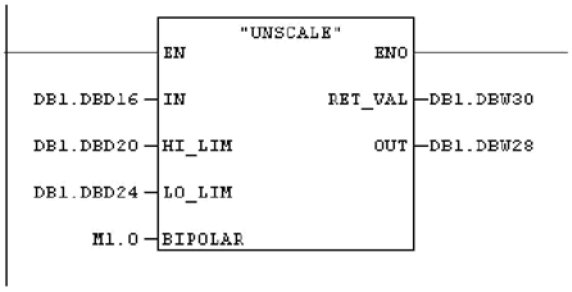


Figura 138

Implemente el siguiente programa dentro de la función FC1:
Grábelo y cierre:

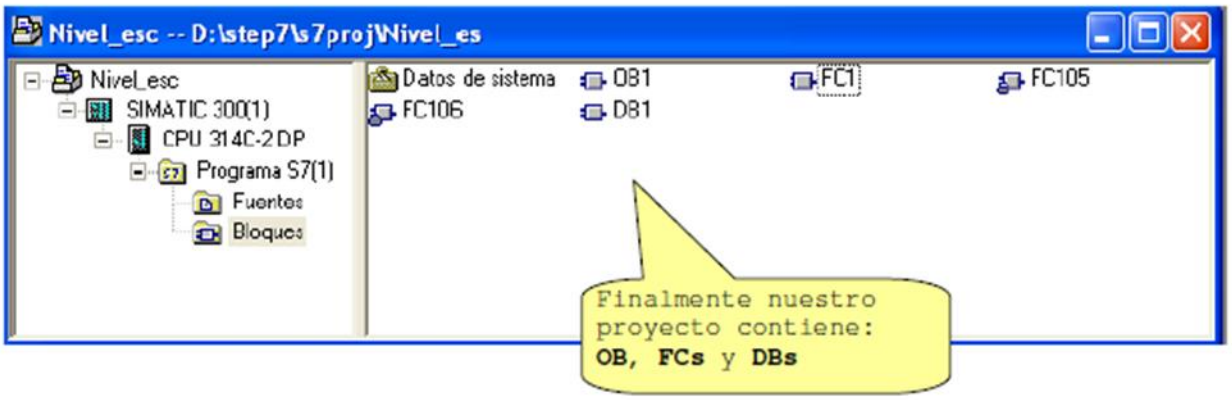


Figura 139

Programar el bloque principal OB1

En el OB1, hacemos el llamado del bloque de programa FC1:

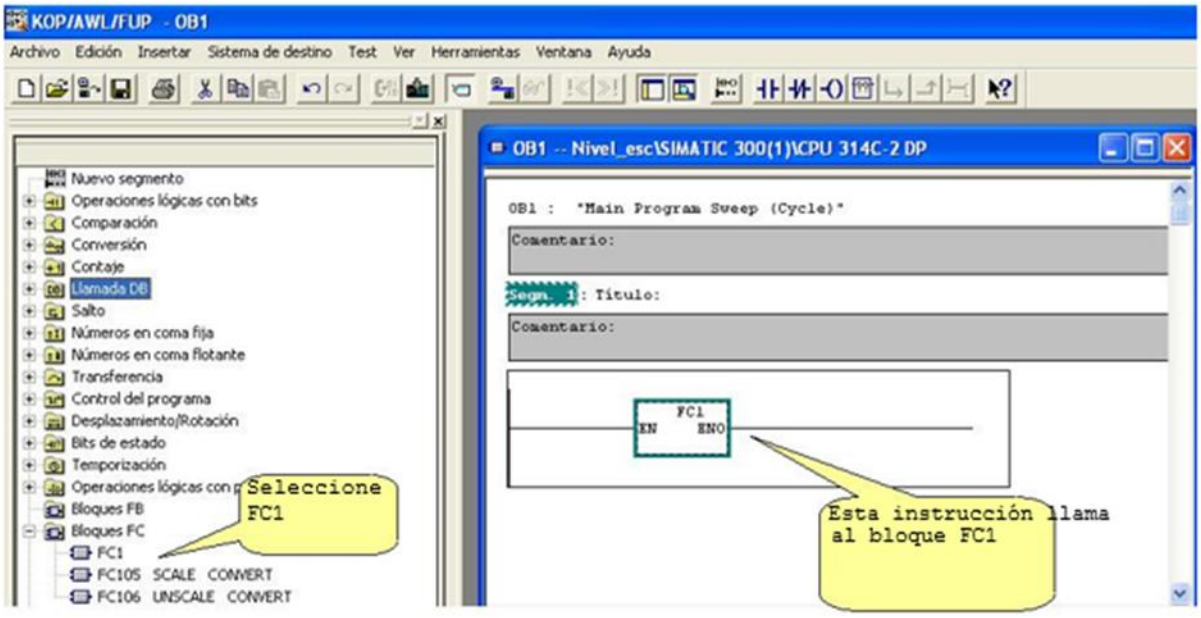


Figura 140

Listo para transferir el DB1, FC1, FC105, FC106 y OB1 creados.

4.4 Parametrización de controladores PID en PLC.

EL BLOQUE DE FUNCIÓN PID FB 41 “CONT_C”

Para realizar la parametrización de bloque PID de un PLC nos concentraremos en un bloque PID de la librería de control de PLC. Específicamente al bloque de función FB41 que utiliza SIEMENS. Este bloque de función se puede utilizar de muchas maneras en un proceso de regulación, como regulador con consigna fija o formando parte de una estructura de lazos complejos (cascada, mezcla, relación etc.). En este caso se utiliza en referencias fija.

Debido a que este bloque de función se basa en un algoritmo matemático PID, tendrá que ejecutarse cíclicamente, y los resultados matemáticos de dicho algoritmo y todos los valores de los parámetros que se explican a continuación se guardan en un DB. Por lo tanto, por cada FB41 s e necesita un DB de instancia.

EL BLOQUE DE FUNCIÓN PID FB 41 “CONT_C” EN EL ENTORNO STEP7

El bloque de función FB41 al llamarlo en STEP7, p.e. desde el bloque de organización OB35, muestra el aspecto de la figura siguiente. El bloque forma parte de la librería estándar y tiene asociado un bloque de datos, DB41 en este caso.

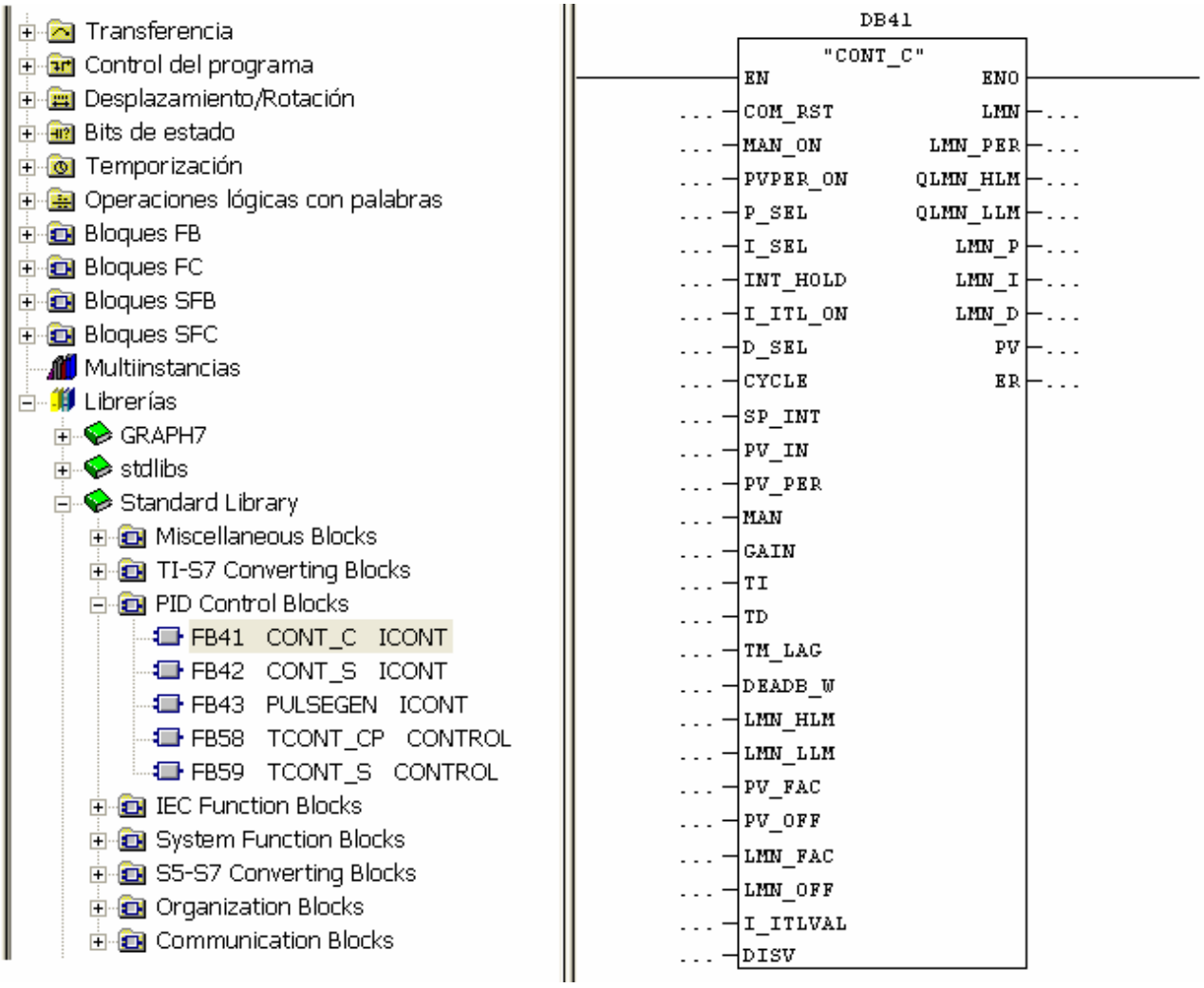


Figura 141

El bloque organización OB35 (ejecución cíclica) con la llamada al bloque de función FB41 asociado al bloque de datos DB41.

Tal y como se puede apreciar en todo el bloque, los parámetros se pueden clasificar en dos grupos:

Los parámetros de la izquierda del bloque serán las "ENTRADAS": algunos sólo son de lectura, por ejemplo, el valor del sensor (PV_PER), otros son de lectura y escritura GAIN (Kp), los parámetros de regulación TI y TD, los límites, la configuración del PID, los valores de normalización, etc.
En cambio, todos los parámetros de la derecha son "SALIDAS" del bloque de función y, en este caso, todos son de sólo lectura. El bloque proporciona la información de la regulación que está realizando, por ejemplo, el porcentaje de salida del regulador (parámetro LMN) o el valor de la señal analógica que actúa sobre el actuador correspondiente (parámetro LMN_PER)
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL BLOQUE DE FUNCIÓN PID FB 41 "CONT_C"

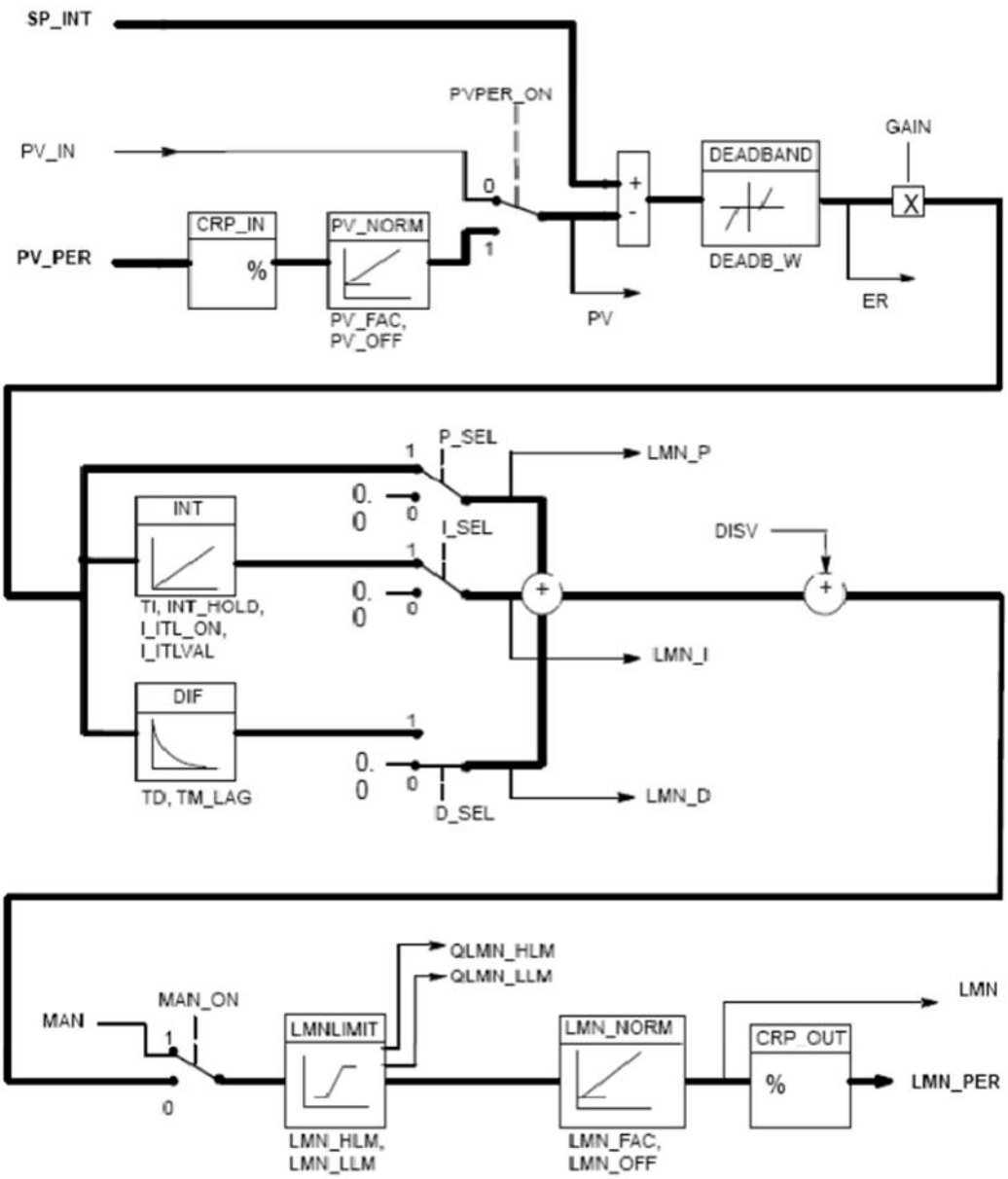


Figura 142

En la figura se muestra el diagrama de bloques del regulador PID de los autómatas de Siemens.
Diagrama de bloques del regulador CONT_C incluido en el bloque de función FB41.

Al examinar el diagrama de bloques del regulador CONT_C de la figura 4, se pueden distinguir las tres zonas siguientes:

- Zona superior: Realiza la comparación entre el valor de consiga y el valor real del proceso normalizado, y crea el error de regulación.
- Zona intermedia: Aplica un tipo de regulador diferente (P, PI, PID) al error originado en la zona anterior, establece los valores de los parámetros de cada uno, lee la salida que corresponde a cada parámetro y, teniendo en cuenta la perturbación DISV, origina la salida real del regulador.
- Zona inferior: Utiliza la salida que origina el regulador manual o automáticamente, para establecer límites y preparar la salida definitiva como número real (%) y en formato de periferia.

EL FUNCIONAMIENTO DEL BLOQUE DE FUNCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

Zona superior: Realiza la comparación entre la consiga y el valor real del proceso normalizado, y crea el error de regulación.

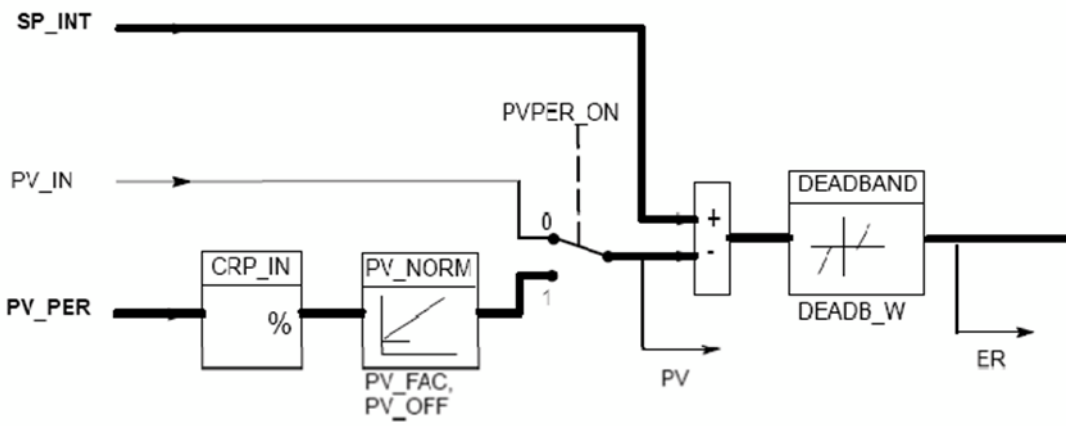


Figura 143

Diagrama de bloques de la zona superior del regulador CONT_C incluido en el FB41.

SP_INT: con este parámetro se fija la consigna del bucle de regulación; se trata de un número real y, normalmente, de un porcentaje (del -100.0 % hasta el 100.0 %). De todas formas, se puede introducir directamente el valor de la magnitud física, por ejemplo, 0.45 Atm. Si se trata de presión, o 75 lit. si se trata de nivel o volumen, o 1.2 l/s si se trata de caudal. En el caso en que la consigna sea una magnitud física, hay que adaptar los parámetros PV_FAC y PV_OFF de la función PV_NORM, tal y como se estudia posteriormente. El valor inicial de este parámetro es cero, y es de lectura-escritura.
PVPER_ON: mediante este parámetro binario se define el modo de lectura de la variable de proceso (PV). Si es “0”, el valor del PV es el parámetro PV_IN; si es

“1”, PV es el parámetro PV_PER. Es un valor de lectura–escritura e inicialmente es “0”.
PV_PER: este parámetro recibe la información que proporciona directamente un sensor, es decir, el valor de la lectura de una tarjeta analógica. Así, este parámetro guarda la dirección de la entrada a la que está conectado el sensor (PEWXXX). Cuando el sensor sea de una única polaridad (0…10 V) y la medición se encuentre en rango nominal, el valor estará comprendido entre 0 y 27648 y, cuando sea bipolar, el valor se encontrará entre -27648 y 27648.

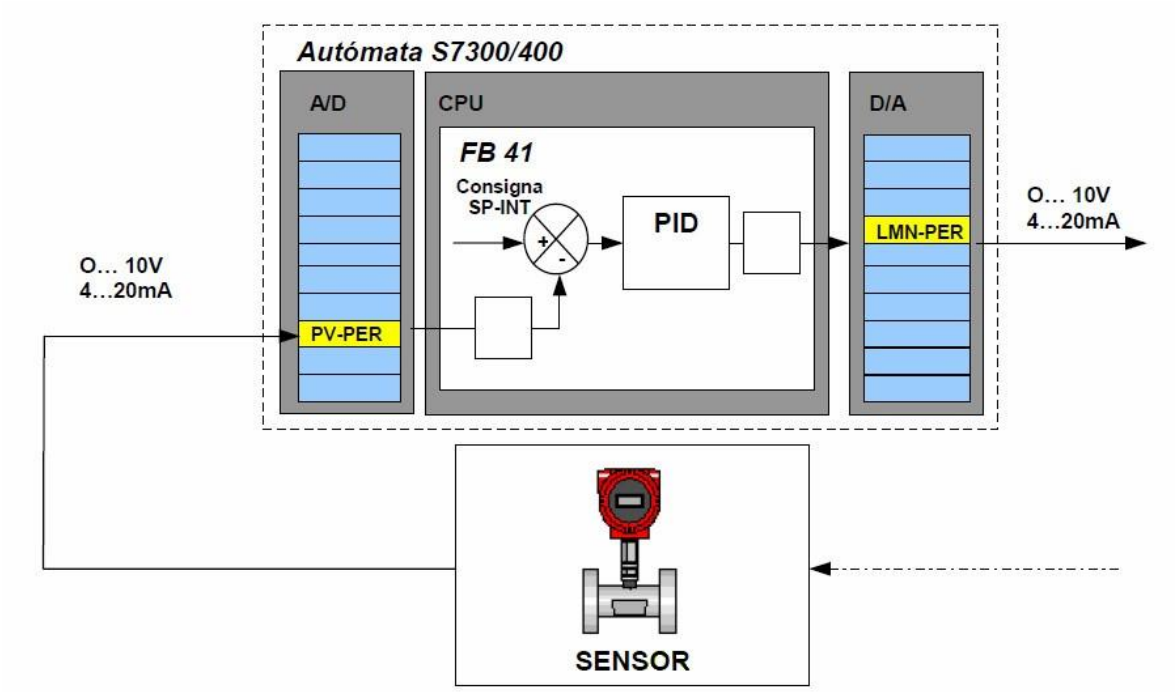


Figura 144

Un sensor conectado a un Autómata S7 300/400 que realiza un bucle de regulación PID con el FB 41.
CPR_IN: convierte el valor entero que recibe del sensor en un valor real entre -100.0% y 100.0% (realiza un escalado), aplicando la fórmula:
CPR
IN = PV
PER · 100
27648
PV_NORM: normaliza los porcentajes de los valores proporcionados por el sensor, d e a c u e r d o c o n los parámetros PV_FAC y PV_OFF, tal como se puede apreciar en la fórmula:
PV NORM = CPR IN · PV FAC + PV OF

PV_FAC: Factor del valor del proceso. Multiplica la salida de la función CPR_IN, para adaptar los valores proporcionados por el sensor a un nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero normalmente será 1.
PV_OFF: El offset del valor del proceso. Añade un valor a la salida de la función CPR_IN para adaptarlo al nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero normalmente será 0.

Como ejemplo, he aquí la utilidad que se les da a los dos parámetros mencionados.
1. caso: Se quiere controlar el nivel de un depósito, expresando la consigna en porcentaje. El valor del nivel (0 % ... 100 %) lo da un sensor que proporciona 0 … 10 V. En este caso debe ser PV_FAC =1 y PV_OFF =0, ya que el valor del sensor es convertido al porcentaje en la función CPR_IN.

2. caso: el depósito anterior tiene una capacidad de 500 litros como máximo (10 V del sensor) y ahora, el control de la consigna no se hace en porcentaje sino en litros, por lo que el valor de la consigna a introducir no es de 0 a 100, sino de 0 a 500. En este caso, se ajusta PV_FAC =5 y PV_OFF =0, si se quiere obtener un valor máximo del sensor de 500 litros.

En cualquier caso, los valores que introducimos como consigna, así como los valores que recibimos de los parámetros PV_IN o PV_PER, tienen que estar en las mismas unidades.

Tal como se puede apreciar en la figura, para normalizar la temperatura de entre -20º y 58º C a 0 % y 100 %, los valores a utilizar son PV_FAC = 0.9524 y PV_OFF = 19.05.

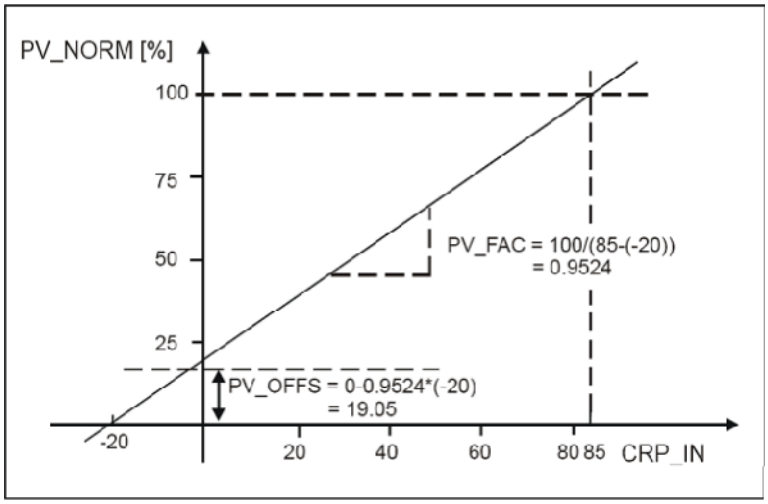


Figura 145

Normalización de la temperatura de entre -20º y 58º C a 0 % y 100 %.

PV_IN: Si se utiliza esta entrada se tiene que adaptar el valor entero que proporciona el sensor con las demás funciones del autómata para convertirlo en valor real, y para

que, de este modo, la función realice una correcta comparación con SP_INT. Se utiliza cuando el valor del PV es real (entre el -100.0 % y el 100.0 %) o haya sido adaptado al valor de la magnitud física (en formato real DWORD).
PV: Es la lectura de la variable de proceso y es un número real que representa un porcentaje
(-100.0% …0… 100.0%) o cualquier otra magnitud. Es una variable de sólo lectura.
DEADB_W: después de realizar la comparación se puede aplicar una zona muerta
(DEAD_BAND) antes de obtener el error. Por ejemplo, si se quieren eliminar las fluctuaciones o
El "ruido" que provoca un sensor. Así pues, introduciendo el número real en este parámetro, se define la amplitud de esta banda. El valor inicial es 0.0 y eso significa que DEAD_BAND está desconectado. Cuanto más ancha sea esta banda, menos precisión tendrá la regulación, ya que, mientras el error no salga de la banda, el regulador no se dará cuenta de que ha habido alguna variación en el error.

