

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL CONTROL PROPORCIONAL NEUMÁTICO CON SOPORTE TÉCNICO DIDÁCTICO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ÁLVARO MIGUEL MEZA ESCALANTE

DIRECTOR: ING. FERNANDO MONTENEGRO

CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRÍA

Sangolquí, 2005-mayo

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL CONTROL PROPORCIONAL NEUMÁTICO CON SOPORTE TÉCNICO DIDÁCTICO” fue realizado en la totalidad por (ÁLVARO MIGUEL MEZA ESCALANTE), como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Fernando Montenegro

DIRECTOR

Ing. Luis Echeverría

CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-05-10

LEGALIZACIÓN DE PROYECTO

**“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL
CONTROL PROPORCIONAL NEUMÁTICO CON SOPORTE
TÉCNICO DIDÁCTICO”**

ELABORADO POR

ÁLVARO MIGUEL MEZA ESCALANTE

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DECANO

Sangolquí, 2005-05

DEDICATORIA

**A DIOS POR EL VALOR Y LA VOLUNTAD QUE ME HA
ENTREGADO TODOS LOS DÍAS DE MI VIDA**

**A MIS PADRES POR SU APOYO PACIENTE Y SIEMPRE
INCONDICIONAL, SU ENSEÑANZA CON CARÍÑO ES SU MAYOR
VIRTUD**

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio Técnico Nacional “UNE” y a su rector Lic. Carlos Guerrero por el uso de sus instalaciones y equipos, pero en especial al Tecnólogo Hugo Trujillo, profesor del plantel, por su colaboración en cada una de las prácticas y su apoyo técnico.

A los Ingenieros Goran Miladinov y Ralph-Guido Guenther funcionarios de Festo Didactic Alemania por su gentil colaboración en el avance del proyecto.

A los Ingenieros Fernando Montenegro, Director de tesis, y Luis Echeverría, Codirector por su apoyo constante y la gran confianza al presente.

A la Ingeniera Alejandra Cepeda por su empuje y cariño en cada uno de los pasos de este proyecto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DE PROYECTO	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTADO DE TABLAS	ix
LISTADO DE FIGURAS.....	xi
NOMENCLATURA	xvi
LISTADO DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
CAPÍTULO 1	1
1.1	1
1.2	3
1.3	3
1.4	4
1.5	5
CAPÍTULO 2	7
2.1	7
2.2	8
2.2.1	9
CAPÍTULO 3	11
3.1	11
3.1.1	11
3.1.1.1	13
3.1.2	15
3.1.2.1	16
3.2	16
3.2.1	16
3.2.1.1	17
3.2.1.2	20
3.2.1.3	23

3.2.1.4	24
3.2.2	25
3.2.3	25
3.2.3.1	25
3.2.3.2	27
3.2.3.3	28
3.2.3.4	28
3.2.3.5	30
CAPÍTULO 4	32
4.1	32
4.1.1	32
4.1.1.1	44
4.1.1.2	83
4.1.1.2.1	93
4.1.1.2.2	96
4.1.1.2.3	99
4.1.1.2.4	103
4.1.1.2.5	115
4.1.1.3	133
4.1.1.4	155
4.1.1.5	175
4.1.2	186
CAPÍTULO 5	207
5.1	207
5.2	208
5.3	208
5.4	208
5.4.1	209
5.4.2	209
5.5	209
5.5.1	210
CAPÍTULO 6	211

6.1	.....	211
6.1.1	.....	211
6.1.2	.....	214
CAPÍTULO 7	.....	217
7.1 CONCLUSIONES	.....	217
7.2 RECOMENDACIONES	.....	218
ANEXOS	.....	220

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Elementos básico para circuitos de CLC	9
Tabla 3.1 Simbología actuadores neumáticos.....	17
Tabla 3.2 Simbología elementos de abastecimiento	19
Tabla 3.3 Simbología básica de válvulas.....	20
Tabla 3.4 Simbología de válvulas de vías.....	21
Tabla 3.5 Nomenclatura de conexiones y terminales de válvulas (DIN ISO 5599)	21
Tabla 3.6 Simbología de válvulas de accionamiento	22
Tabla 3.7 Simbología de accesorios	23
Tabla 3.8 Simbología de actuadores.....	25
Tabla 3.9 Simbología de válvulas proporcionales.....	27
Tabla 3.10 Simbología de accesorios	28
Tabla 4.1 Comparación entre lazo abierto y cerrado.....	47
Tabla 4.2 Ejemplos de modelos de sistemas neumáticos controlados	68
Tabla 4.3 Comparación de sistemas controlados de segundo orden	75
Tabla 4.4 Variable correctora, corregida y ganancia de un sistema controlado de un actuador neumático.....	82
Tabla 4.5 Controladores dinámicos y no dinámicos	84
Tabla 4.6 Estructura de controladores neumáticos.....	84
Tabla 4.7 Propiedades de controladores P, I y D.....	103
Tabla 4.8 Propiedades de controladores PI, PD y PID.....	104
Tabla 4.9 Propiedades de controladores PI, PD y PID.....	114
Tabla 4.10 Combinaciones de varias funciones en un solo dispositivo.....	126
Tabla 4.11 Combinaciones de varias funciones en un solo dispositivo.....	129
Tabla 4.12 Combinaciones de varias funciones en un solo dispositivo.....	130
Tabla 4.13 Ventajas de un controlador digital y análogo.....	132
Tabla 4.14 Criterios de selección de controladores	133
Tabla 4.15 Criterios de selección de controladores	141
Tabla 4.16 Criterios de selección de controladores	148
Tabla 4.17 Criterios de selección de controladores	155
Tabla 4.18 Generación manual y mecánica de variable de referencia.....	157

Tabla 4.19	Control de presión eléctrica y mecánica	158
Tabla 4.20	Control de presión eléctrica y mecánica	158
Tabla 4.21	Criterios de selección de reguladores de presión neumáticos	169
Tabla 4.22	Sistemas de medición de sistemas de PLC neumático	172
Tabla 4.23	Rangos de medición de algunos sensores (FESTO)	172
Tabla 4.24	Combinaciones de controladores y sistemas de medición	173
Tabla 4.25	Señales de salida de sistemas de medición análogos	174
Tabla 4.26	Criterios de selección de sistemas de medición	174
Tabla 4.27	Métodos para la disposición de controladores	181
Tabla 4.28	Disposición del controlador usando el método Ziegler-Nichols.....	183
Tabla 4.29	Disposición del controlador usando el método Ziegler-Nichols.....	184
Tabla 4.30	Posibles fallas de sistemas	185

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 3.1 Sistema de suministro de fluido	12
Fig. 3.2 Unidad de mantenimiento (Festo Didactic)	12
Fig. 3.3 Diagrama de flujo de la energía y de las señales.....	15
Fig. 3.4 Diagrama de elementos de mando neumático	15
Fig. 3.5 Ejemplos de conexiones y terminales de válvulas	22
Fig. 3.6 Mangueras de interiores y racores (FESTO DIDACTIC).....	25
Fig. 3.7 Ejemplos de actuadores de control proporcional industriales	26
Fig. 3.8 Ejemplos de válvulas de control proporcional industriales	27
Fig. 4.1 Ejemplo de circuito para aplicación de señal binaria.....	32
Fig. 4.2 Función de tiempo de señal binaria	33
Fig. 4.3 Ejemplo de circuito para aplicación de señal análoga.....	33
Fig. 4.4 Función de tiempo del comportamiento de señal análoga	34
Fig. 4.5 (a) Características de la señal binaria.....	35
Fig. 4.6 Diagramas de bloque para una válvula de 3/2 y de un cilindro neumático	36
Fig. 4.7 (a...e): Respuesta al mando y diagrama de bloque para una válvula	37
Fig. 4.8 Circuito en serie	38
Fig. 4.9Circuito ramificado	39
Fig. 4.10 Circuito ramificado (diagrama de acción de válvula 3/2)	40
Fig. 4.11 Circuito paralelo	41
Fig. 4.12 Funciones de transición y de rampa.....	42
Fig. 4.13 Señales de prueba de electro válvula	43
Fig. 4.14 Ejemplo demostrativo de un circuito de control de velocidad; diagrama de flujo del circuito de lazo abierto.....	45
Fig. 4.15 Diagrama de flujo del circuito de lazo cerrado	46
Fig. 4.16 Terminología del control de lazo cerrado	47
Fig. 4.17 (a...c): Comportamiento de las funciones con controladores	51
Fig. 4.18 Comportamiento de los estados estáticos sin y con una desviación.....	52
Fig. 4.19 Comportamiento de los estados dinámicos.....	54
Fig. 4.20 Respuesta a los cambios del setpoint.....	55

Fig. 4.21 Respuesta a los cambios del setpoint	56
Fig. 4.22 Sistemas de control de valor arreglado	57
Fig. 4.23 Sistemas de control de valor arreglado o arreglo de valor	58
Fig. 4.24 Sistemas de control de tiempo	59
Fig. 4.25 Diferenciación de una señal	60
Fig. 4.26 Diferenciación de una señal sin cambios abruptos de mando	62
Fig. 4.27 Función de transición de un diferenciador.....	63
Fig. 4.28 Integración de una señal	64
Fig. 4.29 Integración de una señal sin cambios abruptos de mando	66
Fig. 4.30 Función de transición de un Integrador	67
Fig. 4.31 Respuesta de mando y diagrama de bloque de un sistema controlado con compensación	69
Fig. 4.32 Respuesta de mando y diagrama de bloque de un sistema controlado sin compensación	70
Fig. 4.33 Sistema controlado de atraso corto.....	71
Fig. 4.34 Sistema controlado libres de atraso	72
Fig. 4.35 Sistemas de presión controlado con un reservorio	72
Fig. 4.36 Sistema de control de presión con dos reservorios.....	74
Fig. 4.37 Cilindro neumático con sensor de velocidad	75
Fig. 4.38 Cilindro neumático con sensor de velocidad	77
Fig. 4.39 Válvula de 3 vías neumática con actuación piloto.....	78
Fig. 4.40 Comportamiento a la respuesta de mando de sistemas controlados.....	79
Fig. 4.41 Características del estado estático para un cilindro neumático.....	81
Fig. 4.42 Diagrama de bloque de un controlador	83
Fig. 4.43 Control de presión con controlador de dos pasos	85
Fig. 4.44 Control de presión con controlador de tres pasos.....	87
Fig. 4.45 Control de presión con un controlador de cinco pasos y una válvula 5/3	88
Fig. 4.46 Diagrama de señal de flujo de un controlador no dinámico.....	90
Fig. 4.47 Señal de curva, Función característica y diagrama de bloque de un controlador de dos pasos diferencia de cambio o diferencia de mando.....	92
Fig. 4.48 Diagramas de bloque de controladores no dinámicos.....	93

Fig. 4.49 Sistema de control de velocidad con un controlador de acción proporcional	94
Fig. 4.50 Funciones de transición de dos controladores P con diferentes coeficientes del controlador	96
Fig. 4.51 Funciones de transición de dos controladores P con diferentes coeficientes	97
Fig. 4.52 Función de transición de dos controladores I.....	98
Fig. 4.53 Efecto del control de acción derivativa	101
Fig. 4.54 Funciones de transición y de rampa de un controlador D	102
Fig. 4.55 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PI	105
Fig. 4.56 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PD	106
Fig. 4.57 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PID	108
Fig. 4.58 Diagrama de flujo de señal para un controlador dinámico estándar....	110
Fig. 4.59 Control de velocidad con una limitación en la señal correctora.....	111
Fig. 4.60 Función característica y diagrama de bloque de un limitador	112
Fig. 4.61 Circuito de PLC con un controlador P	113
Fig. 4.62 Circuito de PLC con un controlador P	116
Fig. 4.63 Diagrama de flujo de señal de un controlador de estatus de triple lazo	117
Fig. 4.64 Estructura de controlador para sistemas controlados con compensación	118
Fig. 4.65 Estructura de controlador para sistemas controlados sin compensación	119
Fig. 4.66 Respuesta a la interferencia de un control de lazo abierto.....	121
Fig. 4.67 Respuesta a la interferencia de un control de lazo abierto.....	122
Fig. 4.68 Cálculo de la ganancia de lazo cerrado	123
Fig. 4.69 Circuitos de control de lazo cerrado.....	125
Fig. 4.70 Sistema de control de un eje o eje simple.....	127

Fig. 4.71 Implementación de un circuito de control de lazo cerrado con controlador lógico programable.....	129
Fig. 4.72 Circuito de un controlador análogo PID.....	131
Fig. 4.73 Flujo de señal en un controlador digital.....	132
Fig. 4.74 Flujo de señal en una válvula de control direccional	134
Fig. 4.75 Diagrama de posición de una válvula de control direccional dinámico como una función de la variable correctora	135
Fig. 4.76 Posición del diagrama de una válvula de control direccional dinámico como una función de la variable correctora	137
Fig. 4.77 Posiciones del diafragma de una válvula de control direccional dinámica para señales correctoras seleccionadas	139
Fig. 4.78 Posiciones del diafragma de una válvula de control direccional dinámica para señales correctoras seleccionadas	140
Fig. 4.79 Configuraciones de la válvula para actuadores de posicionamiento neumático	142
Fig. 4.80 Función de flujo de rango señal	144
Fig. 4.81 Ensamble de prueba para una función de presión/señal	145
Fig. 4.82 traslape y función de presión/señal	147
Fig. 4.83 Medición de las características de transmisión de una válvula de control direccional dinámico.....	150
Fig. 4.84 Medición del límite de frecuencia de una válvula de control direccional dinámica.....	152
Fig. 4.85 Frecuencia de respuesta de una válvula.....	154
Fig. 4.86 Frecuencia de respuesta de una válvula.....	156
Fig. 4.87 Regulador de presión mecánico.....	160
Fig. 4.88 Diagrama de flujo de señal de un regulador de presión mecánico.....	161
Fig. 4.89 Contacto controlador de presión con un regulador de presión.....	162
Fig. 4.90 Vista seccionado de un regulador de presión con ajuste mecánico.....	162
Fig. 4.91 Diagrama de flujo de señal de un regulador de presión con ajuste de presión mecánico	164
Fig. 4.92 Regulador de presión con sensorica integrada y controles electrónicos	165

Fig. 4.93 Diagrama de flujo de señal para un circuito de CLC con regulador de presión (ajuste de presión eléctrico)	166
Fig. 4.94 Función característica de un regulador de presión eléctricamente controlado	167
Fig. 4.95 Diagrama de señal de flujo para un circuito de CLC de presión con una válvula de control direccional	168
Fig. 4.96 Función de un sistema de medición de un circuito de CLC.....	170
Fig. 4.97 Estructura de un sistema de medición	171
Fig. 4.98 Implementación de una instalación automatizada.....	176
Fig. 4.99 Planeación de un circuito de CLC	178
Fig. 4.100 Función característica de un sistema controlado por el método Ziegler-Nichols	182
Fig. 6.1 Matriz de decisión para la selección y comparación de elementos de un banco de pruebas de control proporcional Festo Didactic y un híbrido industrial.	212

NOMENCLATURA

CLC	Control de lazo cerrado
P	Controlador de Posición
D	Controlador Derivativo
I	Controlador Integral
KS	El factor de ganancia
w	Variable de referencia
r	Variable de retroalimentación
e	Sistema de desviación
y	Variable de corrección
z	Variable de interferencia
e_{estat}	Estado estático
T_v	Tiempo de acción derivativa
T_n	Tiempo de acción integral
KP	Coefficiente KP de la acción proporcional
KD	Coefficiente de la acción derivativa
KI	Coefficiente de la acción integral
Kx	Coefficiente de posición
Kx	Coefficiente de velocidad
Kx	Coefficiente de velocidad
x	Velocidad
x	Aceleración

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1.....	221
ANEXO 2.....	227
ANEXO 3.....	233
ANEXO 4.....	237
ANEXO 5.....	243
ANEXO 6.....	249
ANEXO 7.....	253
ANEXO 8.....	259
ANEXO 9.....	265
ANEXO 10.....	271
ANEXO 11.....	277
ANEXO 12.....	281
ANEXO 13.....	287
ANEXO 14.....	291
ANEXO 15.....	295
ANEXO 16.....	299
ANEXO 17.....	305
ANEXO 18.....	309
ANEXO 19.....	315

RESUMEN

El siguiente proyecto presenta el análisis de un banco de pruebas para prácticas de control proporcional neumático o circuitos de control de lazo cerrado neumático, se presenta en el contenido cada uno de los elementos necesarios para la comprensión básica del control proporcional, mostrando el funcionamiento detallado del equipo y de la funcionalidad en el circuito neumático y eléctrico.

El objetivo principal del estudio mostrado es la capacidad de enseñanza de un banco de pruebas de esta categoría para el uso práctico en la industria. La explicación de cada uno de los procesos al estudiante y los fenómenos físicos que lo envuelven, lo vuelven capaz de diagramar, construir e implementar nuevos circuitos reales que generaran eficiencia y calidad en plantas industriales y controladores de procesos.

Al final del proyecto se conocerá la ventaja de la implementación de este banco de pruebas para la ESPE, sus alcances y la inversión necesaria.

Las metas a corto plazo para el estudiante serán:

Ampliar los conocimientos técnicos en neumática básica y electro neumática

Conocer los principios básicos de la retroalimentación

Aplicar la funcionalidad de los elementos de control de procesos (controlador PID, controlador de estatus)

Entregar soluciones a complejos sistemas de control mediante el control de lazo cerrado

No se realizará un detalle del armado y del acople de los elementos a un banco de pruebas construido, ya que no existe ninguna dificultad en conseguir accesorios y en la instalación de un banco de pruebas de similares características

En el análisis financiero se estudiará la conveniencia de adquirir un Banco de

pruebas completamente Didáctico (proformas FESTO Alemania) y construir un híbrido con elementos industriales y muy pocos didácticos.

En conclusión el análisis de los elementos, los circuitos implementados y la muestra de una gran cantidad de información didáctica aseguran al lector una gran comprensión de los sistemas utilizados en la actualidad para procesos en serie y las herramientas para soluciones eficaces y con calidad.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El presente proyecto está enfocado a la innovación tecnológica del laboratorio de Sistemas hidráulicos y neumáticos de la Escuela Politécnica del Ejército, innovación basada en el conocimiento de nuevas tecnologías de control y de aseguramiento de funcionalidad de procesos.

El diseño, análisis y soporte didáctico – práctico de un banco de pruebas de control proporcional neumático cumple su propósito al entregar un estudio completo de una posible futura implementación en laboratorios de un banco de pruebas similar, garantizando al estudiante una fuente de conocimientos y un apoyo de práctica en simulaciones industriales.

La finalidad del estudio del control de lazo cerrado es presentar al estudiante un sin número de aplicaciones en procesos en los que la retroalimentación de variables garantizan eficiencia, calidad y productividad en la industria. Tomando así los criterios para nuevos diseños y aplicaciones de procesos de control. El conocimiento da como resultado la solución con Ingeniería de problemas actuales y la sistematización de procesos a menores costos de aplicación.

El proyecto está referido específicamente a prácticas de control en lazo cerrado, incluyendo el mismo un estudio detallado de la neumática en sistemas de retroalimentación y el soporte técnico-didáctico necesario para introducir al usuario al conocimiento específico del control proporcional, aplicaciones y prácticas de estudio.

El sistema tiene la flexibilidad de proporcionar una idea clara de los diferentes procesos aplicables en la industria en un solo lugar, realizando únicamente simulaciones del sistema, conociendo el funcionamiento y el alcance de las prácticas de laboratorio.

El laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE posee bancos neumáticos e hidráulicos de procedencia diversa, dicho equipo en la actualidad presenta inconvenientes de dos tipos:

- a) Daños y problemas frecuentes en elementos y equipos de práctica.
- b) Desfase tecnológico-aplicacional respecto de las necesidades potenciales actuales y futuras de la tecnología nacional.

Con estos problemas a resolver se requiere renovar el equipo existente, ampliar la capacidad de laboratorio, y proyectar las necesidades de actualización tecnológica; el presente proyecto confluye aspectos tanto de aprendizaje como de aplicación posible en el país de las tecnologías consideradas.

Es necesario anotar que, al realizar el diseño completo del control proporcional neumático, se evidencia un considerable ahorro en la futura posible compra del banco en cuestión, no sólo por presentar características industriales en sus elementos sino también por la adaptación de varios sistemas de control ya existentes como equipos de laboratorio.

El presente proyecto, muestra el diseño de un banco de pruebas didáctico para futuras aplicaciones de neumática básica, electro neumática y neumática proporcional, refiriéndose a esta última específicamente como el conjunto de teoría de la neumática de control de variables, elementos que lo conforman y un estudio completo de prácticas de control proporcional en lazo cerrado, incluyendo un software didáctico especializado en ayudas visuales de elementos neumáticos, modelación de sistemas neumáticos y simulación de los mismos, necesario para introducir al alumno al conocimiento específico del control proporcional, aplicaciones y prácticas de estudio

1.2 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA A RESOLVER CON ESTE PROYECTO

Adquirir conocimientos actuales sobre el diseño e implementación de sistemas de control proporcional por parte del estudiante, El proceso de aprendizaje técnico-teórico da al estudiante una idea clara de los alcances que se puede tener en construcción de sistemas de lazo cerrado o retroalimentación de variables.

Aumentar el conocimiento del estudiante frente a los procesos actuales industriales, conocer la importancia del control proporcional en un sistema para incrementar eficiencia, garantizar calidad y aumentar la productividad de un producto.

Suplir la deficiencia de la aplicación del control proporcional en la industria, la falta de una asesoría para solución de problemas industriales. El proyecto dará la pauta necesaria para que el estudiante tenga una idea clara de lo que el control proporcional es y como implementarlo.

1.3 OBJETIVOS A ALCANZAR

- Reducción de costos y optimización de recursos al momento de implementar, actualizar y renovar equipos de laboratorio en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE.
- Aportar al fortalecimiento de la infraestructura y capacidad de enseñanza de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE.
- Diseñar aplicaciones y requerimientos posibles dentro del campo de control proporcional. Conocer el funcionamiento de sistemas industriales y el como aplicarlo, ya sea con modificaciones o con iniciativas de diseño.
- Determinar los futuros elementos requeridos para el banco de pruebas, compatibilidad entre equipos y flexibilidad en el diseño de sistemas.

- Realizar un proceso de selección de elementos de control proporcional, considerando aspectos como: calidad, funcionamiento, características, compatibilidad, versatilidad, vida útil, soporte técnico y garantía.
- Detallar las características técnicas de cada elemento adquirido, a manera de catálogo por elemento del equipo.
- Establecer pruebas del equipo con guías detalladas para el estudiante.
- Dotar al estudiante de la capacidad de resolver problemas reales en la industria, diseñando y modificando sistemas que necesiten un mayor control.
- Prestar servicios de laboratorio para empresas que necesiten soluciones a problemas en procesos.
- Generar un soporte técnico-didáctico respecto de la sección específica de control proporcional, conocer el funcionamiento y el como aplicarlo.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

En el Ecuador ha cobrado gran importancia la neumática proporcional con el conocimiento de nuevos materiales de construcción de sus elementos, especialmente en los últimos años, como medio de aplicación de sistemas diversos de automatización; es evidente la necesidad de afirmar el conocimiento técnico del estudiante de Ingeniería al respecto de sistemas inherentes a control, diagramación y ensayos de neumática electro neumática y control proporcional.

Es importante mencionar la trascendencia de involucrar tendencias tecnológicas posibles a nivel local con el aprendizaje práctico de las mismas.

La importancia de la actualización tecnológica en las universidades, es un aspecto de gran importancia al momento de formar un técnico con suficientes conocimientos prácticos como teóricos, el confluir la teoría con la práctica es una de las mejores metodologías de enseñanza.

El proyecto es altamente justificable con la entrega de conocimientos hacia el estudiante para comprender los desafíos tecnológicos en la industria y como resolver problemas de control frecuentes en los procesos. Otro enfoque del proyecto es constatar que la construcción de un banco de pruebas de similares características es posible. Grande es el aporte que puede surgir hacia el alumnado con un enfoque de renovación y actualización de equipos de laboratorio.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

Diseñar un banco de pruebas para control neumático proporcional para una futura construcción e implementación en el laboratorio de sistemas neumáticos e hidráulicos en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército. El proyecto muestra la importancia del control de variables en la industria, el sin número de aplicaciones en la que los procesos necesitan corrección o modificaciones para asegurar un mejor funcionamiento y conseguir un producto con especificaciones deseadas.

El banco de pruebas puede ser considerado como un libro abierto al conocimiento y una base para innovaciones, es decir, el estudiante podría analizar las mejoras y las soluciones en procesos en serie o en los que el producto necesite grandes especificaciones en calidad.

También el banco puede prestar servicios a empresas que requieran soluciones en regulación de variables o en diseño de sistemas. Teniendo una fuente de posible autofinanciamiento en la compra del banco completo.

CAPÍTULO 2

PROCEDIMIENTOS DE SELECCIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS

2.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA COMO OBJETIVOS DIDÁCTICO DE APLICACIÓN.

El sistema de control proporcional analiza la tecnología de control análogo en lazo cerrado. Esto implica el conocimiento técnico, el funcionamiento práctico y los ejercicios de aplicación para justificar el estudio.

El sistema análogo se explica por una forma básica de comprensión del sistema y lo que significa el control proporcional. Si bien es cierto que en la industria se utilizan mandos digitales para el uso de varios controles, este proyecto básico indica los procedimientos esenciales para iniciarse en el control de variables y el estudio de las funciones lógicas de todas las técnicas proporcionales.

Pero la flexibilidad es la mayor virtud del sistema, no sólo prepara el camino del estudio de técnica proporcional básica es decir análoga sino que cumple con condiciones futuras de equipamiento como todas las técnicas digitales industriales.

El sistema de enseñanza se basa en lecciones básicas (usando parte del equipo) hasta prácticas avanzadas (todo el equipo en funcionamiento), todo esto concentrado en un libro interactivo de todo el sistema.

Además los ejercicios están divididos en tres grupos:

- Regulación de presiones no dinámicas
- Regulación de presiones dinámicas
- Control de Posición

Estos sistemas preparan al estudiante en el conocimiento práctico y en el entrenamiento en el campo de la automatización de sistemas. El banco diseñado permite aplicaciones futuras en sistemas neumáticos controlados con PLC, sistemas hidráulicos y actuadores eléctricos.

2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPO.

El equipo de control proporcional debe cumplir con requerimientos básicos de funcionamiento como seguridad, flexibilidad y eficacia en todos los sentidos. Facilidad de entendimiento para el armado de circuitos es el objetivo principal del banco, esto se justificará con la comprensión del estudiante en los temas específicos del control proporcional:

- Acción de Control Encendido-Apagado (Brecha Diferencial).
- Acción de Control Proporcional.
- Acción de Control Integral.
- Acción de Control Derivativa.
- Acción de Control Proporcional Integral.
- Acción de Control Proporcional Derivativa.
- Acción de Control Proporcional Integral Derivativa.

Las acciones de control que se van a plantear en este proyecto son la acción De control proporcional, la acción de control proporcional integral y la acción de Control proporcional derivativo.

Para este tema se necesita una estructura básica de componentes y equipos, resumidos en el siguiente cuadro:

Tabla 2.1 Elementos básico para circuitos de PLC

Equipamiento general
Descripción
Pantalla de salida de señal eléctrica
Válvula montable 3/2
Válvula de control unidireccional
Manómetro
Válvula distribuidora 3/2
Unidad de mantenimiento
Válvula solenoide simple 3/2
Escala de 350 mm
Cargador de pesos
Reservorio
Actuador lineal, alcance 200 mm
Sensor análogo de presión
Válvula proporcional 5/3
Válvula solenoide 5/3, cerrada en posición media
Comparador
Controlador PID
Controlador de estatus
Válvula con accionamiento 3/2 vías, NC
Potenciómetro lineal

2.2.1 REFERENCIAS TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO

El sistema debe seguir ciertas direcciones de enseñanza:

- Ser capaz de entender la necesidad del control proporcional en la industria.
- Conocer las características y las diferencias entre lazo cerrado y abierto.
- Familiarizar al estudiante con el diseño de un controlador eléctrico PID. Conociendo la respuesta transitoria de un circuito de control de lazo cerrado con un controlador PID.
- Ser capaz de explicar el funcionamiento de una válvula direccional de

control proporcional.

- Poder producir y evaluar una presión señal característica.
- Ser capaz de nombrar el criterio de calidad de control.
- Explicar el diseño y funcionamiento de un controlador de posición, diferencial e integral.
- Conocer los elementos básicos del sistema y funcionamiento de cada uno de sus elementos.
- Capacidad de distinguir los tipos de sensores de acuerdo a su tipo de señal.
- Aptitud de conocer el diseño y el modo de operación de sensores análogos.
- Asegurar los conocimientos de neumática básica y de electro neumática aprendidos a lo largo del curso básico de Sistemas hidráulicos y neumáticos.

CAPÍTULO 3

LEVANTAMIENTO DE HOJAS TÉCNICAS.

3.1 EQUIPO

3.1.1 SISTEMA DE SUMINISTRO DE FLUIDO

El sistema de abastecimiento de aire debe tener las dimensiones y las características necesarias para garantizar la calidad y la cantidad para el funcionamiento de un proceso.

Para evitar problemas en el sistema son necesarias las siguientes consideraciones:

- Consumo de aire
- Tipo de compresor (ruido, eficiencia, tamaño, etc.)
- Presión necesaria en el sistema
- Cantidad acumulada necesaria
- Grado de pureza necesaria para el sistema
- Mínima humedad ambiental
- Requisitos de lubricación
- Temperatura de aire y su incidencia en el sistema
- Tamaño de las tuberías y de las válvulas
- Selección de los materiales utilizados en el equipo y en los periféricos
- Puntos de escape y de purga
- Disposición del sistema de distribución.

Los elementos de laboratorio y de prácticas usan presiones de servicio de 8 hasta 10 bares, pero cuando se usan pocos elementos se tiene un ahorro y se necesita

solamente de 5 a 6 bares (500 y 600 Kpa), esto también toma en cuenta la compensación por fugas en el sistema de distribución.

Para evitar oscilaciones de presión, se debe instalar un acumulador, este es llenado por el compresor y utiliza el aire comprimido en todo momento.

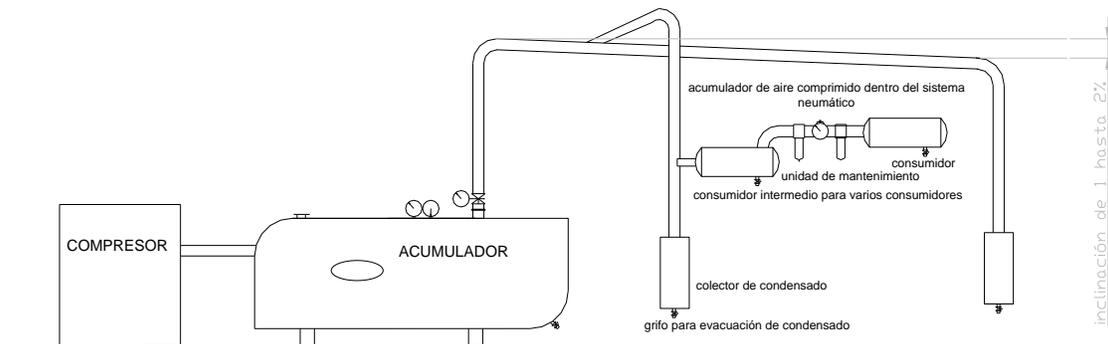


Fig. 3.1 Sistema de suministro de fluido

La calidad del sistema es compensada a través de la unidad de mantenimiento. En el sistema de mando se debe utilizar elementos que no necesiten lubricación.



Fig. 3.2 Unidad de mantenimiento (Festo Didactic)

Filtro para aire de presión, El filtro de aire tiene la función de eliminar impurezas y condensado del aire a presión que pasa por él. El aire comprimido fluye hacia el vaso de filtro guiado a través de ranuras de entrada. En el vaso se produce la

separación de partículas de líquido y de suciedad mediante fuerza centrífuga. Las partículas de suciedad se depositan en el fondo del vaso. El condensado tiene que ser evacuado antes de que llegue al nivel máximo, ya que de lo contrario sería alimentado otra vez el flujo de aire.

Regulador de aire a presión, Este tiene la función de mantener constante la presión de servicio (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que se produzcan en la presión de potencia (presión primaria), y del consumo del aire.

Lubricador de aire a presión, Este tiene la función de agregar aceite al aire en determinado tramo del sistema de distribución de aire, en el caso de que el funcionamiento del sistema neumático así lo requiera.

3.1.1.1 Neumática.

La Neumática ha cumplido un papel preponderante en la mecánica a través del tiempo. Cumpliendo su labor en la industria y en los procesos de fabricación. Ahora toma cada vez más su valor aumentando su desarrollo en las aplicaciones neumáticas automatizadas.

La neumática cumple con las siguientes funciones:

- Detección de estados mediante sensores
- Análisis de informaciones mediante procesadores
- Operación de actuadores mediante elementos de control.
- Ejecución de trabajos mediante actuadores.

Para controlar máquinas y equipos suele ser necesario efectuar una concatenación lógica y compleja de estados y conexiones. Un circuito funciona de esta manera al unir, sensores, controladores, procesadores y actuadores.

Nuevas funciones en procesos productivos han hecho que los materiales, métodos de montaje y de fabricación sigan adelantando en progreso, todo esto aumenta el uso de la neumática en la automatización.

Los cilindros neumáticos son utilizados con frecuencia como elementos de accionamiento lineal, porque entre otras razones, se tratan de unidades de presión relativamente bajo, de fácil instalación, simples y robustas, disponibles en todos los tamaños diversos.

También los elementos neumáticos de accionamiento permiten realizar movimientos lineales, giratorios y rotativos. Todo esto hace que la neumática sea utilizada para diferentes propósitos:

- Embalar
- Llenar
- Dosificar
- Realizar técnicas de fabricación (Perforar, torneado, fresar, cortar, controlar)
- Abrir y cerrar puertas
- Transportar
- Separar, apilar, estampar y prensar piezas.

Para realizar todas estas acciones es necesario un sin número de dispositivos:

- Actuadores
- Sensores
- Procesadores
- Accesorios y acoplamientos
- Sistemas de mando (sistemas de control)

3.1.2 SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Todo sistema neumático está compuesto de diversos elementos: Estos grupos de elementos conforman una vía para la transmisión de las señales de mando desde el lado de la emisión de señales de entrada hasta el lado de la ejecución de trabajo (salida).

Los órganos de maniobra controlan los elementos de trabajo o de accionamiento en función de las señales recibidas por los elementos recibidos

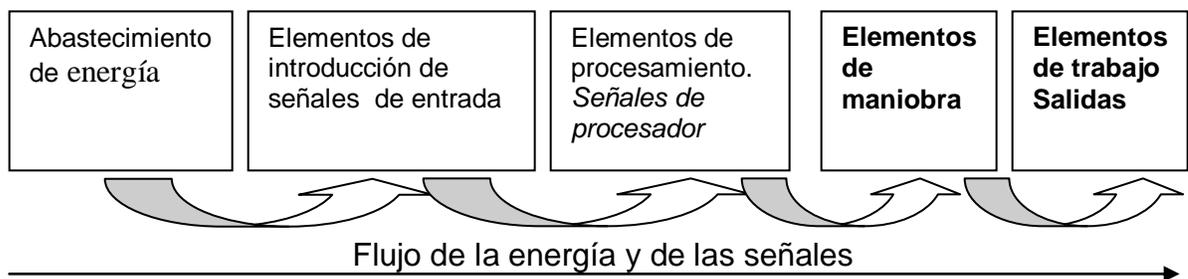


Fig. 3.3 Diagrama de flujo de la energía y de las señales

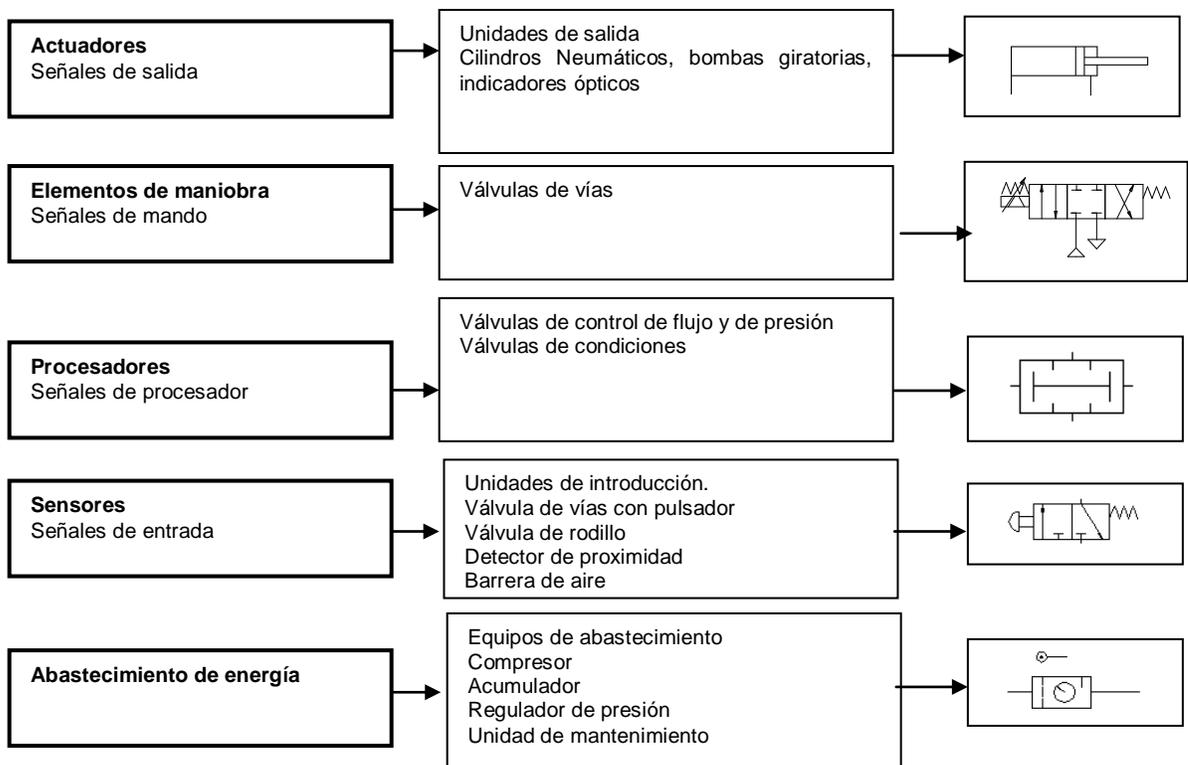


Fig. 3.4 Diagrama de elementos de mando neumático

3.1.2.1 Seguridad

De acuerdo a la norma VDI 3229 (normas técnicas para máquinas herramientas y otros equipos de fabricación) se deben cumplir:

P 4.5 Seguridad

P 4.5.1 Inactivación del mando

En el caso de producirse una inactivación del mando o al desconectarlo, los operadores no deberán correr peligro alguno

P 4.5.2 Interrupción de paro de emergencia

*Los sistemas neumáticos equipados con varios cilindros deberán llevar un interruptor de emergencia. Según las características de construcción y de servicio, deberá establecerse si la función **PARO DE EMERGENCIA***

- *Provoca que el sistema pase a presión cero*
- *Si todos los cilindros pasan a posición normal o*
- *Si todos los cilindros quedan bloqueados en su posición instantánea.*

Estas tres posibilidades pueden combinarse entre si

3.2 ELEMENTOS

3.2.1 ELEMENTOS NEUMÁTICOS

Símbolos de neumática básica

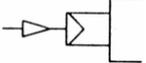
Todos estos dependen de:

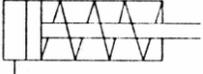
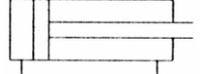
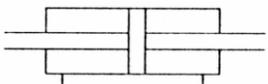
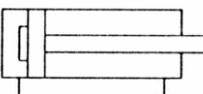
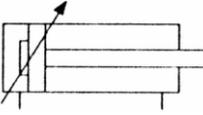
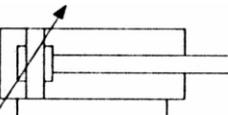
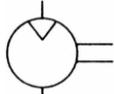
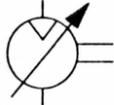
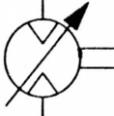
- Tipo de accionamiento
- Cantidad de conexiones y denominación de dichas conexiones
- Cantidad de posiciones
- Funcionamiento
- Representación simplificada del flujo.

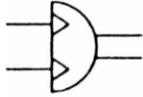
Los símbolos aplicados a la neumática corresponden a la norma industrial **DIN ISO 1219** (símbolos de sistemas y equipos de la técnica de fluido).

3.2.1.1 Actuadores y sistemas de abastecimiento

Tabla 3.1 Simbología actuadores neumáticos

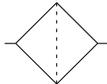
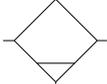
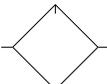
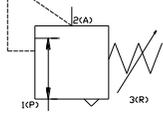
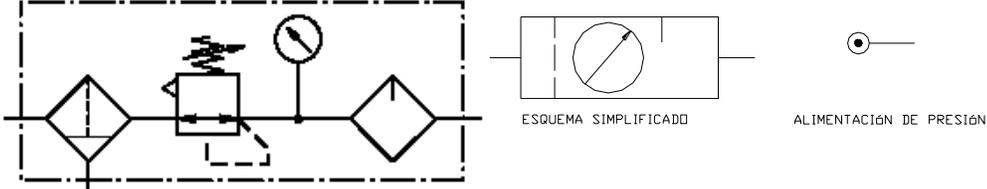
ACCIONAMIENTO MANUAL	
general	
por pulsador	
por palanca	
por palanca con enclavamiento	
por pedal	
ACCIONAMIENTO MECÁNICO	
recuperación por muelle	
centrado por muelle	
por rodillo	
por rodillo con retorno en vacío	
ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO	
accionamiento directo (Aplicación de presión)	
accionamiento indirecto (Válvula auxiliar servo pilotada)	

ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO	
Con una bobina	
Con doble bobina	
ACCIONAMIENTO COMBINADO	
Doble bobina con válvula auxiliar y accionamiento manual auxiliar	
ELEMENTOS DE ACCIONAMIENTO LINEAL	
Cilindro de doble efecto	
Cilindro de doble efecto	
Cilindro de doble efecto con doble vástago	
Cilindro de doble efecto con amortiguación no regulable, de efecto en un solo sentido	
Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable simple	
Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable doble	
ACCIONAMIENTO GIRATORIO	
motor neumático de caudal constante, con un solo sentido de giro	
motor neumático de caudal variable, con un sentido de giro	
motor neumático de caudal variable, con dos sentidos de giro	

Actuador giratorio limitado	
-----------------------------	---

Fuente: DIN 19221 Measurement and control: Symbols used in formulae in control technology

Tabla 3.2 Simbología elementos de abastecimiento

ABASTECIMIENTO	
Compresor con volumen de desplazamiento constante	
Acumulador con conexión en T	
UNIDAD DE MANTENIMIENTO	
Filtro, separación y filtrado de partículas de suciedad	
Separador de agua con accionamiento manual	
Lubricador adición de pequeñas cantidades de aceite al aire	
Regulador de presión, válvula con agujero de descarga ajustable	
	

Fuente: DIN 19221 Measurement and control: Symbols used in formulae in control technology

3.2.1.2 Válvulas

Tabla 3.3 Simbología básica de válvulas

POSICIÓN DE VÁLVULAS	
Posiciones de conmutación	
Cantidad de posiciones de conmutación	
Posición de paso abierto	
Posición de bloqueo	
Conexiones	

Fuente: Fundamentos de la Neumática básica FESTO®

Válvulas de vías: conexiones y posiciones

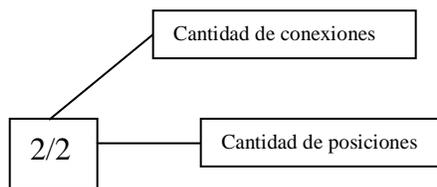
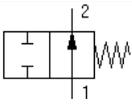
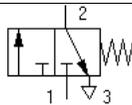
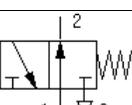
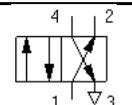
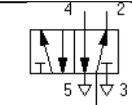
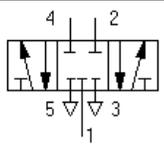


Tabla 3.4 Simbología de válvulas de vías

VÁLVULAS DE VÍAS	
2/2 válvulas de vías en posición abierta	
3/2 válvulas de vías en posición de bloqueo	
3/2 válvulas de vías en posición abierta	
4/2 válvulas de vías conexiones a la derecha, posición de conmutación a la izquierda.	
5/2 válvulas de vías conexiones a la derecha, posición de conmutación a la izquierda.	
5/3 válvulas de vías en posición intermedia bloqueada	

Fuente: Fundamentos de la Neumática básica FESTO®

Las conexiones de las válvulas de vías pueden estar señalizadas con letras o, aplicando la norma **DIN ISO 5599**, con números. Ej.:

Tabla 3.5 Nomenclatura de conexiones y terminales de válvulas (DIN ISO 5599)

Conexión	DIN ISO 5599	Letras
Conexión de aire a presión	1	P
Escape de aire	3, 5	R, S
Salidas	2, 4	A, B
Conexiones de mando		X, Y, Z
Conexión de aire a presión de 1 hacia 2	12	
Conexión de aire a presión de 1 hacia 4	14	
Cancela salida de señal	10	
Aire auxiliar del mando	81, 91	Pz

Fuente: Fundamentos de la Neumática básica FESTO®

Ejemplos gráficos

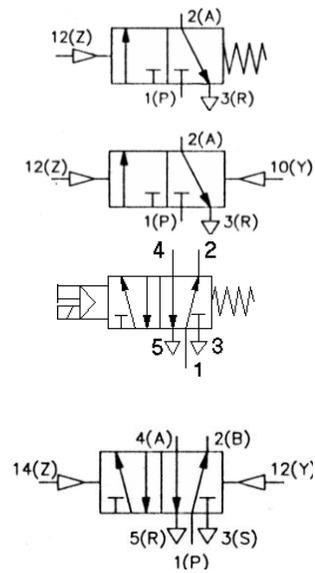
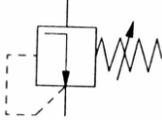
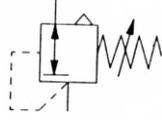
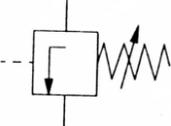
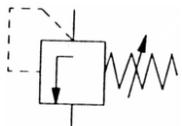
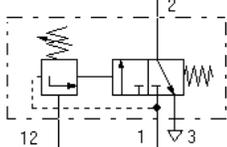


Fig. 3.5 Ejemplos de conexiones y terminales de válvulas

Tabla 3.6 Simbología de válvulas de accionamiento

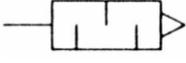
VÁLVULAS ANTIRETORNO	
Válvula antiretorno	
Válvula de antiretorno con muelle	
Válvula selectora, función O	
Válvula de simultaneidad, función Y	
Válvula de escape rápido	
VÁLVULAS ANTIRETORNO	
Válvulas de estrangulación regulable	
Válvula de estrangulación y antiretorno	

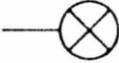
VÁLVULAS DE PRESIÓN	
Válvula reguladora de presión, regulable sin escape	
Válvula reguladora de presión, regulable, con escape	
Válvula de secuencia conducto de alimentación exterior	
Válvula de secuencia conducto de alimentación directo	
Válvula de secuencia (Combinación)	

Fuente: DIN 1931 Measurement and control: Graphic symbols and code letters for process instrumentation and control

3.2.1.3 Accesorios

Tabla 3.7 Simbología de accesorios

ACCESORIOS	
Escape no recuperable	
escape recuperable	
Silenciador	

Unión de conductos	
Cruce de conductos	
Manómetro	
Indicador óptico	

Fuente: DIN 1931 Measurement and control: Graphic symbols and code letters for process instrumentation and control

3.2.1.4 Mangueras y racores

La mayoría de los tubos utilizados en bancos de aprendizaje son de poliuretano termoplástico, no tienen protecciones contra agentes externos como microbios o microorganismos (funcionales en laboratorios), tienen una presión admisible de 10 bares y tienen un peso despreciable, esto también para evitar latigazos contra el estudiante. Los colores deben ser notables, azul o plateado (para observar su conexión)

La selección de tubos flexibles se puede realizar con el software **FESTO (selección de tubos flexibles)**, (Referirse a **CD Didáctico para la instalación del mismo**). En el software se ingresa todos los parámetros de importancia (por ejemplo, presión de funcionamiento, sustancias químicas, exigencias específicas que se plantean en el sector industrial y resistencia a detergentes) y el programa se encarga de indicarle los tubos flexibles más apropiados.



Fig. 3.6 Mangueras de interiores y racores (FESTO DIDACTIC)

3.2.2 ELEMENTOS DE CONTROL

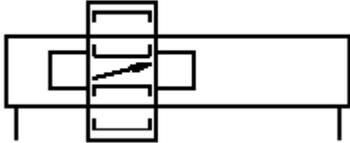
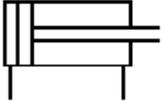
Todos los elementos sensóricos y de control neumático están referidos en los elementos de control proporcional (3.2.3)

3.2.3 ELEMENTOS DE NEUMÁTICA PROPORCIONAL

3.2.3.1 Actuadores

Los actuadores del control de lazo cerrado comúnmente están diseñados para un trabajo continuo o en serie sus materiales deben ser resistentes, especialmente sus terminales o sus topes, como es el caso del eje lineal con potenciómetro lineal. Normalmente los actuadores son utilizados para procesos de pasos.

Tabla 3.8 Simbología de actuadores

Cilindro de doble acción sin vástago	
Cilindro de doble efecto con vástago guía de doble terminal	
Cilindro de doble acción con vástago guía de terminal simple	

Fuente: DIN 1931 Measurement and control: Graphic symbols and code letters I



Cilindros normalizados



Cilindro con vástago



Cilindro sin vástago



Cilindro de fuelle



Combinaciones de cilindros y válvulas

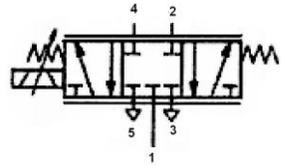
Fig. 3.7 Ejemplos de actuadores de control proporcional industriales

Para especificaciones técnicas detalladas referirse a Equipos y accesorios (4.1.2)

3.2.3.2 Válvulas proporcionales

Todas las válvulas proporcionales están construidas en materiales resistentes al desgaste, pues no poseen un medio lubricante (a diferencia del control hidráulico) o un medio entre sus superficies que evite la fricción entre metales la resistencia de los equipos son altamente probados.

Tabla 3.9 Simbología de válvulas proporcionales

Válvula de control proporcional 5/3 con accionamiento eléctrico de dos líneas de trabajo	
--	---

Fuente: DIN 1931 Measurement and control: Graphic symbols and code letters for process instrumentation and control



Válvula de presión proporcional



Válvula posicionadora

Fig. 3.8 Ejemplos de válvulas de control proporcional industriales

Para especificaciones técnicas detalladas referirse a Equipos y accesorios (4.1.2)

3.2.3.3 Materiales

Materiales de válvulas de control proporcional

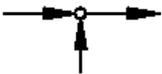
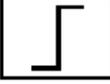
Para especificaciones técnicas detalladas referirse a Equipos y accesorios (4.1.2)

3.2.3.4 Accesorios

En el CLC los accesorios son la parte más importante de la retroalimentación de las variables, en estos están medidores y dispositivos de carga para el cambio de funcionalidad.

Los sensores son los elementos individuales que entregan todas las lecturas para que el circuito se convierta en dinámico, la sensibilidad y la exactitud de los mismos aseguran resultados eficientes.

Tabla 3.10 Simbología de accesorios

Punto común o de sumatoria	
Osciloscopio	
Voltímetro	
Tiempo de respuesta de transmisión de un elemento proporcional	
Tiempo de respuesta de transmisión de un elemento de control de control PT1	
Tiempo de respuesta de transmisión de un elemento de control con integración	
Tiempo de respuesta de transmisión de un elemento de control con diferenciación	
Acción sin histéresis de un elemento de transmisión de dos pasos	
Histéresis diferencial de un elemento de transmisión	

Elemento de transmisión de acción de triple mando con dos histéresis diferentes	
Comparador	
Tiempo de respuesta de un elemento de transmisión PD	
Tiempo de respuesta de un elemento de transmisión PI	
Tiempo de respuesta de un elemento de transmisión PID	
Generador de voltaje, DC	
Generador de voltaje de onda cuadrada	
Generador de voltaje de onda senoidal	
Generador de voltaje de onda triangular	
Regulador	
Convertidor	
Galga de presión (pressure gauge)	
Sensor de presión eléctrico	
Sensor de presión neumático	
Amplificador de operación	
Escala lineal	

Fuente: Close loop Pneumatics Festo©

Para especificaciones técnicas detalladas referirse a Equipos y accesorios (4.1.2)

3.2.3.5 Conectores

Las fugas neumáticas y eléctricas producen errores en todo el circuito, los retrasos en el lazo cerrado son comunes. Todas las conexiones no pueden estar sobredimensionadas, especialmente las que ingresan de las fuentes de poder, la pérdida de energía, la inestabilidad y los ruidos eléctricos generan complicaciones en la retroalimentación.

Los elementos de conexión son los mismos de la neumática básica y la electro neumática.

Para especificaciones técnicas detalladas referirse a Equipos y accesorios (4.1.2) Y a mangueras y racores (3.2.1.4), también referirse a software de selección de tubos flexibles (CD Didáctico)

CAPÍTULO 4

CONTROL PROPORCIONAL

4.1 MANUAL DE CONTROL NEUMÁTICO EN LAZO CERRADO

4.1.1 TÉCNICA DE CONTROL PROPORCIONAL

TIPOS DE SEÑALES

Señal.- Una señal es usada para transmitir información a un sistema técnico. Una señal está representada por una variable física (presión, voltaje, corriente, etc.)

Señal binaria, Es la señal que asume dos valores. Ej.: La presión de aire comprimido de un reservorio que es monitoreado por un sensor de presión, esta puede asumir dos valores:

- Exceso de presión permitida, (circuito cerrado), que se indica con la luz prendida
- No exceso de presión permitida, (circuito abierto), que se indica con la luz apagada.

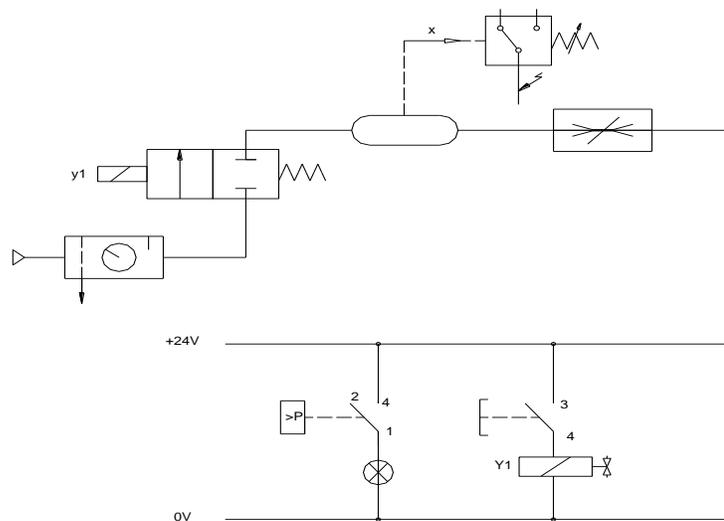


Fig. 4.1 Ejemplo de circuito para aplicación de señal binaria

Este ejemplo nos muestra que una señal binaria sólo asume dos valores.

Cuando el reservorio está lleno o vacío el valor de la señal cambia. Esto puede ser mostrado en un gráfico en función del tiempo.

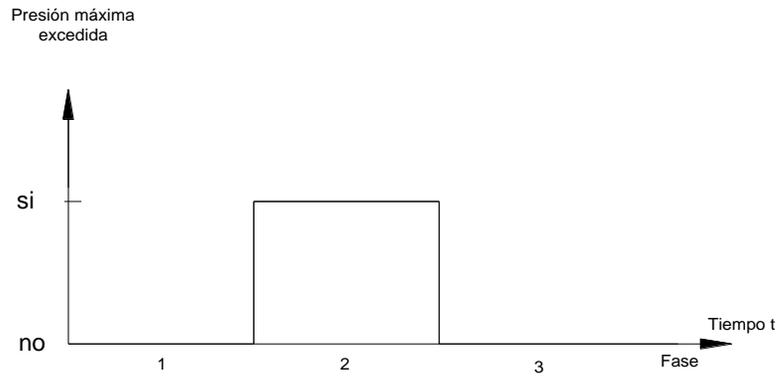


Fig. 4.2 Función de tiempo de señal binaria

El valor de la señal cambia por pasos, desde que la señal ha precisado un valor en cualquier punto del tiempo, ese valor está en función del tiempo.

Señal análoga, Es la que asume datos intermedios entre el máximo y mínimo valor

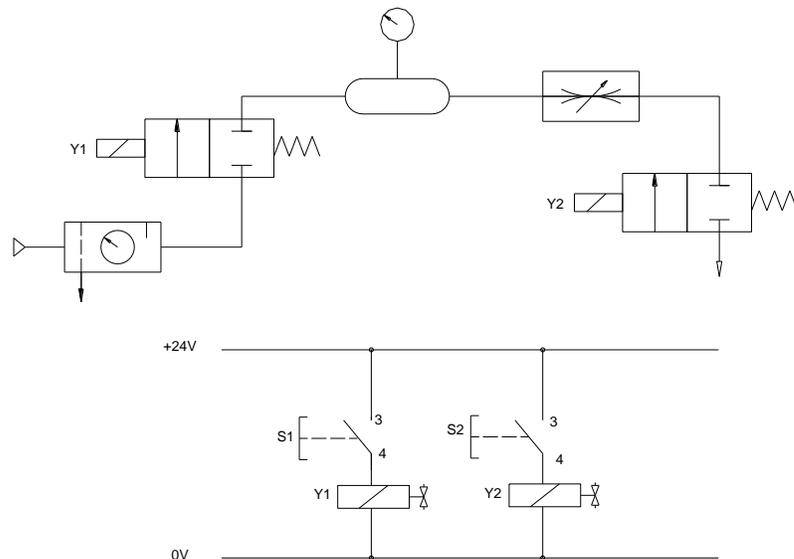


Fig. 4.3 Ejemplo de circuito para aplicación de señal análoga

Usando el ejemplo anterior (Fig. 4.3), la presión es medida y controlada mediante un manómetro. La señal de presión puede asumir cualquier número de valores intermedios entre un máximo y un mínimo de valores (entre una escala). Esta es conocida como señal análoga.

La presión en el reservorio puede ser controlado por dos pulsadores, Este proceso se muestra en el gráfico:

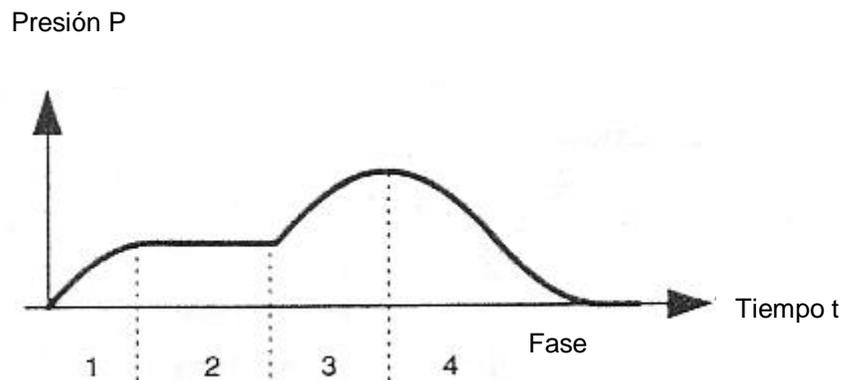


Fig. 4.4 Función de tiempo del comportamiento de señal análoga

Fase 1. La válvula está abierta, el aire circula a el reservorio. La presión en el reservorio aumenta.

Fase 2. Las dos válvulas están abiertas, la presión permanece constante.

Fase 3. La válvula 1 está otra vez abierta. La presión se aumenta más.

Fase 4. La válvula 1 está cerrada y la válvula 2 está abierta. El aire comprimido fluye a través del reservorio. La presión en el reservorio decae hasta el nivel de presión atmosférica.

Comparando los dos gráficos de señales:

- La señal binaria presenta un cambio por pasos.
- La señal análoga cambia continuamente.

Señales para la actuación de válvulas.

Una señal binaria es usada para mover y realizar cambios en una válvula. La señal hace que la abertura de la válvula pueda asumir solamente dos valores:

- Señal de 0V, válvula cerrada
- Señal de 24V, válvula abierta

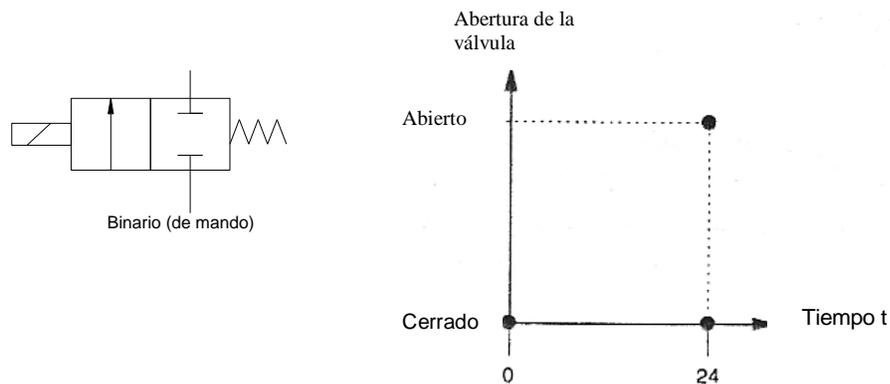


Fig. 4.5 (a) Características de la señal binaria

Una señal analógica es usada para mover dinámicamente una válvula. La señal hace que la abertura de la válvula pueda tener cambios continuos entre un valor mínimo y un valor máximo:

- Una señal de 0 V significa: válvula cerrada.
- Una señal de 5V significa: válvula media cerrada.
- Con una señal de 10V muestra la máxima abertura de la válvula

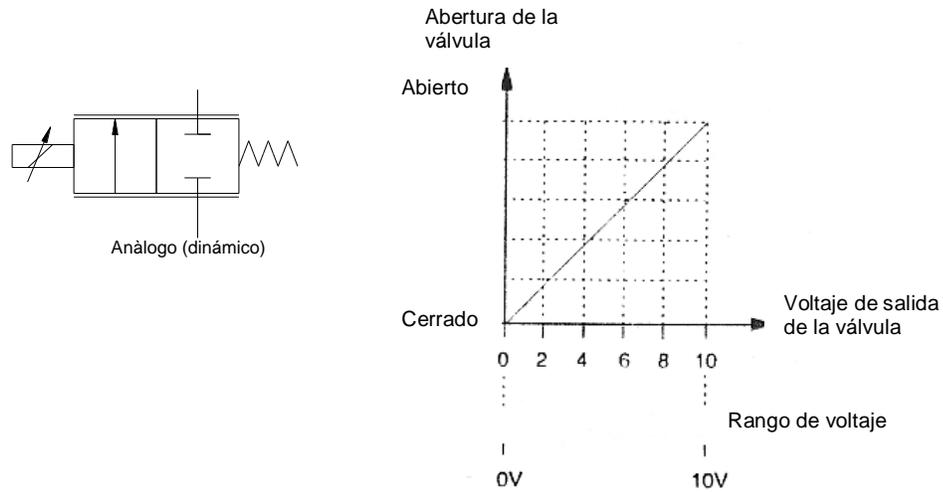


Fig. 4.5 (b) Características de la señal análoga

Diagrama de bloque

Los diagramas de bloque son gráficos que muestran las señales presentadas y los efectos que estas señales tienen. Podemos también distinguir entre la señal de entrada que hace actuar los dispositivos neumáticos y eléctricos y las señales de salida que son generadas por el dispositivo.



Fig. 4.6 Diagramas de bloque para una válvula de 3/2 y de un cilindro neumático

RESPUESTA DE PASOS, FUNCIONES DE TRANSICIÓN.

Si una señal de cambio de pasos actúa en un componente de transmisión, se puede describir a la señal de salida como una respuesta de pasos o una función de transición.

En el gráfico se muestra la respuesta de pasos de una válvula.

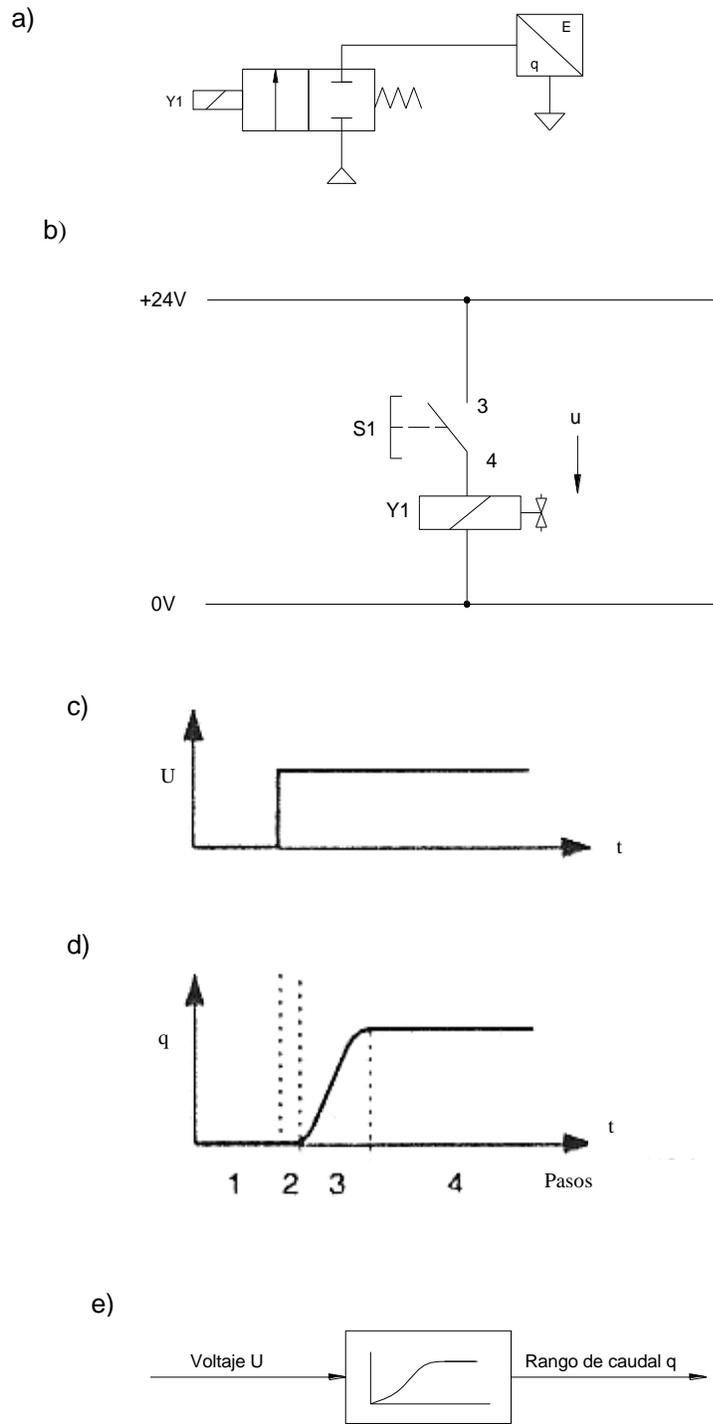


Fig. 4.7 (a...e): Respuesta al mando y diagrama de bloque para una válvula

En el circuito se observan los siguientes pasos:

Paso 1: La señal de entrada es cero. La válvula está cerrada

Paso 2: La señal de entrada cambia. El diafragma¹ no se mueve aún. El rango de caudal permanece en cero

Paso 3: El diafragma se mueve. El caudal aumenta, esta fase es relativamente corta (entre 5 y 50 ms, dependiendo de la válvula)

Paso 4: El diafragma está en su posición final. La cantidad de caudal es constante

Diagrama de flujo de señal

En este diagrama los bloques de transmisión individual están unidos entre ellos.

- **Circuito en serie**, La figura muestra un circuito neumático que contiene una válvula y un cilindro neumático. La señal de salida de la válvula entrega la señal de entrada a el cilindro neumático en este se forma un diagrama de flujo en serie.

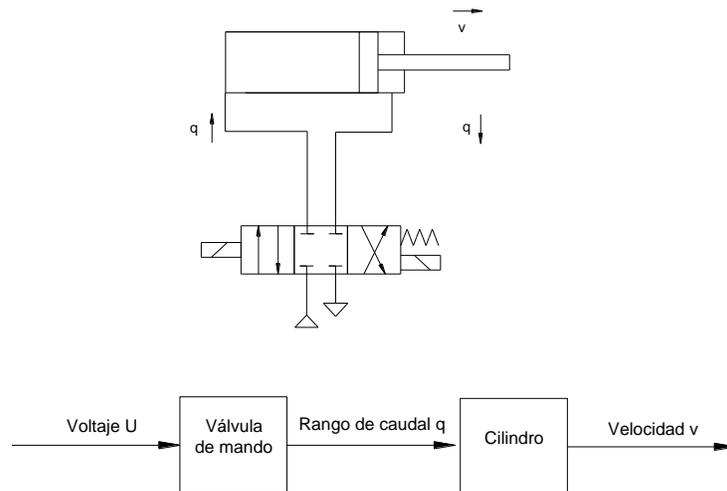


Fig. 4.8 Circuito en serie

¹ Diafragma: diafragma o pared interna que permite o corta el paso de aire dentro de la válvula (spool)

- **Circuito ramificado**, Si la energización de la válvula actúa con dos válvulas de mando, esto significa que tiene un diagrama de flujo ramificado. Las ramificaciones (ordenamiento en paralelo) están indicadas por un punto. Es la misma representación de un circuito eléctrico.

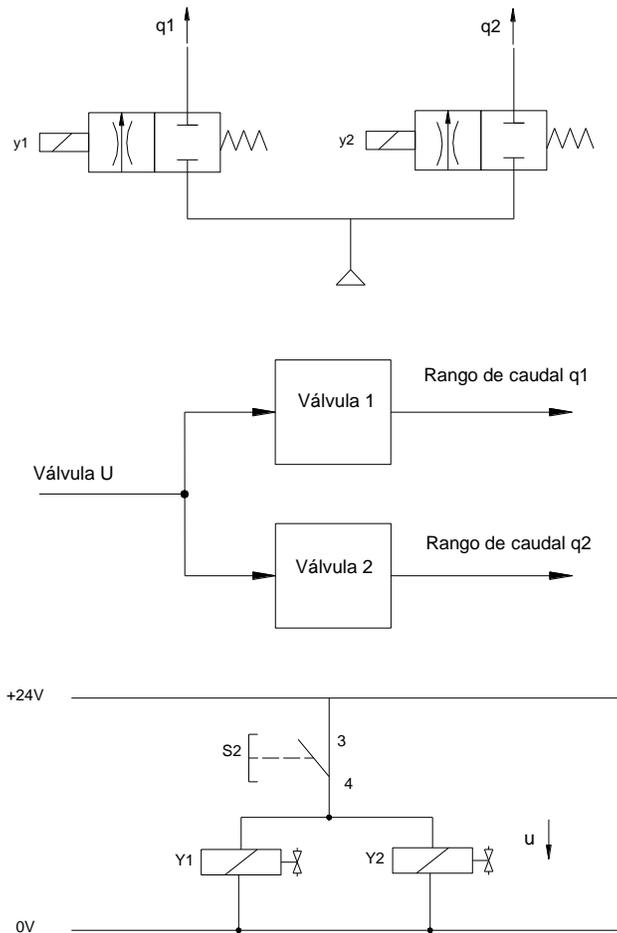


Fig. 4.9 Circuito ramificado

- **Circuito combinado**, si el cilindro puede ser presurizado por dos válvulas de mando, esto significa que es un diagrama de control mixto. Una señal mixta está representada por un círculo y dos señales de suma (+). Si una de las válvulas 3/2 no está conectada al puerto de trabajo sin al puerto de alivio, esto significa que el pistón se moverá en la dirección contraria. Esto se simboliza con un signo menos (-). Como en la figura:

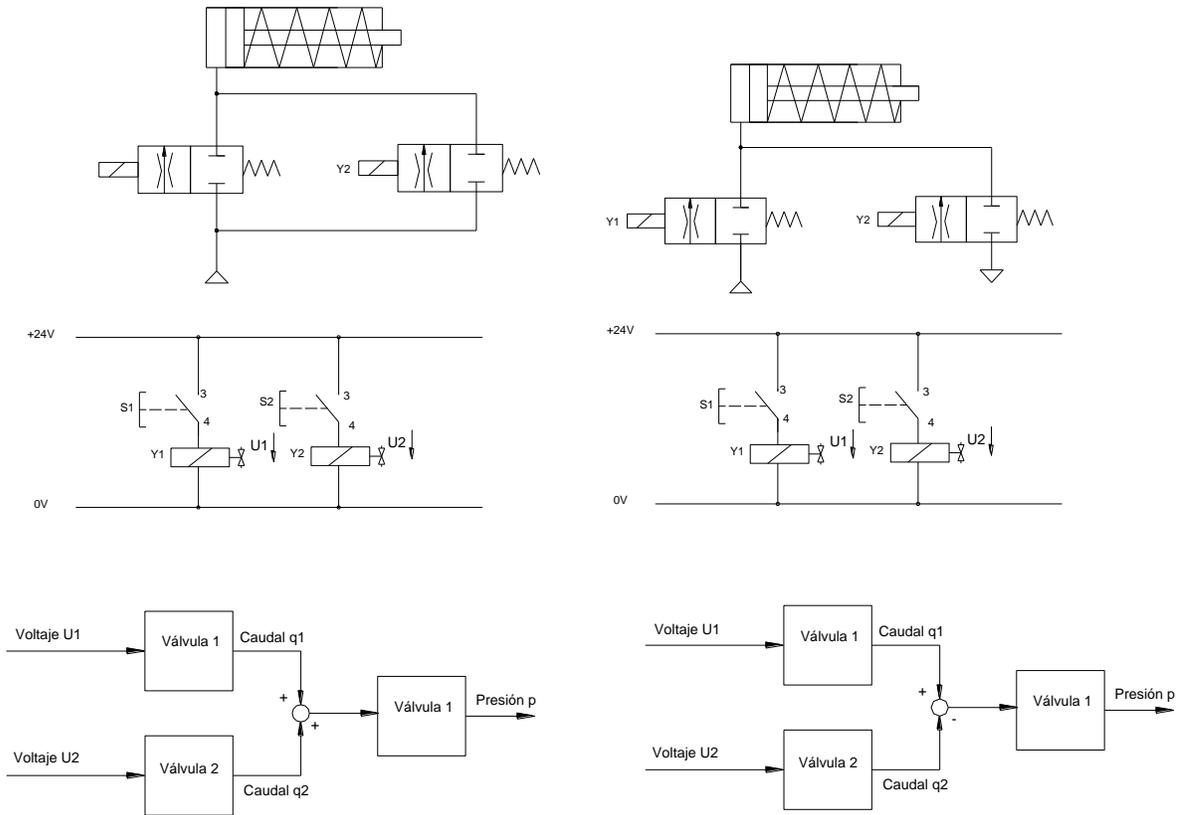


Fig. 4.10 Circuito ramificado (diagrama de acción de válvula 3/2)

Los signos (+) generalmente son omitidos en los diagramas de flujo, pero las signos (-) siempre son mostrados.

- **Circuito paralelo**, en la figura se muestra un sistema en que la señal de salida actúa en dos válvulas cambiables (señal ramificada). Las dos válvulas proveen al mismo cilindro aire comprimido (circuito combinado). Esta combinación entre ramificado y combinado es conocida como circuito paralelo.

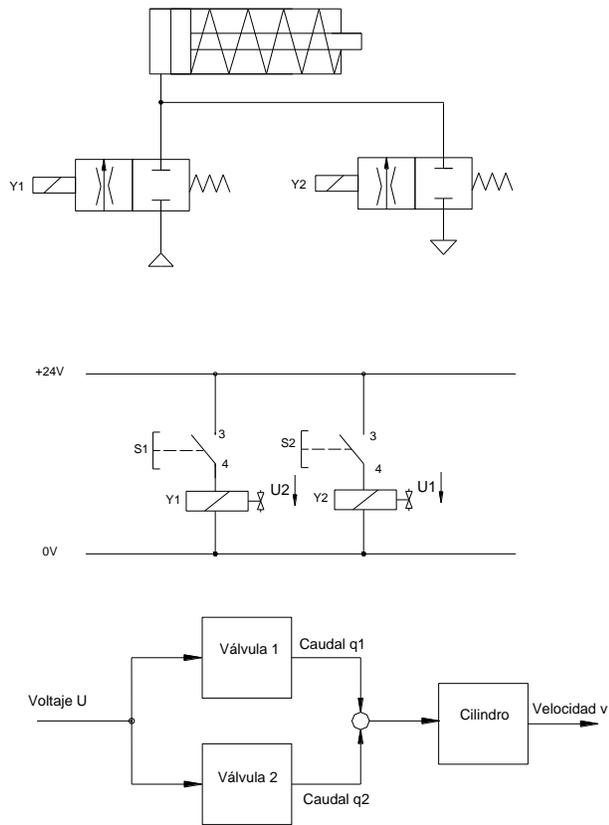


Fig. 4.11 Circuito paralelo

- **Señales de prueba**, una señal de prueba es aplicada al componente de transmisión de la salida. Esto puede ser una señal *cambio-paso* o una *rampa-formada*. La transmisión del componente reacciona en el cambio de la señal de entrada con el cambio en la señal de entrada. La señal de salida del componente de transmisión esta presentada.

Función de transición.

La Fig. 4.12 (c) muestra la función de transición de una válvula neumática.

- El voltaje U forma la señal de entrada. Esto está referido al cambio de mando.
- La cantidad de flujo que forma la señal de salida cambia continuamente. El cambio en la cantidad de flujo ocurre con la demora relativa del cambio de voltaje.

Función de rampa.

La fig. 4.12 (d) muestra una función en rampa de una válvula neumática.

- El voltaje U está sujeto a un cambio en rampa.
- La cantidad de flujo q se incrementa con una demora relativa del voltaje.

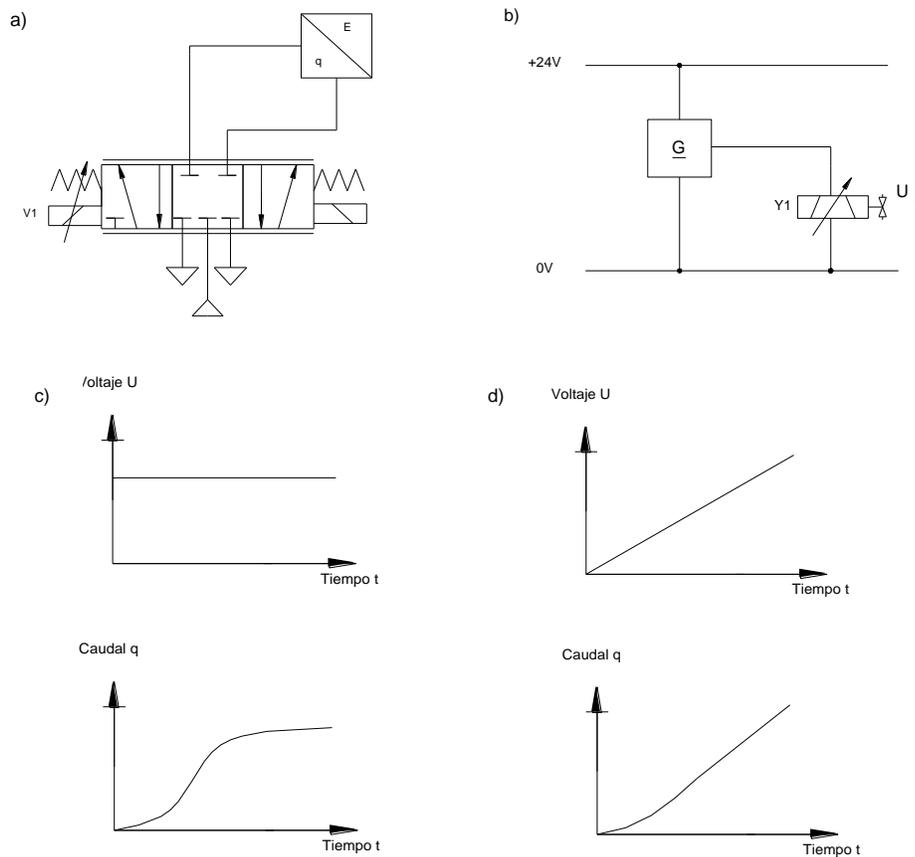


Fig. 4.12 Funciones de transición y de rampa

En la práctica, las señales de prueba son producidas con un generador de funciones. Las tres señales de prueba más comunes son.

- Señal de onda cuadrada (resultante de cambio a pasos)
- Señal de onda triangular (resultante de las rampas)
- Señal en onda seno

La siguiente figura muestra una señal de prueba actuando en una válvula neumática. La señal de salida es la cantidad de flujo medido a través de la válvula. La válvula exhibe las siguientes reacciones.

- La señal de salida sigue los cambios de una onda cuadrada en la señal de prueba con un retardo insignificante. Los extremos de la señal de salida son inclinados y los puntos de transición son redondeados. La señal de salida corresponde a una serie de funciones de transición.
- Con la señal de onda triangular, también, un retardo (delay) en la señal de salida puede ser observado. La señal de entrada exhibe picos. La señal de salida corresponde a una serie de funciones en rampa.
- En el caso de la señal de entrada de onda seno, la señal de salida también sigue un retardo mínimo. La señal de salida es aproximadamente senoidal.

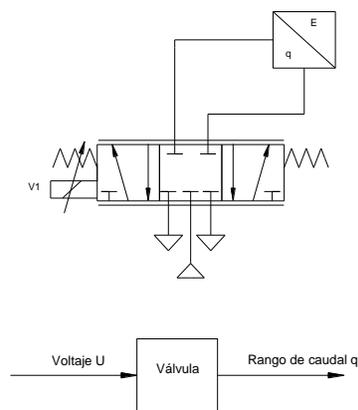


Fig. 4.13 Señales de prueba de electro válvula

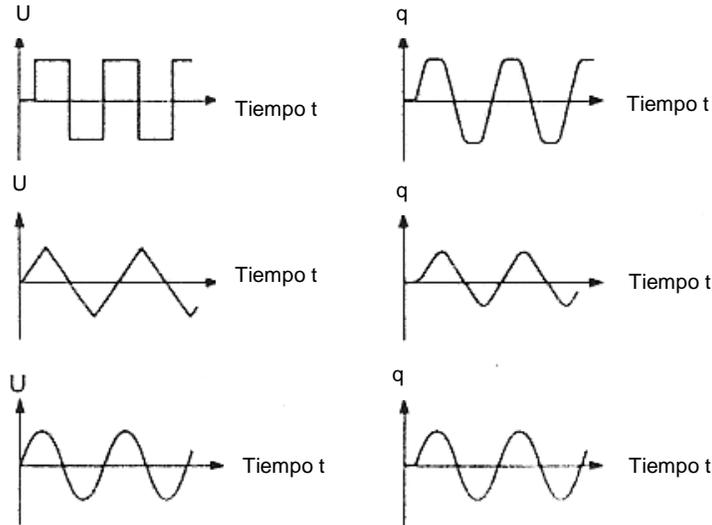


Fig. 4.13 Señales de prueba de electro válvula (continuación)

4.1.1.1 Análisis de la técnica de lazo cerrado

CONTROL EN LAZO CERRADO Y CONTROL EN LAZO ABIERTO

La figura 4.14 muestra un circuito neumático con control de velocidad en circuito cerrado. La velocidad en el indicador del pistón está medida con un medidor de velocidad.

El pistón del cilindro neumático avanza a una velocidad constante de 30 cm/s. Las pruebas son llevadas para determinar la señal requerida para la actuación de la válvula. Las medidas indican que la velocidad requerida es lograda con un voltaje de 4V.

En la figura se muestra la señal asociada en un diagrama de flujo.

- El voltaje requerido es de 4V, y está generado por un circuito eléctrico
- El voltaje actúa sobre la válvula.
- La válvula controla la cantidad de flujo.
- La cantidad de flujo determina la velocidad del pistón.

Control de lazo abierto.

En la fig. 4.14 todos los bloques de transmisión en la señal del diagrama de flujo están conectados en serie. Una conexión en serie de varios dispositivos es conocido como control de lazo abierto.

La velocidad del pistón no depende únicamente de la abertura de la válvula pero sí de otras variables como éstas:

- Fuerzas de fricción actuando en la cámara del cilindro neumático
- Fluctuaciones en el abastecimiento de aire.
- Perdidas a través de los conectores.
- Reducción de la cantidad del flujo debido a el uso de racores en las mangueras

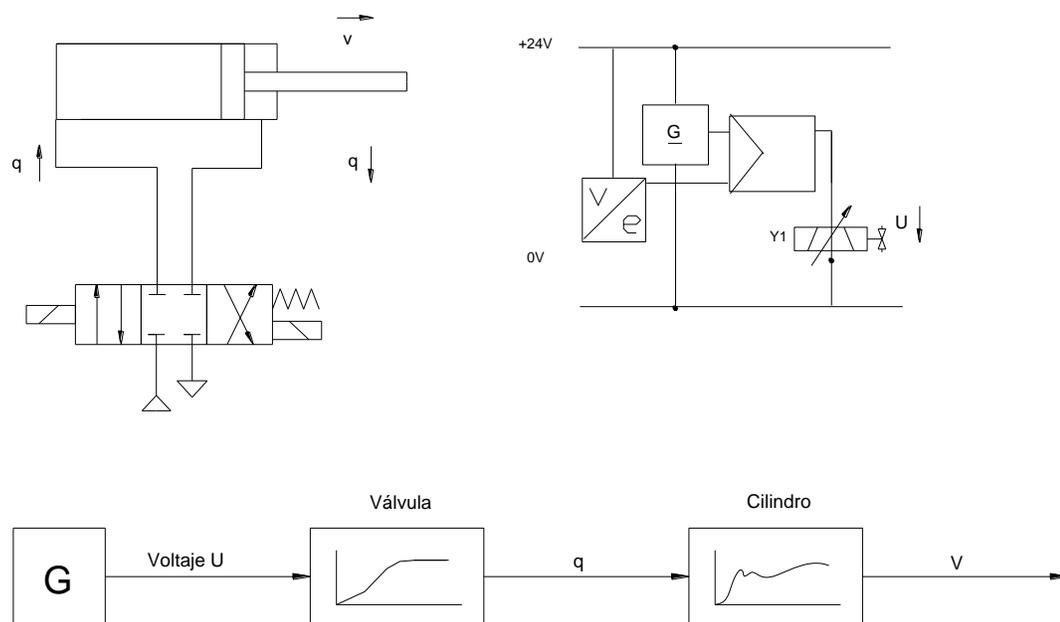


Fig. 4.14 Ejemplo demostrativo de un circuito de control de velocidad; diagrama de flujo del circuito de lazo abierto

Control de lazo cerrado.

En virtud de mejorar su precisión, la actual velocidad debe ser evaluada. La velocidad es constantemente medida con un sensor de velocidad. El valor de medición es continuamente comparado con el valor de la disposición inicial.

- Si la velocidad es muy baja, la válvula se abre mucho más.
- Si la velocidad es más grande de lo deseado, la abertura de la válvula es reducida.

Ajustando la válvula para que la diferencia entre el disposición de la velocidad y el valor de la actual velocidad esta sea lo más pequeña posible.

Este circuito se puede observar en la fig. 4.15

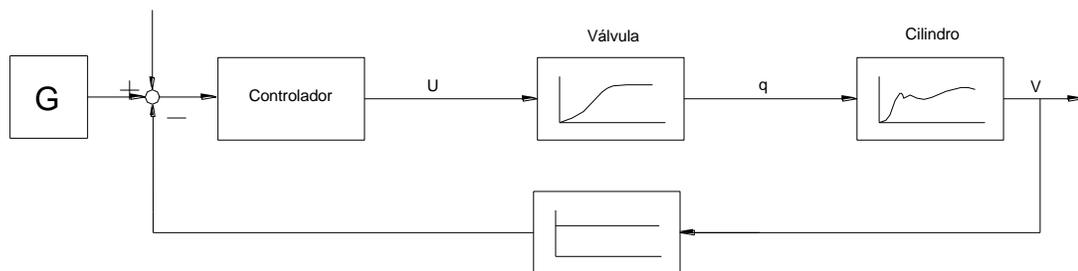


Fig. 4.15 Diagrama de flujo del circuito de lazo cerrado

Retroalimentación

En un circuito de lazo cerrado, el valor de medida está alimentado a la señal del diagrama de flujo del controlador de entrada. Esto es conocido como retroalimentación, también se puede observar en la figura 4.15.

Comparación entre lazo abierto y lazo cerrado.

Tabla 4.1 Comparación entre lazo abierto y cerrado

	Circuito de lazo abierto	Circuito de lazo cerrado
Forma de la señal del diagrama de flujo	Abierto (circuito en serie)	Cerrado
Designación de la señal del diagrama de flujo	Circuito de control de lazo abierto	Circuito de control de lazo abierto
Medición de la señal de salida	No es necesaria	Medición continua
Retroalimentación de la señal de salida	No	Si

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

VARIABLES DE CONTROL DE LAZO CERRADO

En la siguiente figura se muestra un control de lazo cerrado con la designación estándar para las varias señales y componentes. Estos términos son definidos en la norma **DIN 19226 “Tecnología del lazo cerrado y lazo abierto”**

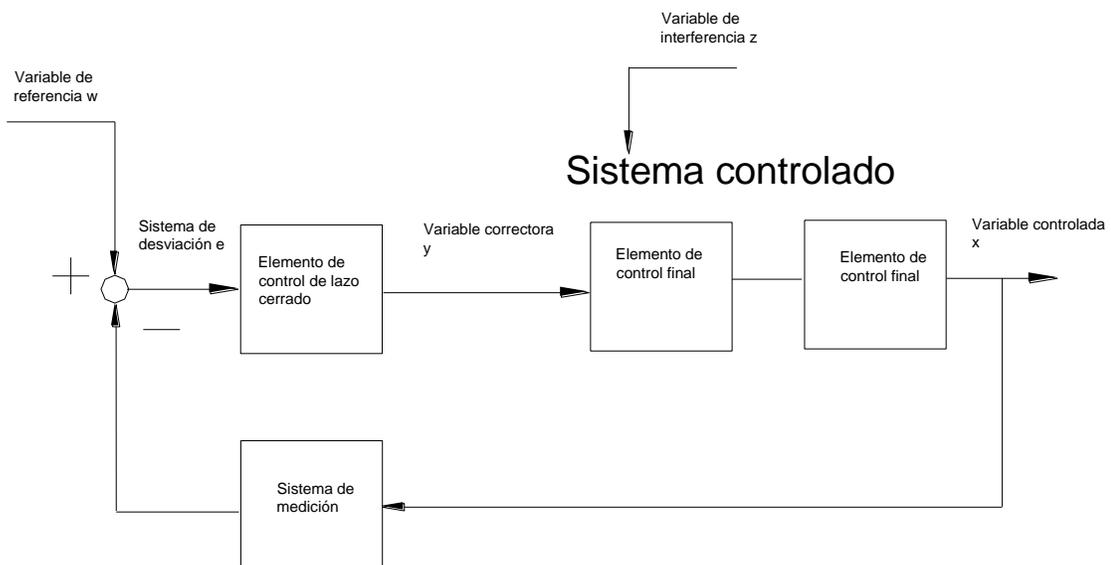


Fig. 4.16 Terminología del control de lazo cerrado

- **Variable controlada x**, La variable de control x es la variable de salida del circuito de control de lazo cerrado. Esta variable también es conocida como el valor actual².
- **Variable de referencia w**, La variable de referencia w representa el valor con el cual la variable de control es asumido. Con un sistema de control de lazo abierto ideal, la variable de referencia y la variable de control deben tener el mismo valor. La variable de referencia también es conocida como el valor de setpoint. El setpoint³ de la velocidad representa la variable de referencia para la velocidad del sistema de lazo cerrado.
- **Variable de retroalimentación r**, La *norma DIN 19226* hace una distinción entre la variable controlada x y la variable de retroalimentación r. “La variable de retroalimentación está definida como el valor medido de la variable controlada”. En el control de la velocidad del circuito de lazo cerrado, la velocidad es la variable controlada. La velocidad es medida con un sensor de rapidez, la variable de salida de este sensor de rapidez es un voltaje. El voltaje forma la variable de retroalimentación r. El término “variable de retroalimentación” no ha sido altamente aceptado. Y es por eso que comúnmente se habla de la variable x como la señal de retroalimentación r.
- **Sistema de desviación e**, El sistema de desviación e es la diferencia entre la variable de referencia w y la variable de retroalimentación r.

Ecuación 4.1

$$e = w - r$$

En el circuito de control cerrado el sistema de desviación está representado por la diferencia entre la velocidad de setpoint y el valor de medida para la velocidad actual del pistón.

² valor actual: *actual value*, valor medido en el momento, valor puntual o instantáneo

³ setpoint: valor de referencia

- **Variable de corrección y**, El controlador compara la variable controlada con la variable de referencia. Esto genera un control de la variable de salida. La variable de corrección y se aplica en la acción controladora de los elementos finales de control. Todo esto forma la señal de salida para el sistema controlado. En la figura 4.15 el controlador energiza la válvula con el voltaje, el voltaje es la variable corregida.
- **Elemento final de control**, Este es una parte del sistema controlado. Este está energizado con la variable de corrección y actúa sobre el flujo de energía en el circuito de lazo cerrado. Para el ejemplo una válvula dinámica 5/3 es usada como elemento de control final en el sistema de lazo cerrado de control de velocidad.
- **Componente del sistema controlado**. El componente del sistema controlado es la parte del lazo cerrado en el cual la variable es generada. En el caso del sistema de control de velocidad de la figura, el componente del sistema controlado está formado por la tubería y el cilindro neumático.
- **Sistema controlado**, El sistema controlado consiste en el elemento de control final y el sistema del componente controlado. El sistema controlado está basado en los siguientes componentes: Válvula, tubería y cilindro.
- **Variable de interferencia z**, La variable de interferencia actúa desde el exterior del sistema de control de lazo cerrado. Y es producido por cambios indeseados en la variable controlada. Las variables de interferencia actúan en la base principal del sistema controlado. Ejemplos de variables de interferencia en el sistema de control de lazo cerrado de velocidad son las fugas, la fricción y las fuerzas actuando en el pistón.
- **Sistema de medición**, Este sirve para medir la variable controlada. Un sistema de medición es casi siempre un sensor o un codificador. En nuestro ejemplo es un sensor de velocidad.

ESTABILIDAD E INESTABILIDAD

La fig. 4.17 muestra un circuito neumático de lazo cerrado de presión.

- a. En la fig. 4.17 (a), Con un controlador correctamente seleccionado y con parámetros bien definidos, la variable controlada seguirá a la variable de referencia solamente con un pequeño retardo y una pequeña desviación.
- b. En la fig. 4.17 (b), Si el controlador está dispuesto⁴ incorrectamente, la variable controlada puede oscilar.
- c. En la fig. 4.17 (c), Si la señal del controlador está realmente incorrecta pueden resultar en oscilaciones de estado estáticas
- d. Si ocurren oscilaciones leves, la configuración del controlador puede ser estimada como estable. Por otra parte si la variable controlada presenta estados estáticos, la configuración del controlador es tratada como inestable.

Efectos de la configuración de un controlador inestable.

Con la configuración de controlador inestable, el circuito de control de lazo cerrado no cumple con la función de cuidar la desviación del sistema lo más pequeña posible. El comportamiento inestable disminuye la duración de válvulas y cilindros. Estas bajo ciertas circunstancias pueden provocar daños o la destrucción de los componentes.

⁴ disposición: acción de ingresar un setpoint o un valor de referencia

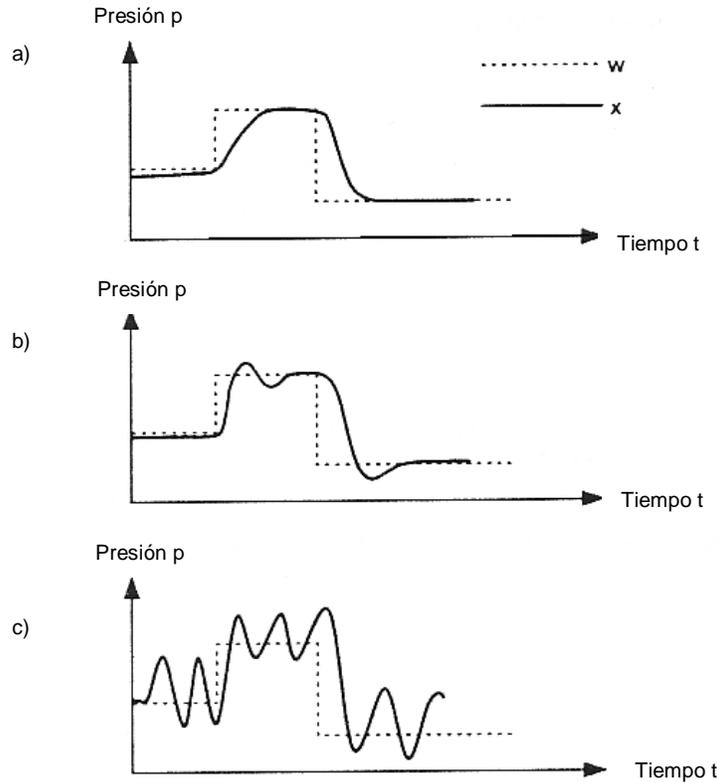


Fig. 4.17 (a...c): Comportamiento de las funciones con controladores

En la práctica, un controlador siempre debe ser dispuesto de tal forma que siempre el circuito sea estable.

COMPORTAMIENTO DE ESTADO ESTÁTICO

El comportamiento de estado estático de un circuito de lazo cerrado es el estado en el cual la variable controlada no cambia.

En la fig. 4.18 se muestra respuestas de dos pasos de un circuito de lazo cerrado. Estas respuestas de pasos pueden ser grabadas con un sensor de diferente configuración de control. Como se puede ver en las curvas de señales, el comportamiento estático para las dos configuraciones de los controladores:

- Con la configuración del controlador (a). No existe desviación en el estado estático.
- Con la configuración del controlador (b), un sistema de desviación e está presente en el estado estático.

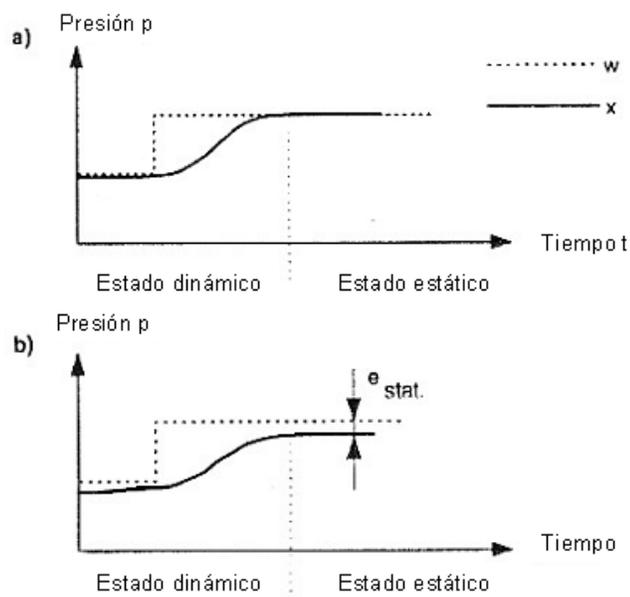
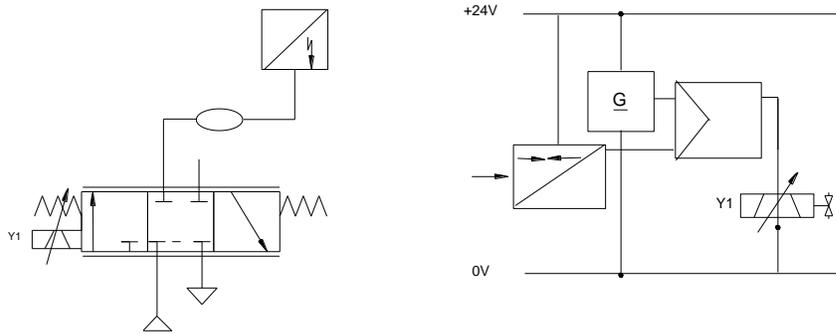


Fig. 4.18 Comportamiento de los estados estáticos sin y con una desviación

Desviación del sistema de estado estático.

El sistema de estado estático esta calculado así:

Ecuación 4.2

$$e_{\text{estat}} = W-X$$

donde w y x son constantes

Un buen comportamiento de estado estático es aquel que tiene un sistema de desviación pequeño e incluso cero.

COMPORTAMIENTO DINÁMICO

El comportamiento dinámico de un circuito de lazo cerrado describe un estado en el cual la variable controlada y la variable corregida cambian.

La fig. 4.19 muestra dos circuitos de control de presión en lazo cerrado con diferente comportamiento dinámico.

- a. Circuito de control cerrado Fig. 4.19 (a) reacciona muy lento a los cambios de la variable de referencia.
- b. Circuito de lazo cerrado Fig. 4.19 (b) reacciona significativamente rápido. En la otra mano. La variable de control inicialmente pasa por la variable de referencia. Esto es conocido como **overshooting**⁵ o sobretensión.

Para tener un buen comportamiento dinámico el circuito debe llenar los siguientes requerimientos.

⁵ Overshooting: Sobre tensión, sobre voltaje

- Las sobre tensiones no deberían ocurrir o ser despreciables.
- Cuando la variable de referencia cambia, la variable controlada debe seguirla rápidamente.

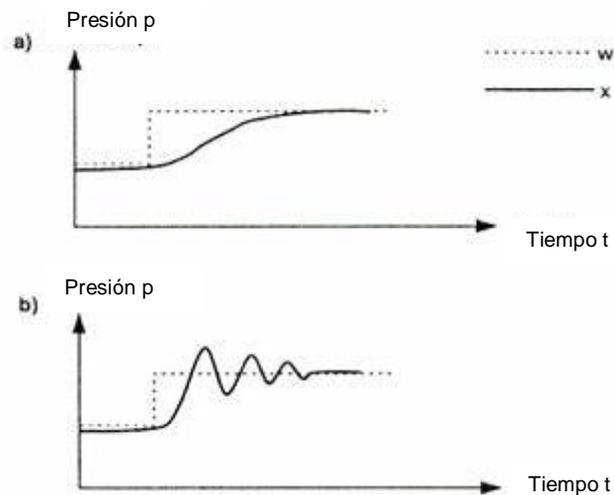
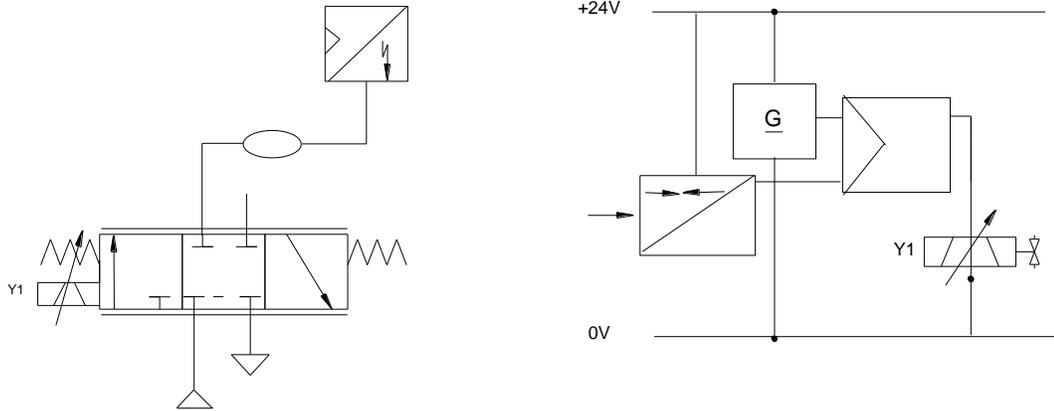


Fig. 4.19 Comportamiento de los estados dinámicos

Calidad de control

La calidad que provee un sistema de control de lazo cerrado es conocida como la calidad de control. Criterios importantes para la calidad de control son:

- Pequeñas desviaciones del sistema estático (steady-state).
- sobre tensiones mínimas.
- Corto tiempo de configuración.
- Estabilidad.

RESPUESTA A LOS CAMBIOS DEL SETPOINT Y A LA INTERFERENCIA

Respuesta a los cambios del setpoint.

La Fig. 4.20 muestra un circuito de presión de lazo cerrado. El setpoint de presión forma la variable de referencia para un circuito de lazo cerrado. En t_0 , el setpoint de presión exhibe un cambio de pasos. La reacción del circuito de control al cambio en la variable de referencia es conocida como respuesta al cambio del setpoint.

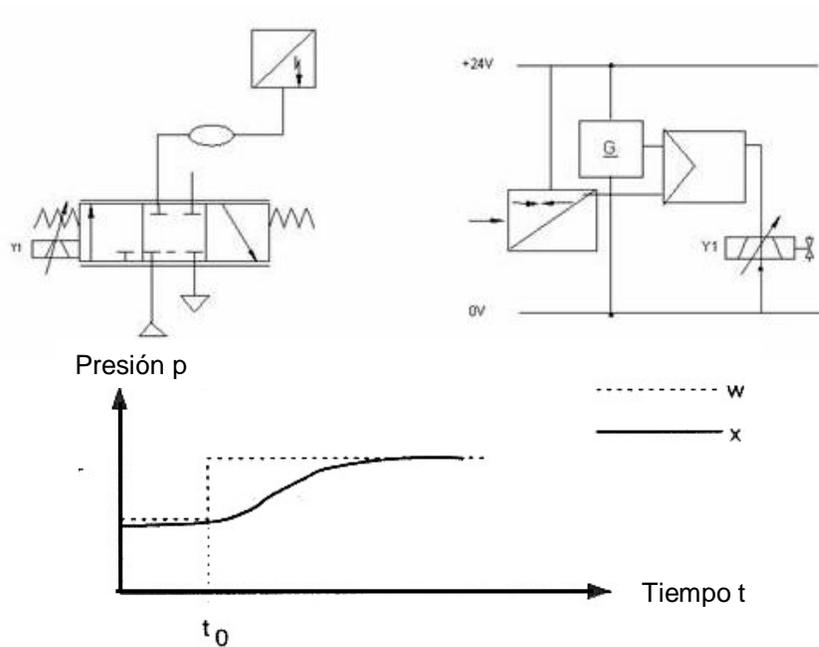


Fig. 4.20 Respuesta a los cambios del setpoint

Respuesta a la interferencia.

En la Fig. 4.21 la variable de referencia permanece constante. En el punto de tiempo t_0 , una válvula 3/2⁶ está abierta. El aire comprimido fluye desde el reservorio. La presión inicial falla notablemente y luego sube otra vez como el resultado de la intervención del sistema de control de lazo cerrado.

⁶ Válvula 3/2, (switch valve) válvula cambiante o de mando cambiante

La apertura de la válvula representa la interferencia del circuito de control de lazo cerrado en su intento de compensar la desviación del sistema. La abertura de la válvula cambiante representa la interferencia variable del circuito de control de lazo cerrado. La reacción del control de lazo cerrado hacia la variable de interferencia es conocida como respuesta de la interferencia.

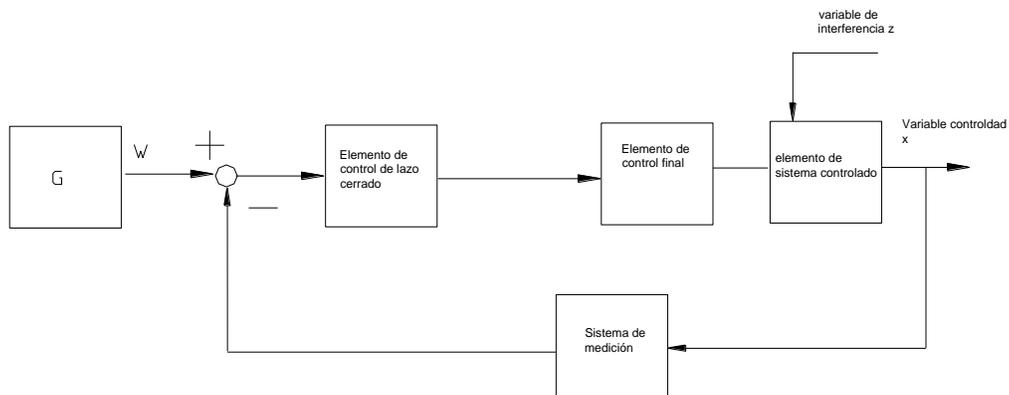
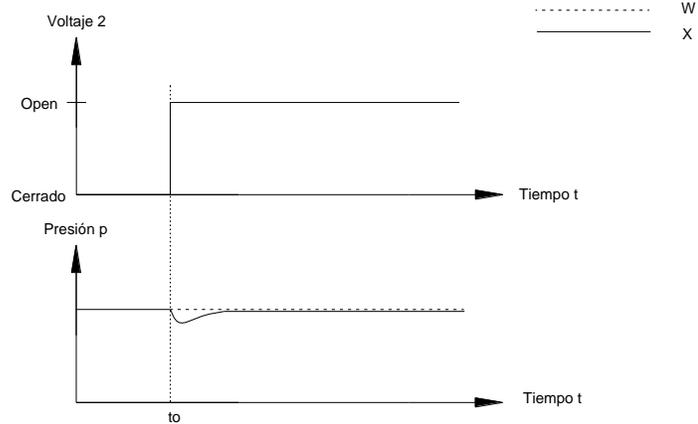
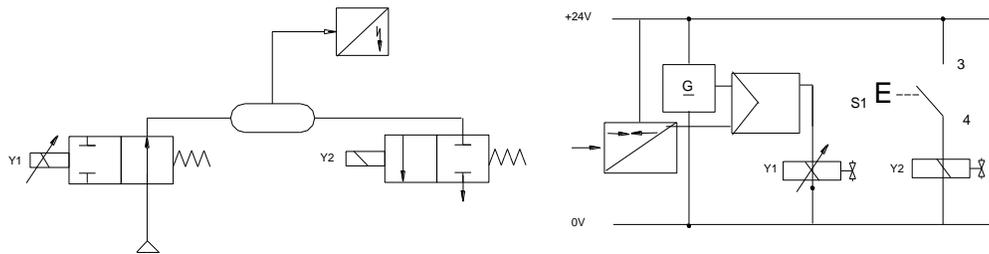


Fig. 4.21 Respuesta a los cambios del setpoint

SISTEMAS DE CONTROL DE ARREGLO DE VALOR, DE SEGUIMIENTO Y DE TIEMPO

Sistema de control de *arreglo de valor*

La Fig. 4.22 muestra un circuito neumático para control de presión. El regulador de presión es usado para archivar una cantidad de presión constante de 6 bares. Desde que la variable de referencia no cambia, estamos hablando del valor arreglado del sistema de control.

En el sistema de control del valor arreglado. La variable controlada cambia como el resultado de la influencia de las variables de interferencia. En el caso del control del circuito cerrado de la fig. 4.22, la apertura de la válvula cambiante lleva a la falla temporal en la variable controlada.

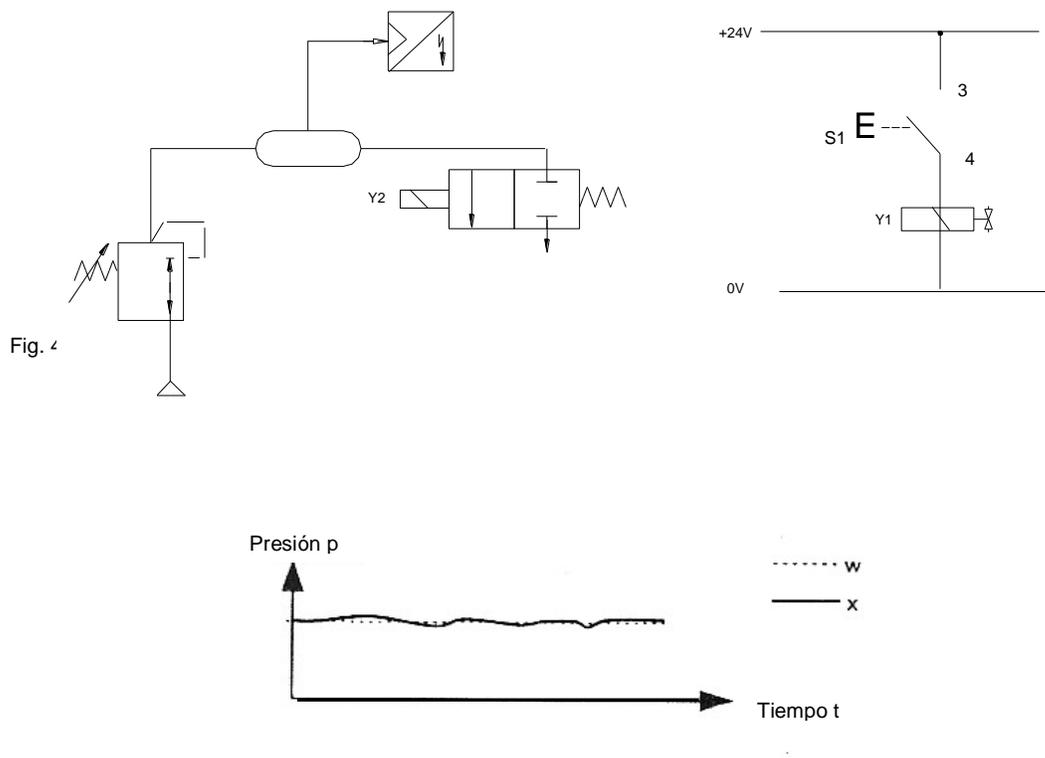


Fig. 4.22 Sistemas de control de valor arreglado

Sistema de control de *seguimiento*

La Fig. 4.23 muestra un actuador de posición neumático. La posición (s) del pistón sigue los cambios de posición del setpoint. Esta forma de control de lazo cerrado también es conocida como sistema de control de *seguimiento*.

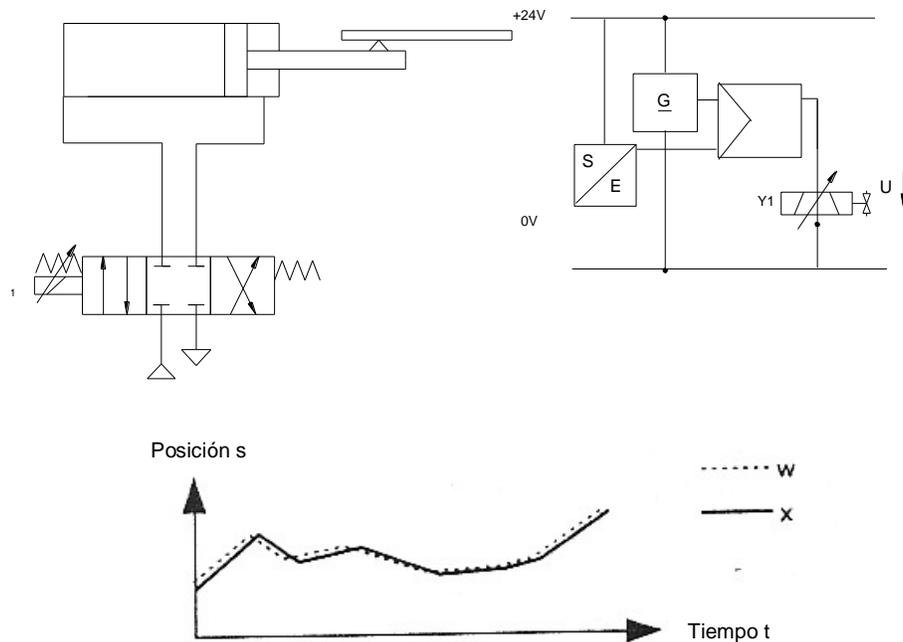


Fig. 4.23 Sistemas de control de valor arreglado o arreglo de valor

Sistema de control de *tiempo*

En una inyectora de plástico, la presión debe ser variable en concordancia con el tiempo especificado de actuación. Hablamos en este caso de un sistema de control de tiempo. Un control de tiempo es un caso especial de un sistema de control de seguimiento.

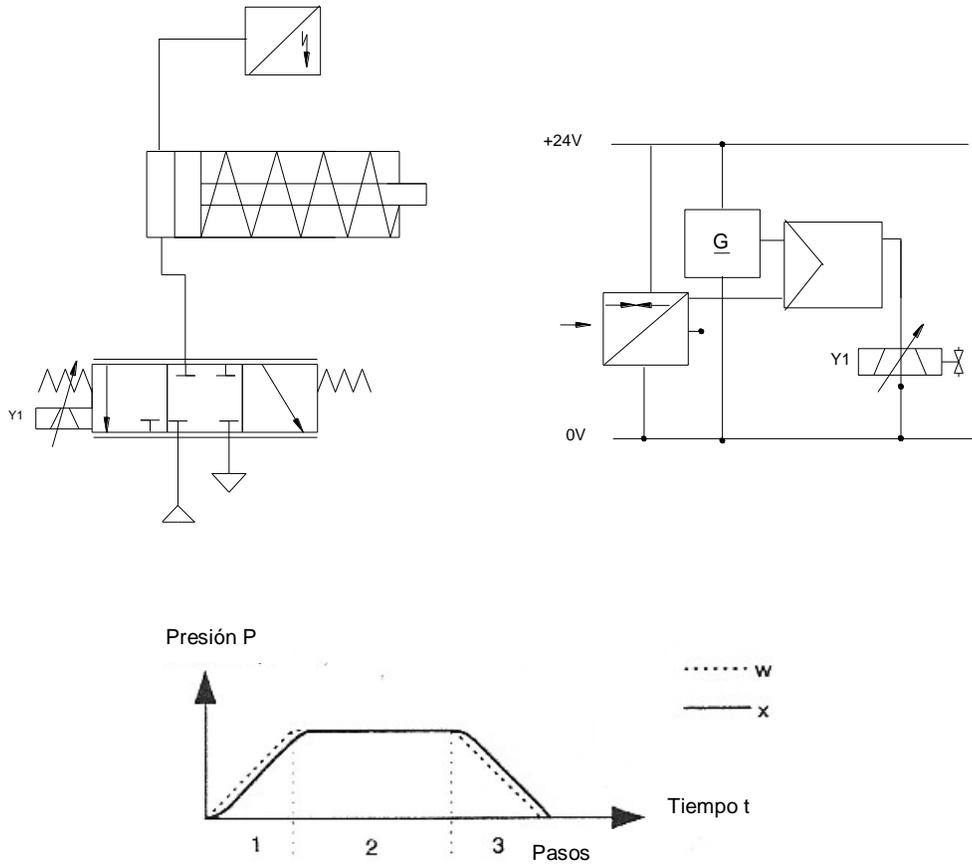


Fig. 4.24 Sistemas de control de tiempo

DIFERENCIACIÓN DE UNA SEÑAL

Mostrada con un ejemplo de aplicación de un diferenciador (Fig. 4.25)

- La posición del pistón del actuador neumático es medido con un transductor posicional.
- La velocidad es determinada por la diferenciación de la posición. Esto indica que tan rápido la posición del pistón está cambiando.

Cuando la señal de diferenciación es usada, el cambio en la señal de entrada directamente afecta a la señal de salida.

Fase 1. El pistón se mueve en la dirección positiva. La señal de entrada del diferenciador incrementa. La señal de salida (en este caso), la velocidad del pistón, tiene un valor positivo.

Fase 2. El pistón se mueve en la dirección negativa. La señal de entrada del diferenciador cae. La señal de salida tiene un valor negativo.

Fase 3. El pistón del cilindro neumático se queda estático. La señal de entrada del diferenciador es constante. La señal de salida es cero.

Fase 4. El pistón se mueve en la dirección positiva. La señal gradiente es menos inclinada que en la fase 1. La señal de salida es mayor que cero pero menor que la señal de salida en la fase 1

Fase 5. El pistón se mueve en la dirección negativa. Desde que la bajada del gradiente es menos inclinada que en la fase 2. La señal de salida es menos negativa.

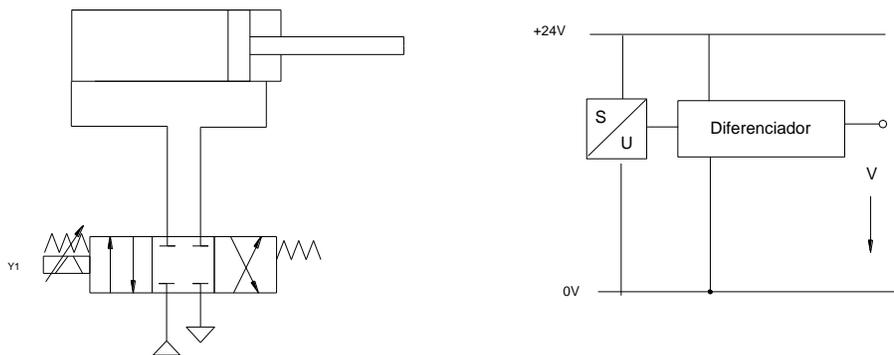


Fig. 4.25 Diferenciación de una señal

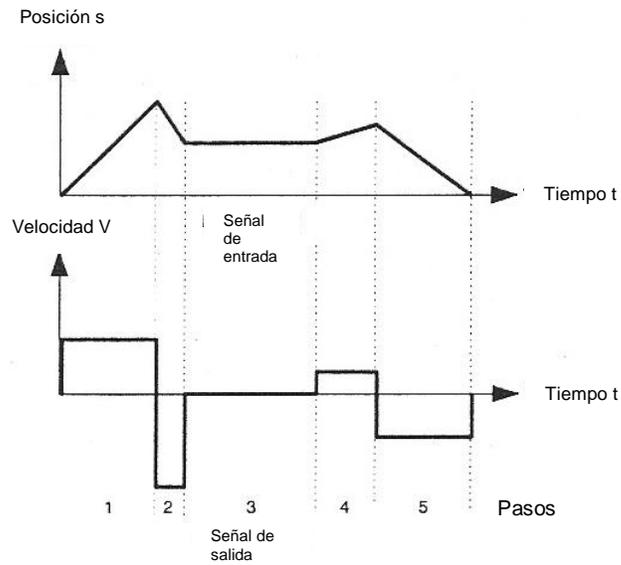


Fig. 4.25 Diferenciación de una señal (continuación)

La curva de la señal de salida en la figura muestra los picos. Esto significa que la gradiente de la señal de entrada cambia abruptamente. Y la señal de salida también cambia de acuerdo a la señal original.

La fig. 4.26 muestra la curva de la señal de salida sin picos. Esta señal asociada de salida del diferenciador no tiene cambios por pasos.

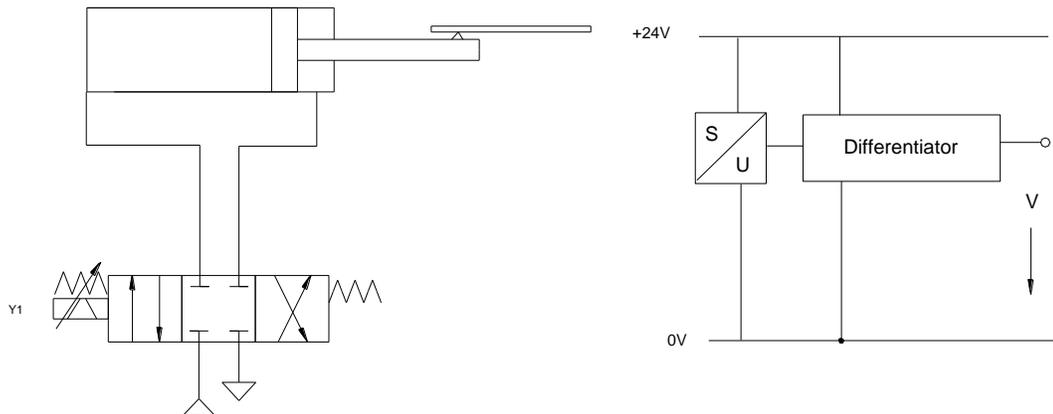


Fig. 4.26 Diferenciación de una señal sin cambios abruptos de mando

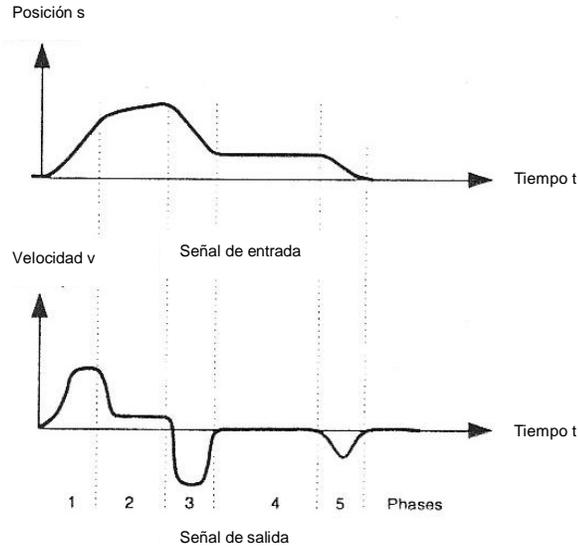


Fig. 4.26 Diferenciación de una señal sin cambios abruptos de mando (continuación)

Diagrama de bloque y función de transición de un diferenciador.

Cuando una señal de cambio por pasos actúa sobre la entrada de un diferenciador, la función de transición de este es obtenida de la señal de salida. Distinciones pueden hacerse entre estas tres fases:

- Inicialmente, la señal de entrada y la señal de salida son cero.
- En el punto en que $t = 0$, la señal de entrada tiene un medio vertical. Esto corresponde a una señal sep que crece y produce un pico en la señal de salida.
- Después del punto en que $t = 0$, la señal de entrada es una vez más constante. La señal de salida del diferenciador es cero.

La función de transición esta completamente adentro del diagrama de bloque del diferenciador

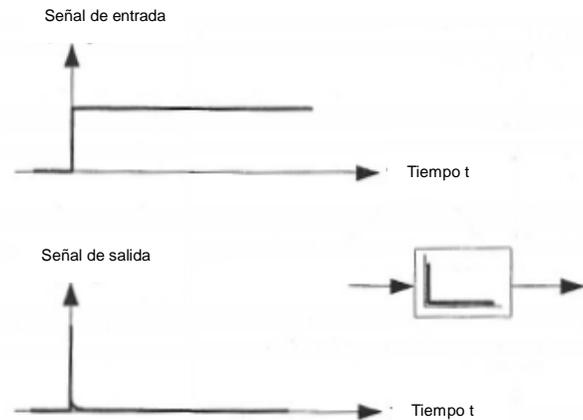


Fig. 4.27 Función de transición de un diferenciador

Fórmulas

Ambas, la señal de entrada (e) y la señal de salida (a) de un diferenciador son funciones del tiempo. Estas son expresadas por designaciones $e(t)$ y $a(t)$. La siguiente fórmula es usada para la diferenciación:

Ecuación 4.3

$$a(t) = \frac{d}{dt} e(t)$$

La diferenciación de una señal como una como una función del tiempo casi siempre es indicada por un punto.

Ecuación 4.4

$$\dot{e}(t) = \frac{d}{dt} e(t)$$

INTEGRACIÓN DE UNA SEÑAL

Es mostrada con un ejemplo:

- La velocidad del pistón es medida con un sensor de velocidad.
- La posición del pistón es calculada de la velocidad por integración.

Cuando la señal es integrada, el valor de la señal de entrada afecta a la gradiente de la señal de salida.

Fase 1. La velocidad es positiva. La señal de entrada en el integrador se posiciona sobre la línea cero. El rodillo (**rod**) del pistón se mueve en la dirección positiva. la señal de salida del integrador aumenta.

Fase 2. la velocidad es menor que cero. El rodillo del pistón se mueve en dirección negativa. La señal de salida del integrador cae.

Fase 3. La velocidad es cero. La señal de salida (en el ejemplo), la posición del pistón, es constante.

Fase 4. La velocidad es mayor que cero pero menor que en la fase 1, la señal de salida aumenta. El gradiente de la velocidad de salida es menos inclinada que en la fase 1.

fase 5. La velocidad es menor que cero. La señal de salida cae. Desde que la señal de salida no está tan alejada de la línea del cero como en la fase 2, la baja de la gradiente de la señal de salida es menos inclinada.

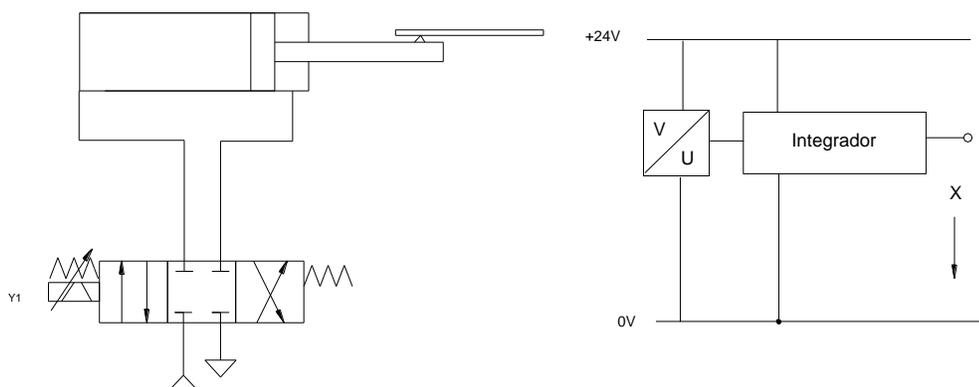


Fig. 4.28 Integración de una señal

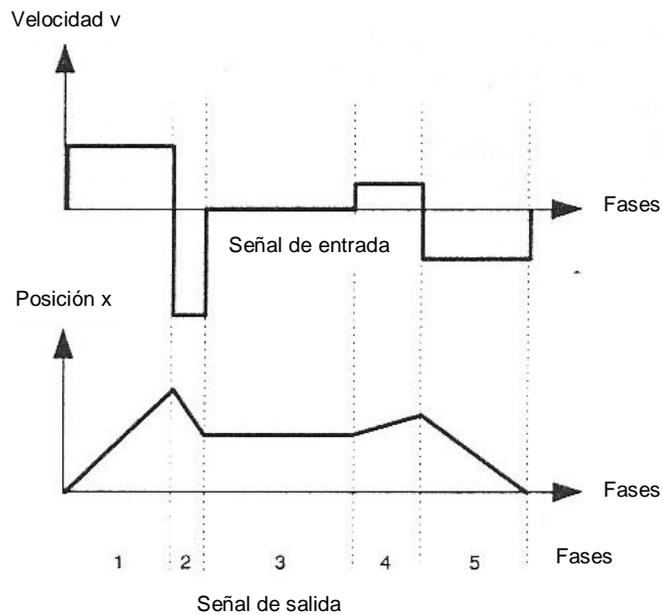


Fig. 4.28 Integración de una señal (continuación)

En la figura el valor de la señal de entrada exhibe cambios por pasos. La gradiente de la señal de salida también produce cambios abruptos, en otras palabras, la curva contiene picos.

Si el valor de la señal de entrada cambia continuamente, la gradiente de la señal de salida también cambiará continuamente.

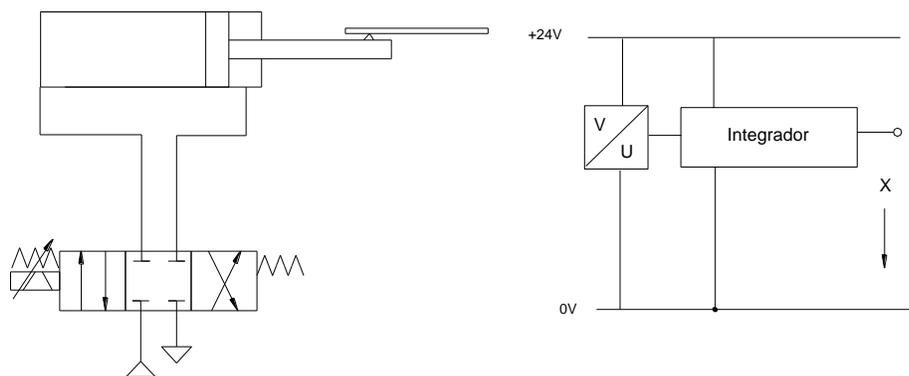


Fig. 4.29 Integración de una señal sin cambios abruptos de mando

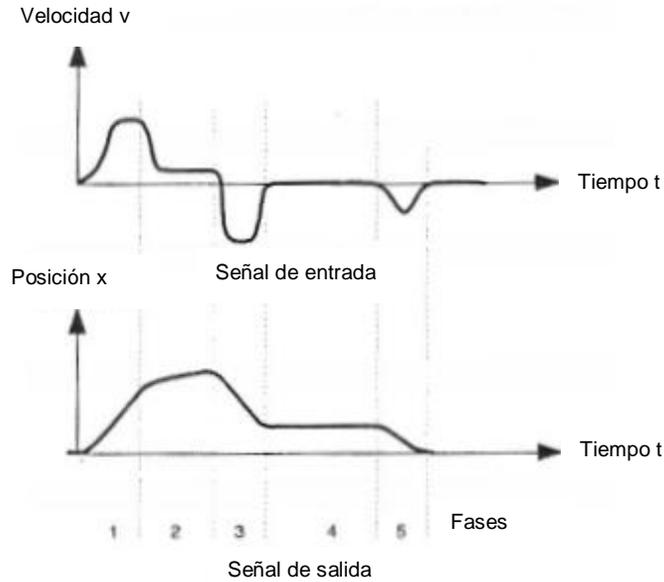


Fig. 4.29 Integración de una señal sin cambios abruptos de mando (continuación)

Función de transición de un integrador

La función de transición está completo en el diagrama de bloque del integrador. Una distinción se hace en dos fases.

- Apenas arriba del punto $t = 0$, la señal de entrada y la de salida son cero.
- Desde el punto $t = 0$ en adelante. El valor de la señal es 1. la señal de salida se incrementa con una gradiente constante.

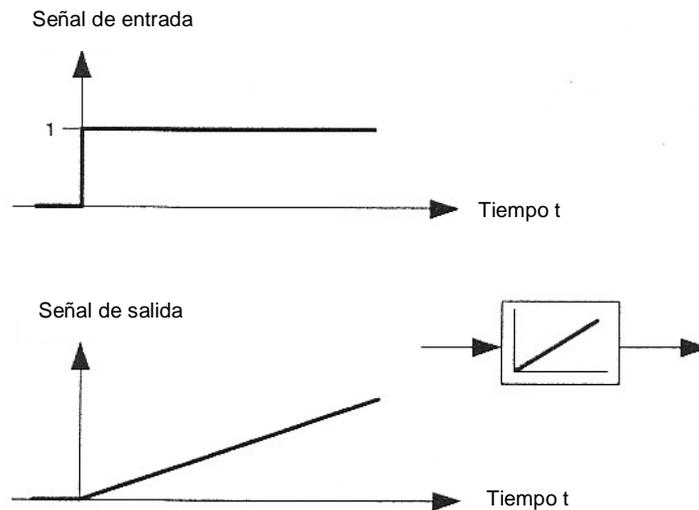


Fig. 4.30 Función de transición de un Integrador

Fórmulas

La relación entre la señal de entrada $e(t)$ y la de salida $a(t)$ de un integrador está descrita en la siguiente fórmula:

Ecuación 4.5

$$a(t) = \int e(t)dt$$

SISTEMAS NEUMÁTICOS CONTROLADOS DE LAZO CERRADO

Un sistema controlado consiste en un elemento de control final y un elemento de sistema controlado. En sistemas neumáticos controlados de lazo cerrado se usan los siguientes componentes:

- Las válvulas generalmente son usados como elementos de control final
- Los elementos de sistemas controlados comprometen a la tubería y, dependen de la aplicación, las válvulas de control de flujo, de cilindros y/o reservorios.

El comportamiento de los sistemas controlados están influenciados no solamente por los componentes neumáticos sino también por las variables como las fuerzas de carga, la fuerza de fricción y las masas. Por ejemplo, un cilindro neumático el cual tiene que mover 50 Kg hacia delante y para atrás, reaccionará más lentamente que un actuador similar que tiene que mover sólo 5 Kg.

Modelo

En orden de obtener el mejor comportamiento de control posible, el controlador que es usado debe coincidir con el sistema controlado en cuestión. Dos pasos deben ser llevados para seleccionar un controlador eficiente:

Paso 1. Un modelo es creado del sistema controlado. El modelo provee una descripción simplificada del comportamiento del sistema controlado.

Paso 2. Se debe seleccionar un controlador compatible con el sistema a controlar.

Los sistemas controlados neumáticos pueden ser generalmente descritos por uno de los modelos en la tabla:

Tabla 4.2 Ejemplos de modelos de sistemas neumáticos controlados

Sistemas controlados con compensación	Sistemas controlados sin compensación
Sistemas controlados de orden cero	Sistemas controlados de primer orden
Sistemas controlados de primer orden	Sistemas controlados de segundo orden
Sistema controlado de segundo orden	Sistema controlado de tercer orden
Sistema controlado con tiempo muerto	

Fuente: DIN 19237 Measurement and control: Open Loop Technology, terminology

Sistemas controlados con compensación

El sistema mostrado en la figura consiste de una válvula y un cilindro neumático.

- La señal corregida para la válvula forma la señal de entrada para el sistema controlado
- La velocidad del pistón es medida con un sensor. Esta forma la señal de salida.

En orden de determinar la función de transición, la válvula es energizada con una señal correctora mostrando un cambio de pasos en el punto $t = 0$. Pueden distinguirse dos fases:

Fase 1. La velocidad del pistón incrementa. Oscilaciones pueden ocurrir, dependiendo del tipo de cilindro.

Fase 2. La velocidad alcanza un valor constante.

Tener un nuevo valor constante para señal de salida resulta después en un cambio de pasos en la señal de entrada. Se describe el sistema como un sistema controlado con compensación.

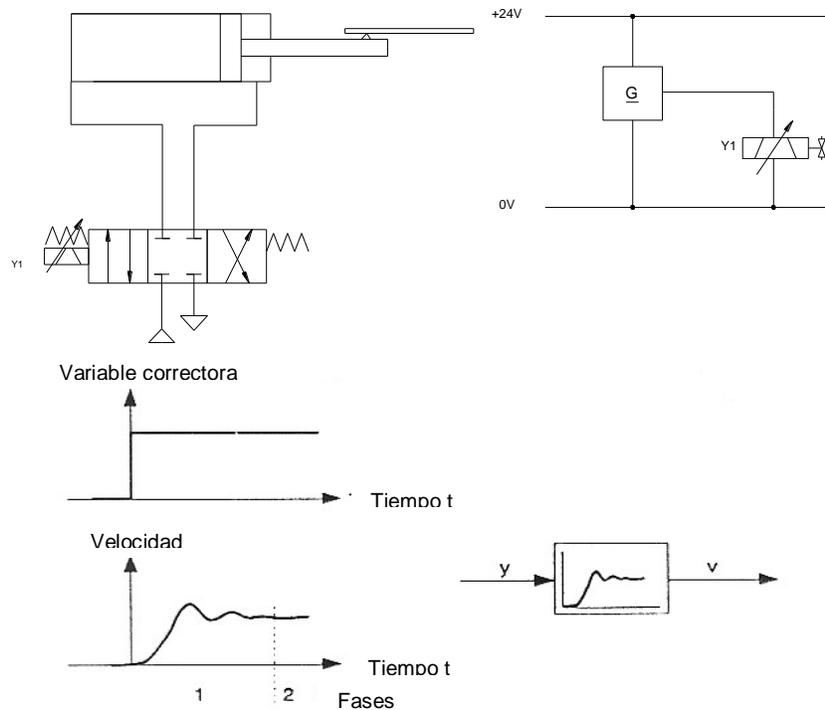


Fig. 4.31 Respuesta de mando y diagrama de bloque de un sistema controlado con compensación

Sistemas controlados sin compensación

La posición del pistón del cilindro neumático en la figura es medida. Esto forma la señal de salida del sistema controlado.

La posición del pistón cambia cuando la válvula está abierta. Las oscilaciones pueden ocurrir después de que el pistón ha empezado a moverse. Tan pronto como estas oscilaciones terminan, el pistón se mueve suavemente hasta que se impacta con el fin de carrera (stop)

La señal de salida no se estabiliza a un valor constante en el rango de trabajo. El sistema es un sistema controlado sin compensación.

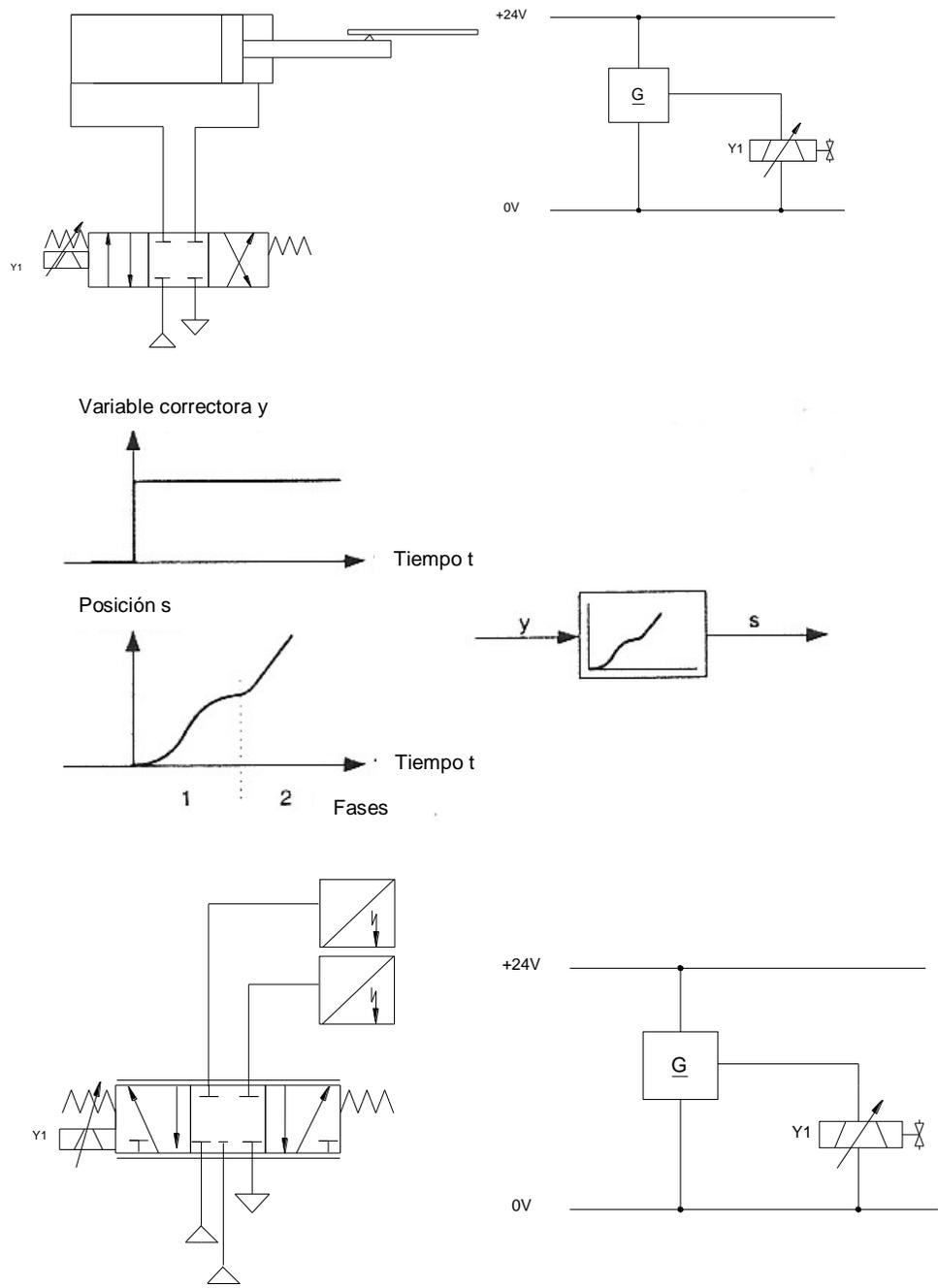


Fig. 4.32 Respuesta de mando y diagrama de bloque de un sistema controlado sin compensación

Sistemas controlados con atraso corto (short delay)

La figura ilustra un sistema de control de presión. El sensor de presión está ajustado directamente a los puertos de salida de la válvula. Cuando la señal de energización de la válvula cambia. La presión produce una pequeña demora (delay).

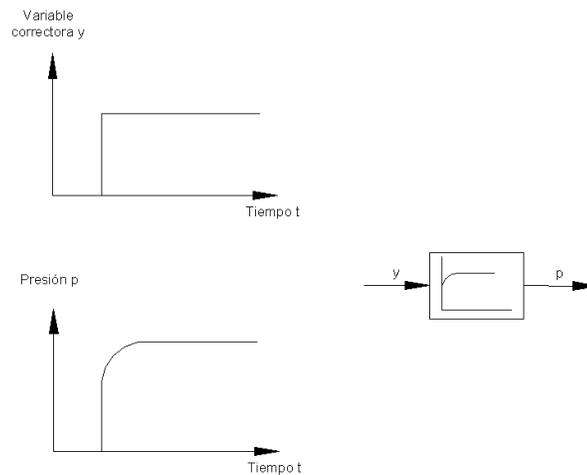


Fig. 4.33 Sistema controlado de atraso corto

Sistemas neumáticos controlados libres de atraso (delay-free)

Un sistema controlado muy rápido es generalmente considerado como libre de atraso (delay). Esto es referido como un sistema controlado de *orden cero*. Un sistema de control libre de atraso (delay) reacciona como un cambio de pasos en la señal de entrada con un cambio de pasos en la señal de salida.