ER: Error de regulación. Es la diferencia entre el valor de consigna y la variable de proceso PV. Su valor es un número real de sólo lectura.

La figura muestra el gráfico que relaciona los parámetros de error (ER), consigna, PV y zona muerta (DEAD_BAND).

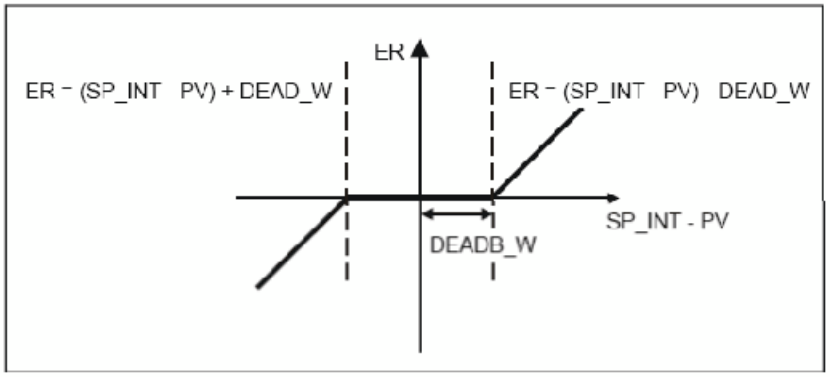


Figura 146

Relación entre los parámetros de creación de error (ER), consigna, PV y zona muerta (DEAD_BAND).

En la figura siguiente se muestra el diagrama de bloques correspondiente a los parámetros de configuración del algoritmo de regulación PID. La estructura del algoritmo PID trabaja en "posición" o paralelo. Así, las acciones proporcional, integral y derivativa están colocadas en paralelo, por lo que cada acción se puede conectar y desconectar individualmente para obtener los reguladores P, I, PI, PD o PID.

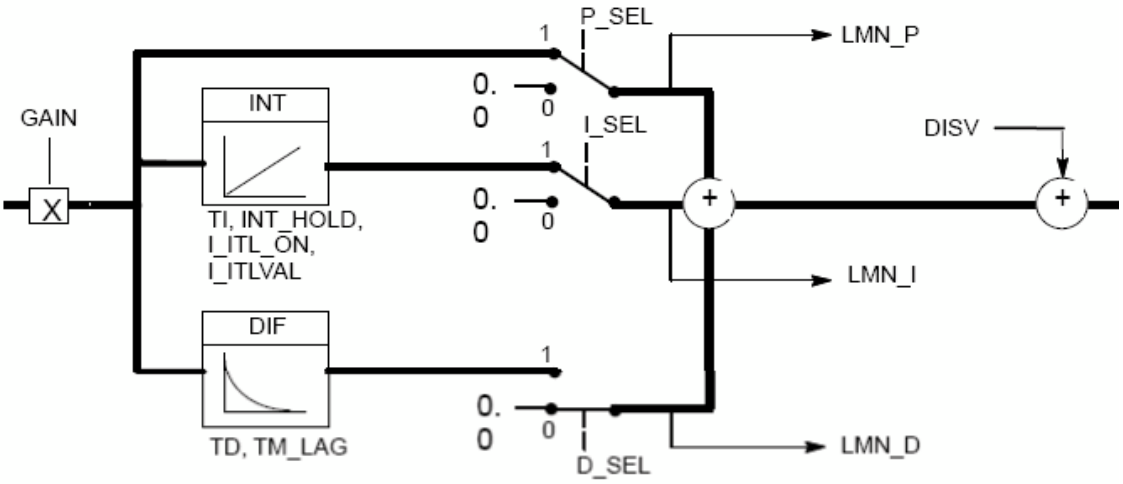


Figura 147

Diagrama de bloques de la zona intermedia del regulador CONT_C incluido en el FB41.

Su funcionamiento se basa en la fórmula:

$$LMN_PER = LMN \cdot \frac{27648}{100}$$

GAIN: es la ganancia proporcional del regulador y puede adquirir cualquier valor real positivo o negativo.

Cuando se requiere una acción "directa" en la regulación del proceso, el parámetro GAIN debe tener un valor positivo y, cuando se trate de una acción inversa, un valor negativo.

ACCIÓN DIRECTA: Es la acción que se realiza, por ejemplo, al controlar un caudal del agua que pasa por un tubo mediante la apertura o el cierre de una válvula. También al controlar la consigna de velocidad de una motobomba.

Si sube el valor de la consigna para el control del caudal del agua, habrá que abrir más la válvula o subir la consigna de la velocidad de la motobomba. Por eso se denomina acción directa, porque cuando se quiere incrementar el valor del PV del proceso, también incrementa la salida del regulador (existe relación directa).

ACCIÓN INVERSA: Es la acción que se realiza, por ejemplo, al controlar la presión de un gas en un depósito mediante la apertura o el cierre de una válvula colocada en la salida. Si se abre la válvula, la presión del depósito disminuye y, si se cierre, aumenta.

Si el valor de la consigna del regulador para controlar la presión aumente, la válvula debe cerrarse. Por eso se denomina acción inversa, porque cuando se quiere incrementar el valor de PV del proceso, la salida del regulador debe disminuir (existe una relación contraria o inversa).

Si el parámetro GAIN es cero, la salida del regulador es cero, independientemente de los valores TI y TD.

Función INT: esta función proporciona la salida del regulador correspondiente al efecto integral, según los parámetros TI, IN_HOLD, I_ITL_ON, I_ITLVAL.

TI: Es el tiempo de la acción integral y su unidad se fijará en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro CYCLE (TI >= CYCLE) y tiene un valor inicial de 20 segundos (T#20S).

INT_HOLD: cuando este parámetro binario se activa, la salida correspondiente al integrador se bloquea en el valor que tiene en el momento, independientemente de la evolución del error.

I_ITLVAL: si al comienzo de la regulación, o en cualquier otro momento, se requiere que el regulador tenga un porcentaje concreto en la salida, se le indica mediante este parámetro real. Su valor inicial es 0.0. Este parámetro está relacionado con el parámetro

I_ITL_ON: Para que el valor del integrador introducido en el parámetro I_ITLVAL pase a la salida del regulador, se debe ajustar este valor binario a “1”.

Función DIF: esta función proporciona el valor de salida del regulador correspondiente a la acción derivativa, según los parámetros TD y TM_LAG.

TD: el tiempo y la unidad de la acción derivativa; se fija en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro CYCLE (TD >= CYCLE) y tiene un valor inicial de 10 segundos (T#10S).

TM_LAG: el efecto de la acción derivativa se puede retrasar TM_LAG segundos. Su valor mínimo está relacionado con el parámetro CYCLE (TM_LAG >= CYCLE/2) y tiene un valor inicial de 2 segundos (T#2S).

Para entender el comportamiento de este parámetro hay que recordar que el término derivativo ideal del regulador PID es imposible de realizar, porque es no causal. Un término derivativo real tiene una función de transferencia en el dominio de Laplace:

$$\frac{TD \cdot s}{TM_LAG \cdot s + 1}$$

(Analícese la respuesta a un escalón del término derivativo con TD = 20 y TM_LAG =10 y obsérvese que el valor de pico es TD/TM_LAG y que la respuesta se

establece después de aproximadamente 3 * TM_LAG, así que TM_LAG es la constante de tiempo que indica lo rápido que cambia la respuesta).
En muchos reguladores industriales y en los reguladores Sipart de Siemens en particular, el parámetro TM_LAG no existe como tal, en su lugar se utiliza un coeficiente N que establece este valor en función de TD. Esta forma de obtener TM_LAG es más adecuada porque al cambiar TD también cambia TM_LAG. Este coeficiente tiene un valor por defecto de 5 con lo cual el valor inicial recomendado para TM_LAG es TD/5. En este caso el término derivativo es:

$$\frac{TD \cdot s}{\frac{TD}{N} \cdot s + 1} \quad \Rightarrow \quad TM_LAG = \frac{TD}{N}$$

P_SEL, I_SEL y D_SEL: mediante estos parámetros binarios se pueden configurar diferentes tipos de reguladores de control del proceso (P, I, PI, PD o PID). Se debe examinar el proceso a controlar y elegir la estructura más adecuada. El regulador predeterminado en la configuración inicial es del tipo PI, por lo tanto, P_SEL = “1”, I_SEL= “1” y D_SEL = “0”.

LMN_P, LMN_I y LMN_D: estos parámetros reales son sólo de lectura y hacen referencia a la proporción que las constantes P, I y D tienen en toda la salida del regulador.

Por ejemplo:

Si el regulador es del tipo P, todo el valor de la salida se debe a la variable LMN_P, y las variables LMN_I y LMN_D son cero, ya que, en este caso, no están activadas.

Si el regulador es del tipo PI, y si la regulación del proceso se está efectuando correctamente (sin ningún error), todo el valor de la salida se debe a la variable LMN_I, y el valor del parámetro LMN_P es prácticamente cero, aunque esté activado.

Cuando se trate de un regulador PID y mientras los valores del PV no lleguen al valor de consigna, los tres parámetros evolucionan según el error.

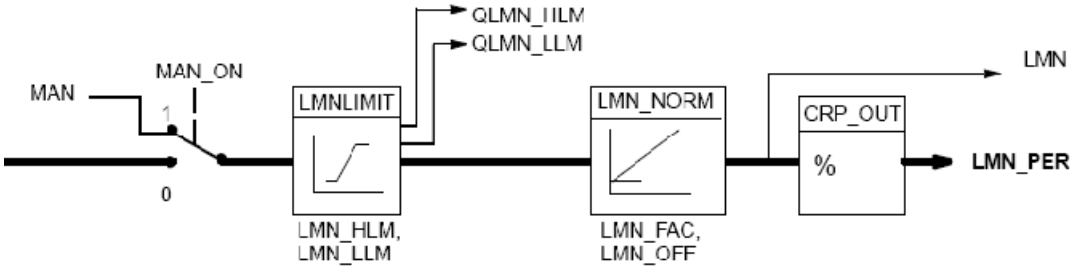


Figura 148

Diagrama de bloques de la zona inferior del regulador CONT_C incluido en el FB41.

DISV: este parámetro permite añadir o restar un valor a la salida que proporciona el regulador, para simular una perturbación en el proceso.

Por último, están los parámetros de configuración de la salida originada por el regulador, para utilizarlas manual o automáticamente, para establecer límites y preparar la salida provisional en porcentajes, números reales y en formato de periferia.

MAN_ON: Todos los reguladores pueden funcionar e n manual o e n automático. Si este bit es "1", el valor del parámetro MAN se transfiere a la salida del regulador. Por ejemplo, si MAN = 50.0, en la salida se obtienen 5 V.

Cuando el parámetro MAN_ON es "0", el regulador está en modo automático y calcula la salida según la fórmula indicada anteriormente:

$$LMN(t) = GAIN \cdot \left[ER + \frac{1}{TI} \int ER \cdot dt + TD \cdot \frac{d(ER)}{dt} \right]$$

Función LMNLIMIT: a veces es conveniente limitar la salida que genera el regulador, por ejemplo, cuando no es conveniente abrir o cerrar del todo una válvula (por problemas de seguridad). Dichos límites se definen mediante los siguientes parámetros:

LMN_HLM: es el límite superior que genera el regulador. Funciona tanto en manual como en automático, y este límite no se supera nunca. Si se suponen las siguientes características: LMN_HLM = 70.0 %, el regulador en modo manual y MAN = 80.0 %, la salida máxima será del 70 %, es decir, de 7 V en caso de (0 … 10V).

Cuando el valor de salida es superior a LMN_HLM, se activa otro parámetro binario, QLMN_HLM, que indica que se ha alcanzado el valor máximo de salida. Según el valor de este bit, el autómata puede realizar la acción que corresponda en cada caso.

LMN_LLM: Es el límite inferior que genera el regulador. Funciona tanto en manual como en automático, y este límite de salida nunca será menor que el parámetro LMN_LLM. Si se suponen las siguientes características: LMN_LLM = 20.0 %, el regulador en modo manual y MAN = 10.0 %, la salida máxima también sería del 20 %, es decir, de 2 V en caso de (0 …
10V).

Cuando el valor de salida es inferior a LMN_LLM, se activa otro parámetro binario, QLMN_LLM, que indica que se ha alcanzado el valor mínimo de salida. Según el valor de este bit, el autómata debe realizar las acciones o correcciones que correspondan si se cree necesario.

Función LMN_NORM: se utiliza para normalizar la salida originada por el regulador y convertirla en porcentaje, según la función de entrada PV_NORM y conforme a la fórmula:

$$LMN = LMNLIMIT \cdot LMN_FAC + LMN_OFF$$

LMN_FAC: este parámetro multiplica la salida del regulador.
LMN_OFF: este parámetro añade un offset a la salida. Los dos son números reales.

LMN: es la salida de la función LMN_NORM, y proporciona la salida definitiva en porcentaje (sólo de lectura).

La función CPR_OUT convierte automáticamente el valor real de salida en número entero, aplicando un escalado, y el resultado lo proporciona en el parámetro LMN_PER, según la fórmula:

$$LMN_PER = LMN \cdot \frac{27648}{100}$$

Normalmente a este parámetro se le asocia la dirección de la salida analógica a la que está conectado el actuador (PAW XXX).

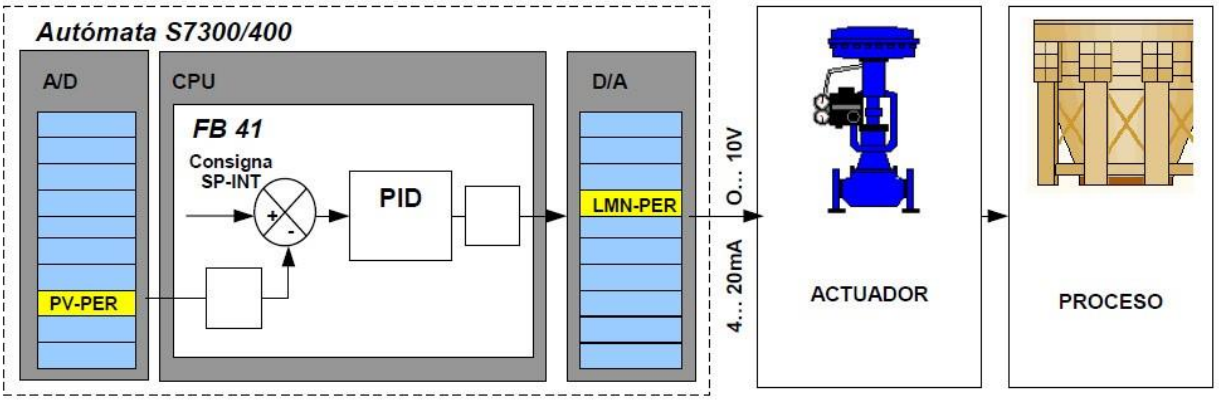


Figura 149

Un actuador conectado a un Autómata S7 300/400 que realiza un bucle de regulación PID con el FB 41 para controlar un proceso.

Las relaciones entre los valores de salida en porcentaje, números enteros (periféricos) y valores analógicos son:

0 %	…….....	0	……	0 V/4 mA
50 %	…….....	13824	……	5 V/12 mA
100 %	…….	27648	……	10 V/20

CYCLE: Este parámetro informa al regulador de cuál es el periodo de muestreo. Su valor debe estar relacionado con la frecuencia con la que se realiza la llamada al bloque FB41.

COMRST: Si se asigna un valor “1” a este parámetro la función FB CONT_C se reinicia (reset). Esta asignación se puede realizar en cualquier momento, pero lo más adecuado es programarlo en el bloque OB100 (cuando el autómata pasa de STOP a RUN). Después del reinicio, los valores acumulados en los parámetros LMN_P, LMN_I y LMN_D se ponen en cero y, por consiguiente, la salida del regulador también es cero. Si el valor de este bit se mantiene en “1”, el regulador queda bloqueado, por lo que resulta necesario ponerlo “0”.

Después de comprender el funcionamiento del bloque entero, antes de programar las funciones mencionadas en un autómata S7, se deben de tener en cuenta los siguientes aspectos:

NÚMERO DE PID FB41 PROGRAMABLES EN LA CPU

El número de bucles programables con el bloque de función FB41 en una determinada CPU se determina conforme a la siguiente fórmula:

CPU Mem. = memoria requerida por el FB + nº de llamadas * tamaño del DB

Si se supone que en una CPU se deben programar 70 bucles PID, la memoria mínima requerida por la
CPU sería la siguiente:

Memoria (Byte) = 2,5 Kbyte (FB41) + 70 * 125 (Byte) = 11310 Byte

Cabe mencionar que cada FB y su correspondiente DB son de un tamaño concreto.

CÁLCULO DEL TIEMPO MÍNIMO DE MUESTREO (CYCLE)

Cuando aparte de la memoria, el nº de PID a programar es grande, el parámetro CYCLE es muy relevante, y hay que estimar su valor adecuadamente.

- En las CPU de la gama S7300, para realizar la función FB41 se requiere entre ≈ 1.1 ms y 1.63 ms, y en las CPU de la gama S7400, entre ≈ 54 Ws y 185 Ws, según la versión de la CPU.

- Se deben realizar los bloques FB cíclicamente. Por lo tanto, cuando se trate de una CPU S7300 se programan en el OB35 y, cuando se trate de una CPU S7400 en los bloques OB32, OB33, OB34 y OB35.

Un tiempo base de 20 ms en las CPU S7300 y de 5 ms en las CPU S7400 es suficiente teniendo en cuenta los tiempos de reacción de los procesos que se están tratando en este documento.

• Cuantos más bucles FB41 se programen en el bloque OB35, mayor efecto tendrá en el tiempo de ejecución del bloque principal OB1. Por lo tanto, el tiempo definido en el parámetro CYCLE de los FB41 se basa en la siguiente fórmula empírica:

En las CPU S7300, CYCLE = 20 ms * cantidad de reguladores

En las CPU S7400, CYCLE = 5 ms * cantidad de reguladores

Normalmente, el tiempo de ejecución del OB35 y el tiempo del parámetro CYCLE debe ser el mismo, según la cantidad de PID programados.

PULSEGEN: Modulación de ancho de impulsos para reguladores PID
El bloque de función PULSEGEN sirve para crear un regulador PID con salida de impulsos para actuadores proporcionales.
El bloque de función PULSEGEN permite estructurar reguladores PID de dos o tres puntos con modulación de ancho de impulsos. La función se utiliza casi siempre en combinación con el regulador continuo CONT_C

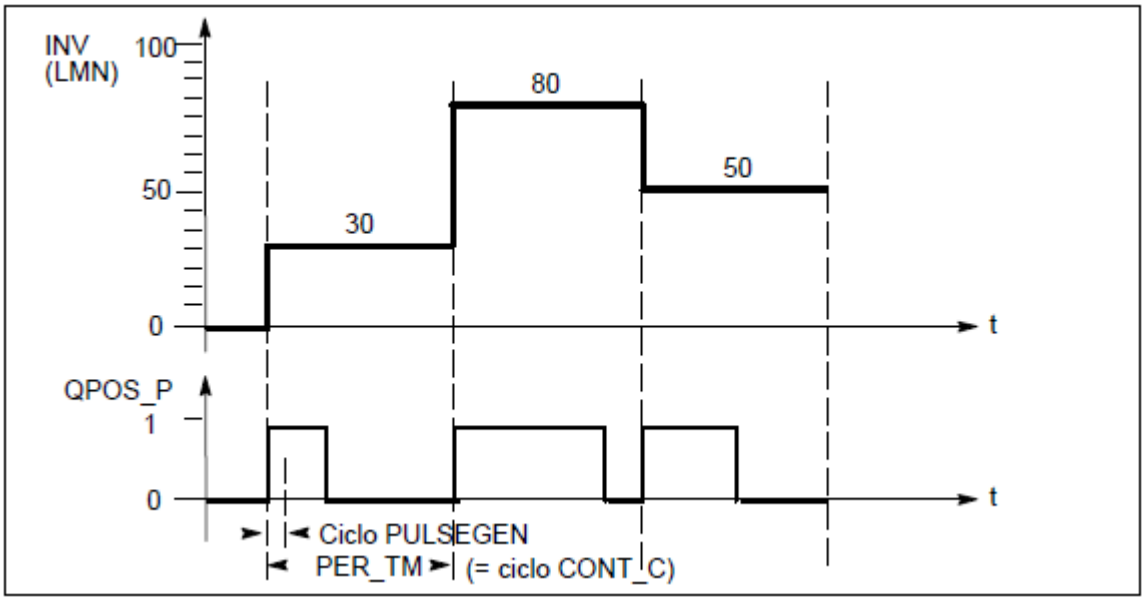


Figura 150

Modulación de ancho de impulsos

Una magnitud de entrada del 30 % y 10 llamadas del FB ”PULSEGEN” por cada PER_TM significan:

– ”uno” en la salida QPOS para las primeras tres llamadas del FB ”PULSEGEN” (30 % de 10 llamadas)
– ”uno” en la salida QPOS para las tres primeras llamadas del FB ”PULSEGEN” (70% de 10 llamadas)

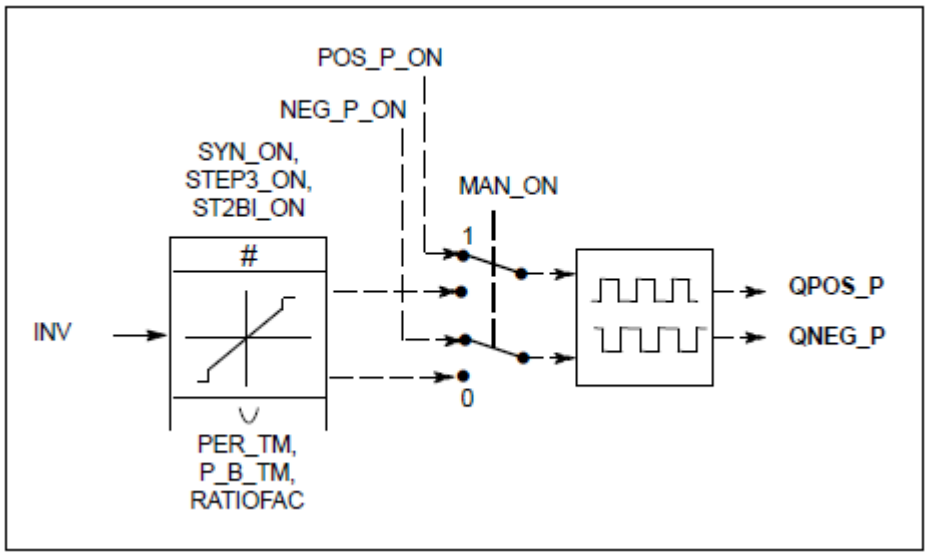


Figura 151

Esquema de bloques de PULSEGEN
PARAMETROS DE ENTRADA

Para metro	Tipo de datos	Valores posibles	Por defecto	Descripción
INV	REAL	-100.0...100.0 (%)	0.0	INPUT VARIABLE / Variable de entrada En el parámetro de entrada ”Variable de entrada” se aplica una magnitud de valor manipulado analógica.
PER_TM	TIME	>=20*CYCLE	T#1s	PERIOD TIME / Período En el parámetro ”Período” se introduce la duración de período constante de la modulación de ancho de impulsos. La duración corresponde al tiempo de muestreo del regulador. La relación entre el tiempo de muestreo del formador de impulsos respecto al tiempo de muestreo del regulador determina la

				precisión de la modulación del ancho de impulsos.
P_B_TM	TIME	>= CYCLE	T#0ms	MINIMUM PULSE/BREAK TIME / Duración mínima de impulso o duración mínima de pausa En el parámetro ”Duración mínima de impulso o duración mínima de pausa” puede parametrizarse una longitud mínima de impulso o de pausa.
RATIOFAC	REAL	0.1 ...10.0	1.0	RATIO FACTOR / Factor de relación Este parámetro permite modificar la relación de la duración de impulsos negativos a impulsos positivos. En un proceso térmico, esto permite compensar diferentes constantes de tiempo para calentar y enfriar (por ejemplo, con calefacción eléctrica o refrigeración por agua).
STEP3_ON	BOOL		TRUE	THREE STEP CONTROL ON / Conectar regulación de tres puntos En el parámetro de entrada “Conectar regulación de tres puntos” se activa el correspondiente modo de operación. En la regulación de tres puntos trabajan ambas señales de salida.
ST2BI_ON	BOOL		FALSE	TWO STEP CONTROL FOR BIPOLAR MANIPULATED VALUE RANGE ON / Conectar regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar En el parámetro “Conectar regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar” puede seleccionarse entre los modos de operación “Regulación de dos puntos para margen de valores manipulados bipolar” y “Regulación de dos puntos para margen de

				valores manipulados unipolar". Debe ser aquí STEP3_ON = FALSE.
MAN_ON	BOOL		FALSE	MANUAL MODE ON / Conectar modo manual Activando el parámetro de entrada "Conectar modo manual" es posible forzar a mano las señales de salida.
POS_P_ON	BOOL		FALSE	POSITIVE MODE ON / Impulso positivo ON En modo manual de una regulación de tres puntos, el parámetro de entrada "Impulso positivo ON" permite forzar la señal de salida QPOS_P. En modo manual de una regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.
NEG_P_ON	BOOL		FALSE	NEGATIVE PULSE ON / Impulso negativo ON En modo manual de una regulación de tres puntos, el parámetro de entrada "Impulso negativo ON" permite forzar la señal de salida QNEG_P. En modo manual de una regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.