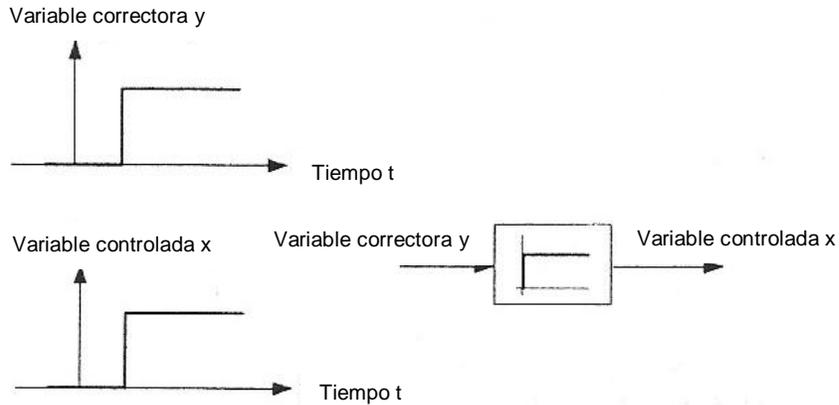


Fig. 4.34 Sistema controlado libres de atraso

Sistemas controlados de primer orden

- **Sistema controlado con atraso (delay)**, Si un reservorio es incluido en el sistema de control de presión, la presión almacenada se vuelve lenta. Un sistema de este tipo es un sistema controlado con atraso (delay).

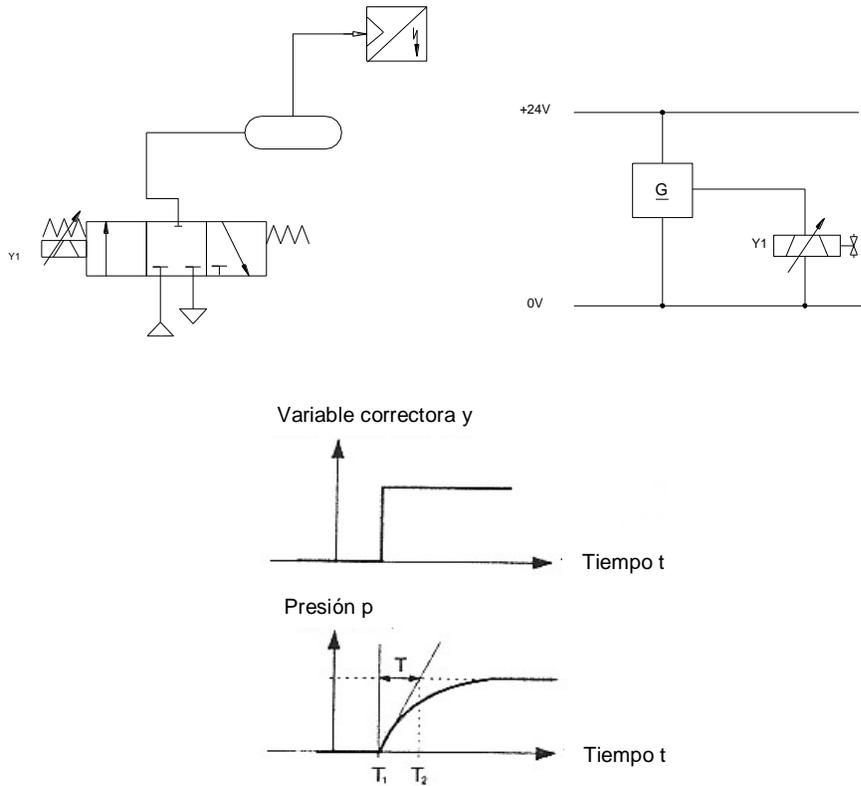


Fig. 4.35 Sistemas de presión controlado con un reservorio

Desde que el sistema controlado incorpora un dispositivo de almacenamiento de energía, hablamos de un sistema de *primer orden*

Constante de tiempo, Cuando la variable corregida ejecuta un cambio de pasos, la variable controlada tiene un atraso (delay). La constante del tiempo T del sistema controlado puede determinarse del gráfico de la respuesta de pasos.

Sistemas neumáticos controlados de *segundo orden*

- **Dispositivos de almacenamiento de similar energía**, La figura muestra un sistema controlado con dos reservorios conectados en serie. Los dos reservorios están conectados juntos por una línea de aire comprimido. Cuando se presentan dos dispositivos de almacenamiento de energía este se convierte en un sistema controlado de segundo orden.

Existen claras diferencias entre las respuestas de pasos de un sistema de segundo orden y uno de primer orden.

- a. En el caso de un sistema controlado de primer orden, la variable controlada aumenta inmediatamente con una gradiente empinada.
- b. En el caso del sistema de segundo orden, la variable de control inicialmente aumenta muy suavemente. Sólo después que esto ocurre la gradiente de la curva se vuelve empinada.

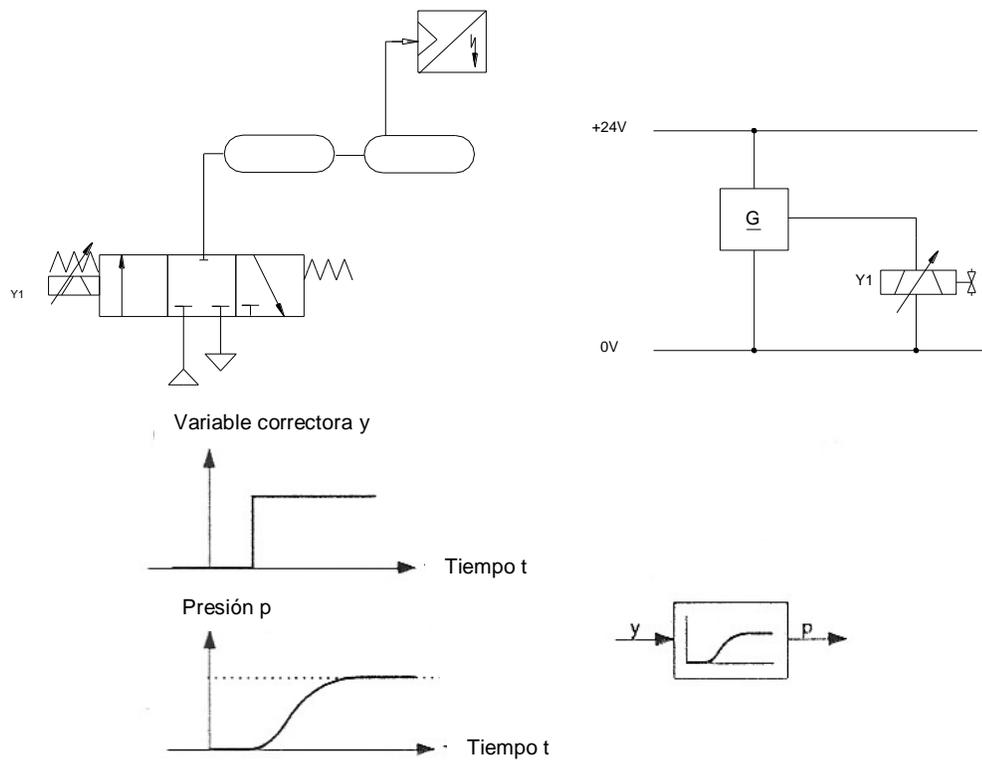


Fig. 4.36 Sistema de control de presión con dos reservorios

- **Dispositivos de almacenamiento de no similar energía,** La Fig. 4.7 muestra un sistema controlado consistente de una válvula y un cilindro neumático. El actuador mueve una masa hacia delante y hacia atrás. La velocidad es medida por un sensor.

La energía es almacenada en este sistema en dos vías.

- Por el movimiento de la masa (Energía cinética)
- Por la compresión y expansión del aire (Energía potencial)

Las columnas de aire en las dos cámaras del cilindro neumático pueden ser tomadas como amortiguadores de aire. El pistón del cilindro neumático está enganchado o sujeto entre estos dos amortiguadores. El sistema de masa resorte es susceptible de oscilación. Por esta razón, las oscilaciones pueden resultar de la respuesta de pasos.

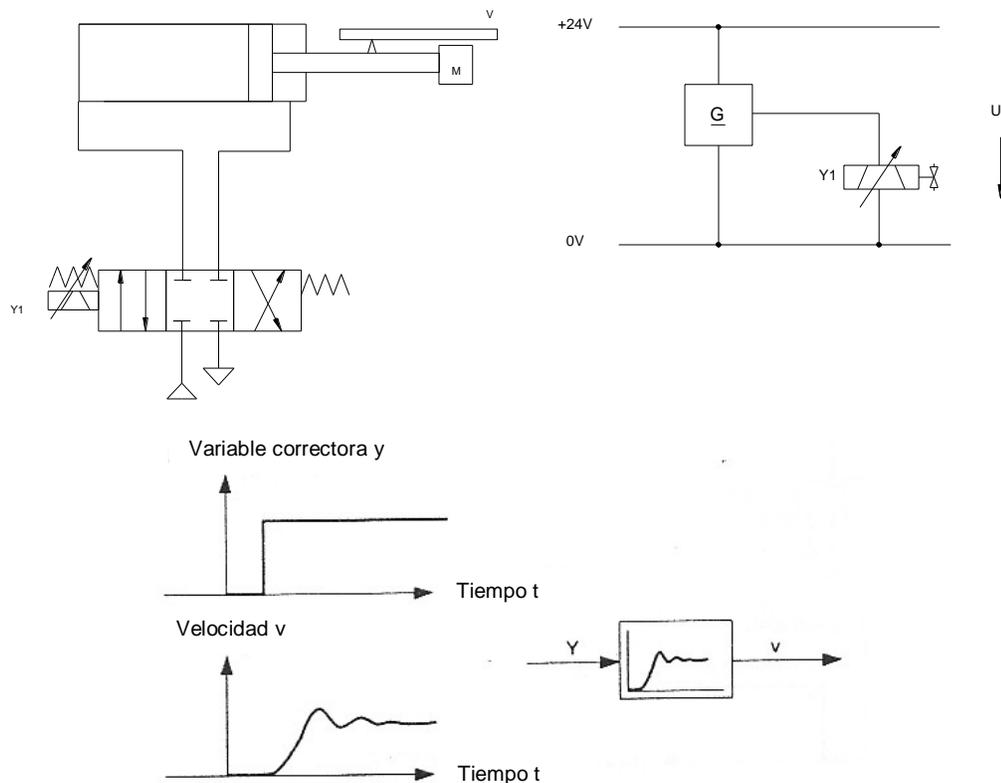


Fig. 4.37 Cilindro neumático con sensor de velocidad

Comparación de sistemas de segundo orden

Tabla 4.3 Comparación de sistemas controlados de segundo orden

Dispositivos de almacenamiento de energía	<i>Dos dispositivos idénticos de almacenamiento de energía</i>	<i>Dos dispositivos no idénticos de almacenamiento de energía</i>
Respuesta de pasos	No existen oscilaciones	Con oscilaciones
Ejemplo	Dos reservorios neumáticos	Cilindros neumáticos

- **Sistemas neumáticos controlados de tercer orden**

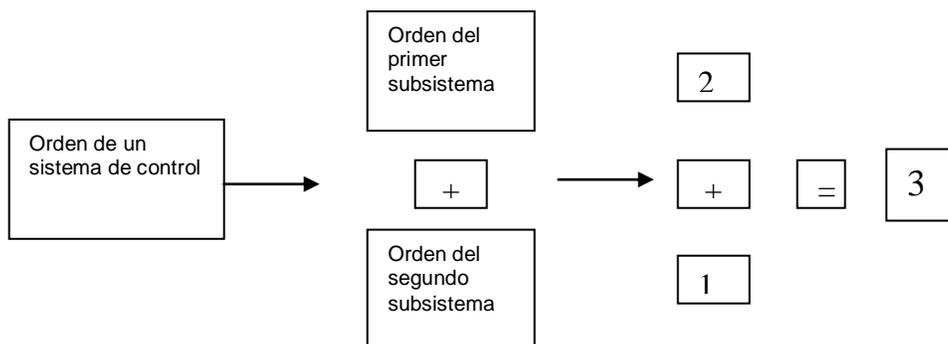
La Fig. 4.38 muestra un sistema controlado por posición. La posición del embolo es medido. La señal que se muestra del diagrama de flujo muestra un sistema controlado como dos subsistemas.

- a. *En el primer subsistema*, El voltaje de energización U de la válvula forma la señal de entrada, y la velocidad v la señal de salida. Esta parte del sistema controlado corresponde al sistema controlado en la Figura anterior. Esto en concordancia con un sistema de segundo orden.
- b. *En el segundo subsistema*, la velocidad v forma la señal de entrada, y la posición x la señal de salida. Este es un integrador, por ejemplo: un sistema de primer orden.

La señal de salida del integrador corresponde a la señal de salida del sistema controlado.

La orden de **resumen** (overall⁷) al sistema controlado es determinada por adición de la orden conjunta de los dos subsistemas (Fig. 4.38 (b)).

Esto se muestra así:



El sistema controlado general o total (overall)⁸ forma un sistema de tercer orden.

⁷ Overall, sistema general o total, vista completa

Desde que el subsistema de segundo orden es capaz de oscilación, el del sistema controlado total es también capaz de oscilar. La oscilación puede ser vista en un diagrama de bloque para el sistema controlado total u overall.

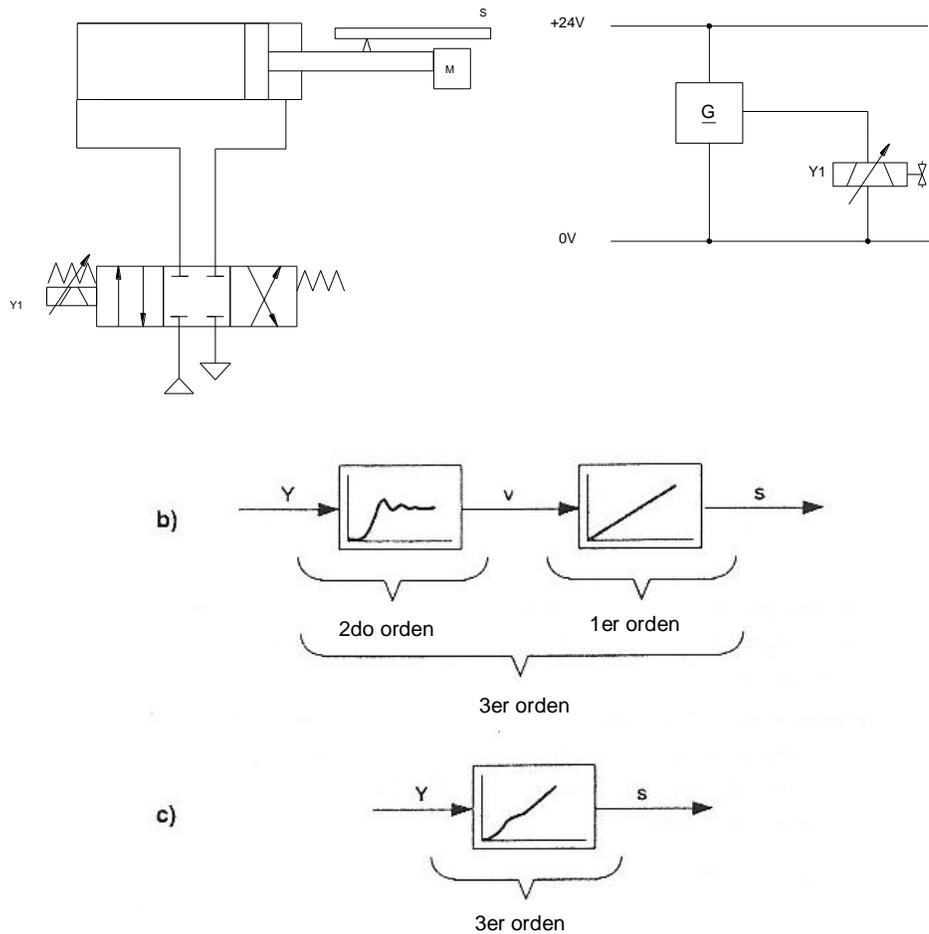


Fig. 4.38 Cilindro neumático con sensor de velocidad

- **Variables de influencia en el mando de un sistema controlado**, El mando de un sistema controlado depende de:
 - a. Las partes componentes del sistema controlado
 - b. La señal de entrada
 - c. La señal de salida

El actuador neumático con sensor de velocidad (sistema controlado de segundo orden) y el actuador neumático con sensor de posición (sistema controlado de tercer orden) tienen los mismos componentes neumáticos. El mando de los dos sistemas controlados es diferente por su señal de salida son diferentes.

Sistemas controlados con tiempo muerto,

La figura muestra un actuador piloto de una válvula con un sensor de presión conectado en el puerto del dispositivo. El voltaje para la actuación de la válvula forma la señal de salida del circuito. El sensor de presión entrega la señal de salida. Cuando la señal de salida cambia, la estación piloto es la primera en actuar. Sólo cuando se crea una presión lo suficientemente alta en la estación piloto el émbolo de la válvula actúa en la estación principal. En el medio de la señal de salida se encuentra relativamente retrasada con el medio de la señal de entrada por el periodo T_t . El periodo T_t es conocido como tiempo muerto. En el caso de una válvula de tamaño nominal largo (por ejemplo: G 1/2), el tiempo muerto puede ser de más de 50 ms.

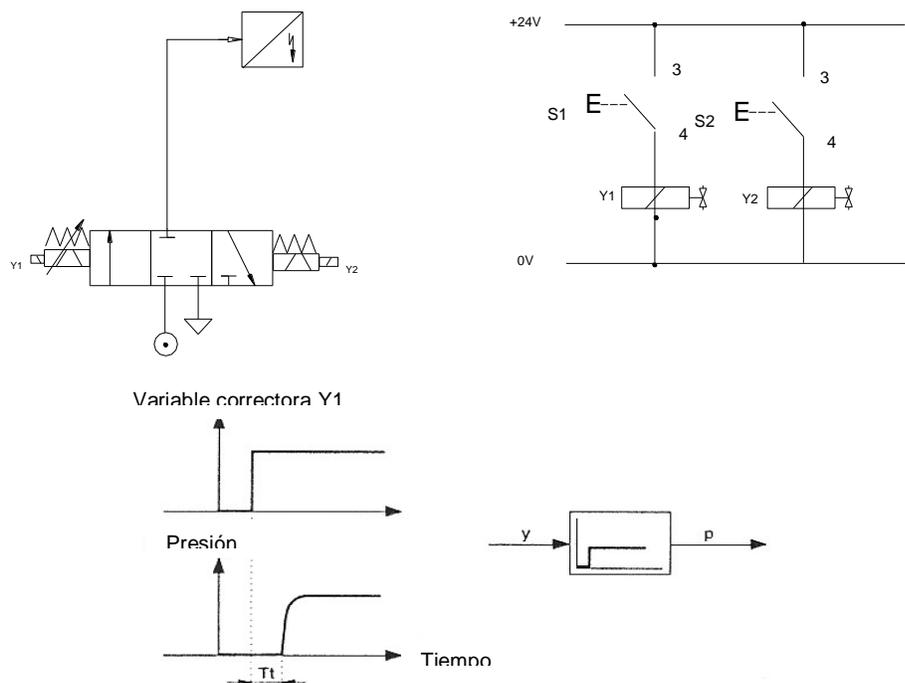


Fig. 4.39 Válvula de 3 vías neumática con actuación piloto

Clasificación de sistemas controlados de acuerdo al comportamiento de las respuestas de pasos.

En la práctica, es muy usada la clasificación de varios tipos de sistemas controlados de acuerdo a su comportamiento a las respuestas de pasos.

Es muy difícil distinguir entre la función de transición de un sistema controlado de alto mando. Cuan más alto sea el mando del sistema controlado, existen mas similitudes de un sistema de tiempo muerto.

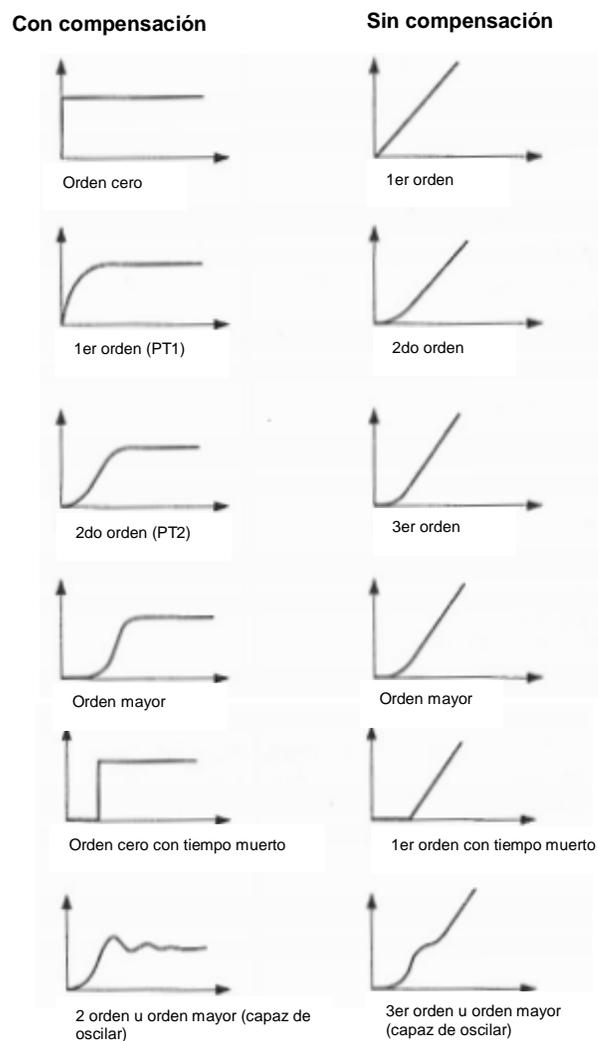


Fig. 4.40 Comportamiento a la respuesta de mando de sistemas controlados

Punto de operación y ganancia de sistemas controlados.

Los modelos de primer, segundo y tercer orden (o mando) representan una simplificación del comportamiento actual de los sistemas controlados. Es frecuentemente necesario describir el comportamiento de un sistema controlado más eficaz. En los casos de este tipo, características adicionales son usadas.

- **Características de un sistema controlado con compensación.** La Fig. 4.41 muestra un sistema controlado con compensación. Este debe seguir las siguientes propiedades:
 - a. Si la variable corregida permanece constante, una velocidad constante resulta como la variable controlada después de la calibración (setting)
 - b. Si un voltaje es introducido como variable de corrección, otra velocidad resulta como la variable controlada después de la calibración.

Cada valor de la variable controlada puede ser asignado como velocidad. La relación entre la variable corregida y variables controladas puede ser presentada como una característica.

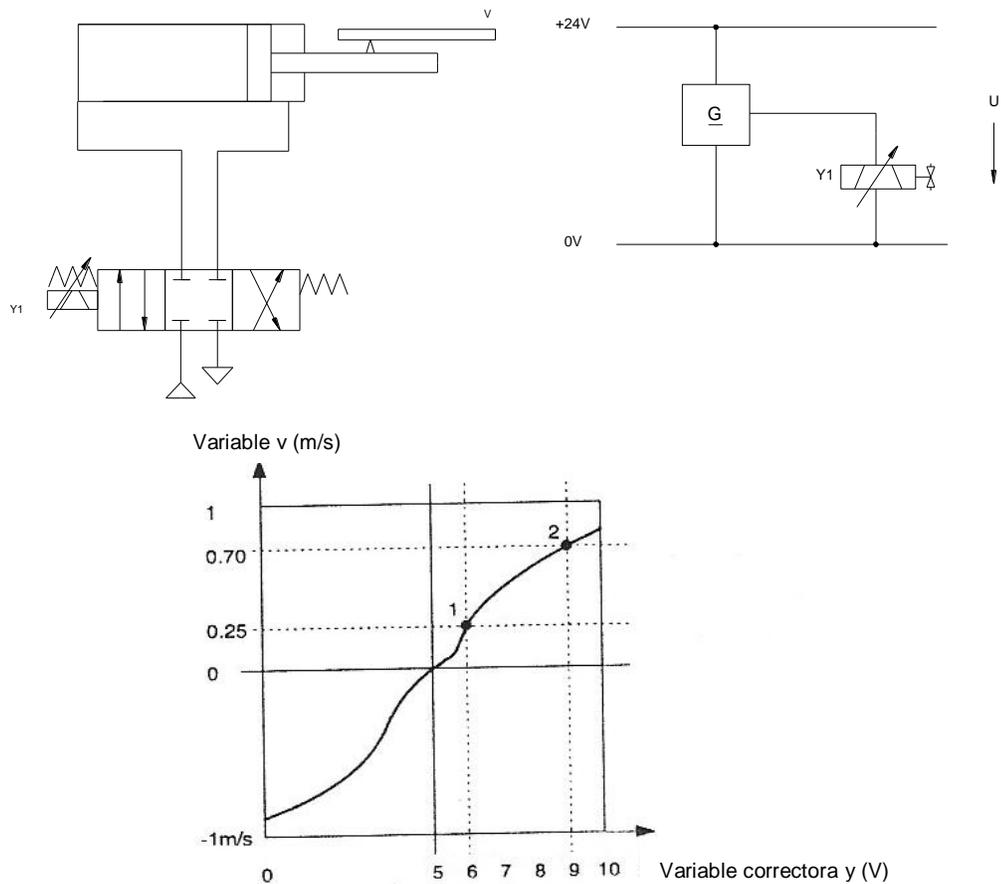


Fig. 4.41 Características del estado estático para un cilindro neumático

- **Punto de operación,** Cada velocidad es asignada como punto de operación de la válvula. Para una velocidad de 0.25 m/s, el punto de operación es de 6 V, mientras que la velocidad a 0.7 m/s corresponde a 9V.
- **Ganancia del sistema controlado KS,** El factor de ganancia KS de un sistema controlado con compensación es definido como sigue:

Ecuación 4.6

$$KS = \frac{\text{Cambio en la señal de salida}}{\text{Cambio en la señal de entrada}} = \frac{\text{Cambio en la variable controlada}}{\text{Cambio en la variable corregida}} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Entre más grande sea la ganancia del sistema controlado, más sensiblemente reaccionará el sistema controlado a los cambios en la variable corregida. La ganancia del sistema controlado influye en la configuración del controlador:

- a. Con una alta ganancia del sistema controlada, una baja ganancia del controlador debe ser dispuesto.
- b. Con una baja ganancia del sistema controlada, una alta ganancia del controlador debe ser dispuesto.

La ganancia del sistema controlado K_S corresponde a la gradiente de la característica (Fig. 4.41). Si la gradiente de la característica cambia, el sistema de ganancia del sistema controlado también cambia.

Para determinar el cambio en la señal de entrada y salida, los valores de dos puntos en la característica son leídos en la periferia de un punto de operación. Los cambios en las variables corregidas y controladas son calculados desde esto. Finalmente, la ganancia K_S puede ser encontrada usando la tabla siguiente:

Tabla 4.4 Variable correctora, corregida y ganancia de un sistema controlado de un actuador neumático

	Punto de operación 1	Punto de operación 2
<i>Variable corregida 1</i>	6 V	9 V
<i>Variable corregida 2</i>	6.2 V	9.2 V
<i>Cambio en la variable corregida</i>	0.2 V	0.2 V
<i>Variable controlada 1</i>	0.25 m/s	0.7 m/s
<i>Variable controlada 2</i>	0.29 m/s	0.72 m/s
<i>Cambio en la variable controlada</i>	0.04 m/s	0.02 m/s
<i>Ganancia en el sistema controlado</i> KS	$\frac{0.04 \frac{m}{s}}{0.2V} = \frac{0.2m}{(sv)}$	$\frac{0.02 \frac{m}{s}}{0.2V} = \frac{0.1m}{(sv)}$

La tabla 4.4 muestra que para el actuador especificado, la ganancia del sistema controlado KS depende del punto de operación. La caída en la pendiente en la Fig. 4.41 muestra el incremento de la ganancia con el sistema controlado. En el punto de operación 1, la gradiente de la característica es súbita y la ganancia KS es mayor que el punto de operación 2.

4.1.1.2 Controladores

ESTRUCTURAS CONTROLADORAS

Diagrama de bloque

La figura muestra el diagrama de bloque de un controlador. Dos variables de entrada actúan sobre un controlador:

- La variable de referencia w
- La variable controlada x



Fig. 4.42 Diagrama de bloque de un controlador

CONTROLADORES DINÁMICOS Y NO DINÁMICOS

Los controladores están divididos en dos diferentes clases:

- Controladores no dinámicos (controladores cambiantes)
- Controladores dinámicos

Las propiedades de los controladores se indican a continuación:

Tabla 4.5 Controladores dinámicos y no dinámicos

	Controladores no dinámicos	Controladores dinámicos
Variable corregida	Muy pocos valores diferentes	Variables continuas entre valores máximos y mínimos
<i>Válvula del tipo neumático</i>	Válvula 3/2 vías	Válvula dinámica
<i>Ventaja</i>	Menos costoso	Mejor calidad de control

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Ambos, los controladores dinámicos y no dinámicos tienen una variedad de estructuras controladoras, mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 4.6 Estructura de controladores neumáticos

Controladores No dinámicos	Controladores dinámicos	
	<i>Controladores estándares</i>	<i>Controladores de estatus</i>
Controlador de dos pasos	Controlador P	Controlador de triple lazo
Controlador de tres pasos	Controlador I	
Controlador de multipasos	Controlador PD	
	Controlador PI	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

CONTROLADOR DE DOS PASOS

La variable corregida de un controlador de dos pasos puede asumir dos diferentes valores.

Ej. Un reservorio de aire comprimido está llenado por una válvula de 3 vías.

- Si la presión en el reservorio se posa bajo la presión del valor del setpoint, la válvula está abierta.
- Cuando la presión en el reservorio ha alcanzado la presión del valor del setpoint. La válvula está cerrada.

- **Controladores de dos pasos con diferencia cambiante**, Para prevenir a los controladores de dos pasos de los adelantos y atrasos cambiantes muy frecuentemente, un controlador es usado en el cual tiene diferentes valores de conexión y corte. La diferencia entre dos valores es conocido como diferencia cambiante. Esta influye en el comportamiento del control:

- Si queremos que el controlador de cambios lo más pequeño posible, una gran diferencia de cambio debe ser seleccionado.
- Si por otra parte, es importante mantener la desviación entre el setpoint y el actual valor tan pequeño como sea posible, existe sólo una pequeña diferencia entre los valores de conexión y corte.

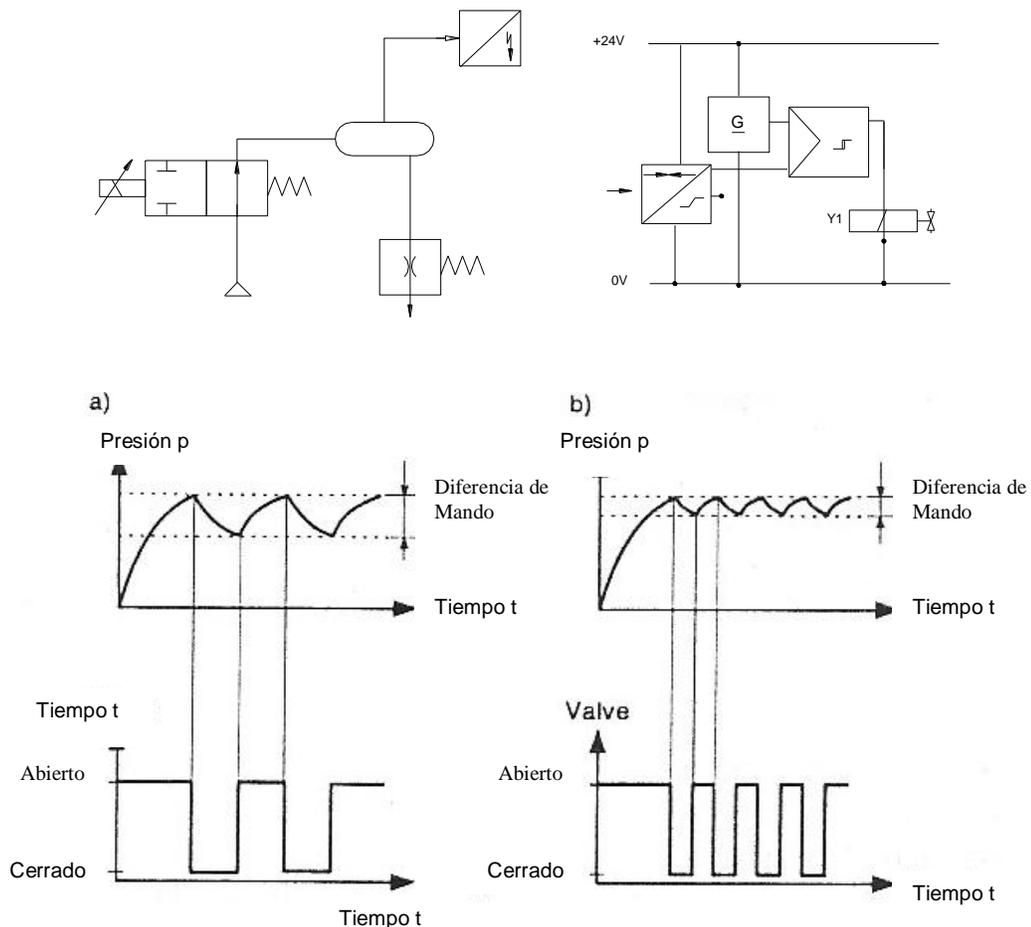


Fig. 4.43 Control de presión con controlador de dos pasos

CONTROLADOR DE TRES PASOS

La variable corregida de controlador de tres pasos puede asumir tres valores diferentes.

Ej. La figura 4.44 muestra un gancho neumático con un sistema de control de lazo cerrado. La fuerza de un gancho varía incrementando o decreciendo la presión en los cilindros. Las tres posiciones cambiantes son requeridas para archivar el control de presión.

- Si la variable de referencia y variable controlada son la misma, la válvula está cerrada. (fase 1,3 y 5)
- Si la variable de referencia es más alta que la variable controlada, el gancho es alimentado con aire comprimido hacia una válvula de 3/3 vías. (fase 2)
- Si la variable controlada es más alta que la variable de referencia, el gancho es liberado del aire por la válvula 3/3 (fase 4)

Un tipo de controlador correcto para esta aplicación es conocido como control de tres pasos. La frecuencia con la cual un controlador de tres pasos de cambio puede ser reducido usando un controlador con la diferencia de cambio.

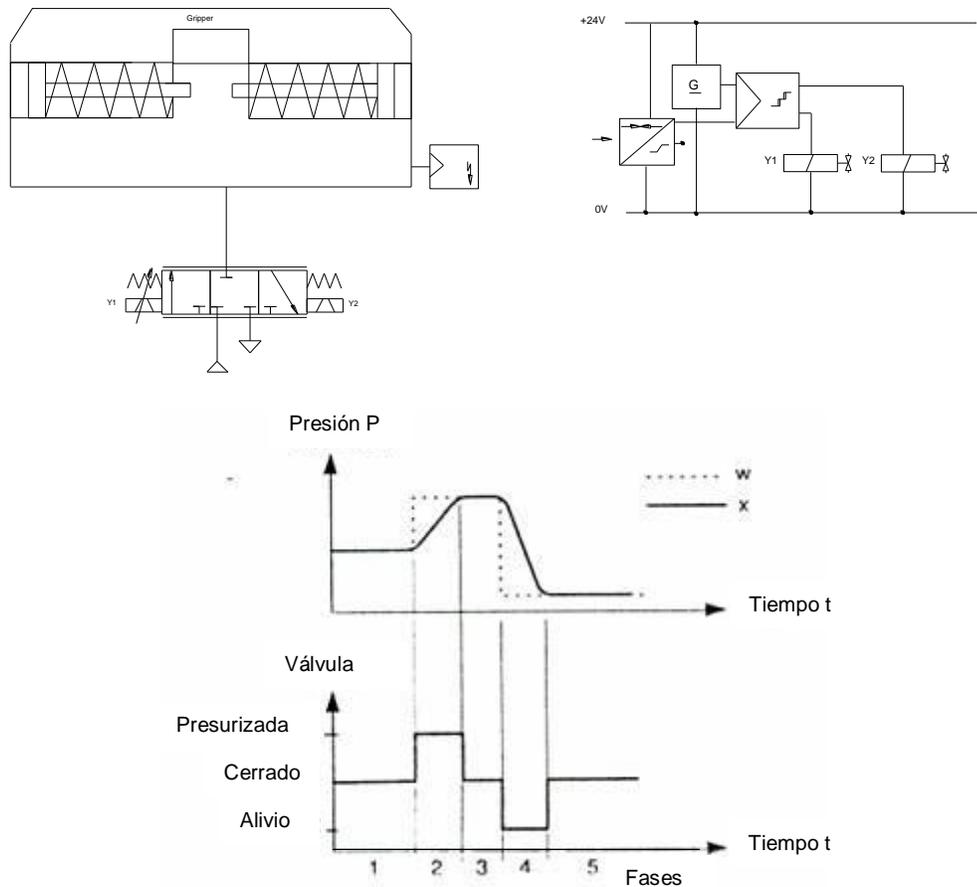


Fig. 4.44 Control de presión con controlador de tres pasos

CONTROLADOR DE MULTIPASOS

En el caso de un controlador de multipasos, la variable corregida puede ser tomada de tres formas diferentes. El número de diferentes valores de variables corregidas tiene el nombre de controlador multipasos (cinco pasos, seis pasos, etc.)

Entre más grande el número de posiciones cambiantes el controlador tiene, más grande es el Calidad de control que puede ser archivada.

Esto significa que es posible archivar el más pequeño estado estático de la desviación o la mayor velocidad para el circuito de control de lazo cerrado.

Ej. La figura muestra un circuito de control de lazo cerrado para un gancho. El controlador es capaz de corregir cinco valores variables. Existen las siguientes relaciones entre el sistema de desviación y las variables corregidas:

- Fase 1: Los valores de variable de referencia son considerablemente más altos que los valores de las variables controladas.
- Fase 2: El sistema de desviación se hace más pequeño pero continúa positivo. El gancho es presurizado por la válvula de mando.
- Fase 3: El sistema es muy pequeño. Ambas válvulas de mando están cerradas.
- Fase 4: El sistema de desviación es negativo. El valor del sistema de desviación es grande. El gancho es aliviado por las dos válvulas de mando.
- Fase 5: El sistema de desviación continúa negativo. El valor del sistema de desviación se hace pequeño. El gancho es aliviado por la válvula de mando.
- Fase 6: El sistema de desviación es muy pequeño. Ambas válvulas de mando son cerradas.

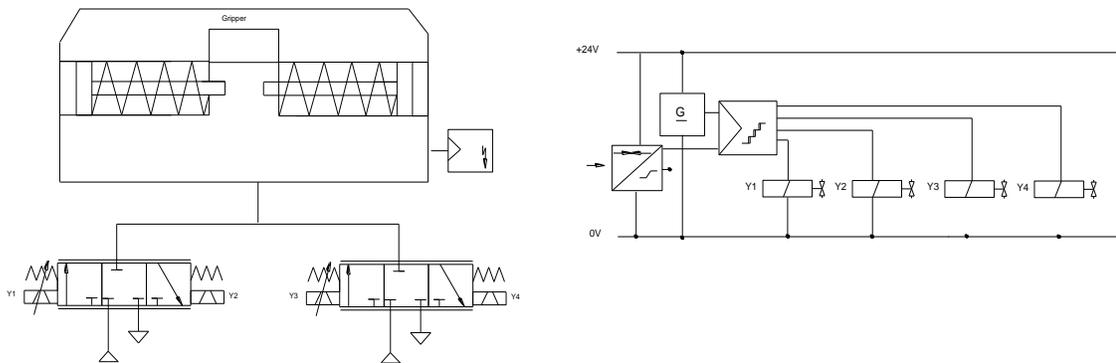


Fig. 4.45 Control de presión con un controlador de cinco pasos y una válvula 5/3

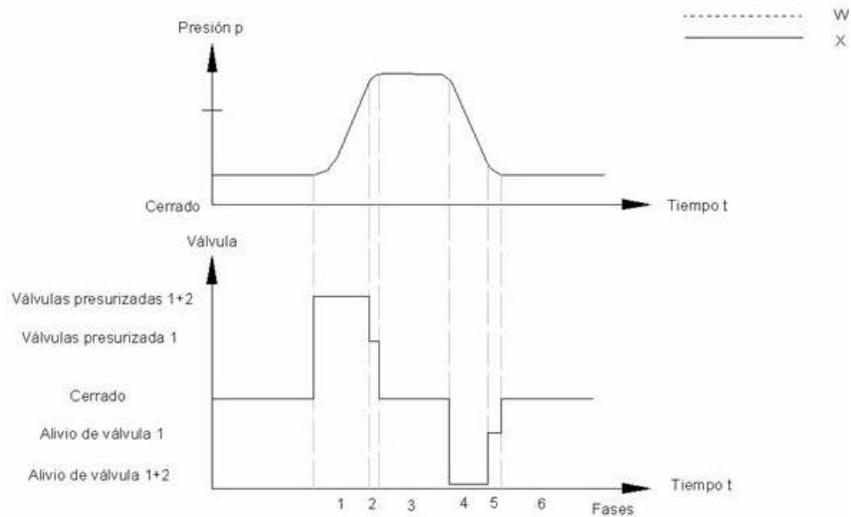


Fig. 4.45: Control de presión con un controlador de cinco pasos y una válvula 5/3 (continuación)

En comparación con un controlador de tres pasos, un controlador de cinco pasos ofrece ventajas de aplicación: La energización de la segunda válvula de mando permite una rápida compensación para una desviación de un sistema largo.

Diagramas de bloque para controladores no dinámicos

Los controladores de dos pasos de acción, tres pasos de acción y multipasos de acción están clasificados como controladores no dinámicos.

La función de un controlador no dinámico puede ser representada por una señal en el diagrama de flujo con dos cuadros:

- En el primer cuadro, la diferencia es calculada entre la variable de referencia y la variable controlada. Este cuadro es conocido como un comparador.
- En el segundo cuadro, el sistema de desviación es usado para determinar la variable corregida. Este cuadro forma el elemento de control del lazo cerrado.

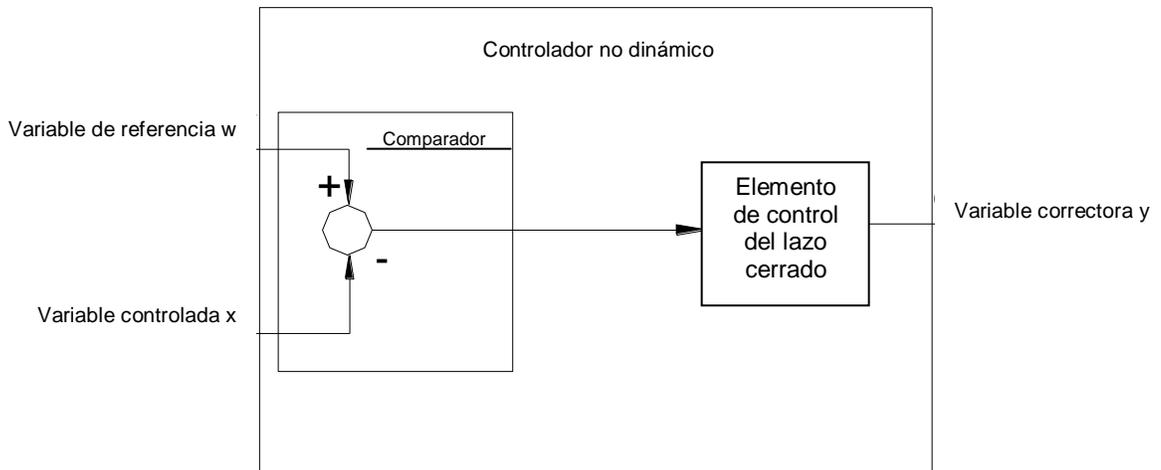


Fig. 4.46 Diagrama de señal de flujo de un controlador no dinámico

- **Diagrama de bloque de un elemento de control de lazo cerrado,** La figura 4.47 muestra la relación entre las señales de curvas, la característica del elemento de control de lazo cerrado y del diagrama de bloque. Un controlador de acción de dos pasos con diferencia de mando está tomado como ejemplo:
 - La figura 4.47 (a) muestra la curva para la variable de referencia y la variable controlada como un a función del tiempo.
 - La figura 4.47 (b) muestra el sistema de desviación; por Ej.: la diferencia entre la variable de referencia y la variable controlada. Esto forma la señal de salida del elemento de control del lazo cerrado.
 - La figura 4.47 (c) muestra la variable corregida. Esto forma la señal de salida del elemento de control.

Para constatar las características del elemento de control de lazo cerrado, las siguientes variables son usadas.

- El sistema de desviación, Por ejemplo, la señal de salida del elemento de control de lazo cerrado, en la dirección horizontal.
- La variable corregida, por ejemplo la señal de salida del elemento de control de lazo cerrado, en la dirección vertical.

Siguiendo esto, la medición de los valores de la figura 4.47 (b) y (c) son copiadas en (d) punto por punto:

- En el intervalo 1, la desviación del sistema es positiva. La válvula está abierta.
- En el intervalo 2, la desviación del sistema continua positiva, la válvula está abierta.
- En el intervalo 3, la desviación del sistema es cero y la válvula se cierra
- En el intervalo 4, el umbral del cambio aún no se ha alcanzado. La válvula permanece cerrada.
- En el intervalo 5, la desviación del sistema es mayor que el especificado umbral del cambio. La válvula se abre nuevamente.
- En el intervalo 6, la desviación del sistema es positiva y la válvula se abre.

La característica resultante pasada al diagrama de bloque para un elemento de control de lazo cerrado de acción de dos pasos. Fig. 4.47(e)

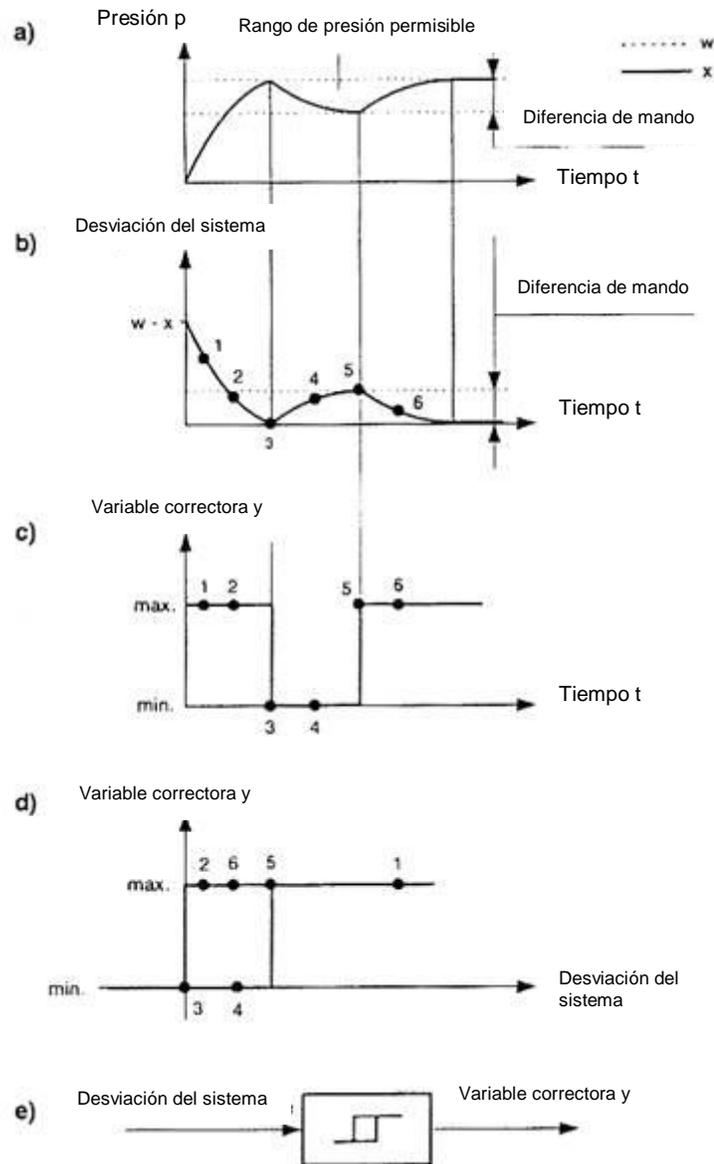


Fig. 4.47 Señal de curva, Función característica y diagrama de bloque de un controlador de dos pasos diferencia de cambio o diferencia de mando

- **Diagrama de bloque para controladores no dinámicos.** La figura muestra el diagrama de bloque de varios controladores no dinámicos. En el caso de un controlador con diferencia de mando, dos diferentes características ramificaciones son descritas por un aumento y una caída en el sistema de desviación respectivamente.

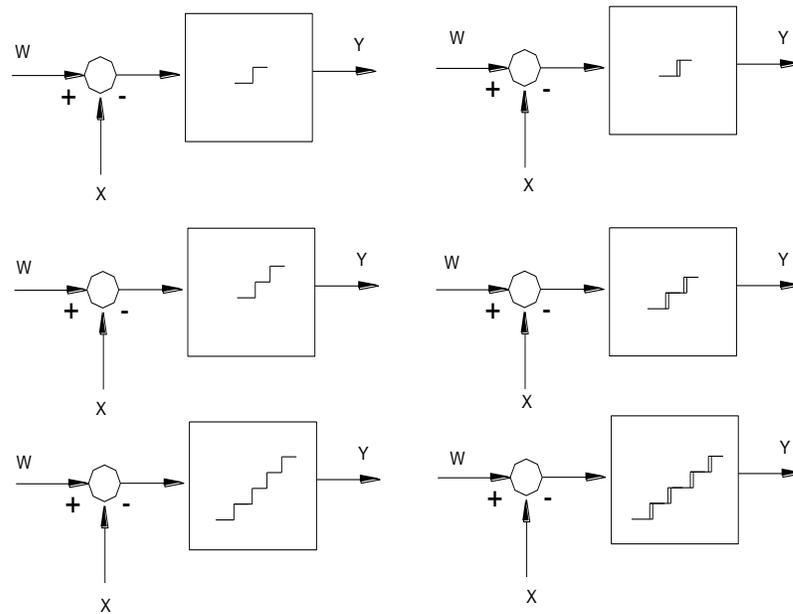


Fig. 4.48 Diagramas de bloque de controladores no dinámicos

4.1.1.2.1 Controlador P

Los controladores de acción proporcional son clasificados como controladores dinámicos. Este tipo de controlador está referido controlador P.

Ejemplo de aplicación:

La figura de abajo muestra la velocidad de un circuito de control de lazo cerrado con un circuito de controlador proporcional. (Controlador P). Cuando la variable de referencia ejecuta un cambio de pasos el circuito de control de lazo cerrado cumple los siguientes pasos:

- Fase 1, La desviación del sistema es muy larga. La válvula está enteramente abierta.
- Fase 2, La desviación del sistema se hace pequeña. La variable corregida y abertura de la válvula vuelven pequeñas.
- Fase 3. La desviación del sistema, la variable correctora y la apertura de la válvula son constantes.

Como el ejemplo muestra, el sistema de desviación de estado estático resulta con la combinación del sistema controlado con compensación y un controlador P.

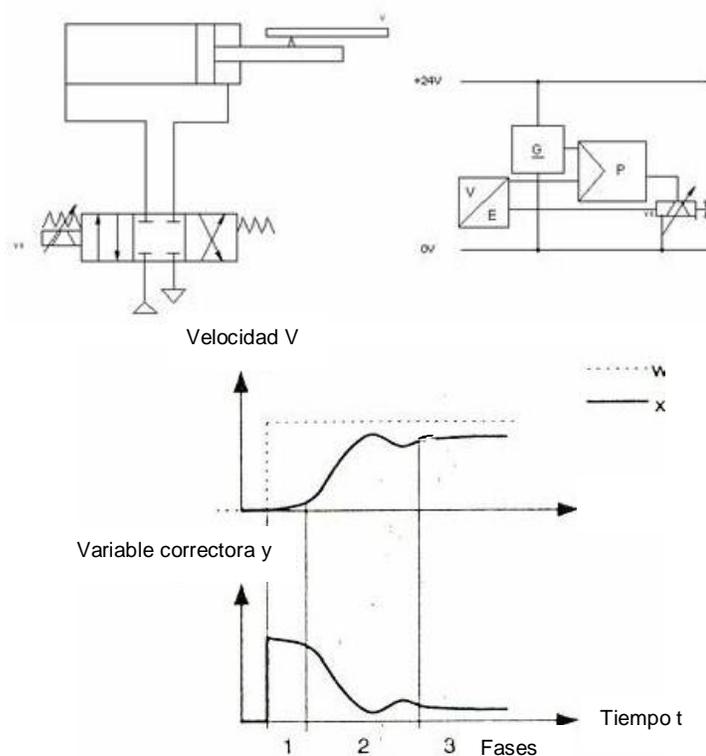


Fig. 4.49 Sistema de control de velocidad con un controlador de acción proporcional

Función de transición P de elemento de control de lazo cerrado.

Si el sistema de desviación ejecuta un cambio de pasos con controlador de acción proporcional, el controlador reacciona con un cambio de pasos en la variable corregida.

La figura 4.50 (b) y 4.50(c) muestra dos funciones de transición para controladores de acción proporcional con diferentes coeficientes de acción proporcional.

Ecuación P para elementos de control de lazo cerrado

La variable corregida y con el controlador de acción proporcional está calculada en concordancia con la siguiente ecuación:

Ecuación 4.7

$$y = KP.(w - x) = KP.e$$

KP es conocido como el coeficiente de acción proporcional o la ganancia proporcional. La variable corregida de un controlador P se hace más grande:

- Cuando es más grande la ganancia proporcional KP y
- Cuando es más larga la desviación e

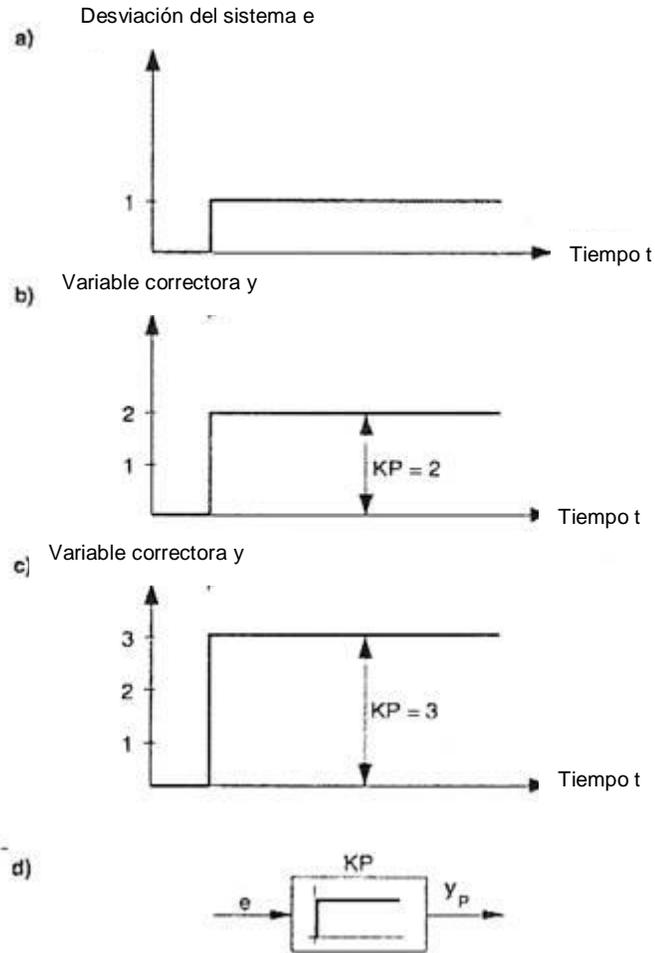


Fig. 4.50 Funciones de transición de dos controladores P con diferentes coeficientes del controlador

4.1.1.2.2 Controlador I

Los controladores de acción integral son conocidos como controladores I. La variable corregida es calculada por la integración de la desviación del sistema. Ejemplo de aplicación:

La figura muestra un control de velocidad de un circuito de lazo cerrado con un controlador de acción integral. Si la variable de referencia ejecuta un cambio de pasos, el circuito de control de lazo cerrado exhibe las siguientes reacciones:

- Fase 1 y 3, la desviación del sistema es positiva y la variable corregida del controlador I se incrementa.
- Fase 2, la desviación del sistema es negativa y la variable corregida se hace más pequeña.
- Fase 4, La variable de referencia y la variable controlada son la misma. La variable correctora es constante.

En contraste con el circuito de control de lazo cerrado con un controlador de acción proporcional Fig. 4.51, la no desviación de sistemas de estado estático ocurre en un circuito de control de lazo cerrado con un controlador de acción integral.

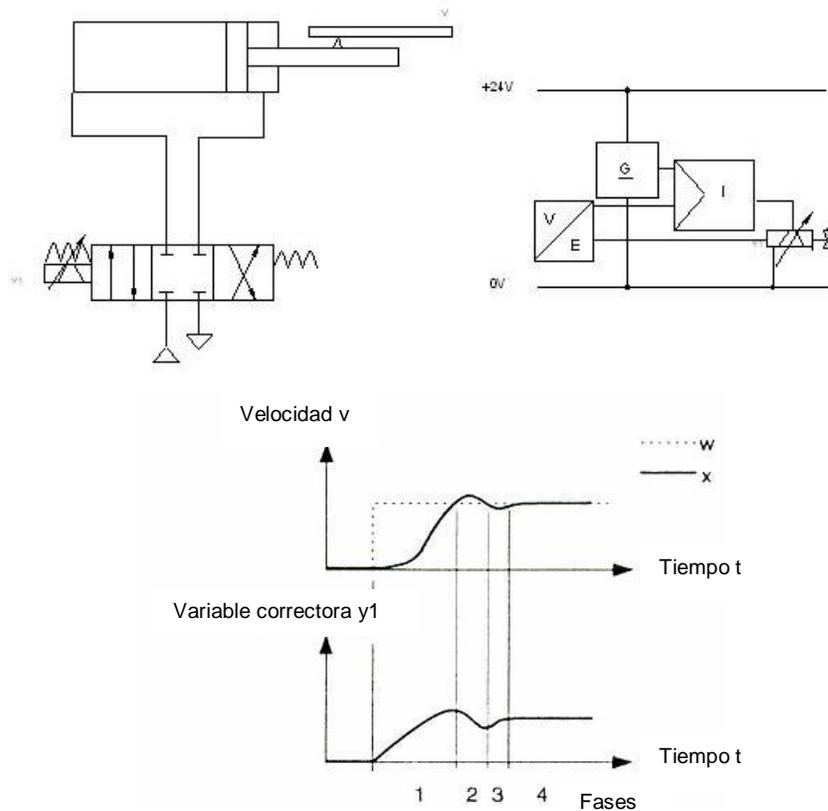


Fig. 4.51 Funciones de transición de dos controladores P con diferentes coeficientes

Función de transición de I de un elemento de control de lazo cerrado

Cuando la desviación del sistema ejecuta un cambio de paso, la señal correctora exhibe un cambio de rampa, la gradiente es mayor.

- El mayor sistema de desviación e
- La más alta ganancia del controlador KI
- La menor constante de tiempo TI

La figura 4.52 (b) y (c) muestra las funciones de transición para dos elementos de acción integral de lazo cerrado con diferentes valores de ganancia o tiempos constantes.

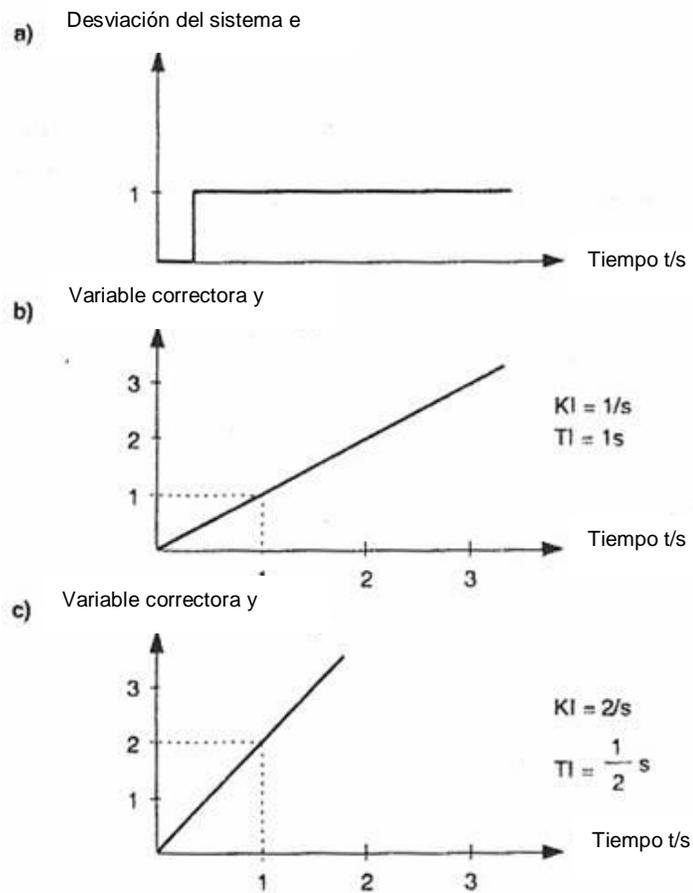


Fig. 4.52 Función de transición de dos controladores I

Ecuaciones para I de elementos de control de lazo cerrado

En el caso de un controlador I, la variable corregida es calculada una de las dos ecuaciones siguientes:

Ecuación 4.8

$$y = KI \int (w - x) dt = KI \int e dt$$

$$y = \frac{1}{TI \int (w - x) dt} = \frac{1}{TI \int e dt}$$

$$\text{donde : } TI = \frac{1}{KI}$$

TI es conocido como la constante de tiempo y KI como la ganancia del controlador o coeficiente del controlador de la acción integral.

4.1.1.2.3 Controlador D

Un controlador de acción derivativa es conocido como controlador D. La variable correctora es calculada por diferenciación de la desviación del sistema.

Un controlador de acción derivativa solo no es capaz de minimizar la desviación del sistema de estado estático. Los controladores D son usados como una combinación de controladores P y/o I.

Ejemplo de aplicación:

La figura muestra un circuito de control de velocidad de lazo cerrado para un cilindro neumático. La variable de referencia cambia desde el punto de tiempo T1 en adelante en la forma de una rampa. La reacción del circuito de control de lazo cerrado depende del tipo de controlador usado:

- La figura 4.53 (b) muestra el comportamiento de un circuito de control de lazo cerrado con un controlador P. La figura 4.53 (c) muestra la asociación de la variable correctora.
- El sistema de desviación permanece quieto inmediatamente después del tiempo de intervalo T1. La válvula es abierta de acuerdo al controlador de acción proporcional. El circuito de control de lazo cerrado reacciona únicamente de forma lenta en el cambio de la variable de referencia.
- La figura 4.53 (d) muestra el comportamiento de la combinación de un controlador P y D. Tan pronto como la variable de referencia cambia, el componente de la variable correctora generado por el componente de la acción derivativa Figura 4.53 (e) ejecuta un cambio de pasos. El total de la variable correctora de igual manera se incrementa inmediatamente. Seguidamente la válvula es abruptamente abierta. El circuito de control de lazo cerrado reacciona rápidamente y más fuertemente a el cambio en la variable de referencia. Figura 4.53 (d).

Función de transición de D de un elemento de control de lazo cerrado.

Durante la transición de la función, la desviación del sistema ejecuta un cambio de pasos. Esto resulta en las siguientes curvas de corrección:

- En el punto de tiempo en el cual la desviación del sistema cambia. El control de acción derivativa produce un pico en la señal de salida.
- Siguiendo esto, la desviación del sistema permanece constante. La señal de salida del control de acción derivativa inmediatamente cambia hacia cero.

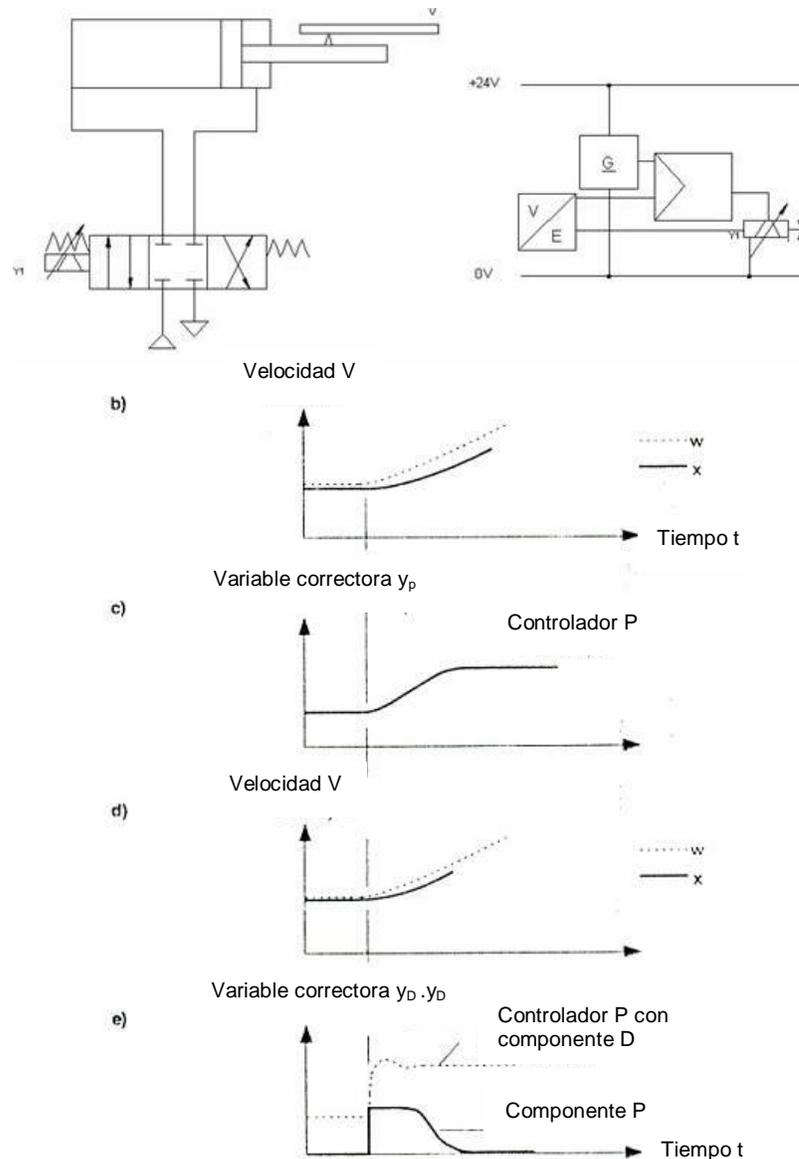


Fig. 4.53 Efecto del control de acción derivativa

Función de rampa de D de un elemento de control de lazo cerrado

Si el sistema de desviación se incrementa con una gradiente constante. El componente del controlador D produce una variable de corrección constante. La variable correctora es más grande.

- Más grande la ganancia K_D del controlador.
- La caída de la gradiente del incremento en el sistema de desviación.

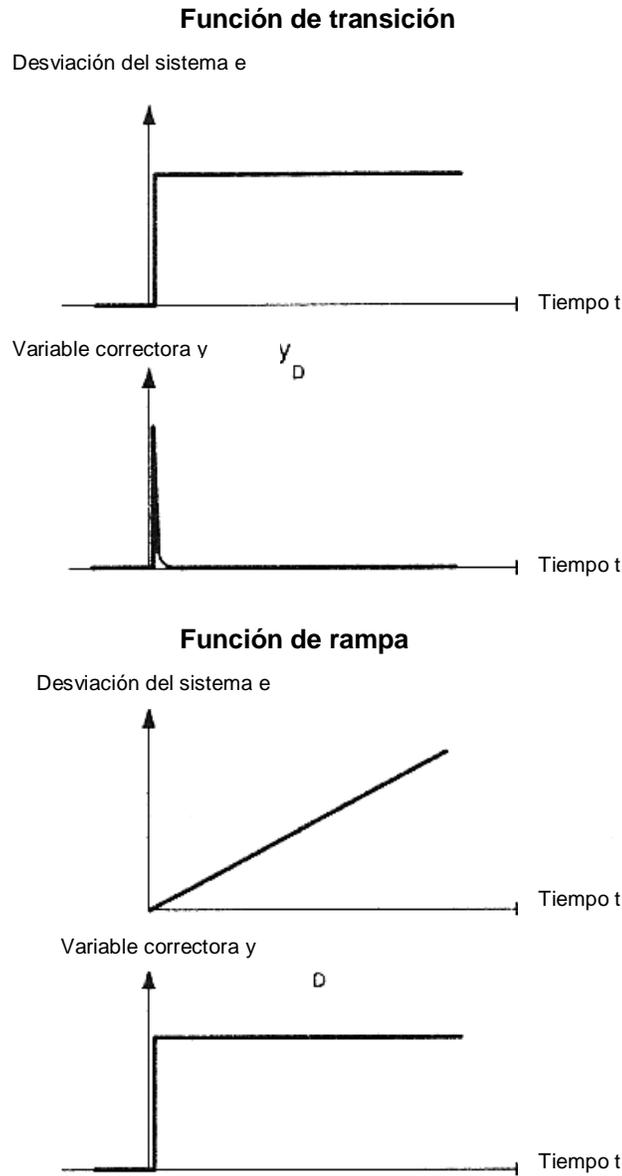


Fig. 4.54 Funciones de transición y de rampa de un controlador D

Ecuación para D de elementos de control cerrado.

La siguiente ecuación es usada para calcular la variable correctora generada por el componente controlador D:

Ecuación 4.9

$$y = KD \frac{d}{dt} (w - x) = KD \frac{d}{dt} e$$

La variable correctora generada por el controlador D es mayor

- Se verificará que tan grande es el coeficiente KD del controlador.
- También la rapidez el cambio de la desviación del sistema

Implementación práctica de D en un elemento de control de lazo cerrado

El control de acción derivativa no puede ser simulado de manera precisa inclusive con un circuito eléctrico análogo o con una computadora. En la práctica, un componente de controlador D sólo puede exhibir un comportamiento de acción derivativa aproximado.

4.1.1.2.4 Controladores PI, PD Y PID

Ventajas y desventajas de un controlador P, I y D

Tabla 4.7 Propiedades de controladores P, I y D

	Controladores P	Controladores I	Controladores D
Velocidad de reacción de un circuito de control de lazo cerrado	Rápido	Lento	Muy rápido
Sistema de desviación de estado estático	Presente	Cero	No pueden ser controlados
observación			No pueden ser usados sin componentes de controlador adicionales

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Para obtener las ventajas de los varios tipos de controladores al mismo tiempo, combinaciones de controladores de P, I y D son usados. De todas las posibles combinaciones, PI, PD, y PID son las únicas de significado práctico. La tabla siguiente compara las propiedades de estos controladores.

Tabla 4.8 Propiedades de controladores PI, PD y PID

	Controladores PI	Controladores PD	Controladores PID
<i>Velocidad de reacción de un circuito de control de lazo cerrado</i>	Rápido	Muy rápido	Muy rápido
<i>Sistema de desviación de estado estático</i>	Cero	Presente	Cero

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

CONTROLADOR PI

Un controlador PI combina el alto rendimiento de un controlador I con la rápida reacción de un controlador P. Para comprender esto. Un controlador P y un controlador I son conectados en paralelo en la señal del diagrama de flujo. Las dos variables corregidas son agrupadas o sumadas. Un controlador PI es distinguido por dos variables características:

- Por el coeficiente K_P de la acción proporcional y el coeficiente K_I de la acción integral.
- Por el coeficiente K_P de la acción proporcional y del tiempo T_n de la acción integral.

Tiempo T_n de la acción integral

EL tiempo T_n de la acción integral puede ser calculada del coeficiente K_P de la acción proporcional y del coeficiente K_I de la acción integral, usando la siguiente fórmula.

$$TN = \frac{KP}{KI}$$

Función de transición de PI de un elemento de control de lazo cerrado

La función de transición de un controlador PI está mostrado en la Fig. Para determinar la función de transición, las funciones de transición de los controladores P y de I son sumada usando una gráfica. El coeficiente KP de la acción proporcional y el tiempo Tn de la acción integral puede ser leído de la función de transición.

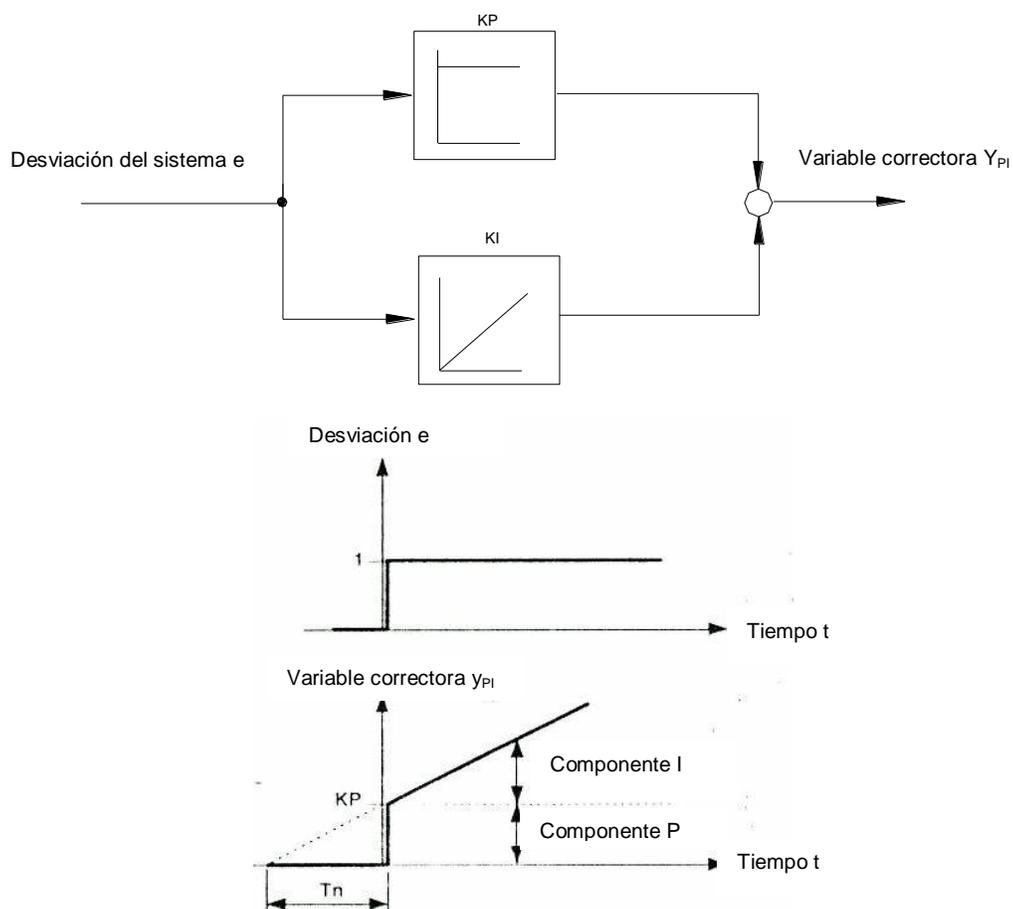


Fig. 4.55 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PI

Ecuaciones PI de elementos de control de lazo cerrado

En el caso de un controlador PI, la variable correctora es calculada usando una de las dos ecuaciones abajo:

Ecuación 4.11

$$y = KP.(w - x) + KI. \int (w - x) dt = KP.e + KI. \int e. dt$$

$$y = KP(w - x + \frac{1}{TN} \int (w - x) dt) = KP(e + \frac{1}{TN} \int e. dt)$$

CONTROLADOR PD

Adicionando al componente D. El controlador PD reacciona más rápidamente que un controlador puramente P, En la señal del diagrama de flujo para un controlador PD, un controlador P y un controlador D están conectados en paralelo.

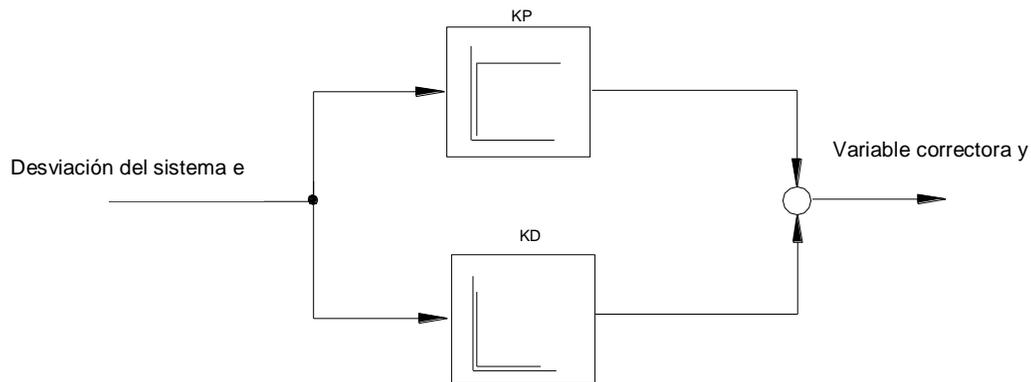


Fig. 4.56 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PD

El comportamiento de un controlador PD está determinado por dos variables características:

- Por el coeficiente KP de la acción proporcional y el tiempo Tv de la acción derivación}
- O por el coeficiente KP de la acción proporcional y por el coeficiente de tiempo Tv de la acción derivativa

Tiempo Tv de la acción derivativa

Las funciones de transición y de rampa de un controlador PD están mostrados en la figura B3.15

- El coeficiente KP de la acción proporcional puede ser leído de la función de transición.
- El coeficiente KD de la acción derivativa y el tiempo Tv de la acción derivativa pueden ser leídos de la respuesta en rampa

Ecuaciones para PD de elementos de control de lazo cerrado

La variable corregida es calculada usando una de las dos ecuaciones siguientes:

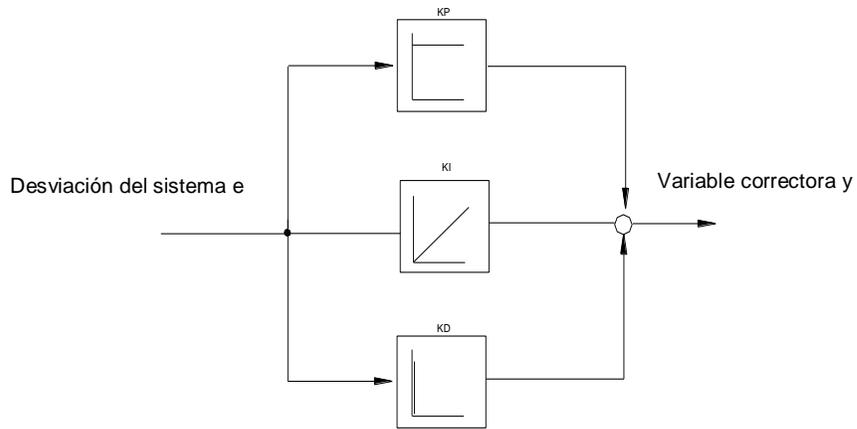
Ecuación 4.12

$$y = KP(w - x) + KD \cdot \frac{d}{dt}(w - x) = KP \cdot e + KD \cdot \frac{d}{dt} \cdot e$$
$$y = KP(w - x + Tv \cdot \frac{d}{dt}(w - x)) = KP(e + Tv \cdot \frac{d}{dt} e)$$

CONTROLADOR PID

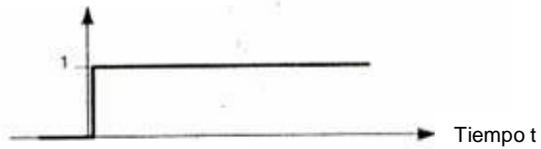
Un controlador PID combina las ventajas de los controladores P, I y D de la figura 4.55 un controlador PID se distingue por tres variables características:

- Por los coeficientes KP, KI y KD de la acción proporcional, integral y derivativa.
- Por la ganancia KP, y los tiempos Tv y Tn de la ganancia proporcional el tiempo de acción derivativa y el tiempo de acción integral, respectivamente.

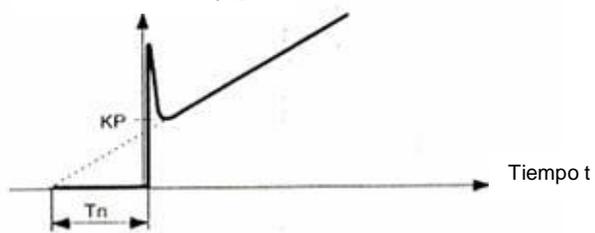


FUNCIÓN DE TRANSICIÓN

Sistema de desviación e

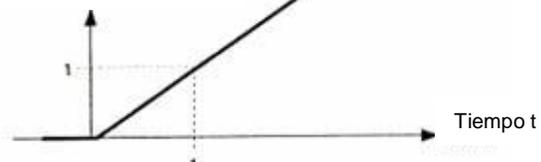


Variable correctora y_{PID}



FUNCIÓN DE RAMPA

Sistema de desviación e



Variable correctora y_{PID}

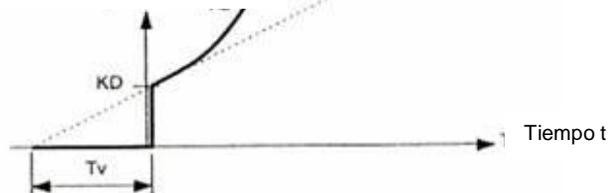


Fig. 4.57 Diagrama de flujo de señal y función de transición de un controlador PID

Tiempo T_v de la acción derivativa y del tiempo T_n de la acción integral.

La formula es

Ecuación 4.13

$$T_v = \frac{KD}{KP}$$
$$T_n = \frac{KP}{KI}$$

Funciones de transición y de rampa de PID de un elemento de control de lazo cerrado.

La figura muestra las funciones de transición y de rampa de un controlador PID:

- El coeficiente KP de la acción proporcional y el tiempo T_n de la acción integral pueden ser leídos de la función de transición.
- El coeficiente KD de la acción derivativa y del tiempo T_v de la acción derivativa pueden ser leídos de la función de rampa.

Ecuaciones para PID de un elemento de control de lazo cerrado.

Las siguientes ecuaciones son usadas para calcular la variable correctora:

Ecuación 4.14

$$y = KP(w - x) + KI \cdot \int (w - x) dt + KD \cdot \frac{d}{dt} (w - x) = KP \cdot e + KI \cdot \int e \cdot dt + KD \cdot \frac{d}{dt} e$$
$$y = KP(w - x) + \frac{\int (w - x) dt}{T_n} + T_v \cdot \frac{d}{dt} (w - x) = KP \left(e + \frac{\int e dt}{T_n} + T_v \frac{d}{dt} e \right)$$

Diagramas de bloque para controladores estándar dinámico.

Las señales de diagramas de flujo para controladores P, I, PI, PD y PID consisten de tres elementos:

- Sumatoria de la variable de referencia w y variables controladas (punto comparador o de sumatoria)
- La función de controlador actual (elemento de control de lazo cerrado)
- Un limitador para la señal correctora (limitador)

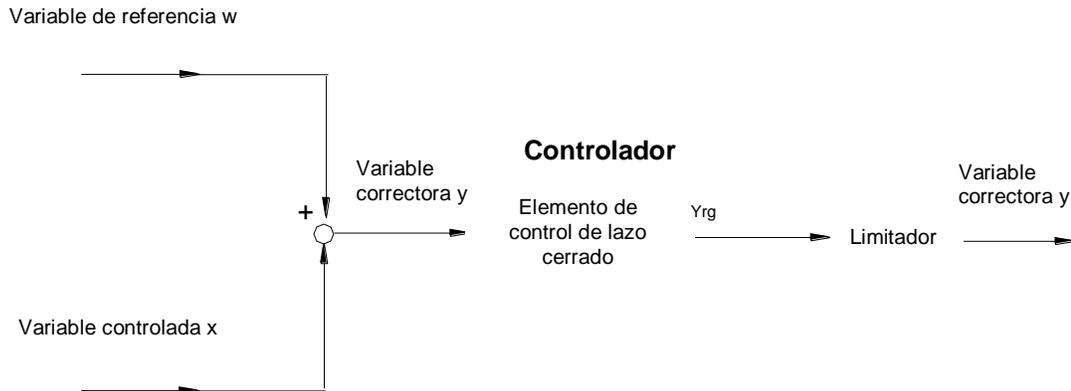


Fig. 4.58 Diagrama de flujo de señal para un controlador dinámico estándar

Ejemplo de aplicación de un limitador de señal correctora.

La Fig. 4.58 muestra un circuito de control de velocidad para un cilindro neumático de lazo cerrado. Un controlador de acción proporcional es usado. La operación del controlador para un pronunciado cambio de pasos en la variable de referencia puede ser dividida en dos fases.

- Fase 1: El cambio de pasos en la variable de referencia resulta en un sistema largo de desviación. La señal de salida y_P generada por el elemento de control P de lazo cerrado aumenta a un valor mayor. La variable y_P es mayor en la fase 1 más que la máxima variable correctora posible para la válvula.
- Fase 2: El sistema de desviación se vuelve más pequeño. La variable de salida del elemento de control de lazo cerrado tiene una caída nuevamente a un valor pequeño. En esta fase, las curvas de Fig. 4.58 (b) y Fig. 4.58(c) son las mismas.

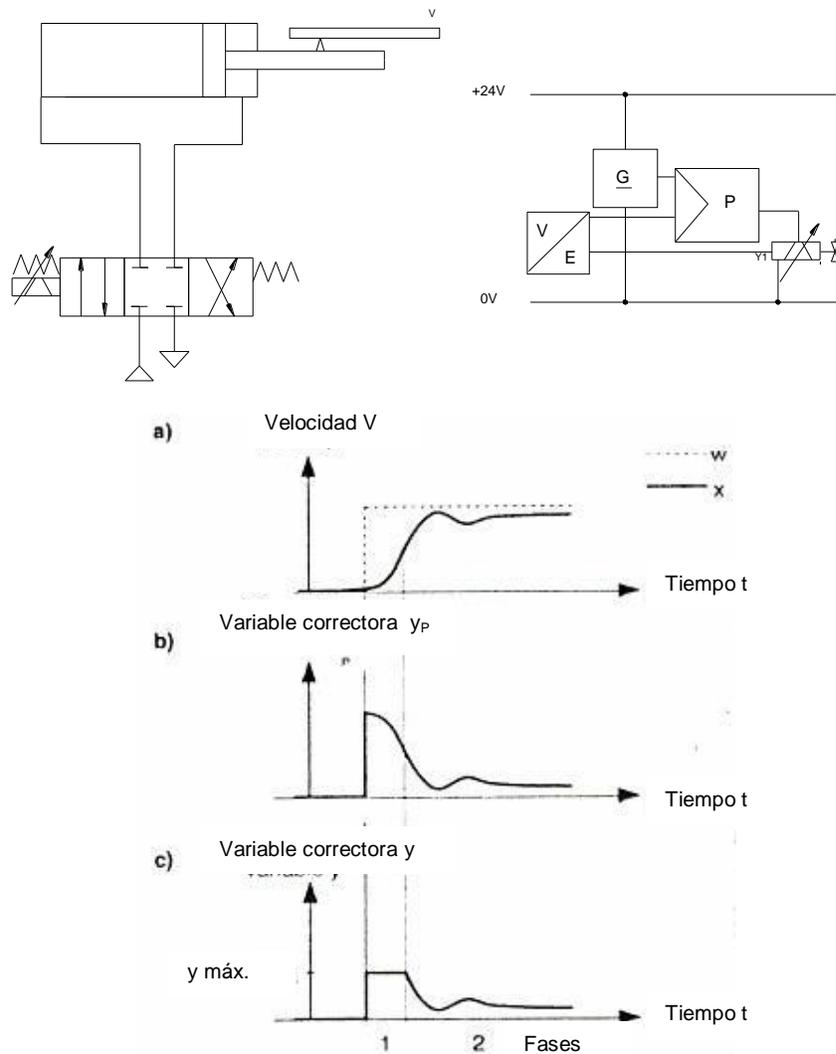


Fig. 4.59 Control de velocidad con una limitación en la señal correctora

Características de un limitador

La característica de un limitador se muestra en la figura. Una distinción está hecha en la limitación de la variable correctora entre los siguientes rangos de operación:

- En la fig. 4.59 en los rangos 1 y 3, la señal de entrada del limitador cae fuera del rango de la válvula correctora.
- Si la señal de salida cae entre el rango 2, no está limitado. En este rango, la abertura de la válvula varía en proporción de la señal de salida del controlador.

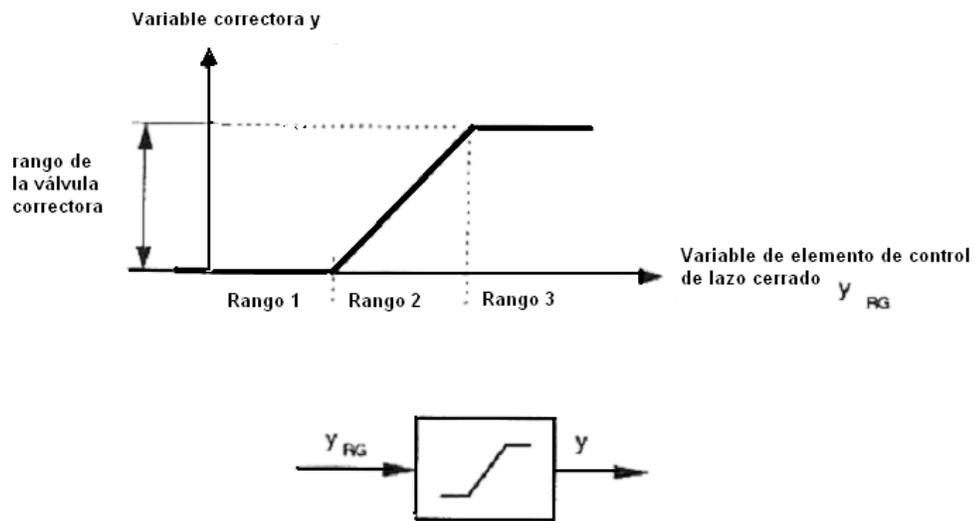


Fig. 4.60 Función característica y diagrama de bloque de un limitador

La figura muestra el diagrama de flujo de la señal para un circuito de control de velocidad de lazo cerrado con un controlador P. La señal del diagrama de flujo muestra las partes componentes del controlador.

- Comparador
- Elemento de control de lazo cerrado.
- Limitador.

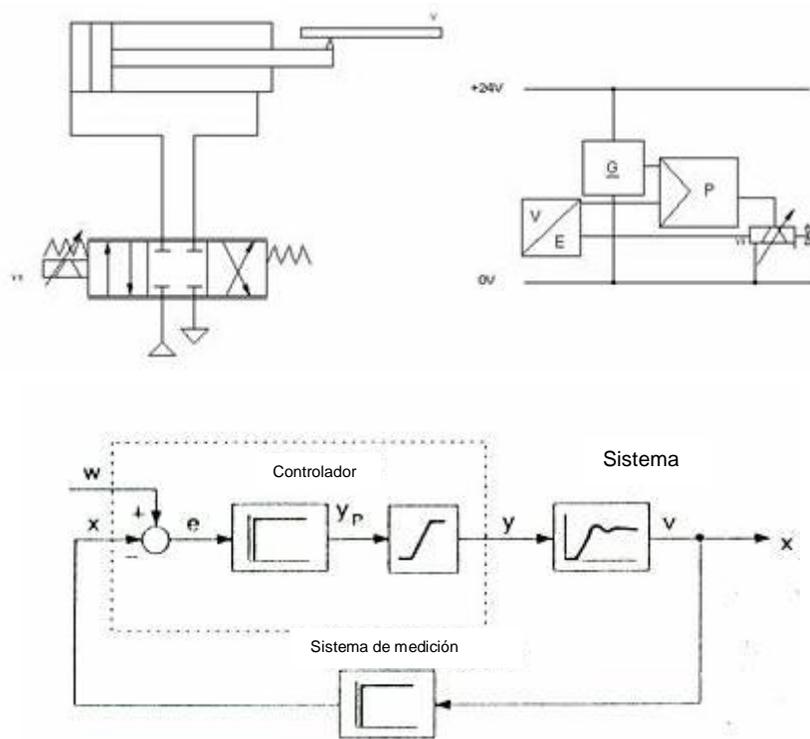
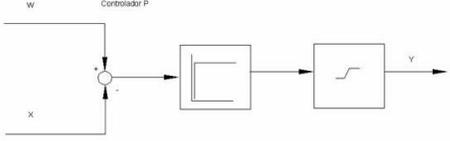
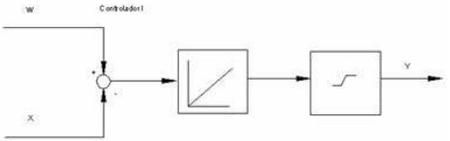
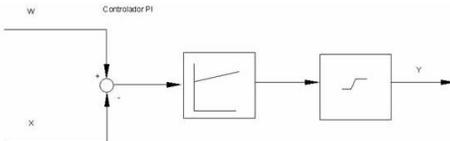
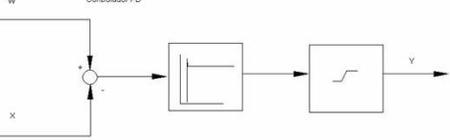
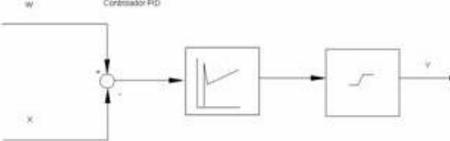


Fig. 4.61 Circuito de CLC con un controlador P

Diagramas de bloque para controladores dinámicos

La tabla 4.9 muestra los diagramas de bloque para controladores P, I, PI, PD y PID.

Tabla 4.9 Propiedades de controladores PI, PD y PID

Estructura del controlador	Coeficientes y constantes de tiempo
	<p style="text-align: center;">KP</p>
	<p style="text-align: center;">KI O TI</p>
	<p style="text-align: center;">KP, KI O KP, Tn</p>
	<p style="text-align: center;">KP, KD O KP, Tv</p>
	<p style="text-align: center;">KP, KI, KD O KP, Tv, Tn</p>

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Conversión de parámetros de controlador y de constantes de tiempo de controlador

Los controladores PID usualmente son distinguidos por sus coeficientes K_P de la acción proporcional y por las constantes de tiempo T_v y T_n .

Tabla 4.10: Coeficientes y constantes de tiempo de controlador

Conversión de	K_P, T_v, T_n	K_p, K_I, K_D
a	K_P, K_I, K_D	K_P, T_v, T_n
	$K_I = \frac{K_P}{T_n}$ $K_D = K_P \cdot T_v$	$T_N = \frac{K_P}{K_I}$ $T_V = \frac{K_D}{K_P}$

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

4.1.1.2.5 Controlador de ESTATUS

Ciertos sistemas controlados no pueden ser controlados adecuadamente con un controlador PID. Controladores de estatus son usados en estos casos.

Para determinar cuales variables son regresadas en el controlador de status, un modelo matemático del sistema de control es creado. El número de variables de status corresponde al mando del modelo. Cada variable de estatus es medida y regresada de vuelta. En el caso de un modelo de segundo orden, por ejemplo, dos variables deben ser regresadas de vuelta.

Control de lazo cerrado de un posicionador actuador neumático.

Un actuador posicionador neumático es uno de los tipos de sistemas controlados en los cuales no se pueden controlar adecuadamente con un controlador estándar. Este es un sistema controlado sin compensación la cual es capaz de oscilación.

Un modelo de tercer orden generalmente es seleccionado por un posicionador actuador. Se hace necesario tres variables:

- La posición s del pistón
- La velocidad v de el pistón
- La aceleración a del pistón.
-

En este caso el controlador es conocido como controlador de triple lazo.

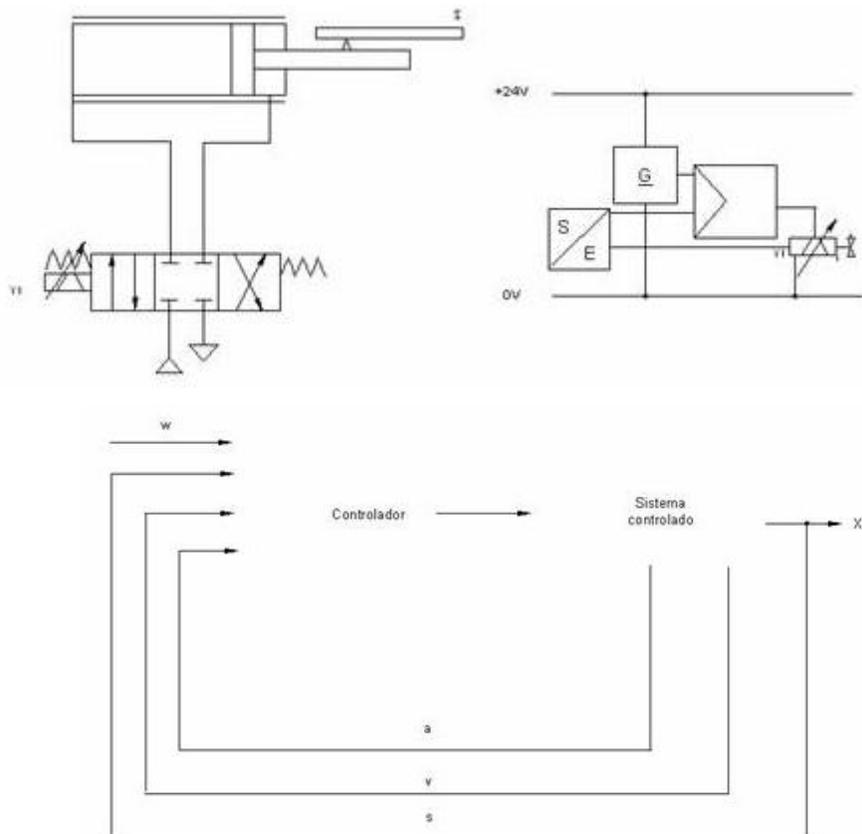


Fig. 4.62 Circuito de CLC con un controlador P

CONTROLADOR DE ESTATUS, DIFERENCIACIÓN

Los actuadores de posición neumáticos son equipados con un transductor posicional.

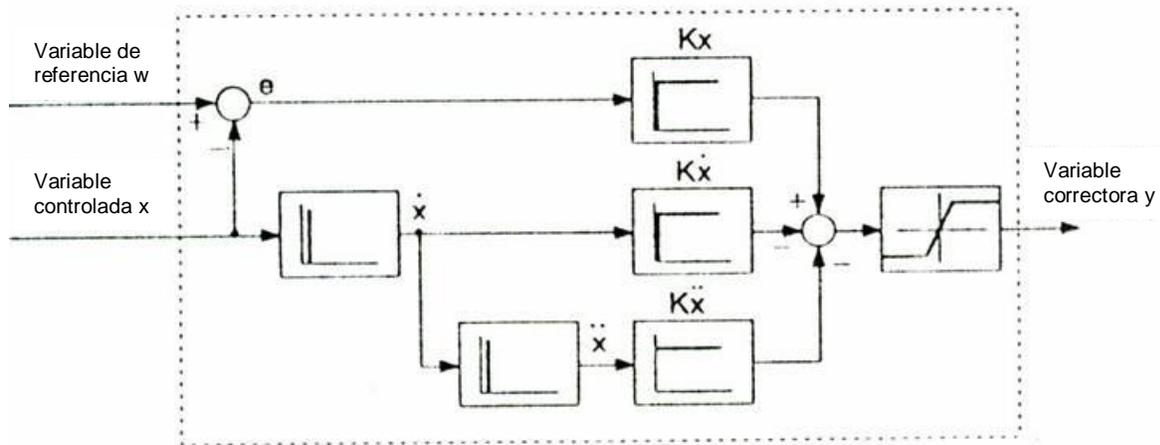
Para reducir costos, la velocidad y la aceleración no son medidas con sensores. Estos deben ser calculados por la posición por diferenciación.

Ecuación del controlador

El siguiente conjunto de ecuaciones resulta de las variables calculadas.

Ecuación 4.15

$$y = K_x(w - x) - K_{\dot{x}} \frac{dx}{dt} - K_{\ddot{x}} \frac{d^2x}{dt^2}$$



e = Diferencia de posición
 \dot{x} = Velocidad
 \ddot{x} = Aceleración

K_x = Coeficiente de posición
 $K_{\dot{x}}$ = Coeficiente de velocidad
 $K_{\ddot{x}}$ = Coeficiente de aceleración

Fig. 4.63 Diagrama de flujo de señal de un controlador de estatus de triple lazo

Selección de una estructura de control

La opción de escoger la estructura del controlador depende del tipo de sistema controlado concerniente.

- Fig. 4.64 muestra la conveniencia de las estructuras controladas para varios tipos de sistemas controlados con compensación.
- Fig. 4.65 provee un resumen de controladores convenientes para los varios tipos de sistemas controlados sin compensación.

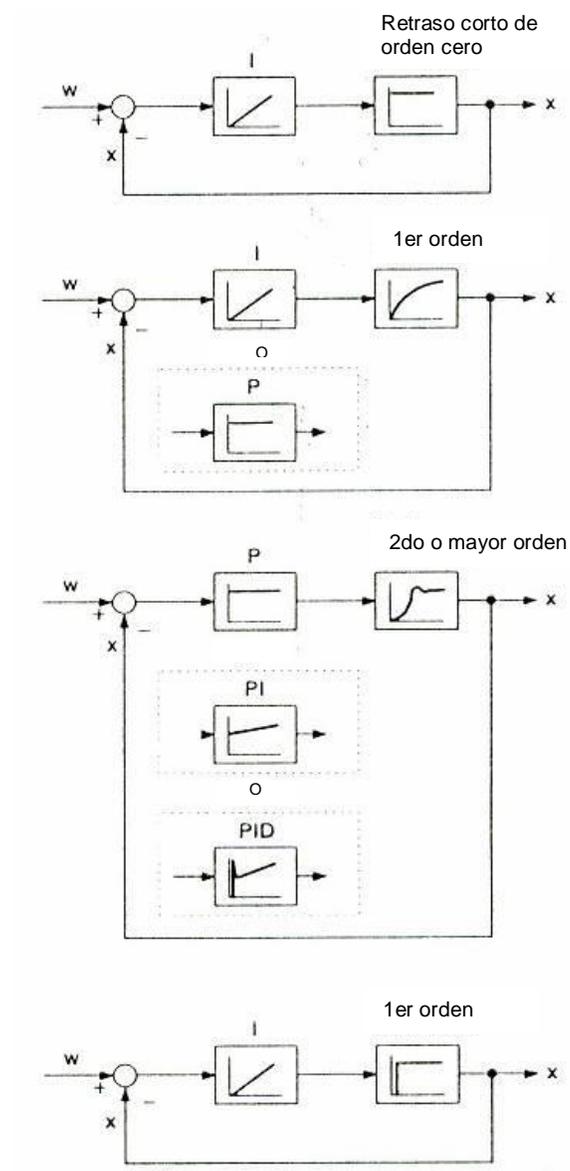


Fig. 4.64 Estructura de controlador para sistemas controlados con compensación

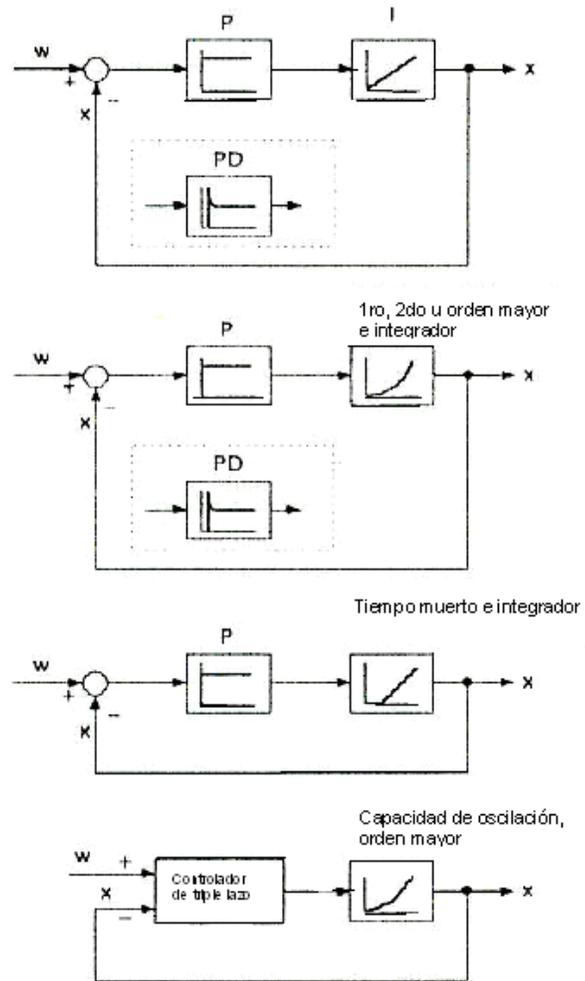


Fig. 4.65 Estructura de controlador para sistemas controlados sin compensación

Respuesta a la interferencia y al factor de control

Cuando el sistema controlado con compensación es usado en combinación con un controlador P, el factor de control es una medida de la calidad de control.

Una variable de interferencia tiene el más grande efecto sobre un lazo de control abierto. El factor de control indica el grado con el cual el efecto de la variable de la interferencia es atenuado en un control de lazo abierto.

Ecuación 4.16

$$\text{Factor de control} = \frac{\text{Cambio en la variable de salida de estado estático (variable controlada) en control de lazo cerrado}}{\text{Cambio en la variable de salida de estado estático en control de lazo abierto}}$$

Ejemplo de aplicación:

Fig. 4.65 (a) muestra un circuito de control neumático de lazo cerrado. Una velocidad constante es producida con una constante en la variable correctora. Este es un sistema controlado con compensación.

Fig. 4.65 (b), una masa se coloca como carga en un cilindro neumático. La masa genera una fuerza la cual actúa sobre el embolo del cilindro. Esta fuerza representa una interferencia variable afectando al movimiento del pistón. Con la misma variable correctora como antes, la velocidad con la carga es significativamente menor que sin la carga.

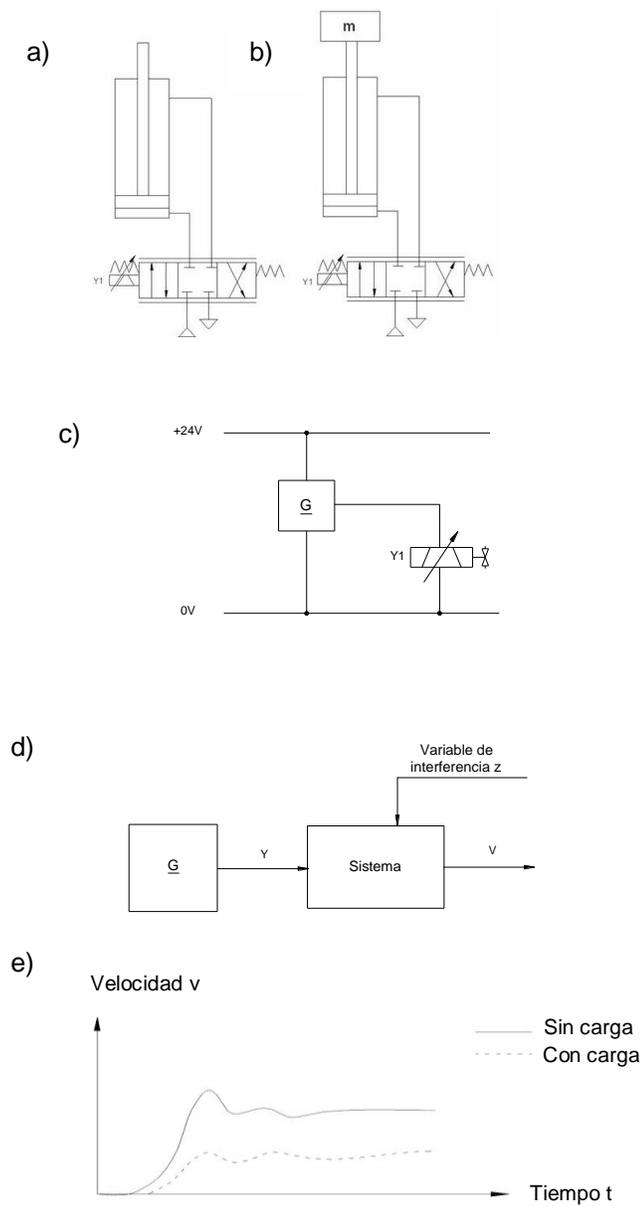


Fig. 4.66 Respuesta a la interferencia de un control de lazo abierto

La figura 4.67 muestra un actuador neumático con control de velocidad con lazo cerrado. En el caso de este actuador, también, la velocidad es menor que el émbolo del pistón que está sujeto a carga.

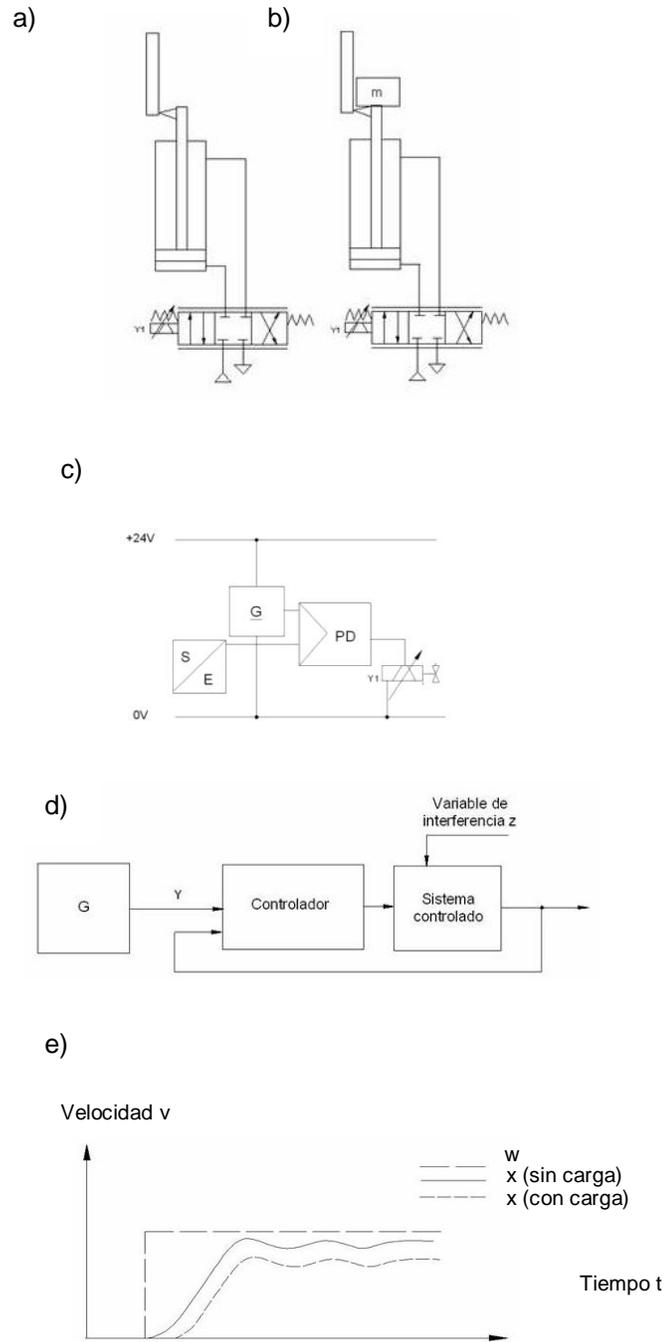


Fig. 4.67 Respuesta a la interferencia de un control de lazo abierto

Ganancia de lazo cerrado

La ganancia V_0 de lazo cerrado es requerida para calcular el factor de control. Cuando la señal pasa una vez a través del circuito completo de lazo cerrado, se multiplica por los siguientes factores. Fig. 4.68

- En el controlador por el factor K_P (factor del controlador P)
- En el sistema controlado por el factor K_s (factor del sistema controlado)
- En el sistema de medición por el factor K_{meas} . (factor del sistema medido)

La fórmula para la ganancia de lazo cerrado es:

Ecuación 4.17

$$V_0 = K_P.K_s.K_{meas}$$

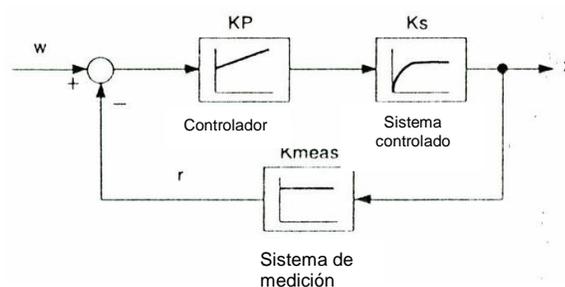


Fig. 4.68 Cálculo de la ganancia de lazo cerrado

Cálculos del factor de control

El factor de control es calculado de la ganancia usando la siguiente fórmula:

Ecuación 4.18

$$r = \frac{1}{(1 + V_0)}$$

Ejemplos de cálculo de factor de control

Los siguientes valores han sido determinados para un circuito de control con un actuador neumático:

$$K_P = 1.5$$

$$K_S = \frac{0.2 \frac{m}{s}}{V}$$

$$K_{meas} = \frac{10V}{\frac{m}{s}}$$

La ganancia de lazo cerrado es:

$$V_0 = K_P \cdot K_S \cdot K_{meas} = 3$$

Esta ganancia de lazo cerrado resulta del siguiente factor de control:

$$r = \frac{1}{(1 + V_0)} = \frac{1}{4} = 0.25$$

El circuito de control de lazo cerrado reduce la influencia de las variables de interferencia a 75%

Ejemplo del efecto de una variable de interferencia

En el caso de un actuador neumático operado como un circuito de control de lazo cerrado, una fuerza de interferencia produce una reducción en la velocidad de 30 cm/s a 20 cm/s. La desviación es de 10 cm/s.

Para implementar la respuesta de la interferencia, el circuito de control de lazo cerrado es remplazado por un circuito de control de lazo cerrado con un factor de control de 0.25.

Cuando la misma fuerza (como la anterior). Ahora actúa en el circuito de control de lazo cerrado, la reducción en la velocidad sólo va de 30 cm/s a 27.5 cm/s, reducción de 2.5 cm/s.

IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA DE CONTROLADORES

- Generación de una variable de referencia
- Controlador
- Elemento de control final
- Elemento de sistema controlado
- Sistema de medición

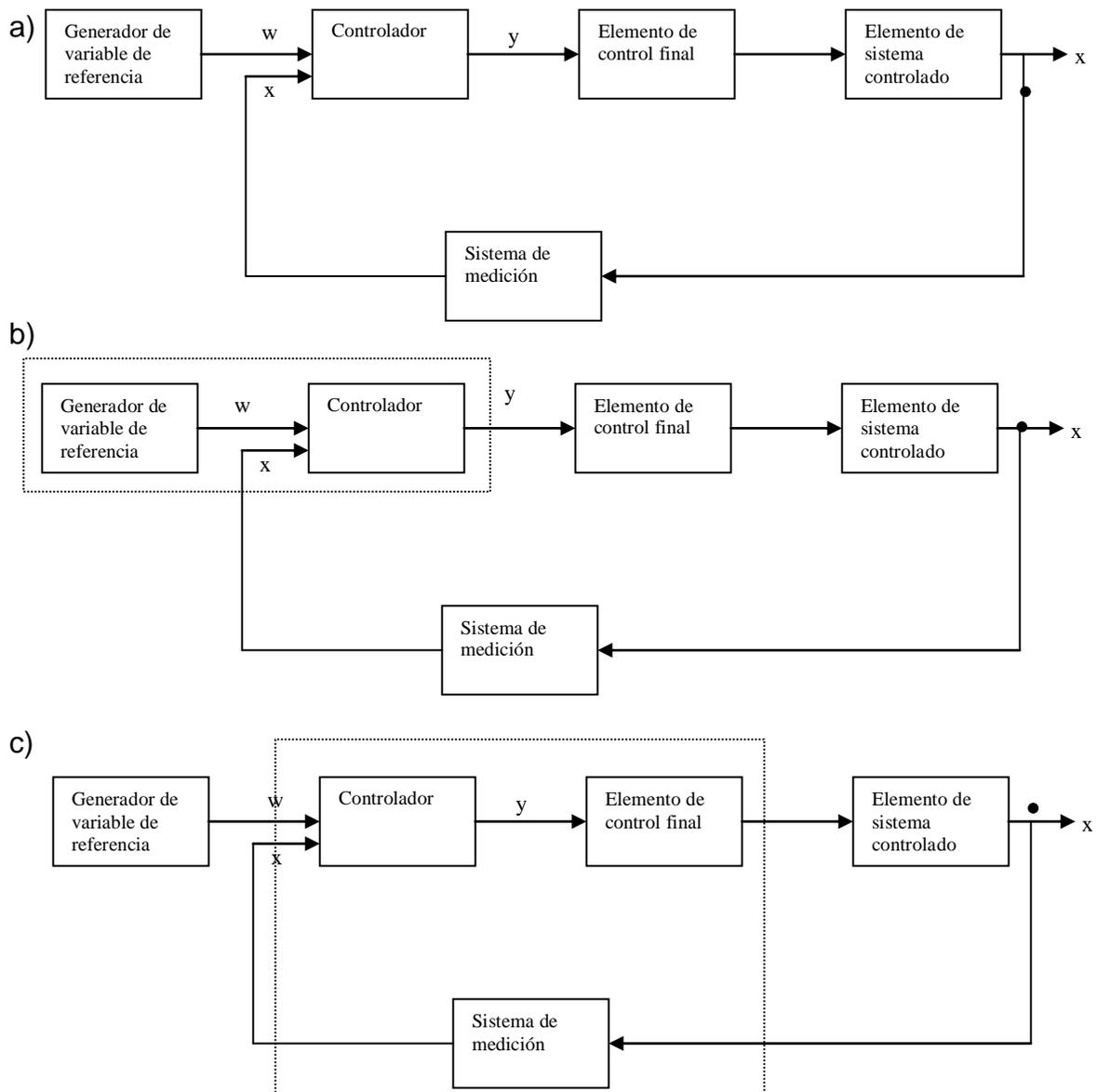


Fig. 4.69 Circuitos de control de lazo cerrado

Existe un número de posibilidades para la implementación práctica de un controlador:

- Una unidad asume la función de un controlador
- El controlador es combinado con otra función del circuito de control de lazo cerrado para formar una sola unidad. Varias combinaciones son encontradas en la práctica. Dos combinaciones de controlar con otras funciones están mostrados a continuación.

Las ventajas y desventajas de combinar varias funciones en un dispositivo

Tabla 4.10 Combinaciones de varias funciones en un solo dispositivo

Ventajas	Desventajas
Circuito de control cerrado consistente de un pequeño número de dispositivos	Los dispositivos individuales son más costosos de reemplazar
Cableado y tubería de bajo costo	Dispositivo conveniente solamente con ciertos tipos de circuitos de control de lazo cerrado
Menos costoso	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Sistema de control de eje simple con controlador eléctrico

En el caso del controlador eléctrico, dos funciones de un circuito de control de lazo cerrado son combinadas frecuentemente en una simple unidad.

- Controlador
- Generación de variable de referencia

Además, la misma unidad siempre asume otras funciones las cuales no forman parte del circuito de control de lazo cerrado. El sistema de control de eje-simple mostrada en la figura presenta las siguientes características.

- Generación de la variable de referencia para un actuador de posicionamiento neumático.
- Control de lazo cerrado de un actuador neumático de posicionamiento
- Monitoreo del actuador neumático de posicionamiento.
- Procesamiento de las señales binarias (Funciones de PLC)

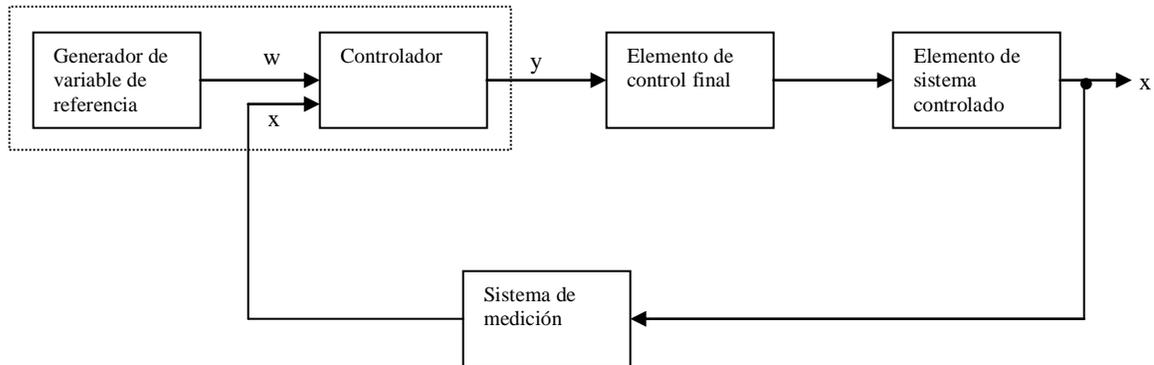


Fig. 4.70 Sistema de control de un eje o eje simple

Control numérico

El sistema de control mostrado en la figura es un sistema numérico. Los controles numéricos son usados en el mando de máquinas de control numérico. Ej: usando números. Ejemplos de máquinas en el cual los controles numéricos son usados:

- CNC herramientas de máquinas
- Robots
- Ejes individuales en producción de materiales.
- Dispositivos de carga
- Presas
- Máquinas de producción de plásticos.

Una presentación común de todas estas máquinas es que ellas incorporan al menos un circuito de control de lazo cerrado. La función controladora es generalmente suministrada directamente por el control numérico.

Controlador lógico programable

Los controladores lógicos programables fueron inicialmente mostrados para el proceso de señales binarias. Los controladores de este tipo pueden ser usados sólo como monitor de circuitos de control de lazo cerrado. Fig. 4.71 (a). Ahora, los controladores lógicos programables están también disponibles en los cuales se puede procesar señales análogas y digitales. Los controladores de este tipo son capaces de generar la variable de referencia para un circuito de control de lazo cerrado. Fig. 4.71 (b). Ciertos controladores programables lógicos proveen ambas, función de generación de variable de referencia y una función controladora en una sola unidad. Fig. 4.71 (c)

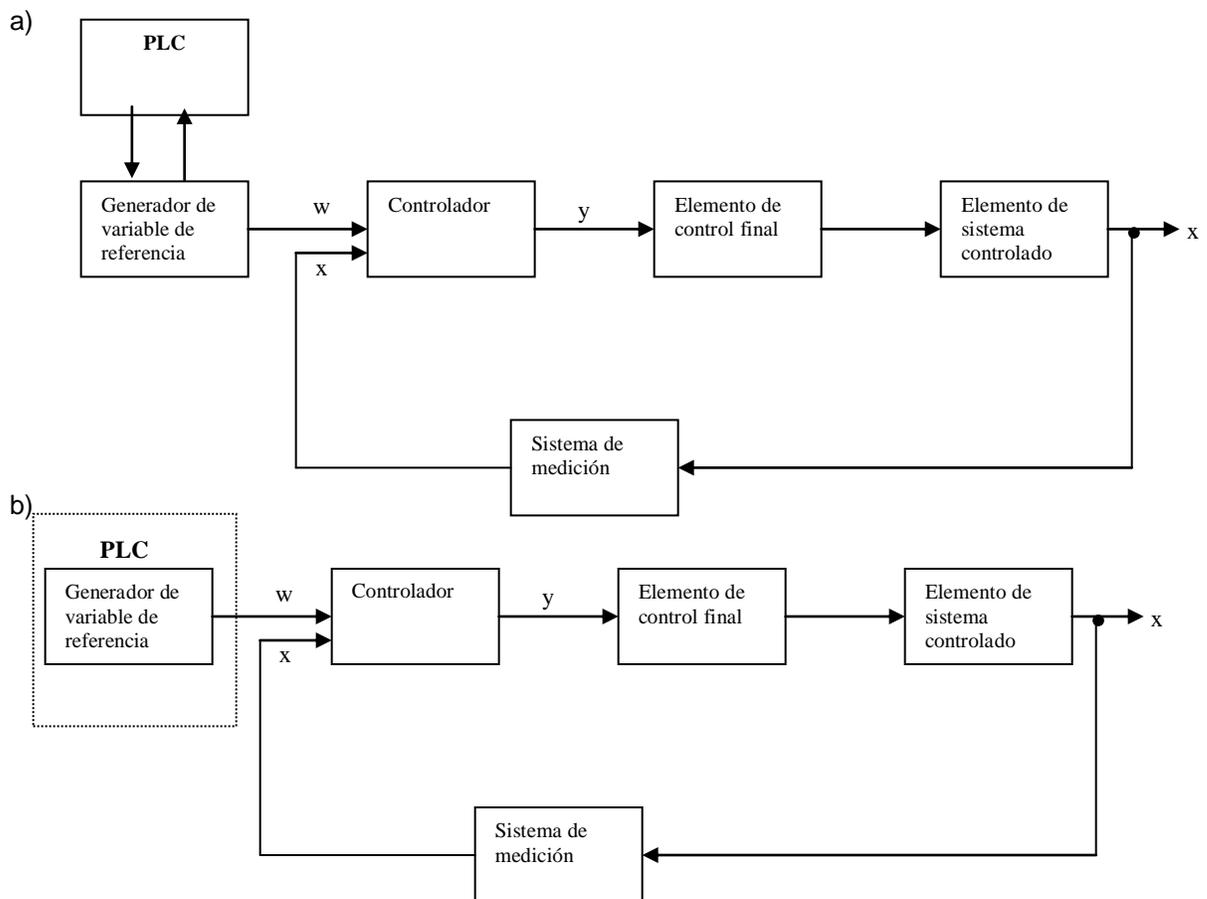


Fig. 4.71 Implementación de un circuito de control de lazo cerrado con controlador lógico programable

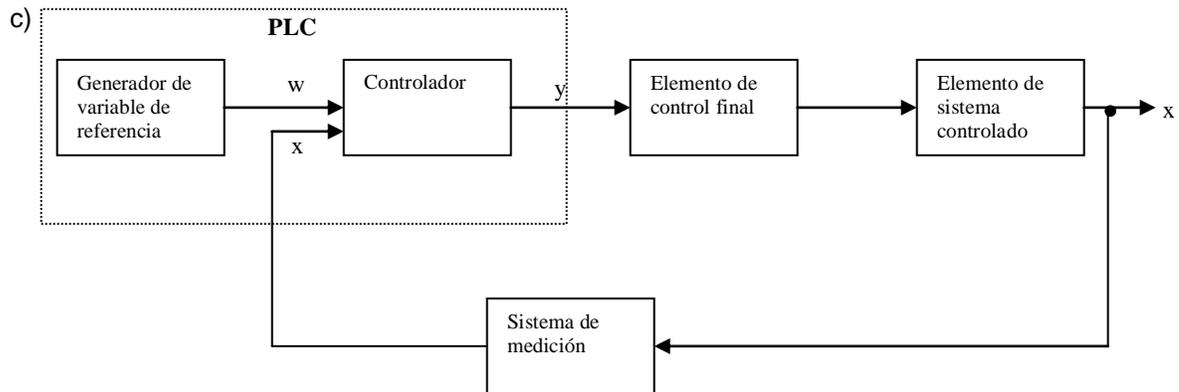


Fig. 4.71: Implementación de un circuito de control de lazo cerrado con controlador lógico programable (continuación)

Comparación entre controladores eléctricos y neumáticos

Las ventajas y desventajas se observan en la siguiente tabla:

Tabla 4.11 Combinaciones de varias funciones en un solo dispositivo

<i>Ventajas de los controladores eléctricos</i>	<i>Ventajas de los controladores neumáticos</i>
Conexión más fácil a los sistemas de control eléctrico	Diseño simple
Fácil forma de producir sistemas de control de lazo cerrado complejos (con gran cantidad de retroalimentaciones de señales y limitadores)	Muy pocos dispositivos son requeridos usualmente (no se necesita de sistemas de medición separados)
Mejor respuesta a los errores (Salida de mensajes de error)	Robusto (No se afectan por el polvo y la humedad)
Mayor control de exactitud	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

CONTROLADORES ANÁLOGOS Y DIGITALES

Difieren entre ellos por su configuración interna.

- Los controladores análogos tienen componentes análogos, operan internamente con señales análogas.
- Los controladores digitales son producidos usando componentes digitales, operan internamente con señales digitales, por ejemplo números.

Los controladores análogos incluyen:

- Todos los controladores neumáticos y mecánicos
- Los controladores eléctricos que operan internamente con variables análogas

Actualmente todos los controladores digitales tienen un diseño eléctrico.

Los controladores análogos y digitales se comparan en la siguiente tabla:

Tabla 4.12 Combinaciones de varia funciones en un solo dispositivo

	Controladores análogos		Controladores digitales
<i>Forma de energía</i>	Controlador neumático	Controlador eléctrico	Controlador eléctrico
<i>Ejemplo</i>	Controlador de fuelle cruzado	Controlador eléctrico PID	Controlador de un eje de una máquina herramienta CNC

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Controladores análogos eléctricos

La figura muestra un circuito eléctrico análogo de controlador PID. El circuito consiste de varios amplificadores operacionales, equipados con capacitares y resistores.

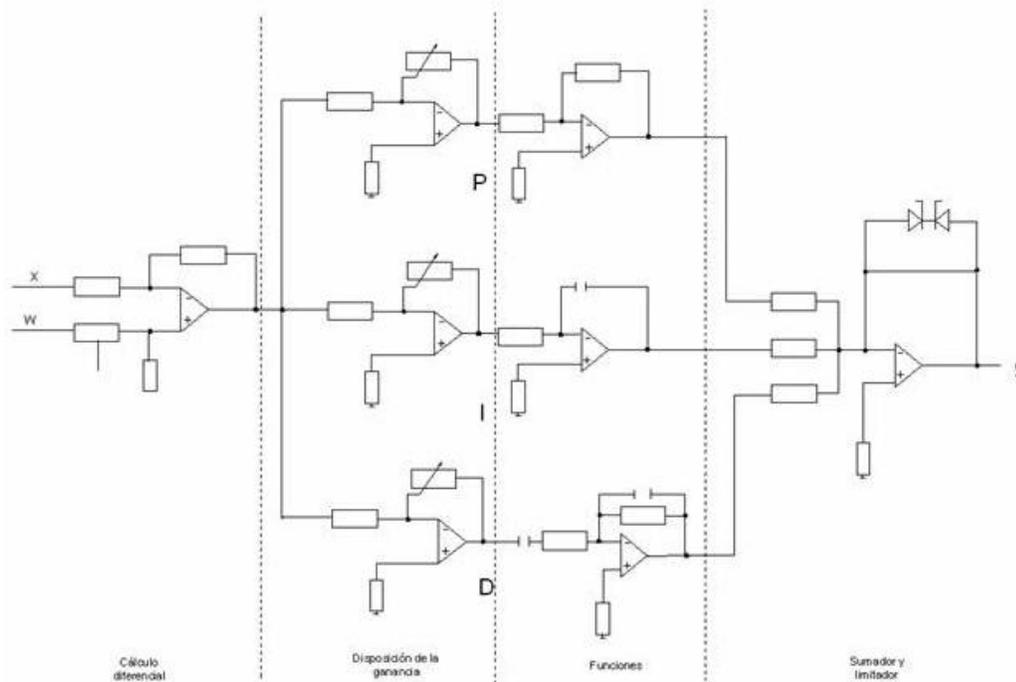


Fig. 4.72 Circuito de un controlador análogo PID

Controladores digitales

La figura muestra la señal de flujo de un controlador digital. La variable controlada y la variable de referencia son medidas por un convertidor análogo digital. Cada convertidor produce una variable de salida numérica. El microprocesador realiza las siguientes operaciones:

- Lectura de los dos números
- Comparación de los dos números
- Procesamiento avanzado de resultados intermedios
- Salida del resultado final a la entrada del convertidor digital análogo

En el convertidor digital análogo, el resultado de los cálculos es convertido en un

voltaje. Este voltaje forma la variable correctora.

Las operaciones de lectura de la señal, avanzando el procesamiento de la señal y la salida de ésta es repetida veinte, o varios cientos de veces por segundo, dependiendo del tipo de controlador.

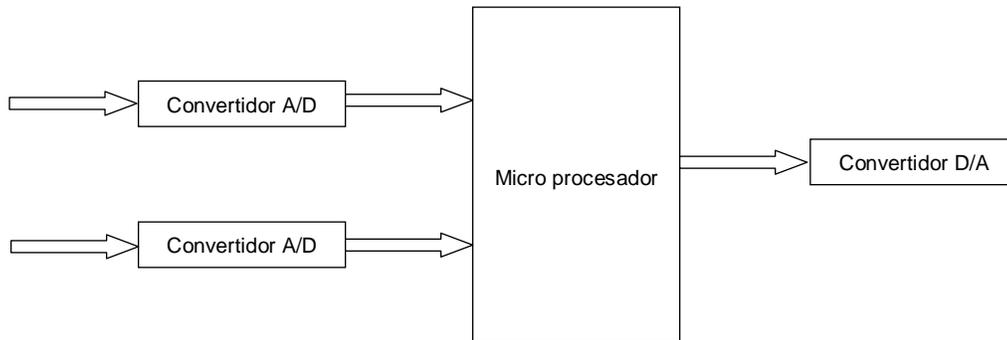


Fig. 4.73 Flujo de señal en un controlador digital

Las ventajas del controlador digital y análogo son comparadas en la siguiente tabla:

Tabla 4.13 Ventajas de un controlador digital y análogo

<i>Controlador análogo</i>	<i>Controlador digital</i>
Menos costosos, particularmente con una estructura simple de control para los circuitos de control de lazo cerrado altamente dinámico	Puede lograr una gran exactitud
	Menores cambios en el comportamiento durante el tiempo de vida útil de sus componentes
	Fácil de implementar sistemas de CLC complejos
	No son tan afectados por la interferencia eléctrica

Fuente: Fundamentos de la técnica de mando Festo®

Criterio de selección de controladores

Tabla 4.14 Criterios de selección de controladores

<i>Calidad de control</i>	<i>Interfaces</i>	<i>Condiciones de operación</i>	<i>Requerimientos de seguridad</i>
Estructura de controlador necesaria	Variable de referencia de entrada de controlador	Temperatura ambiente	Respuesta a la interferencia
Requiere controlador de dinámica	Monitoreo de funciones	Polvo	Respuesta a la falla de energía
Requiere controlador de exactitud	Variable controlada de entrada de controlador	Humedad	Comportamiento de para de emergencia
	Variable correctora	Campos de interferencia eléctrico	Salida de mensajes de error
	Parametrización del controlador	Fuente de poder	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

4.1.1.3 Válvulas de control direccional

Modo de operación de una válvula dinámica 5/3

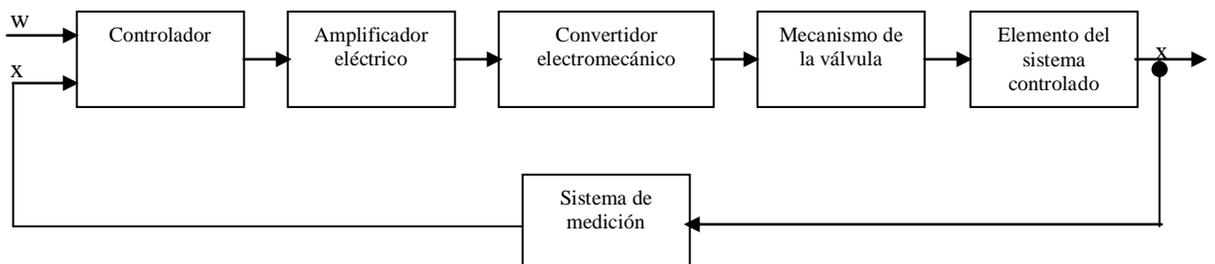
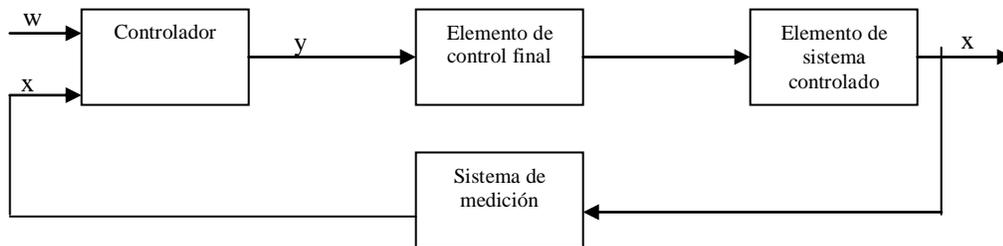


Fig. 4.74 Flujo de señal en una válvula de control direccional

Como muestra la señal de flujo, una distinción se debe hacer entre las dos gráficas.

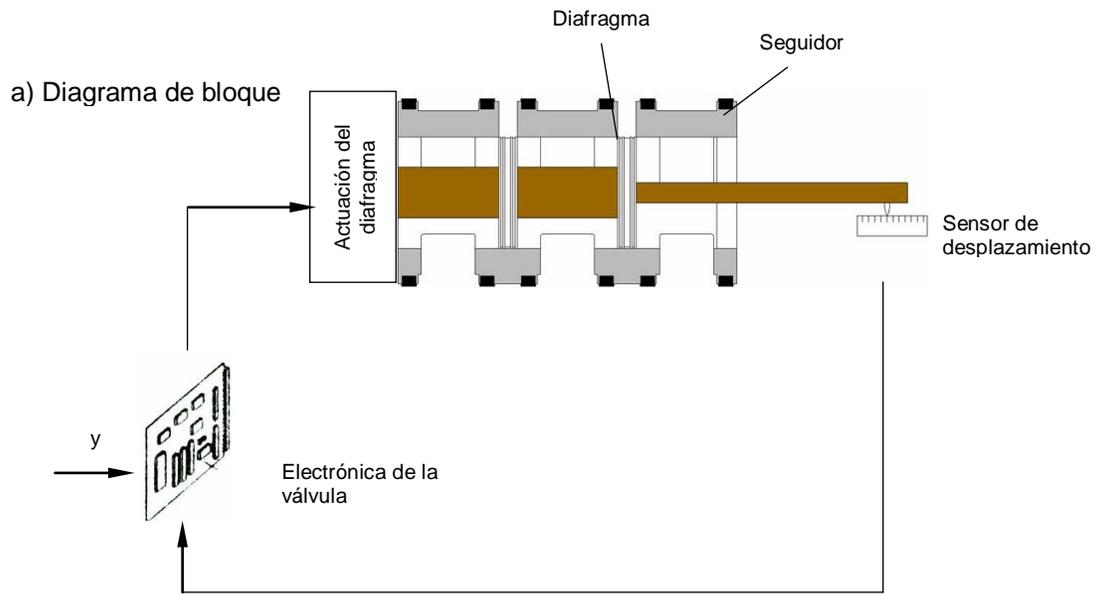
- Válvulas sin control de lazo cerrado de la posición del diafragma de la válvula y
- Válvulas con control de lazo cerrado del diafragma de la posición de la válvula

Señal de flujo en una válvula sin control de lazo cerrado

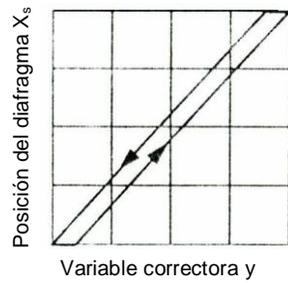
En el caso de una válvula sin control integrado de lazo cerrado, la variable correctora y actúa directamente en el amplificador eléctrico, el cual alimenta el movimiento de la placa (slide) con corriente. Este actuador puede ser por ejemplo, el espiral del embolo de un motor de torque o un solenoide proporcional. Entre mayor era la corriente, mayor es la fuerza de actuación y el slide es flexionado.

Señal de flujo en una válvula con control de lazo cerrado

En el caso de una válvula con integrado de control de posición de lazo cerrado, la posición del diafragma de la válvula es medida continuamente. La señal medida es comparada con la variable correctora. El amplificador eléctrico es energizado no directamente por la señal de salida de la válvula sino por la señal de salida del controlador.



b) Función característica sin control de lazo cerrado



c) Función característica con control de lazo cerrado

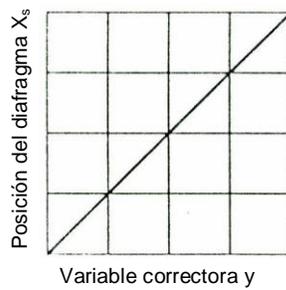


Fig. 4.75 Diagrama de posición de una válvula de control direccional dinámico como una función de la variable correctora

Influencia de fuerzas de flujo y de fricción

La figura anterior muestra cuadro a cuadro la relación entre la variable y la posición del diafragma de la válvula xs en la forma de las siguientes características.

- Sin control de lazo cerrado del diafragma de la válvula, dos diferentes características pueden ramificarse y son descritos por la caída y por el aumento de la variable respectivamente. Las fuerzas de fricción y de flujo tienen un efecto pronunciado.
- En el caso de la válvula con controlador de diafragma, la dirección del cambio en la variable correctora tiene escasamente efecto en la posición del diafragma. La influencia del caudal y de las fuerzas de fricción es largamente compensado. Las válvulas controladoras son siempre usados en casos donde un alto grado de precisión es crucial.

Señal de caudal con una válvula controladora de lazo cerrado.