Tabla 21

Parámetro	Tipo de datos	valores posibles	Por defecto	Descripción
SYN_ON	BOOL		TRUE	SYNCHRONISATION ON / Conectar sincronización Activando el parámetro de entrada "Conectar sincronización", es posible sincronizar automáticamente la salida de impulsos con el bloque que actualiza la magnitud de entrada

				INV. De esta forma queda garantizado que una magnitud de entrada cambiante salga también lo más rápidamente posible como impulso.
COM_RST	BOOL		TRUE	COMPLETE RESTART / Rearranque completo El bloque tiene una rutina de rearranque completo que se ejecuta cuando está activada la entrada “Rearranque completo”.
CYCLE	TIME	>= 1ms	FALSE	SAMPLE TIME / Tiempo de muestreo El tiempo entre las llamadas de bloque debe ser constante. La entrada “Tiempo de muestreo” indica el tiempo entre las llamadas de bloque.

Tabla 22

Parámetro de salida

Parámetro	Tipo de datos	valores posibles	Por defecto	Descripción
QPOS_P	BOOL		FALSE	OUTPUT POSITIVE PULSE / Señal de salida de impulso positivo El parámetro de salida “Señal de salida de impulso positivo” está activado cuando debe emitirse un impulso. En la regulación de tres puntos es el impulso positivo. En la regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.
CYCLE	BOOL		FALSE	OUTPUT NEGATIVE PULSE / Señal de salida de impulso negativo El parámetro de salida “Señal de salida, impulso negativo” está activado cuando debe emitirse un impulso. En la regulación de tres puntos es el impulso negativo. En la regulación de dos puntos, QNEG_P está siempre invertida respecto a QPOS_P.

Tabla 23

4.5 Prueba de respuesta transiente de controlador PID en PLC.

A continuación, como ejemplo de aplicación, se muestra el ajuste necesario y el comportamiento del proceso de la figura 12 cuando se controla con el bloque PID FB41 (CONT_C).

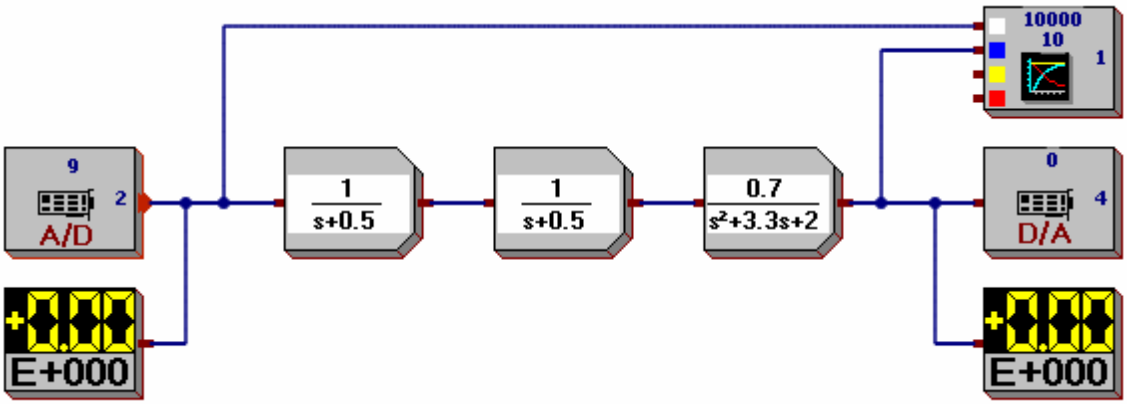


Figura 152

Proceso a controlar.

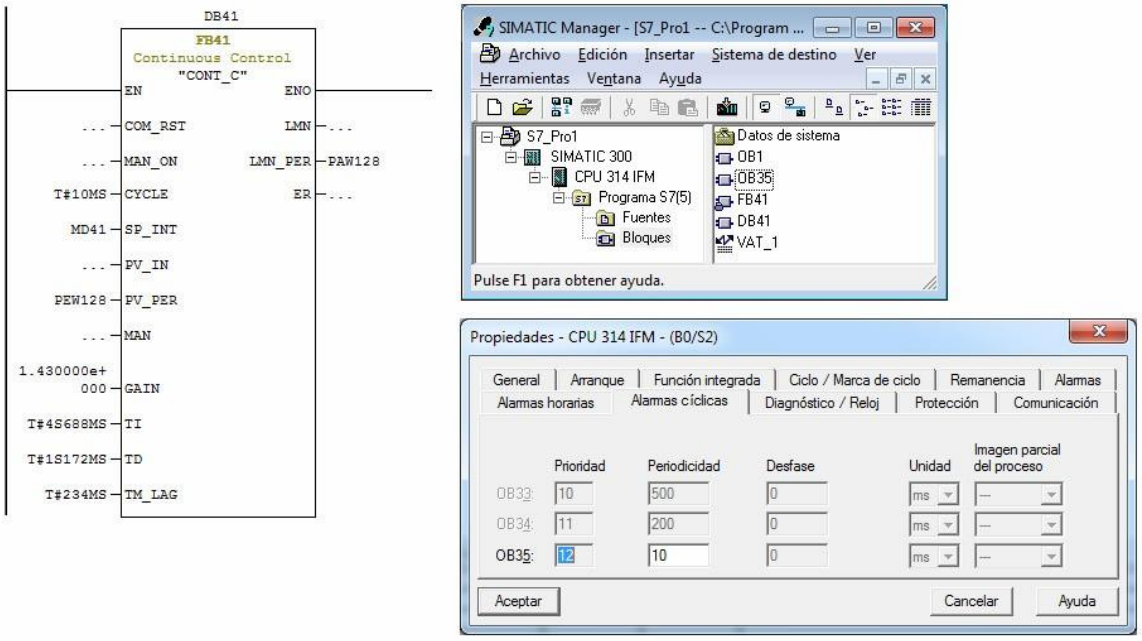


Figura 153

OB35 con la llamada al bloque FB41 y ajuste del tiempo de ejecución.

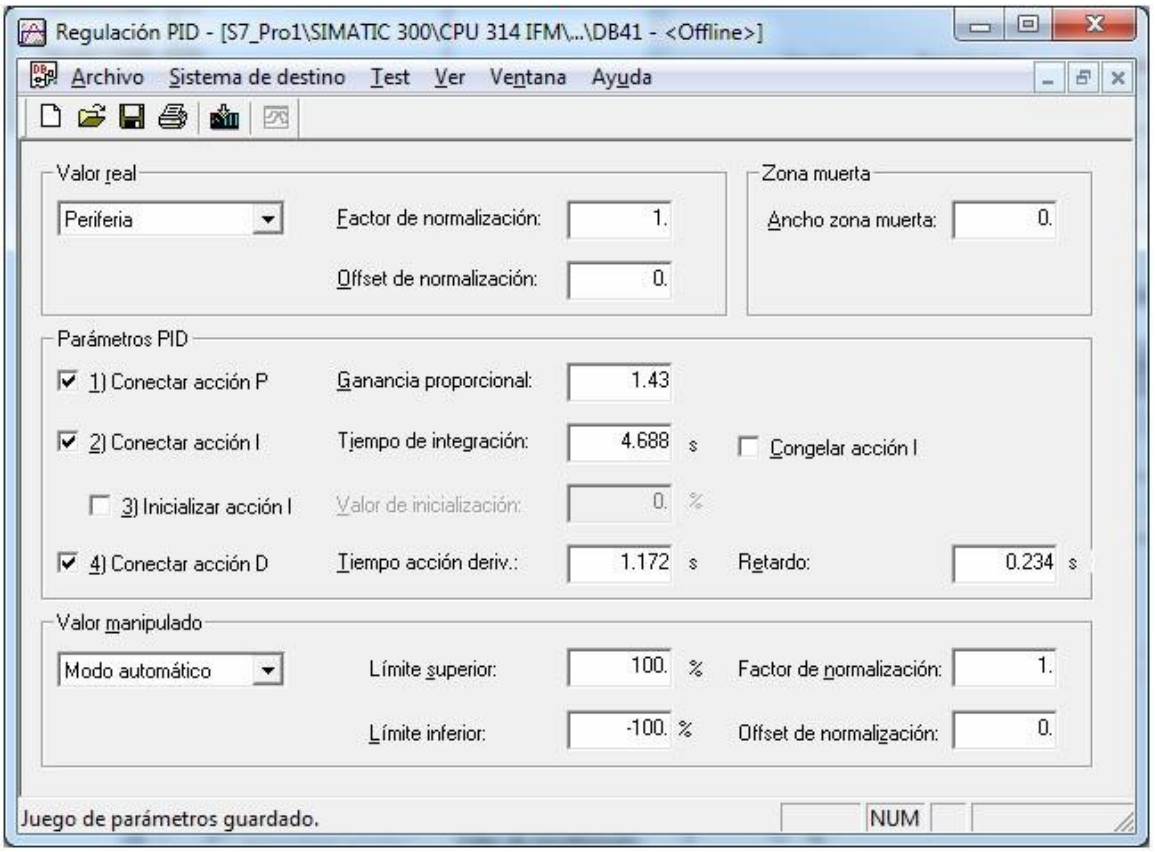


Figura 154

Ajuste de los parámetros del regulador PID.

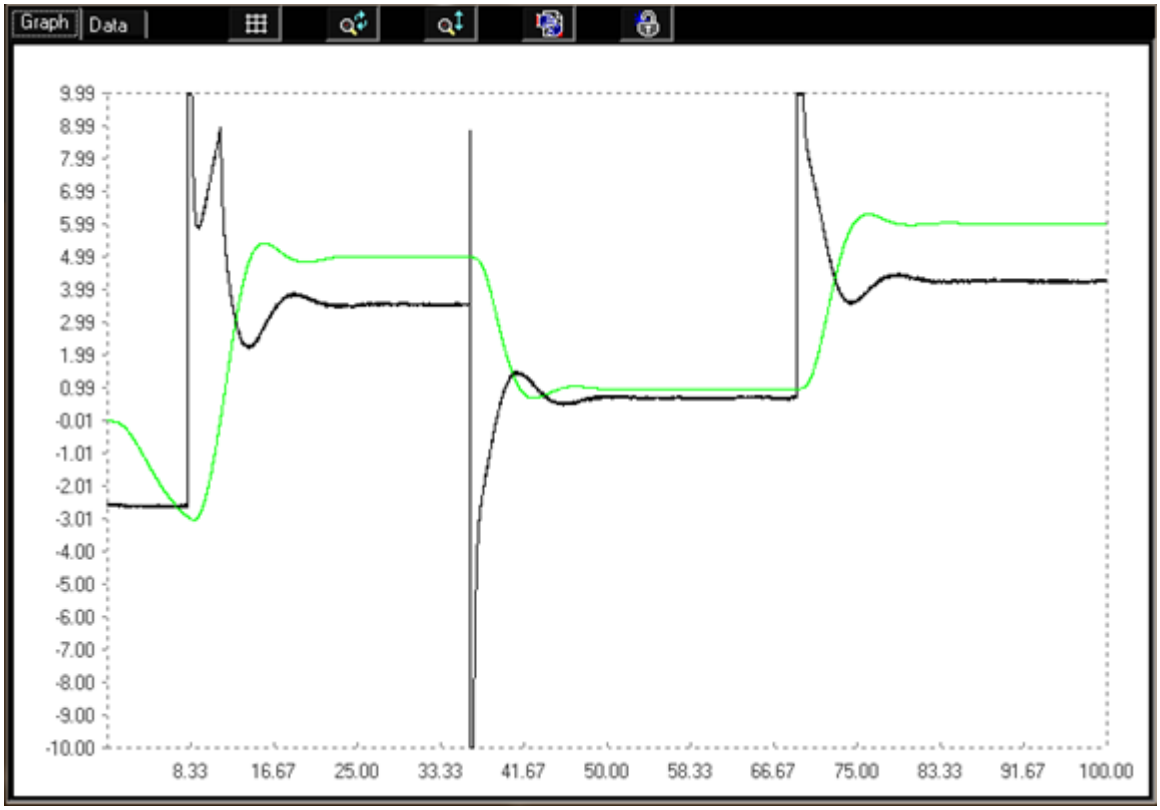


Figura 155

Evolución de la respuesta del proceso (morado) en bucle cerrado con el PID ajustado. En blanco la actuación del PID.

DB-Param - [@DB41 -- S7_Pro1\SIMATIC 300\CPU 314 IFM ONLINE]

Bloque de datos Edición Sistema de destino Test Ver Ventana Ayuda

Direcc	D	Nombre	Tipo	@Valor act	Comentario
0.0	in	COM_RST	BOOL	FALSE	complete restart
0.1	in	MAN_ON	BOOL	FALSE	manual value on
0.2	in	PVPER_ON	BOOL	TRUE	process variable peripherie on
0.3	in	P_SEL	BOOL	TRUE	proportional action on
0.4	in	I_SEL	BOOL	TRUE	integral action on
0.5	in	INT_HOLD	BOOL	FALSE	integral action hold
0.6	in	I_ITL_ON	BOOL	FALSE	initialization of the integral action
0.7	in	D_SEL	BOOL	TRUE	derivative action on
2.0	in	CYCLE	TIME	T#10MS	sample time
6.0	in	SP_INT	REAL	60.0	internal setpoint
10.0	in	PV_IN	REAL	0.0	process variable in
14.0	in	PV_PER	WO...	W#16#40D0	process variable peripherie
16.0	in	MAN	REAL	0.0	manual value
20.0	in	GAIN	REAL	1.43	proportional gain
24.0	in	TI	TIME	T#4S688MS	reset time
28.0	in	TD	TIME	T#1S172MS	derivative time
32.0	in	TM_LAG	TIME	T#234MS	time lag of the derivative action
36.0	in	DEADB_W	REAL	0.0	dead band width
40.0	in	LMN_HLM	REAL	100.0	manipulated value high limit
44.0	in	LMN_LLM	REAL	-100.0	manipulated value low limit
48.0	in	PV_FAC	REAL	1.0	process variable factor
52.0	in	PV_OFF	REAL	0.0	process variable offset
56.0	in	LMN_FAC	REAL	1.0	manipulated value factor
60.0	in	LMN_OFF	REAL	0.0	manipulated value offset
64.0	in	I_ITLVAL	REAL	0.0	initialization value of the integral action
68.0	in	DISV	REAL	0.0	disturbance variable
72.0	o	LMN	REAL	43.03844	manipulated value
76.0	o	LMN_PER	WO...	W#16#2E7B	manipulated value peripherie
78.0	o	QLMN_HLM	BOOL	FALSE	high limit of manipulated value reached
78.1	o	QLMN_LLM	BOOL	FALSE	low limit of manipulated value reached
80.0	o	LMN_P	REAL	-0.01655052	proportionality component
84.0	o	LMN_I	REAL	43.01907	integral component
88.0	o	LMN_D	REAL	0.03592082	derivative component
92.0	o	PV	REAL	60.01157	process variable
96.0	o	ER	REAL	-0.01157379	error signal
100.0	s.	sInvAlt	REAL	-0.01655052	
104.0	s.	sIanteilAlt	REAL	43.01907	
108.0	s.	sRestInt	REAL	2.36847E-...	
112.0	s.	sRestDif	REAL	8.731149E...	
116.0	s.	sRueck	REAL	-0.02356918	
120.0	s.	sLmn	REAL	43.03844	
124.0	s.	sbArwHLmOn	BOOL	FALSE	
124.1	s.	sbArwLLmOn	BOOL	FALSE	
124.2	s.	sbILimOn	BOOL	TRUE	

Figura 156

El bloque de datos de instancia DB41 conectado online con el Autómata.

Ejemplo con el bloque PULSEGEN

Lazo de regulación El bloque de regulación continua CONT_C y el formador de impulsos PULSEGEN permiten realizar un regulador de consigna fija con salida de impulsos para gobernar actuadores de acción proporcional. La figura muestra el diagrama de principio del bucle de regulación

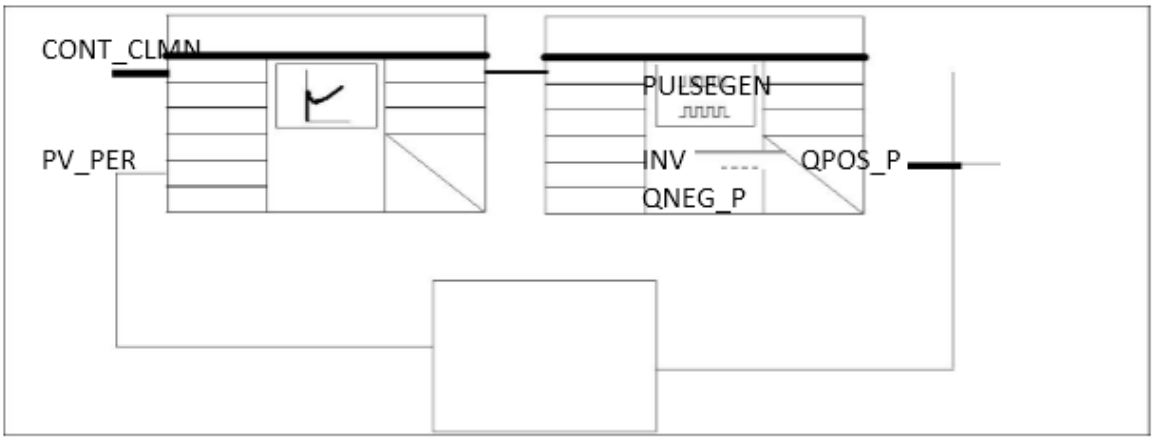


Figura 157

Sistema o proceso con salida de impulsos

Lazo de regulación

El regulador continuo CONT_C suministra el valor manipulado LMN que es convertido por el formador de impulsos PULSEGEN en una señal de impulsos con ciclo de trabajo variable QPOS_P o QNEG_P.

Llamada del bloque e interconexión

El regulador de valor de consigna fija con salida de impulsos para actuadores proporcionales PULS_CTR se compone de los bloques CONT_C y PULSEGEN. La llamada de bloques está gestionada de la forma siguiente. CONT_C se llama cada 2 s (=CYCLE*RED_FAC); PULSEGEN se llama cada 10 ms (=CYCLE). El tiempo de ciclo del OB35 está ajustado a 10 ms. La interconexión está representada en la figura. En caso de rearranque, el bloque PULS_CTR se llama en el OB100 y la entrada COM_RST se posiciona en TRUE.

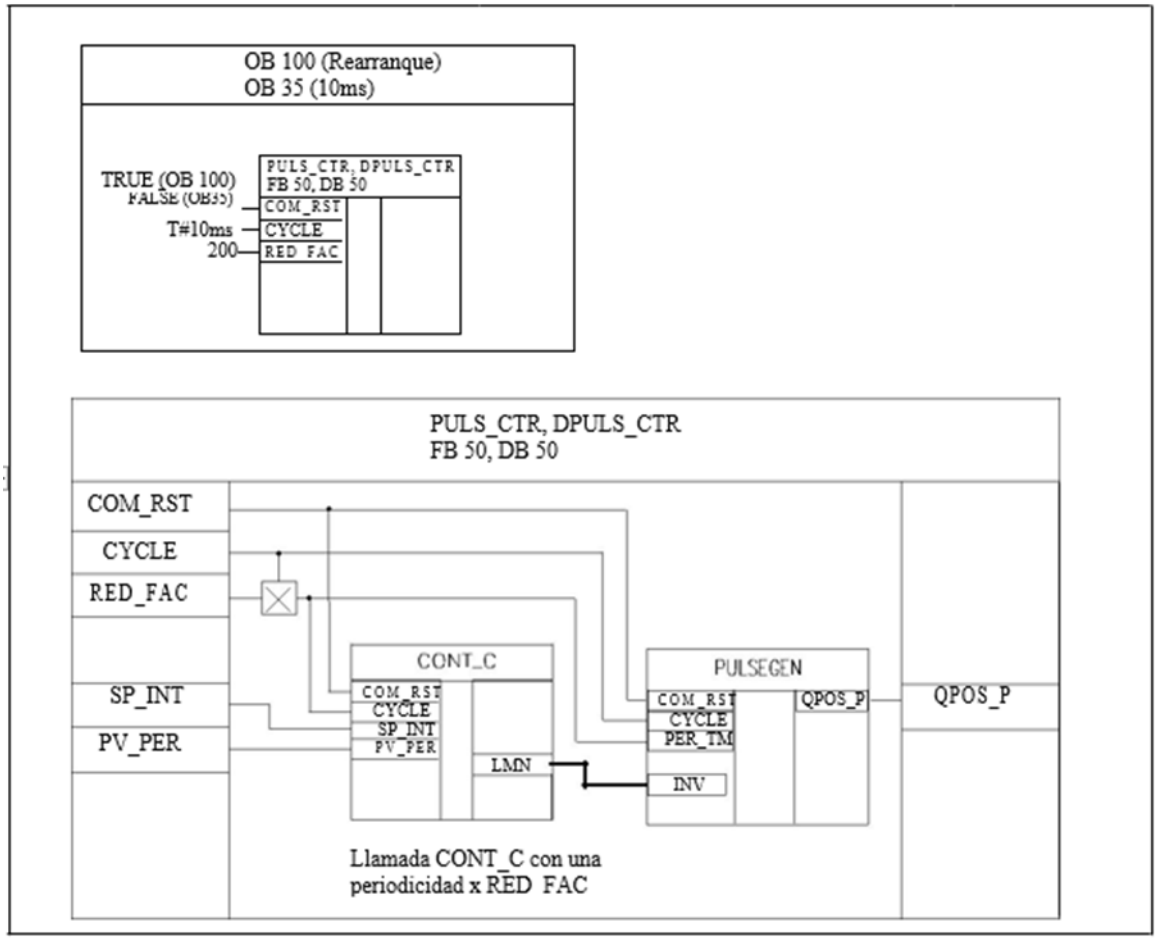

OB 100 (Rearranque)
OB 35 (10ms)
TRUE (OB 100)
FALSE (OB35)
T#10ms
200
PULS_CTR, DPULS_CTR
FB 50, DB 50
COM_RST
CYCLE
RED_FAC
PULS_CTR, DPULS_CTR
FB 50, DB 50
COM_RST
CYCLE
RED_FAC
SP_INT
PV_PER
CONT_C
COM_RST
CYCLE
SP_INT
PV_PER
LMN
PULSEGEN
COM_RST
CYCLE
PER_TM
INV
QPOS_P
QPOS_P
Llamada CONT_C con una
periodicidad x RED FAC

Figura 158

Actividad N° 4

SINTONIZACION DE CONTROLADORES UTILIZANDO PLC

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para implementar un lazo de control en una planta industrial. La cual consiste en utilizando PLC Quantum y a través de bloques PID y técnicas de sintonización de controladores.

Aprendizaje Esperado, Matriz: Diagnosticar variable en canal de entrada y su respuesta según la configuración de PLC (en cuanto a su amplitud, tiempo de respuesta y dirección) y procedimientos.

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Aplicar técnicas de sintonización de controlador utilizando bloque controlador PID en PLC Quantum lazo de control en un simulador de planta industrial.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Identificar componentes de un lazo cerrado con control PID
- Leer descripción de bloque e interpretar algoritmo del controlador.
- Sintonizar el proceso utilizando un PLC

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que realicen la implementación y puesta en marcha de aplicación de PLC utilizando bloque PID para el control de planta industrial para estudio.

Materiales y Recursos (Por grupos)

- PLC Quantum
- PC operativo.
- Software de programación de PLC
- Herramientas necesarias para la implementación.
- Planta industrial para estudio.

Seguridad:
En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
  - Casco (si aplica)
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad
  - Guantes de faena (si aplica)
  - Chaleco reflectante (si aplica)
  - Protector auditivo. (si aplica)

- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

1.- Identificación las características del lazo a controlar

1.1.- Identificar SP, PV, OUT del Controlador (Dibujar Diagrama)

1.2.- Identificar la instrumentación asociada:
Sensor:_____
_____
_____
_____
_____
_____

Actuador:_____
_____
_____
_____
_____
_____

Controlador:_____
_____
_____
_____
_____
_____

2.- En las páginas siguiente (3 y 4) dibujar el diagrama P&ID del lazo utilizando Norma ISA S5.1 y el diagrama de Lazo (Conexiones de señales entre los instrumentos).

Dibujo:_____ **Revisó:**_____ **Aprobo:**__	Laboratorio de Instrumentación y Control **PI&D Nº1** _____

Dibujo:_____ **Revisó:**_____ **Aprobo:**__	Laboratorio de Instrumentación y Control **Diagrama de Lazo**

3.- Conectar la instrumentación de acuerdo al diagrama de lazo implementado. Utilizar la información anexa que se entrega.

4.- Establecer las pautas de trabajo, coordinar con los otros grupos de trabajo en el taller y proceder a realizar la Sintonía del Controlador.

Anotar algunos parámetros de K, Ti y Td y mencionar el efecto sobre la respuesta en el sistema.