La figura muestra la señal de flujo para un circuito de control de presión de lazo cerrado con una válvula de control direccional de lazo cerrado. La señal del diagrama de flujo muestra un circuito de lazo cerrado, uno adentro de otro:

- El circuito externo de lazo cerrado es para presión
- El circuito interno de lazo cerrado es para la posición del diafragma de la válvula

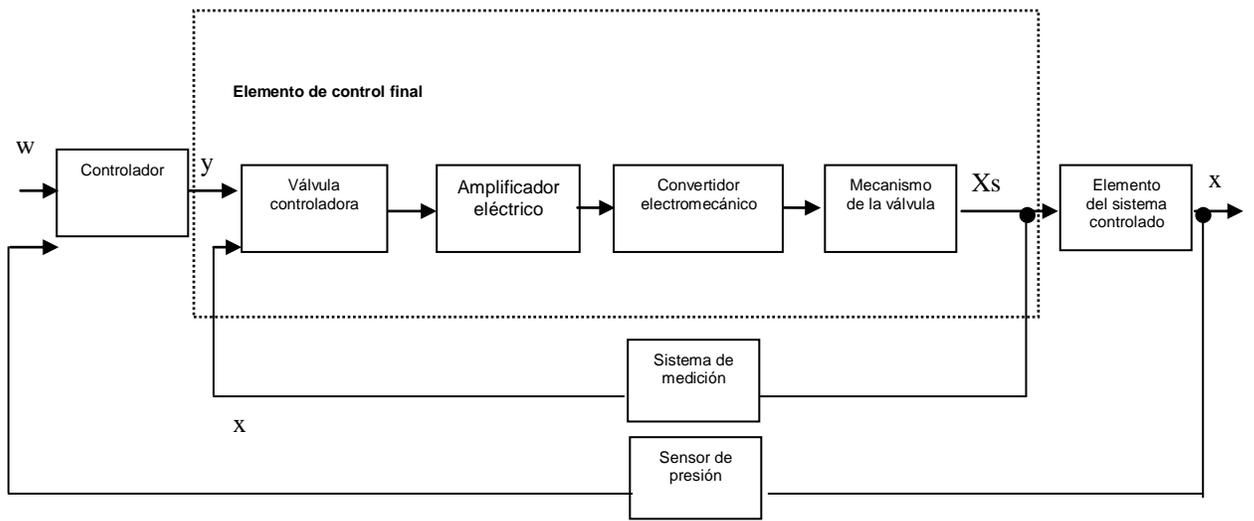
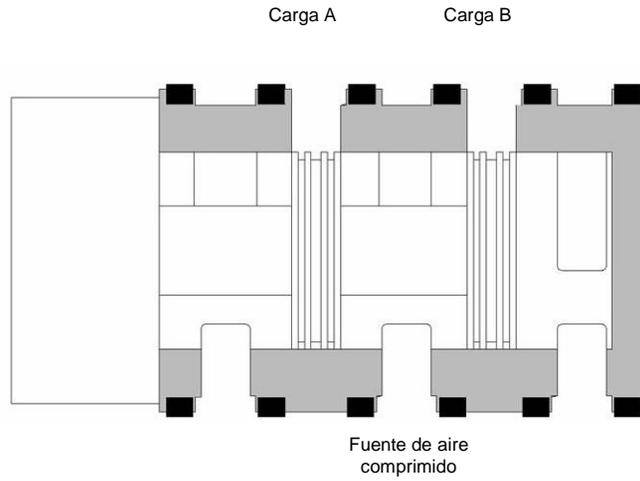
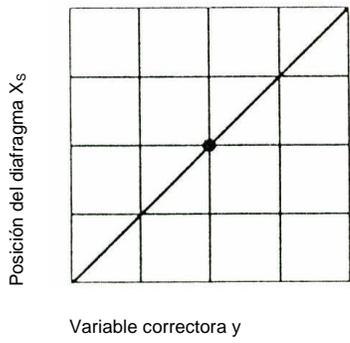


Fig. 4.76 Posición del diagrama de una válvula de control direccional dinámico como una función de la variable correctora

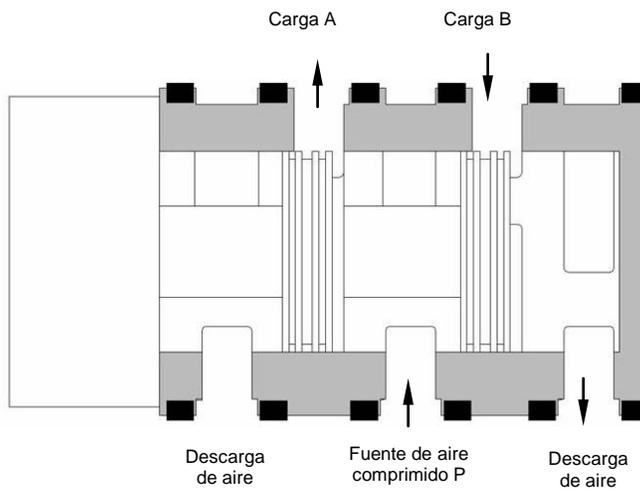
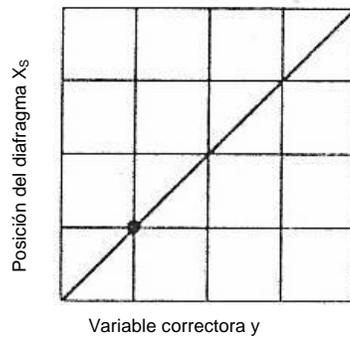
Posiciones del diafragma (diafragma) de la válvula

Las figuras 4.77 y 4.78 muestran las posiciones de varias señales correctoras seleccionadas

a) Cerrado



b) Apertura media



c) Apertura total

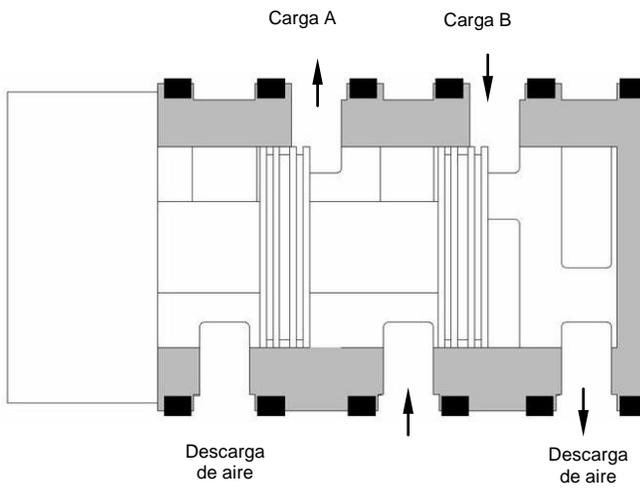
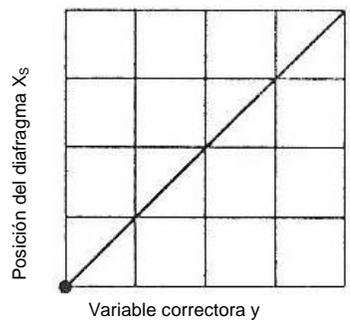
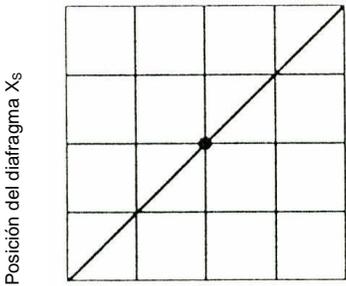
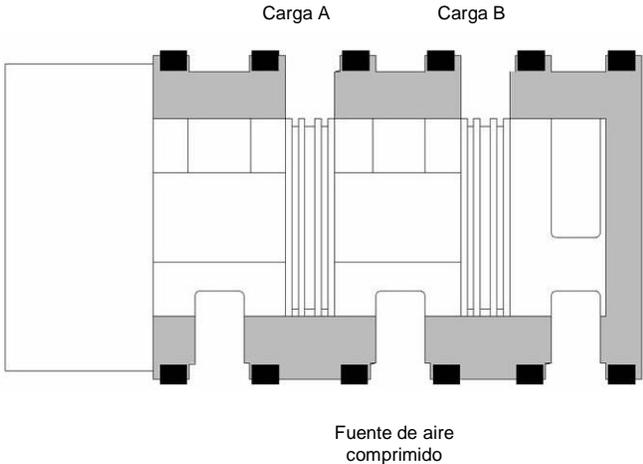


Fig. 4.77 Posiciones del diafragma de una válvula de control direccional dinámica para señales correctoras seleccionadas

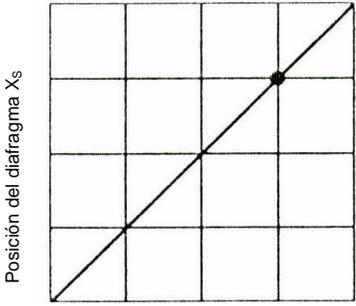
a) Cerrado



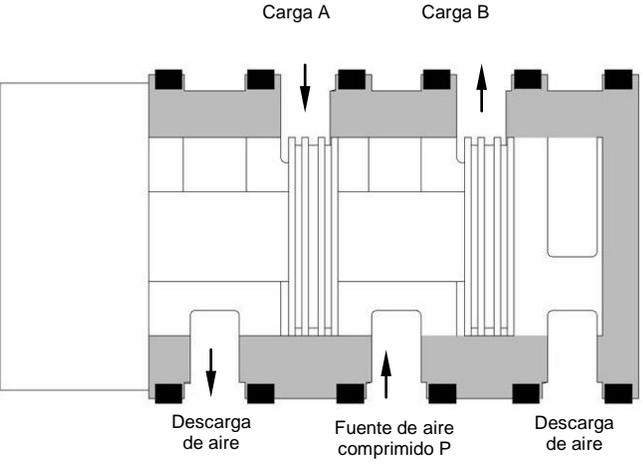
Variable correctora y



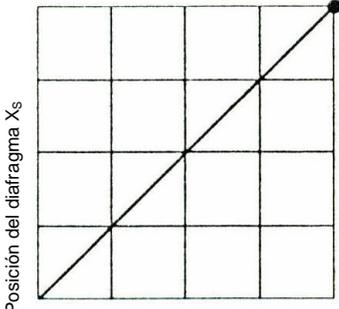
b) Apertura media



Variable correctora y



c) Apertura total



Variable correctora y

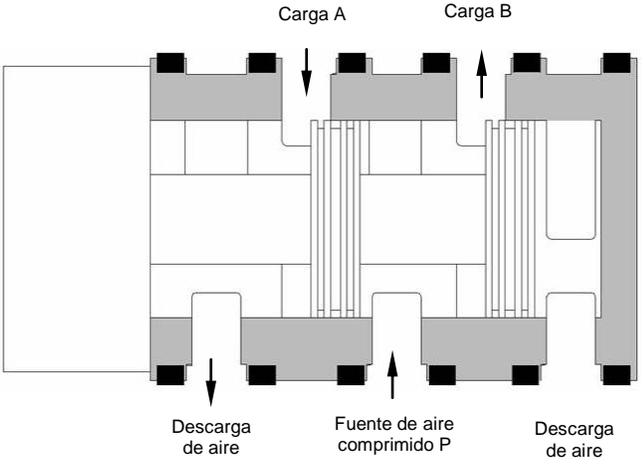


Fig. 4.78 Posiciones del diafragma de una válvula de control direccional dinámica para señales correctoras seleccionadas

- Cuando la señal de un actuador es aplicada a aquellos valores que caen en el rango medio corregido, el diafragma de la válvula se mueve en la posición media (a). En la posición media de la válvula, todos los medios de control están cerrados. Al mismo tiempo, no pasa aire a través de la válvula descartando fugas muy pequeñas.
- Si el voltaje es cambiado o variado en la dirección negativa, el diafragma de la válvula se mueve hacia la izquierda. Las figuras (b) y (c) muestran ejemplos de las posiciones del diafragma de la válvula y todas las señales de la válvula en movimiento. En estas dos posiciones del diafragma, el aire fluye desde el puerto de poder de la válvula A, mientras el puerto de trabajo B es conectado al puerto de descarga de la válvula. Una comparación de la Fig. 4.76 (b) y (c) muestra que el flujo de las secciones cruzadas se vuelven más grandes cuando el diafragma de la válvula es movido hacia la izquierda. Entre mayor es el caudal en la sección cruzada en los medios de control también mayor es el rango de caudal a través de la válvula.
- Si el voltaje usado es cambiado o variado en la dirección positiva, el diafragma de la válvula se moverá hacia la derecha Fig. 4.77 (b) y (c). El puerto de trabajo A está conectado al agujero de descarga y el puerto de trabajo B hacia el puerto de la fuente. Una vez más, entre mayor sea el movimiento del diafragma de su posición media mayor es la abertura de la sección cruzada y también del caudal de aire.

Al mismo tiempo de la operación dinámica de la válvula, el diafragma de la válvula puede asumir no solamente las posiciones mostradas en Fig. 4.76 y 4.77 también en otras deseadas posiciones intermedias.

Ventajas de una válvula de control direccional dinámico en comparación a una válvula de mando.

Una válvula 5/3 del tipo descrito arriba es usado para el control de pequeños y grandes rangos de caudal volumétrico, dependiendo de que tan grande la válvula está abierta. La válvula también combina las ventajas de tamaños grandes y pequeños de válvulas de mando.

Válvulas proporcionales y servos.

Las válvulas dinámicas accionadas eléctricamente son conocidas como válvulas proporcionales o servo, dependiendo de su diseño y su información técnica. El más importante criterio utilizado para distinguirlas está en la siguiente tabla.

Tabla 4.15 Criterios de selección de controladores

	Válvulas proporcionales	Servo válvulas
Propiedades dinámicas	Baja	Alta
<i>Robustez</i>	Alta	Baja
<i>Precisión</i>	Baja	Alta
<i>Actuación del diafragma</i>	Controlado directamente	Actuado con piloto
<i>Ganancia de poder</i>	Baja	Alta
<i>Precio</i>	Baja	Alta

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Una válvula dinámica frecuentemente presenta las características de válvula proporcional y servo válvula.

Válvula de control direccional (válvula proporcional) 5/3

Referirse a equipos y accesorios (4.1.2)

Variantes de circuito

Muchas aplicaciones, como sistemas de control de presión de lazo cerrado, requieren una válvula con un dispositivo de puerto consumidor. La válvula indicada es la 3/3 vías.

En el caso de un actuador posicionador neumático, el caudal de aire para las dos cámaras de los cilindros debe ser controlado en direcciones opuestas. Como en la figura se muestra, un actuador posicionador neumático puede ser operado con una válvula dinámica de 3/3 vías (a) o con una válvula dinámica 5/3 (b).

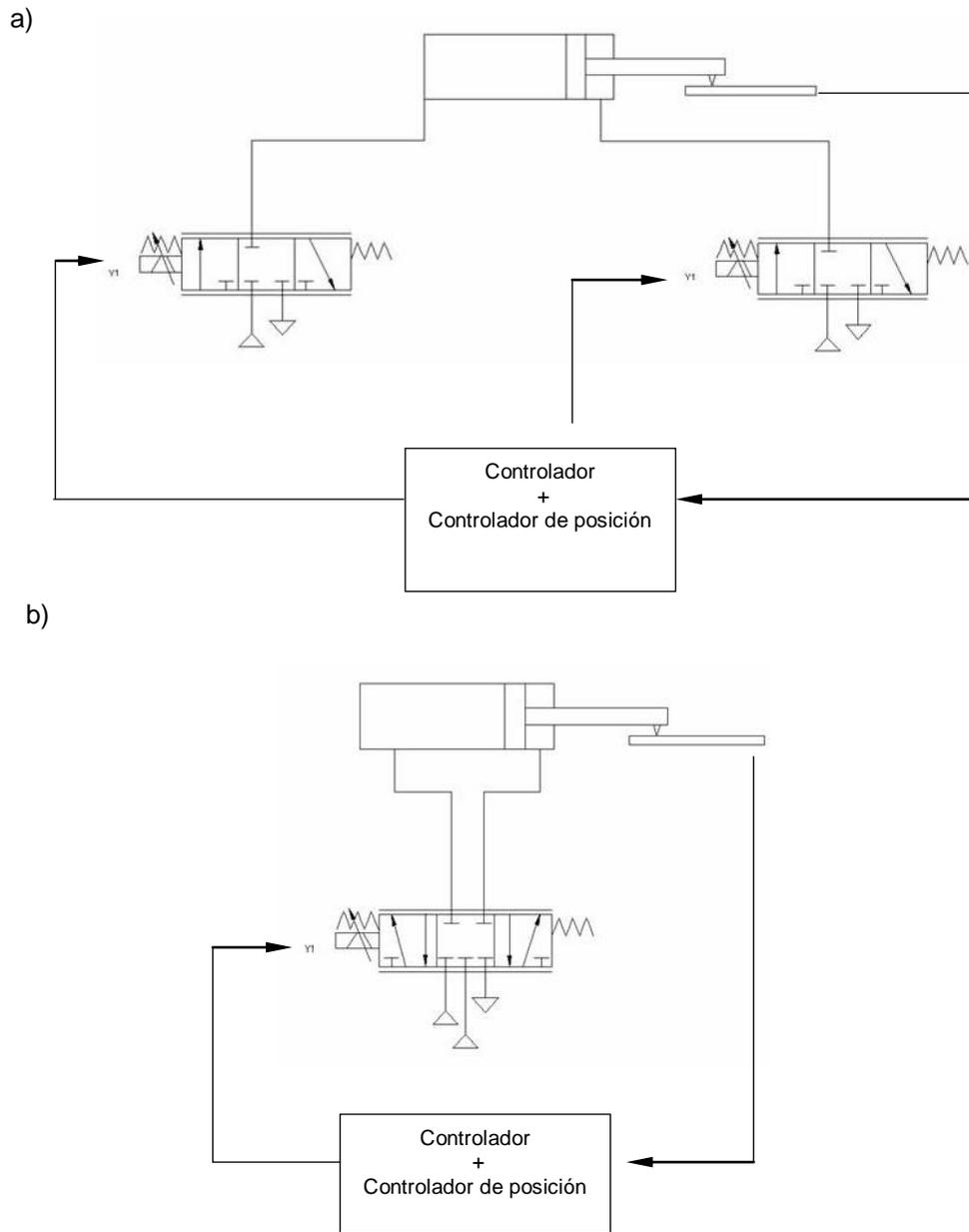


Fig. 4.79 Configuraciones de la válvula para actuadores de posicionamiento neumático

CARACTERÍSTICAS DE ESTADO ESTÁTICO PARA VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL DINÁMICO.

Dos características de estado estático son usualmente dadas en hojas técnicas para válvulas de control direccional dinámico.

- Rango de caudal / función de señal
- Presión / función de señal

Estas características son usadas para:

- Comparar las propiedades de varias válvulas diferentes.
- Seleccionar una válvula conveniente para aplicaciones dadas.

Rango de caudal / función de señal

La función señal/rango de flujo para una válvula de control direccional es determinado usando los circuitos en las figuras 4.79 (a) y (b).

- El circuito en la figura 4.79 (a) es usado para la medición del rango de caudal del puerto 1 al puerto 2.
- El circuito en la figura 4.79 (b) es usado para la medición del rango de caudal del puerto 2 hacia el puerto 3.

Para cada una de las direcciones, varios valores de las variables correctoras son dispuestos y resultados de las mediciones del rango de caudal. Las dos válvulas de control de caudal deberían ser dispuestas durante la medición así como se produce en las siguientes presiones.

- 6 bar en la dirección de aumento de flujo de la válvula
- 5 bar en la dirección de la disminución de flujo de la válvula

Siguiendo esto, los valores de medición son copiados en el gráfico y relacionados para formar una característica:

Las siguientes relaciones pueden ser descritas como características:

- La válvula está cerrada en su posición intermedia. No puede fluir aire a través de la válvula.
- El rango de caudal incrementa mientras la abertura de la válvula se incrementa, empezando en la posición intermedia.

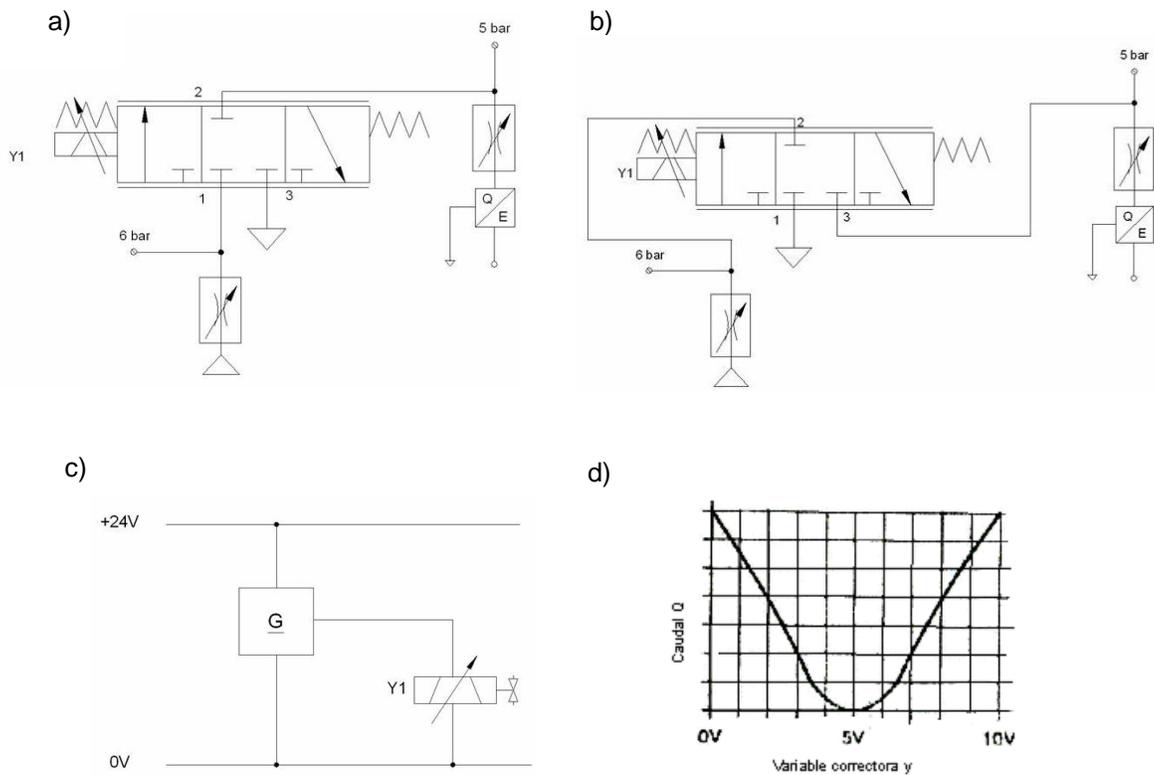


Fig. 4.80 Función de flujo de rango señal

Mediciones de la función presión/señal

Para medir la función presión/señal, un sensor de presión está conectado a cada puerto de salida de la válvula de control direccional. Fig. (a) y (b). La variable correctora varía a través de todo el rango corregido. La presión que resulta es copiada.

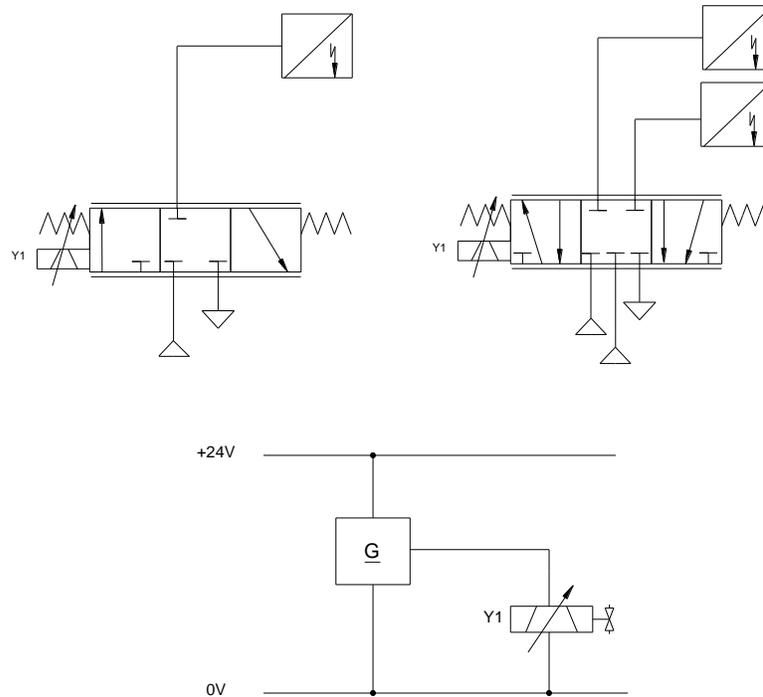


Fig. 4.81 Ensemble de prueba para una función de presión/señal

Función de presión/señal con traslape negativo

En la figura (a) se muestra el diafragma de la válvula y cartucho para una válvula 5/3 con traslape negativo. El diafragma de la válvula está mostrado en su posición media. El traslape negativo significa que un pequeño agujero permanece abierto en todos los cuatro medios.

El traslape negativo afecta a la función presión/señal

- Si la señal correctora cae en el rango de la posición media, todos los medios de control serán abiertos lentamente con traslape negativo. Los medios de control actúan como resistores de caudal. La presión de cada uno de los puertos de salida cae entre la fuente de presión y la presión ambiente. El valor preciso depende de las condiciones de traslape en el control individual de los medios y de la posición del diafragma.

- Si se presenta una señal correctora negativa es muy fuerte, el diafragma de la válvula tendrá un desplazamiento de su posición media hacia la derecha (b) y (c). En este caso, el puerto A estará unido al puerto de la fuente. Se presentará la máxima presión aquí. El puerto B está unido a el puerto de escape, en el cual presión ambiente está presente.
- Si se presenta una señal correctora negativa es muy fuerte, el diafragma de la válvula se desplazará desde su posición media hacia la derecha (b) y (c). La presión ambiental se presenta en el puerto A, mientras la presión máxima se presentará en el puerto B.

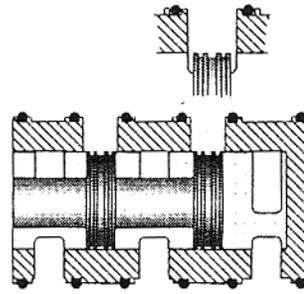
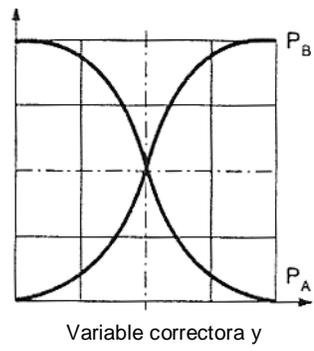
Función presión/señal con traslape cero

Con traslape, los medios del diafragma en la posición media coincide exactamente con los medios del cartucho (b). Siempre que el diafragma esta flexionado muy lentamente, un puerto de salida será conectado al puerto de la fuente y el otro al puerto de escape. La gradiente de presión señal exhibe una caída en la proximidad de la posición media.

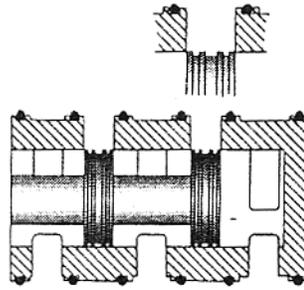
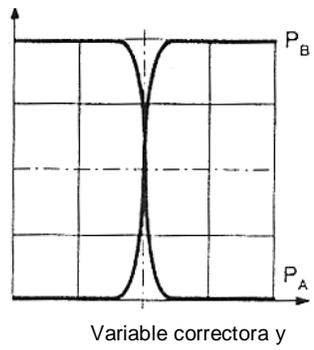
Función de presión/señal con traslape positivo

En el caso de un traslape positivo, los medios de control del diafragma y del sistema (c). Si la variable correctora varía muy ligeramente en el rango de la posición media, todos los medios de control permanecen cerrados. La función presión/señal allí exhibe una conjunción de las dos características en la proximidad de la posición media.

a) Traslape negativo



b) Traslape cero



c) Traslape positivo

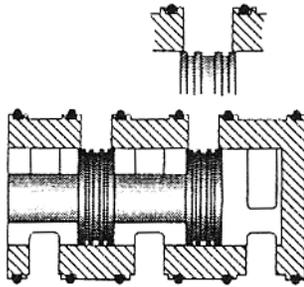
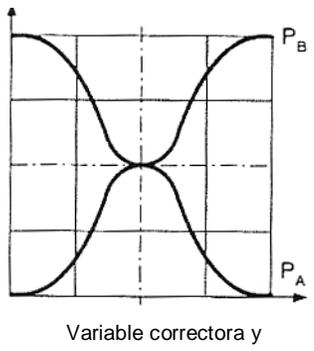


Fig. 4.82 traslape y función de presión/señal

Traslape y fugas

Las válvulas de mando son arregladas con sellos plásticos o de caucho entre el diafragma y el cartucho. El rango de fugas en ese caso es muy bajo. En el caso de válvulas dinámicas, el diafragma y el cartucho se mueven una contra otra sin sellos adicionales para reducir la fricción. El agujero anular que resulta significa que el rango de fuga es considerablemente alto.

El traslape tiene una fuerte influencia en el rango de fuga de una válvula de control direccional dinámico.

- Con traslape negativo, el rango de fuga con el diafragma en su posición media es muy alto. Esto da alto consumo de energía.
- En el caso de válvulas con traslape positivo, el rango de fugas es muy bajo.
- Con un traslape cero, hay una fuga notable con el diafragma en su posición media, sólo cuando el sellado está provisto de partes metálicas.

Selección del traslape

Las válvulas con traslape negativo no son usados en la práctica, debido a su gran rango de fugas y su gran consumo de energía. Las propiedades de válvulas con traslape cero y positivo se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4.16 Criterios de selección de controladores

Ventajas del traslape cero	Ventajas del traslape positivo
Mayor exactitud cuando se usa en un circuito de control de lazo cerrado	Válvulas baratas de construir
	Bajo rango de fuga

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Las válvulas de control direccional dinámico usados en sistemas neumáticos generalmente tienen un pequeño traslape positivo. Los valores del traslape típico están entre 5 y 25 μ .

Las condiciones de traslape dependen no solo de las especificaciones de diseño sino también de las tolerancias de producción. Puede ser allí notificada las diferencias entre las diferentes válvulas de las mismas series.

COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL DINÁMICAS.

En muchas aplicaciones, como en los actuadores de posicionamiento neumáticos, la posición del diafragma de la válvula debe seguir la señal de energización no sólo lo más exacto posible sino también lo más rápido posible. Casos de este tipo requieren válvulas que reaccionen rápidamente para realizar los cambios en la variable correctora.

Medición de las propiedades dinámicas de válvulas.

Para medir las propiedades dinámicas de válvulas, ellas tienen que ser activadas con una variable correctora de señal de seno Fig. 4.82 La posición del diafragma de la válvula está medida con un sensor. La variable correctora y la posición del diafragma x_s son mostrados en el gráfico del osciloscopio. Como la figura muestra, el diafragma de la válvula oscila a la misma frecuencia que la señal de energización.

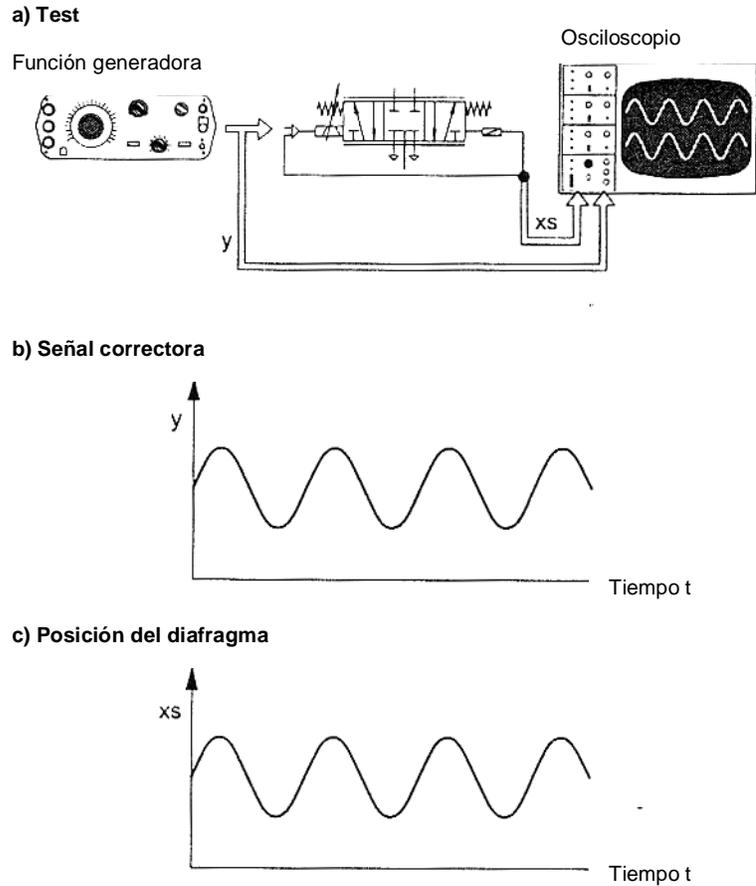


Fig. 4.83 Medición de las características de transmisión de una válvula de control direccional dinámico

Si la frecuencia de energización es incrementado mientras no cambia la amplitud de energización, la frecuencia a la cual el diafragma de la válvula oscila debe incrementar.

A una alta frecuencia de energización, el diafragma de la válvula no puede seguir los rápidos cambios en la señal correctora. Esto puede ser visto como una comparación de las figuras 4.83 (d) y (e). La amplitud A2 es visiblemente más pequeña que la amplitud A1.

Límite de frecuencia

El límite de frecuencia es generalmente especificado como una indicación de las propiedades dinámicas de una válvula.

El límite de frecuencia es la frecuencia en la cual la amplitud de la oscilación de la válvula cae a 70.7% de la amplitud a muy bajas frecuencias. Para determinar la frecuencia límite, la frecuencia de la señal de salida es incrementada hasta la amplitud de la señal de salida caiga a 70.7% Fig. 4.83

La frecuencia límite también está marcada en las hojas técnicas como frecuencias de -3dB . La expresión de -3 dB indica que la amplitud ha caído a 70.7% de su valor inicial.

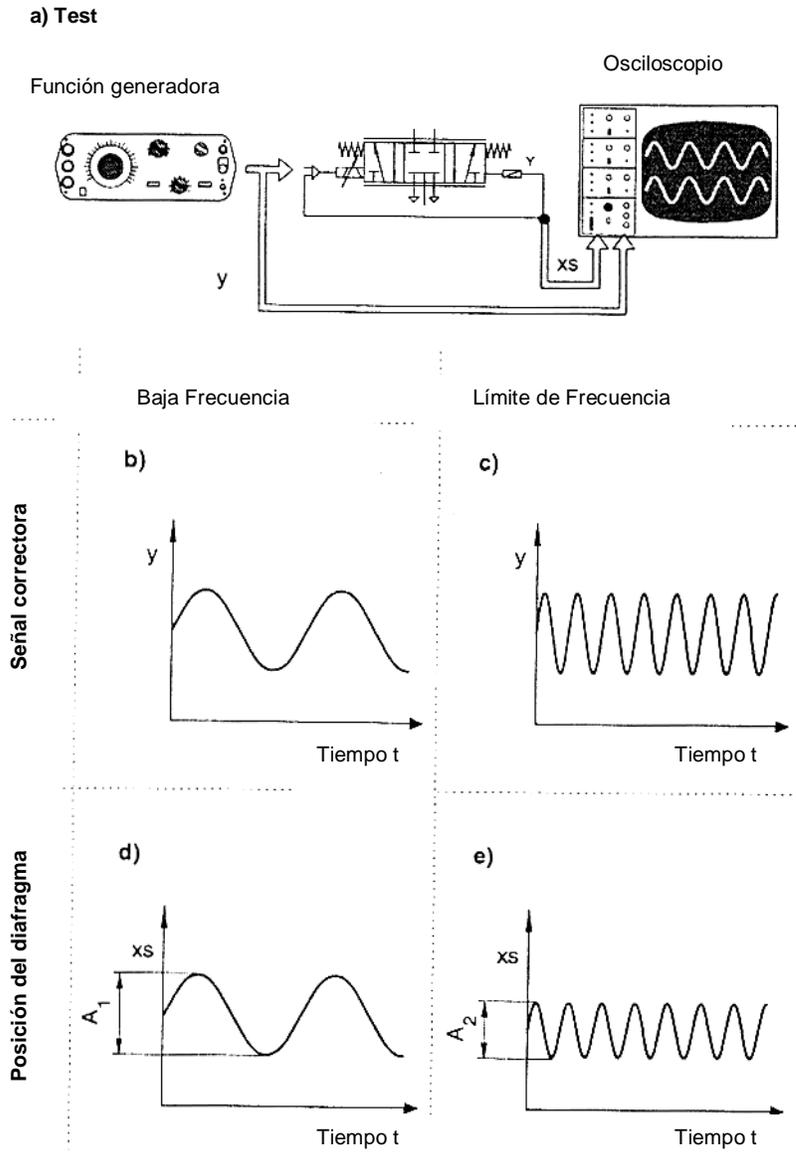


Fig. 4.84 Medición del límite de frecuencia de una válvula de control direccional dinámica

Frecuencias límites de válvulas de control direccional dinámicas.

Estas están aproximadamente entre 5 y 200 Hz, dependiendo del tipo de válvula.

Respuesta de frecuencia de una válvula

La hoja técnica de una válvula muestra la respuesta de frecuencia en vez de la frecuencia límite.

Para determinar la respuesta de la frecuencia, la válvula es energizada con una señal de onda de seno. La variable correctora y la posición del diafragma de la válvula son medidas por un gran número de diferentes frecuencias. A grandes frecuencias, la amplitud de la oscilación se vuelve pequeña y la fase de cambio ocurre. Los dos gráficos se producen de la copia de la amplitud y del cambio de fase a través de todo el rango de frecuencia.

- Amplitud de respuesta
- Fase de respuesta

Los dos gráficos juntos describen la respuesta de la frecuencia de la válvula.

Respuesta de amplitud

El diafragma de la válvula oscila con una cierta amplitud en la medición de frecuencia. Esta amplitud está comparada con la amplitud con la cual el diafragma de la válvula oscila a una baja frecuencia. La relación de la amplitud de la medición de frecuencia y la amplitud a una baja frecuencia está dada en dB. Una amplitud de relación de 20 dB, por ejemplo, significa que la amplitud ha caído hasta diez veces de la amplitud de baja frecuencia. La respuesta de la amplitud se obtiene por la copia de las relaciones de amplitud para todos los valores medidos con las frecuencias medidas.

La frecuencia límite puede también ser leída de la respuesta de amplitud. Un límite de frecuencia de 100 Hz resulta de la respuesta de frecuencia en la fig.

Respuesta de fase

El retardo de la señal de salida relativa hacia la señal de salida es anotada en grados. Una fase cambia 360 grados, esto indica que la señal de salida es retardada relativamente hacia la señal de entrada por un ciclo completo. La respuesta de fase se obtiene por la copia de todos los valores de fase con la frecuencia medida.

Diagrama de predicción

Un diagrama de predicción se obtiene por copiar un gráfico de la amplitud y la respuesta de fase contra la frecuencia.

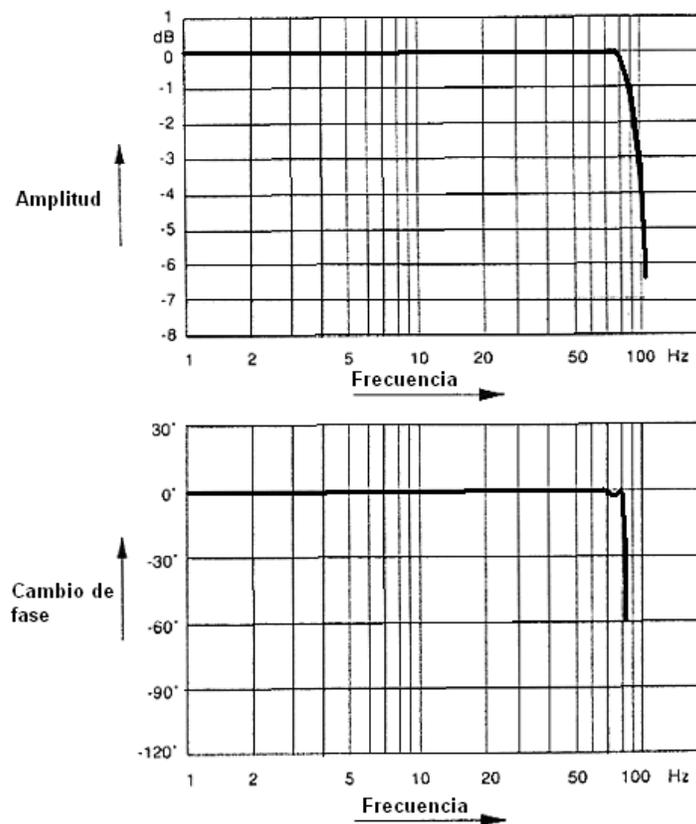


Fig. 4.85 Frecuencia de respuesta de una válvula

CRITERIO DE SELECCIÓN PARA VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL

Tabla 4.17 Criterios de selección de controladores

Condiciones de operación	Calidad de control
Temperatura ambiente	Función presión/señal
Filtración del aire comprimido	Función rango de caudal/señal
Polvo	Frecuencia límite
Humedad	Histéresis
Fuente de poder	
Dimensiones de instalación	
Interfase	Requerimientos de seguridad
Variable correctora	Respuesta de falla de la fuente de aire comprimido
Tamaño nominal de la válvula	Respuesta de falla del poder eléctrico
Costo	
Componentes mecánicos	
Componentes eléctricos	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

4.1.1.4 Reguladores de presión y sistemas de medición

REGULADORES DE PRESIÓN

Propósito de un regulador de presión

El regulador de presión, válvulas de globo o señales eléctricas son usadas para ajustar la presión en el puerto de salida de la válvula.

Propósito de un regulador de presión en un circuito de control de lazo cerrado

Un regulador de presión neumático tiene las siguientes funciones en un circuito de control de lazo cerrado.

- Controlador
- Elemento de control final

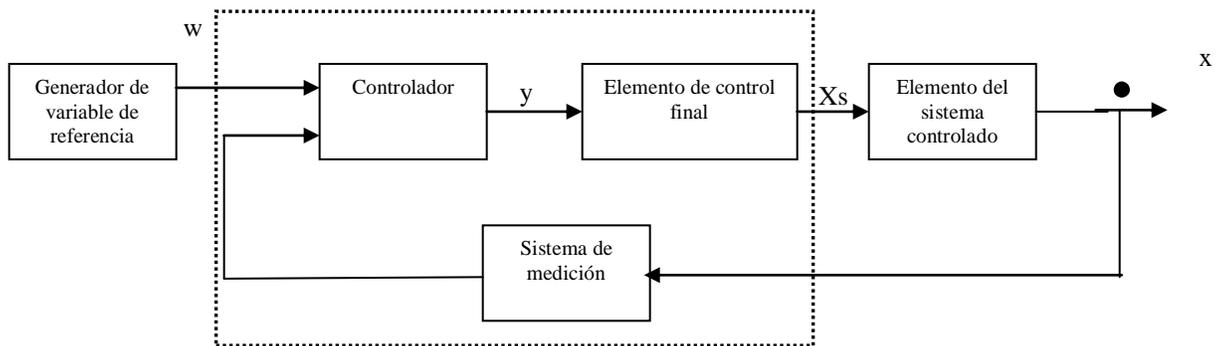


Fig. 4.86 Frecuencia de respuesta de una válvula

La Fig. 4.85 muestra el diagrama de señal de flujo para un circuito de control cerrado con regulador de presión.

- La variable de referencia w actúa en el regulador de presión como una señal de entrada.
- La variable controlada x , por ejemplo, la presión de un dispositivo consumidor en la salida de la válvula, actúa como una variable más.
- La construcción del controlador en la válvula ajusta la apertura de la válvula x_s como una función de estas dos señales.

Ajuste de la presión y el torque

Un regulador de presión casi siempre es usado para ajustar la fuerza o torque, esta es una ilustración siguiendo los ejemplos de aplicación:

- La presión de contacto de un cilindro sobre un objeto es ajustado con el control de la presión en el cilindro.
- El torque de una llave de poder es conservada en un valor constante controlando la presión de aire del motor.

Diseño de reguladores de presión

Se hace una distinción entre dos clases de reguladores de presión:

- Válvulas operadas manualmente
- Válvulas operadas eléctricamente

Las ventajas de la operación manual y eléctrica

Tabla 4.18 Generación manual y mecánica de variable de referencia

Variable de referencia de entrada	Manual	Eléctrica
Ventajas	Más barato	Capacidad de control remoto
		Ajuste considerablemente rápido
		Pueden ser ajustadas automáticamente (por un PLC)

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Controladores de presión

Los controladores de presión pueden ser de diseño mecánico y eléctrico. Las ventajas de presiones de control eléctrico y mecánico se muestran:

Tabla 4.19 Control de presión eléctrica y mecánica

Controlador	Mecánico	Eléctrico
Ventajas	Pocos componentes	Sistema de desviación de estado estático pequeño
	Menos costoso	Mejor control dinámico

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Tipos de reguladores de presión

Tabla 4.20 Control de presión eléctrica y mecánica

Generación de variables de referencia	Manual	Eléctrico	Eléctrico
Controlador	Mecánico	Mecánico	Eléctrico
Sensor de presión			Integrado en válvula
Ejemplo	Festo LFR-A	Festo MPP	Festo MPPE
Exactitud de control (bar)	aprox. +/- 0.2	Aprox. +/- 0.3	Aprox. +/-0.1

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Interfases

En el caso de reguladores eléctricamente actuados, la variable de referencia es usualmente alimentada por la fuente de la señal como el voltaje o la corriente, La entrada de la presión del regulador y la salida de la fuente de la señal deben ser comparadas una con otra. Por ejemplo. El voltaje o el rango de corriente deben ser el mismo.

La siguiente interfase es comúnmente usada:

0 V corresponde a la señal mínima

10 V corresponde a la máxima presión.

La válvula máxima requerida depende del consumo de aire comprimido del dispositivo de consumo. Si estos consumos son conocidos, el tamaño nominal de la válvula y el tipo de válvula requerido puede ser determinado de las hojas técnicas.

REGULADOR DE PRESIÓN NEUMÁTICO

La unidad de servicio de la instalación neumática es una combinación de varios componentes; estos son usualmente:

- Un regulador de presión
- Un filtro de aire con separador de agua
- Manómetro

Las unidades de servicio casi siempre incorporan un lubricador

Modo de operación

El propósito de un regulador de presión es el de mantener la presión constante. La Fig. 4.86 muestra el modo de operación de esta válvula:

- Si la presión del dispositivo de consumo del puerto A es menor que la presión deseada, el diafragma es empujado hacia abajo por el resorte pretensionador (a). La abertura de la válvula se incrementa, permitiendo que fluya más aire por el dispositivo consumidor del puerto A. La presión en el puerto A se incrementa.
- Si la presión del puerto del dispositivo de consumo es muy alto, el diafragma es presionado hacia abajo (b). El émbolo en ese instante no tiene contacto con el diafragma. El aire fluye a través de las aberturas provistas en la atmósfera. La presión del puerto A cae.
- Si la presión en el puerto del dispositivo de consumo corresponde al valor predeterminado, la válvula permanece cerrada

Generación de la variable de referencia

La variable de referencia puede ser ajustada con una válvula manual

- Cuando la válvula manual es cambiada para incrementar la pretensión del resorte, el resorte presiona contra el diafragma con mayor fuerza. Una mayor presión es ahora requerida para la salida A para restablecer un equilibrio de fuerzas. Un equilibrio en la pretensión del resorte también produce un incremento en la variable de referencia.
- Cuando la válvula manual es girada en la dirección contraria, la pretensión del resorte decae. La fuerza actúa en el diafragma haciéndose menor. Una menor presión es entonces suficiente para establecer un equilibrio de fuerzas. Ej. La variable de referencia es reducida.

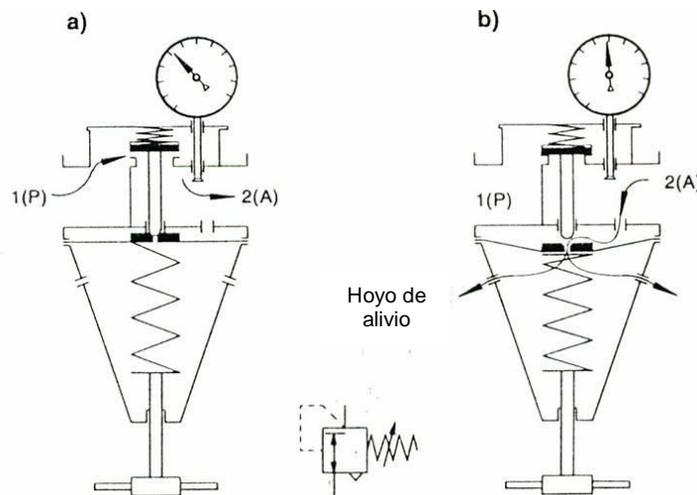


Fig. 4.87 Regulador de presión mecánico

Diagrama de señal de flujo para circuitos de control de presión de lazo cerrado

La figura muestra la señal de flujo en un regulador de presión mecánico. El elemento de control final está incorporado en el regulador de presión.

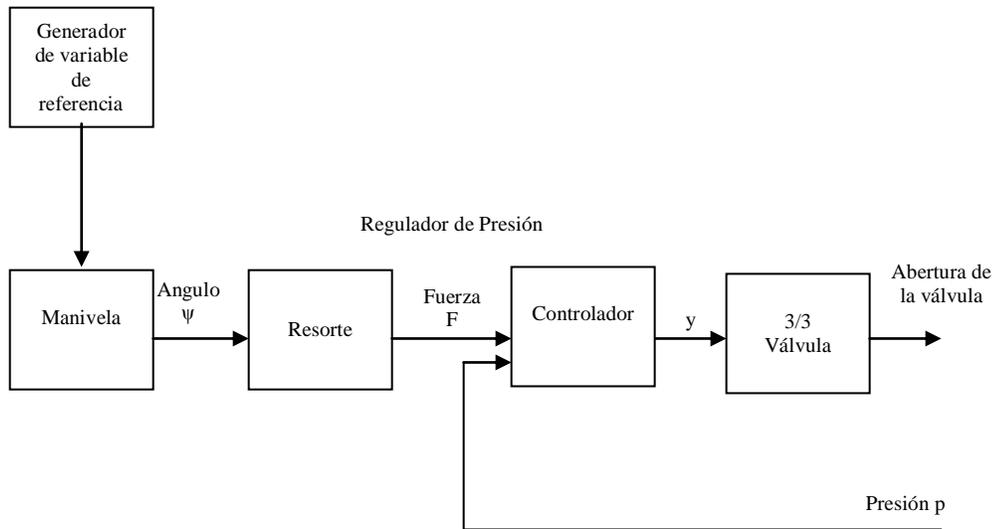


Fig. 4.88 Diagrama de flujo de señal de un regulador de presión mecánico

REGULADOR DE PRESIÓN ACTUADO ELÉCTRICAMENTE CON COMPENSACIÓN MECÁNICA

Los reguladores de presión actuados eléctricamente son usados en los casos en los que la presión va a ser controlada desde un circuito eléctrico.

Ejemplo de aplicación

La figura muestra una lijadora. La lijadora está presionada contra la pieza de trabajo por un cilindro neumático. La fuerza que requiere un cilindro es requerida para ejercer presión en el cilindro. La variable de referencia para la presión es generada por un sistema de control eléctrico. La función del regulador de presión es de ajustar la presión en el cilindro para el valor deseado.

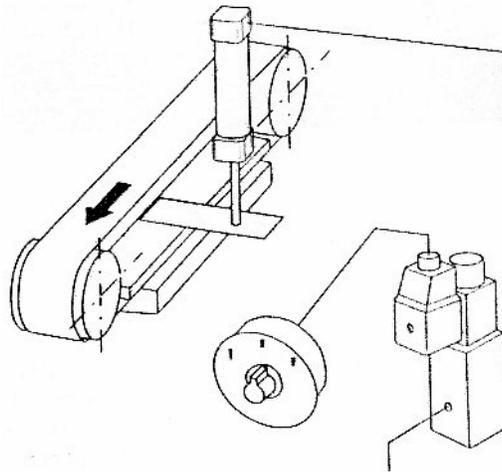


Fig. 4.89 Contacto controlador de presión con un regulador de presión

Dependiendo de los datos de desempeño, un regulador de presión con variable de referencia eléctricamente generada es descrito como una presión proporcional o una presión de válvula servo.

Válvula de presión proporcional con compensación mecánica de presión.

La figura muestra una vista seccional de una válvula de presión proporcional con compensación mecánica de presión.

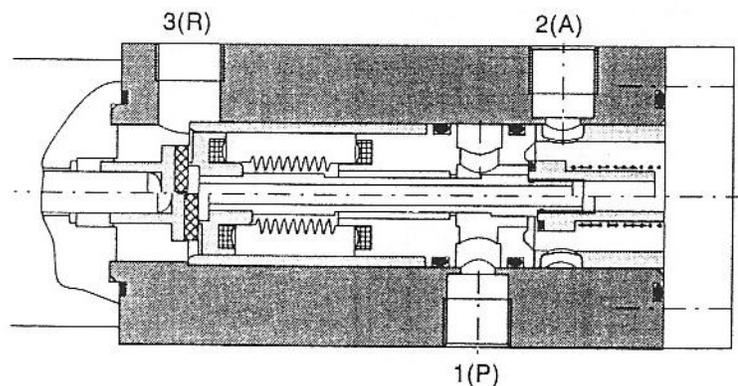


Fig. 4.90 Vista seccionado de un regulador de presión con ajuste mecánico

Modo de operación

La válvula es energizada por un voltaje. El voltaje es convertido en corriente. La corriente fluye a través de la válvula solenoide. Entre mayor la corriente, aumenta la presión de la placa o diafragma pulsador solenoide contra el diafragma de la válvula. La presión en los dispositivos consumidores del puerto A produce una fuerza de muestra. Se realiza distinciones en los tres estados de la válvula.

- Si la presión del dispositivo consumidor del puerto es muy baja, el diafragma se mueve hacia la derecha. Esto es mostrado en la parte inferior de la Fig. 4.90 El puerto de la fuente y el puerto del dispositivo consumidos están unidos uno con otro. La presión en el puerto del dispositivo consumidor aumenta.
- Si la presión en el dispositivo consumidor es muy alta el pulsador solenoide aumenta desde el diafragma de la válvula. El estado de operación está mostrado en la mitad superior de la figura. El puerto del dispositivo consumidor está unido al puerto de escape por el agujero longitudinal en el diafragma de la válvula. La presión en el puerto del dispositivo consumidor cae.
- Si el consumo del puerto de trabajo corresponde al valor prefijado, los dos medios de control de las dos válvulas permanecen cerrados.

Diagrama de señal de flujo para circuitos de control de lazos cerrados

La figura muestra la señal de diagrama de flujo para un regulador de presión con compensación mecánica de presión.

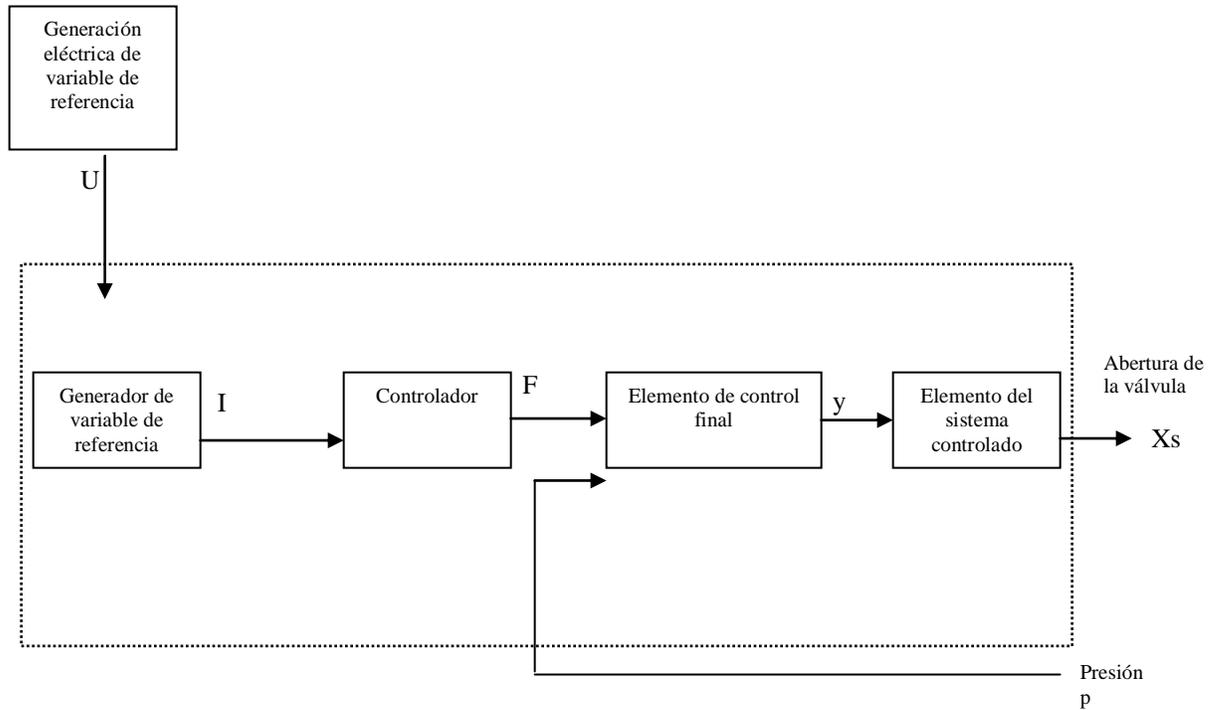


Fig. 4.91 Diagrama de flujo de señal de un regulador de presión con ajuste de presión mecánico

Regulador de presión actuado eléctricamente con compensación eléctrica

Altos requerimientos son presentados en la precisión de control de estado estático en un circuito de control de presión de lazo cerrado. En los casos de este tipo, un regulador de presión con medición de presión y compensación eléctrica es usado.

Modo de operación

La variable de referencia actúa en el controlador eléctrico. Un sensor de presión mide la presión en el puerto de salida hacia el dispositivo de consumo. La señal de salida del sensor es alimentada por el controlador. Las dos válvulas de mando son energizadas como una función del sistema de desviación. La presión en el puerto de salida es variada por la apertura y el cerrado de estas válvulas de mando.

El control eléctrico de la presión significa que el sistema de desviación de estado estático no es más que 0.1 bar

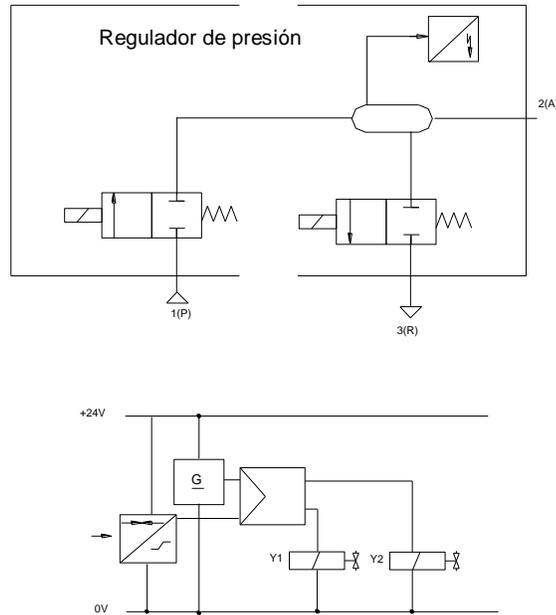


Fig. 4.92 Regulador de presión con sensorica integrada y controles electrónicos

Diagrama de flujo de señal

La Fig. 4.92 muestra la señal del diagrama de flujo para un regulador de presión. La válvula incorpora las siguientes funciones:

- Controlador (eléctrico)
- Elemento de control final (válvulas de 2/2 vías)
- Sistema de medición (sensor de presión)

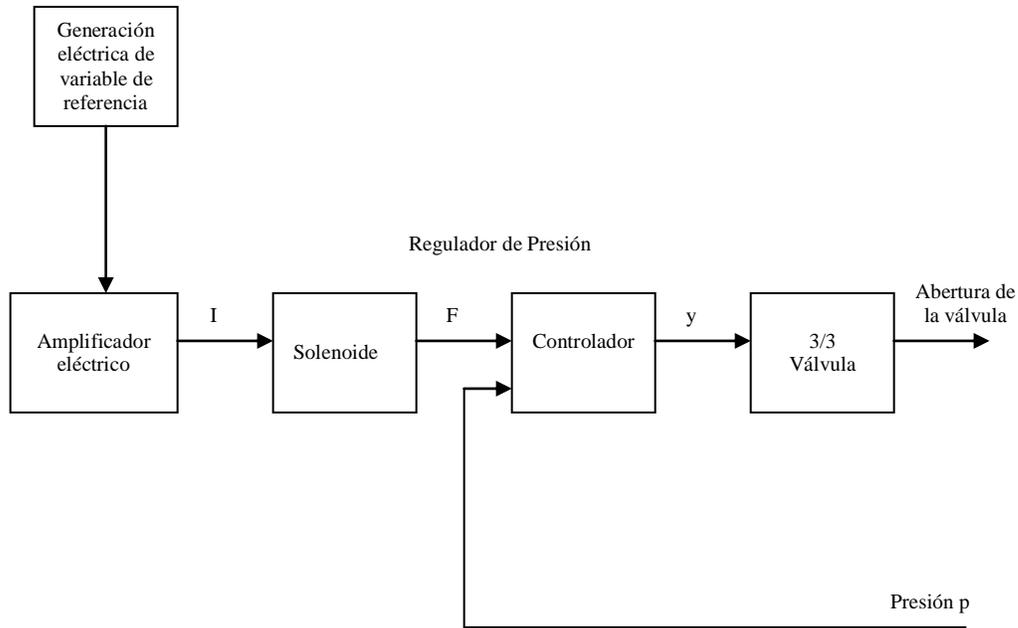


Fig. 4.93 Diagrama de flujo de señal para un circuito de CLC con regulador de presión (ajuste de presión eléctrico)

Características de un regulador de presión eléctricamente controlado.

La figura muestra las características del estado estático para un regulador de presión neumático. Las características muestran como la presión en la válvula de salida varía como una función del rango de caudal de la válvula. Cada característica junta los puntos con la misma variable de referencia. La característica para cuatro diferentes variables están impresas: 9 bar, 7 bar, 5 bar y 3 bar.

Las características exhibidas tienen el siguiente comportamiento:

- Con un rango bajo de caudal a través de la válvula, la variable de referencia y variable controlada son las mismas.
- Si el rango de flujo a través de la válvula incrementa mientras la variable de referencia permanece igual, la variable controlada cae: Como el rango de caudal incrementa, el sistema de desviación de estado estático se hace más largo.

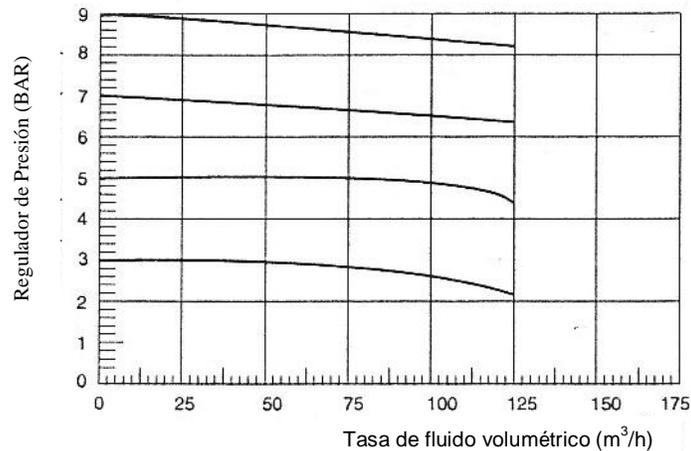


Fig. 4.94 Función característica de un regulador de presión eléctricamente controlado

REGULACIÓN DE PRESIÓN CON UNA VÁLVULA DE CONTROL DIRECCIONAL.

Un regulador de presión combina varias funciones de circuito de control de lazo cerrado en un componente simple. Los circuitos de control de lazo cerrado pueden ser también de diseño discreto. Ej. Estos pueden consistir de varios componentes separados:

- Una válvula de control direccional como un elemento control final.
- Un sensor de presión como sistema de medición.
- Un controlador eléctrico.

Este tipo de solución es más costoso. Es usado en casos donde los requerimientos no pueden ser llenados por un regulador de presión. Las razones para que esto ocurra son:

- Muy alta exactitud requerida en control de estado estático. Una exactitud en el control de 0.2 bar. Puede, por ejemplo, ser archivado un MPYE (válvula de control direccional), un sensor de presión y un controlador eléctrico de presión.
- Es deseado la medición y el control de la presión no directamente de la válvula de salida sino de otro punto en el sistema controlado.

Señal de diagrama de flujo para circuitos de control de lazo cerrado.

La Fig. 4.94 muestra la señal del diagrama de flujo en el circuito de control de lazo cerrado. En contraste del caso del regulador de presión, la válvula de control direccional asume solamente la función del elemento de control final. El sensor de presión y el controlador de presión no son integrados en la válvula.

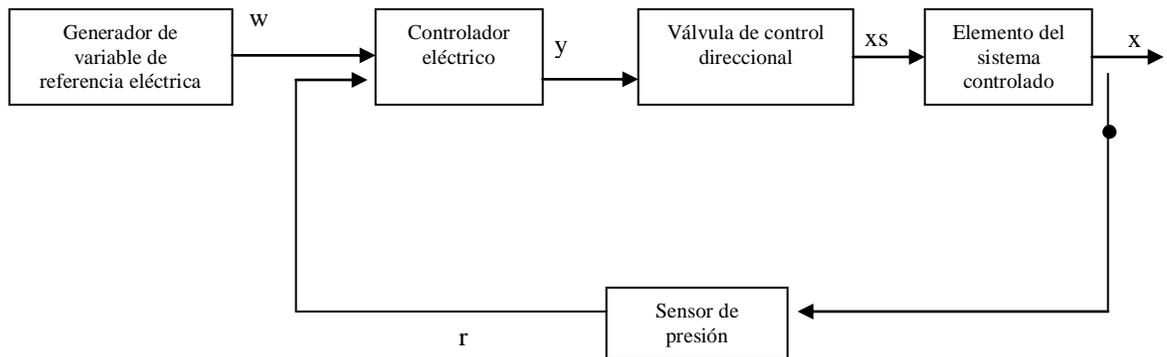


Fig. 4.95 Diagrama de señal de flujo para un circuito de CLC de presión con una válvula de control direccional

Criterio de selección de reguladores de presión

Tabla 4.21 Criterios de selección de reguladores de presión neumáticos

Condiciones de operación	Calidad de control
Temperatura ambiente	Características
Filtración del aire comprimido	Histéresis
Polvo	Límite de frecuencia
Humedad	Estructura del controlador usado
Fuente de poder	
Dimensiones de instalación	

Interfase	Requerimientos de seguridad
Variable corregida	Respuesta a la falla del suministro de aire comprimido
Tamaño de la válvula nominal	Respuesta a la falla de poder eléctrico

Costo	
Componentes mecánicos	
Componentes eléctricos	

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

SISTEMAS DE MEDICIÓN

Propósito del sistema de medición

Un sistema de medición convierte una señal de entrada en una señal de salida de una forma diferente con la cual puede ser evaluado más fácilmente.

La señal de entrada puede ser por ejemplo, la presión o la velocidad, mientras la señal de salida puede ser la corriente o voltaje.

Propósito de un sistema de medición en un circuito de control de lazo cerrado. El propósito del sistema de medición en un circuito de control de lazo cerrado es para:

- Grabar la variable controlada
- Generar la variable de retroalimentación.

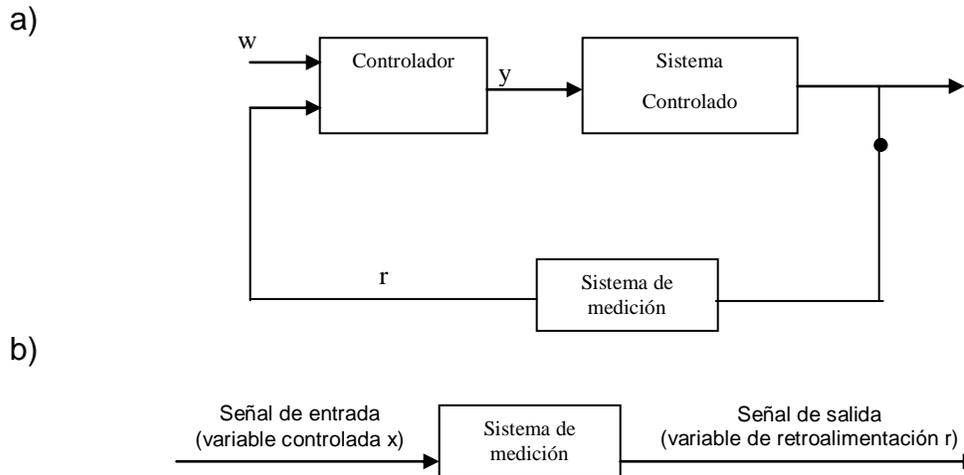


Fig. 4.96 Función de un sistema de medición de un circuito de CLC

Un sistema de medición es requerido en un circuito de control de lazo cerrado en todos los casos en donde el controlador eléctrico es usado, en el caso de circuitos de control de lazo cerrado con retroalimentación mecánica o neumática, la variable controlada frecuentemente actúa directamente sobre el controlador. Esto significa que la función del sistema de medición es integrada en el controlador, y un sistema de medición separado no es requerido.

Un sistema de medición consiste de dos componentes:

- Un sensor
- Una unidad de procesamiento de valor medido.

La Fig. 4.97 muestra los varios diseños de sistemas de medición. La Fig. 4.97 (a) muestra la señal del diagrama de flujo para un sistema de medición en el cual el sensor y la unidad de procesamiento de medición de valores son dos dispositivos

separados. Los sensores de posición inductivos son construidos en este principio. En adición del sensor, un amplificador también es requerido para la señal de evaluación. La Fig. 4.97 (b) muestra la señal del diagrama de flujo para un sistema de medición en el cual la unidad procesadora de la medición del valor está incorporada en el controlador. Esta configuración es casi siempre usada para sistemas de posicionamiento digital. En este caso, La unidad de procesamiento está localizada directamente en la tarjeta del controlador de un sistema de control numérico. La Fig. 4.97 (c), la unidad procesadora y el sensor están combinados en una sola unidad. Este diseño es muy común, por la facilidad con el cual puede ser manejado. Ej.: sensores de presión.

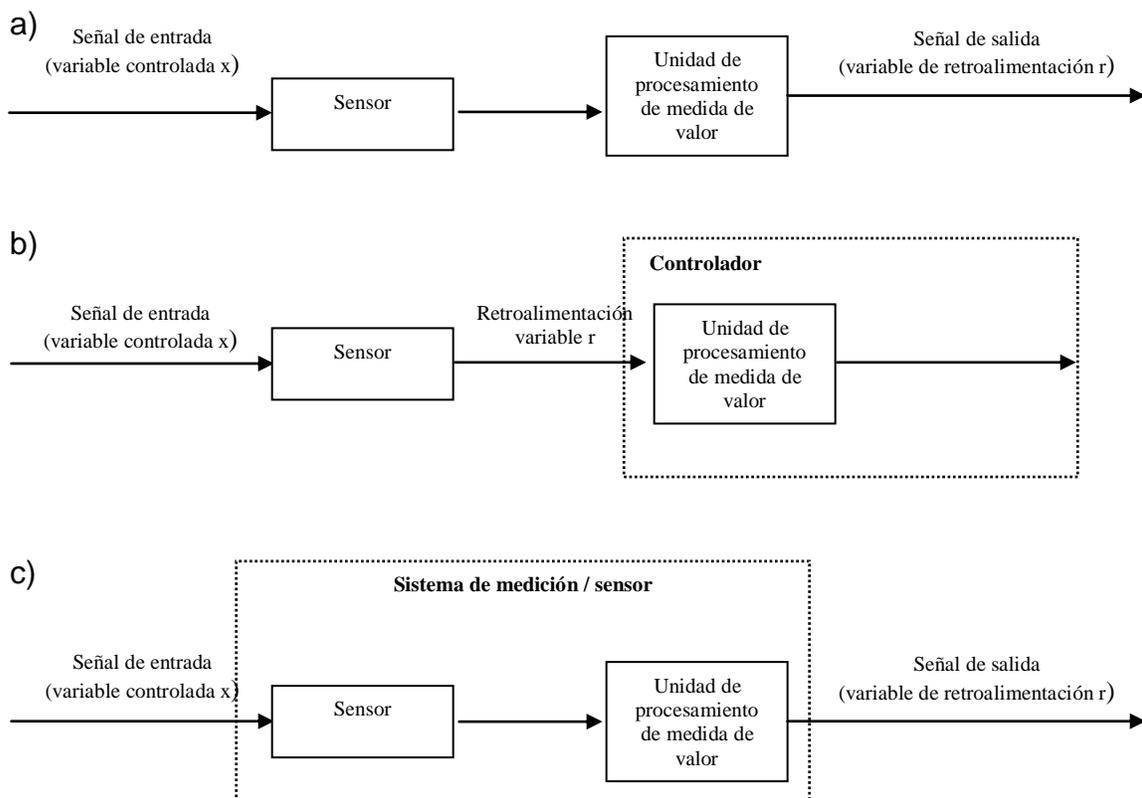


Fig. 4.97 Estructura de un sistema de medición

Señal de entrada

En circuitos de control de lazo cerrado, la variable controlada forma la señal de entrada en los sistemas de medición. La tabla muestra los sistemas de medición en lazo cerrado neumático.

Tabla 4.22 Sistemas de medición de sistemas de CLC neumático

Señal de entrada	Nombre	Ejemplo de aplicación
Presión	Sensor de presión	Gancho controlado a presión
Fuerza	Sensor de fuerza	Prensa neumática controlada la fuerza
Velocidad rotatoria	Tacómetro	Destornillador neumático
Ángulo de rotación	Decodificador rotatorio	Actuador rotatorio neumático
Posición	Sensor de posición	Actuador de posición neumático

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Rango de medida

Los sistemas de medida que miden la misma variable física pueden ser distinguidos por sus rangos de medición. El rango de medida especifica el rango sin el cual la señal de entrada del sensor puede variar y permanecer correctamente detectada.

Tabla 4.23 Rangos de medición de algunos sensores (FESTO)

Rango de medición	Tipo de sensor
0 – 25 bar	SDE-2.5-10V-20mA
0 – 10 bar	SDE-10-10V-20mA
0 – 16 bar	SDE-16-10V-20mA

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Señal de salida

Pueden realizarse algunas observaciones en las señales de salida:

- Sistemas de medición binarios, Son usados únicamente en combinación de controladores no dinámicos, Ej. Un sensor de presión, por ejemplo, puede ser utilizado en combinación de un controlador de acción de dos pasos. Un circuito de este tipo puede ser utilizado para mantener una presión constante
- Sistemas de medición análogos, Pueden ser combinados con cualquier variante de controlador, dinámico o no dinámico, digital o análogo. Velocímetros y sensores de presión son ejemplos de sistemas de medición análogos.
- Sistemas de medición digitales, son usados en combinación con controladores digitales. Ejemplos son sistemas de posicionadores digitales y sensores de ángulo giratorio digitales en máquinas de herramientas CNC.

Tabla 4.24 Combinaciones de controladores y sistemas de medición

Tipo de controlador	Diseño del controlador	Señal de salida del sistema de medición
No dinámico	Análogo	Análogo-binario
No dinámico	Digital	Análogo-binario-digital
Dinámico	Análogo	Análogo
Dinámico	Digital	Análogo-digital

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Interfase

La señal de salida del sensor actúa sobre el controlador como una señal de salida. Los sensores con señal de salida análoga son usados con controladores eléctricos. Asumiendo que la señal procesada es llevada sin el sistema de medición, la señal de salida puede ser de:

- Corriente
- Voltaje

La señal de salida del sistema de medición y de la señal de salida del controlador puede ser comparada, esto quiere decir:

- La misma variable física
- El mismo rango de señal

La tabla siguiente provee un vistazo de los tipos usuales de interfases entre sensores y controladores.

Tabla 4.25 Señales de salida de sistemas de medición análogos

Interfase	Rango del sistema de medición de la señal de salida
Interfase de corriente	4-20 mA
Interfase de voltaje	0-10V 0-5 V

Si la distancia entre el sensor y el controlador es muy larga, existe una caída de voltaje en el cable. Esto da un valor erróneo de señal en el caso de interfase de voltaje. Para estos casos se debe utilizar una interfase de corriente.

En la siguiente tabla se resumen el criterio de selección más importante para sistemas de medición.

Tabla 4.26 Criterios de selección de sistemas de medición

Señal de salida	Costo
Variable a ser medida	Costo del sensor
Rango de mediciones	Costo de la unidad de procesamiento del valor medido

Tabla 4.26 Criterios de selección de sistemas de medición (continuación)

Señal de salida	Condiciones ambientales
Interfase con el controlador	Espacio de instalación
Dinamismo	Dimensiones de conexión
Lineabilidad	Rango de temperatura
Tendencia	Campos eléctricos
Ruido	Grado de protección
Producción de tolerancias	Fuente de poder
Resistencia a la vejez	

4.1.1.5 Ensamblaje de sistemas de control proporcional

Control de lazo cerrado en la automatización

La figura muestra parte de una instalación de producción de jugo de fruta. La instalación incluye un actuador posicionador neumático en lazo cerrado usado para empacar.

Procedimiento para la implementación de una instalación

La implementación de una instalación de este tipo envuelve un largo proyecto. Es por consiguiente recomendable proceder así:

- El proyecto está dividido de varios sub.-proyectos. La implementación de un circuito de control de lazo cerrado forma tales sub-proyectos. Las interfases entre los sub. proyectos deben ser definidos precisamente.
- Los sub. proyectos individuales son ejecutados en paralelo.

- Finalmente, todos los sub. proyectos son re combinados en un proyecto general

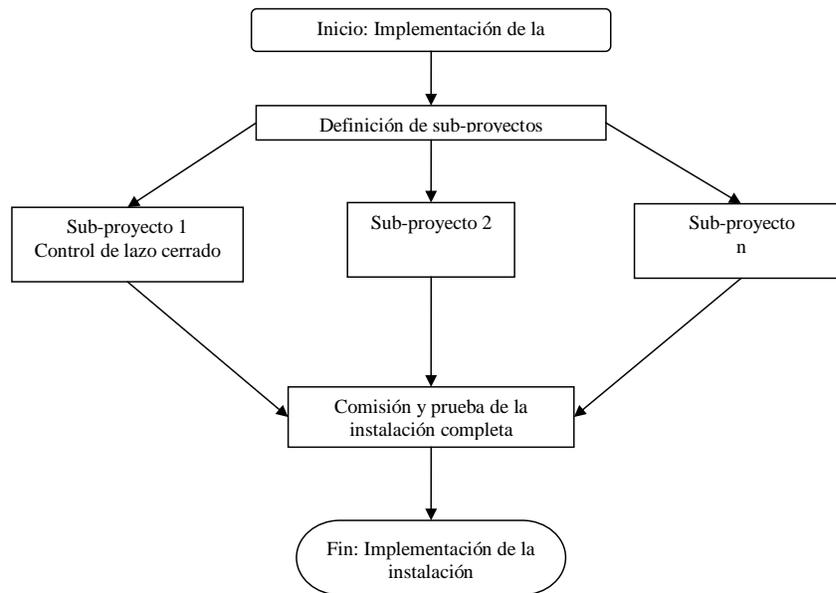


Fig. 4.98 Implementación de una instalación automatizada

Concretización de un problema

El primer paso es especificar los requerimientos colocados en el circuito de control de lazo cerrado. El siguiente lineamiento del problema son algunas de las preguntas que se deben contestar.

- ¿Cuál es el propósito del circuito de lazo cerrado?
- ¿Cómo se incorporará el circuito de lazo cerrado en el sistema de instalación?
- ¿Cuáles son las condiciones de operación envueltas?
- ¿Cuales son los datos de desempeño que el sistema provee?
- ¿Cuáles son los requerimientos de seguridad?

Ensamblaje

Para disminuir al mínimo los errores durante el ensamblaje práctico del control de lazo cerrado se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Las regulaciones de seguridad relevantes
- Las reglas básicas para el encajamiento y la conexión individual de los componentes

Configuración de los dispositivos y cableado

Las señales son propagadas en el aire a la velocidad del sonido. Esto es aproximadamente 330 m/s a 20°C. Una pieza de tubería de 1 m de largo. Produce un atraso de señal de aproximadamente 3 ms

Las señales de tránsito largas dañan la calidad del control. Las siguientes reglas deben ser tomadas en cuenta cuando se está realizando el cableado.

- Encajar las válvulas y actuadores lo más cerca posible
- Instalar el cableado por la ruta más directa posible

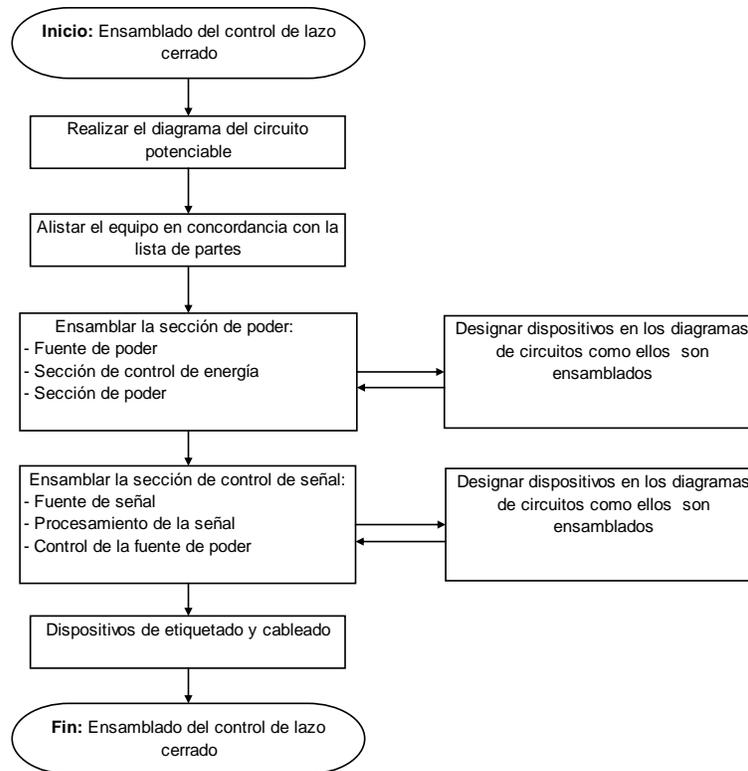


Fig. 4.99 Planeación de un circuito de CLC

Auditoria del control de lazo cerrado

Cables.- La distorsión e interferencia puede resultar de la transmisión de señales a través de cables eléctricos. En el caso de señales análogas, esto lleva a una falsificación de la señal por lo tanto en una reducción del Calidad de control. En orden de grabar el máximo Calidad de control posible, se deben seguir instrucciones básicas:

- Colocar los cables en la ruta más directa posible
- Evitar enrollar los cables para prevenir efectos de pérdidas
- No exceder con las longitudes máximas permisibles
- Usar cables cubiertos o protegidos si es posible

Chequeo del ensamblaje.- Primero, el ensamblaje completo debe ser chequeado contra el diagrama de circuito. . No prender bajo ninguna circunstancia la fuente de poder en estas instancias

Disposición inicial del controlador.- Los coeficientes del controlador deben ser dispuestos para que el circuito de lazo cerrado no oscile bajo ninguna circunstancia. Es generalmente ventajoso disponer los coeficientes de control en valores bajos e incluso cero

Prender las fuentes de poder.- Se debe asegurar la siguiente secuencia en el prendido de las fuentes:

- Prender la fuente de poder para la sección de control de señal. En el caso de un controlador eléctrico, esta será la fuente de poder del controlador.
- La fuente de presión. Por ejemplo: la fuente para la sección de poder, no debe ser prendido antes de la fuente de poder de la sección del control de señal, si un estado de operación indeseable ocurre, como la oscilación del circuito de lazo cerrado. Inmediatamente apagar la fuente del aire comprimido y encontrar la razón de la falla

Disposición del controlador.- Los parámetros del controlador deben ser optimizados hasta que el control de lazo cerrado exhiba el comportamiento deseado.

Pruebas funcionales.- estas deben cubrir todas las condiciones que ocurren durante la operación práctica:

- Comportamiento en respuesta a las variables de interferencia (Ej.: variación en las fuentes de presión, cargas causadas por un actuador)
- Comportamiento con diferentes variables de referencia
- Comportamiento en seguimiento de un paro de emergencia

Métodos de disposición de valores de ganancia de controladores

Existen 3 métodos para el dispuesto de valores de ganancia de un controlador

Método matemático.-

Con los métodos matemáticos, un modelo es creado del sistema controlado. Este modelo usa formulas matemáticas para describir el estado estático y el comportamiento dinámico del sistema. Los parámetros del controlador conveniente son aquellos calculados de este modelo. Estos cálculos son siempre llevados en un computador, usando un programa de simulación

Método estándar.-

Con métodos estándar, un pequeño número de características fácilmente medibles son determinadas por un sistema controlado. Estas son usados para calcularlos parámetros del controlador por medio de tablas. Los métodos estándar son muy fáciles de usar en la práctica.

Método empírico.-

En el caso de métodos empíricos, los valores de ganancia del controlador están dispuestos con base a la experiencia de circuitos de control de lazo cerrado.

Las ventajas y desventajas se observan en la siguiente tabla

Tabla 4.27 Métodos para la disposición de controladores

	Método matemático	Método estándar	Método empírico
<i>Ventajas</i>	Particularmente satisfactorio para sistemas controlados complejos	Fácil de usar	Relativamente fácil de usar
		El mismo método de dispuesto puede ser usado con gran diferencia en sistemas controlados	
<i>Desventajas</i>	Grandes conocimientos previos requeridos	Comportamiento de control óptimo generalmente no conseguido	Deferentes métodos usados diferentes sistemas controlados
<i>Importancia para la práctica industrial</i>	Baja	Alta	Alta

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Disposición del controlador usando el método Ziegler-Nichols

Existen dos formas de usar la disposición de Ziegler-Nichols:

- Prueba de oscilación usando un controlador P
- Determinación de las variables características y las constantes de tiempo desde la respuesta de mando de un sistema controlado

Con la primera alternativa, la ganancia del controlador P se incrementa hasta que el control de lazo cerrado oscila. Este dispuesto crítico de un controlador está diseñado como KP_{crit} . El periodo de duración T_{crit} de la oscilación es también medido. Estas dos variables características pueden entonces ser usadas para calcular la ganancia del controlador para optimizar los controladores P, PI y PID en concordancia con la tabla 4.28

Si el control de lazo cerrado no puede llevarse a oscilación, entonces la respuesta de mando de el sistema controlado debe ser primero planteado o copiado como se muestra en la Fig. 4.99. La respuesta de mando puede ser usada para leer las variables características tiempo muerto T_t , constante de tiempo T_s y ganancia del sistema controlado K_s . Los parámetros del controlador están calculados con el uso de la tabla 4.28

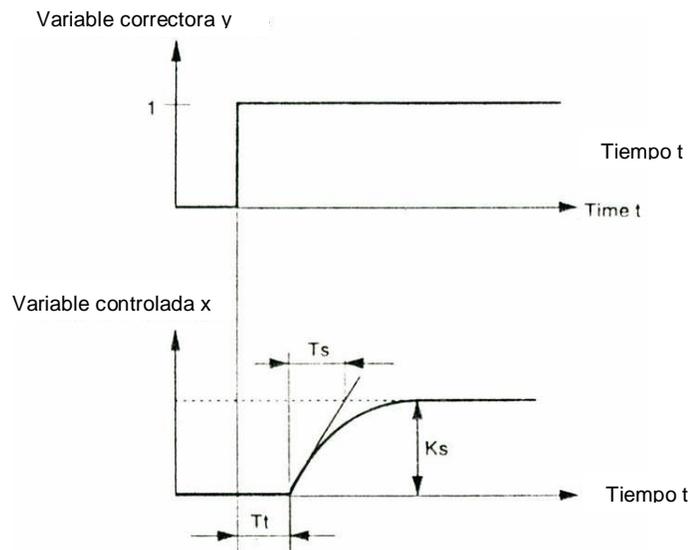


Fig. 4.100 Función característica de un sistema controlado por el método Ziegler-Nichols

El método Ziegler-Nichols permite la optimización de la respuesta de un control de lazo cerrado en interferencia. Cuando la variable de interferencia está hecha para ejecutar un cambio de mando, los parámetros del controlador producido usando el método de Ziegler-Nichols resultan en un sobrepaso de la variable controlada.

Tabla 4.28 Disposición del controlador usando el método Ziegler-Nichols

	Controlador	K_R	T_R	T_V
a)	P	$0.45 K_{R \text{ crit}}$		
	PI	$0.45 K_{R \text{ crit}}$	$0.45 K_{R \text{ crit}}$	
	PID	$0.45 K_{R \text{ crit}}$	$0.45 K_{R \text{ crit}}$	$0.45 K_{R \text{ crit}}$
	Controlador	K_R	T_R	T_V
b)	P	$\frac{T_s}{K_s T_t}$		
	PI	$0.9 \frac{T_s}{K_s T_t}$	$3.3 T_t$	
	PID	$1.2 \frac{T_s}{K_s T_t}$	$2 T_t$	$0.5 T_t$

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Disposición del controlador usando el método Chien, Hrones y Reswick

Este método es apropiado solo para sistemas controlados con compensación o compensados. Los siguientes pasos son requeridos en orden en orden de disponer el controlador:

- La respuesta de mando del controlador debe ser medida
- El tiempo de demora T_u y el tiempo de compensación T_g son determinados de la respuesta de mando de acuerdo con la Tabla 4.29
- Si lo siguiente se aplica T_g/T_u es mayor que 3 los parámetros óptimos del controlador pueden ser dispuestos en un controlador PID con la siguiente tabla

Tabla 4.29 Disposición del controlador usando el método Ziegler-Nichols

Controlador		Curva de control periódico		Curva de control con 20% de adelanto	
		Variable de interferencia	Variable de referencia	Variable de interferencia	Variable de referencia
P	K_R	$0.3 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.3 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.7 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.7 \frac{T_g}{T_u K_S}$
PI	K_R	$0.6 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.35 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.7 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.6 \frac{T_g}{T_u K_S}$
	T_R	$4T_u$	$1.2T_g$	$2.3T_u$	T_g
PID	K_R	$0.95 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.6 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$1.2 \frac{T_g}{T_u K_S}$	$0.95 \frac{T_g}{T_u K_S}$
	T_n	$2.4T_u$	T_g	$2T_u$	$1.35T_g$
	T_v	$0.42T_u$	$0.5T_u$	$0.43T_u$	$0.47T_u$

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

Disposición del punto cero

Aparte de la disposición de los parámetros del controlador de lazo cerrado. La mayoría de los controladores permiten la disposición del punto cero. El punto cero también está referido como el ajuste de la compensación

EL ajuste de la compensación puede ser usado para compensar los siguientes efectos:

- El cambio en la punto cero del controlador
- El cambio en el punto cero de la válvula

Las fallas en un sistema de lazo cerrado pueden detallarse con síntomas de comportamiento. Estos están enlistados en la siguiente tabla.

Tabla 4.30 Posibles fallas de sistemas

	Comportamiento de control lento o inadecuado	Oscilaciones en estado estático	Variable de control funciona contra el stop o parada	No reacciones a los cambios en la variable de referencia
Características	Disposición incorrecto de los parámetros del controlador	Disposición incorrecto de los parámetros del controlador	Incorrecto control de dirección (cables, tuberías o intersecciones)	Sensor defectuoso o conectado incorrectamente
	Disposición incorrecto de los compensación	Defectos en el sensor	Sensor defectuoso o el circuito está abierto	Controlador defectuoso o conectado incorrectamente
	Presión de fuente muy baja		Elemento de control final defectuoso o dañado	Elemento de control final defectuoso o conectado incorrectamente
	La sección de las cañerías muy pequeña		Controlador defectuoso	Parada de emergencia activada
	Cañerías bloqueadas			Fuente de energía para la señal de control desconectado
				Fuente de energía para la sección de poder apagada

Fuente: Closed Loop Pneumatics Festo®

4.1.2 EQUIPOS Y ACCESORIOS

Los principales equipos y accesorios para el CLC o control proporcional básico se muestran en las siguientes fichas técnicas:

FICHA TÉCNICA: **COMPARADOR**

CPN001



FUNCIONES BÁSICAS

1	Fuente de poder	+ 24 V	2	Fuente de poder	0 V	3	Entrada A, voltaje de entrada	0 ... +/- 10 V
4	Entrada B, voltaje de entrada	0 ... +/- 10 V	5	Contactos de salida A1, A2		6	Contactos de salida B1, B2	
7	Perilla de ajuste		8	Switch selector		9	Display (pantalla indicadora)	

DISEÑO

Esta tarjeta comparadora tiene dos entradas separadas (IN A, IN B), cada una de los cuales actúa como dos comparadores independientes. Las salidas de estos están diseñadas como OUT A1, OUT A2 y OUT B1 y OUT B2. La activación de las salidas se muestra con LED's

Los siguientes valores pueden ser seteados en cada comparador:

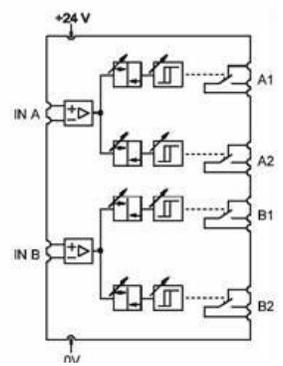
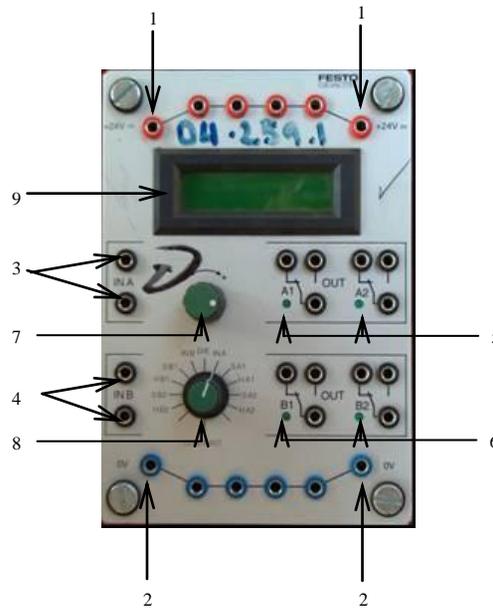
- Setpoint (Voltaje de disposición): -10V...+10V
- Histéresis (diferencia de cambio): 0V...5 V

Los valores switch-on (prendido) y el switch-off (apagado) están definidos como:

Valores prendido = Setpoint + 1/2 histéresis

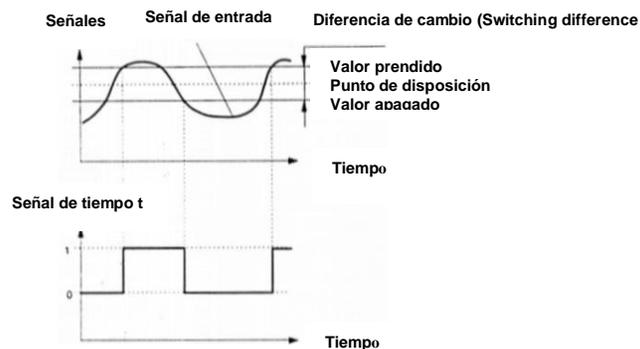
Valores apagado = Setpoint - 1/2 histéresis

Los valores de setpoint e histéresis son seleccionados mediante la perilla selector.





FUNCIÓN



Un comparador de cambio positivo (positive-switching) con diferencia de cambio (switching difference) tiene las siguientes características:

- La salida es dispuesta cuando la señal de entrada excede el valor de prendido
- La salida es reseteada cuando la señal de entrada cae por debajo del valor del prendido

DATOS TÉCNICOS

Fuente de poder	24V DC +/- 10%	Voltaje de entrada, entradas A y B	-10V...+10V
Resistencia de entrada, entradas A y B	> 10 kOhm	Exactitud de la pantalla	+/- 30 mV
Salidas A y B	Contactos de relé flotantes, contactos de intercambio o de cambio	Rango de contacto	24V DC/ 2A 120 V AC/ 1A

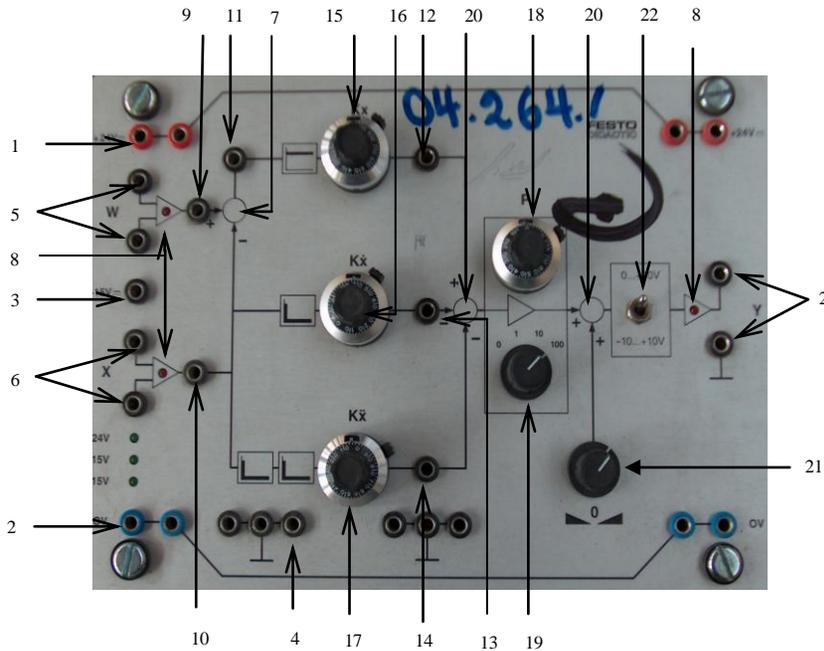
FICHA TÉCNICA: CONTROLADOR DE ESTATUS

CPN002

Z

FUNCIONES BÁSICAS

1	Fuente de poder	+ 24 V	2	Fuente de poder tierra:	0 V	3	sensor de fuente de poder	15 V
4	Sensor de tierra o tierra análoga		5	Entrada de seteo diferencial		6	Entrada de valor actual diferencial	
7	Comparador		8	Indicador de sobremodulación		9	Socket de prueba	Punto de seteo
10	Socket de prueba	Valor actual	11	Socket de prueba	Desviación del sistema	12	Socket de prueba	Ganancia de posición
13	Socket de prueba	Ganancia de velocidad	14	Socket de prueba	Ganancia de aceleración	15	Potenciometro giratorio	Componente de posición
16	Potenciometro giratorio	Componente de velocidad	17	Potenciometro giratorio	Componente de aceleración	18	Potenciometro giratorio	Ganancia general
19	Switch giratorio	Ganancia general	20	Punto de sumatoria		21	Potenciometro giratorio para corregir la variable offset (paralela)	
22	Switch selector de rango		23	Salida de variable corregida				



DISEÑO

El controlador se constituye de las siguientes áreas:

- Fuente de poder
- Entradas diferenciales
- Comparador
- Componentes del controlador: (posición, velocidad, aceleración)
- Ganancia general
- Offset de la variable corregida
- Punto común o punto de sumatoria
- Limitador
- Salida

FICHA TÉCNICA: CONTROLADOR DE ESTATUS	<u>CPN002</u>	
FUNCIÓN		
<p>El controlador de estatus es usado como un controlador en circuitos de posicionamiento de neumática e hidráulica</p> <p><i>Fuente de poder:</i> El controlador requiere una fuente de 24 V. Este voltaje es convertido internamente de +/- 15 V y alimentando a los controladores electrónicos. Los voltajes son eléctricamente separados uno de otro.</p> <p>La tierra análoga y la fuente de poder análoga nunca deben ser conectadas juntas, ya que causarían interferencia a las señales. Los 15 V deben ser usados en conjunción con la tierra análoga como la fuente de poder para sensores para asegurar que el ruido en las señales se conserven al mínimo.</p> <p><i>Entradas diferenciales.</i> Una entrada diferencial está provista en cada caso en el controlador de estatus de de un setpoint y de una señal de valor actual. La señal diferencial puede ser medida contra la tierra análoga. Las entradas diferenciales tienen filtros de bajo paso para suprimir la interferencia. La sobremodulación debajo de -10 V o arriba de +10 V es indicada por un LED</p> <p><i>Comparador.</i> El comparador es conectado en serie con la señal de entrada y calcula la desviación del sistema entre el setpoint y el valor actual.</p> <p>$(Kx-, K\dot{x}-, K\ddot{x})$</p> <p><i>Componentes del controlador.</i> Los 3 coeficientes del controlador:</p> <p>Pueden ser infinitamente ajustados por medio de un potenciómetro dentro del rango de [0...10]</p> <p>Ganancia general. La ganancia general de la variable corregida, la cual consiste de la suma de las señales de los componentes del controlador, puede ser ajustado por medio de un potenciómetro giratorio y una perilla de cambio o perilla de encendido.</p> <p>Offset de la variable corregida. El offset de la variable corregida puede ser usado para imponer voltajes constantes sobre la señal de control para, por ejemplo, compensar los cambios en el punto cero de los actuadores.</p> <p>Limitador de variable corregida. El limitador de variable corregida convierte las señales del controlador hacia el rango de trabajo requerido para los actuadores. Cualquier sobremodulación de la señal de salida está indicado por un LED</p>		

FICHA TÉCNICA: CONTROLADOR DE ESTATUS

CPN002

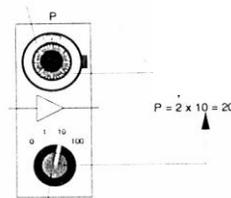


Salida. La variable corregida puede ser comparada contra la tierra análoga en al salida

Sockets de prueba. Servirán para medir las señales de voltaje versus la tierra análoga

Disposición de coeficientes. La ganancia general o total es el producto de los valores seteados en el potenciómetro giratorio y la perilla giratoria.

Potenciómetro



Perilla giratoria

DATOS TÉCNICOS

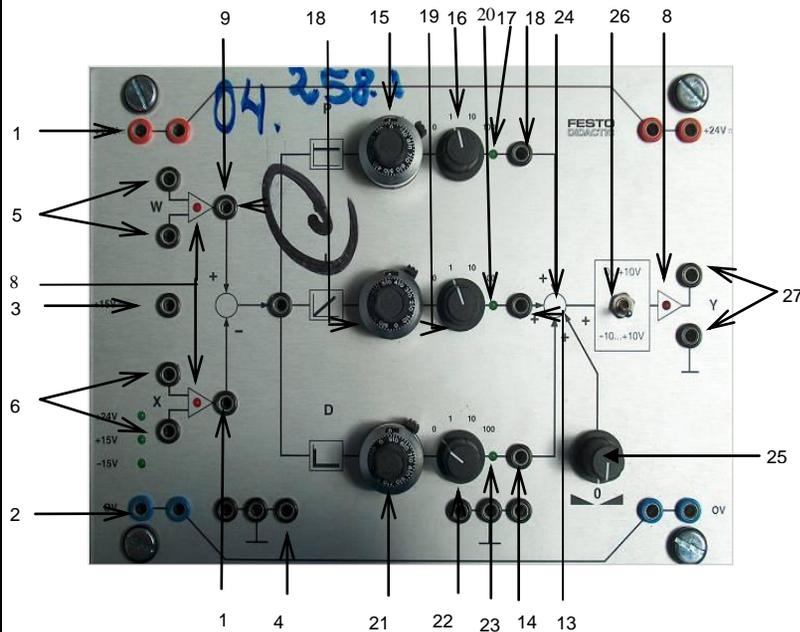
Fuente de poder	-24V DC +/- 10%	Indicador de sobremodulación	-10 V > Ue > +10 V
Rango de voltaje de entrada	-13 V...+ 13V	Coefficiente de posición	x 0...10
Coefficiente de velocidad	\dot{x} 0...150ms	Coefficiente de aceleración	\ddot{x} 0...2.25ms ²
Ganancia total P	0...1000	Limitación del voltaje de salida	[0...+10V][-10V...+10V]
Offset de la variable corregida	5V +/- 3.5 V con [0...+10V] 0 V +/- 7 V con [-10V...+10V]		

FICHA TÉCNICA: CONTROLADOR PID

CPN003

PID

FUNCIONES BÁSICAS



1	Fuente de poder	+ 24 V	2	Fuente de poder tierra:	0 V	3	Sensor de fuente de poder	15 V
4	Sensor de tierra o tierra análoga		5	Entrada de seteo diferencial		6	Entrada de valor actual diferencial	
7	Comparador		8	Indicador de sobremodulación		9	Socket de prueba	Punto de seteo
10	Socket de prueba	Valor actual	11	Socket de prueba	Desviación del sistema	12	Socket de prueba	Ganancia proporcional
13	Socket de prueba	Ganancia integral	14	Socket de prueba	Ganancia diferencial	15	Potenciometro giratorio	Componente P
16	Switch giratorio	Componente P	17	Indicador de poder (prendido)	Componente P	18	Potenciometro giratorio	Componente I
19	Switch giratorio	Componente I	20	Indicador de poder (prendido)	Componente I	21	Potenciometro giratorio	Componente D
22	Switch giratorio	Componente D	23	Indicador de poder (prendido)	Componente D	24	Punto de sumatoria	
25	Potenciometro giratorio para corregir la variable offset (paralela)		26	Switch selector de rango		27	Salida de variable corregida	

DISEÑO

El controlador se constituye de las siguientes áreas:

- Fuente de poder
- Entradas diferenciales
- Comparador
- Componentes del controlador: (Componentes proporcionales, integrales y diferenciales)

DISEÑO

- Offset de la variable corregida
- Punto común o punto de sumatoria
- Limitador
- Salida

FUNCIÓN

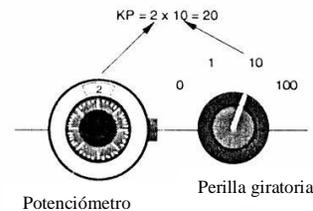
Este controlador PID puede ser usado, además de otras cosas, para controlar los lazos cerrados neumáticos e hidráulicos.

Fuente de poder, entradas diferenciales, offset de la variable corregida, salida, sockets de prueba, limitador de variable corregida son similares al controlador de estatus

Comparador. El comparador está conectado en serie con las señales de entrada y calcula la desviación del sistema entre el setpoint y el valor actual.

Componentes del controlador. Los tres componentes del controlador (P, I y D) pueden ser uno con el otro separadamente, permitiendo diferentes combinaciones. Los parámetros del controlador están separados y son ajustados mediante un potenciómetro y una perilla reguladora.

Disposición de coeficientes. Los coeficientes KP, KI y KD de los componentes del controlador son el producto de los valores seteados en potenciómetro giratorio y la perilla selectora.



FICHA TÉCNICA: **CONTROLADOR PID**

CPN003

 **PID**

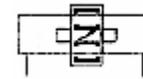
DATOS TÉCNICOS

Fuente de poder	+24V +/- 10%	Indicador de sobremodulación	-10 V > Ue > +10V
Rango de voltaje de entrada	-13 V ... +13V	Coeficiente proporcional KP	0...1000
Coeficiente integral KI	0...1000 1/s	Coeficiente diferencial KD	0...1000ms
Limitación del voltaje de salida	[0...+10V] [-10...+10V]	Offset de la variable corregida	5V +/- 3.5 V con [0...+10V] 0 V +/- 7 V con [-10V...+10V]

FICHA TÉCNICA: **ACTUADOR LINEAL, ALCANCE**

200 mm

CPN004



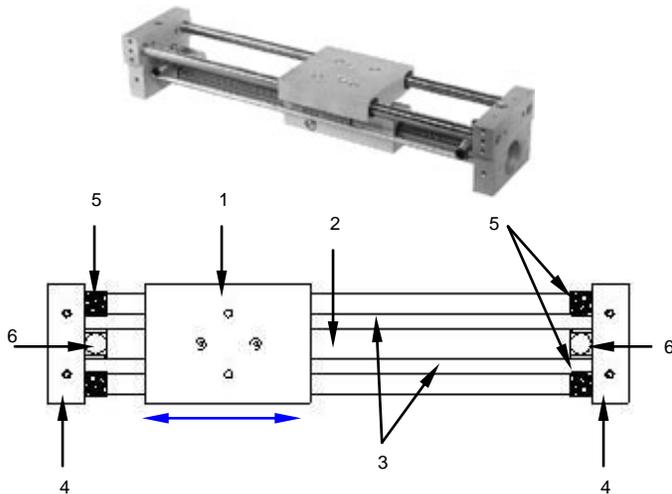
FUNCIONES BÁSICAS

1	Deslizador	2	Cilindro guía	3	Guías
4	Placas terminales	5	Cauchos de parada	6	Puertos para fuente

DISEÑO

Este actuador lineal consiste de los siguientes componentes:

- Deslizador (1)
- Cilindro eje de doble acción (2)
- Dos cilindros guías (3)
- Terminales de parada (5)
- Dos platos finales (4)



FUNCIÓN

Las cámaras del cilindro están alimentadas de aire comprimido por medio de los dos puertos de aire. Magnetos permanentes en el pistón y en el deslizador proveen el deslizamiento y parada. La velocidad del viaje es limitada, ya que el magneto puede desprenderse del dispositivo.

El deslizador viaja con fricción casi nula por medio de cojinetes de bola. Dos cilindros guías son usados para proveer la rigidez necesaria. Dispositivos adicionales pueden ser montados directamente en el deslizador.

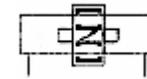
Los platos finales tienen agujeros para encajar medidores de posición. La posición del sistema de medición es determinada por las paradas fijadas.

Cauchos terminales están ajustados al dispositivo como elemento de seguridad por la posible falla del sistema.

FICHA TÉCNICA: **ACTUADOR LINEAL, ALCANCE**

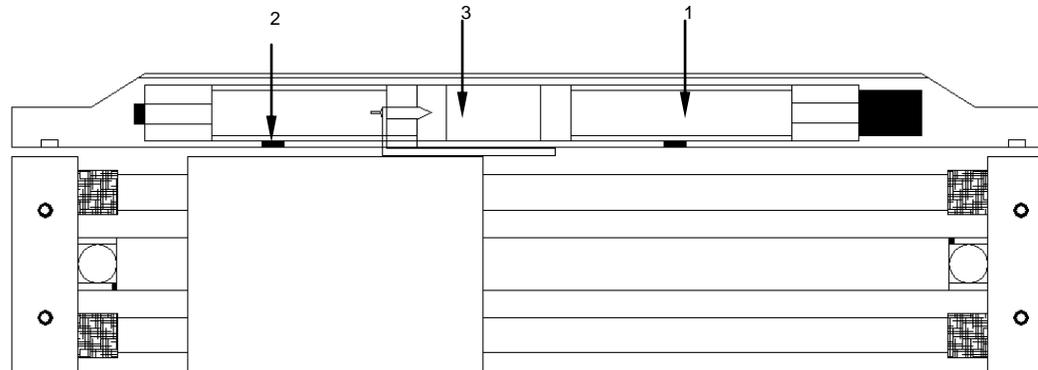
200 mm

CPN004



FUNCIÓN

Los actuadores lineales sin vástago se unen a potenciómetros para producir el voltaje entregado por distancia y por posición



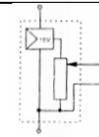
1. Sistema de medición de posición, Potenciómetro lineal
2. Seguros de parada
3. Seguidor del potenciómetro

DATOS TÉCNICOS

Diseño	Cilindro de doble acción con conector magnético	Alcance	200 mm
Longitud	480 mm	Ancho	110 mm
Altura	64 mm	Diámetro del pistón	25 mm
Peso Completo	5.2 Kg	Peso Deslizador	2.7 Kg
Medio	Aire comprimido, filtrado, no lubricado	Presión máxima de operación permitida	8 bar
Fuerza efectiva a 6 bar	200 N	Fuerza de ruptura del conector magnético	400 N

FICHA TÉCNICA: POTENCIOMETRO LINEAL

CPN005



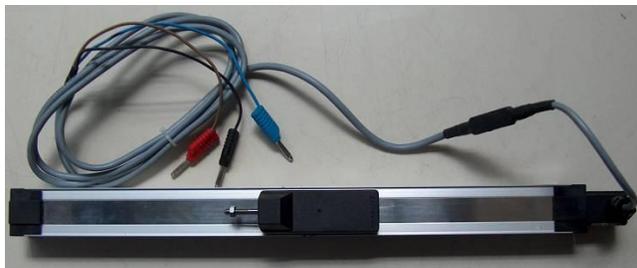
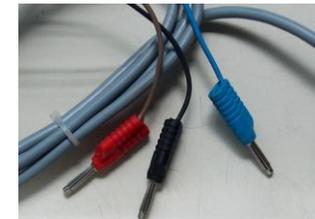
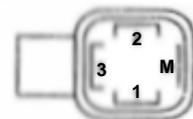
DISEÑO

El potenciómetro lineal es un potenciómetro corredizo sin barra conectora y con conexiones a cada extremo. El potenciómetro contiene un cable conector que incorpora una fuente de poder de referencia y un convertidor de impedancia.

FUNCIÓN

El potenciómetro lineal entrega una fuente de poder de voltaje de entrada que es proporcional a el voltaje entregado de acuerdo al deslizamiento del seguidor. Su material resistivo consiste de una cubierta plástica conductiva, la cual tiene la ventaja sobre otros potenciómetros de cable de tener mayor resolución y una mayor vida útil.

Asignación de cables

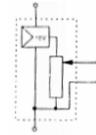


- 1 Tierra
- 2 Señal de voltaje
- 3 Fuente de poder
- 4 Pantalla

- Rojo Fuente de poder +13V...+30V
- Azul Fuente de poder 0 C
- Negro Señal + 0V...+10V
- Blanco Señal -

FICHA TÉCNICA: **POTENCIOMETRO LINEAL**

CPN005



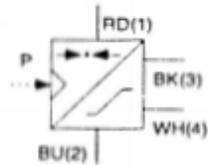
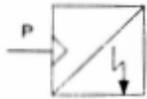
DATOS TÉCNICOS

Voltaje de operación permisible	13...30 V DC	Temperatura ambiente de operación	-30...+70°C
Resistencia del potenciómetro	5kOhms	Máximo error lineal	± 0.07% FS ⁹
Tolerancia a la resistencia	± 20%	Resolución	≤ 0.01 mm
Corriente recomendada del deslizador	≤1μA	Seguro de polaridad	Si
Trabajo efectivo eléctrico a distancia	304 mm	Resistencia de insulación (potenciómetro)	< 100MOhms a 500 V, 0.1 bar
Voltaje de salida	0...10 V DC	Fuerza dieléctrica (potenciómetro)	500 V _{rms} a 50 Hz, 1 min, 1 bar
Velocidad de ajuste	≤ 10 m/s	Fuerza del actuador (horizontal)	< 1N
Aceleración durante el ajuste	≤ 200 m/s ²	Número máximo de actuaciones	10 ⁸

⁹ FS, escala completa, full scale

FICHA TÉCNICA: **SENSOR DE PRESIÓN**
ANÁLOGO

CPN006

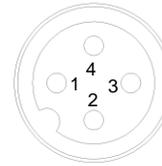


DISEÑO

Montado sobre placas para adaptar a la base didáctica, con gran sensibilidad y eficiencia

FUNCIÓN

Sensor análogo de presión es un sensor de presión relativo piezoeléctrico con un amplificador integral y construido para la compensación de temperatura en una carcasa de aluminio. La presión a ser medida actúa vía una capa de silicón en un elemento piezoresistivo. El cambio de presión producido dentro de este elemento es enviado a un amplificador como un voltaje o corriente a un conector. La salida de señal es calibrada, esto asegura que los sensores sean prontamente intercambiables.

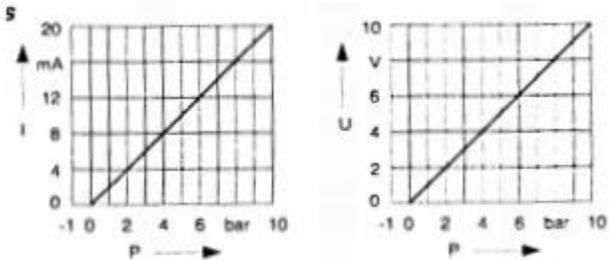


Asignación de conectores

- 1 Fuente de poder +24V
- 2 Tierra
- 3 Voltaje de salida
- 4 Salida de corriente

Conectores de acuerdo a los colores

Característica	Color de conexión	Abreviación
Fuente de poder +24 V	Rojo	(RD)
Fuente de poder 0 V	Azul	(BU)
Salida de voltaje	Negro	(BK)
Salida de corriente	Blanco	(WH)

FICHA TÉCNICA: SENSOR DE PRESIÓN		<u>CPN006</u>	
ANÁLOGO			
FUNCIÓN			
 <p style="text-align: center;">Funciones Características de sensor análogo (FESTO Didactic)</p>			
DATOS TÉCNICOS			
Rango de medición de presión ¹⁰	0 ... 10 bar	Temperatura fluctuante del punto cero	< 0.3 % del valor de la escala total/10 K
Presión permisible máxima	14 bar	Temperatura fluctuante del valor de la escala completa	< 0.3 % del valor de la escala total/10 K
Fuente de poder	12 ... 30 V DC	Frecuencia máxima	100 Hz
Onda residual de UB	10% de acuerdo con DIN 41 755	Medio	Aire comprimido (lubricado o no lubricado)
Consumo de corriente	Con salida de corriente aproximada 35 mA	Temperatura ambiente de operación	0...85°C
	Con salida de voltaje aproximada 15 mA	Rango de compensación	10 ...70°C
Resistencia a la carga	Salida de corriente máx. 300 Ohms. RB<=(UB: -3 V)/30 mA Voltaje de salida 4 KOhms máx.	Temperatura de almacenamiento	-25...125°C
Error total	± 1% del valor de la escala total		

¹⁰ El sensor también puede entregar una señal de presión < 0 bares. La linealidad y la proporcionalidad no puede se garantizada en este caso.

FICHA TÉCNICA: **RESERVORIO**

CPN007



DISEÑO

El reservorio está equipado con un sistema de retención de liberación rápida.

FUNCION

El reservorio puede ser utilizado para las siguientes funciones

- Generación de presiones estáticas con la ayuda de una válvula de control de flujo de una sola vía, (válvula check)
- Generación de un atraso mayor en conjunto con la demora de tiempo y las válvulas de control de flujo
- Compensación de fluctuaciones de presión
- Compensación de caídas rápidas de presión
- Creación de un sistema controlado con un atraso de primer orden (PT1)

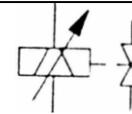


DATOS TÉCNICOS

Medio	Aire comprimido, filtrado (lubricado o no lubricado)	Rango de presión	0... 16 bar
Diseño	Recipiente a presión soldado	Rango de temperatura	Depende de la tubería o mangueras usadas
Conexiones	A cada extremo: G ¼; LCU para tubería plástica PUN 4*0.75	Materiales	Latón pintado
Capacidad	400 ml	Peso	730 g

FICHA TÉCNICA: VALVULA PROPORCIONAL 5/3

CPN008



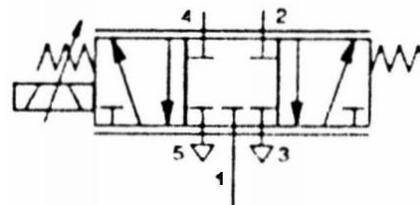
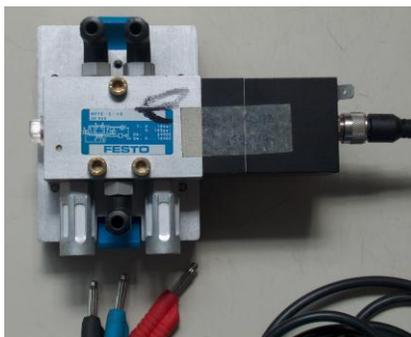
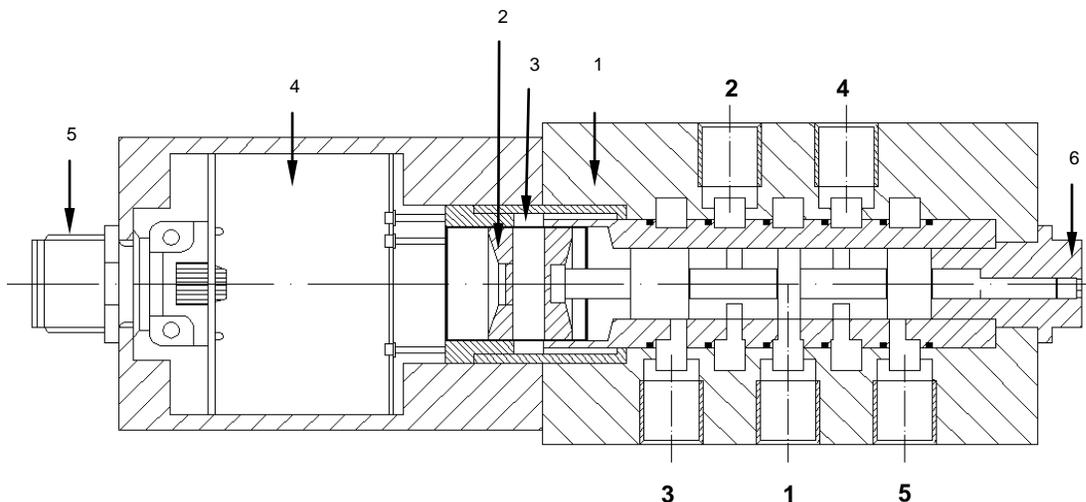
FUNCIONES BÁSICAS

1	Válvula 5/3
2	Armadura del seguidor-diafragma
3	Sensor
4	Electrónica de la válvula
5	Conexiones eléctricas
6	Tapa de válvula para desahogo

DISEÑO

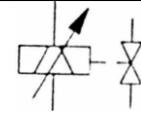
La válvula proporcional MPYE-5-1/8 (clasificación FESTO) está montado sobre una base lista para conectar al tablero didáctico. La válvula está equipada conectores de ingreso y dos silenciadores, los componentes principales de una válvula proporcional son:

- Una válvula neumática 5/3 de diseño de diafragma (diafragma), cerrado en su posición media (1)
- Una armadura posicionadota (2) la cual dirige la posición del diafragma
- Un sensor (3) para medir la posición del diafragma
- Integrados electrónicos (4) para controlar la posición del diafragma



FICHA TÉCNICA: VALVULA PROPORCIONAL 5/3

CPN008



FUNCIÓN

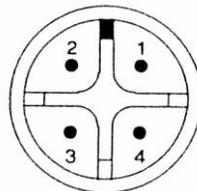
La válvula de control proporcional convierte una señal eléctrica de entrada analógica en una apertura adecuada en la sección transversal en la salida. En la mitad del voltaje nominal, por ejemplo 5 V, la válvula asume la posición media neumática, en la cuales los controladores extremos están cerrados, no puede pasar ningún flujo de aire excepto las fugas mínimas. A 0 y 10 V respectivamente, la válvula asume uno de los dos extremos, con la máxima apertura de la sección transversal.

Una armadura-émbolo realiza el movimiento de seguidor en el diafragma neumático que actúa como un transductor electromecánico. Un control electrónico integral en el diafragma de movimiento, permite buenas características obtenidas, ya sea en el estado estático y dinámico, los cuales son reflejados en la histéresis baja (debajo de 0.3%), tiempos cortos de actuación (generalmente 5 ms y máxima frecuencia aproximada de 100 Hz. La válvula en este caso conveniente se usa como elemento de control en conjunción con un controlador de posición de alto nivel para el posicionamiento de un cilindro neumático.

Si el diafragma de la válvula se daña, por polvo o suciedades, la tapa de la válvula puede ser removida y el diafragma liberado a mano.

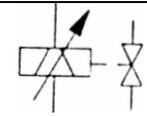
Conexión eléctrica

Pin	Conexiones	Conector
1	Fuente de poder +24 V	Rojo
2	Fuente de poder 0 V	Azul
3	Señal de voltaje	Negro
4	Señal de tierra	Blanco



FICHA TÉCNICA: VALVULA PROPORCIONAL 5/3

CPN008



Medio	Aire comprimido, microfiltrado sin lubricar	Voltaje de setpoint análogo	0 a 10 V DC
Rango de temperatura del medio	+5 a 40 ° C, no condensado	Valor nominal en la posición neumática intermedia	5 V DC
Conexiones neumáticas	G 1/8	Resistencia de entrada	70 KOhms
Conexiones eléctricas, seguro de polaridad	Conector SIE-GD N° 18494 (FESTO)	Ciclo de suciedad de acuerdo con VDE 0580	100 %
Apertura nominal	6 mm	Grado de protección de acuerdo con la DIN 40.050 en conjunción con el conector SIM-GD 18.494	IP 65
Presión de operación, valor nominal	6 bar	Frecuencia límite (-3dB) a P _{max} y con la válvula en camino de 20% a 80%	100 Hz
Presión de operación, máximo valor	10 bar	Tiempo de actuación a P _{max} y con la válvula en camino de 20% a 80%	5 m/s
Rango de fluido a presión nominal, valor máximo	700 l/min	Histéresis relativa a la posición de la válvula	0.3 %
Voltaje de operación, valor nominal	24 V DC	Linealidad relativa a la posición de la válvula	1 %
Consumo de energía, posición intermedia de pistón	2 W	Longitud	129 mm
Consumo de energía, valor máximo	20 W	Ancho	45 mm
Diámetro	5.5 mm	Altura	26 mm
Peso	0.32 Kg	Conexiones neumáticas	3* G 1/8; LCU para tubería plástica PUN 4*0.75

OBJETIVOS PRÁCTICOS

Los circuitos de control de control proporcional o circuitos de lazo cerrado toman su importancia en la automatización desde que los procesos se volvieron más exigentes y precisos. No se puede proceder en la actualidad sin controladores de procesos, que para habilitar su eficiencia y economía tienen que ser en serie.

Las industrias juntan el tiempo con el dinero invertido, siempre buscar sistemas fiables (a prueba de fallas) eficaces y sencillos en su utilización y mantenimiento, es por esto que la neumática proporcional junta estos elementos para el control y el mando de procesos simples y complejos.

Los ejemplos en procesos para la neumática proporcional es innumerable, ejemplos de industrias que lo utilizan son:

- Automotriz
- Balanceados
- Lácteos
- Farmacéuticas
- Diseño y construcción
- Bancos de pruebas industriales

Se utiliza el control de lazo cerrado para el control de la temperatura en una piscina de inmersión, para el control de la inyección en el formado plástico, en la pasteurización de leche, en la cocción de alimentos para embutidos o conservas, en Matricería, En pruebas de alineación y balanceo, etc.

La Neumática en el control proporcional cumple su función por calidad y economía, sin embargo para procesos grandes, con gran cantidad de caudal y presión, se utilizan válvulas proporcionales hidráulicas 5/3.

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN DE SISTEMAS Y PRÁCTICAS DE CONTROL PROPORCIONAL.

5.1 FLUIDSIM®

FluidSIM® 3.6 es el Software de FESTO DIDACTIC® que tiene como fin emprender cursos de enseñanza y aprendizaje en los cursos de neumática básica, Electro neumática básica y avanzada y el Control de lazo cerrado, todo esto mediante imágenes, videos y simulaciones de circuitos en el cual el estudiante puede ir aprendiendo desde un nivel básico hasta el control proporcional y retroalimentación.

Los circuitos presentan excelente visualización de sus componentes y de las variables a ser auditadas, especialmente las funciones características de la mayoría de válvulas y la posición y tiempo de actuadores variados.

El software es una de las mejores plataformas en el mercado de la enseñanza para instituciones técnicas básicas y la investigación en instituciones superiores.

En la actualidad FluidSIM® 3.6 no se encuentra en el mercado, empezará su venta en el mes de Junio del 2005. La versión FluidSIM® 3.5 se utiliza en este momento como demostración de los elementos de esta plataforma, la desventaja de este sistema es que no contiene los elementos necesarios para simular el control proporcional o control de lazo cerrado

Para mayores referencias de este Software ver tabla de anexos y CD Didáctico

5.2 FLUIDSIM® 3.5 , FUNCIONAMIENTO Y PROPIEDADES

Para observar funcionamiento, aplicaciones y propiedades del sistema referirse a tabla de anexos y CD Didáctico (Versión estudiantil)

5.3 FLUIDSIM® 3.5, GRÁFICAS, VIDEOS Y SIMULACIONES NEUMÁTICAS

Para observar funcionamiento, aplicaciones y propiedades del sistema referirse a tabla de anexos y CD Didáctico (Versión estudiantil)

5.4 MODELACIÓN

Los subcapítulos anteriores muestran el software de FESTO® como una excelente herramienta para la simulación y análisis de sistemas Neumáticos.

A continuación observaremos las pruebas prácticas de control proporcional o CLC realizadas con equipo perteneciente al Colegio Técnico “UNE” de Quito, todos estos laboratorios o prácticas para el estudiante se encuentran descritos en los siguientes subcapítulos en el siguiente orden:

Practica:

- Tema y objetivos a alcanzar
- Aspectos técnicos
- Ejercicio práctico
- Equipo¹¹
- Elaboración de la práctica
- Respuestas

¹¹ En algunas prácticas no se utiliza todos los equipos listados debido a la falta de los mismos, pero siempre se busca sustitutos para simular iguales condiciones

Los ejercicios se basan en prácticas y modelaciones de Neumática Básica (FESTO®), Control de lazo cerrado (FESTO®) y procesos industriales reales.

El objetivo de todas las prácticas no es únicamente mostrar el uso en la industria y en fin de procesos, la principal meta a alcanzar es entender el funcionamiento exacto de cada uno de los elementos necesarios para realizar la retroalimentación de variables y el control proporcional de actuadores.

5.4.1 PRÁCTICAS DE SISTEMAS BÁSICOS EN LAZO CERRADO

Las prácticas de laboratorio se pueden observar en la tabla de anexos, el equipo correspondiente se puede observar en la tabla de anexos y las respuestas únicamente pueden ser vistas por el profesor guía.

5.4.2 PRÁCTICAS DE SISTEMAS INDUSTRIALES EN LAZO CERRADO

Estas prácticas hacen referencia a las prácticas de control de lazo cerrado dinámico, es decir que tienen retroalimentación propia

Las prácticas de laboratorio se pueden observar en la tabla de anexos, el equipo correspondiente se puede observar en la tabla de anexos y las respuestas únicamente pueden ser vistas por el profesor guía.

5.5 PRÁCTICAS DE SISTEMAS INDUSTRIALES EN LAZO CERRADO

Las siguientes prácticas hacen referencia a los laboratorios en los cuales se controlan la posición, son útiles para el entendimiento de las combinaciones del

controlador PID y del controlador de estatus. Son prácticas más elaboradas y con mayor análisis de las funciones características de las variables.

Las prácticas de laboratorio se pueden observar en la tabla de anexos, el equipo correspondiente se puede b́oxer en la tabla de anexos y las respuestas únicamente pueden ser vistas por el profesor guía.

5.5.1 PRÁCTICAS DE SISTEMAS INDUSTRIALES EN LAZO CERRADO

Practicas para el uso general de los elementos, se utilizan todas las combinaciones de los equipos y todas las válvulas y actuadores estudiados en el proyecto

Las prácticas de laboratorio se pueden observar en la tabla de anexos, el equipo correspondiente se puede b́oxer en la tabla de anexos y las respuestas únicamente pueden ser vistas por el profesor guía.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS FINANCIERO

6.1.1 MATRIZ DE DECISIÓN PARA COMPARACIÓN DE ELEMENTOS INDUSTRIALES Y DIDÁCTICOS

La siguiente matriz muestra la comparación en diferentes aspectos de los elementos principales de un banco de pruebas de control proporcional o de lazo cerrado. Todos los aspectos fueron tomados de acuerdo a manuales y experiencia práctica en el armado de equipos similares.

ELEMENTOS	COSTO		SEGURIDAD		MANTENIMIENTO		PRECISIÓN		ESPACIO A UTILIZAR		ENSAMBLE		VIDA ÚTIL	
	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL	DIDÁCTICO	INDUSTRIAL
Tubería PU-4	2	5	5	3	5	3	5	4	5	4	5	4	5	3
Distribuidor de pulsador rápido, 3/2 rápido	3	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	3	4	5
Bloque de distribución eléctrico	3	5	4	3	5	3	5	4	5	3	5	3	5	4
Válvula de panel montada 3/2	3	4	5	3	5	3	4	4	5	3	5	4	5	5
Válvula de una sola vía, check	3	5	5	4	4	3	4	4	5	3	5	4	4	5
Galga de presión	4	4	5	5	3	3	4	4	5	5	5	5	3	3
Manómetro	3	5	5	5	3	3	4	4	5	5	5	4	5	5
Unidad de mantenimiento	2	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4
Válvula NC solenoide 3/2	3	4	5	5	3	3	4	4	5	4	5	4	4	5
Reservorio	4	5	5	5	5	4	4	3	5	4	5	3	4	5
Sensor de presión analógico	4	4	5	5	3	3	5	4	5	5	5	3	4	5
Válvula proporcional 5/3	3	4	5	5	2	2	5	5	5	4	5	4	4	5
Válvula solenoide 5/3, NC en posición normal	4	4	5	4	3	3	5	4	5	4	5	4	4	5
Comparador	3	4	5	4	5	4	4	3	5	4	5	4	5	3
Controlador PID	3	5	5	4	5	4	4	3	5	4	5	4	5	3
Regla 350 mm	1	5	5	4	5	5	3	3	5	5	5	4	4	4
Porta pesas	2	5	5	3	5	5	3	3	5	5	5	4	4	4
Actuador lineal de 200 mm	3	4	5	5	3	2	5	5	5	5	5	4	4	5
Set de montaje para potenciómetro	4	4	5	3	4	5	5	4	5	5	4	4	4	4
Controlador de estatus	3	5	5	4	5	4	4	3	5	4	5	4	5	4
Potenciómetro lineal	4	5	5	3	5	5	5	3	5	4	4	5	4	5
Kit de montaje para actuador lineal	2	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
Juego de cables (Diferentes colores y longitudes; 98 cables, enchufe: 4 mm)	3	5	5	3	2	5	5	4	5	5	5	3	5	2
Soporte para cables	2	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	3	3
Compresor (800 KPA; 8 BAR MAX)	4	4	5	5	4	4	5	4	5	4	5	5	4	5
Fuente de alimentación (salida=24 V, I=5A max. V: 230,110 V)	2	5	5	5	3	5	4	4	5	4	5	4	5	4
Bastidor	3	5	5	4	3	3	4	4	5	5	5	5	4	4
Puesto de trabajo estacionario	2	5	5	3	2	5	5	4	5	5	5	4	5	3
Cajeros extraíbles	4	5	5	3	2	5	5	3	5	5	5	4	5	3
	3,0	4,6	5,0	4,0	3,9	3,9	4,4	3,8	5,0	4,4	4,9	4,0	4,3	4,1
	2do	1ro	1ro	2do	1ro	1ro	1ro	2do	1ro	2do	1ro	2do	1ro	2do

Fig. 6.1 Matriz de decisión para la selección y comparación de elementos de un banco de pruebas de control proporcional Festo Didactic y un híbrido industrial

En la matriz arriba mostrada obtenemos las siguientes conclusiones

- Los elementos de un banco de pruebas didáctico deben ser más llamativos y sobre todo tener la cualidad de comprometer al estudiante en un mejor entendimiento de su funcionamiento, esto lo encarece en comparación con los elementos industriales. Los elementos que pueden ser fabricados localmente como la placa de aluminio para los dispositivos, el mueble para el ensamble de elementos y los cajones para organizar son mucho más económicos que los importados, además varios accesorios también pueden ser fabricados localmente, especialmente los que sujetan los elementos a la placa del banco.

- La seguridad es muy importante en el uso diario de un equipo de pruebas, desde paradas de emergencia hasta fugas que pueden afectar al operador, en este aspecto los elementos fabricados didácticamente son estudiados para evitar cualquier tipo de accidente, usualmente los materiales usados en los elementos para manejar los dispositivos eléctricos son plásticos, esto a la vez encarece el dispositivo, pero garantiza la seguridad del operario.
- El mantenimiento es más cómodo en un dispositivo industrial, eléctrico y mecánico (excepto con válvulas y actuadores lineales) por varias razones, tiene un mejor acceso a sus componentes, integrales más grandes y comprensibles y no tienen una garantía extendida en la cual el elemento no se puede reclamar por ser abierto o manipulado (ventaja de los elementos didácticos).
- El control proporcional se utiliza para procesos precisos y eficientes, es por eso que cualquier factor externo afectaría a cada uno de sus elementos, perdiendo el compromiso de la meta a obtener, los elementos industriales “pueden” tener cierta tolerancia a la falla instantánea afectando a la práctica o a los resultados que se quieren obtener.
- Los elementos didácticos (actuadores y válvulas) son más pequeños y compactos, razón de su precio, sin embargo los dispositivos industriales pueden ser modificados para que se utilice un espacio coherente a su funcionamiento. El mueble y estanterías pueden ser realizados de acuerdo a especificaciones y podrían ocupar el mismo espacio físico que un didáctico importado
- El ensamble es un factor en el que el didáctico es mucho más cómodo que el híbrido industrial, ya que sus acoples, ganchos y bases desmontables son ligeros y fáciles de colocar, hasta en equipos diseñados para la tercera dimensión. Todos los accesorios industriales pueden ser montados de acuerdo a especificaciones pero utilizando métodos más funcionales y menos vistosos, tienen seguridad en el movimiento de los elementos pero tomarían más tiempo el armarlos.

- Los elementos industriales están diseñados para ambientes perjudiciales, incluso ambientes contaminantes, es por esto que son más resistentes al polvo, humedad, grasa y suciedad, aumentando su vida útil, sin embargo esto es únicamente aplicable para ambientes no controlados, en el laboratorio se tiene un ambiente limpio, sin mucha humedad y con el mantenimiento necesario los elementos no se afectarán y tendrán la misma vida útil los elementos industriales y los didácticos, excepto en los accesorios, en los que los didácticos tienen ventaja.

El aspecto con mayor peso en la comparación es el costo del equipo, sin embargo tomando en cuenta cada uno de los aspectos que cuentan para la adquisición de un nuevo equipo es de mayor validez un banco de pruebas completamente didáctico, no solamente por su garantía y vida útil, sino por las ventajas en el apoyo técnico de los proveedores y en futuras implementaciones de este tipo. Además el sistema didáctico tiene elementos de calidad en su método de enseñanza y ayuda al estudiante. Si bien es cierto que se puede construir un banco de pruebas nacional con aplicaciones correspondientes a nuestra industria, no tendrían demasiadas ventajas sobre uno construido.

6.1.2 JUSTIFICACIÓN DE ADQUISICIÓN DE BANCO DE PRUEBAS NEUMÁTICO DE CONTROL PROPORCIONAL

Este proyecto como estudio justifica la compra de un banco de pruebas de control proporcional, enseña la importancia en la industria del control de lazo cerrado, las infinitas aplicaciones y los campos en los que se desenvuelve.

La fuente del conocimiento para una institución educativa como la ESPE no tiene precio, ya que su objetivo principal es dar a conocer al estudiante los elementos básicos para que un excelente profesional constituya un apoyo importante a la mejora y el progreso de nuestro país. Es por esto que existen dos opciones de adquisición de este equipo, al revisar la matriz de decisión anterior existen

similitud de características entre un banco didáctico y uno híbrido industrial, sin embargo al analizar las ventajas y futuras aplicaciones se optó por un equipo didáctico, no solamente por su garantía y vida útil, sino por sus ventajas para futuras implementaciones y técnica de enseñanza hacia el estudiante.

Aquí se enlistan algunas de las razones que justifican la compra del banco de pruebas de control de lazo cerrado o control proporcional:

- Aseguramiento de los conocimientos básicos de neumática y electroneumática
- Conocimientos de mandos de control, base principal de los procesos industriales avanzados
- Enseñanza del funcionamiento detallado de cada uno de los elementos (actuadores y válvulas) que componen el banco de pruebas
- Funcionalidad de los procesos, arreglos y diseños de nuevas prácticas de laboratorio para el entendimiento de la realidad del uso de estos nuevos conceptos

El costo del equipo se detalla en la proforma entregada por Festo Didactic Alemania y se puede observar en la tabla de anexos N°

El equipo no necesita ninguna instalación, es un equipo de enchufe rápido, para la mantención del equipo es necesario únicamente mantenimiento y un seguro en caso de cualquier inconveniente.

No es necesario contratar a un laboratorista especializado en este tipo de conceptos, la guía básica de esta tesis y el manual del usuario del equipo son suficientes.

El banco de pruebas no sería aprovechado únicamente por estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica sino también por estudiantes de otras facultades

como Ingeniería Electrónica por sus aplicaciones en las técnicas de mando, por lo tanto la oferta del paquete educativo de la ESPE para nuevos estudiantes sería más atractivo y consistente.

El estudio del control proporcional no es tema de estudio en ninguna Facultad de Ingeniería Mecánica existente en el país, la tecnología es aplicada en la mayoría de industrias donde la automatización es el método principal de sus procesos, es por esto que los estudiantes se beneficiarían del apoyo técnico y del respaldo conceptual de este tipo de equipos.

Prestar servicios a otras unidades educativas, es un beneficio para la ESPE ya que el préstamo de maquinaria asegura el reemplazo a nuevos bancos de prueba con tecnología de punta.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- 1) La importancia del conocimiento del control de sistemas está en sus bases, en el estudio básico de la tecnología que lo involucra, no se puede entender el funcionamiento de cada uno de los dispositivos del control proporcional o lazo cerrado sin primero ingresar al conocimiento de las variables, retroalimentación, atrasos de señales y variación de funciones características, es concluyente y necesario un estudio primario como lo es este proyecto para el entendimiento de la mayoría de aplicaciones en la neumática proporcional.
- 2) El uso en la industria es la meta principal del estudio técnico, llevar al estudiante a conocer las ilimitadas aplicaciones en las que la neumática proporcional llega a ser primordial. El uso de la Neumática garantiza un proceso preciso, seguro y de grandes prestaciones de seguridad personal y disminución de la contaminación. El proyecto indica las funciones de cada uno de los dispositivos de control, los actuadores especiales y otras posibles aplicaciones futuras en el ámbito del control de mando. La automatización de procesos y la verificación de cada uno de ellos es posible por medio de este tipo de control.
- 3) La mayoría de los dispositivos industriales de control ya están dispuestos o armados desde la fuente, allí es donde se tiene una gran oportunidad en el mercado, diseñar y mejorar los sistemas de mando, haciéndolos más versátiles y adaptar su uso a cualquier medio necesario.

- 4) El detalle de la técnica de control proporcional en el presente proyecto dan la noción de la calidad de esta tecnología y la muy posible futura enseñanza en la Facultad de Ingeniería Mecánica.
- 5) Para el mejor entendimiento de la Neumática básica y Electro neumática y en la aplicación de estos en la industria se pueden utilizar todos los elementos mostrados en el CD Didáctico, aquí se puede instalar el FluidSIM 3.5 versión estudiantil, importante herramienta para conocer y analizar las técnicas antes citadas.
- 6) El CD Didáctico muestra toda la teoría práctica del Control Proporcional, todos los elementos necesarios para la comprensión de esta técnica tan utilizada en los controles de mando y en la automatización, El CD muestra la teoría del control de lazo cerrado , prácticas de laboratorio y sus respectivas respuestas.

7.2 RECOMENDACIONES

- 1) El proyecto muestra la importancia en adquirir el equipo de Control proporcional para la enseñanza práctica a los estudiantes, recomendación segura para el fortalecimiento teórico y del afianzamiento del currículo de la Facultad. Es necesario conocer que la FIME puede prestar servicios de este equipo, ya que no existe un establecimiento universitario que tenga tales conocimientos prácticos, es decir bancos de prueba de control proporcional o de lazo cerrado.

2) Para la recuperación de este recurso (compra de banco de pruebas) se tomará dos métodos que son únicamente recomendaciones del cómo poder realizar un retorno de capital coherente del gasto de este equipo:

- Cobro a los estudiantes en la matrícula en cada semestre.
- Cobro a los estudiantes en la matrícula en cada semestre y prestación de servicios del equipo a otras Facultades y/o Universidades del país, reincidiendo en una disminución de cobros en matrículas futuras

ANEXOS

ANEXO 1

Práctica Nº 1

Materia:

Control de lazo cerrado neumático no dinámico

Tema:

Funcionamiento de un sensor de presión

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un sensor de presión y las variables que afectan a un sistema

Metas:

- Ser capaz de distinguir entre sensores de acuerdo a su tipo de señal
- Ser capaz de explicar el diseño y modo de operación de un sensor de presión análogo
- Ser capaz de producir y evaluar curvas función Características de un sensor
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos:**Sensor:**

Existen 3 clasificaciones de los sensores:

- Sensor binario, este produce una señal de salida que puede tener únicamente dos estatus de cambio (on/off)
- Sensor digital, produce una salida señal que corresponde a un número, credo por ejemplo por la adición de varios pulsos.
- Sensor análogo, produce una señal de salida que puede ser representada por un a curva continua (la presión de un puntero en una galga de presión (pressure gauge)).

Sensores análogos de presión^{ref.}:

El sensor transforma una variable medida, que en este caso es presión en una señal eléctrica. La presión permisible de entrada está entre 0 y 10 bar (para este caso). El sensor entrega dos variables:

- Voltaje (0...10V)

^{ref} DIN 19222, Medición y control: Instrumentación y control, terminología

- Corriente (0...20mA)

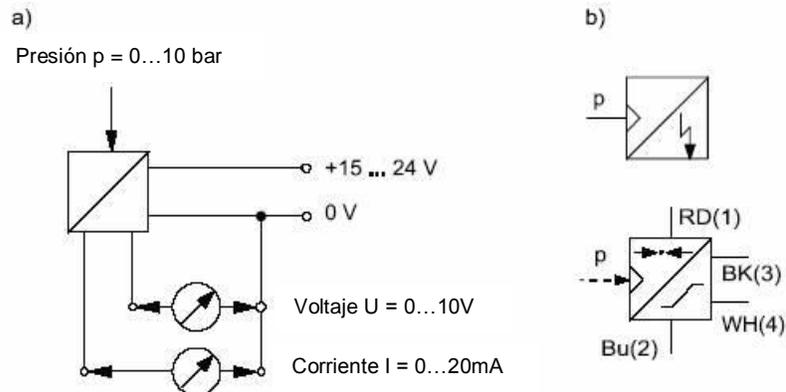


Fig. P1.1 Diagrama de conexión, símbolos neumáticos y eléctricos de un sensor de presión análogo

Función Característica:

Es una descripción gráfica de la relación entre una variable de entrada y una variable de salida. Las función Características pueden ser producidas por componentes, dispositivos o hasta por instalaciones completas. Sirven para evaluaciones y comparaciones.