4.1.- Situación 1:

_____
_____
_____
_____
_____

4.2.- Situación 2:

_____
_____
_____
_____
_____

4.3.- Situación 3:

_____
_____
_____
_____
_____

4.4.- Situación 4:

_____
_____
_____
_____
_____

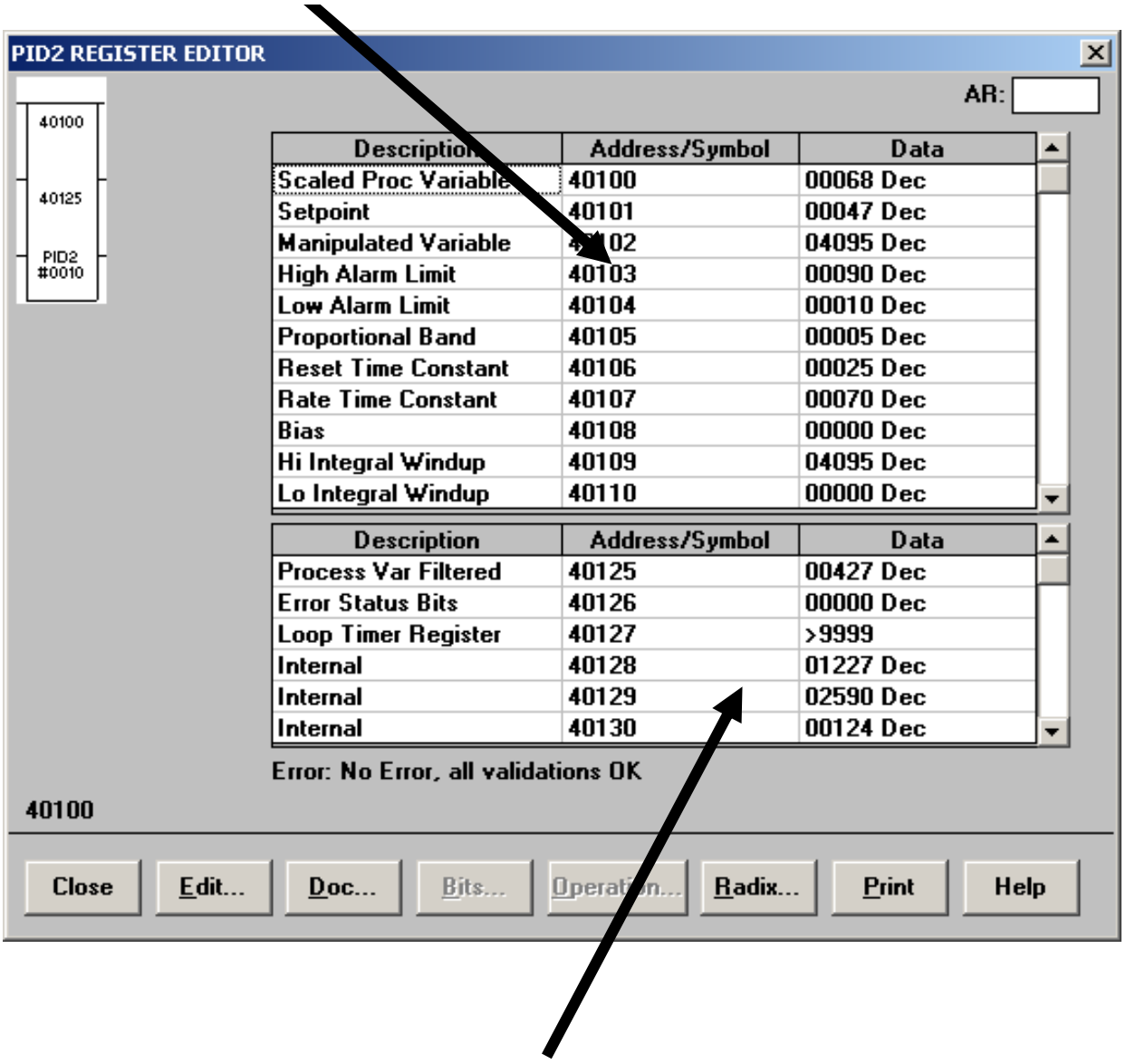
Bloque PID2.

Función lectura en r

Función de lectura de canal analógi

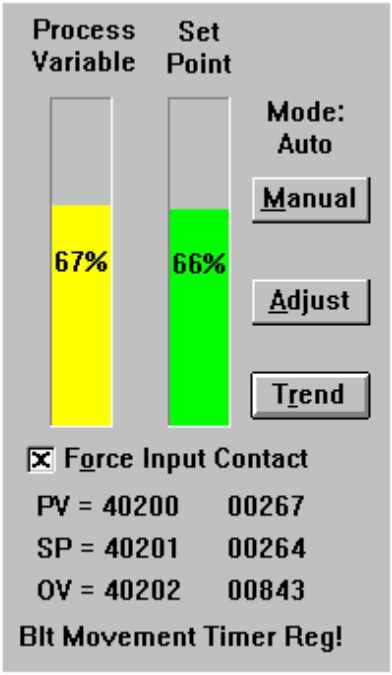
Edición de Registros en Bloque PID2 .

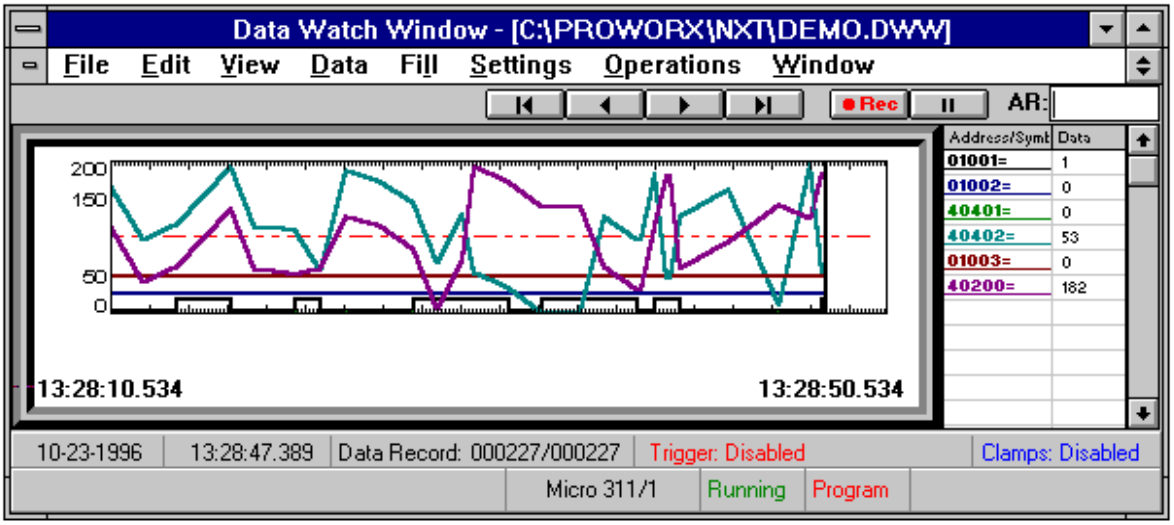
Ventana con 21 registros para la configuración del PID2



Ventana con 9 registros de status del PID2

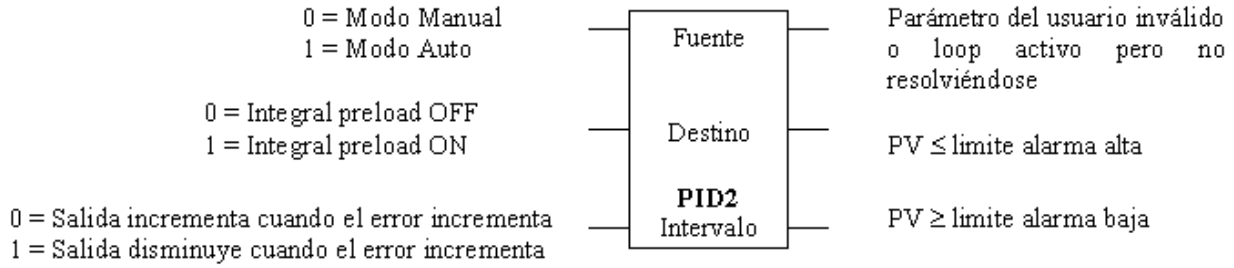
Al estar on-line, podemos entrar al menú Data/PID Summary y se puede trabajar con el Face Plate del controlador y además ver gráficos de tendencia.





Estructura del Bloque PID2 de los PLC Modicon

Representación del Bloque PID2.



Entradas

El bloque PID2 tiene tres controles de mando. El estado de la entrada al nodo superior, determina si el funcionamiento comenzará automáticamente o manualmente. El estado de la entrada al nodo medio, indica si se usa o no la pre carga integrativa, para optimizar el funcionamiento del controlador Integral. El estado de la entrada al nodo inferior, indica si la salida de la operación aumentaría o disminuiría cuando el error se incrementa.

Salidas

PID2 pueden producir tres posibles salidas, cada uno indica una condición de error.

Contenido Nodo superior

Los registros 4x que se entra en el nodo superior es el primero de los 21 registros de tenencia inmediatos en el bloque fuente. Los contenidos del quinto octavo registros implícitos determinan si el funcionamiento será P, PI, o PID.
El bloque fuente comprende las siguientes asignaciones de registros:

Registro	**Nombre**	**Contenido**
Visualizado **(40100)**	PV escalado	El bloque lo carga cada vez que se realiza una exploración; en el registro 40113 se realiza un escalado linear con los rangos alto y bajo de los registros 40111 y 40112: PV escalado = (40113 / 4095) * (40111 - 40112) + 40112
Primer implícito **(40101)**	SP	El valor de consigna debe especificarse en unidades físicas; dicho valor deberá ser < el valor del decimoprimer registro implícito y > el valor del duodécimo registro implícito.

Segundo implícito **(40102)**	Mv	El bloque lo carga cada vez que se resuelve el bucle; está fijo en el rango de 0 ... 4095, lo que hace que la salida sea compatible con un módulo de salida analógica; el registro de magnitud de posicionado se puede utilizar para realizar más cálculos en la CPU, como bucles de cascada.
Tercer implícito **(40103)**	Límite superior de Alarma	Cargue un valor en este registro para especificar una alarma superior para PV (en o por encima de SP); introduzca el valor en unidades físicas dentro del rango especificado en los registros implícitos undécimo y duodécimo.
Cuarto implícito **(40104)**	Límite inferior de alarma	Cargue un valor en este registro para especificar una alarma inferior para PV (en o por encima de SP); introduzca el valor en unidades físicas dentro del rango especificado en los registros implícitos undécimo y duodécimo.
Quinto implícito **(40105)**	Banda proporcional	Cargue este registro con la constante proporcional deseada en el rango 5 ... 500; cuanto menor sea el número, mayor será la componente proporcional; es necesario que haya un número válido en este registro para que PID2 funcione.
Sexto implícito **(40106)**	Constante de tiempo de reseteado	Cargue este registro para añadir una acción integral al cálculo; introduzca un valor entre 0000 ... 9999 para representar un rango de 00,00 ... 99,99 repeticiones/minuto; cuanto mayor sea el número, mayor será la componente integral; un valor > 9999 detiene el cálculo PID2.

Séptimo implícito **(40107)**	Constante de tiempo de crecimiento	Cargue este registro para añadir una acción diferencial al cálculo; introduzca un valor entre 0000 ... 9999 para representar un rango de 00.00 ... 99,99 minutos; cuanto mayor sea el número, mayor será la componente diferencial; un valor > 9999 detiene el cálculo PID2.
Octavo implícito **(40108)**	Bias	Cargue este registro para añadir un bias a la salida; el valor debe estar entre 000 .... 4095, y se añadirá directamente a Mv, independientemente de si el término integral está o no activado.

Noveno implícito **(40109)**	Límite superior de Saturación de la integral	Cargue este registro con el límite superior del valor de salida (entre 0 ... 4095) donde tiene efecto el reseteado antisaturación; la actualización de la suma integral se detiene si rebasa este valor (que normalmente es 4095).
Décimo implícito **(40110)**	Límite inferior de Saturación de la integral	Cargue este registro con el límite inferior del valor de salida (entre 0 ... 4095) donde tiene efecto el reseteado antisaturación (normalmente es 0).
Undécimo implícito **(40111)**	Rango físico superior	Cargue este registro con el valor más alto para el que se utiliza el mecanismo de medida, por ejemplo, si el margen de resistencia de temperatura de un mecanismo va de 0 ... 500 grados C, el valor del rango físico superior es 500; el rango se dará como un entero positivo entre 0001...9999, correspondiendo a la entrada analógica bruta 4095.
Duodécimo implícito **(40112)**	Rango físico inferior	Cargue este registro con el valor más bajo para el que se utiliza el mecanismo de medida; el rango se dará como un entero positivo entre 0 ... 9998, y deberá ser menor que el valor en el décimo primer registro implícito; corresponde a la entrada analógica bruta 0.

Decimotercero implícito **(40113)**	Medición del valor Analógico bruto	El programa lógico carga este registro con PV; la medida debe estar escalada y ser linear en el rango 0 ... 4095.
Decimocuarto implícito **(40114)**	Pointer al registro de contador de bucle	El valor que se carga en este registro señala al registro que contabiliza el número de bucles resueltos en cada ciclo; la entrada viene determinada mediante el rechazo del dígito más significativo en el registro donde el controlador contabilizará los bucles resueltos/ciclo, por ejemplo, si el PLC realiza la contabilización en el registro 41236, carga 1236 al decimocuarto registro implícito; se deberá cargar el mismo valor en el decimocuarto registro implícito en cada bloque PID2 del programa lógico.

Decimoquinto implícito **(40115)**	Número máximo de bucles	Resueltos en un ciclo: Si el decimocuarto registro implícito contiene un valor distinto de cero, podrá cargar un valor en este registro para limitar el número de bucles que se deben resolver en un ciclo.
Decimosexto implícito **(40116)**	Pointer a la entrada de realimentación de reseteado:	El valor que se carga en este registro apunta al registro de salida que contiene el valor de realimentación (F); quite el cuatro del registro de retorno e introduzca los cuatro dígitos restantes en este registro; los cálculos de la integración dependen del valor F que puede variar de 0 ... 4095
Decimoséptimo implícito **(40117)**	Limitación de la salida, superior	El valor introducido en este registro determina el límite superior de Mv (normalmente es 4095).
Decimoctavo implícito **(40118)**	Limitación de la salida, inferior	El valor introducido en este registro determina el límite inferior de Mv (normalmente es 0).

Decimonoveno implícito **(40119)**	Valor límite de la ganancia de crecimiento (RGL), constante	El valor introducido en este registro determina el grado efectivo del filtrado diferencial, el rango puede ir de 2 ... 30; cuanto menor sea el valor, mayor será el filtrado.
Vigésimo implícito **(40120)**	Pointer a precarga integral	El valor introducido en este registro apunta al registro de salida que contiene el valor de la entrada de seguimiento (T); quite el 4 del registro de seguimiento e introduzca los cuatro dígitos restantes en este registro; el valor en el registro T está conectado a la entrada del retardo integral si el bit automático y el bit de precarga integral son reales.

Registro	**Nombre**	**Contenido**
Visualizado **(40125)**	Registro de estado del bucle	Doce de los 16 bits de este registro se utilizan para definir el estado del bucle.
Primer implícito **(40126)**	Bits de estado de error (E)	Este registro muestra códigos de error PID2.
Segundo implícito **(40127)**	Registro de temporizador de bucle	Este registro almacena la lectura en tiempo real del reloj del sistema cada vez que se resuelve el bucle: la diferencia entre el valor actual del reloj y el valor almacenado en el registro es el tiempo transcurrido; si el tiempo

		transcurrido ≥ intervalo de resolución (10 veces el valor dado en el nodo inferior del bloque PID2), el bucle debería resolverse en este ciclo.
Tercer implícito **(40128)**	Para uso interno	Integral (parte del entero)
Cuarto implícito **(40129)**	Para uso interno	Integral-fracción 1 (1/3.000)
Quinto implícito **(40130)**	Para uso interno	Integral-fracción 2 (1/600.000)
Sexto implícito **(40131)**	Pv x 8(Filtrado)	Este registro almacena el resultado de la entrada analógica filtrada (desde el registro 40114) multiplicado por 8; este valor es útil en las operaciones de control diferencial.
Séptimo implícito **(40132)**	Valor absoluto de E	Este registro, que se actualiza después de cada resolución de bucle, contiene el valor absoluto de (SP - PV); el bit 8 del registro 40126 indica el signo de E.
Octavo implícito **(40133)**	Para uso interno	Intervalo de resolución actual

(Registro 40125)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Bit	Función
1	Estado de salida superior (participante desconectado o error de parámetro).
2	Estado de salida intermedia (alarma superior).
3	Estado de salida inferior (alarma inferior).
4	Bucle en servicio automático y tiempo desde la última resolución ≥ intervalo de resolución.
5	Servicio Wind-Down (para versión B o mayor).
6	Bucle en servicio automático, pero no resuelve.
7	El registro 40114 referenciado por 40115 es válido.
8	Signo de E en 40132: 0 = + (más) 1 = - (menos)
9	Versión B o mayor.
10	Límite de saturación de la integral nunca se define.
11	Saturación de la integral saturada.
12	Valores negativos en la ecuación.
13	Estado de la entrada inferior (modalidad de trabajo directa/inversa).
14	Estado de entrada intermedia (modo de seguimiento) 1 = seguimiento

	0 = sin seguimiento
15	Estado de la entrada superior (MAN/AUTO).
16	El bit 16 se define tras el arranque o la instalación del bucle. Si se borra el bit, las acciones siguientes se ejecutan en un ciclo: ✓ Se resetea el registro del estado del bucle 40125. ✓ El valor actual del reloj en tiempo real se almacena en el primer registro implícito (40126). ✓ Se borran los valores en los registros tercero al quinto (40127 y 40128). ✓ El valor del décimo tercer registro implícito (40113) x 8 se almacena en el sexto registro implícito (40131). ✓ Se borran los registros implícitos séptimo y octavo (40132 y 40133).

Contenido Nodo Inferior

El asiento inferior indica que se trata de una función PID2 y contiene un número entre 1 y 255 que indica la frecuencia con la que debería ejecutarse la función. El número representa un valor de tiempo en décimas de segundo, por ejemplo el número 17 indica que la función PID se deberá realizar cada 1,7 s.

Contenido Nodo Medio

El registro 4y entrado en el nodo medio es el primero de nueve registros retenido para uso de cálculos de PID2. Usted no necesita cargar en éstos registros:

Registro	Nombre	Contenido
Visualizar	Registro Status de Lazo	Se usan doce de los 16 bits en este registro para definir el estado del lazo:

Contenido Nodo Inferior

El nodo inferior presenta un número que equivale al tiempo de ejecución del PID2. Es equivalente al tiempo de muestreo o al ciclo de SCAN, pero se puede modificar de acuerdo a las características de la aplicación.

Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán identificar las acciones e influencia en el comportamiento de la VP. Variando las constante Kp, Td y Ti del bloque PID. Esta debe entregar una respuesta adecuada al tipo de planta.

Actividad N° 5

SINTONIZACION DE CONTROLADORES CON PLC

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada de una planta industrial. La cual consiste en implementar utilizando PLC Quantum y a través de bloques PID y técnicas de sintonización de controladores.

Aprendizaje Esperado, Matriz: Realizar sintonización de controladores para el buen funcionamiento de lazos de control de plantas industriales

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Sintonización de controlador a base un simulador.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Identificar componentes de un Lazo Cerrado con control PID
- Aplicar conceptos básicos de Control Automático
- Sintonizar el proceso utilizando un PLC

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que realicen la implementación y puesta en marcha de aplicación de PLC utilizando bloque PID para el control de planta industrial para estudio

Materiales y Recursos (por grupo)

- PLC S7-200
- PC operativo.
- Software de programación de PLC
- Herramientas necesarias para la implementación.
- Planta industrial para estudio.

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
  - Casco (si aplica)
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad
  - Guantes de faena (si aplica)
  - Chaleco reflectante (si aplica)
  - Protector auditivo. (si aplica)
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

1.- Identificación las características del lazo a controlar

1.1.- Identificar SP, PV, OUT del Controlador (Dibujar Diagrama)

1.2.- Identificar la instrumentación asociada:

Sensor:_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actuador:_____

_____

_____

_____

_____

_____

Controlador:_____

_____

_____

_____

_____

_____

2.- En las páginas siguiente (3 y 4) dibujar el diagrama P&ID del lazo utilizando Norma ISA S5.1 y el diagrama de Lazo (Conexiones de señales entre los instrumentos).

Dibujo:_____ **Revisó:**_____ **Aprobo:**__	Laboratorio de Instrumentación y Control **PI&D Nº1** _____

Dibujo:_____ **Revisó:**_____ **Aprobo:**__	Laboratorio de Instrumentación y Control **Diagrama de Lazo** _____

3.- Conectar la instrumentación de acuerdo al diagrama de lazo implementado. Utilizar la información anexa que se entrega.

4.- Establecer las pautas de trabajo, coordinar con los otros grupos de trabajo en el taller y proceder a realizar la Sintonía del Controlador.

Anotar algunos parámetros de K, Ti y Td y mencionar el efecto sobre la respuesta en el sistema.

4.1.- Situación 1:

_____
_____
_____
_____
_____

4.2.- Situación 2:

_____
_____
_____
_____
_____

4.3.- Situación 3:

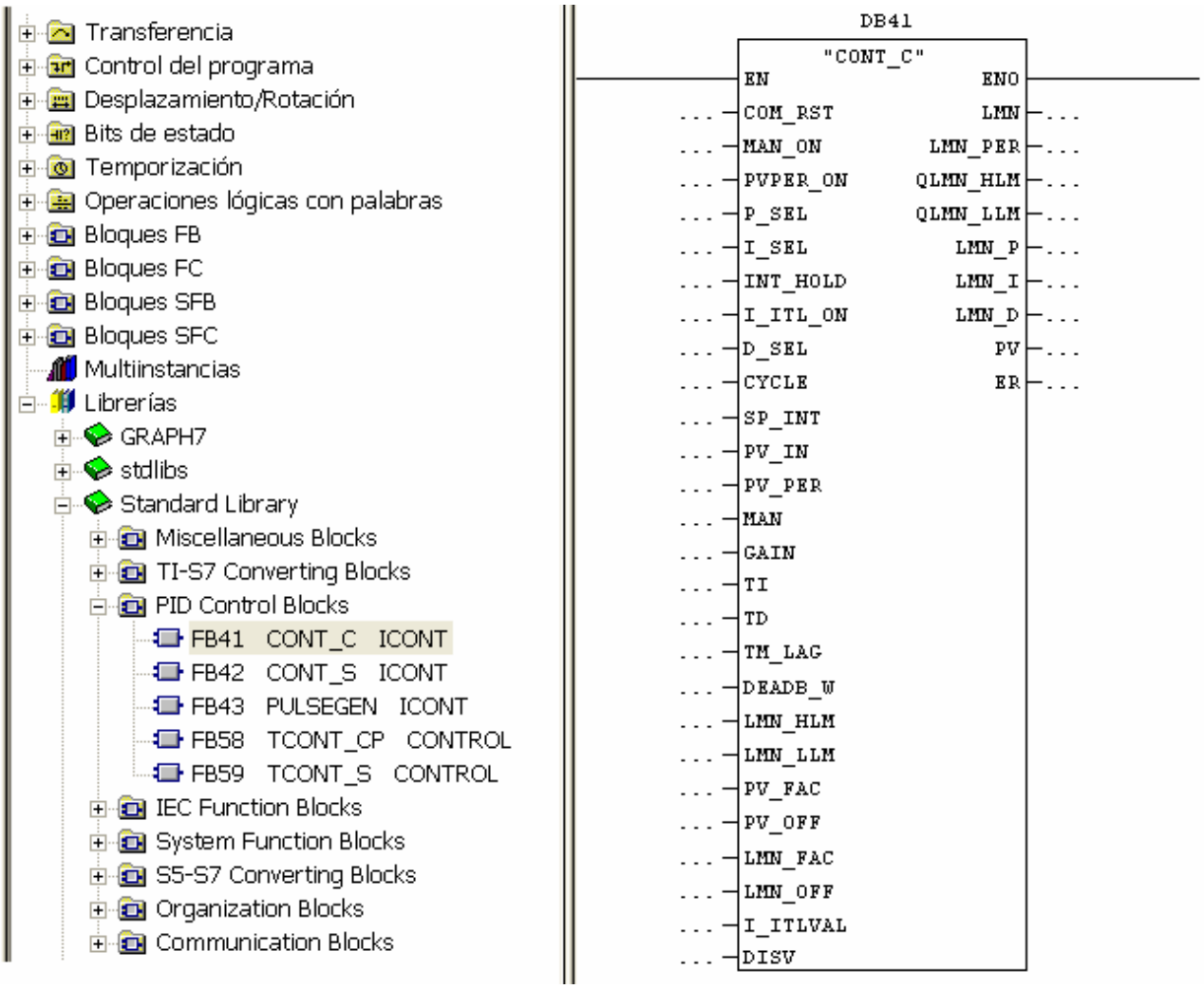
_____
_____
_____
_____
_____

4.4.- Situación 4:

_____
_____
_____
_____
_____

- **CONFIGURACION DEL BLOQUE DE FUNCIÓN PID FB 41 “CONT_C” EN EL ENTORNO STEP7**

El bloque de función FB41 al llamarlo en STEP7, p.e. desde el bloque de organización OB35, muestra el aspecto de la figura siguiente. El bloque forma parte de la librería estándar y tiene asociado un bloque de datos, DB41 en este caso.