- Rango de entrada: Es el rango entre los valores más pequeños y más grandes que pueden ser mostrados (I_{min} , I_{max}).
- Rango de salida: Es el rango entre los valores más pequeños y más grandes (O_{min} , O_{max})
- Rango lineal: Es la parte de la línea Función Característica que tienen una gradiente constante; en otras palabras, la Función Característica es una línea recta en el rango lineal.
- Histéresis: Medidas con un incremento en la variable de entrada son comúnmente producen una diferente Función Característica que las medidas con una disminución en la variable de entrada. Cada valor de entrada es aquella que esta asociada con dos valores de salida. La subida y la caída de la Función Característica forma un lazo de histéresis, cuya máxima divergencia, divide por el rango de entrada, da el valor de la histéresis. La histéresis H está especificada como un porcentaje y es calculado de la siguiente forma:

$$Hystéresis = \frac{Divergencia\ max \cdot 100}{Rango\ de\ entrada}$$



Para mayor información teórica referirse a SISTEMAS DE MEDICIÓN (Pág. 189)

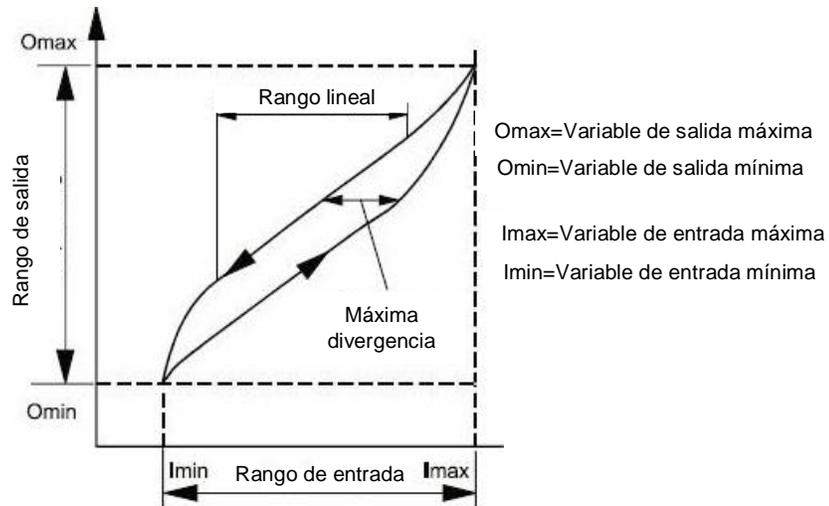


Fig. Función característica de un sistema de medición

Ejercicio práctico

El trabajo de mantenimiento de rutina es llevado en un dispositivo para engrapar. En este trabajo se incluye un chequeo de la galga de presión en la unidad de mantenimiento, tal y como se observa en la figura

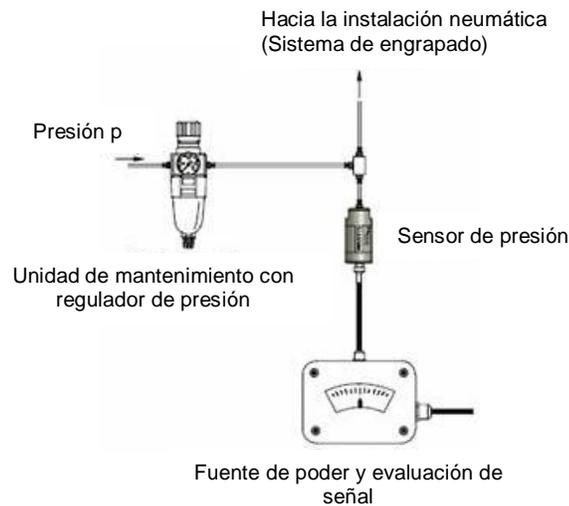


Fig. Ejercicio práctico

Equipo:

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Definición de las variables medidas y selección de un sistema de medición

- Definir las variables de entrada y salida del sistema de medición. Asumir que la presión de salida de la unidad de servicio puede ser medida. Es necesario conseguir un voltímetro para medir la señal de salida del sensor
- Seleccionar un sistema de medición en el cual se pueda manejar las señales de entrada y de salida que se definió anteriormente

2. Ensamblaje y medición del circuito

- La función de la galga de presión para cualquier dispositivo es entregado por una unidad de mantenimiento con un regulador de presión integral
- El sensor de presión es conectado directamente de la salida del aire comprimido de la unidad de mantenimiento por medio de una tubería o manguera
- La fuente de poder para el sensor de presión es de 24 V
- Un multímetro debe ser usado para desplegar el voltaje de salida del sensor
- Los terminales o conectores de la señal de entrada de la unidad son usados para conectar las conexiones del sensor

3. Graficar la Función Característica de la galga de presión

- Para producir la Función Característica para la galga de presión, la salida de voltaje del sensor de presión debe ser determinado y anotado:
- Empezar con valores desde 0 bar. Después girar la perilla de ajuste de la unidad de mantenimiento para incrementar la presión lentamente hasta que la presión de la galga especificada sea alcanzada
- Asegurar de ir directamente al valor deseado ya que no se puede regresar en el valor deseado, esto afectaría la Función Característica y la Histéresis
- Ingresar los valores en la gráfica

4. Determinar la Histéresis

- Determinar la divergencia máxima entre las dos curvas de medición
- Calcular la histéresis con la ayuda de la ecuación de histéresis

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 2

Práctica Nº 2

Materia:

Control de lazo cerrado neumático no dinámico

Tema:

Funcionamiento de un comparador en la activación de unas tenazas para soldar

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un comparador y la propósitos en un sistema

Metas:

- Ser capaz de describir la operación de un comparador
- Ser capaz de modificar los setpoints y las diferencias de la perilla de mando
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos:**Comparador**

Un comparador compara dos voltajes análogos uno con el otro. Un voltaje forma el setpoint y es comparado con el voltaje de entrada. La salida del comparador es energizada de acuerdo al resultado de la comparación. Un cambio positivo en el comparador muestra el siguiente comportamiento:

- La salida es dispuesta cuando la señal de entrada excede el setpoint
- La salida es dispuesta cuando la señal de entrada cae por debajo del setpoint

Un cambio negativo en el comparador se muestra en el lado opuesto.

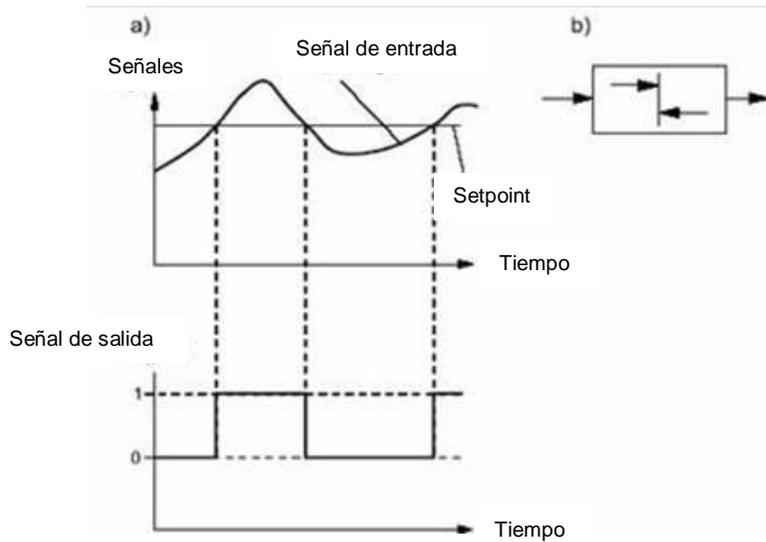


Fig. Modo de operación y simbología de un comparador de cambio positivo

Con algunos comparadores, el comportamiento de cambio depende en cuanto es el aumento o la caída de la señal de entrada. En este caso, la salida del comparador cambia de dos diferentes valores en las señales de entrada. (Valores en conexión y corte). La diferencia entre estos dos valores de señales de entrada es conocida como diferencia cambiante (switching difference o histéresis)

Un cambio positivo en el comparador con una diferencia de cambio se observa en el siguiente comportamiento:

- La salida está en posición cuando la señal de entrada excede el valor de la conexión.
- La salida es repuesta cuando la señal de entrada cae por debajo del valor del corte

La salida de un cambio negativo en el comparador con cambio diferenciado se comporta de la siguiente manera.

Un comparador con cambio diferenciado es también conocido como un Schmitt trigger

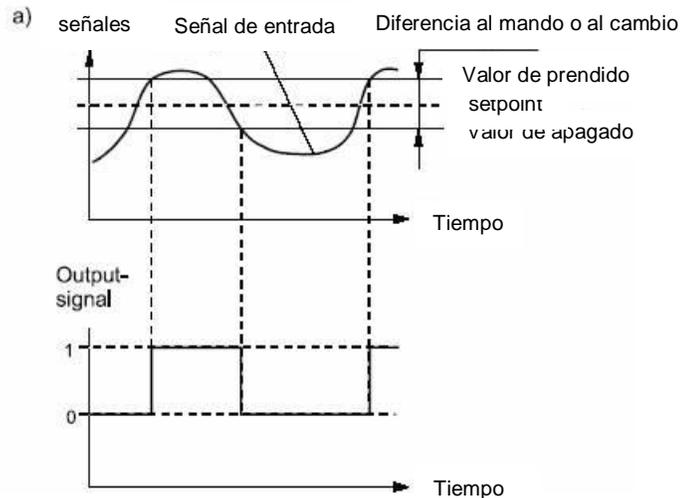


Fig. Modo de operación y simbología de un comparador de cambio positivo con diferencia de mando

Tarjeta comparadora

La tarjeta comparadora es usada aquí como dos señales de entrada (IN A, IN B), cada una de las cuales actúa como dos comparadores independientes. Las señales de salida tienen las nomenclaturas OUT A1, A2 y OUT B1, B2. La energización de las salidas se muestra con LED's

En los comparadores se deben proporcionar los siguientes voltajes

- Voltaje de disposición -10 V.....10V.
- Histéresis - V.....5 V.

Los valores de conexión y corte son definidos así:

- valor de conexión = setpoint + 1/2 histéresis
- valor de corte = setpoint - 1/2 histéresis

Los valores del setpoint y de la histéresis son seleccionados por medio de la perilla selectora. La disposición de los voltajes se realiza con una perilla de mando. Los valores pueden ser leídos en la pantalla.



Para mayor información teórica referirse a puntos de comparación (Pág. 80)

Ejercicio práctico

Planchas metálicas de diferentes espesores son alimentadas a una máquina de soldadura por puntos y son presionadas juntas por medio de una prensa neumática que ayuda en la colocación de las piezas para la suelda. Los espesores de las planchas son medidas por sensores.

Para prevenir agujeros por quemaduras durante la suelda. La fuerza de la prensa debe variar de acuerdo al espesor del material.

La presión de la prensa es proporcional a la presión a la cámara donde se encuentra el cilindro. La presión en el cilindro es medida para comprobar la fuerza de la prensa. Un sensor de presión mide la presión instantánea y entrega una señal de voltaje correspondiente a un comparador. Esta evaluación se realiza siempre y cuando la prensa se encuentre dentro del rango permisible de histéresis:

- Tanto como el límite superior permisible por la prensa sea excedida, la luz indicadora se encenderá.
- La luz permanecerá encendida hasta que la fuerza de la prensa caiga nuevamente del límite superior permisible.

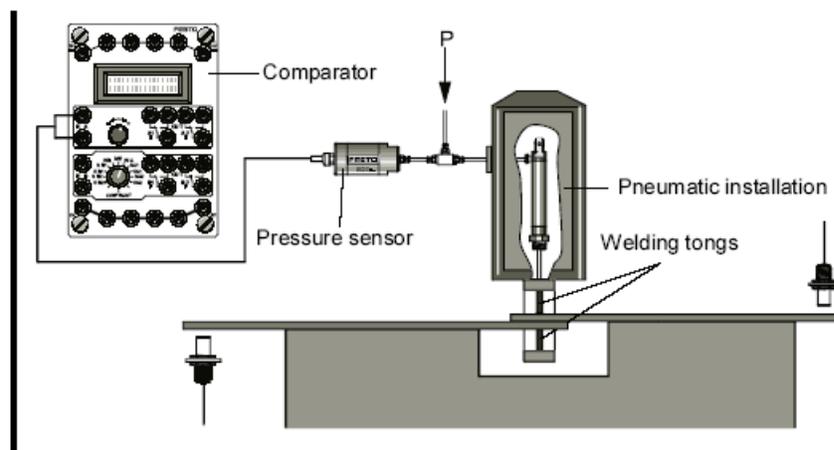


Fig. ejercicio práctico

Equipo:

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Cálculo de los setpoints y los diferencias en los cambios

La gran fuerza de las tenazas (tonga) corresponde en cada caso a cierta presión en el cilindro. Un sensor de presión mide esta presión de cámara y genera un voltaje de salida correspondiente al voltaje de salida. El primer paso debe ser determinar la relación entre la fuerza de las tenazas permisible y el voltaje de salida del sensor

Fuerza de las tenazas = Fuerza del cilindro

$$Fuerza.del.cilindro(N) = \frac{Presión.cámara(bar).diámetro.pistón^2(mm^2).\pi}{40}$$

$$P_{cámara} = \frac{40.F_{cilindro}}{D_{pistón}^2 .\pi}$$

2. disposición de los setpoints y las diferencias en los cambios de conexión y corte

Estos serán determinados en la tarjeta comparadora como sigue:

- Ensamblar el circuito eléctrico
- Conectar la fuente de poder
- Disponer el selector a "S A1"
- Girar la perilla selectora hasta que el setpoint calculado se muestre en la pantalla
- Disponer el selector a "H A1)
- Girar el potenciómetro hasta que la diferencia de conexión y corte se muestre en la pantalla

Los controladores A2 y B1 deben ser seteados de la misma manera

3. Dibujar el circuito neumático y eléctrico

4. Ensamblar el circuito de prueba y chequear los cambios en los valores

- Ensamblar el circuito previamente dibujado
- Prender la fuente de poder
- Disponer la perilla selectora de la tarjeta comparadora a "IN A"; el voltaje de entrada ahora será presentado en la pantalla
- Incrementar la presión lentamente desde 0 a 6 bares. Y disminuir de la misma manera, anotar los valores
- Calcular las fuerzas del cilindro para estas presiones (usando la fórmula)
- Evaluar los resultados de la prueba, comparando las fuerzas del cilindro dispuestas con las fuerzas requeridas

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 3

Práctica Nº 3

Materia:

Control de lazo cerrado neumático no dinámico

Tema:

Funcionamiento de un circuito de carga de aire o reservorio

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento del control de lazo cerrado para un reservorio

Metas:

- Explicar la diferencia entre lazo abierto y lazo cerrado
- Explicar el modo de operación de un controlador de dos pasos con una diferencia de cambio en la conexión y el corte
- Evaluar un controlador de dos pasos
- Proponer un caso práctico industrial

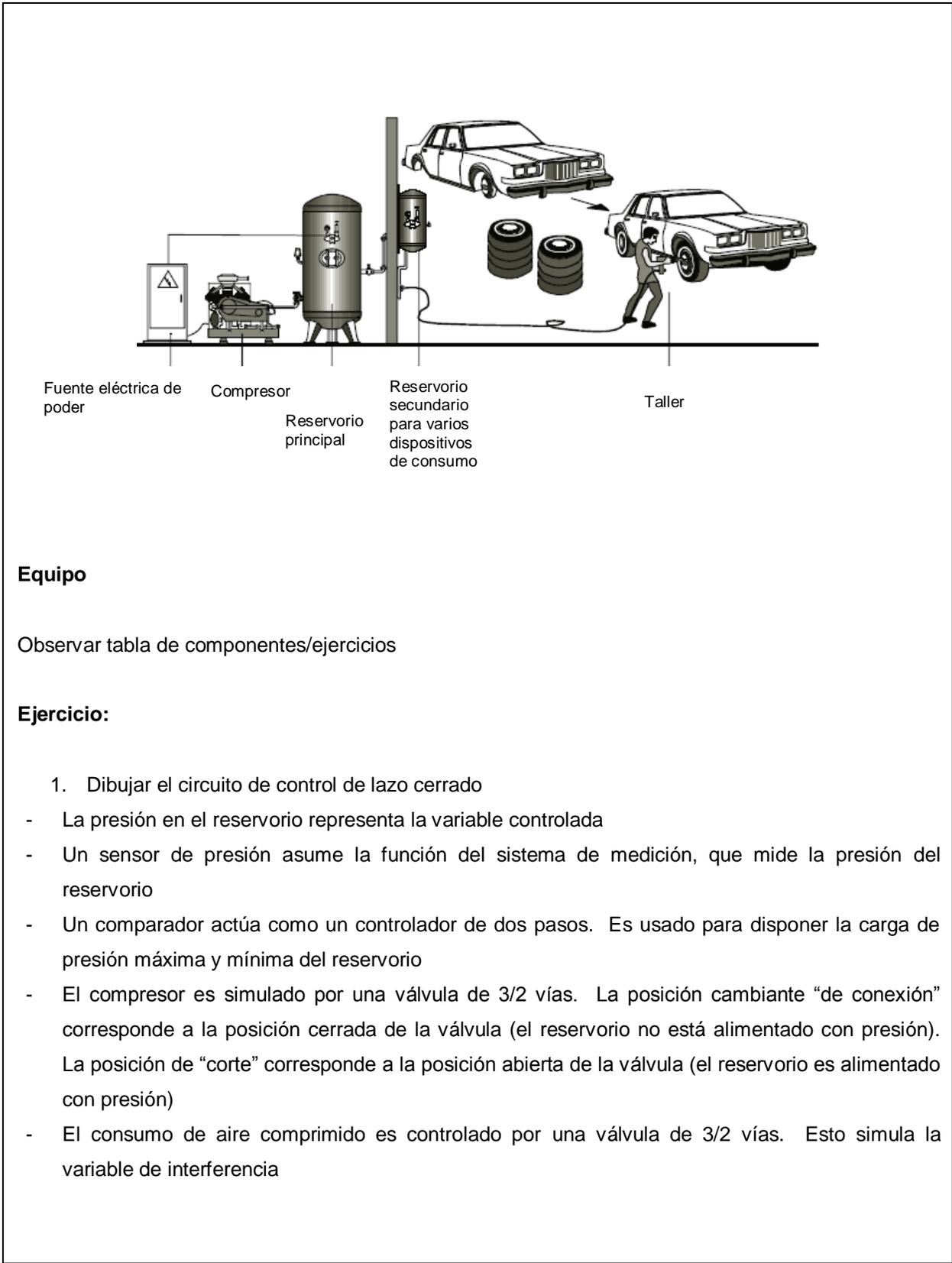
Aspectos técnicos



Para mayor información teórica referirse a **VARIABLES DE CONTROL y DIFERENCIAS ENTRE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO (Págs. 45, 46, 47, 48)**

Ejercicio práctico

Un sistema de control de presión de lazo cerrado (circuito de carga de presión con reservorio) se usa para asegurar que la presión sea constante para todas las herramientas neumáticas y para mantenerse dentro de ciertos límites. El aire comprimido es entregado desde un reservorio, el cual es alimentado por un compresor. Tan pronto como la presión de carga cae por debajo del valor mínimo, el reservorio debe ser alimentado nuevamente por el compresor. El compresor debe apagarse nuevamente cuando la presión máxima del reservorio se alcanza.



Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Dibujar el circuito de control de lazo cerrado
 - La presión en el reservorio representa la variable controlada
 - Un sensor de presión asume la función del sistema de medición, que mide la presión del reservorio
 - Un comparador actúa como un controlador de dos pasos. Es usado para disponer la carga de presión máxima y mínima del reservorio
 - El compresor es simulado por una válvula de 3/2 vías. La posición cambiante “de conexión” corresponde a la posición cerrada de la válvula (el reservorio no está alimentado con presión). La posición de “corte” corresponde a la posición abierta de la válvula (el reservorio es alimentado con presión)
 - El consumo de aire comprimido es controlado por una válvula de 3/2 vías. Esto simula la variable de interferencia

2. Ensamblar el sistema eléctrico y neumático

- La salida del rango de flujo del reservorio puede ser limitado con una válvula check abriéndola lentamente DRV1
- Más allá una válvula check DRV2 previene que el aire comprimido se escape por la válvula solenoide cuando no está actuando
- Las fluctuaciones de presión son causadas por variaciones en las condiciones del flujo. Un buen punto es a la salida del reservorio
- Conectar el osciloscopio en el circuito

3. Evaluar el circuito de control de lazo cerrado

Disponer los siguientes valores en el comparador

Setpoint = 3.5 V

Diferencia de cambio = 1 V

Disposición recomendada del osciloscopio

Tiempo = 1 s/división

Amplitud = 2 V/división

Comparar la variable corregida para la carga y la descarga del circuito

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 4

Práctica Nº 4

Materia:

Control de lazo cerrado neumático no dinámico

Tema:

Funcionamiento de un controlador de tres pasos

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador de tres pasos en un dispositivo para pruebas de neumáticos

Metas:

- Explicar el modo de operación de un controlador de acción de tres pasos
- Instalar un controlador de acción de tres pasos
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Controlador de tres pasos:

Como un controlador de dos pasos, un controlador de tres pasos está clasificado como un controlador no dinámico

Un controlador de tres pasos usa una variable de entrada para producir tres diferentes variable correctoras. Esto puede ser usado por ejemplo, para energizar una válvula solenoide 5/3. El rango entre el cambio superior e inferior es conocido como zona muerta U_t .

Los controladores de tres pasos pueden exhibir una de los dos cambios diferenciados.

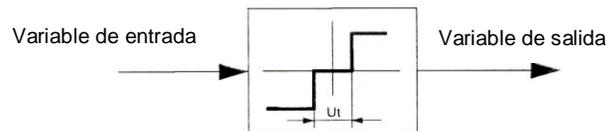


Fig. Símbolo de un controlador de acción de tres pasos

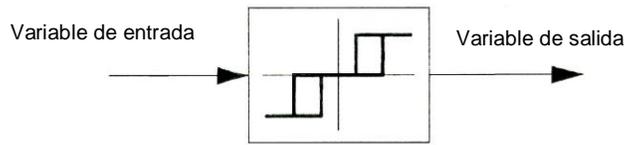
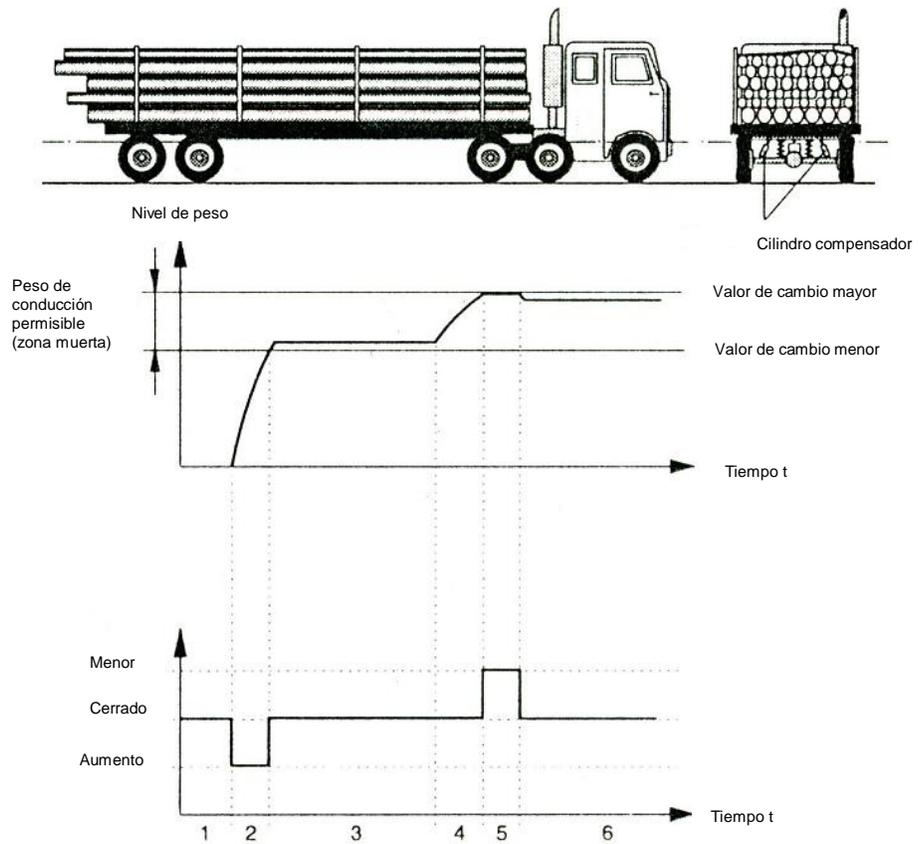


Fig. Símbolo de un controlador de acción de tres pasos con dos diferencias de cambio

La curva de tiempo para las variables corregidas y controladas de un controlador de tres pasos pueden ser explicados con una operación de alturas en el chasis de un camión. El chasis del camión puede subir o bajar con la ayuda de una válvula solenoide y dos cilindros compensadores.



Modo de operación de controladores de tres pasos

- Fase 1, El proceso del control de lazo cerrado comienza al final de la fase 1
- Fase 2, la altura del chasis está por afuera del nivel permisible. La válvula cambiante realiza un cambio a “subir” y los cilindros compensadores avanzan
- Fase 3, El nivel permisible es alcanzado. La válvula se cierra
- Fase 4, El camión es descargado, por lo cual el chasis se alza
- Fase 5, Durante la descarga, el nivel permisible es excedido. Para prevenir que el chasis siga subiendo, la válvula es cambiada a la posición “bajar” y el aire comprimido es expulsado
- Fase 6, El nivel permisible es alcanzado otra vez, permitiendo que la válvula sea cerrada

Ejercicio práctico

Las llantas de los automóviles son probadas para su resistencia en una máquina de pruebas. Las variaciones en carga y temperatura producen fluctuaciones de presión en las llantas. Un sistema controlador de presión compensa estas fluctuaciones y mantiene la presión de la llanta dentro del rango especificado.

Si el valor máximo por un tiempo dado es excedido, el aire comprimido es expulsado. Si la presión de la llanta cae por debajo del valor mínimo, el aire comprimido debe ser bombeado.

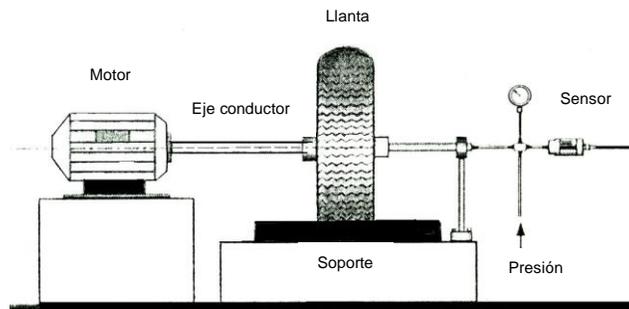


Fig. ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio

Un controlador de tres pasos es usado para monitorear la presión.

1. Armar el circuito de lazo cerrado

- la presión de la llanta representa la variable controlada
- Un sensor de presión actúa como un sistema de medición. Mide la presión de la llanta.
- La llanta es representada por un reservorio neumático
- Una válvula solenoide 5/3 es usado como elemento controlador final. Esta válvula y el reservorio forma el sistema controlado
- La fluctuaciones de presión son producidas dos válvulas de 3/2 vías

2. Ensamblar el controlador de tres pasos

- La válvula solenoide 5/3 es instalada entre la unidad de servicio y el reservorio. El puerto de salida 2 debe ser borrado
- La función de las dos válvulas SV1 y SV2 (Solenoid Valve) está definido así:
- La acción de SV1 causa que la presión de la llanta incremente
- La acción de SV2 causa que la presión de la llanta se reduzca.
- Un manómetro es colocado con el reservorio para mostrar la presión de la llanta
- Dos válvulas de paso DRV1 y DRV2 (direct run valve) regulan el flujo de aire comprimido. DRV1 es colocado con el puerto de trabajo de SV1 para prevenir una descarga del aire comprimido que va por SV1. DRV2 es colocado con el puerto 1 de SV2 para limitar el flujo volumétrico que se dirige hacia SV2 (chequear si la válvula está instalada en la dirección correcta)

La válvula solenoide 5/3 y el comparador deben ser conectados así:

- la solenoide y1 (fuente de aire) debe ser energizado cuando la presión de la llanta está por debajo del valor inferior
- La solenoide y2 (desfogue de aire) debe ser energizado cuando la presión del aire está por encima del valor superior
- Ningún solenoide debería energizarse cuando la presión de la llanta se encuentra entre los dos valores.

3. Revisar la acción del controlador de tres pasos

- Las válvulas de paso deben colocarse de la siguiente manera:

DRV1 debe estar totalmente cerrado

DRV2 debe estar cerrada a la mitad

- Prender la fuente de poder y el aire comprimido
- Disponer los valores siguientes en el comparador

Comparador A1

Valor inferior de cambio SA1=3V

Diferencia de cambio HA1=0V

Comparador

Valor superior de cambio SA2=4V

Diferencia de cambio HA2=0 V

- Hacer actuar las dos válvulas alternadamente y observar el comportamiento del cambio, notar la función Característica de los controladores de dos pasos y de tres pasos

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 5

Práctica Nº 5

Materia:

Control de lazo cerrado neumático no dinámico

Tema:

Funcionamiento de una válvula de control proporcional en una prensa neumática

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de una válvula de control proporcional

Metas:

- Ser capaz de explicar la funcionalidad de una válvula de control proporcional direccional
- Ser capaz de producir y evaluar una curva característica de presión/señal
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Válvula dinámica

Las válvulas dinámicas son usadas en fluidos para control infinito. A diferencia de las válvulas cambiantes, las válvulas dinámicas pueden asumir cualquier número de posiciones intermedias entre sus dos límites principales. Las válvulas dinámicas son clasificadas en los siguientes grupos:

Clasificación de acuerdo a su función	Clasificación de acuerdo al comportamiento dinámico
Válvula de control de presión	Válvula reguladora
Válvula de control direccional	Válvula proporcional
Válvula de control de flujo	Válvula Servo

Válvula proporcional 5/3.

Esta válvula tiene 5 puertos neumáticos y 3 diafragmas posicionadores principales. Un actuador de armadura-embolo actúa directamente sobre el diafragma de control. Estos controlan la cantidad de flujo a través de la válvula cuando está energizado apropiadamente. La válvula incorpora un control de lazo cerrado que entrega una mejora en la precisión.

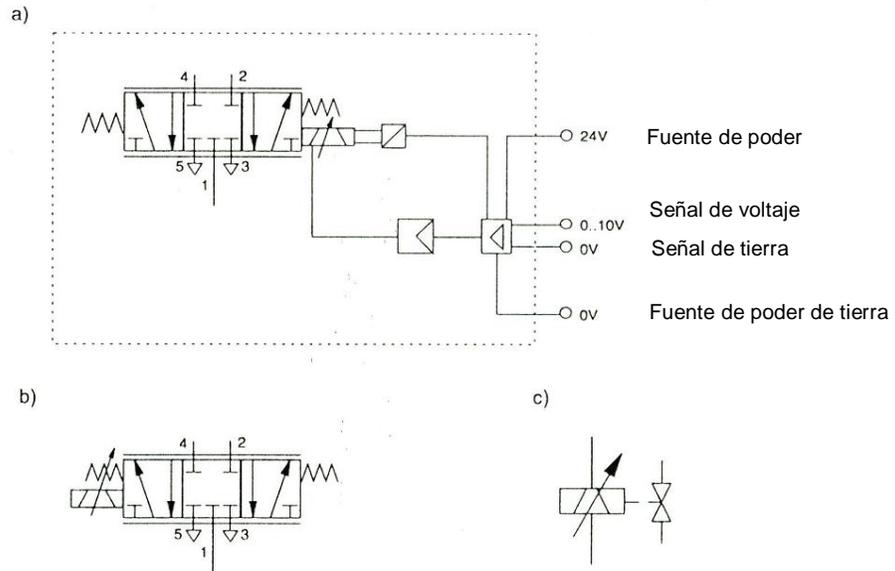


Fig. Diagrama de conexión y símbolos eléctricos y neumáticos de una válvula proporcional 5/3

Una señal de voltaje entre 0 y 10 V es usada para energizar la válvula. La relación entre el voltaje energizado y el rango de flujo es como sigue:

Voltaje energizado	Rango de flujo
0 V	Rango completo de flujo entre 1 y 2 o 4 y 5
0 ... 5V	Flujo reducido entre 1 y 2 o 4 y 5
5 V	Posición intermedia cerrada
5 ... 10V	Reducción del rango de flujo entre 1 y 4 o 2 y 3
10 V	Rango completo de flujo entre 1 y 4 o 2 y 3

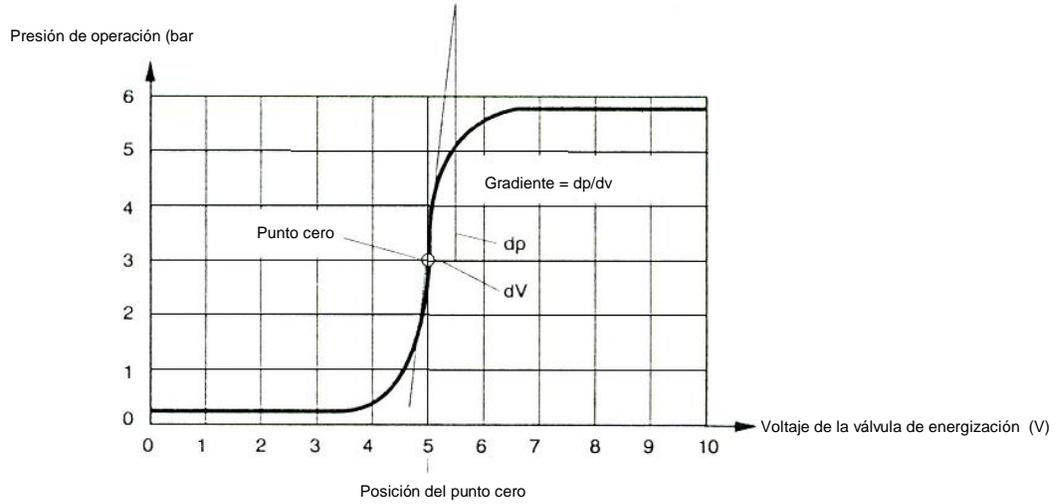
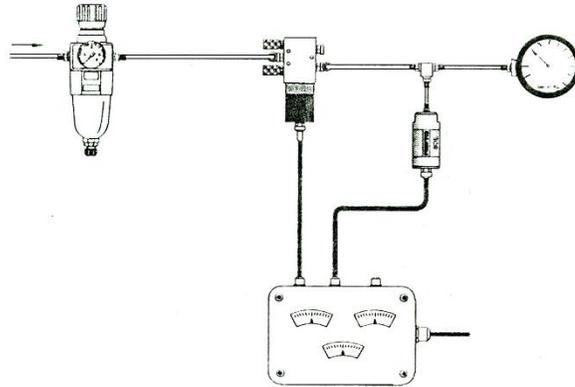


Fig. Función característica de presión-signal y de ganancia de presión

Para mayor información teórica referirse a VÁLVULA DE CONTROL DIRECCIONAL (Págs. 91...93))

Ejercicio práctico

Una prensa neumática debe estar colocada con una válvula dinámica. La característica de presión/señal es usado para evaluar la calidad. Esto debe ser determinado siempre y cuando los datos característicos estén dentro las tolerancias especificadas



Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Ensamblar el circuito de medición

- La fuente de poder de la válvula es de 24 V
- Un generador de voltaje (generador de funciones o tarjeta de setpoint) provee de una energización dentro del rango de 0 a 10 V
- La fuente de poder para el sensor de presión es de 24 V
- Un Multímetro debe ser conectado en el circuito con el punto suficiente para proveer una lectura del voltaje del sensor de salida
- Una entrada de señal es usada para desconectar los plugo de las líneas de señal

Una característica de presión/señal debe ser producida para cada puerto de trabajo de la válvula. Cuando se usa válvula dinámica es usada crea en este caso dos puertos de trabajo (2 y 4), dos características deben ser producidas

Sólo si un sensor de presión es disponible, las características deben ser grabadas consecutivamente.

Primero, el puerto 2 debe ser borrado con un conector. EL puerto 4 debe ser conectado al sensor de

presión lo que demuestra una pequeña tubería.

Después de que la primera característica fue producida, las conexiones de trabajo 4 y 2 deben ser cambiados

2. Anotar la función Característica de presión/señal

- Energizar la válvula con los valores de energización especificados
- Medir las presiones de operación y anotar los valores
- Ingresar los valores en la gráfica preparada y unir los puntos

3. Determinar los datos característicos de la evaluación de la válvula

Para el uso en una prensa neumática, la válvula de control proporcional debe tener las siguientes características en los dos puertos de trabajo

Datos característicos	Datos de tolerancias
Asimetría	< 0.5 V
Gradiente en el punto cero	> 5 bar/V
Solape ¹²	No especificado

Soluciones

Ver CD Didáctico

¹² Solape. Diferencia entre los valores mínimos y máximos en una zona de cambio de nivel

ANEXO 6

Práctica N° 6

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento del controlador PID

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador PID

Metas:

- Explicar la funcionalidad de un controlador PID
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Controlador dinámico: Los controladores de acción de tres pasos, dos pasos y multipasos casi siempre no son suficientes para proveer efectividad y eficiencia en controles de lazo cerrado. En estos casos, los controladores dinámicos son usados en ajustes pequeños para corregir la variable

Los controladores más comunes son: Controlador proporcional P, integral I y derivativo D

Estos pueden ser combinados en PI, PD o PID

Tarjeta de controlador PID

Un controlador dinámico de acción dinámica se compone de una tarjeta PID controladora. El circuito eléctrico consiste de las siguientes áreas de función

Fuente de poder

Señales de entrada

Controlador PID

Señal de salida

La tarjeta controladora requiere de una fuente de poder de 24 V. este voltaje es convertido internamente a +/- 15V y alimenta a las demás tarjetas electrónicas. Los dos voltajes son eléctricamente separados

una del otro, por ejemplo, la tarjeta controladora tiene dos potenciales cero (tierra análoga y tierra de la fuente de poder (0 V)).

La tierra análoga y de la fuente de poder deben ser conectadas juntas, ya que pueden causar interferencia en las señales. El voltaje de 15 V puede ser unido por un terminal especial. Esto puede ser usado con la tierra análoga como la fuente de poder del sensor. Esto asegura que el ruido de las señales sean reducidas al mínimo.

Cada señal de salida está provista en la tarjeta controladora para la variable de referencia y la variable controlada. Ambas señales tienen diferentes salidas, por ejemplo. Sólo la diferencia entre las señales de entrada es procesada en un paso a futuro. Esta diferencia de señal puede ser medida en comparación con la tierra análoga

Ambas señales están ubicadas con filtros para suprimir la interferencia.

Las sobrecargas son indicadas por la luz emitida por un diodo LED, una sobrecarga ocurre cuando el límite de un voltaje permisible es excedido (en este caso aproximadamente +/-10 V).

En el punto de suma siguiendo las señales de salida, la variable controlada es deducida de la variable de referencia y alimentada al controlador como una desviación.

El controlador PID como se muestra esta constituido de las tres ramas paralelas:

- Un componente proporcional
- Un componente integral
- Un componente derivativo

Las tres ramas controladoras pueden ser prendidos y apagados independientemente, permitiendo diferentes combinaciones. Las ramas de controladores individuales pueden ser ajustadas por medio de potenciómetros y de perillas.

Las señales controladas pueden ser medidas en relación a la tierra análoga en los sockets¹³ individuales de medida. Los tres puntos están unidos a un punto de suma o punto conjunto.

La señal generada por los componentes del controlador está procesada en el lado de salida para

¹³ *Socket*, Terminal de ajuste para conectar a dispositivos de medida

conectarlos a ellos al elemento de control final como se muestra. Esto es conectado hacia fuera usando una variable correcta de referencia, un limitador de voltaje y una perilla selectora de rango.

Dependiendo de su diseño, los elementos de control final requieren diferentes rangos de voltaje de energización. Las válvulas dinámicas generalmente operan en el rango de 0...10 V o -10...10 V. La perilla selectora de rango convierte la señal controladora en el rango de voltaje de energización deseado. Cualquier sobrecarga en el voltaje de salida que pueda ocurrir es indicada por un LED.

Para mayor información técnica referirse a CONTROLADOR PID (pag 107)

Ejercicio práctico

Las pruebas electrónicas al azar se realizan para medir la consistencia de la calidad en la producción de tarjetas controladoras. Estas deben indicar si las funciones requeridas están disponibles y si las tolerancias especificadas tuvieron algún mantenimiento.

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Determinación del voltaje de sobrecarga de la salida diferencial
 - Ensamblar el circuito de acuerdo al diagrama mostrado
 - Conectar la fuente de poder a la variable de referencia de entrada
 - Incrementar el voltaje lentamente de 0 hasta que el LED de la entrada diferencial se ilumine
 - Medir y anotar el voltaje
 - Ahora ajustar el voltaje en el rango negativo y anotar la sobrecarga de voltaje negativa

2. Determinación de la variable de referencia correctora
 - Para chequear la función del punto común o punto general, varios voltajes constantes son

aplicados a las salidas de la variable de referencia y variable controlada

- Mientras esto se realiza, el voltaje downstream¹⁴ del punto común es medido con el apropiado terminal. El voltaje corresponde a la desviación.
- Sólo la fuente de poder de 1 V es requerida. Los voltajes negativos pueden ser producidos para reversar la polaridad de la salida.
- Las medidas deben ser tomadas como se muestra en el diagrama abajo mostrado

3. Determinar el rango de la variable corregida

- Disponer todas las perillas y potenciómetros a cero
- Disponer la perilla selectora de rango de (-10 a 10 V)
- Girar la variable correctora de referencia totalmente hacia la izquierda y medir el voltaje de salida (variable correctora) de la tarjeta controladora.
- Girar la variable correctora de referencia totalmente hacia la derecha y una vez más medir el voltaje de salida
- Calcular la diferencia entre estos dos parámetros
- Ahora disponer la perilla selectora de rango de (0...10V) y repetir las mediciones

Las medidas deben ser tomadas como el diagrama abajo mostrado

4. Chequeo de la fuente de poder de 15 V

- Conectar el sensor de presión a la fuente de poder de la tarjeta controladora
- Conectar el voltaje de salida del sensor a la variable controlada de salida
- Conectar la conexión neumática de el sensor a la vía de aire comprimido de una unidad de mantenimiento
- Ajustar la presión hasta que la desviación se vuelve cero

Soluciones

Ver CD Didáctico

¹⁴ *Downstream*, Corriente abajo

ANEXO 7

Práctica Nº 7

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento del controlador P

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador P

Metas:

- Explicar la funcionalidad de un controlador P
- Producir y evaluar la función de transición con un controlador P
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos:

El controlador P en una tarjeta controladora

El coeficiente proporcional está disposición en la tarjeta controladora como sigue:

- Una perilla multiposición rotatoria es usada para la disposición mayor o tosca. La perilla tiene divisiones a escala de 0, 1, 10 y 100.
- La disposición fina del coeficiente se lleva con un potenciómetro de 10 giros. El potenciómetro tiene escalas infinitésimas desde 0 a 10

El producto de la disposición de las dos perillas es el coeficiente proporcional K_P del controlador P.

Formas de señal

Las señales son requeridas para realizar las mediciones y experimentos

Las tres formas de señales más usadas son:

- Señales de onda cuadrada (salto)
- Señales de onda triangular (rampa)
- Señales de onda senoidal

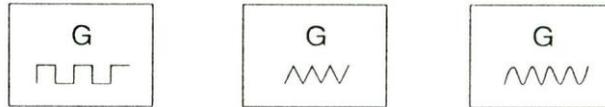


Fig. Formas de señales y los símbolos generados

La señal requerida es generada como un voltaje eléctrico por un generador de funciones. La ilustración abajo muestra las señales y sus símbolos generados.

La duración periódica y la amplitud de las señales son variables. La amplitud A es una medida del valor máximo de la señal. La duración periódica T especifica el tiempo requerido para una oscilación. La frecuencia f es generalmente usada. Esto especifica el número de oscilaciones por segundo. El desplazamiento desde el punto de referencia (el eje de tiempo en este caso).

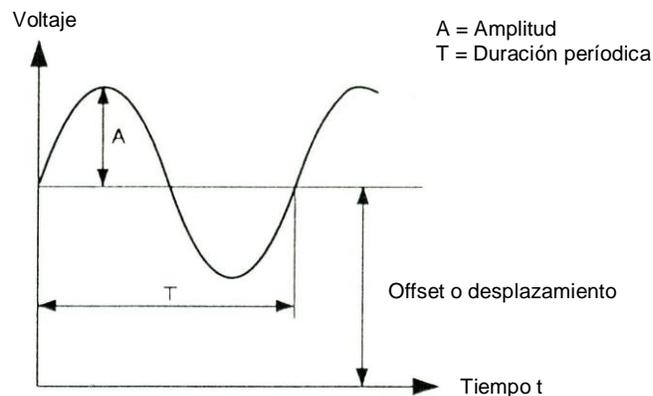


Fig. Términos utilizados para describir una oscilación de señal de onda senoidal

Ejercicio práctico

En procesos de instalación, cantidades definidas de gases son alimentados hasta ciertos puntos y mezclados conjuntamente. Un sensor de presión de plato es usado frecuentemente para monitorear este proceso. El circuito de control de lazo cerrado consiste esencialmente de un controlador P, una válvula ajustable de globo y un sistema de medición de flujo.

El sistema de medición de flujo consiste de un sensor de plato flexible, adherido a un galga de presión. La galga genera una señal de salida la cual proporciona el grado de doblamiento del plato. Cuan mayor sea el rango de flujo del gas, más se doblará el plato y mayor será la señal del sensor.

El flujo de rango volumétrico es generalmente variado por medio de una válvula globo la cual es guiada por un cilindro posicionador el cual cierra la deseada sección transversal. El controlador P en la tarjeta controladora es usado para una función de control de flujo, antes de poner esto en funcionamiento, es necesario determinar los datos característicos de un controlador

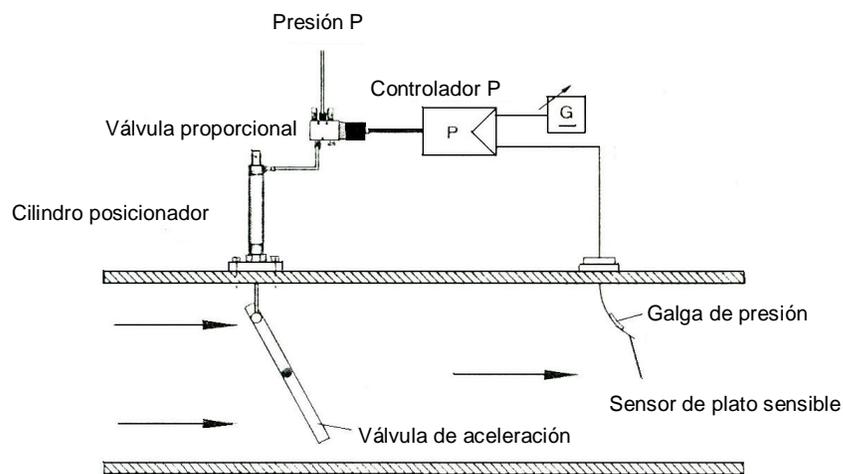


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio

1. Determinación del rango de control x_h del controlador P

El rango de control x_h es el rango de los voltajes en el cual la variable controladora puede asumir, en este caso, los correspondientes rangos definidos por la conducta estado de los voltajes positivos y negativos de el diferencial de salida, solo cuando estos voltajes son alimentados al controlador P para procesos futuros.

Este procedimiento para las mediciones del máximo estado conducta de voltaje sigue así:

- Usar el diagrama del circuito mostrado abajo. Medir la señal diferencial comparada con la tierra análoga.
- Aplicar un voltaje al diferencial de salida e incrementarlo. El máximo valor del rango de control es obtenido cuando el voltaje medido no se incrementa más allá que cuando el voltaje de salida es incrementado.
- Disminuir el voltaje y usar el mismo método para medir el mínimo valor de el rango de control

2. Determinación del rango corrector y_h del controlador P

El rango corregido y_h es el rango de voltajes en el cual la señal de salida del controlador (variable correctora) puede ser asumida

- El circuito siguiente debe ser usado para medir el rango corrector
- Disponer $K_P=1$
- Disponer la variable correctora de la desviación a cero. Los coeficientes de otros controladores deberían disponerse de (-10 a 10 V)
- Aplicar varios voltajes positivos y negativos a la variable de referencia y la variable controlada de entrada e incrementar estos.
- Medir los máximos y mínimos voltajes del rango corrector junto al controlador de salida.

3. Producción de las funciones Características del controlador P

- Ingresar los rangos x_h y y_h previamente determinados para preparar el sistema coordinado.
- Luego disponer el coeficiente de ganancia $K_P=1$
- Aplicar un voltaje positivo a la variable de salida referencial. El valor de este voltaje debe ser seleccionado para que el resultado de la variable correctora cae dentro del rango corrector.
- Medir la variable correctora e ingresar esto en el sistema de coordenadas
- Proceder de igual manera usando el voltaje negativo. Estos dos puntos de medición deben unirse para obtener la curva función Característica
- La curva función Característica debe ser producida en la misma manera para $K_P=0.1$ y $K_P=100$.

4. Producción de las funciones Características del limitador

El procedimiento para la determinación de las dos curvas función Características limitadoras se realiza de la siguiente manera:

- Ensamblar el circuito de medición especificado
- Disponer la variable correctora de desviación a cero
- Disponer el coeficiente proporcional de $K_P=1$ sobre el controlador P. Los coeficientes de los otros dos controladores deben ser dispuestos a cero.
- Aplicar los voltajes especificados sobre la hoja de trabajo a la entrada de la variable de referencia y anotar las variables correctoras para estos dos rangos de el limitador (0 a 10V y -10 a 10V)
- Luego ingresar las medidas en el gráfico preparado

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 8

Práctica Nº 8

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento del controlador P y el control de dirección del mismo

Objetivo:

- Analizar el control de dirección en un controlador P

Metas:

- Ser capaz de ensamblar un circuito de control P
- Ser capaz de disponer un control de dirección
- Familiarizarse con los factores de influencia en el control de dirección
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Control de dirección:

Un control de lazo cerrado cumple su propósito sólo si el controlador ayuda a reducir el sistema de desviación. Hablamos entonces de un “control direccional de disposición-correctivo”. El control direccional está también referido a la dirección de acción.

Esto se puede explicar tomando el ejemplo del sistema de control de lazo cerrado de presión:

La presión del aire en un reservorio debe ser llevada a un valor constante de 4 bares. Una función incorrecta causaría un incremento paulatino de la variable controlada a 5 bares. Existen dos posibilidades:

- Correcto control direccional : la válvula dinámica libera el aire y la presión cae
- Incorrecto control direccional: La válvula dinámica alimenta más aire en el reservorio y la presión aumenta.

El control direccional depende de la polaridad de la señal y de las líneas de poder, si por ejemplo, las conexiones de los puertos de trabajo de la válvula son reversadas, el control direccional también es revertido.

Para disponer el control direccional, el control de lazo cerrado es interrumpido corriente abajo del sistema de medición. El resultado es un circuito de control de lazo cerrado.

El circuito de control de lazo cerrado empieza con una variable de salida de referencia y termina con la

señal de salida del sistema de medición.

Con el control direccional disposición correctamente, un incremento en la variable de referencia lleva a un incremento en la variable controlada.

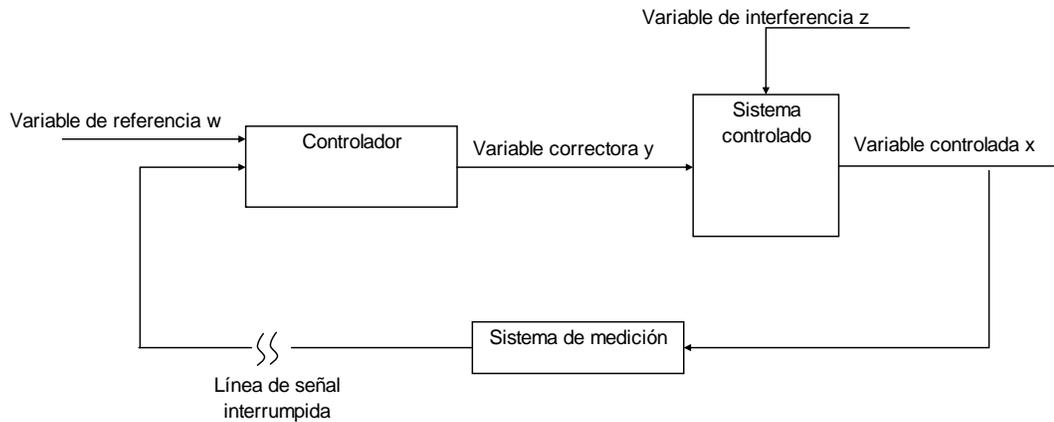


Fig. Control de lazo cerrado interrumpido para el control de dirección

Ejercicio práctico

Un sistema post neumático es alimentado con aire comprimido desde un reservorio. El reservorio es llenado por un sistema dinámico de control de presión en lazo cerrado. Para asegurar la operación libre de problemas del sistema post neumático, la presión interna del reservorio debe ser mantenida a una constante de 3 bares. Este es archivado con el sistema de control de presión arriba mencionado.

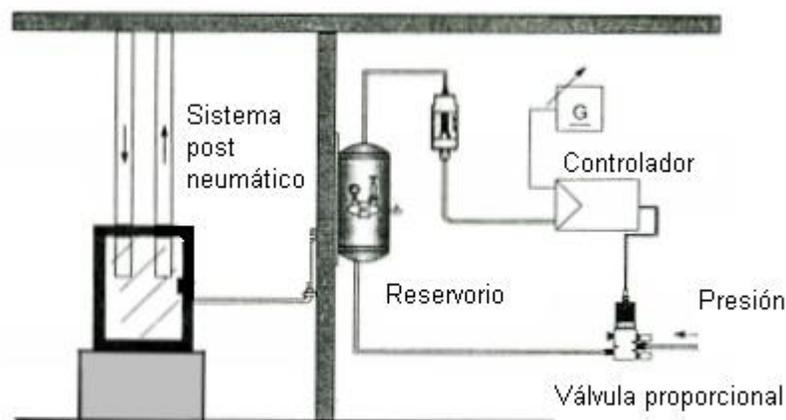


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Ensamblar el circuito de lazo cerrado

El siguiente equipo es utilizado para el circuito

- Un generador de voltaje como voltaje de referencia
- Una tarjeta controladora PID como el controlador
- Válvula dinámica como el elemento de control final
- Reservorio de aire comprimido como el sistema controlado
- Una galga extensiométrica como el indicador
- Unidad de señal de salida para ayudar a realizar las conexiones
- Sensor de presión como un sistema de medición

El canal A 2 del osciloscopio será usado para mostrar el resultado de las mediciones

Los puertos de la válvula deben ser conectados como sigue:

- El puerto de trabajo 2 de la válvula dinámica debe ser taponada
- El puerto de trabajo 4 de la válvula dinámica debe ser conectada al reservorio del aire comprimido por medio de una pequeña manguera

El controlador debe ser inicializado como sigue:

- Los parámetros del controlador: Cero o apagado
- Compensación de la variable correctora: 0 V
- Rango de perilla selectora: 0 a 10 V

No prenda la fuente de poder y el aire comprimido hasta que se termina el ensamble y haya chequeado todas las funciones Características de tarjeta controladora

2. Chequear que el control direccional es correcto

Para chequear el control direccional, proceder como sigue:

- Disponer el coeficiente $K_P=1$, dejar los otros coeficientes como cero
- Aplicar una señal aproximadamente de 0 V a la variable de entrada de interferencia.
- Interrumpir el circuito de control de lazo cerrado desconectando la línea de señal del sensor de presión desde la salida de la variable controlada de la tarjeta controladora.
- Muestre la variable de referencia y la señal de voltaje del sensor de presión. (variable controlada) en el osciloscopio (conexión vía la señal de entrada del plato)
- Incrementar la variable de referencia y observar el efecto de la variable controlada
- Determinar si la variable controlada aumenta o cae y juzgar el control direccional de acuerdo a esto.
- Si el control direccional es incorrecto, chequear el circuito

3. Investigación del circuito de control en lazo cerrado

Restablecer el circuito de control de lazo cerrado reconectando las líneas de señales del sensor de presión de la variable de salida controlada

- Mostrar la variable de referencia y la variable controlada en el osciloscopio
- Aplicar un voltaje constante de 3 V a la entrada de la variable de referencia de la tarjeta controladora
- Disponer el coeficiente proporcional a $K_P=20$
- Prender la fuente de poder y el aire comprimido, si el ensamblaje está correcto, la variable de referencia y la variable controlada debe estar a 3 V. si las desviaciones significantes se presentan, chequear el ensamble de los circuitos.
- Realizar las modificaciones descritas en las hojas de trabajo y anotar las observaciones
- Explicar las observaciones

4. Investigación de los factores de influencia del control direccional

Se investigará el efecto de la señal cruzada y las líneas de energía sobre el control direccional

Primero prender la fuente de aire comprimido, luego cambiar las líneas

- Disponer los siguientes parámetros

$P=20$

$KI=0$

$KD=0$

Variable de compensación correctora=0

- Cambiar las polaridades como se describen en la hoja de trabajo
- Rápida describir los efectos de la variable controlada del cambio de líneas
- Ahora restaurar la polaridad correcta

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 9

Práctica Nº 9

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento y límite de estabilidad del controlador P

Objetivo:

- Analizar el límite de estabilidad en un controlador P

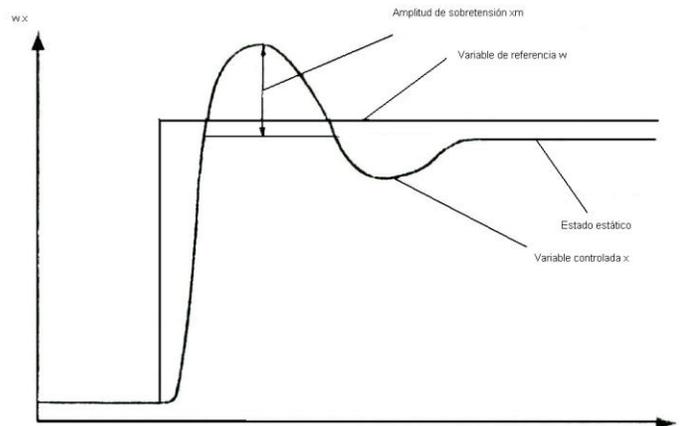
Metas:

- Ser capaz de nombrar el criterio de Calidad de control
- Ser capaz de disponer los parámetros para un circuito de control P
- Ser capaz de determinar el límite de estabilidad
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Calidad de control:

El sistema controlado y el controlador operan en constante operación. La unión de estos dos componentes tienen una influencia decisiva en la calidad de la función de control de lazo cerrado. Esto es conocido como Calidad de control.



El control de Calidad es evaluado en la base de la respuesta transitoria de la variable controlada después de un cambio de mando en la variable de referencia. Los siguientes datos característicos son generalmente utilizados para este propósito:

Amplitud de sobre tensión x_m

Desviación de sistema estático e_{stat}

Tiempo de disposición T_a

$$e_{estat} = w - x$$

Una buena respuesta transitoria es obtenida cuando los valores de estos datos característicos son bajos. La amplitud de sobrecarga x_m de la variable controlada es la más grande desviación del sistema temporal después de un cambio en la variable de referencia, un circuito de control de lazo cerrado opera inestablemente si la variable controlada esta sujeta a oscilaciones persistentes. La estabilidad de un circuito de control de lazo cerrado sobre los coeficientes y las constantes de tiempo de los componentes del circuito de control de lazo cerrado.

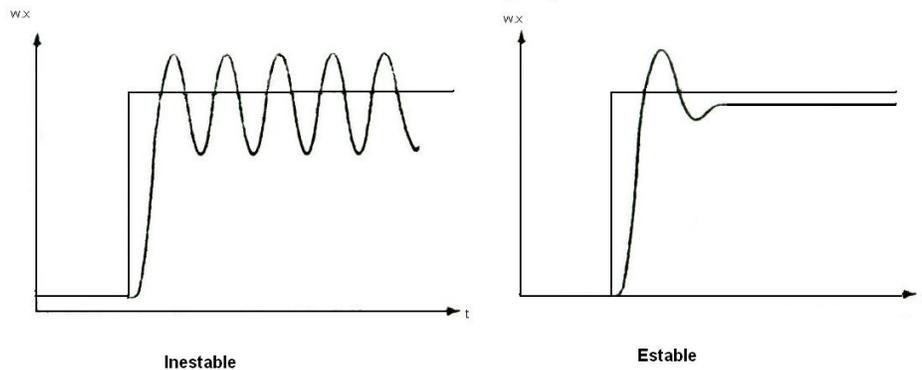


Fig. Respuesta de pasos de circuitos de control de lazo cerrado estable e inestable

Para determinar el límite de estabilidad de un circuito límite cerrado, los coeficientes se incrementan hasta que el circuito de control de lazo cerrado empieza a oscilar.

En el caso de muchos circuitos de lazo cerrado, el límite de estabilidad depende de la variable de referencia. Puede ocurrir esto, con la misma ganancia del controlador, la variable controlada muestra una oscilación en estado estático para un valor de la variable de referencia pero no de otro valor.

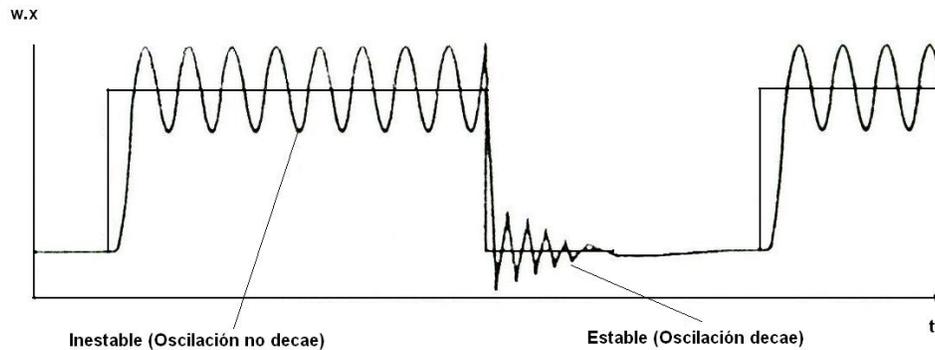


Fig. Dependencia del límite de estabilidad sobre la variable de referencia

El límite de estabilidad es determinado con una variable de referencia de cambio de mando.

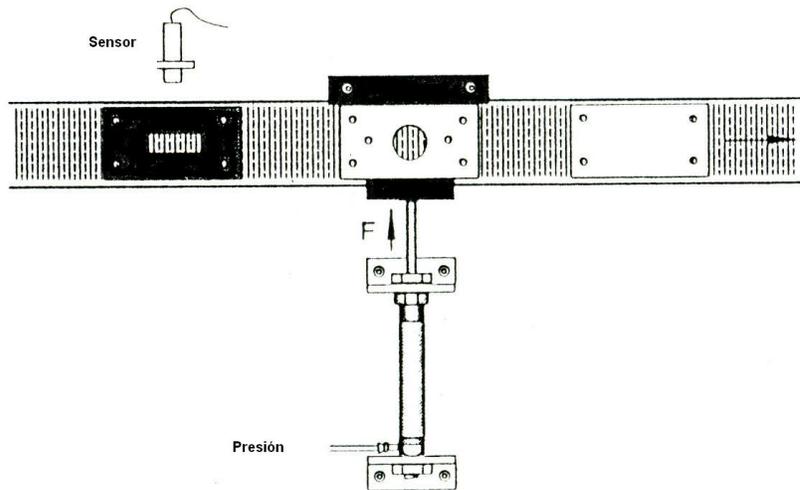
Para alcanzar una conclusión en orden de alcanzar una ganancia crítica, es necesario especificar los diferentes cambios en la variable de referencia en una forma de que el completo rango del valor de la variable de referencia es cubierta.

Ejercicio práctico:

Varias piezas trabajadas serán sujetadas o unidas en un dispositivo sujetador o clavador. Debido a las variaciones en los esfuerzos de las piezas, no se pueden sujetar con la misma fuerza sujetadora.

La secuencia de trabajo para el dispositivo de sujeta es como sigue:

- Las piezas son detectadas por un controlador master por medio de sensores.
- La salida del control da la señal de salida de la correcta variable de referencia para la presión de sujetado.
- El controlador de presión de lazo cerrado provee la deseada presión del sujetado.
- La pieza clavada es procesada.
- El dispositivo de clavado es abierto por la aplicación de una variable de referencia de presión de clavado de 0 bares.
- El controlador maestro reinicia la banda de giro en serie



Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Ensamblar el circuito de control de lazo cerrado

El volumen del cilindro de clavado es simulado en este ejercicio por el volumen del reservorio

Un osciloscopio con memorias es usado para mostrar los resultados de la medición

Se debe asegurar el ensamble del circuito eléctrico, la polaridad y la fuente de voltaje.

No se debe prender la fuente de poder y el aire comprimido hasta que se haya completado el ensamblaje y se hayan chequeado todos los parámetros de la tarjeta controladora.

- Parámetros del controlador: cero o apagado
- Compensación de la variable correctora: 0 V
- Perilla del rango corrector: (0 a 10 V)

2. Determinación de los datos característicos del Calidad de control

Disponer los voltajes especificados en la hoja de trabajo para la variable de referencia y las variables proporcionales.

Determinar los datos de las funciones Características apropiadas para el Calidad de control (e_{stat} , x_m) e ingresar estos valores en la tabla preparada.

Ingresar los valores medidos para el sistema de desviación de estado estático en el gráfico.

Evaluar las mediciones

3. Determinación del límite de estabilidad

Disponer uno a la vez los cambios de mando para la variable de referencia especificada en la hoja de trabajo. La frecuencia debe ser aproximadamente de 0,5 Hz.

Determinar los límites de estabilidad KP_{crit} incrementando el coeficiente proporcional KP , usando una fuente de presión de 6 bares, hasta que las oscilaciones ocurran. El límite de estabilidad puede ser diferente a los valores mayores y menores de la variable correctora. Siempre visualizar el valor inferior.

Discutir las observaciones basándose en las preguntas en la hoja de trabaja

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 10

Práctica Nº 10

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de un controlador I

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador I

Metas:

- Ser capaz de explicar el diseño de un controlador integral
- Ser capaz de producir y evaluar una función de transición de un controlador integral
- Ser capaz de producir una función de transición de un controlador integral de suma
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Controlador I como una tarjeta controladora

Una perilla y un posicionador están provistos en una tarjeta controladora para permitir disponer los coeficientes KI de una acción integral en un controlador I. La perilla tiene una escala multipasos desde 0 hasta 100, mientras que el potenciómetro tiene una escala infinita de 0 hasta 10. El producto de estos dos valores entrega la acción integral del coeficiente KI en la unidad (1/s). El tiempo de integración puede ser calculado como el recíproco de este.

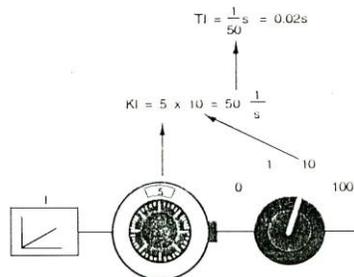


Fig. Ejemplo de la disposición de un coeficiente de acción integral KI

Controlador PI como una tarjeta controladora.

Un controlador PI puede ser creado en la tarjeta controladora añadiendo a las señales de salida de los controladores P e I. La variable correctora producida de esta forma es disponible en la salida de la tarjeta controladora. El tiempo de acción integral T_n es el cociente de la disposición del coeficiente de la acción proporcional y del coeficiente de la acción integral:

Fórmula:

$$T_n = \frac{KP}{KI}$$

Para mayor información técnica referirse a CONTROLADOR I (Pág. 96)

Ejercicio práctico

Un destornillador neumático está equipado con un control de torque usando un controlador P

Para mejorar la precisión del control del torque, el controlador P está complementado por un controlador I. Para reducir costos, un nuevo controlador no será desarrollado, en lugar de esto, una tarjeta controladora existe será usada.

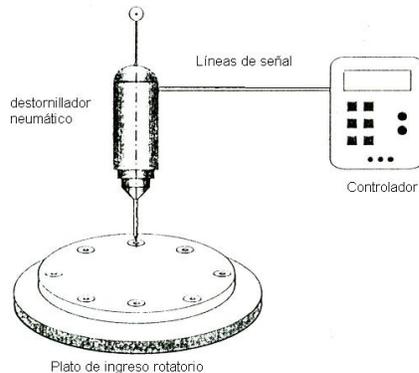


Fig. Ejemplo práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio

1. Producción de una función de transición con el controlador I

Una señal de salida localizada sólo en el rango de voltaje positivo o negativo causará la señal de salida integrante para aumentar o disminuirá este límite y permanecer en este valor. La señal de salida no puede ser mostrada también en este caso.

Si la función de transición de salida debe ser mostrada, una señal de onda cuadrada es aquella requerida en la cual oscila simétricamente cerca del punto cero. El uso de una señal de este tipo (+/- 10 V) permite que una onda de salida triangular se produzca. Con un gradiente el cual es alternamente positivo y negativo. Con esta forma de mostrar, los valores de medición para este tiempo de integración y un tiempo de acción integral debe ser partido en dos.

Para grabar la función de transición se procede de la siguiente forma

- Ensamblar el circuito de acuerdo con el circuito eléctrico provisto
- Disponer todos los parámetros del controladores y el compensación de las variables correctoras en cero
- Disponer el rango de la perilla selectora de 10 a -10 V
- Especificar un valor arreglado para el coeficiente de la acción integral ($K_I=5$ (1/s).
- La amplitud de la señal de salida (compensación = 0V) debe ser comparada con el rango de voltaje de la salida de la tarjeta controladora (aprox. 0.5 Hz).
- Dibujar la función de transición de el controlador I de la hoja de trabajo
- Ingresar la amplitud A, el período de oscilación T y el tiempo de integración T_I .

2. Medición de el tiempo de integración T_I y calculo del coeficiente de integración K_I

- No cambiar los cambios de las señales anteriores
- Especificar un coeficiente de acción integral de $K_I=10$

- Medir el tiempo (tiempo de integración) con el cual la señal de salida toma como variable de referencia el cambio de mando o cambio de pasos desde 0 V hasta el límite (aprox. 10 V)
- Calcular el tiempo de ajuste de integración actual desde el recíproco del coeficiente de acción integral.
- Determinar la desviación entre los tiempos de integración comparando los tiempos medidos y los tiempos de integración calculados.

3. Determinación de los tiempos máximos y mínimos que pueden ser dispuestos.

Para medir los tiempos de integración mínimos y máximos posibles, el potenciómetro y la perilla del controlador I debe ser colocado en sus posiciones finales. Los valores extremos pueden ser leídos del resultado de las funciones de transición.

La señal de salida del integrador reacciona con la demora del cambio de pasos en la señal de entrada. Esto puede ser visto particularmente claro con frecuencias altas y coeficientes de acción integral. Este componente del tiempo no es añadido al tiempo de integración y puede ser determinado mediante la construcción de una tangente como una intersección entre la función de transición y el eje del tiempo.

4. producción de una función de transición con el controlador PI

- Usar el mismo ensamble del paso 1
- Disponer la variable del potenciómetro y los parámetros del controlador a cero y la perilla de rango de -10 a $+10$ V
- La variable correctora PI esta disponible en la salida de la tarjeta controladora en los terminales de medición de la variable correctora

Los parámetros serán los siguientes:

Potenciómetro KP: 0.5

Potenciómetro KI: 0.6

Perilla KI: 10 1/s

Frecuencia de la variable de referencia 2 Hz

División del tiempo del osciloscopio 0.1 s/div

Amplitud de osciloscopio 5 V/div

Amplitud de la variable de referencia aprox. 10 V

5. Medición del tiempo de integración integral T_n y la comparación de esto con los valores dispuestos

No cambiar los parámetros usados en el punto 4

La función de transición no debe correr dentro del limitador, ya que estos pueden falsificar los resultados de medición. La función de transición debe tener una señal curva mostrada en la hoja de trabajo. Si es necesario llevar los ajustes usando el coeficiente de acción integral.

- Medir y grabar el tiempo de acción integral T_n . Notar que debido a la naturaleza especial de la variable de referencia (valores positivos y negativos: -10.. +10V), el tiempo de acción integral es igual a la mitad del valor medido (ver curva de la señal en la hoja de trabajo).
- Calcular el tiempo de acción integral usando la fórmula

$$T_n = \frac{KP}{KI}$$

- Comparar el tiempo de acción integral con el valor calculado y determinar la desviación.

6. Determinación de los tiempos de integración integral máximos y mínimos que pueden ser dispuestos

Para medir el tiempo máximo de la acción integral de el controlador PI, es necesario disponerlo más grande posible el coeficiente de acción proporcional y lo menor posible el coeficiente de acción integral. Los parámetros opuestos deben ser usados para medir el tiempo mínimo de acción integral.

7. Comparación de los controladores P, I y PI

Evaluar y dibujar la distinción entre los tres tipos de controladores llenando la tabla de la hoja de trabajo.

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 11

Práctica N° 11

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de un controlador I

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador PI y determinar el límite de estabilidad del controlador PI

Metas:

- Para ser capaz de determinar el límite de estabilidad de un circuito de control de lazo cerrado usando un controlador I
- Ser capaz de parametrizar un controlador PI usando un método empírico
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Para mayor información técnica referirse a CONTROLADOR PI (Pág. 104)

Ejercicio práctico

Gránulos plásticos pasan por un alimentador de gránulos de una máquina inyectora moldeadora hacia un cilindro plástico. El movimiento rotatorio de el tornillo sin fin y la aplicación de calor comprimido, desgasifica y a la vez plastifica los gránulos. Una vez que el proceso es completado y la matriz es cerrada, la inyección empieza.

Durante esta oleada, el cilindro adelanta el tornillo sin fin, esto esfuerza a que el material plastificado ingrese a la matriz.

La presión en el cilindro debe permanecer constante durante la fase de enfriamiento. La presión aplicada al material plástico depende de la pieza a ser elaborada y el esfuerzo de la matriz

Un sistema de control de lazo cerrado debe ser usado para la fase de enfriamiento.

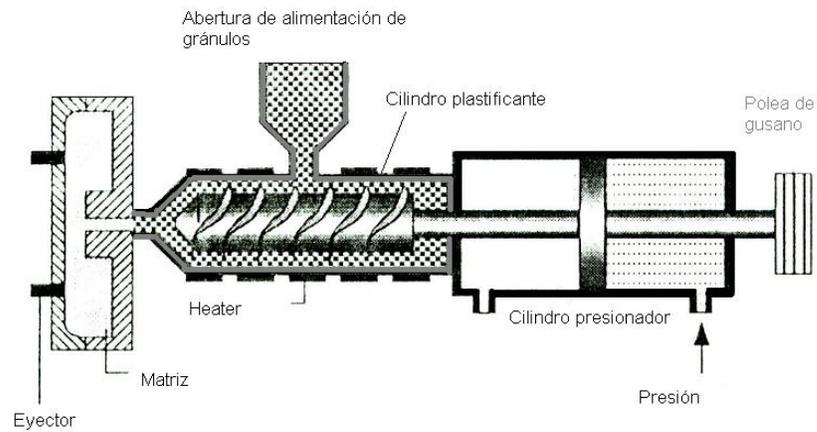


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Ensamblado de los circuitos neumáticos y eléctricos

El circuito de lazo cerrado de la máquina inyectora consiste de los siguientes componentes:

- Generador de voltaje
- Tarjeta controladora PID
- Válvula de control direccional proporcional
- Reservorio de aire comprimido
- Galga de presión
- Sensor de presión

Un osciloscopio es recomendado para la medición y el despliegue de las señales

2. Determinación del límite de estabilidad del circuito de control de lazo cerrado con el controlador I

- Disponer todos los coeficientes a cero y la compensación de la variable correctora en aprox. 0
- Disponer la perilla del rango selector del limitador de 0 a 10 V
- Seleccionar la variable de referencia de cambio de mando con una compensación de 3 V y una amplitud de 1V. la frecuencia seleccionada debe estar por debajo de lo posible (0.1 Hz).
- Disponer los coeficientes de la acción integral especificado en las hojas de trabajo.
- Medir y anotar el máximo sobretensión después x_m en cada caso. Notar que la amplitud sobretensión es diferente en el rango de amplitud inferior y superior. Más allá, la primera sobretensión después del cambio de mando puede tener una amplitud más grande que la de los sobretensiones subsecuentes.
- Anotar en la tabla de la hoja de trabajo provista de los coeficientes de acción integral por los cuales el circuito de control de lazo cerrado es estable. El límite de estabilidad será alcanzado tan pronto como las oscilaciones de estado estático sean observados. Pueden ser reconocidos en el osciloscopio, por las oscilaciones del puntero de la galga de presión o por la oscilación del ruido del aire de escape.

3. Parametrización del controlador PI

- Incrementar la frecuencia de la variable de referencia a 1 Hz mientras se la señal por otra parte no cambiado
- Verificar el controlador PI después de llevar por la compensación empírica
- Optimizar los parámetros del controlador con una vista para obtenerle sobretensión lo más posiblemente pequeño y la disposición del tiempo más pequeño posible.
- Notar los valores óptimos para los valores de K_P y K_I
- Ahora evaluar el resultado de las preguntas

Soluciones

Ver CD Didáctico

Anexo 12

Práctica Nº 12

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de un controlador PID

Objetivo:

- Analizar el funcionamiento de un controlador PID

Metas:

- Ser capaz de explicar el diseño de un controlador de acción derivativa.
- Ser capaz de producir funciones de transición de controladores D, PD y PID
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos:

Disposición de una tarjeta controladora PID

Con un controlador PID, las tres señales corregidas de los controladores de acción proporcional, integral y derivativa son añadidas juntas al punto de suma. Las señales son generadas en una manera similar para los controladores PI o PD.

Los parámetros de los controladores industriales PID pueden ser dispuestos en dos diferentes formas

1. Disposición de los coeficientes K_P , K_I y K_D
2. Disposición del tiempo T_n de la acción integral y del tiempo T_v de la acción derivativa

Ambos métodos tienen ventajas y desventajas. El primer método debe ser usado para ajustar el controlador PID en el ejercicio presente. Este tiene una ventaja de que el efecto de los

$$y = K_D \cdot \frac{de}{dt}$$

coeficientes pueden ser investigado selectivamente.

En las siguientes funciones de transición se puede observar el comportamiento de cada uno de los controladores utilizados en la práctica

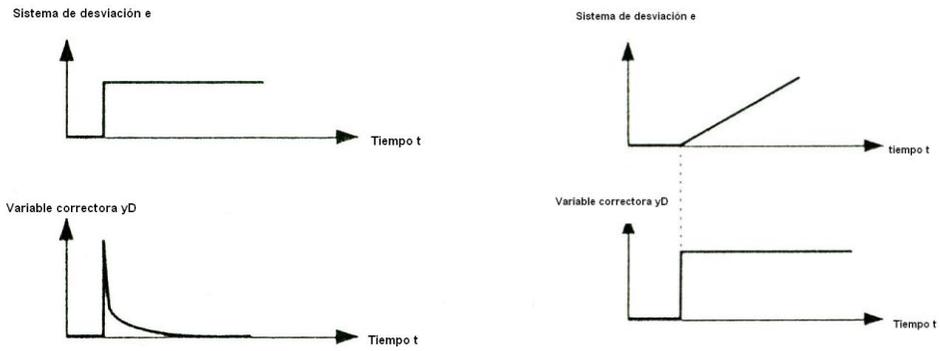


Fig. Función de transición y respuesta de rampa de un controlador D

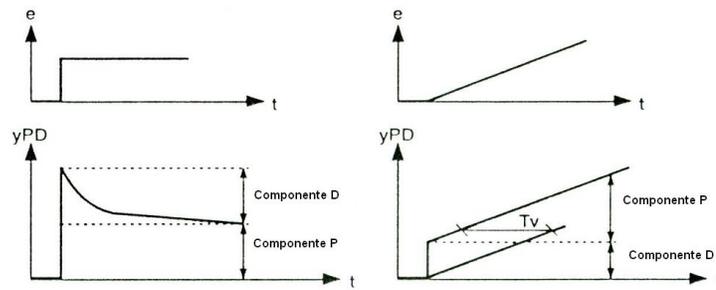


Fig. Función de transición y respuesta de rampa de un controlador PD

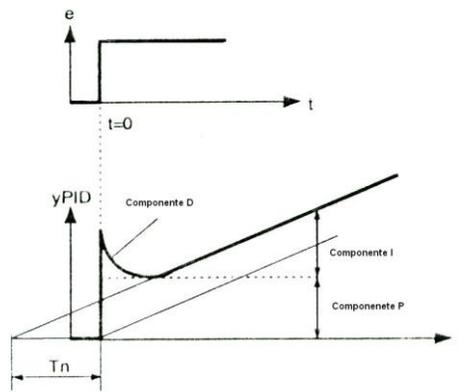


Fig. Función de transición de un controlador PID

Ejercicio práctico:

En una planta empaquetadora un alimentador neumático es usado para formar depresiones en los cartones de la banda transportadora. La presión de operación actual es llevada usando un sistema de control de presión. La inspección de las piezas terminadas revelan que el chirrido toma lugar durante el proceso de presionado. Lo reajustes de los parámetros del controlador no producen ninguna mejora. Es por esto que se investigara el elemento D del controlador PID.

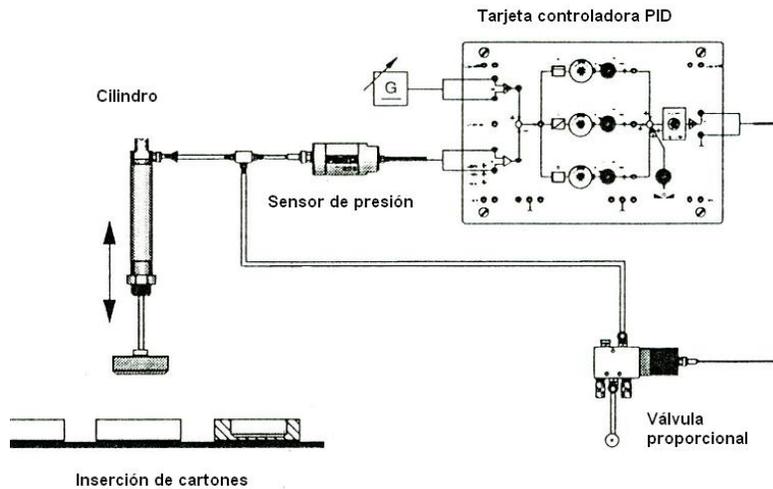


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Dibujar la transición y respuestas de rampa del controlador D

- Ensamblar el circuito eléctrico de acuerdo al diagrama del circuito
- Disponer todos los coeficientes y las variables colectoras a cero. Disponer la perilla del rango selector a [- 10...10 V]
- Desplegar las variables de entrada y de salida del controlador en el osciloscopio
- aplicar una señal de onda cuadrada a la variable de salida de referencia del controlador. Amplitud 10 V, compensación 0V y frecuencia 5Hz.

- seleccionar la siguiente disposición en el osciloscopio: tiempo / div = 20 ms, amplitud / div = 5V
- Disposición del coeficiente de acción derivativa KD = 25 ms
- Dibujar la señal de salida en la hoja de trabajo.
- obtener una señal de onda triangular para desplegar la respuesta de rampa. Amplitud, compensación y la frecuencia debe permanecer como antes
- desplegar la respuesta de rampa en el osciloscopio y dibujar esto en la hoja de trabajo
- calcular la variable correctora para la respuesta de rampa usando la formula

- comparar la variable correctora calculada y la variable medida (amplitud de función de rampa)

2. Dibujar las respuestas de rampa del controlador PD y determinar el tiempo Tv

- Usar la señal de onda triangular del paso 1 y dejar ensamblado el sistema entero
- Disponer el coeficiente de acción proporcional KP = 05 y el coeficiente de acción derivativa KD = 25 ms en la tarjeta controladora.
- Copiar la función de rampa del sistema coordinado en la hoja de trabajo
- Medir el tiempo Tv de la acción derivativa del dibujo e ingresar el valor en la hoja de trabajo. Notar que durante la señal de variable de referencia el tiempo de la acción derivativa es igual a la mitad del valor medido.

$$T_v = \frac{KD}{KP}$$

- Calcular el tiempo de acción derivativa Tv usando la formula

Y comparar con el valor medido

3. Dibujar la función de transición del controlador PD

- como en el paso 1 ingresar una señal de variable de referencia simétrica (amplitud = 10 V , compensación = 0V , frecuencia = 5Hz)
- Disponer los siguientes valores en la tarjeta controladora: KP = 0.5 , KI = 25 1/S, KD = 25 ms
- Dibujar la función de transición del controlador PID en la hoja de trabajo
- Explicar la curva de la función de transición dividiendo para los componente P, I y D

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 13

Práctica Nº 13

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Disposición de parámetros de el controlador PID

Objetivo:

- Analizar la disposición de los parámetros del controlador PID usando un método empírico

Metas:

- Ser capaz de disponer los parámetros de un controlador PID usando un método empírico
- Ser capaz de evaluar la respuesta de transición de un circuito de control de lazo cerrado con un controlador PID
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Parametrización empírica de un controlador PID

Esta disposición requiere de experiencia en la auditoria. Para realizar este proceso más fácil un método altamente probado para la parametrización se describe bajo.

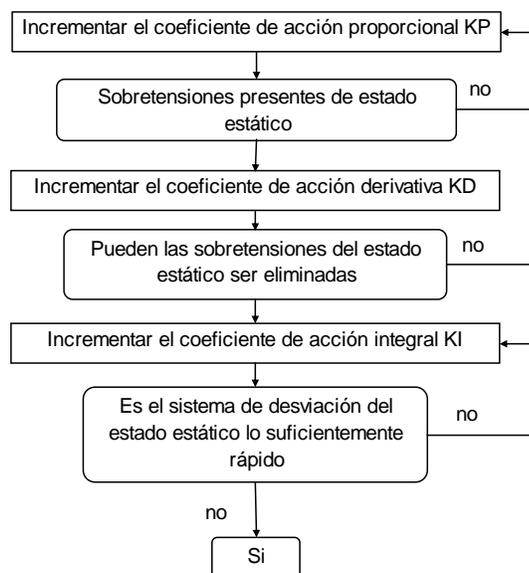


Fig. Diagrama de flujo de parametrización empírica de un controlador PID

El procedimiento enseñado en la tabla de la parte superior puede ser usada solo en casos donde es permisible llevar al circuito de control cerrado a la oscilación durante la operación de disposición.

Ejercicio práctico

Una maquina dobladora es usada para doblar tuberías de metal de varios diámetros. El ángulo al cual la tubería se sitúa es determinada por la fuerza de cilindro doblador o en este caso un pistón doblador. La operación de doblado es comparada a la información característica del metal de la tubería (diámetro, espesor, material). Una fuerza dobladora (cilindro de presión) es usado para calcular las características. Una presión definida debe ser presentada en la cámara del cilindro durante el avance del cilindro doblador. Esto se asegura con el uso del sistema de control de presión de lazo cerrado utilizando un controlador PID.

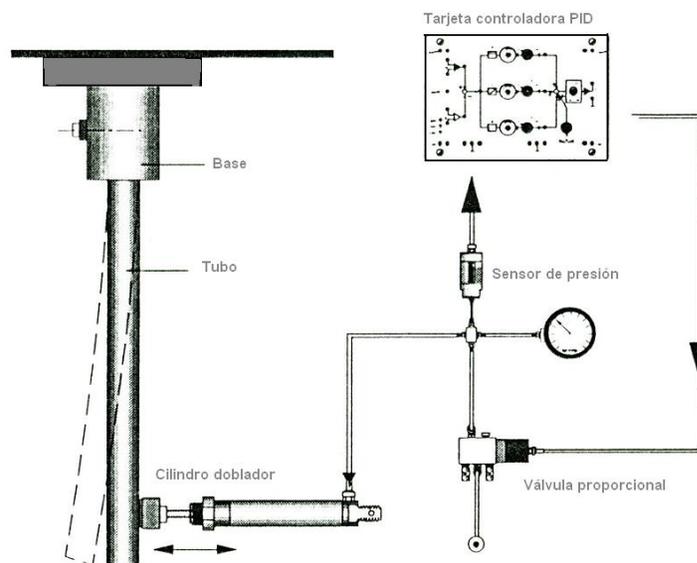


Fig. Ejemplo práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio

1. Ensamblar y auditar el circuito de control de lazo cerrado

2. Investigar la respuesta de transición de un circuito de control de lazo cerrado con un controlador PD

Auditar el circuito de control de lazo cerrado con el controlador PD. Proceder de acuerdo de la parte superior. Seguir las siguientes instrucciones adicionales.

- Disponer la perilla del rango selector de [0...10V]
- Seleccionar la variable de referencia a onda cuadrada. FOCET = 3V, amplitud = 1V. frecuencia = aprox. 0.1Hz
- Despliegue la variable de referencia y la variable contraída en el osciloscopio
- Anotar los coeficientes optimizados del controlador
- Ingrese los coeficientes optimizados del controlador y la información característica en la tabla preparada
- Disponer los coeficientes KD de la acción derivativa a cero
- Nuevamente medir y grabar los datos característicos
- Comparar los parámetros y los datos característicos del controlador P y PD

En las mediciones, considerar únicamente el rango superior de la variable de referencia (4 V)

3. Investigar la respuesta de transición de un circuito de control de lazo cerrado con un controlador PID

El sistema de control ahora debe ser optimizado añadiendo un controlador I

- Usar los coeficientes optimizados PD del paso 2
- Incrementar el coeficiente KI de la acción integral
- Medir los datos característicos. Comparar estos con los datos del controlador PD
- Dibujar la curva de la variable controlada para el caso en el cual KI es incrementado considerablemente por encima del valor optimizado (KI = aprox. 40)

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 14

Práctica Nº 14

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Disposición de parámetros de el controlador PID

Objetivo:

- Familiarizarse con la influencia de variables de interferencia

Metas:

- Investigar y analizar las influencias de las variables de interferencia
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Variables de interferencia:

Tipos de interferencia	Efectos sobre el control del comportamiento
Señales con ruido	Las líneas de señal no visibles en pantalla actúan como antenas para la señal de interferencia desde dispositivos adyacentes eléctricos
Histéresis	Este problema lidera el comportamiento asimétrico de transmisión. Por ejemplo: una válvula dinámica sujeta a histéresis tiene diferentes características de flujo, características para sus dos direcciones de flujo
Compensación	El cambio en la compensación u offset cambia los puntos de operación de los componentes del circuito de control de lazo cerrado. Este problema lidera los sistemas de desviación del sistema de estado estático
Alimentación	El sobredimensionado de alimentación de aire comprimido o de fuente eléctrica, genera fluctuaciones en la transmisión de las líneas, esto cambia el comportamiento del circuito
Fugas	Fugas de la fuente de aire comprimido o dentro de los componentes del circuito de control pueden reducir la línea de presión
Fuerzas, momentos	Fuerzas externas o momentos actúan en el circuito causando cambios en la actuación de los componentes del circuito de control proporcional
Errores en la medición	Dispositivos de medición incorrectamente instalados u no apropiados lideran las señales falsificadas. El atraso de señales puede resultar en el cambio de la estabilidad del sistema

Las variables de interferencia no actúan únicamente en un dispositivo sino en todo el circuito. Las variables pueden amplificarse unas con otras o cancelarse unas con otras. Las variables de interferencias son conocidas como z

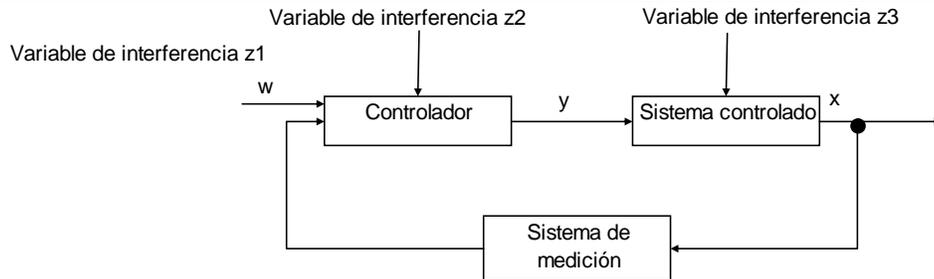


Fig. Puntos de acción de las variables de interferencia

Ejercicio práctico

En una maquina de hacer papel tiras de papel son transportadas a través de varios pares de rodillos. Los rodillos son conducidos continuamente por motores neumáticos “vane” Rodillos tensionadores son usados para mantener la tensión en el papel. La resistencia tensil por el cual el papel debe ser transportado no debe exceder a la resistencia del papel. Para asegurar las variables de existencia, causadas por ejemplo en la oscilación en movimiento de las tiras de papel son rápidamente puestas bajo control, la presión del cilindro tensionado es controlada por un controlador PID

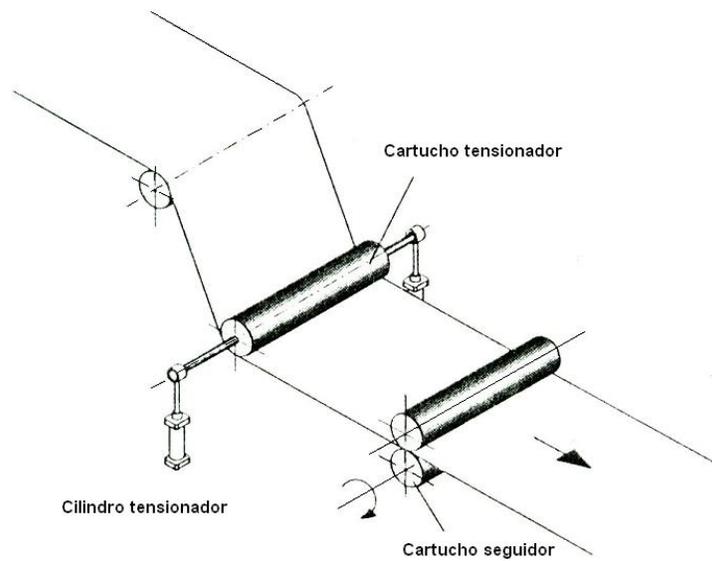


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Investigar la influencia de fugas

El circuito de control de lazo cerrado debe tener los siguientes componentes:

- Generador de voltaje
- Tarjeta controladora PID
- Válvula proporcional
- Dos reservorios de aire comprimido conectados en serie
- Válvula check
- Sensores de elongación (strain gauge)
- Sensor de presión
- Válvula solenoide de 3/2 vías
- Conexión de entrada de señal
- Un osciloscopio debe ser usado para medir las señales

La válvula solenoide debe ser conectada en una vía de tal forma que puede ser energizada con un botón en la conexión de entrada de señal.

Los circuitos en serie consisten de válvulas solenoides y de válvulas check que pueden ser usadas para crear una fuga en el sistema de interferencia. La válvula check debe estar completamente abierta para el control del aire de alivio.

Primero conecte el sensor de presión al punto de medición identificado como 2

2. Investigar la influencia de la presión de la fuente del aire comprimido

La influencia de la fuga en el comportamiento de control debe ser investigado como sigue.

- Ingrese una variable de referencia de onda cuadrada con una compensación = 3V, amplitud = 1V. La frecuencia debe ser ajustada a 0.1 Hz
- Desplegar la variable de referencia y la variable controlada en el osciloscopio.
- Inicializar el controlador (ajustar todos los parámetros a hacer)
- Parametrizar el controlador PID usando el método empírico y no con la válvula solenoide no actuando (sin fuga)
- Medir y anotar los datos característicos
- Activar la fuga y anotar los datos característicos. Dejar los parámetros del controlador sin cambios.

3. Investigar la influencia del punto de medición

La influencia de la fuente de presión en el comportamiento de control debe ser investigada axial.

- Ingresar una variable de onda de referencia de onda cuadrada igual que en el paso 2
- Desplegar la variable de referencia y la variable controlada en el osciloscopio
- Inicializar el controlador
- Parametrizar el controlador PID, para una presión de 6 bar en el punto de medición 2
- Medir y anotar los datos característicos
- Reducir la presión de 5 bar a 4 bar
- Anotar los datos característicos

4. Investigar la influencia de los puntos de medición

La influencia del punto de medición en el comportamiento de control debe ser investigado así:

- Ingresar una variable de onda de referencia de onda cuadrada igual que en el paso 3
- Desplegar la variable de referencia y la variable controlada en el osciloscopio
- Inicializar el controlador
- Parametrizar el controlador PID, usando el método empírico para dos puntos diferentes de medición dentro del sistema de medición

Punto de medición 2: Sensor de presión “corriente abajo” del sistema controlado.

Punto de medición 1: Sensor de presión dentro del sistema controlado.

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 15

Práctica Nº 15

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de un potenciómetro lineal

Objetivo:

- Analizar el diseño y el funcionamiento, además de las aplicaciones de un potenciómetro lineal

Metas:

- Entender el diseño y el modo de operación de un potenciómetro lineal
- Ser capaz de explicar el diseño y el modo de operación de un eje lineal
- Familiarizarse con un sistema controlado sin compensación
- Ser capaz de aproximar las posiciones
- Ser capaz de producir y evaluar las características del potenciómetro
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Potenciómetro lineal

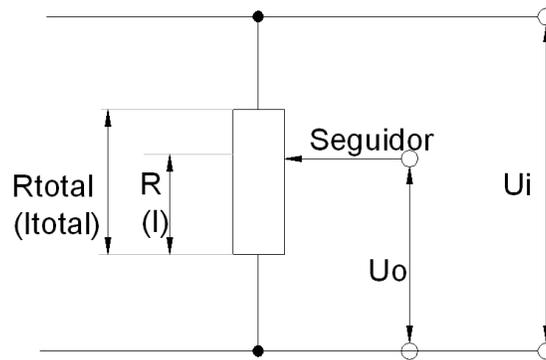
Este puede ser usado para medir distancias y longitudes. El potenciómetro convierte la variable física posición en un voltaje eléctrico. Esto se realiza el principio del divisor de voltaje. Con este principio, un voltaje de entrada U_e es aplicado a una resistencia total R_{total} . El voltaje de salida U_a del potenciómetro puede ser calculado así:

$$U_a = U_e \cdot \frac{R}{R_{total}}$$

Ya que el componente de la resistencia R es proporcional a la posición del deslizador l , el deslizador de voltaje puede ser calculado así:

$$U_a = U_e \cdot \frac{I}{I_{total}}$$

El movimiento del deslizador produce un cambio en la resistencia R. El voltaje de salida U_a varía de acuerdo a la resistencia del componente.



Dentro del circuito CLC, el potenciómetro debe siempre estar conectado a la fuente de poder de 15 voltios, y a la tierra análoga de la tarjeta del controlador. Solo así se puede asegurar la mínima interferencia eléctrica.

Eje lineal

[Referirse a ficha técnica](#)

- En sistemas controlados es una ventaja que los cilindros neumáticos sean colocados en su posición final, ya que esto desiguala el comportamiento del sistema.
- El alcance del potenciómetro lineal debe ser mayor que la del cilindro para prevenir la sobrecarga mecánica del potenciómetro en las posiciones finales.
- Puede ocurrir que el deslizador impacte abruptamente cuando la fuente de aire comprimido se encienda. Siempre mantener la distancia segura de las manos con el deslizador.

Sistemas controlados sin compensación

Con estos sistemas, la variable de salida cambia dramáticamente después de un cambio de pasos en la variable de entrada. Sistemas de este tipo son conocidos como sistemas I o sistemas de acción integrada.

Si la válvula 3/2 es usada para controlar un cilindro neumático, la distancia que viaja el pistón, que corresponde a la variable controlada x , incrementa continuamente. Este sistema controlado exhibe un comportamiento de acción integral, la función de transición se muestra en la figura:

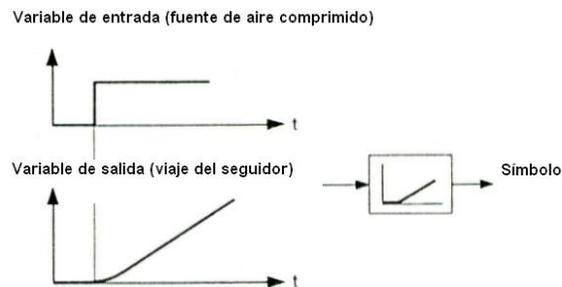


Fig. Función de transición y símbolo de un sistema controlado sin compensación

Ejercicio práctico:

Una maquina estampadora es utilizada para estampar piezas circulares fuera de una hoja de metal, para realizar esto, la maquina debe aproximarse a posiciones cercanamente adyacentes en una secuencia definida. Un eje neumático lineal es utilizado para este propósito.

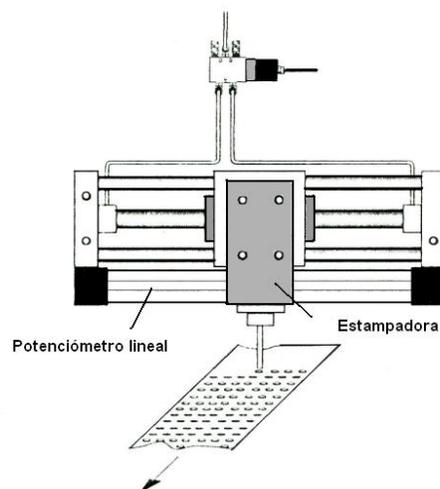


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de componentes/ejercicios

Ejercicio:

1. Ensamblar el circuito de prueba

Los diagramas del circuito neumático y eléctrico serán tratados en la hoja de trabajo:

- Las señales de entrada para la válvula proporcional son producidas con un generador de voltaje
- El voltaje de salida del potenciómetro lineal es desplegado por un multímetro conectado al terminal de salida. Usar la señal de entrada para conectar la válvula proporcional y el potenciómetro lineal.
- Arreglar la escala al lado. Ingresar las instrucciones en la hoja de trabajo.

2. Aproximar las posiciones y calcular los valores de voltaje

- Prender la fuente de poder eléctrica
- Prender la fuente de aire comprimido (6 bares)
- Aproximar siete posiciones escogidas al azar pero separadas igualmente por todo el eje lineal energizando la válvula proporcional con el generador de voltaje. Tan pronto como el "slide" llegue a descansar en una posición, anotar el voltaje del potenciómetro y la posición. También anotar los voltajes en las dos posiciones finales (0mm, 200mm)
- Calcular los valores de voltaje por las posiciones que fueron aproximadas, usando una fórmula divisora de voltaje.

3. Copiar las características del potenciómetro

Usar las posiciones seleccionadas y los voltajes medidos para copiar las características del potenciómetro. También copiar los voltajes calculados como una característica en el gráfico preparado

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 16

Práctica N° 16

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de un controlador de estatus

Objetivo:

- Analizar el diseño y el funcionamiento de un controlador de estatus.

Metas:

- Ser capaz de explicar el diseño de un controlador de status
- Ser capaz de producir transición y funciones de rampa con posición, velocidad y controlador de acelerador.
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Controlador de estatus

Su uso está comprobado en el CLC de ejes lineales neumáticos. El controlador de estatus procesa tres variables:

- El sistema de desviación e (desviación de posición)
- La velocidad \dot{x}
- La aceleración \ddot{x}

Ya que esto es muy complejo en términos de hardware, para medir las tres variables con sensores, solo la posición es medida. La velocidad y la aceleración son generadas de una variable de posición usando controladores de acción derivativa.

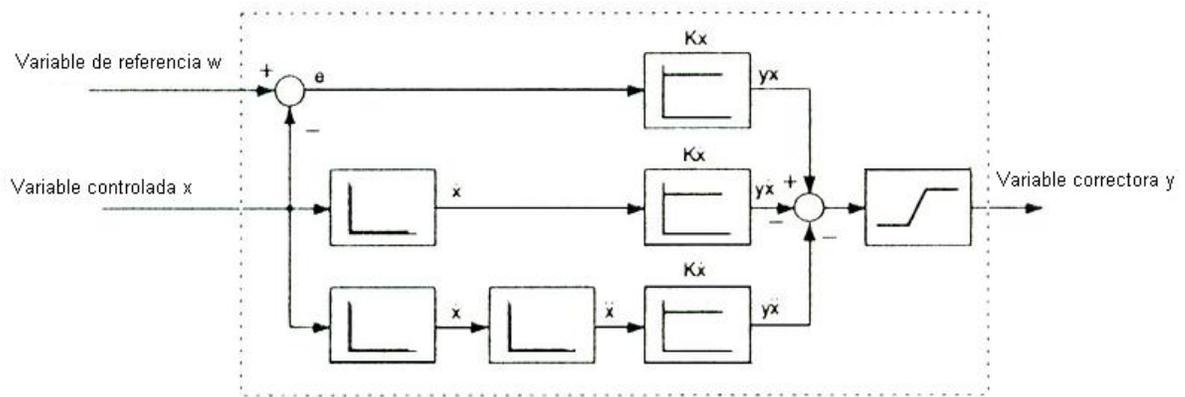


Fig. Diagrama de bloque de un controlador de estatus

Donde:

- e = posición de desviación
- \dot{x} = velocidad
- \ddot{x} = aceleración
- Kx = coeficiente de posición
- $K\dot{x}$ = coeficiente de velocidad
- $K\ddot{x}$ = coeficiente de aceleración
- y_x = variable correctora de posición
- $y_{\dot{x}}$ = variable correctora de velocidad
- $y_{\ddot{x}}$ = variable correctora de aceleración

Modo de operación del controlador de estatus

El controlador de estatus tiene controladores en rama separados para cada variable. Los controladores de estatus para controles neumáticos contienen una estructura de controlador de triple lazo.

Controlador de posición

La variable de referencia y la variable controlada alimentan a un punto común y son sustraídas unas de otras. La posición resultante de la diferencia e , es multiplicado por un coeficiente de posición Kx .

$$y_x = Kx.e$$

Controlador de velocidad

El controlador de velocidad consiste en un controlador de acción derivativa, el cual convierte la variable controlada x en el valor de velocidad \dot{x} y multiplicado por el coeficiente de velocidad $K\dot{x}$.

$$y\dot{x} = K\dot{x}$$

Controlador de aceleración

El controlador de aceleración consiste en dos controladores de acción derivativa, los que convierten la variable controlada x en el valor de aceleración \ddot{x} y multiplicado por el coeficiente de aceleración $K\ddot{x}$.

$$y\ddot{x} = K\ddot{x}$$

Los componentes de la señal correctora de las ramificaciones del controlador son añadidos al punto común. Las señales de velocidad y aceleración son incorporadas a esta operación con un signo negativo. La señal correctora así produce entonces pasos a través del circuito limitador.

Para mayor información técnica referirse a CONTROLADOR DE ESTATUS (Pág. 115)

Ejercicio práctico

En un dispositivo neumático separador, las posiciones deseadas no son alcanzadas correctamente los ajustes de los coeficientes del controlador no producen ninguna mejora, con este resultado es mejor revisar el controlador de status.

Equipo

Observar tabla de equipos componentes

Ejercicio

1. Producción de transición y funciones de rampa del controlador de posición

El procedimiento para la producción de transición y función de rampa para el controlador de posición es el siguiente:

- Ensamblar el circuito de medición de acuerdo con el diagrama y prender la fuente de poder eléctrico.
- Disponer los potenciómetros a cero y la perilla selectora de [-10...10V]
- Usar el generador de voltaje para ingresar la señal de onda cuadrada (compensación=2V, amplitud=2V, frecuencia=2Hz) como la variable de referencia. Despliegue la variable de referencia y la variable correctora en un osciloscopio
- Disponer una ganancia total de $P=1$
- Disponer el coeficiente de posición $K_x=1$ y dibujar la función de transición
- Ingresar la señal de onda triangular (compensación=2V, amplitud=2V, frecuencia=2Hz). Dejar los coeficientes del controlador sin cambios. Dibujar la respuesta de rampa del controlador de posición en la hoja de trabajo

2. Producción de transición y funciones de rampa del controlador de velocidad

El procedimiento para la producción de transición y función de rampa para el controlador de velocidad es el siguiente:

- La posición del coeficiente debe ser disposición a cero
- La señal de onda cuadrada y triangular deben ser alimentadas de la variable de entrada del controlador de la tarjeta controladora
- El coeficiente de velocidad debe ser disposición a $K_x=7$

Notar que las señales de voltaje son las salidas de los conectores de prueba en forma negativa (signo – en el punto común). Para desplegar las señales correctoras ellos deben ser invertidos cerca del eje x. Cambiar la salida del osciloscopio a INV (invertida) o virar la línea de señal y la línea de tierra

3. Producción de transición y funciones de rampa del controlador de aceleración

Para producir la transición y las funciones de rampa para el controlador de aceleración, proceder igual que en el paso 2. Disponer el coeficiente de aceleración $K_x=2$. Los coeficientes de posición y velocidad deben ser disposiciones a cero.

Notar que los voltajes son la salida de los conectores de prueba en forma negativa.

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 17

Práctica Nº 17

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Funcionamiento de la disposición de un controlador de estatus

Objetivo:

- Analizar el diseño y el funcionamiento de un controlador de estatus.

Metas:

- Ser capaz de disponer los parámetros de un controlador de estatus.
- Familiarizarse con la influencia de los coeficientes del controlador.
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Controlador de estatus en un circuito de CLC de posición

Los parámetros de un controlador de estatus están dispuestos en concordancia con los mismos criterios de calidad de un controlador PID.

- Tiempo de disposición pequeña T_a
- Ninguna o pequeñas amplitudes de sobretensión x_w
- Pequeñas desviaciones del sistema de estado estático estat

La figura muestra varias respuestas de transición:

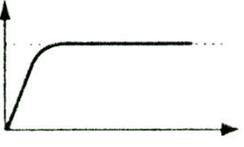
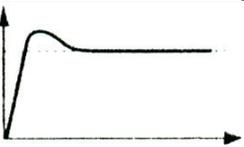
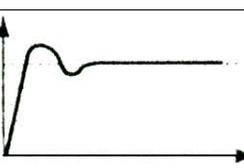
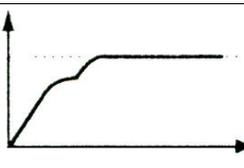
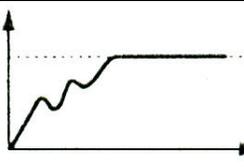
Caso	Respuesta de transición	Descripción	Medidas
I		Óptimo	Ninguno
II		Sobretensión	Reducir K_x
III		Sobretensión con abanico delantero	Reducir K_x o incrementar $K_{\dot{x}}$ o incrementar $K_{\ddot{x}}$
IV		Un abanico delantero	Reducir $K_{\dot{x}}$
V		Varios abanicos delanteros	Reducir K_x o incrementar $K_{\ddot{x}}$

Tabla. Respuesta de transición de varios coeficientes de controlador de estatus

Ejercicio práctico

Los bloques de los motores de automóviles son producidos en una fundición. Estos son cepillados y pulidos, después del proceso de formado. Para este propósito, éstos son alimentados de una estación cepilladura y de una banda transportadora. Los bloques son sujetados para evitar que el cepillado produzca fallas, una fresa está montada en una fresadora, esta fresadora es manejada por un eje lineal controlado. La fresa es guiada por todos los bordes del bloque del motor.

El circuito de control de lazo cerrado para este eje lineal debe ser ensamblado, ajustado y aprobado.

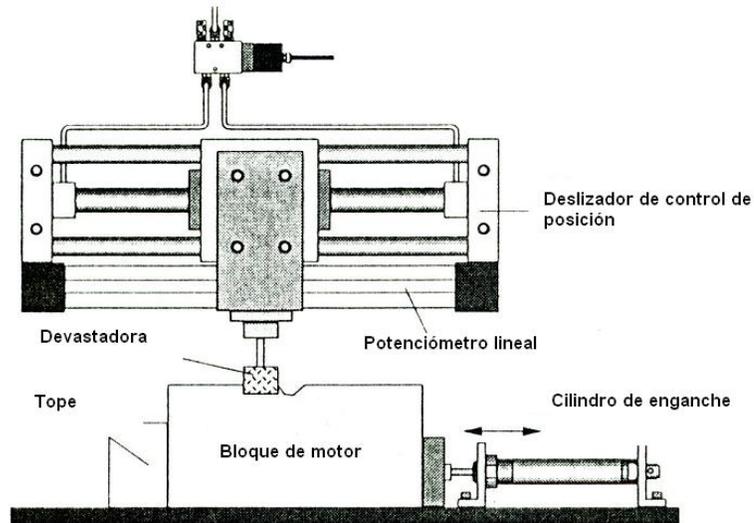


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de equipos componentes

Ejercicio:

Ejecución.

1.- Ensambla y auditar el circuito de control de lazo cerrado

El circuito de control de lazo cerrado, consiste de un controlador de estatus, una válvula de control y un eje lineal. Un generador de voltaje es usado para producir la variable de referencia. Un osciloscopio de almacenamiento es recomendado para la medición y el despliegue de las señales.

Para auditar el circuito de control, se realiza los siguientes pasos:

- Ensamblar el circuito de acuerdo con los diagramas de circuito.
- Disponer los coeficientes de controlador y la variable correctora a cero.
- Disponer la perilla del rango selector de [0...10V].
- Prender la fuente de poder eléctrica.
- Prender el aire comprimido.
- Revisar la dirección del control y corregirla si es necesario.

Tener mucho cuidado con el movimiento de la devastadora cuando el aire comprimido se prende.

2.- Investigar la respuesta de transición para varios coeficientes

- Disponer la variable de referencia del cambio de mando: frecuencia igual 0.5 Hz, compensación = 5V, amplitud = 1V.
- Chequear si la fresadora oscila simétricamente en su posición intermedia.
- Si es necesario, usar la compensación de la variable correctora para reducir la desviación del sistema de estado estático.
- Disponer los coeficientes del controlador especificados.
- Relatar las respuestas de transición en los casos de la figura.
- Dibujar las curvas para las variables de referencia y controladas. Usar la gráfica preparada para este propósito.

3.- Parametrización del control de status utilizando un método empírico

Parametrizar el controlador de estatus como sigue.

- Disponer la variable de referencia de cambio de mando: frecuencia igual 0.5 Hz, compensación = 5V, amplitud = 1V.
- Disponer el coeficiente de posición $K_x = 1$.
- Disponer el coeficiente de velocidad K_v y el coeficiente de aceleración K_a : Proceder como se muestra en la tabla de flujo.
- Medir y grabar los datos característicos.

Soluciones

Ver CD Didáctico

ANEXO 18

Práctica Nº 18

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Explicar el término “error de atraso”; y ganancia de lazo cerrado

Objetivo:

- Analizar el diseño y el funcionamiento de un controlador de estatus.

Metas:

- Familiarizarse con el sistema de control de seguimiento.
- Ser capaz de explicar el término “error de atraso”.
- Ser capaz de medir el “error de atraso”.
- Ser capaz de explicar el término “ganancia de lazo cerrado”.
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Sistema de Control de Seguimiento.

El propósito de un sistema de control de seguimiento es asegurar que la variable controlada x siga el tiempo de la curva de la variable de referencia w tan cercanamente como sea posible. Este tipo de sistema de control es también conocido como un sistema de control servo.

Error de atraso

En un sistema de control de seguimiento la variable controlada x sigue la forma de rampa de la variable de referencia w con un cierto retraso. Considerando el comportamiento de este control, el término “error de atraso” es usado; esto es equivalente a sistema de desviación.

$$e = w.x$$

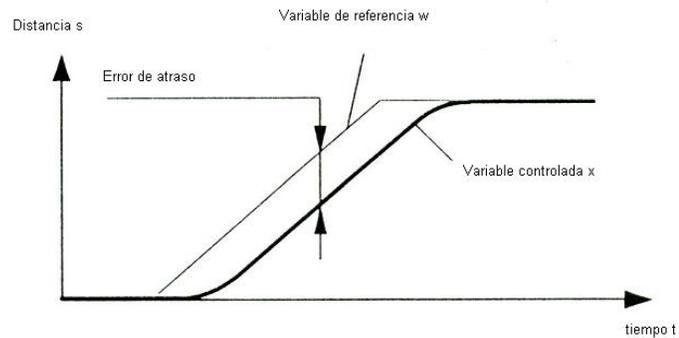


Fig. Error de atraso con cuna constante de alimentación de velocidad

Para el eje lineal esto significa que si se da una constante de alimentación de velocidad, el deslizador se atrasará entre la variable de referencia con una cierta tolerancia (error de atraso).

La velocidad de la fresadora puede ser calculada usando la siguiente fórmula:

$$v = \frac{s}{t}$$

O

$$v = 4.A.f$$

Donde:

V = velocidad

S = posición

T = tiempo

A = amplitud

F = frecuencia

El error de atraso es influenciado por la velocidad v y la ganancia K_v del lazo cerrado. La ganancia del lazo cerrado es también referido como una ganancia servo del circuito de control de lazo cerrado.

Acciones que influyen en el Error de atraso.

El error de atraso es dependiente de la velocidad v y la ganancia K_v de lazo cerrado:

$$e = \frac{v}{K_v}$$

- Como la velocidad se incrementa el error de atraso e se hace más grande.
- Como la ganancia de lazo cerrado K_v incrementa el error de atraso e se reduce.

Hay, sin embargo límites al valor en el cual se puede disponer la ganancia del lazo cerrado. Si el error de atraso es muy pequeño, la fresadora se disparará más allá del punto de destino y oscilará cuando se asiente.

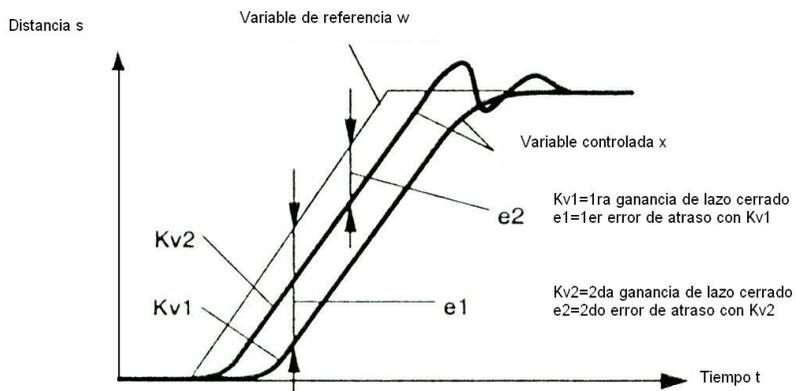


Fig. Influencia de la ganancia de lazo cerrado sobre el error de atraso

Ejercicio práctico

En una fábrica de pasteles, estos son trasladados en una banda transportadora. Al final de una sección de la banda el pastel se desliza sobre una superficie metálica. Desde allí, el pastel es empujado a una segunda banda transportadora que se encuentra en un ángulo de 90° con relación a la primera.

La transferencia hacia la segunda banda transportadora se hace usando un cilindro neumático controlado de lazo cerrado. Esto acelera el cocimiento de acuerdo a la velocidad de la banda. Debido a la fragilidad del pastel la aceleración debe mantenerse en un rango determinado.

Para optimizar la disposición del controlador para el actuador, se debe investigar las funciones Características de movimiento del eje lineal.

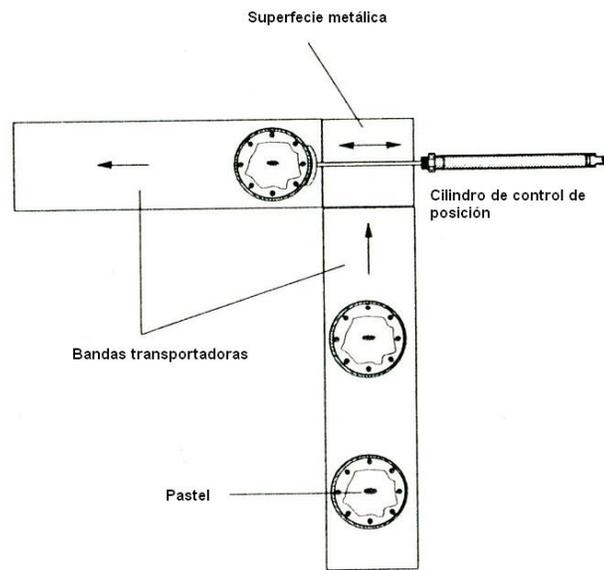


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de equipo/componentes.

Ejercicio:

1.- Determinar el comportamiento de seguimiento con una función de rampa.

- Ensamblar el experimento de acuerdo con los circuitos de diagrama previstos.
- Usar el generador de voltaje para ingresar una función de onda triangular (Compensación = 5V, Amplitud = 2V, Frecuencia= 0.5 Hz).
- Verificar el control direccional y corregirlo si es necesario.
- La variable correctora (Compensación relativo) de la variable de referencia debe ser disposición para que el deslizador oscile en el medio de su parada.
- Ajustar la variable de referencia y señales de variable controlada en el osciloscopio de tal forma que ellos sean correctamente posicionados uno con el otro relativamente. Por lo menos un período de oscilación debe ser visible en la pantalla.
- Parametrizar el controlador usando el método empírico o disponer el controlador con los coeficientes del ejercicio previo.
- Dibujar la curva de la variable controlada en el gráfico preparado.
- Medir el error de atraso y convertirlo en una unidad. (mm)

- Investigar el comportamiento del seguimiento variando las funciones características de la función de onda triangular como está especificado.
- Evaluar el comportamiento del seguimiento con las preguntas y respuestas de la hoja de trabajo.

2.- Determinar el error de atraso como una función de velocidad.

- Reducir la frecuencia de la variable de referencia a 0.2 Hz.
- Comparar la variable de referencia y la variable controlada en el despliegue del osciloscopio.
- Variar las frecuencias de la variable de referencia de acuerdo con los valores en la tabla.
- Medir el error de atraso e en cada caso e ingrese los valores en la tabla.
- Convertir el error de atraso en una unidad (mm).
- Determinar la velocidad v del eje del deslizador en (mV/s) y convertirlos en (mm/s)
- Calcular la ganancia del lazo cerrado K_v .
- Diferente error de atraso pueden resultar del avance y regreso del alcance. Si esto ocurre proceder como sigue:

En ambos casos ajustar el compensación de la variable correctora (corrección del punto cero de la válvula) hasta los error de atraso, en cualquier lado es lo mismo, o medir ambos error de atraso y calcular los valores promedios.

- A frecuencias bajas el error de atraso puede ser determinado solo aproximadamente, desde que el comportamiento del seguimiento tiene un caracter escalonado. Anotar los valores más bajos del error de atraso.

3.- Determinar el error de atraso con una función de ganancia de controlador.

- Disponer la función de onda triangular con una frecuencia = 0.5 Hz, amplitud = 1V, compensación = 5V.
- Optimizar el controlador en cada caso para la ganancia especificada del controlador.
- Medir el error de atraso y calcular la velocidad del deslizador y los valores de ganancia del lazo cerrado.
- Evaluar los resultados medidos respondiendo las preguntas.

ANEXO 19

Práctica Nº 19

Materia:

Control de lazo cerrado neumático dinámico

Tema:

Explicar el término “error de atraso”; y ganancia de lazo cerrado

Objetivo:

- Analizar el diseño y el funcionamiento de un controlador de estatus.

Metas:

- Familiarizarse con el sistema de control de seguimiento.
- Ser capaz de explicar el término “error de atraso”.
- Ser capaz de medir el “error de atraso”.
- Ser capaz de explicar el término “ganancia de lazo cerrado”.
- Proponer un caso práctico industrial

Aspectos técnicos

Para mayor información técnica referirse a **Controladores PI, PD Y PID** (Pág. 103)

Ejercicio práctico

Para la Pasteurización y Uperización (UHT) de la leche se debe precisar el control de tiempo-temperatura para garantizar la destrucción de microorganismos patógenos, para esto la leche debe ser sometida a ciertos procesos continuos para obtener un líquido consumible, estos procesos se pueden observar en la siguiente figura:

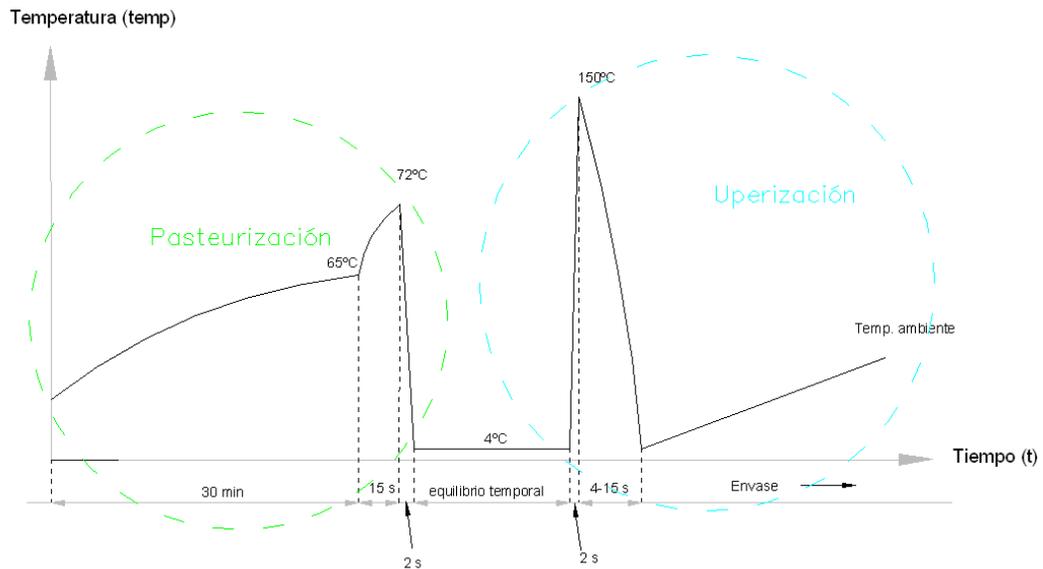


Fig. Ejercicio práctico

Equipo

Observar tabla de equipo/componentes.

Ejercicio:

1.- Armar y ensamblar el equipo

- Ensamblar el circuito neumático y eléctrico

2.- Determinar las posiciones del actuador lineal

- En la práctica se podrá visualizar la práctica realizando la analogía

POSICIÓN ACTUADOR LINEAL = TIEMPO

APERTURA PISTON = TEMPERATURA

- En el actuador lineal se marcarán las posiciones mediante el potenciómetro lineal adherido al mismo

3.- Simular las temperaturas del ejercicio

- El potenciómetro lineal entregará el voltaje necesario para mover el actuador lineal (simulación de los tiempos del proceso), luego por medio de una conexión con la válvula proporcional 5/3 y el movimiento del pistón acompañado también al actuador lineal será la temperatura en alza o en disminución de cada uno de los pasos de la pasteurización y la Upererización.
- Para cada uno de los movimientos específicos disponer los coeficientes del controlador PID, dependiendo del movimiento del pistón, las ganancias de cada uno de los elementos serán dispuestos de acuerdo al tiempo necesario, este tiempo no excluye al primer paso, subida en 30 min a 65°C, para este se utilizarán 10 s

TABLA DE COMPONENTES - EJERCICIOS

COMPONENTES	EJERCICIOS																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Unidad de mantenimiento	1	1	1	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	1	1
Manómetro	1	1	1	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	1	1
Mangueras PU-4 25 m	1	1	1	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	1	1
Placa de entrada de señal	1	1			1			1	1		1		1	1	1	1			
Sensor análogo de presión	1	1	1	1	1			1	1		1		1	1	1				
Comparador		1	1					1											
Reservorio			1								1		2	2	2				
Válvula de control de flujo de una sola vía (check)			2						1				2	2	2				
Galga de presión (pressure gauge)			1	1				1			1		1	1	1				
Válvula de 3/2 vías			1	2					1										
Distribuidor rápido de botón (push/pull)			1	2															
Válvula solenoide de 3/2 vías			1										1	1	1				
Válvula solenoide 5/3				1															
Válvula proporcional 5/3					1			1	1		1		1	1	1	1	1	1	1
Controlador PID							1	1	1	1	1	1	1	1	1				1
Actuador lineal 200 mm																1	1	1	1
Peso de carga 50 N																			
Potenciómetro lineal																1	1	1	1
Controlador de estatus																	1	1	
Escala de 350 mm																1			
Conjunto de cables	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Multímetro digital	1	1			1	1	1									1			
Fuente de poder	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Generador de voltaje																			
Generador de funciones					(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Osciloscopio de almacenamiento			1				(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)		(1)	(1)	(1)
Cable BNC 4 mm			2		1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Cantidad de dispositivos

ANEXO 19

FESTO

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Rechbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Alemania

Oferta / Factura proforma

Festo * PO box 100710 * D-73707 Esslingen

Escuela Polytecnica
del Ejercito
QUITO
ECUADOR

Nº 48103986 / 004900 Fecha 04.03.2005

Nº Cliente 113530
Nuestra referencia Günther
Teléfono 497 11/3467-1426
Fax 497 11/347541426

Página 1 / 8

Indicar siempre nuestro no de oferta/factura proforma

Tecnología Neumática Proporcional

Estimados Señores,

por la presente nos gratamos someterles nuestra oferta como sigue:

La oferta representa un valor total de

EXW	Incoterms 2000	EUR 14.217,60
FOB cualquier puerto alemán	Incoterms 2000	EUR 14.501,00
CIP Quito	Incoterms 2000	EUR 14.928,00

bajo las siguientes condiciones:

Contenido: Como descrito en las especificaciones detalladas

Plazo de entrega: El plazo normal es
4 - 12 semanas, depende de la cantidad del pedido.

Suministro: Como mencionado arriba, embalaje por el transporte en avión incluido
Todos los suministros se efectúan en concordancia con nuestras condiciones de entrega y pago.

Pago: Por carta de credito, abierta irrevocable mente en nuestro favor con
Deutsche Bank AG, sucursal de 73728 Esslingen, Alemania, o pago contra documentos.

Validez: Los precios indicados son validos desde el 04.03.2005 hasta el 31.05.2005
y bajo la condición que el permiso de exportación y la licencia
seran concedido de las autoridades de comercio alemanes.

Precios: Todos los precios son precios de net sin ningunos descuentos adicionales

País de origen: Como mencionado por posición en las especificaciones detalladas.

Servicio de Garantía: 24 meses después de la fecha del documento del envío en avión.

Estandardos: El material ofrecido corresponde a la norma ISO 9001.

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRB 3772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRB 3347

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Rechbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Telefon : (0711) 3467-0
Fax : (0711) 34754-88500

FESTO

Escuela Polytechnica 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Página

3 / 8

En caso de pedido, sírvanse abrir una letra de crédito non revocable para su banco en favor de nosotros según los puntos marcados (x)

Categoría de crédito: confirmado non confirmado

disponible a la cuenta: Deutsche Bank AG Esslingen Branch SWIFT Code DEUTDESS611 Telex No. 723921

pagadero: al presentación
 días después de la presentación de los documentos de envío.
 contra acepto de letra de cambio a pagar el

importe de crédito: máx.....
 aprox.....

validez/entrega lo más tardar el /.....

expedición flete marítimo camión
 avión ferrocarril

descripción de la mercancía sistemas para la ensenaza en neumática proporcional
.....

condiciones de la entrega según Incoterms 2000

expedición de/para Denkendorf, Alemania/Quito, Ecuador

entrega en partes permitido no permitido

transbordo permitido no permitido

seguro cubrido del cliente vendedor
Cubre el transporte en aire y todos riesgos cubrido de la compañía de seguros

plazo para la presentación de los documentos 14 días de la extensión de los documentos

gastos del banco en Alemania cubrido del cliente vendedor

gastos del banco fuera de Alemania cubrido del cliente vendedor

condiciones especiales a pagar en Alemania.....

Les pedimos de arreglar la apertura de la letra de crédito como mencionado lo más tardar el.....

FESTO

Escuela Polytechnica 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Página

4 / 8

Artículo	tipo	nº de artículo	cantidad	precio unitario	precio neto total
10	CONJ. EQUIPOS D:S-TP111-CP-SIBU Juego de elementos TP 111 técnica de regulación neumática, nivel básico ULA=DE HS=90230010	184467	1	5.174,00	5.174,00 EUR
20	JUEGO CABL.CON. D:AS-KS-4MM-UNI-SIBU Juego de 98 cables con enchufes de 4 mm (diferentes colores y longitudes) ULA=DE HS=85444190 Peso posicion 2.325,000 G	167091	1	314,00	314,00 EUR
30	MUEBLES LAB. D:SE-FA-2PSR-2C-P Puesto de trabajo móvil Eco-Line para equipos neumáticos, para trabajar de dos lados, 2 tableros inclinados diagonal 2 armarios con 4 cajones remplace 2 placas perfiladas 159411 Nosotros preparamos una nueva línea de puestos de trabajo, serán disponible desde la primavera. Le propongo este como alternativa a partir de la posición 50. ULA=DE HS=94036090 Peso posicion 172.000,000 G	162220	1	3.515,00	3.515,00 EUR

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registernummer
HRB 1772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registernummer
HRB 3348

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Reichbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Telefon: (0711) 3407-0
Fax: (0711) 34074-88500

FESTO

Escuela Polytecnina 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Pagina 5 / 8

Articulo	tipo	nº de articulo	cantidad	precio unitario	precio neto total
40	BASTIDOR D:SE-ER-AR Bastidor para montaje de elementos electricos, abierto de dos lados, para mesas "Eco-Line". Con este bastidor se recomienda utilizar un fuente de alimentación "para el bastidor de montaje" (p.e. P/N 162411) al lugar de un fuente sobremesa (p.e. P/N 162418) ULA=DE HS=73269098 Peso posicion 7.000,000 G Alternativa, 40: No incluido en total	162226	1	99,00	99,00 EUR
50	MUEBLES LAB. D:LL2-SW-MF-A-1100-ER Puesto de trabajo estacionario con placa perfilada con inclinacion (1100 mm de ancho) y Bastidor de Montaje ER HS=94032099 Alternativa, 50: No incluido en total	539023	1	2.102,00	2.102,00 EUR
60	CONT. RODILLOS D:LL2-WD4 Cajones de acero bloqueables. Completamente extraibles, tope de seguridad ULA=DE HS=94032099 Peso posicion 1,000 G Alternativa, 60: No incluido en total	535834	1	841,00	841,00 EUR
70	RETENEDOR D:LL2-HC Soporte para cables (Juego de cables, universal) ULA=DE HS=73269098 Peso posicion 1,000 G	535812	1	55,00	55,00 EUR

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registergericht Esslingen a.N.
HRB 1772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registergericht Esslingen a.N.
HRB 3347

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Reichbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Telefon: (0714) 3467-0
Fax: (0714) 34754-88500

FESTO

Escuela Polytechnica 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Pagina 6 / 8

Articulo	tipo	nº de articulo	cantidad	precio unitario	precio neto total
80	COMPRESOR D-AS-P-VD-6-25 Compresor, presión máxima: 800 kPa (8 bar), nivel acústico: 40 dB(A) a 1 m, capacidad de aspira- ción: 50 l/min., motor eléctrico: 220 V/50-60 Hz, 0,34 kW puede alimentar 2 puestos de trabajo ULA=DK HS=84148031 Peso posicion 32.000,000 G	91030	1	849,00	849,00 EUR
90	FUENTE ALIMENT. D-ER-NG-USA-115/230 Fuente de alimentación para la montaje en los bastidores 162226, 539022 o 539033 (contenidos en las mesas 539023, 539025, 539028 y 539030) Tensión de salida: 24V Intensidad de salida máx.:5A voltaje 230/110V ULA=DE HS=85043230 Peso posicion 2.060,000 G	162411	1	342,00	342,00 EUR
100	ACCESORIOS D-AS-ZB-SL-P/EP La caja de accesorios contiene accesorios de fijación y entubado, así como un cortatubos y una herramienta de desmontaje para conectores neumáticos. ULA=DE HS=84859080 Peso posicion 1.200,000 G	167020	1	268,00	268,00 EUR
110	CORTADOR TUBOS D-AS-SCHL-SCHN tube cutter ULA=DE HS=82032090 Peso posicion 29,000 G	255851	1	11,20	11,20 EUR

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRB 1772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRB 3347

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Reichbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Telefon : (0711) 3467-0
Fax : (0711) 34754-88500

Escuela Polytechnica 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Pagina

7 / 8

Articulo	tipo	nº de articulo	cantidad	precio unitario	precio neto total
120	SOFTWARE D:SW-FSP3.6-8N -ES LICENCES_2PCS FluidSIM-PV 3.6 Software para la creación y la simulación de circuitos neumáticos y electroneumáticos bajo Windows incluso transparentes electronicos y videos digitales en CD-ROM, conteniendo un multitud de materiales para la ensenanza licencia multiple para la instalación en un red, versión 3.6 español Precio ejemplario para 2 licencias, se puede configurar según sus necesidades. Cada licencia adicional cuesta 215,00 Euro ULA-DE HS-85243910 Peso posicion 1.180,000 G	532676	1	992,00	992,00 EUR
130	SOFTWARE D:SW-FLSTUDP-1 -EN LICENCES_2PCS Programa interactiva de auto-estudio fundamentos de los circuitos neumáticos licencia multiple para la instalación local inglés Precio ejemplario para 2 licencias, se puede configurar según sus necesidades. Cada licencia adicional cuesta 161,00 Euro. ULA-DE HS-85243910 Peso posicion 690,000 G	529389	1	511,00	511,00 EUR
140	Osciloscopio D:AS-SCOP Osciloscopio ULA-DE HS-90302090 Peso posicion 6.980,000 G	152917	1	1.539,00	1.539,00 EUR

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRA 1772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registriergericht Esslingen a.N.
HRB 3347

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Reichbergstr. 3
D-73770 Denkendorf
Telefon: (0711) 3467-0
Fax: (0711) 34754-88500

FESTO

Escuela Polytechnica 113530

Numero de oferta 48103986 / 004900 fecha 04.03.2005

Página 8 / 8

Articulo	tipo	nº de articulo	cantidad	precio unitario	precio neto total
150	EQUIPO MED. D-AS-DM30 Multímetro digital ULA-DE HS=90303190 Peso posicion 397,000 G	35681	1	215,00	215,00 EUR
160	GENERADOR FUNC. D-AS-FG Generador de funciones ULA-GB HS=85432000	152918	1	319,00	319,00 EUR
170	CABLE D-AS-BNC-4MM Cable BNC - 4mm ULA-DE HS=85444190	152919	2	18,00	36,00 EUR
180	BNC CABLE RG058 SW 100846-55 Cable BNC - BNC ULA-DE HS=85445190 Peso posicion 160,000 G	158357	1	20,00	20,00 EUR
190	ADAPTADOR ENT BNC-T-ST 740861-55 Pieza en T para BNC ULA-DE HS=85366990 Peso posicion 160,000 G	159298	1	13,40	13,40 EUR
Total Configuration :					14.217,60 EUR
Total neto:					14.217,60 EUR

Rechtsform
Kommanditgesellschaft
Sitz: Esslingen a.N.
Registernotiz Esslingen a.N.
HRA 1772

persönlich haftende Gesellschafterin
Festo Didactic Management GmbH
Sitz: Esslingen a.N.
Registernotiz Esslingen a.N.
HRB 3347

Geschäftsführer
Dr. Wilfried Stoll
Dr. Theodor Niehaus

Festo Didactic GmbH & Co. KG
Reichbergstr. 3
D-7377 0 Denkendorf
Telefon : (0714) 3467-0
Fax : (0714) 34754-88500

Anexo 21

Software

Diseño y simulación

FluidSIM® 5

FluidSIM® es versátil para preparar cursos en escuelas y centros de formación profesional, como sistema de experimentación y para estudio autodidacta, o como sistema CAD para el diseño de sistemas de control. Hemos rediseñado y ampliado sustancialmente este programa de diseño y simulación de circuitos que tanto éxito está teniendo. ¡Pruebe la versión demo en Internet y véalo Ud. mismo!

Nuevas funciones y contenido:

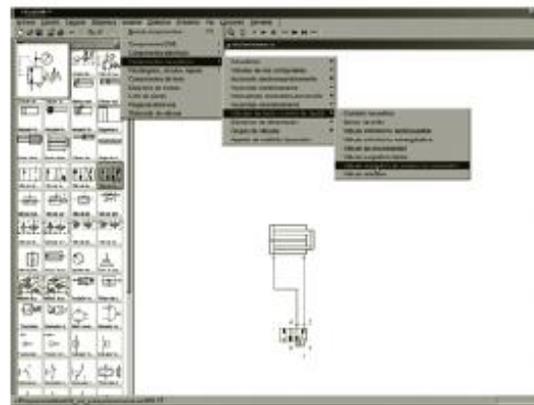
- Secuencias de vídeo integradas en calidad DVD
- Librerías ampliadas, configurables con más de 100 símbolos
- Símbolos según DIN/ISO 1219
- Nuevas funciones CAD: Alisar, agrupar, niveles de dibujo
- Editor de válvulas
- Funciones de impresión mejoradas con mayor margen de ajustes
- Posibilidad de usar otras unidades: lbf, psi, gal
- Mayor margen de valores para presión y fuerza en la versión hidráulica: hasta 350 bar/ 20000 N
- Generación automática de lista de piezas
- Identificación de puertos
- Diagramas e históricos de valores medidos para las más importantes variables de estado
- Importación de archivos DXF
- Servidor de Interface DDE
- Materiales de enseñanza revisados
- Administración de proyectos
- Optimizado para Windows 98/ME/2000/XP

Cumplimos con sus deseos:

- Seleccione el tipo de licencia que mejor se adapte a sus necesidades
- Actualizaciones para todas las versiones de FluidSIM®, incluso con selección libre del número de licencias



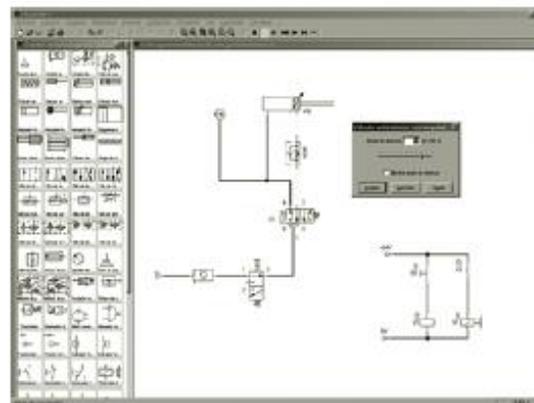
Neumática, Hidráulica



Dibujo profesional:
FluidSIM® le permite crear esquemas de circuitos que cumplan con los estándares, con una facilidad y confianza que otros programas de diseño y simulación no han podido alcanzar.



Formación efectiva:
FluidSIM® ofrece un software de presentación integrado con juegos de diapositivas completo y secciones en corte animadas sobre diversos temas. Naturalmente, no es ningún problema crear sus propias presentaciones – integrando gráficos, texto o vídeo desde otros programas de Windows.



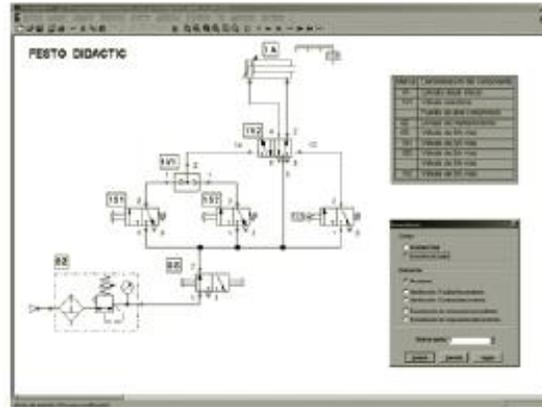
Simulación precisa:
El esquema del circuito de la izquierda muestra un sistema neumático sencillo controlado por un circuito eléctrico. Puede ajustarse la presión de funcionamiento, el tamaño del cilindro y el ajuste de los reguladores de velocidad.

FluidSIM® simula con precisión el comportamiento del sistema. Por esto el programa es el "Experimentador" ideal para una introducción práctica a la ingeniería de control.

Objetivos didácticos:

Planificación de mandos:

- Administre los proyectos
- Cree su propias librerías
- Dibuje circuitos
- Use más de 100 símbolos preparados
- Use identificadores de conexión preparados
- Función de retícula y atracción para las conexiones
- Posicionado automático de componentes según los estándares
- Use capas
- Cree cajetines de dibujos
- Imprima en todos los formatos de dibujo con visualización previa
- Prepare listas de piezas automáticamente



Creación de tareas y soluciones para formación:

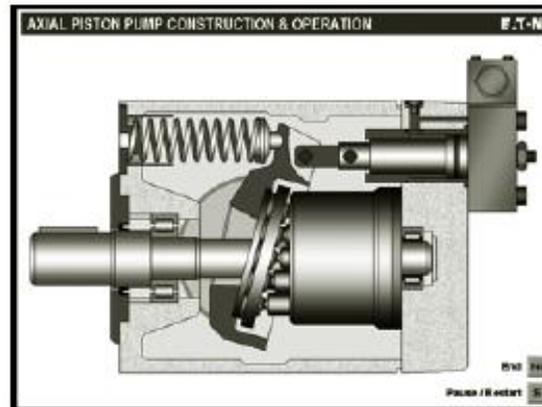
- Hojas de ejercicios para conectar y completar los elementos
- Identificación según ISO
- Publicación de soluciones impresas o como archivo de prueba

Seguimiento de experimentos durante las lecciones:

- Temporización dependiente del ajuste del regulador de flujo y la presión de funcionamiento
- Diagramas de desplazamiento-tiempo
- Retardos de tiempo

Explicación de los circuitos neumáticos e hidráulicos básicos:

- Basada en los libros de texto "Neumática, Nivel Básico" e "Hidráulica, Nivel Básico"
- Basada en BIBB y el libro de trabajo TP 100/200/500/600
- Con diapositivas preparadas en la versión Hidráulica, ahora con muchas hojas nuevas de Eaton Corporation
- Con juegos de diapositivas propios
- Complementado con archivos como gráficos, archivos AVI, archivos WAV y de texto



Explicación de los circuitos eléctricos básicos:

- Por ejemplo, circuitos serie o paralelo con pulsador o interruptor y con piloto indicador/ alarma acústica
- Estructura de los circuitos con relés

Documentación de proyectos y de la formación:

- Utilice las fotos y las diapositivas de FluidSIM®3
- Utilice símbolos individuales y circuitos completos de FluidSIM®3
- Documente los diagramas de desplazamiento/tiempo obtenidos



Conecte hardware real a FluidSIM®:

- Use FluidSIM® como un controlador virtual: Controle un hardware real - como el TP 101
- FluidSIM® como proceso virtual: Controle circuitos de FluidSIM® con un PLC externo

BIBLIOGRAFIA

BERND BOCKSNICK. Fundamentos de la técnica de mando Festo Didactic. Traducido del Inglés por Schwarz GMBH & Co, 1ra ed. Stuttgart, Alemania. pp 42 – 68. 1990.

GERHARTZ J. y SCHOLZ D. Closed-Loop Pneumatics Festo Didactic. 1ra ed. Esslingen, Alemania. pp A-3 - A-79 (sección A); pp B-3 – B-88 (sección B). 1994.

GERHARTZ J. y SCHOLZ D. Neumática Básica Festo Didactic. Traducido del Inglés por Schwarz GMBH & Co 1ra ed. Esslingen, Alemania. pp 10 – 60. 1994.

REINOSO O. y RUBIO E. identificación y control de un cilindro neumático con válvulas proporcionales. Pdf. Pp 1 – 7. 2001

MING-CHANG S. y SHY-I T. Identification and Position Control of a Servo Penumatic Cylinder”, Control Engineering. Vol. 3, No. 9, pp 1285-1290. 1995

http://www.ddc-online.org/intro/intro_chapt02.aspx#integral, Proporcional control, Inglés, 2004.

<http://www.rolcar.com.mx/Mecanica%20de%20los%20sabados/Conceptos%20basicos%20frenos%20abs%204.htm>, Conceptos básicos de los frenos ABS, Español, 2001

<http://www.festo.com/didactic/default.asp?action=setcfg&nation=int&lang=es>, Sistemas de enseñanza, Automatización, Alemania, 2005