El bloque organización OB35 (ejecución cíclica) con la llamada al bloque de función FB41 asociado al bloque de datos DB41.

Tal y como se puede apreciar en todo el bloque, los parámetros se pueden clasificar en dos grupos:

Los parámetros de la izquierda del bloque serán las “ENTRADAS”: algunos sólo son de lectura, por ejemplo, el valor del sensor (PV_PER), otros son de lectura y escritura GAIN (Kp), los parámetros de regulación TI y TD, los límites, la configuración del PID, los valores de normalización, etc.

En cambio, todos los parámetros de la derecha son “SALIDAS” del bloque de función y, en este caso, todos son de sólo lectura. El bloque proporciona la información de la regulación que está realizando, por ejemplo, el porcentaje de salida del regulador (parámetro LMN) o el valor de la señal analógica que actúa sobre el actuador correspondiente (parámetro LMN_PER)

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL BLOQUE DE FUNCIÓN PID FB 41 “CONT_C”

En la figura se muestra el diagrama de bloques del regulador PID de los autómatas de Siemens.

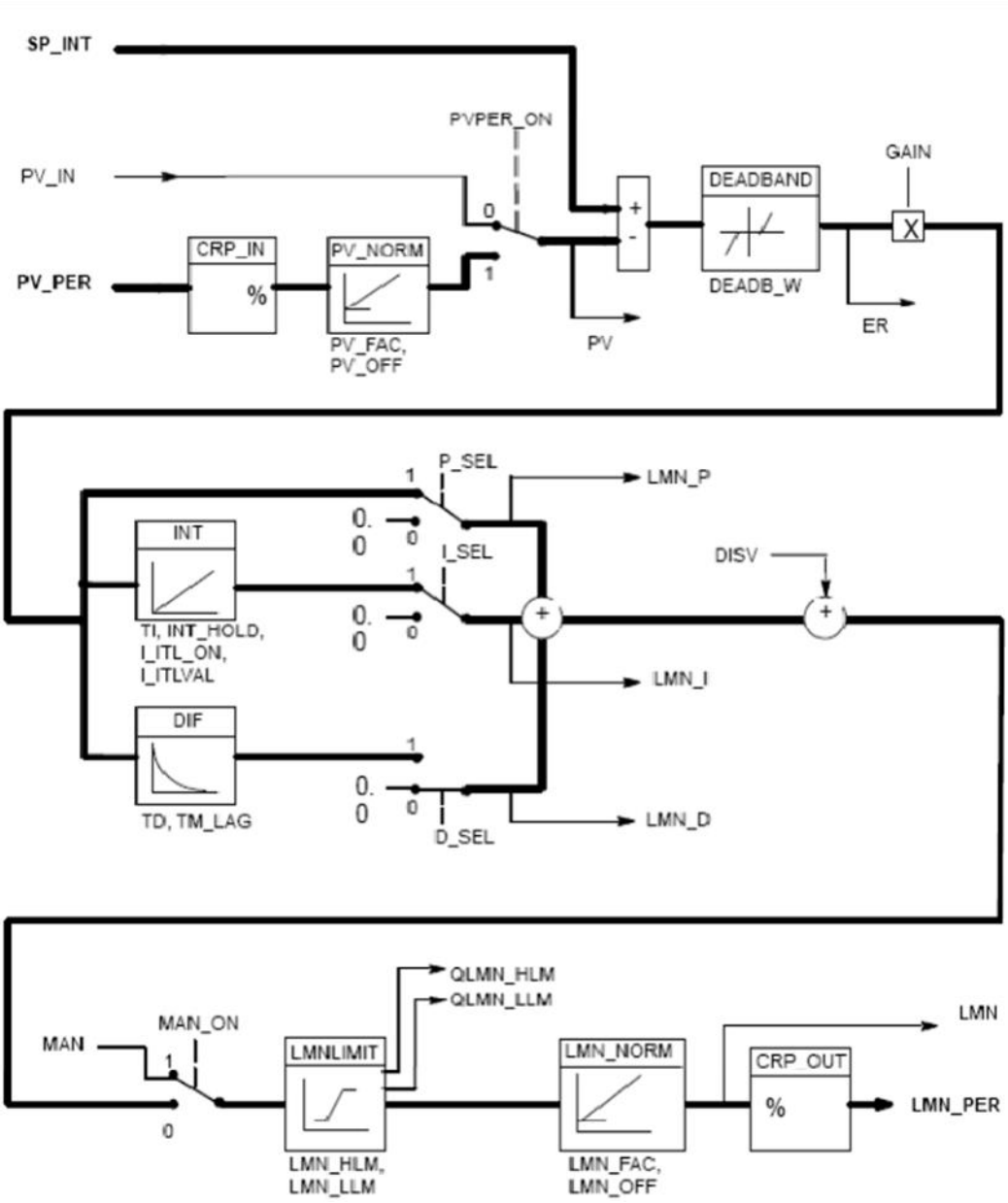


Diagrama de bloques del regulador CONT_C incluido en el bloque de función FB41.

Al examinar el diagrama de bloques del regulador CONT_C de la figura 4, se pueden distinguir las tres zonas siguientes:

- **Zona superior:** Realiza la comparación entre el valor de consiga y el valor real del proceso normalizado, y crea el error de regulación.
- **Zona intermedia:** Aplica un tipo de regulador diferente (P, PI, PID) al error originado en la zona anterior, establece los valores de los parámetros de cada uno, lee la salida que corresponde a cada parámetro y, teniendo en cuenta la perturbación DISV, origina la salida real del regulador.
- **Zona inferior:** Utiliza la salida que origina el regulador manual o automáticamente, para establecer límites y preparar la salida definitiva como número real (%) y en formato de periferia.

EL FUNCIONAMIENTO DEL BLOQUE DE FUNCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

Zona superior: Realiza la comparación entre la consiga y el valor real del proceso normalizado, y crea el error de regulación.

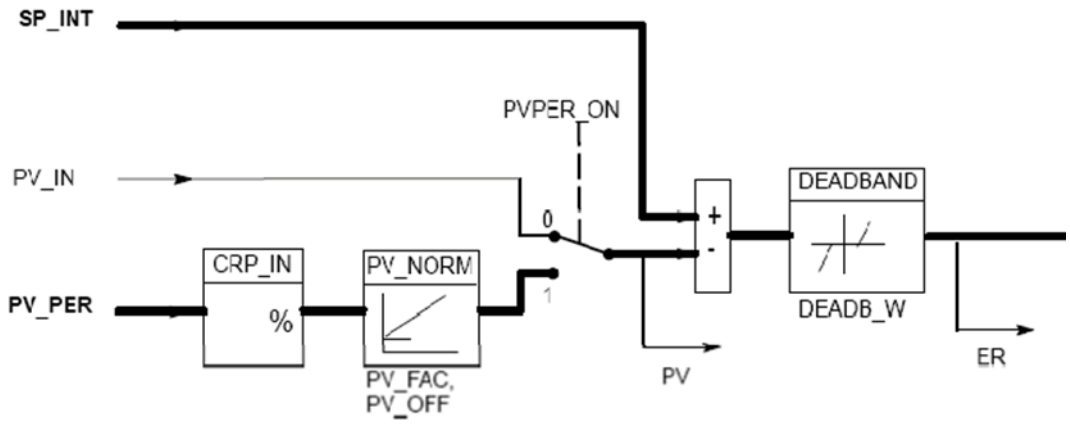


Diagrama de bloques de la zona superior del regulador CONT_C incluido en el FB41.

SP_INT: con este parámetro se fija la consigna del bucle de regulación; se trata de un número real y, normalmente, de un porcentaje (del -100.0 % hasta el 100.0 %). De todas formas, se puede introducir directamente el valor de la magnitud física, por ejemplo, 0.45 Atm. Si se trata de presión, o 75 lit. si se trata de nivel o volumen, o 1.2 l/s si se trata de caudal. En el caso en que la consigna sea una magnitud física, hay que adaptar los

parámetros PV_FAC y PV_OFF de la función PV_NORM, tal y como se estudia posteriormente. El valor inicial de este parámetro es cero, y es de lectura-escritura.

PVPER_ON: mediante este parámetro binario se define el modo de lectura de la variable de proceso (PV). Si es "0", el valor del PV es el parámetro PV_IN; si es "1", PV es el parámetro PV_PER. Es un valor de lectura–escritura e inicialmente es "0".

PV_PER: este parámetro recibe la información que proporciona directamente un sensor, es decir, el valor de la lectura de una tarjeta analógica. Así, este parámetro guarda la dirección de la entrada a la que está conectado el sensor (PEWXXX). Cuando el sensor sea de una única polaridad (0…10 V) y la medición se encuentre en rango nominal, el valor estará comprendido entre 0 y 27648 y, cuando sea bipolar, el valor se encontrará entre -27648 y 27648.

CPR_IN: Convierte el valor entero que recibe del sensor en un valor real entre -100.0% y 100.0% (realiza un escalado)

PV_NORM: normaliza los porcentajes de los valores proporcionados por el sensor, de acuerdo con los parámetros PV_FAC y PV_OFF.

PV_FAC: Factor del valor del proceso. Multiplica la salida de la función CPR_IN, para adaptar los valores proporcionados por el sensor a un nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero normalmente será 1.

PV_OFF: El offset del valor del proceso. Añade un valor a la salida de la función CPR_IN para adaptarlo al nuevo rango. Su valor puede ser cualquier número real, pero normalmente será 0.

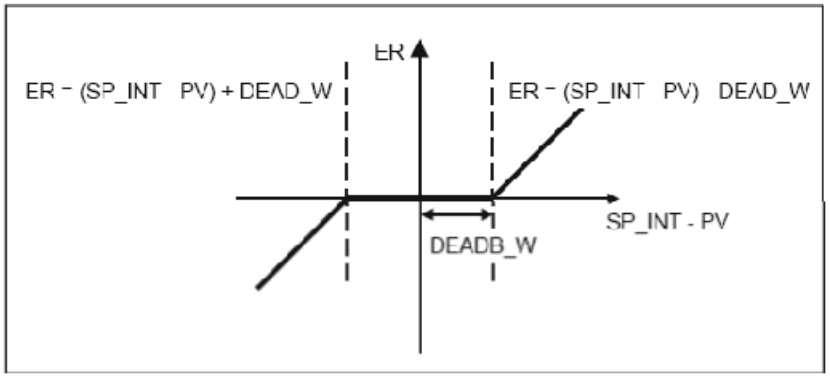
PV_IN: Si se utiliza esta entrada se tiene que adaptar el valor entero que proporciona el sensor con las demás funciones del autómata para convertirlo en valor real, y para que, de este modo, la función realice una correcta comparación con SP_INT. Se utiliza cuando el valor del PV es real (entre el -100.0 % y el 100.0 %) o haya sido adaptado al valor de la magnitud física (en formato real DWORD).

PV: Es la lectura de la variable de proceso y es un número real que representa un porcentaje
(-100.0% …0… 100.0%) o cualquier otra magnitud. Es una variable de sólo lectura.

DEADB_W: Después de realizar la comparación se puede aplicar una zona muerta
(DEAD_BAND) antes de obtener el error. Por ejemplo, si se quieren eliminar las fluctuaciones o el "ruido" que provoca un sensor. Así pues, introduciendo el número real en este parámetro, se define la amplitud de esta banda. El valor inicial es 0.0 y eso significa que DEAD_BAND está desconectado. Cuanto más ancha sea esta banda, menos precisión tendrá la regulación, ya que, mientras el error no salga de la banda, el regulador no se dará cuenta de que ha habido alguna variación en el error.

ER: Error de regulación. Es la diferencia entre el valor de consigna y la variable de proceso PV. Su valor es un número real de sólo lectura.

La figura muestra el gráfico que relaciona los parámetros de error (ER), consigna, PV y zona muerta (DEAD_BAND).



Relación entre los parámetros de creación de error (ER), consigna, PV y zona muerta (DEAD_BAND).

En la figura siguiente se muestra el diagrama de bloques correspondiente a los parámetros de configuración del algoritmo de regulación PID. La estructura del algoritmo PID trabaja en "posición" o paralelo. Así, las acciones proporcional, integral y derivativa están colocadas en paralelo, por lo que cada acción se puede conectar y desconectar individualmente para obtener los reguladores P, I, PI, PD o PID.

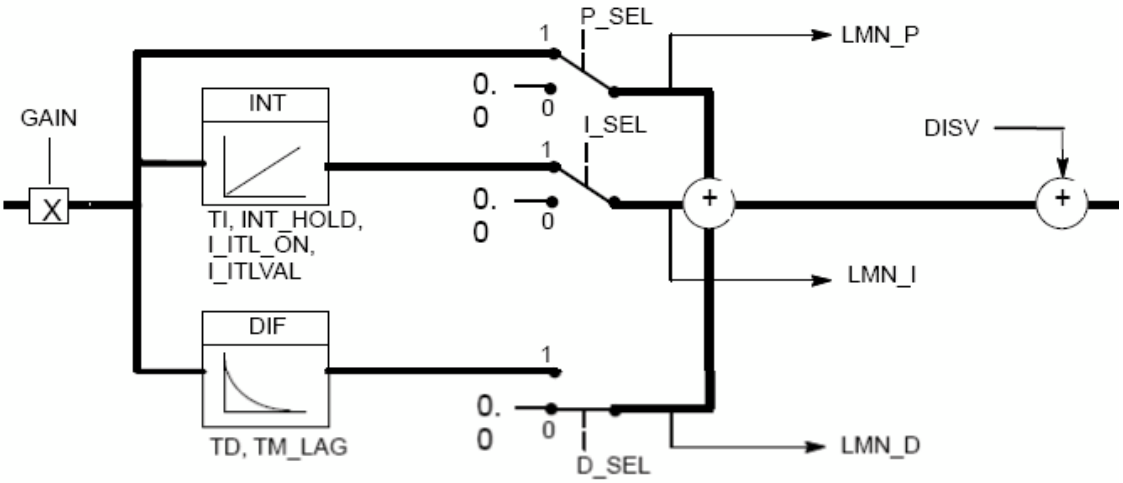


Diagrama de bloques de la zona intermedia del regulador CONT_C incluido en el FB41.

Su funcionamiento se basa en la fórmula:

$$LMN_PER = LMN \cdot \frac{27648}{100}$$

GAIN: es la ganancia proporcional del regulador y puede adquirir cualquier valor real positivo o negativo.

ACCIÓN DIRECTA: Es la acción que se realiza, por ejemplo, al controlar un caudal del agua que pasa por un tubo mediante la apertura o el cierre de una válvula. También, al controlar la consigna de velocidad de una motobomba.

ACCIÓN INVERSA: Es la acción que se realiza, por ejemplo, al controlar la presión de un gas en un depósito mediante la apertura o el cierre de una válvula colocada en la salida. Si se abre la válvula, la presión del depósito disminuye y, si se cierre, aumenta.

Función INT: Esta función proporciona la salida del regulador correspondiente al efecto integral, según los parámetros TI, IN_HOLD, I_ITL_ON, I_ITLVAL.

TI: Es el tiempo de la acción integral y su unidad se fijará en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro CYCLE (TI >= CYCLE) y tiene un valor inicial de 20 segundos (T#20S).

INT_HOLD: Cuando este parámetro binario se activa, la salida correspondiente al integrador se bloquea en el valor que tiene en el momento, independientemente de la evolución del error.

I_ITLVAL: Si al comienzo de la regulación, o en cualquier otro momento, se requiere que el regulador tenga un porcentaje concreto en la salida, se le indica mediante este parámetro real. Su valor inicial es 0.0. Este parámetro está relacionado con el parámetro I_ITL_ON.

I_ITL_ON: Para que el valor del integrador introducido en el parámetro I_ITLVAL pase a la salida del regulador, se debe ajustar este valor binario a “1”.

Función DIF: esta función proporciona el valor de salida del regulador correspondiente a la acción derivativa, según los parámetros TD y TM_LAG.

TD: el tiempo y la unidad de la acción derivativa; se fija en segundos. El valor mínimo de este parámetro está relacionado con el parámetro CYCLE (TD >= CYCLE) y tiene un valor inicial de 10 segundos (T#10S).

TM_LAG: El efecto de la acción derivativa se puede retrasar TM_LAG segundos. Su valor mínimo está relacionado con el parámetro CYCLE (TM_LAG >= CYCLE/2) y tiene un valor inicial de 2 segundos (T#2S).

Para entender el comportamiento de este parámetro hay que recordar que el término derivativo ideal del regulador PID es imposible de realizar, porque es no causal. Un término derivativo real tiene una función de transferencia en el dominio de Laplace:

(Analícese la respuesta a un escalón del término derivativo con TD = 20 y TM_LAG =10 y obsérvese que el valor de pico es TD/TM_LAG y que la respuesta se establece después de aproximadamente 3 * TM_LAG.

P_SEL, I_SEL y D_SEL: mediante estos parámetros binarios se pueden configurar diferentes tipos de reguladores de control del proceso (P, I, PI, PD o PID). Se debe examinar el proceso a controlar y elegir la estructura más adecuada. El regulador predeterminado en la configuración inicial es del tipo PI, por lo tanto, P_SEL = "1", I_SEL= "1" y D_SEL = "0".

LMN_P, LMN_I y LMN_D: estos parámetros reales son sólo de lectura y hacen referencia a la proporción que las constantes P, I y D tienen en toda la salida del regulador.

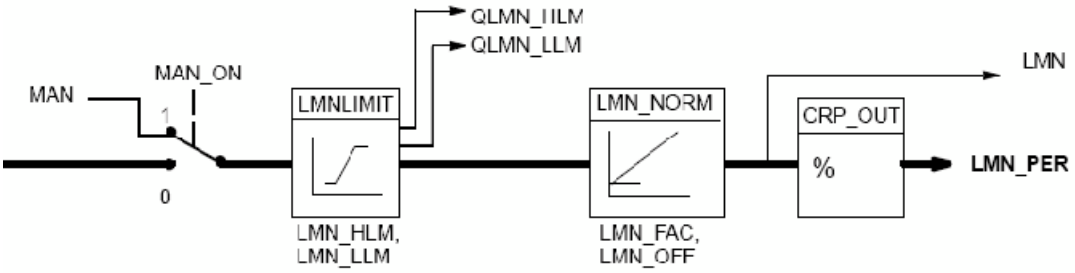


Diagrama de bloques de la zona inferior del regulador CONT_C incluido en el FB41.

DISV: este parámetro permite añadir o restar un valor a la salida que proporciona el regulador, para simular una perturbación en el proceso.

Por último, están los parámetros de configuración de la salida originada por el regulador, para utilizarlas manual o automáticamente, para establecer límites y preparar la salida provisional en porcentajes, números reales y en formato de periferia.

MAN_ON: Todos los reguladores pueden funcionar e n manual o en automático. Si este bit es "1", el valor del parámetro MAN se transfiere a la salida del regulador. Por ejemplo, si MAN = 50.0, en la salida se obtienen 5 V.

Cuando el parámetro MAN_ON es "0", el regulador está en modo automático y calcula la salida según la fórmula indicada anteriormente:

$$LMN(t) = GAIN \cdot \left[ER + \frac{1}{TI} \int ER \cdot dt + TD \cdot \frac{d(ER)}{dt} \right]$$

Función LMNLIMIT: a veces es conveniente limitar la salida que genera el regulador, por ejemplo, cuando no es conveniente abrir o cerrar del todo una válvula (por problemas de seguridad). Dichos límites se definen mediante los siguientes parámetros:

LMN_HLM: es el límite superior que genera el regulador. Funciona tanto en manual como en automático, y este límite no se supera nunca. Si se suponen las siguientes características: LMN_HLM = 70.0 %, el regulador en modo manual y MAN = 80.0 %, la salida máxima será del 70 %, es decir, de 7 V en caso de (0 … 10V).

Cuando el valor de salida es superior a LMN_HLM, se activa otro parámetro binario, QLMN_HLM, que indica que se ha alcanzado el valor máximo de salida. Según el valor de este bit, el autómata puede realizar la acción que corresponda en cada caso.

LMN_LLM: Es el límite inferior que genera el regulador. Funciona tanto en manual como en automático, y este límite de salida nunca será menor que el parámetro LMN_LLM. Si se suponen las siguientes características: LMN_LLM = 20.0 %, el regulador en modo manual y MAN = 10.0 %, la salida máxima , también sería del 20 %, es decir, de 2 V en caso de (0 …10V).

Cuando el valor de salida es inferior a LMN_LLM, se activa otro parámetro binario, QLMN_LLM, que indica que se ha alcanzado el valor mínimo de salida. Según el valor de este bit, el autómata debe realizar las acciones o correcciones que correspondan si se cree necesario.

Función LMN_NORM: se utiliza para normalizar la salida originada por el regulador y convertirla en porcentaje, según la función de entrada PV_NORM y conforme a la fórmula:

$$LMN = LMNLIMIT \cdot LMN_FAC + LMN_OFF$$

LMN_FAC: este parámetro multiplica la salida del regulador.

LMN_OFF: este parámetro añade un offset a la salida. Los dos son números reales.

LMN: es la salida de la función LMN_NORM, y proporciona la salida definitiva en porcentaje (sólo de lectura).

La función CPR_OUT convierte automáticamente el valor real de salida en número entero, aplicando u n escalado, y el resultado lo proporciona en el parámetro LMN_PER, según la fórmula:

Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán identificar las acciones e influencia en el comportamiento de la VP. Variando las constante Kp, Td y Ti del bloque PID. Esta debe entregar una respuesta adecuada al tipo de planta.

5. Sistema de control distribuido

5.1 Programación de Sistema de Control Distribuido (DCS).

La Herramienta de Ingeniería CFC (Continuous Function Chart) (Ver Figura) permite convertir con un esfuerzo mínimo, especificaciones tecnológicas en programas de automatización listos y ejecutables. Para ello basta con seleccionar bloques pre-programados en una librería, colocarlos sobre el esquema CFC, interconectarlos gráficamente y parametrizarlos. No se requieren conocimientos de programación más profundos. CFC es un editor gráfico diseñado para trabajar junto con el paquete de software PCS7, STEP7, etc. Este editor permite crear una estructura completa de software para una CPU a partir de bloques predefinidos. El manejo de los bloques resulta muy sencillo gracias a la posibilidad de poder mover y copiar bloques individuales o incluso grupos enteros de bloques – entre distintos esquemas sin que se pierdan las interconexiones existentes.

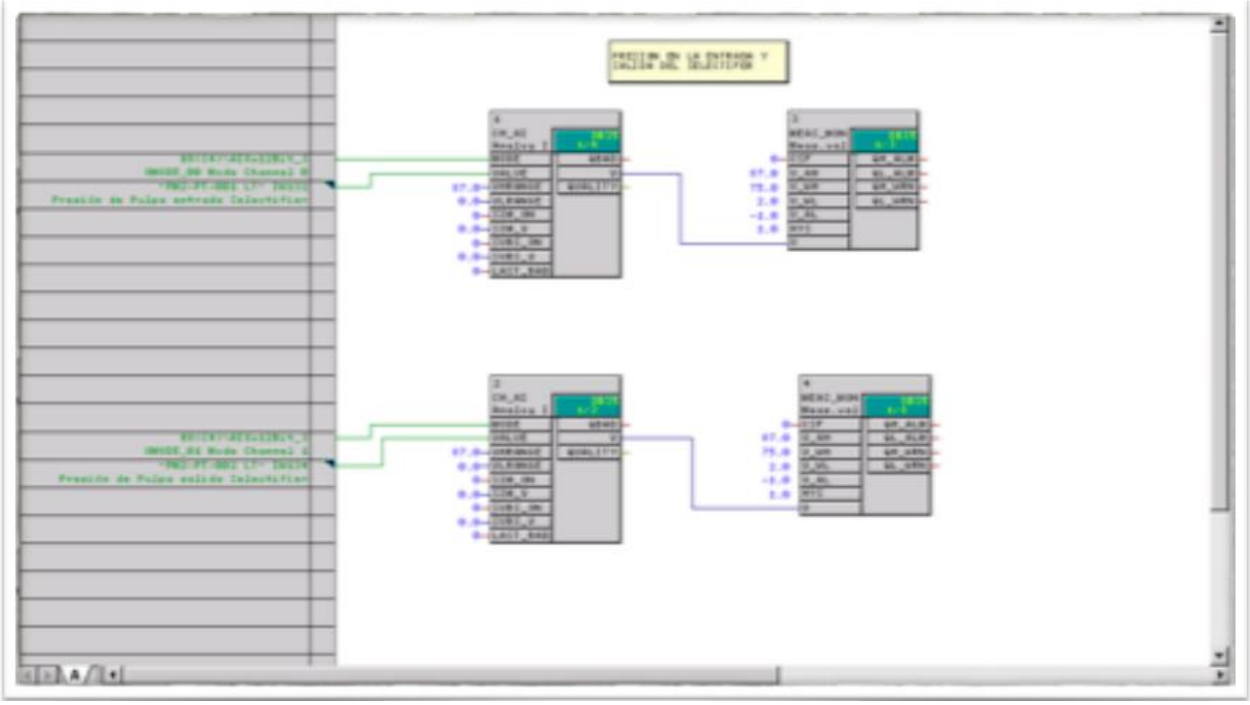


Figura 159

CFC (Entradas Analógicas en PCS7)

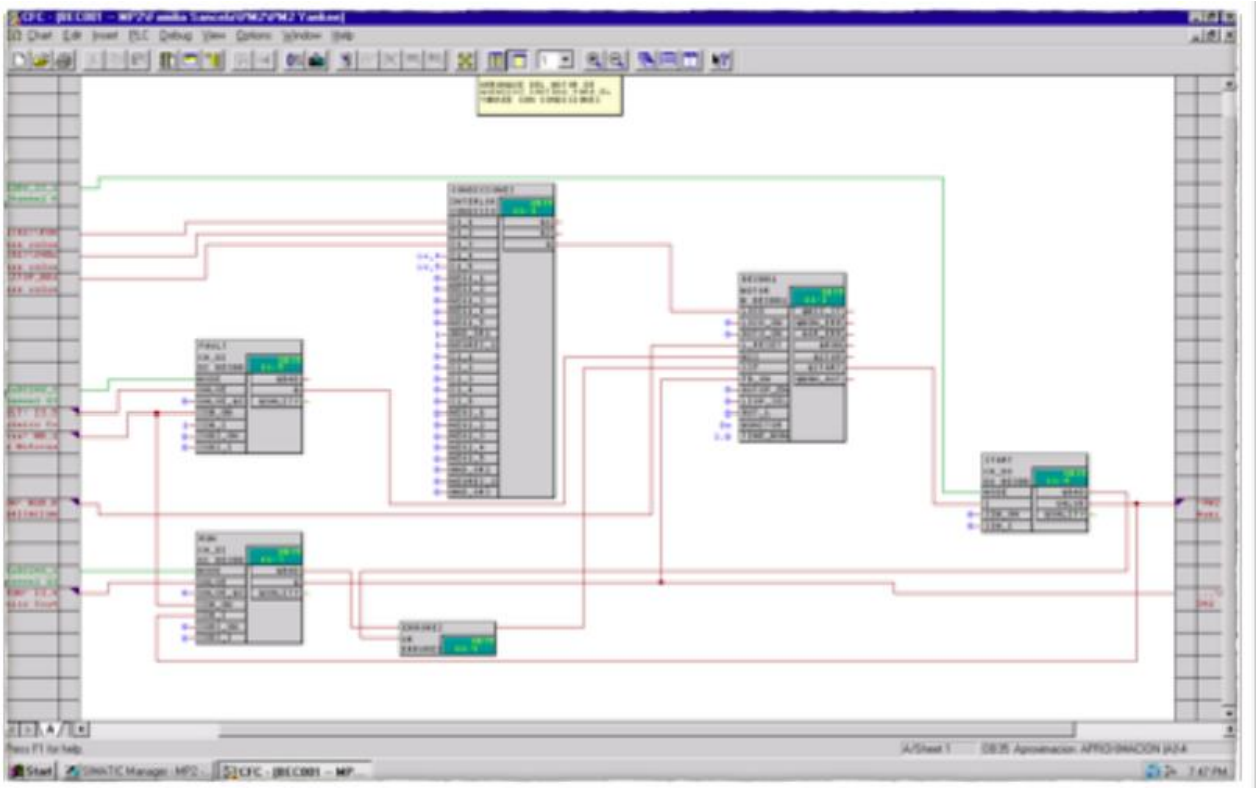


Figura 160

(Arrancador de motor en PCS7)

CFC (Continuous Function Chart) es un editor gráfico diseñado para trabajar junto con el paquete de software STEP 7. Este editor permite crear una estructura completa de software para una CPU a partir de bloques predefinidos. El proceso consiste en ubicar los bloques en esquemas funcionales, parametrizarlos e interconectarlos. Con la interconexión se consigue que para la comunicación entre los bloques u otros objetos se transmitan valores desde una salida a una o varias entradas. En el editor CFC se trabaja con medios gráficos: seleccione bloques predefinidos del almacén de bloques disponible y ubíquelos en el esquema utilizando la función de arrastrar y soltar. El esquema es una especie de "hoja de caracteres". Las entradas y salidas de los bloques se interconectan entre sí haciendo clic con el ratón. Durante este proceso, no necesita preocuparse de detalles como los algoritmos o la asignación de recursos de la máquina, pudiendo concentrarse exclusivamente en los aspectos tecnológicos del proyecto.

Las propiedades de ejecución de los bloques están predeterminadas, si bien pueden ser adaptadas individualmente a cada bloque. El manejo de los bloques resulta muy sencillo gracias a la posibilidad de poder mover y copiar bloques individuales - o incluso grupos enteros de bloques - entre distintos esquemas sin que se pierdan las interconexiones existentes.

Una vez generadas todas las funciones, se genera el código máquina ejecutable con un simple clic del ratón, se carga en el sistema de destino y se comprueba con las funciones de test previstas a tal efecto en CFC.

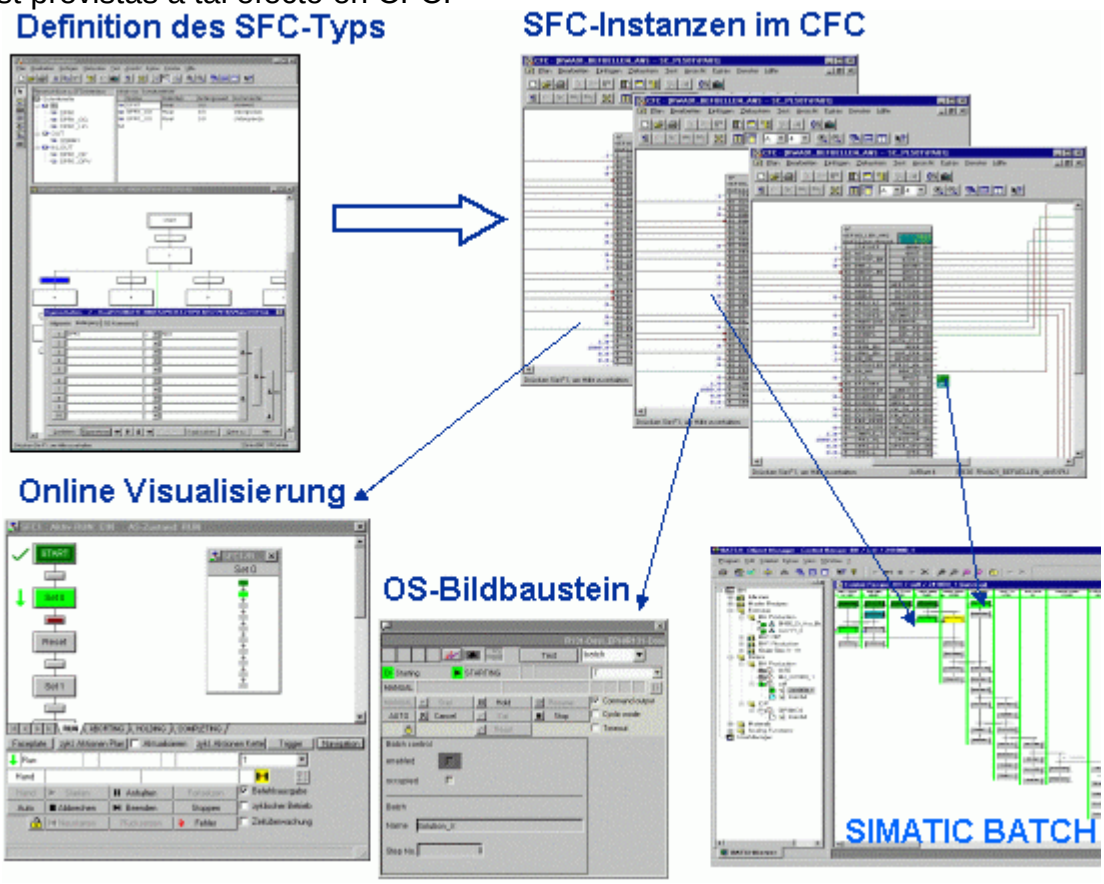


Figura 161

5.2 Software específico de programación de DCS.

Creación de un Proyecto PCS7
Abra el Administrador Simatic y arranque el asistente para un nuevo proyecto.
Al ejecutar el asistente Elija Single Project
En el siguiente paso Elija la CPU 416-2 DP, confirme su selección comprobando el Order Nº.

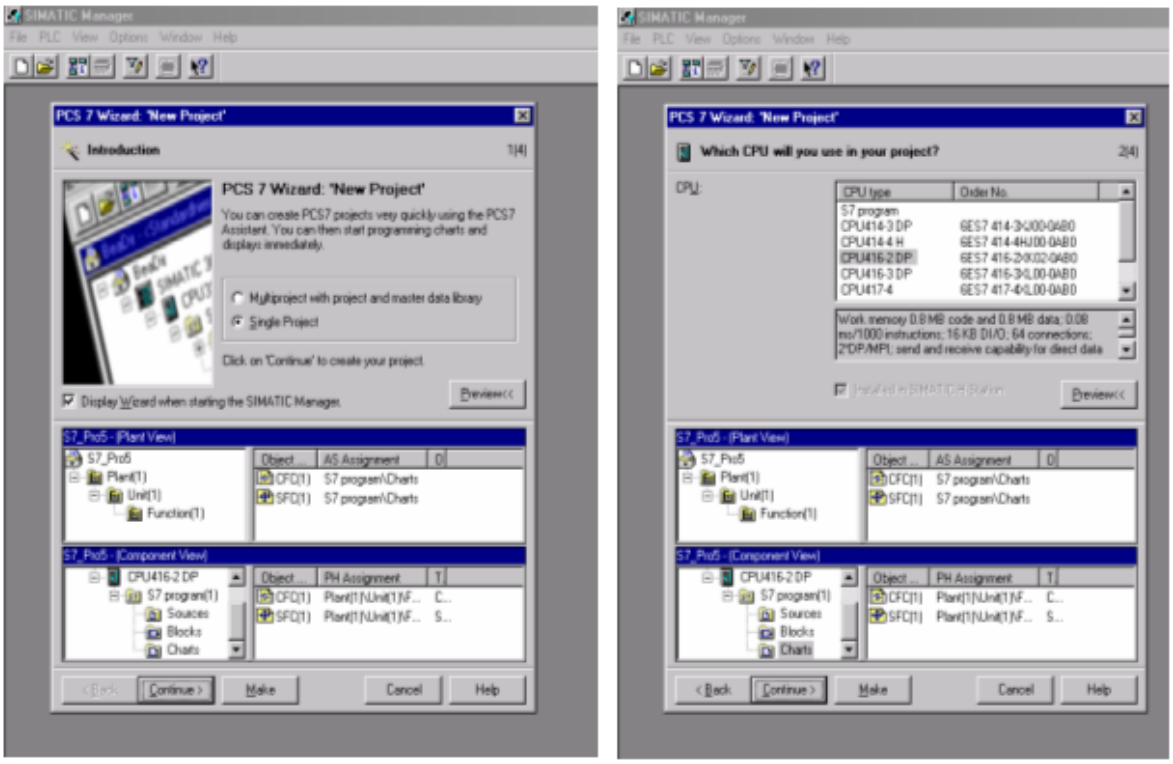


Figura 162

En Plant Hierarchy (jerarquía de planta) elija 3 Niveles esto quiere decir que se va a permitir 3 niveles dentro de cada unidad de la planta. El número de niveles depende de los requisitos necesarios para el proyecto. Por ejemplo si dispone de varias unidades dentro de su planta y cada una tiene estaciones SIMATIC, a cada una le corresponde 2 subniveles para la organización de la unidad. Es recomendable crear una carpeta de jerarquía en el nivel superior para cada estación Simatic.

Elija un plano CFC (CFC Chart) y un plano SFC (SFC Chart).
Seleccione la opción PCS7 OS y elija Multi-user system, esto quiere decir que nuestro sistema tendrá una arquitectura cliente servidor para el sistema HMI, por lo que configuraremos una estación OS-Server y una OS Client.
Defina el Nmbre del proyecto y la localización de almacenamiento.
Confirme Make (Realizar el Proyecto) y espere un momento.
Obtendrá como resultado la configuración general del proyecto.
Configure ahora cada dispositivo con su hardware asociado.

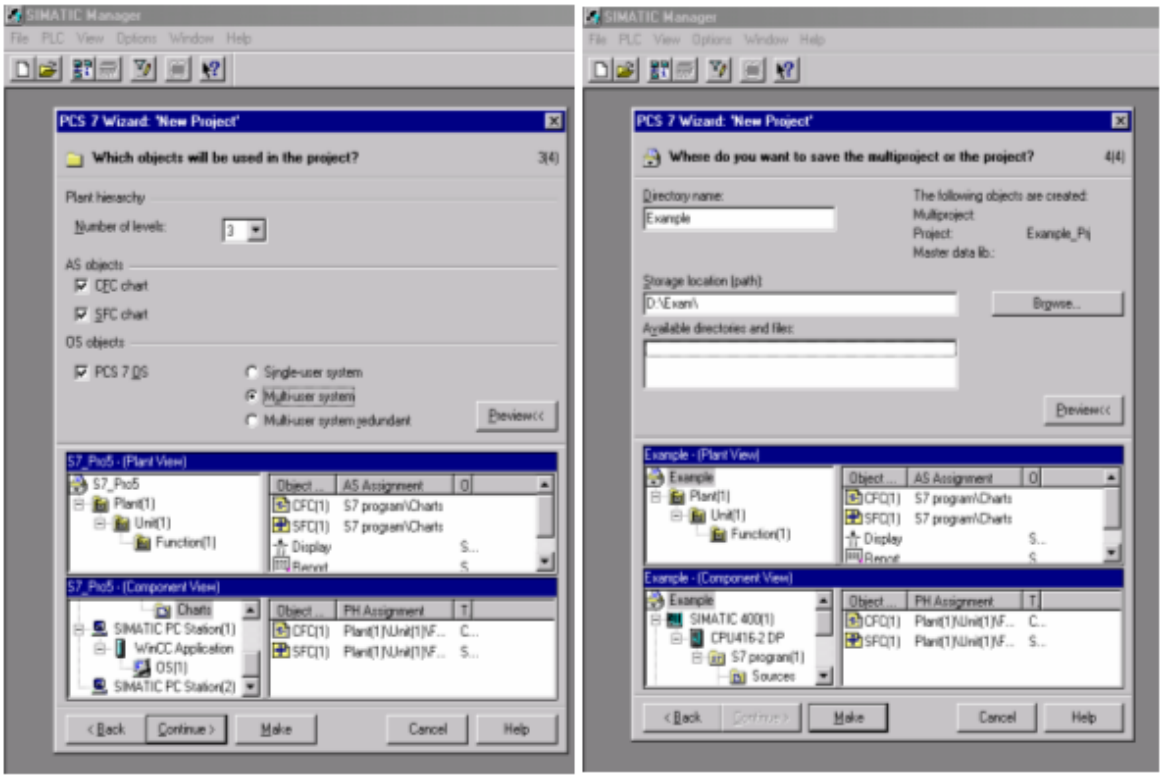

SIMATIC Manager
File PLC View Options Window Help
PCS 7 Wizard: 'New Project'
Which objects will be used in the project?
3(4)
Plant hierarchy
Number of levels:
AS objects
CFC chart
SFC chart
OS objects
PCS 7 OS
Single-user system
Multi-user system
Multi-user system redundant
Preview<<
S7_Pro5 - (Plant View)
S7_Pro5
Plant(1)
Unit(1)
Function(1)
Object ...
AS Assignment
CFC(1) S7 program\Charts
SFC(1) S7 program\Charts
Display
S7_Pro5 - (Component View)
Charts
SIMATIC PC Station(1)
WinCC Application
OS(1)
SIMATIC PC Station(2)
PH Assignment
CFC(1) Plant(1)\Unit(1)\F...
SFC(1) Plant(1)\Unit(1)\F...
< Back
Continue >
Make
Cancel
Help
SIMATIC Manager
File PLC View Options Window Help
PCS 7 Wizard: 'New Project'
Where do you want to save the multiproject or the project?
4(4)
Directory name:
Example
The following objects are created:
Multiproject:
Project: Example_Pj
Master data lib.:
Storage location (path)
D:\Exam\
Browse...
Available directories and files:
Preview<<
Example - (Plant View)
Example
Plant(1)
Unit(1)
Function(1)
Object ...
AS Assignment
CFC(1) S7 program\Charts
SFC(1) S7 program\Charts
Display
Example - (Component View)
Example
SIMATIC 400(1)
CPU416-2 DP
S7 program(1)
Sources
PH Assignment
CFC(1) Plant(1)\Unit(1)\F...
SFC(1) Plant(1)\Unit(1)\F...
< Back
Make
Cancel
Help

Figura 163

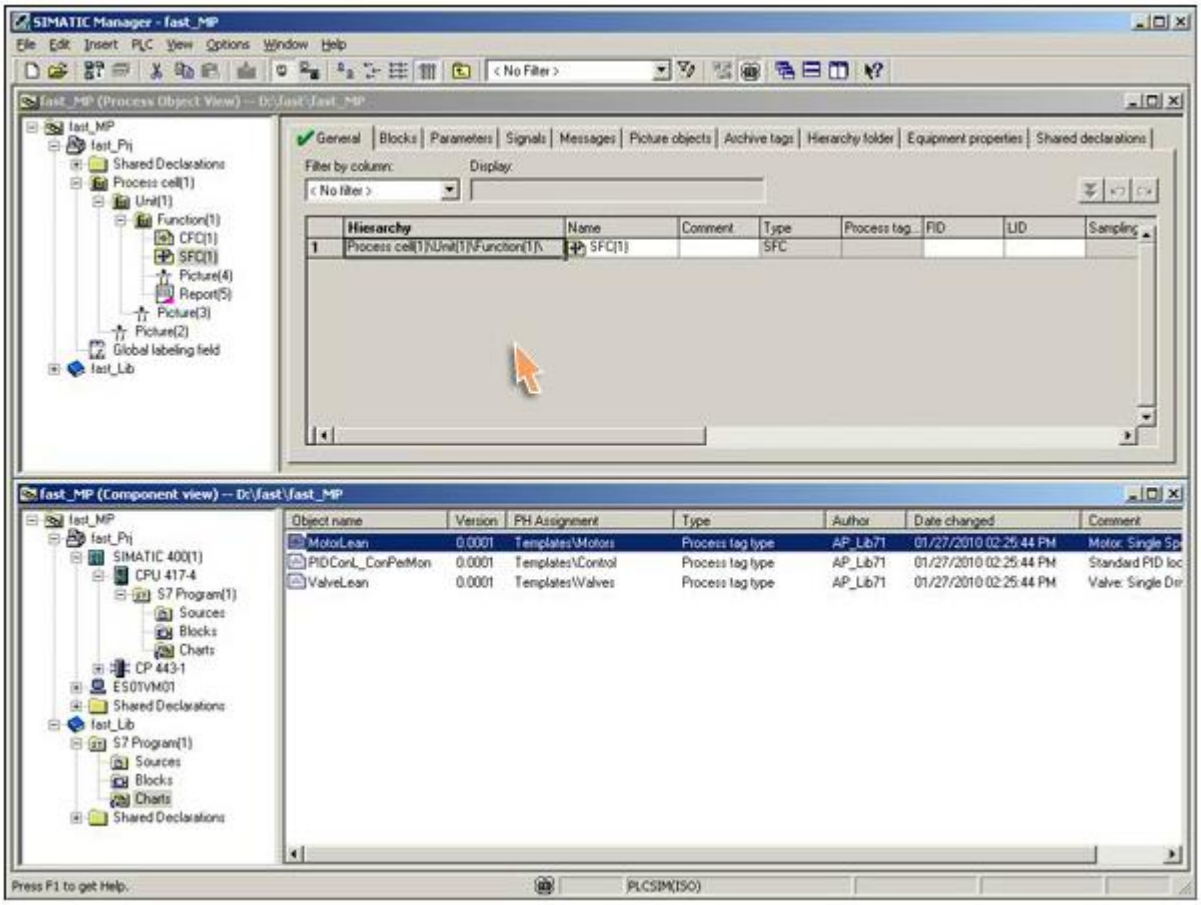

SIMATIC Manager - fast_MP
File Edit Insert PLC View Options Window Help
< No Filter >
fast_MP (Process Object View) -- D:\fast\fast_MP
fast_MP
fast_Prj
Shared Declarations
Process cell(1)
Unit(1)
Function(1)
CFC(1)
SFC(1)
Picture(4)
Report(5)
Picture(3)
Picture(2)
Global labeling field
fast_Lib
General
Blocks
Parameters
Signals
Messages
Picture objects
Archive tags
Hierarchy folder
Equipment properties
Shared declarations
Filter by column:
Display:
< No filter >
Hierarchy
Name
Comment
Type
Process tag...
FID
LID
Sampling
1
Process cell(1)\Unit(1)\Function(1)\
SFC(1)
SFC
fast_MP (Component view) -- D:\fast\fast_MP
fast_MP
fast_Prj
SIMATIC 400(1)
CPU 417-4
S7 Program(1)
Sources
Blocks
Charts
CP 443-1
ES01VM01
Shared Declarations
fast_Lib
S7 Program(1)
Sources
Blocks
Charts
Shared Declarations
Object name
Version
PH Assignment
Type
Author
Date changed
Comment
MotorLean
0.0001
Templates\Motors
Process tag type
AP_Lib71
01/27/2010 02:25:44 PM
Motor: Single Sp
PIDConL_ConPetMon
0.0001
Templates\Control
Process tag type
AP_Lib71
01/27/2010 02:25:44 PM
Standard PID loc
ValveLean
0.0001
Templates\Valves
Process tag type
AP_Lib71
01/27/2010 02:25:44 PM
Valve: Single Dir
Press F1 to get Help.
PLCSIM(ISO)

Figura 164

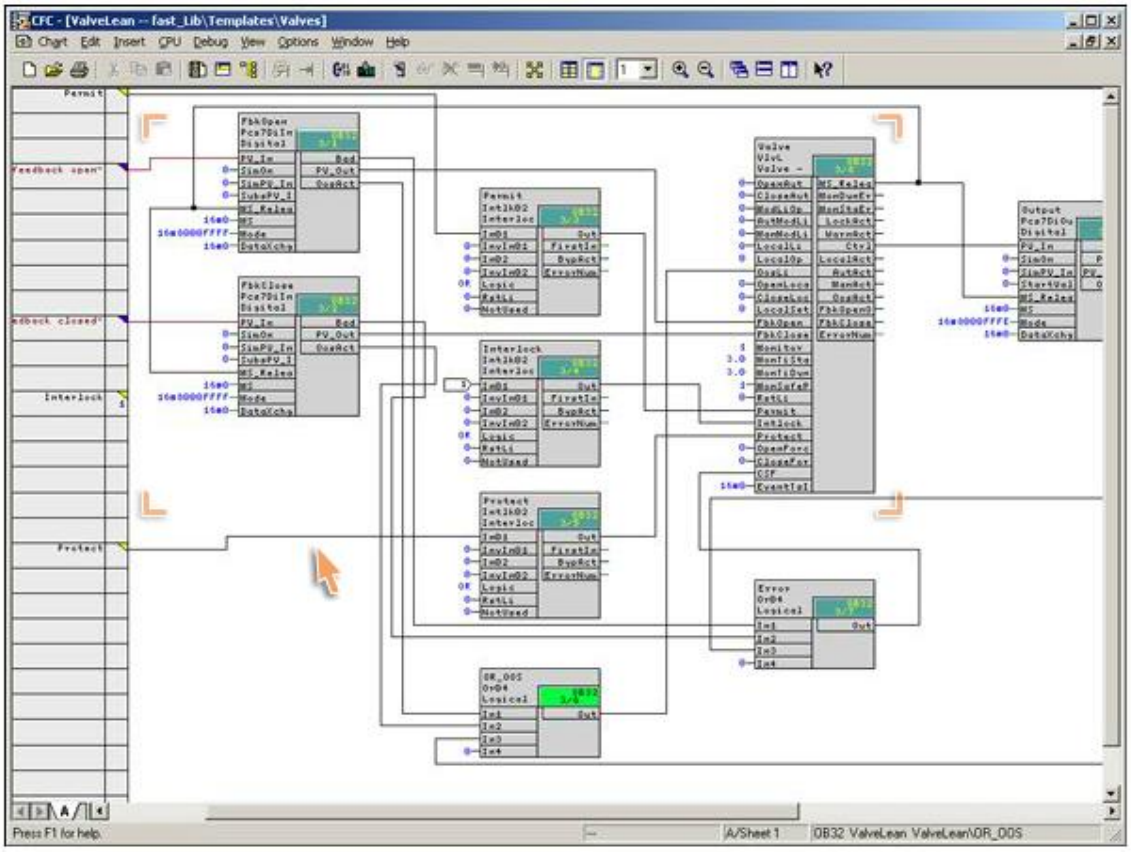


Figura 165

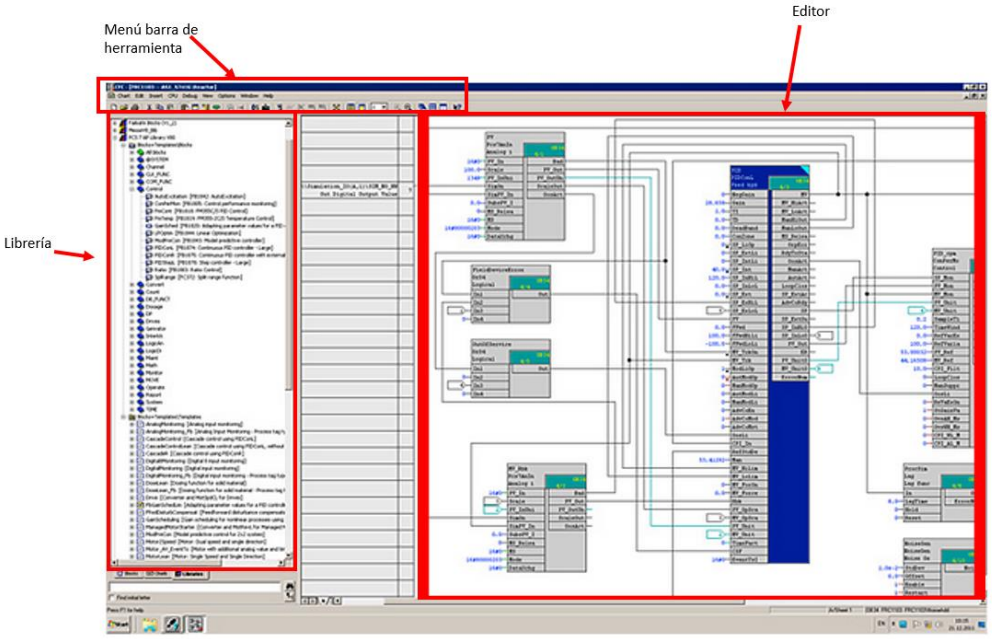


Figura 166

5.3 Biblioteca IEC

Con respecto a la librería IEC para los DCS es muy similar al de los PLC. En Bloques CFC Familias de bloques CFC disponibles

Bloques CFC de la familia "COMPARE"

Familia	Aplicación
BIT_LGC	Bloques lógicos con el tipo de datos BOOL
WRD_LGC	Bloques lógicos con los tipos de datos WORD y DWORD
COMPARE	Bloques para comparar dos valores de entrada del mismo tipo
CONVERT	Bloques para convertir tipos de datos
MATH_FP	Bloques aritméticos con el tipo de datos REAL
MATH_INT	Bloques aritméticos con los tipos de datos INT y DINT
FLIPFLOP	Bloques Flip-Flop
SHIFT	Bloques de desplazamiento
MULTIPLX	Bloques multiplex
COUNTER	Bloques de contaje
IMPULS	Bloques para generar o procesar impulsos
TIME	Bloques para introducir o modificar la hora y la fecha, así como intervalos
CONTROL	Bloques de regulación
SYSTEM	Bloques para funciones del sistema

Tabla 24

Esta familia comprende los bloques que comparan dos magnitudes de entrada, a saber:

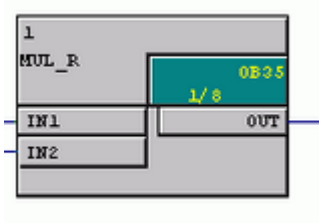


Figura 167

CMP_I	Comparador de valores INT
CMP_DI	Comparador de valores DINT
CMP_R	Comparador de valores REAL
CMP_T	Comparador de valores TIME

Tabla 25

BY_DW	Convierte BYTE en DWORD
BY_W	Convierte BYTE en WORD
DI_DW	Convierte DINT en DWORD
DI_I	Convierte DINT en INT
DI_R	Convierte DINT en REAL
DW_DI	Convierte DWORD en DINT
DW_R	Convierte DWORD en REAL
DW_W	Convierte DWORD en WORD
I_DI	Convierte INT en DINT
I_DW	Convierte INT en DWORD
I_R	Convierte INT en REAL
I_W	Convierte INT en WORD
R_DI	Convierte REAL en DINT
R_DW	Convierte REAL en DWORD
R_I	Convierte REAL en INT
W_BY	Convierte WORD en BYTE
W_DW	Convierte WORD en DWORD
W_I	Convierte WORD en INT

Tabla 26

Los siguientes bloques convierten varios valores del tipo BOOL en un valor del tipo BYTE, WORD o DWORD:

BO_BY	Convierte BOOL en BYTE, 8 entradas
BO_W	Convierte BOOL en WORD, 16 entradas
BO_DW	Convierte BOOL en DWORD, 32 entradas

Tabla 27

Los siguientes bloques convierten un valor del tipo BYTE, WORD o DWORD en varios valores del tipo BOOL:

BY_BO	Convierte BYTE en BOOL, 8 salidas
W_BO	Convierte WORD en BOOL, 16 salidas
DW_BO	Convierte DWORD en BOOL, 32 salidas

Tabla 28

5.4 Parametrización de controladores PID en DCS.

Implementación del control continuo PID mediante un autómata programable

Los sistemas de control de procesos que utilizan algoritmos lineales de control se pueden implementar con sistemas analógicos o con sistemas digitales y estos últimos constituyen la mejor solución en la actualidad. Uno de los más utilizados es el autómata programable que puede llevar a cabo la citada tarea mediante dos estrategias diferentes:

• Mediante la ejecución de un programa de control PID por parte del PLC

Su diagrama de bloques se representa en la figura. El autómata recibe la señal del sensor, en este caso de caudal, a través de un módulo de entrada de variables analógicas y actúa sobre el proceso, en este caso la electroválvula, a través de un módulo de salida de variables analógicas. El punto de consigna, así como las constantes de proporcionalidad, integración y derivación, las puede proporcionar el usuario a través de una interfaz máquina-usuario (HMI). Esta forma de realizar un regulador PID es la más adecuada cuando el PLC tiene tiempo de ciclo para llevar a cabo esta tarea por programa.

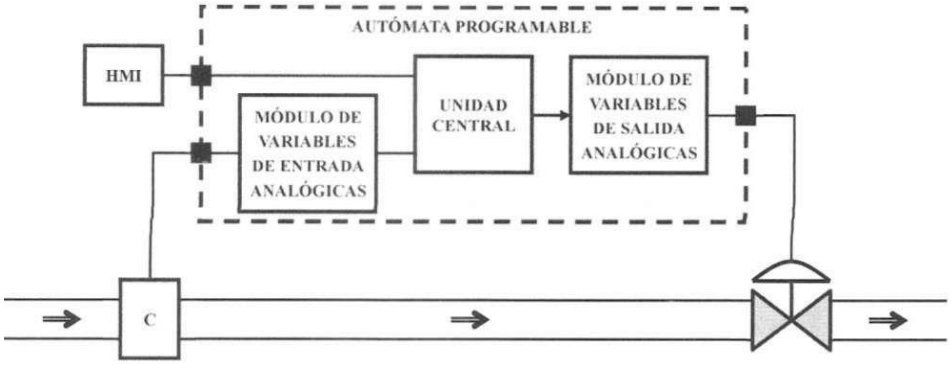


Figura 168

Diagrama de bloques de un regulador PID de caudal implementado con un PLC mediante módulos de entrada/salida de aplicación

• Mediante un módulo o unidad de regulación acoplado al autómata programable

El diagrama de bloques correspondiente se representa en la figura siguiente. La unidad central del PLC está conectada a un módulo de regulación, cuyo diagrama de bloques típico se indica en la figura b, que posee un procesador digital y un sistema de adquisición de datos al que se conecta, en este caso, el sensor de caudal C. El procesador digital del módulo (microcontrolador de la figura a) ejecuta el algoritmo con la información digital obtenida a partir del sensor y se acopla a un convertidor digital-analógico cuya salida se conecta a la electroválvula a través de un amplificador. El autómata programable proporciona al procesador del módulo de regulación la señal de consigna y las constantes de proporcionalidad, integración y derivación introducidas en el autómata programable, por ejemplo, a través de una unidad HMI.

El significado y el ajuste de los parámetros Kp, Ti y Td es el mismo en los dos casos anteriores, y responde a la ecuación introducida en el apartado 6.3.5.1:

$$CV = K_p\left[(SP-PV)+\frac{1}{T_i}\cdot\int_0^t (SP-PV)\,dt + T_d\,\frac{d}{dt}(SP-PV)\right]$$

Al implementar el controlado PID mediante un programa colocado en la memoria de un autómata programable (PLC), hay que tener en cuenta que:
La unidad central del PLC realiza todos los cálculos necesarios de forma iterativa.
Cada cierto tiempo (periodo de muestreo At) se muestrean las variables PV y SP, se digitalizan y se calculan y se suman las tres acciones proporcional, integral y derivativa para obtener la variable de control CV de acuerdo con una expresión matemática del tipo:

$$CV = K_p\left[(SP-PV)+\frac{1}{T_i}\cdot\sum_0^t (SP-PV)\Delta t + T_d\,\frac{\Delta(SP-PV)}{\Delta t}\right]$$

En la que los distintos términos de esta ecuación representan:
• (SP-PV) es el error en el instante actual.
• ∑(SP-PV) Δ t es la expresión numérica de la integral del error que está constituida por la suma de las áreas obtenidas al multiplicar el error por el valor del periodo de muestreo desde el instante inicial (t=0) hasta el instante actual t.
$\frac{\Delta(SP-PV)}{\Delta t}$ es la expresión numérica de la derivada del error, es decir, el incremento del error en el periodo de muestreo actual dividido por el valor del mismo, que equivale a la pendiente del error. Los términos integral y derivativo se multiplican por la correspondiente constante de proporcionalidad Ti y Td y la suma de los tres términos se multiplica, a su vez, por la constante Kp.

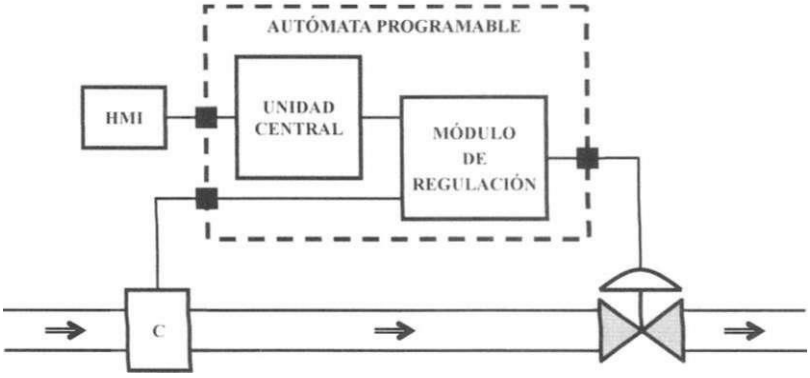


Figura 169

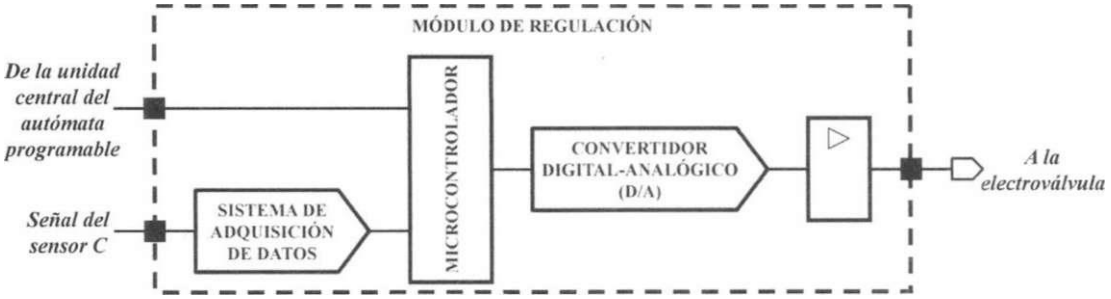


Figura 170

Sistema de control PID implementado con un autómata programable y un módulo de regulación: a) Diagrama de bloques general; b) Diagrama de bloques del módulo de regulación.

Dichas constantes se obtienen mediante los métodos de ajuste o sintonía estudiados en los cursos anteriores.
Además de las tres constantes antes citadas, algunos reguladores permiten que el diseñador ajuste el valor del periodo de muestreo con objeto de adecuarlo a la velocidad de cambio de la variable de proceso PV. Se evitan de esta forma la realización de cálculos innecesarios para el correcto funcionamiento del sistema de control y se disminuye la carga de trabajo del procesador.

Bloques funcionales y lenguajes

Para facilitar la implementación de sistemas de control con autómatas programables, los fabricantes proporcionan bibliotecas (Libraries) que incorporan bloques funcionales pre-programados que se pueden utilizar en combinación con los diferentes lenguajes literales y gráficos. Entre los bloques funcionales disponibles en el sistema de programación STEP7, para controlar procesos continuos, cabe citar el FB CONT_C. Este bloque se puede llamar (CALL) desde un programa escrito en los lenguajes AWL, KOP o FUP o desde un programa escrito en el lenguaje CFC.

En la figura se representa el diagrama de bloques del bloque funcional controlador PID CONT_C, utilizado en los autómatas programables SIMATIC S7 que permite al usuario activar o desactivar diversas subfunciones del controlador para adaptarlo a las características del proceso.

Además de proporcionar todas las funciones relativas al punto de consigna y a la variable de proceso PV, CONT_C implementa las funciones P, I y D propias del control PID y facilita su selección para generar la variable de control CF, denominada en este caso LMN (Manipulated variable output), así como para trabajar de forma automática o manual.

A partir de la variable de proceso en forma absoluta PV_IN o porcentual PV_PER, seleccionando una de ellas mediante la variable PVPER_ON, el bloque funcional CONT_C obtiene la variable de proceso PV y la resta de la variable de consigna SP_INT para obtener la señal de error. Para eliminar pequeñas oscilaciones debidas a la cuantificación

de la variable de control, la señal de error se aplica a una zona muerta (DEADBAND) que se puede anular con DEADB_W = 0. La nueva señal de error ER así obtenida se aplica a un regulador PID, como el representado en la figura, en el que se multiplica por el factor GAIN (Kp). La señal así obtenida, se aplica a los bloques INT y DIF que operan con los parámetros TI (Ti) y TD (T¿¡) respectivamente. Dichos bloques disponen de parámetros adicionales, como por ejemplo INT_HOLD o TM_LAG, que se describen en el manual de operación de CONT_C .

Las acciones proporcional, integral y derivativa se pueden activar o desactivar mediante los conmutadores P_SEL, I_SEL y D_SEL respectivamente, y sus salidas LMN_P, LMN_I y LMN_D, se suman primero entre si y a continuación a la variable DISV. Esta variable permite al regulador tener en cuenta el efecto de determinadas perturbaciones medibles antes de que afecten a la variable de proceso (Feedforward control). El resultado de ambas sumas constituye la variable de control LMN (que se corresponde con CF) que está disponible en forma absoluta (LMN) o porcentual (LMN_PER). El valor de estas variables se puede generar manualmente (MAN) actuando sobre la variable MAN_ON, limitar mediante el bloque LMNLIMIT y normalizar mediante LMN_NORM.

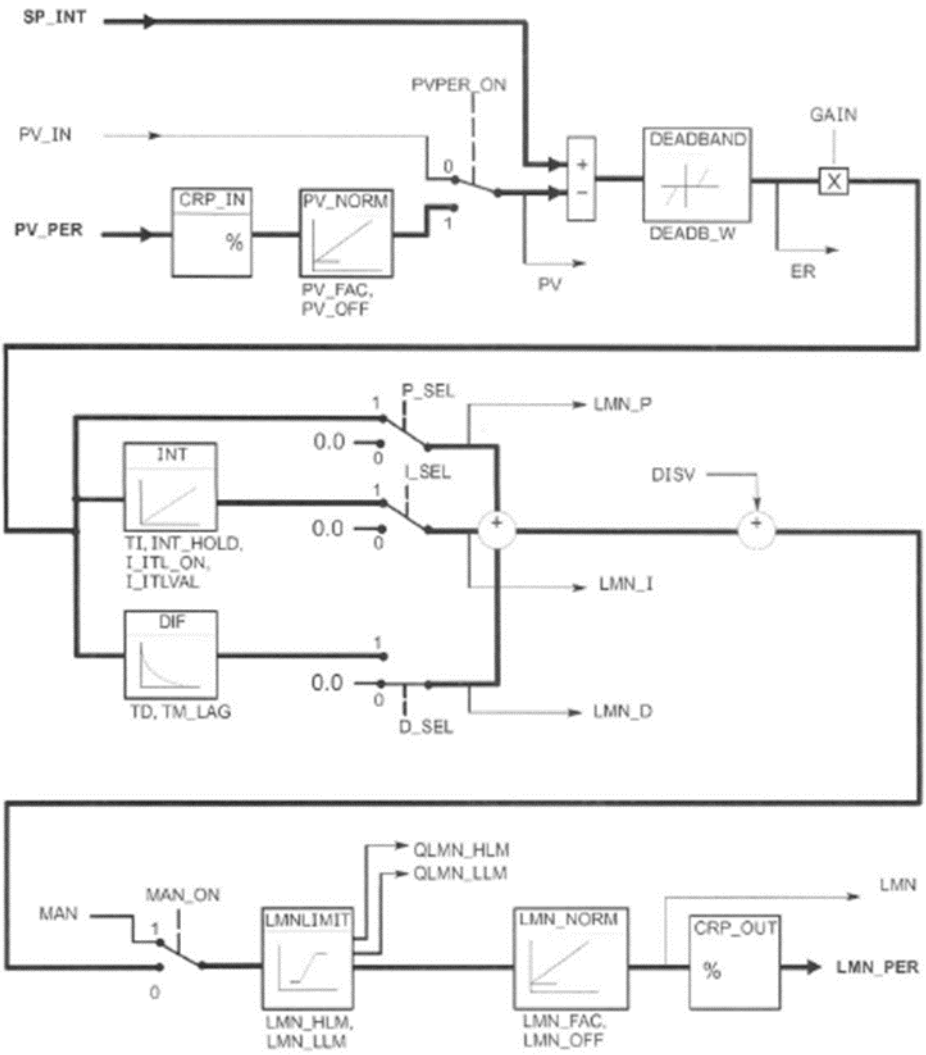


Figura 171

Diagrama de bloques del controlador PID continuo CONT C de STEP7.

Lenguaje CFC de descripción de sistemas de control de procesos continuos

CFC, abreviatura de "Continuous Function Chart" (Diagrama de funciones continuas), es un lenguaje de conexión de bloques similar al diagrama de funciones (FUP). Se diferencia de FUP en que cada bloque es a su vez una función (FC) o un bloque de función (FB) y por ello se utiliza para describir procesos continuos de manera sencilla, mediante la asignación de parámetros a un conjunto de bloques estándar interconectados.

En la figura siguiente se representa el diagrama de bloques general de un sistema de control descrito en CFC. El proceso (Process) está conectado al sistema de control mediante un conjunto de módulos hardware (i/o modules) AI de entradas analógicas (Analog Inputs), DI de entradas digitales (Digital Inputs), AO de salidas analógicas

(Analog Outputs) y DO de salidas digitales (Digital Outputs) con los correspondientes módulos controladores de dispositivo (Module drivers with diagnostics). El usuario accede a los módulos de entrada/salida analógica a través de los puntos de medida asociados con los bloques CH_AO y CFI_AI de CFC (Channel drivers connected with the measuring point).

En el sistema de control se tienen que incluir también los bloques necesarios para controlar el proceso, como por ejemplo el bloque de control PID (CTRL PID). Estos bloques pueden pertenecer a la biblioteca estándar o ser realizados por el usuario mediante las herramientas disponibles en STEP 7 como por ejemplo la herramienta S7-GRAPH de configuración gráfica (Graphic Configuration Tool) de SFC O un programa de simulación del proceso escrito en el lenguaje SCL.

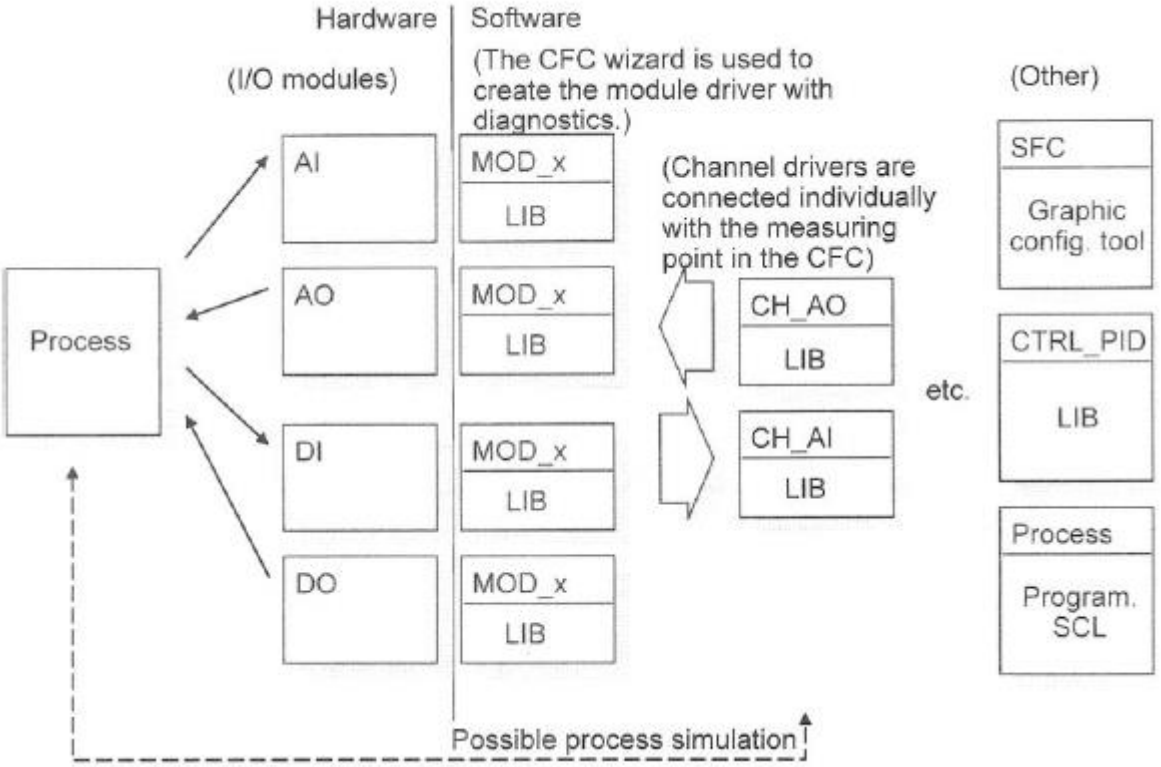


Figura 172

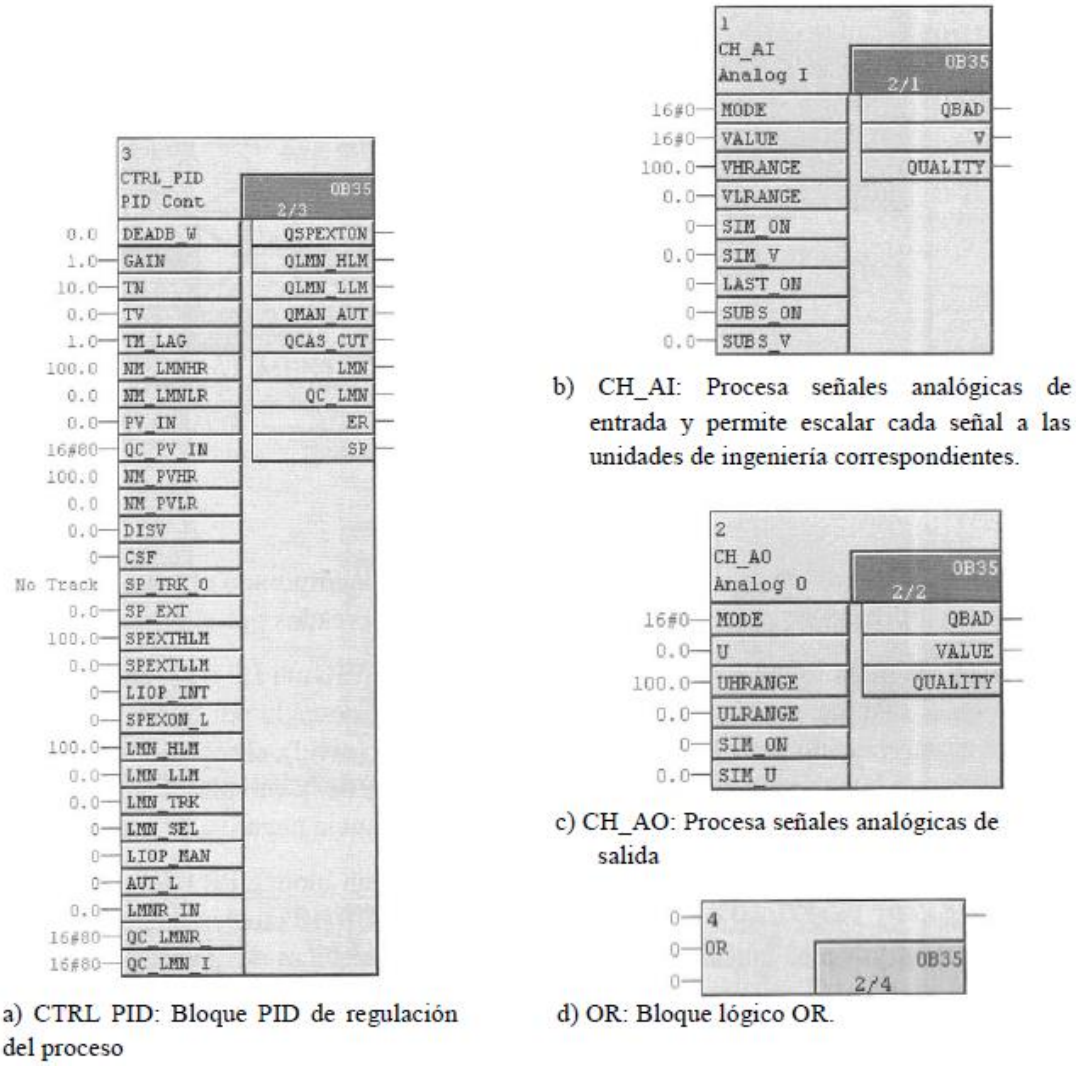
Diagrama de bloques de un sistema de control diseñado con CFC

Para mostrar al lector las ventajas de utilizar el lenguaje CFC para implementar controlado - res PID con un autómata programable, a continuación se analizan dos ejemplos de controlado- res PID diseñados con la herramienta de programación CFC que no sólo se puede incorporar al sistema STEP7 como herramienta independiente, sino que forma parte también del sistema de control de procesos PCS7 (Process Control System), que es un sistema de control distribuido DCS (Distributed Control System) de Siemens

que tiene arquitectura modular o ampliable (Scalable), herramientas de ingeniería potentes y otras funciones adicionales.

En los ejemplos se utilizan los bloques adicionales que se muestran en la figura que están incluidos en la biblioteca de SIMATIC PCS7 v7.0 + SP1.

Entre ellos se incluye el bloque CTRL_PID que constituye una implementación ampliada del bloque PID CONTC representado en la figura al que se han incorporado un conjunto de funciones adicionales [SIEM 06b], En estos bloques la variable de control CV es la variable manipulada LMV (Manipulated variable) y todos los parámetros que incluyen las siglas LMN hacen referencia directa o indirectamente a la citada variable.



a) CTRL PID: Bloque PID de regulación del proceso

b) CH_AI: Procesa señales analógicas de entrada y permite escalar cada señal a las unidades de ingeniería correspondientes.

c) CH_AO: Procesa señales analógicas de salida

d) OR: Bloque lógico OR.

Figura 173

Bloques de la biblioteca SIMATIC PCS7.

5.5 Prueba de respuesta transiente de controlador PID en DCS.

Programa de control del nivel de un tanque

Se tiene que controlar mediante un regulador PTD implementado con el sistema de control de procesos SIMATIC PCS7, el nivel de agua del tanque de la figura, que posee un sensor de nivel (LT-011) y una válvula con posicionador (LV-012), mediante la cual se varia el caudal de salida y por lo tanto el nivel del tanque. El operador de planta debe poder establecer el nivel de agua del tanque, y el sistema de control ha de ser capaz de regular el vaciado de acuerdo con las características del proceso. La capacidad del depósito es de 100 m3.

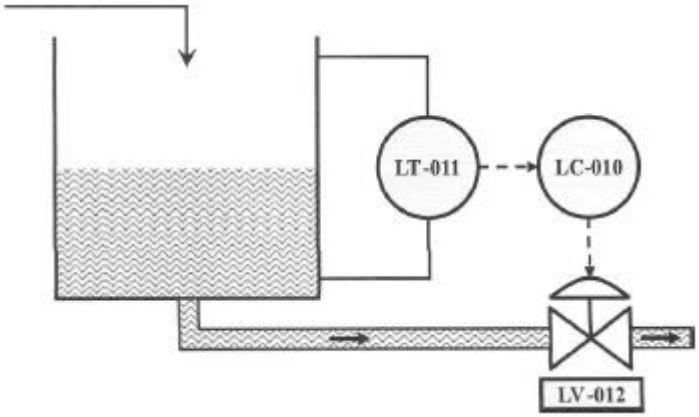


Figura 174

Diagrama de bloques del sistema de control del nivel de agua de un tanque.

Solución:

El sistema de control de procesos SIMATIC PCS7 tiene incorporado el lenguaje CFC, en el que se pueden utilizar bloques predefinidos en bibliotecas o creados por el propio usuario.

En el sistema es necesario abrir más la válvula LV-012, para hacer que el nivel baje, en el caso de que el nivel de agua rebase el valor deseado por el operador (Setpoint). Ante un incremento positivo de la variable de proceso (nivel), el regulador PID responde con un incremento positivo de la variable de control (apertura de la válvula). Este tipo de acción se denomina "acción directa" y se corresponde con una ganancia negativa de proceso.

Para regular el caudal del proceso se utiliza como base un bloque PID de la biblioteca estándar. En este bloque (LC-010) se pueden configurar todos los parámetros necesarios para ajustar la regulación a las características del proceso.

Para tener la certeza de que la apertura de la válvula coincide con la establecida por el regulador, en ocasiones es conveniente, por razones de seguridad, que la válvula utilizada disponga de confirmación de posición (Position feedback), que constituye una realimentación adicional que el autómata programable debe utilizar adecuadamente. Para ello, el bloque CTRL_PID de la dispone de la entrada LMNR_1N.

CTRL_PID: Bloque PID para controlar el nivel del tanque.

CH_AI (x2): Bloque para procesar señales analógicas de entrada y escalarlas a las unidades de ingeniería correspondientes.
CH_AO; Bloque para procesar señales analógicas de salida.
OR; Bloque lógico O que se utiliza para agrupar los posibles fallos de las señales de entrada/salida de los bloques CH_AI y CH_AO y aplicarlos al bloque PID.
Para llevar a cabo la implementación, utilizando el editor de CFC, se seleccionan los bloques indicados y se les asigna un nombre que los identifica.

Tabla de variables

VARIABLE	DIRECCION LOGICA
NIVEL	IW512
CONTROL VALVULA	QW512
REALIMENTACION VALVULA	IW514

Tabla 29

Tabla de asignación de nombres a los bloques del proyecto

BLOQUE	NOMBRE
CTRL PID	PID
CH AI	PV IN
CH AI (2)	LMNR IN
CH AO	OUTPUT
OR	OR

Tabla 30

Tabla Conexiones de los bloques CFC.

ORIGEN		DESTINO	
BLOQUE	VARIABLE (TAG)	BLOQUE	VARIABLE (TAG)
PV IN	V	PID	PV IN
LMNR IN	V	PID	LMNR IN
PV IN	QBAD	OR	IN1
LMNR IN	QBAD	OR	IN2
OUTPUT	QBAD	OR	IN3
OR	OUT	PID	CSF
PID	LMN	OUTPUT	U

Tabla 31

También se utiliza el editor de CFC para interconectar las variables (Tags) de entrada y salida de los bloques adecuados. Para que se pueda realizar la interconexión, las variables correspondientes deben ser del mismo tipo de dato (BOOL, INT, REAL, etc.). En la tabla anterior se indican las conexiones que hay que realizar para controlar el proceso.

Tabla Conexiones de los bloques con variables de proceso.

BLOQUE	TAG	SIMBOLICO (DIRECC)
PV IN	VALUE	NIVEL
LMNR IN	VALUE	REALIMENTACION VALVULA
OUTPUT	VALUE	CONTROL VALVULA

Tabla 32

El siguiente paso consiste en conectar los bloques con las variables de entrada y salida del proceso, definidas. Para ello se selecciona cada variable (Tag) y mediante la orden "interconectar con dirección", se establecen las conexiones indicadas en la tabla anterior.

En la figura se muestra el esquema del sistema de control del intercambiador realizado en CFC, una vez compilado. Después de conectar los diferentes bloques, es preciso ajustar los parámetros que definen el comportamiento del bloque PID y establecen las características dinámicas de llenado del tanque. Dichos parámetros son:

GAIN: Ganancia proporcional (equivalente a Kp)
TN: Tiempo integral (equivalente a Ti)
TV: Tiempo derivativo (equivalente a T¿¡)

En la figura se muestra la representación gráfica del proceso en la que el operador puede cambiar los parámetros del regulador PID, actuar manualmente sobre la apertura de la válvula y observar las alarmas del proceso.

En los párrafos anteriores se indican los pasos necesarios para establecer la conexión del sistema de control con el proceso real. Si se quiere realizar una simulación del proceso hay que llevar a cabo los siguientes pasos:

Poner la variable SIM_ON a 1 (TRUE) en los bloques CH_AI del CFC (PV_IN y LMNR_IN).
Insertar en el CFC un bloque del tipo PT1_P, que es un circuito de retardo de la biblioteca SIMATIC PCS7, y darle el nombre LAG.

Añadir a las conexiones de la tabla, las indicadas en la tabla.
Tabla Conexiones para simular el proceso.

BLOQUE	TAG	SIMBOLICO (DIRECC)
PV IN	VALUE	NIVEL
LMNR IN	VALUE	REALIMENTACION VALVULA
OUTPUT	VALUE	CONTROL VALVULA

Tabla 33

La inclusión del bloque LAG y el establecimiento de las conexiones indicadas en la tabla anterior tienen como objetivo simular que la variable controlada es el valor del proceso con un desfase configurable por el usuario. Para configurar este desfase se debe asignar el valor adecuado a la variable TM LAG del bloque LAG.

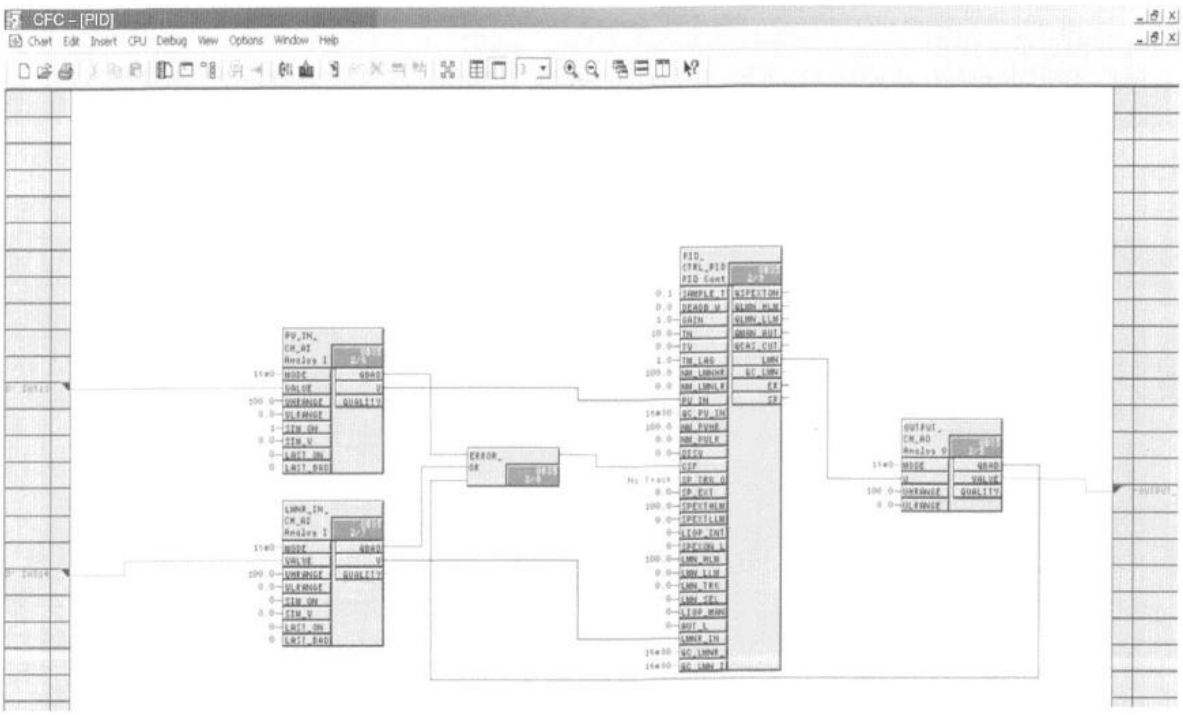


Figura 175

Esquema del sistema de control del estanque

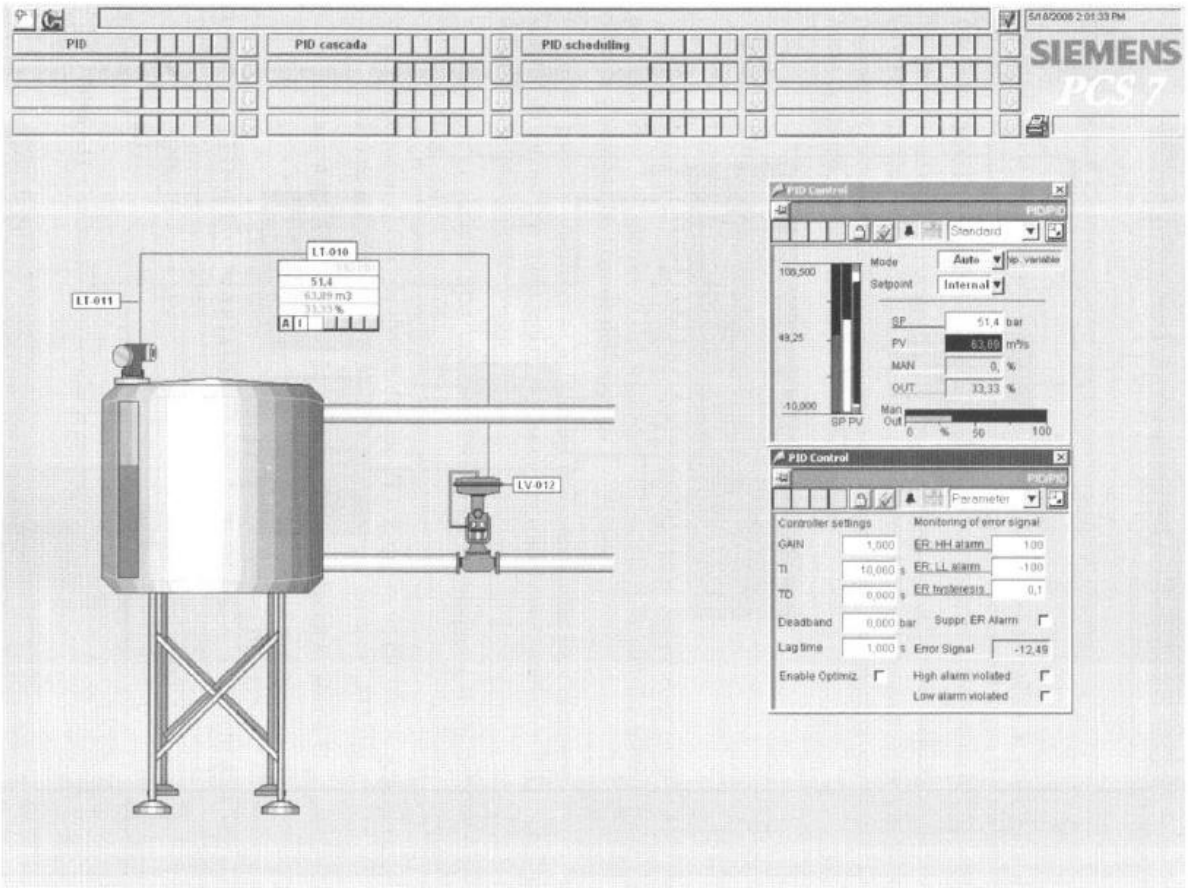


Figura 176

Representación gráfica del proceso HMI.

DSC PCS7

Actividad N° 6

Introducción a la actividad

La siguiente actividad está diseñada para implementar un programa de DCS PCS7 para una planta industrial. Considerando redes, HMI y estrategia de control. La actividad consiste en implementar, configurar y probar un programa en DCS en una aplicación industrial.

Aprendizaje Esperado, Matriz:

- Verificar funcionamiento del programa de comunicación según procedimientos y recomendaciones del fabricante.
- Identificar lenguaje de programación del programa del controlador, según jerarquía de red industrial.

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	
Explicación demostrativa en aula	
Recurso Audiovisual	
Propuestas de situaciones problemáticas	•
Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	•

<u>Aplicar técnicas para la puesta en implementar y puesta en servicio de sistema de control distribuido PCS7. Considerando controladores, lazos de control, sintonización y puesta en servicio.</u>

Objetivos del aprendizaje

- Implementación de programa y DCS a una planta industrial.
- Configuración de las distintas estaciones del DCS
- Puesta en servicio del sistema

Descripción de la Actividad

El instructor podrá realizar esta actividad en grupos, en pares o en forma individual.
Solicitará a los participantes que observen y cumplan con todas las medidas de seguridad para la tarea.
Solicitará a los participantes que implemente sistema de DCS utilizando PCS7 y realice las pruebas de comprobación de la red ControlNet.

Materiales y Recursos

- PLC S400
- PLC S200
- Materiales necesarios para implementar la red Ethernet, Profibus DP y PA
- Software PCS7 con licencia.
- 3 PC con 2 tarjetas de red.

Seguridad:

En todas las actividades de taller es necesario recordar los siguientes aspectos de seguridad:

- Uso obligatorio de implementos personales de seguridad dentro de taller
  - Casco (si aplica)
  - Lente de seguridad
  - Zapatos de seguridad
  - Guantes de faena
  - Chaleco reflectante (si aplica)
  - Protector auditivo. Si aplica
- Identificar riesgos asociados a la trabajo a realizar.
- Consultar al instructor a cargo respecto a cualquier duda
- Al finalizar el taller dejar todo limpio y ordenado.
- Trabajar en ambiente ventilado

Desarrollo de la actividad

1.- Implemente la red de PLC de acuerdo a la figura

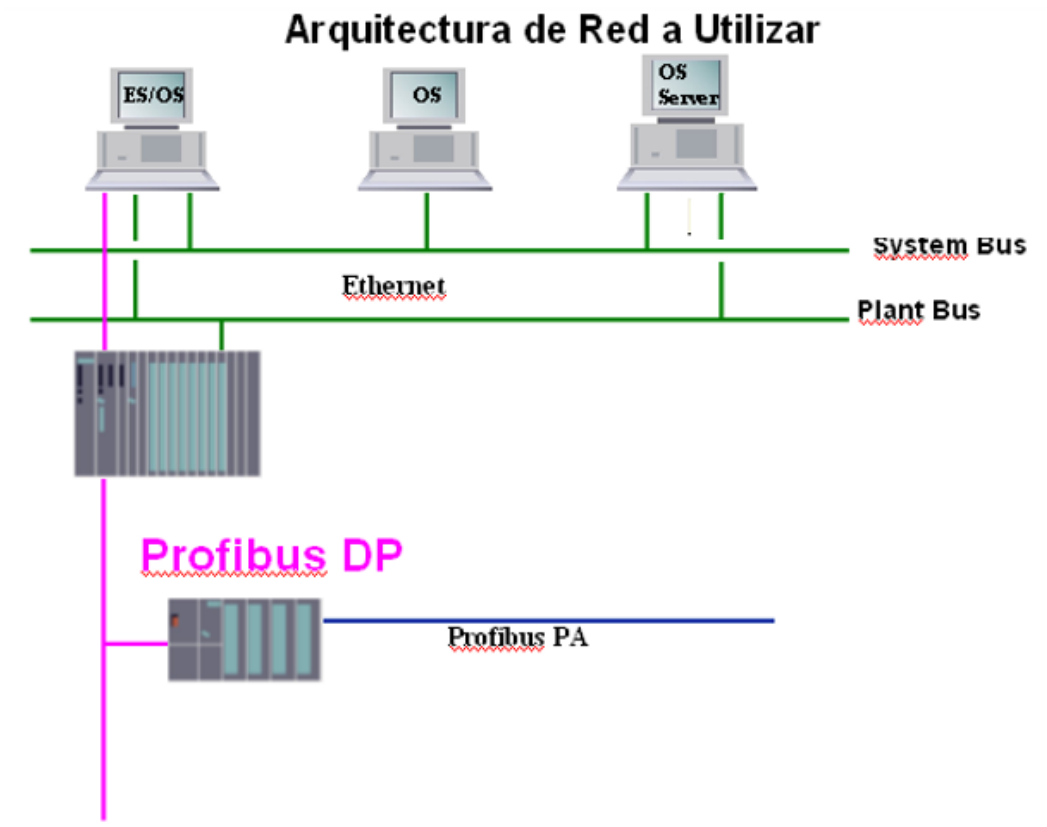


Figura 177

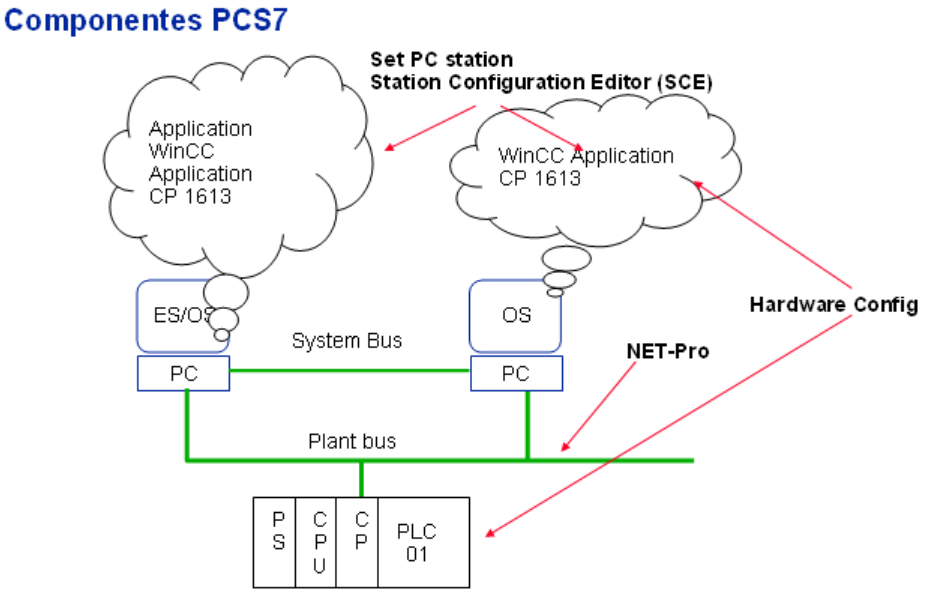


Figura 178

2.- Configure la red LAN de acuerdo a las direcciones indicadas en el siguiente esquema

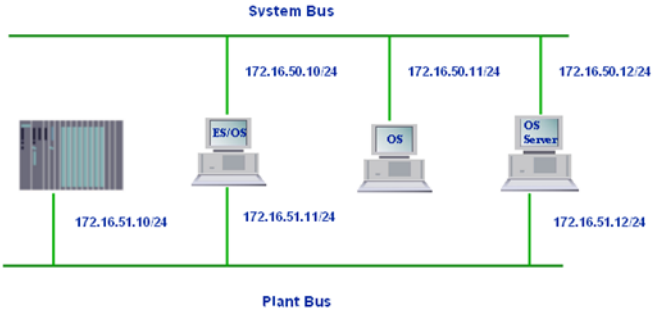


Figura 179

3.- Realice la programación necesaria para automatizar la planta de nivel indicada en la figura. Esta aplicación debe ser visualizada en las estaciones de operación.

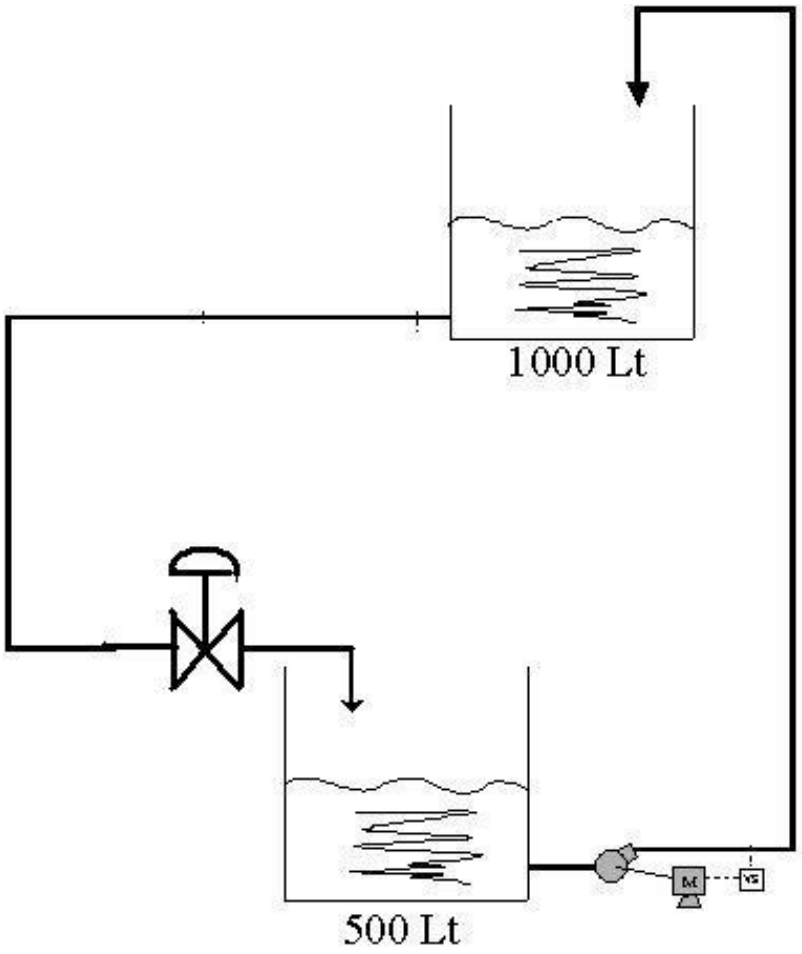


Figura 180

Cierre

Los participantes, según los antecedentes antes expuestos deberán instalar, calibrar, programar, sintonizar, conectar (red) y generar las pantallas para implementar sistema de control distribuido para automatizar planta industrial para estudio.

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-McMoRAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck