

**SISTEMA DE CONTROL BASADO EN AUTOMATA
PROGRAMABLE PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE
ENSAYOS INSTRON**

**JAVIER ANTONIO BAUTISTA LASPRILLA
OSCAR MAURICIO GALEANO RINCON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2008

**SISTEMA DE CONTROL BASADO EN AUTOMATA
PROGRAMABLE PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE
ENSAYOS INSTRON**

**JAVIER ANTONIO BAUTISTA LASPRILLA
OSCAR MAURICIO GALEANO RINCON**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
ABEL PARADA CORRALES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2008**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 24 de Noviembre de 2008

...A Dios por permitirme que cada día alcance las metas de mi vida

a mis padres, hermanas y a mi tía Teresa que en todo momento me han brindado todo el apoyo y siempre han estado a mi lado.

A Camila por apoyarme siempre, por su Comprensión y cariño en todo momento

A mis amigos que con su amistad hicieron mas fácil el camino.

Oscar Galeano

*Dedico esta meta cumplida
Principalmente a Dios, a mis padres, a mis hermanos,
A Sandra y a mis compañeros
Quienes también me aportaron
El apoyo y la colaboración suficiente*

Javier Bautista Lasprilla

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a:

Abel Parada Corrales, Ingeniero mecánico y Director del proyecto por el valioso respaldo moral y académico brindado durante el desarrollo de este trabajo.

Kevin Joel Ospino, Ingeniero electrónico por su gran aporte técnico y la colaboración entregada a los autores en la realización de este trabajo.

Nuestras familias y compañeros de la Escuela de Ingeniería Mecánica infaltables en la realización de todo trabajo.

CONTENIDO

	pág.
1. OBJETIVOS.....	4
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
2. MARCO TEORICO CONTROL AUTOMATICO.....	6
2.1 SISTEMAS DE CONTROL.....	6
2.1.1. Definiciones.....	7
2.1.2. Funciones Del Sistema De Control.....	10
2.1.3. Componentes De Un Sistema De Control.....	10
2.1.4. Representación De Un Sistema De Control.....	12
2.1.5. Clasificación De Los Sistemas De Control.....	13
2.1.5.1. Sistema De Control De Lazo Abierto.....	13
2.1.5.2. Sistema De Control De Lazo Cerrado.....	14
2.1.5.3. Elementos Básicos De Un Sistema De Control De Lazo Cerrado.....	15
2.1.5.4. Sistemas De Control Analógicos Y Digitales.....	15
2.1.5.5. Sistemas De Control Cableados Y Programables.....	16
2.1.5.6. Sistemas Lineales.....	17
2.1.5.7. Sistemas No Lineales.....	18
2.1.5.8. Sistema De Control De Procesos Continuos.....	18
2.1.5.9. Comparación entre los sistemas de control de lazo cerrado y de lazo abierto.....	19
2.2. ACCIONES DE CONTROL.....	20
2.2.1. Control todo o nada.....	21
2.2.2. Control proporcional (P).....	22
2.2.3. Control Integral (I).....	23

2.2.4.	Control Derivativo (D).....	23
2.2.5.	Control Proporcional-Integral (PI).....	24
2.2.6.	Control Proporcional-Derivativo (PD).....	25
2.2.7.	Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	25
2.3.	RESPUESTA DEL PROCESO AL CONTROL.....	27
2.4.	ANÁLISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA EN UN SISTEMA DE CONTROL.....	28
3.	SERVOMECANISMOS ELECTROHIDRAULICOS.....	29
3.1.	INTRODUCCION.....	29
3.2	ELEMENTOS NECESARIOS EN UN SERVOMECANISMO ELECTROHIDRAULICO.....	30
3.3.	SERVOVALVULAS.....	31
3.3.1.	Motor par.....	31
3.3.2.	Conjunto lengüeta y boquilla.....	32
3.3.3.	Etapa Principal.....	35
3.3.4.	Posición Central.....	35
3.3.5.	Ganancia en Caudal.....	38
3.3.6.	Ganancia en Presión.....	40
3.3.7.	Histéresis.....	42
3.3.8.	Umbral.....	42
3.3.9.	Linealidad y Simetría.....	43
3.3.10.	Caudal.....	43
3.3.11.	Características Dinámicas.....	47
3.3.12.	Respuesta a una entrada en escalón.....	48
3.3.13.	Respuesta en frecuencia.....	49
3.3.14.	Amplificadores.....	53
3.3.15.	Módulos de Rampa.....	57
3.4.	TRANSDUCTORES.....	59
3.4.1.	Consideraciones sobre los transductores.....	63
3.4.2.	Funcionamiento típico de un transductor.....	66

3.5.	SERVOMECANISMO CONTROL DE LA POSICION.....	72
3.5.1.	Descripción de un sistema de control de posición de lazo cerrado.....	74
3.6.	SERVOMECANISMO CONTROL DE LA VELOCIDAD.....	76
3.7.	SERVOMECANISMO CONTROL DE LA FUERZA.....	76
3.8.	SERVOCONTROL DE LOS ACTUADORES.....	80
3.9	ANALISIS DEL SISTEMA EN LAZO CERRADO PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON.....	84
3.9.1.	Análisis del sistema en lazo cerrado Posición.....	88
3.9.2.	Análisis del sistema de control de fuerza.....	92
4.	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON.....	93
4.1.	DESCRIPCION GENERAL.....	93
4.1.1.	Paquete De Potencia Oleohidráulica.....	94
4.1.2.	Marco de carga.....	98
4.1.3.	Sistema de control.....	100
4.1.3.1.	Unidad De Control.....	101
4.1.3.1.1.	Consola De Control.....	101
4.1.3.1.2.	Controlador Analógico De La Máquina INSTRON.....	103
4.1.3.2.	Sensores.....	105
4.1.3.2.1.	Celda de carga.....	106
4.1.3.2.2.	Acondicionador de Transductor de carga.....	110
4.1.3.2.3.	Transductor de Posición (LVDT).....	111
4.1.3.2.4.	Acondicionador de Transductor de Desplazamiento.....	113
4.1.3.3.	Preaccionamiento.....	115
4.1.3.3.1.	Servoválvula.....	115
4.1.3.3.2.	Controlador de Salida Servoválvula o Servoamplificador.....	116
4.2.	DIAGNOSTICO.....	118
4.2.1.	Inspección Visual.....	118
4.2.2.	Inspección Técnica.....	119

5.	IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL BASADO EN AUTOMATA PROGRAMABLE PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON.....	124
5.1.	DEFINICION PARTE OPERATIVA.....	124
5.1.1.	Accionamientos.....	124
5.1.2.	Transductores.....	125
5.1.3.	Comunicación Hombre – Máquina.....	128
5.2.	SELECCION HARDWARE.....	130
5.2.1.	Requisitos.....	131
5.2.2.	Descripción Equipo Seleccionado.....	132
5.3.	INSTALACION, ADECUACION Y MONTAJE.....	139
6.	PROGRAMACION, SINTONIZACION Y VISUALIZACION.....	152
6.1.	PAQUETE DE PROGRAMACIÓN STEP 7-MICRO/WIN.....	152
6.1.1.	Requisitos del sistema.....	152
6.1.2.	Instalar STEP 7-Micro/WIN.....	154
6.1.3.	Opciones de comunicación.....	154
6.1.4.	Elementos básicos de un programa.....	154
6.1.5.	Programa principal.....	155
6.1.6.	Subrutinas.....	155
6.1.7.	Rutinas de interrupción.....	156
6.1.8.	Otros elementos del programa.....	157
6.1.9.	Utilizar STEP 7-Micro/WIN para crear programas.....	157
6.1.10.	Funciones del editor AWL.....	159
6.1.11.	Funciones del editor KOP.....	160
6.1.12.	Funciones del editor FUP.....	161
6.2.	EJECUTAR LA LÓGICA DE CONTROL EN EL S7-200.....	162
6.2.1.	Relacionar el programa con las entradas y salidas físicas.....	162
6.2.2.	Ejecutar las tareas en un ciclo.....	163
6.2.3.	Leer las entradas.....	165
6.2.4.	Ejecutar el programa.....	165

6.2.5.	Procesar las peticiones de comunicación.....	166
6.2.6.	Efectuar el autodiagnóstico.....	166
6.2.7.	Escribir las salidas digitales.....	166
6.3.	CONFIGURACION DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	166
6.3.1.	Entradas y Salidas.....	166
6.4.	ASIGNACION ENTRADAS Y SALIDAS.....	168
6.5.	REGULADOR PID EN EL SIMATIC S7-200 CPU 224.....	169
6.5.1.	Algoritmo PID.....	170
6.5.2.	Término proporcional de la ecuación PID.....	172
6.5.3.	Término integral de la ecuación PID.....	173
6.5.4.	Término derivativo de la ecuación PID.....	173
6.5.5.	Seleccionar el tipo de regulación.....	174
6.6.	CONFIGURACION DEL REGULADOR PID.....	175
6.7.	BLOQUES Y SUBROUTINAS EMPLEADAS.....	183
6.8.	CONTROL DE SINTONIA PID.....	185
6.8.1.	Ajuste De Parámetros Del Regulador PID.....	190
6.8.2.	Ajuste Por Error Y Ensayo.....	191
6.8.3.	Desarrollo Del Ajuste De Parámetros Para Las Configuraciones PID.....	192
6.8.4.	Visualización.....	193
7.	PRUEBAS.....	199
7.1.	CONTROL DE POSICION.....	199
7.2.	CONTROL DE PRESION.....	205
7.3.	PRUEBA DE COMPRESION.....	209
7.4.	PRUEBA DE TENSION.....	215
7.5.	SISTEMA DE EJECUCION Y ADQUISICION DE DATOS.....	220
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	223
9.	BIBLIOGRAFIA.....	226
	ANEXOS.....	228

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esq. general de un Sist. De Control retroalimentado y el proceso a controlar.....	11
Figura 2. Diagrama de Bloques.....	12
Figura 3. Sistema de control en lazo abierto.....	13
Figura 4. Sistema de control en lazo cerrado.....	14
Figura 5. Acción de control Proporcional-Integral.....	24
Figura 6. Respuesta de un Sistema a una perturbación.....	28
Figura 7. Servoválvula tipo lengüeta/boquilla.....	31
Figura 8. Bastidor motor par.....	32
Figura 9. Funcionamiento motor par.....	32
Figura 10. Conjunto lengüeta y boquilla.....	33
Figura 11. Funcionamiento conjunto lengüeta y boquilla.....	34
Figura 12. Lengüeta en posición central.....	34
Figura 13. Etapa Principal.....	35
Figura 14. Diferentes tipos de corredera.....	36
Figura 15. Zona muerta vs. Caudal.....	37
Figura 16. Señal de entrada.....	37
Figura 17. Ganancia en caudal.....	38
Figura 18. Sin zona muerta.....	38
Figura 19. Tolerancias de fabricación y cuadratura de los orificios.....	39
Figura 20. Característica caudal/señal de entrada.....	39
Figura 21. Efecto de los dos orificios.....	39
Figura 22. Ganancia de caudal en centro crítico.....	40
Figura 23. Corredera en posición nula.....	40
Figura 24. Presión de suministro.....	41

Figura 25. Ganancia en presión.....	41
Figura 26. Histéresis.....	42
Figura 27. Umbral.....	43
Figura 28. Linealidad y simetría.....	43
Figura 29. Restricciones en una servoválvula.....	44
Figura 30. Representación grafica de caudal.....	45
Figura 31. Representación entre caudal y presión.....	45
Figura 32. Presión de suministro.....	46
Figura 33. Potencia disponible.....	47
Figura 34. Características dinámicas.....	48
Figura 35. Respuesta a una entrada en escalón.....	48
Figura 36. Respuesta en frecuencias bajas.....	50
Figura 37. Desfasaje.....	50
Figura 38. Diagrama de Bode.....	51
Figura 39. Anchura de banda.....	52
Figura 40. Frecuencia limite.....	53
Figura 41. Amplificadores.....	54
Figura 42. Forma simplificada de un amplificador.....	54
Figura 43. Forma lineal e integradora de la ganancia.....	55
Figura 44. Corriente de salida.....	56
Figura 45. Ajuste de rampa.....	57
Figura 46. Modulo de rampas típico.....	57
Figura 47. Relación de rampa.....	58
Figura 48. Potenciómetros seleccionables.....	59
Figura 49. Diagrama de bloques para un sistema en cadena cerrada.....	60
Figura 50. Salidas típicas de los dos tipos de transductores.....	62
Figura 51. Convertidor Analógico/Digital a Digital/Analógico.....	62
Figura 52. Linealidad en los transductores.....	64
Figura 53. Transductor de posición lineal.....	66
Figura 54. LVDT (linear variable differential transformer).....	67

Figura 55. Técnica utilización de un sensor de posición lineal.....	68
Figura 56. Encoder típico.....	69
Figura 57. Dinamo tacométrica.....	70
Figura 58. Transductor típico de caudal.....	71
Figura 59. Conversión movimiento giratorio a lineal.....	73
Figura 60. Válvula de corredera deslizante.....	74
Figura 61. Gama de válvulas.....	74
Figura 62. Ejemplo sistema de control de posición de lazo cerrado.....	75
Figura 63. Control de la presión en cadena abierta.....	77
Figura 64. Control de la presión en cadena cerrada.....	77
Figura 65. Control de presión con válvula de seguridad proporcional.....	78
Figura 66. Disposición típica de un sistema de control de la presión.....	78
Figura 67. Amplificador proporcional convencional.....	79
Figura 68. Control de posición y control de fuerza.....	80
Figura 69. Servocontrol de los actuadores.....	81
Figura 70. Conjunto servoválvula y bomba de desplazamiento fijo.....	81
Figura 71. Acumulador.....	82
Figura 72. Bomba de desplazamiento variable compensada por presión.....	83
Figura 73. Acumulador conjuntamente con bomba variable.....	84
Figura 74. Datos técnicos Servoválvula.....	85
Figura 75. Datos técnicos Transmisores de Presión.....	86
Figura 76. Continuación datos técnicos Transmisores de Presión.....	87
Figura 77. Diagrama del sistema.....	88
Figura 78. Diagrama de bloques del sistema.....	88
Figura 79. Bloques del lazo cerrado.....	88
Figura 80. Máq. Universal INSTRON.....	94
Figura 81. Módulo Potencia fluida.....	95
Figura 82. Circuitos de los switches de control.....	96
Figura 83. Circuito Hidráulico y fotografía del manifold de control.....	98
Figura 84. Esquema General del marco de carga.....	99

Figura 85. Marco de carga.....	100
Figura 86. Esq. Básico del Sist. De Control Máq. INSTRON.....	101
Figura 87. Consola de control.....	102
Figura 88. Fotografía consola de control.....	102
Figura 89. Diagrama de bloques controlador analógico.....	104
Figura 90. Circuitos impresos del controlador analógico.....	105
Figura 91. Especificaciones técnicas celda de carga.....	108
Figura 92. Ubicación celda de carga.....	109
Figura 93. Celda de carga.....	109
Figura 94. Esquema preamplificador de carga.....	110
Figura 95. Esquema transductor de carga.....	111
Figura 96. Transductor diferencial lineal variable.....	112
Figura 97. LVDT.....	113
Figura 98. Esquema preamplificador de desplazamiento.....	114
Figura 99. Esquema transductor de desplazamiento.....	115
Figura 100. Servoválvula.....	116
Figura 101. Esquema del amplificador servoválvula.....	117
Figura 102. Deterioro en cables.....	119
Figura 103. Diagrama de bloques LVDT.....	120
Figura 104. Inspección técnica.....	120
Figura 105. Circuito generador de señal LVDT.....	121
Figura 106. Circuito diferencial celda de carga.....	122
Figura 107. Circuito prueba servoválvula.....	122
Figura 108. Esquema tarjeta de potencia Vickers.....	123
Figura 109. Ubicación servoválvula.....	125
Figura 110. Ubicación Sensor Magnetorestrictivo de Posición.....	126
Figura 111. Ubicación transductores de presión.....	128
Figura 112. Panel de operación.....	129
Figura 113. Descripción Micro-PLC S7-200.....	132
Figura 114. Micro-PLC S7-200.....	135

Figura 115. Conexión TD200.....	138
Figura 116. Alimentación S7-200.....	140
Figura 117. Conectar el cable multimaestro RS-232/PPI.....	141
Figura 118. Métodos de montaje, orientación y espacio necesario.....	142
Figura 119. Dimensiones de montaje.....	145
Figura 120. Extraer el bloque de terminales.....	147
Figura 121. Step 7–Micro/Win.....	153
Figura 122. Step 7–Micro/Win – Proyecto.....	153
Figura 123. Elementos básicos de un programa de control.....	155
Figura 124. Icono Bloque de sistema.....	157
Figura 125. Icono Bloque de datos.....	157
Figura 126. Icono Editor de Programas.....	158
Figura 127. Funciones del editor AWL.....	159
Figura 128. Funciones del editor KOP.....	160
Figura 129. Funciones del editor FUP.....	161
Figura 130. Esquema de circuitos simple.....	163
Figura 131. Ejecutar las tareas en un ciclo.....	164
Figura 132. Escalamiento señal de voltaje Ubicación Sensor Magnetorestrictivo de Posición.....	167
Figura 133. Asistente de operaciones – Cuadro 1.....	175
Figura 134. Asistente de operaciones – Cuadro 2.....	176
Figura 135. Asistente de operaciones – Cuadro 3.....	177
Figura 136. Asistente de operaciones – Cuadro 4.....	178
Figura 137. Asistente de operaciones – Cuadro 5.....	179
Figura 138. Asistente de operaciones – Cuadro 6.....	180
Figura 139. Asistente de operaciones – Cuadro 7.....	180
Figura 140. Asistente de operaciones – Cuadro 8.....	181
Figura 141. Árbol de operaciones.....	183
Figura 142. Tabla de símbolos.....	183
Figura 143. Programa de control.....	184

Figura 144. Panel de control de sintonía PID.....	185
Figura 145. Parámetros avanzados.....	188
Figura 146. Respuesta a un cambio de consigna.....	189
Figura 147. Respuesta tras el proceso de autosintonía.....	190
Figura 148. Proceso de autosintonía PID 0 (posición).....	192
Figura 149. Proceso de autosintonía PID 1 (presión).....	193
Figura 150. Visualizador de texto TD 200.....	194
Figura 151. Asistente del TD 200 – Cuadro 1.....	194
Figura 152. Asistente del TD 200 – Cuadro 2.....	195
Figura 153. Asistente del TD 200 – Cuadro 2.....	196
Figura 154. Dibujando Scada.....	197
Figura 155. Encendido Maquina y Prueba de Posición.....	198
Figura 156. Prueba de Compresión y Tensión.....	198
Figura 157. Cilindro en extremo superior.....	201
Figura 158. Cilindro en extremo inferior.....	202
Figura 159. Cilindro en posición intermedia.....	203
Figura 160. Cilindro en posición intermedia (a).....	204
Figura 161. Imágenes prueba de Compresión.....	215
Figura 162. Imágenes prueba de Tensión.....	219

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparación de Sist. Cableados y Sist. Programables.....	17
Tabla 2. Proc. Controlados por c/u de los modos básicos de control.....	27
Tabla 3. Elementos que influyen en la elección del autómeta.....	130
Tabla 4. Elementos que influyen en la elección del autómeta.....	134
Tabla 5. Características técnicas CPU 224 AC/DC/Relé.....	136
Tabla 6. Características técnicas módulo EM235.....	137
Tabla 7. Características técnicas del TD200.....	139
Tabla 8. Asignación entradas y salidas.....	168
Tabla 9. Operandos validos para la operación regulación PID.....	170
Tabla 10. Tabla del lazo.....	175
Tabla 11. Parámetros PID.....	182

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Programa de control.....	228

RESUMEN

TÍTULO:
SISTEMA DE CONTROL BASADO EN AUTOMATA PROGRAMABLE PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON*

AUTORES:
Javier Antonio Bautista Lasprilla.
Oscar Mauricio Galeano Rincón.**

PALABRAS CLAVES:
PLC, Máquina Universal de Ensayos, Instron, Control Automático, PID.

DESCRIPCIÓN:

En el año de 1980, la Universidad Industrial de Santander adquirió la máquina universal de ensayos marca INSTRON, con una capacidad máxima de trabajo que alcanza las 80 toneladas @ 3000 psi, con el fin de realizar pruebas en diferentes tipos de materiales, tales como ensayos de tracción, compresión y fatiga. Esta máquina consta esencialmente de tres partes que son: el paquete de potencia oleohidráulica, el marco de carga y el sistema de control.

Con el paso del tiempo, el sistema de control de la máquina presentó fallas en la unidad de control y en los transductores utilizados para la retroalimentación; y es sobre este sistema que se desarrolla la aplicación de este trabajo de grado.

Mediante la implementación de un autómata programable como unidad de control en el sistema de control de la máquina, se posibilita el acceso en la operación, programación y monitoreo de las variables que involucran los procesos en la ejecución de la máquina, permitiendo a su vez la configuración de las constantes de las acciones proporcional, integral y derivativa a través del regulador PID parametrizable del autómata programable. Obteniendo de esta manera el control de la posición y de la presión en el sistema en lazo cerrado y así garantizar el control en la aplicación de la carga, en el desplazamiento del pistón y además, la seguridad en las pruebas.

Como resultado se obtiene una nueva configuración en el sistema de control de la máquina; un PLC SIEMENS SIMATIC S7 224 con módulo de expansión EM 235 para entradas y salidas analógicas como unidad de control, dos transmisores de Presión SIEMENS SITRANS P Serie Z para el control retroalimentado en la aplicación de la carga y un Sensor Magnetorestrictivo de Posición Lineal Modelo EP Marca MTS Sensors TEMPOSONICS en el control retroalimentado de la posición. Utilizando el software STEP 7 Microwin V4.0 para la configuración del autómata programable.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica,
Director Ing. Abel Parada

SUMMARY

TITLE:

CONTROL SYSTEM BASED IN PROGRAMMABLE LOGICAL CONTROLLER FOR INSTRON TESTING UNIVERSAL MACHINE*

AUTHORS:

Javier Antonio Bautista Lasprilla. **
Oscar Mauricio Galeano Rincón. **

KEY WORDS:

PLC, Testing Universal Machine, Instron, Automatic Control, PID

DESCRIPTION:

In 1980, the “Universidad Industrial de Santander” University had got the INSTRON Universal Machine, maximum capacity 80 tons @ 3000 psi, for testing in different kind of materials, such as testing under compression, traction or fatigue. This machine has three main components, and these are: the oil-hydraulics package, the standing structure and the control system.

The control system had failed a long time ago; almost of its components are out of service especially in the control unit and, in the feedback control transducers. Therefore, this is the topic to lead this present degree work.

Assembling a programmable logical controller let it easily to take control of process variables looking for a tuning in the PID controller. Getting by this way; the close-loop feedback control to supply pressure, and the close-loop feedback control for the piston displacement.

As a result, there is a change in the Control System, it means a new configuration; a SIEMENS SIMATIC PLC S7 224 plus Modulus EM 235 for analogical inputs and outputs as the Main Control Unit, two Pressure Transmitters SIEMENS SITRANS P Series Z for close – loop feedback in load control and, a Magnetostrictive Linear-Position Sensor Model EP MTS Sensors TEMPOSONICS for close – loop feedback in displacement control. Using software STEP 7 Microwin V4.0.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Abel Parada.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, la Universidad Industrial de Santander adquirió una maquina universal de ensayos marca INSTRON, con una capacidad máxima de trabajo que alcanza las 80 toneladas @ 3000 psi, con el fin de realizar diferentes tipos de pruebas a materiales, tales como ensayos de tracción y compresión. Esta maquina consta esencialmente de tres partes que son: el paquete de potencia oleohidráulica, el marco de carga y el sistema de control.

El paquete de potencia oleohidráulica y el marco de carga no han sido la causa de inconvenientes y dificultades durante la realización de las pruebas, atribuyendo esto entonces, al sistema de control de la maquina.

El sistema de control de la maquina utiliza una estructura de lazo cerrado, y esta compuesto básicamente por la unidad de control o controlador, los sensores, los actuadores y las interfaces. El controlador de la INSTRON pertenece a una tecnología totalmente analógica, apropiada en el momento de su construcción, pero que debido a su complejidad se hace poco usual en nuestros días.

Hace algunos años con el propósito de mejorar el sistema de control se reemplazó parte de la unidad de control de tipo analógico, mediante la instalación de una tarjeta de adquisición de datos la cual convertía este sistema en un controlador de tipo digital, pero el uso de esta tarjeta no reemplaza en su totalidad a un controlador de tipo analógico, ya que elementos exteriores que responden a un controlador de tipo digital, son necesariamente de tipo analógico.

El controlador digital proporciona grandes ventajas en el control y monitoreo del proceso, aunque presenta dificultades y cierta complejidad en su

configuración y en la programación de las acciones que se deseen ejecutar, cambiar o corregir, lo cual limita en cierto modo la diversidad de aplicaciones que puede suministrar una maquina universal de ensayos como la INSTRON. Se hace necesario entonces la implementación de un sistema controlador, con el que se obtenga además de las ventajas que proporciona una tarjeta de adquisición de datos, un fácil acceso y manejo en la programación y ejecución de las acciones que se deseen realizar en la maquina, también que proporcione una alta capacidad de memoria y almacenamiento de datos, y facilite las condiciones de operación como un sistema automatizado para el manejo por parte del usuario.

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, en la generación y aplicación de conocimientos, realizamos nuestro trabajo de grado, basado en la adecuación y modernización de la maquina universal de ensayos INSTRON; mediante la instalación y programación de un autómata programable, como parte de la unidad de control del sistema controlador de la maquina; acondicionando para esta nueva disposición el resto del sistema, con el fin de satisfacer la necesidad de implementar un medio que proporcione ventajas en la programación para el control y monitoreo de los procesos, que para este caso se realizan en las pruebas de ensayo. Suministrando también, un aporte para el laboratorio de sistemas oleoneumáticos, que enriquezca la metodología de la enseñanza con la aplicación practica de lo relacionado en la materia de control automático.

A través de éste material se presenta la recopilación de los procedimientos llevados a cabo durante toda la realización de éste trabajo de grado, así como la documentación acerca de los conceptos relacionados al tema, incluyendo también registros de pruebas realizadas y material anexado tales como fichas técnicas, y manuales.

En el segundo capítulo se encuentra la documentación relacionada con los conceptos generales del control automático. En el tercer capítulo se presenta la descripción general de la máquina además el resultado del reconocimiento inicial realizado, incluyendo también un diagnóstico realizado como proceso de inspección. En el cuarto capítulo se describen los procedimientos involucrados con la implementación del cambio realizado al sistema de control de la máquina tales como la preparación, adecuación, instrumentación, acondicionamiento, instalación y montaje de los elementos. El quinto capítulo presenta los procedimientos que involucra la programación y sintonización del nuevo controlador instalado. En el sexto capítulo se describen los procedimientos llevados cabo en la realización de pruebas y los registros de las mismas, realizadas por los autores de este material. Finalizando con los capítulos 7 y 8 en los que se presentan conclusiones, recomendaciones y la bibliografía respectiva.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander en busca de la formación de profesionales con índices altos de calidad humana, ética, política, técnica y científica; y con capacidades de construcción, aplicación, y divulgación del conocimiento adquirido a través del proceso de aprendizaje, destacándose así en áreas como la automatización industrial y el control automático de procesos.
- ✓ Implementar el uso de dispositivos de control con una tecnología más reciente, en las prácticas del laboratorio de control automático.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Identificar y diagnosticar los sistemas de control automático de la maquinaria y sus sistemas físicos.
- ✓ Implementar un sistema de control basado en autómata programable para la realización de pruebas en la máquina universal de ensayos INSTRON.
- ✓ Suministrar e instalar un autómata programable, con su respectivo módulo de ampliación para el manejo de señales analógicas, con una capacidad mínima para dos entradas y una salida analógica, y que contenga integrado un regulador PID parametrizable.

- ✓ Elegir e implementar el regulador a partir del algoritmo de control PID adecuado y sintonizar las constantes de cada una de las acciones básicas de cada caso. Este proceso conlleva:
 - Evaluar el comportamiento del sistema empleando controladores que combinen las acciones de control proporcional, integral, y derivativa. A partir de lo cual se prueben, se estudien, y se comparen.
 - Se tiene por objeto probar la funcionalidad del algoritmo de control PID integrado en el autómata programable API.
 - El proceso que se adecua para la evaluación empleando diferentes tipos de controlador es el posicionamiento del pistón, de la maquina universal de ensayos INSTRON.

2. MARCO TEORICO – CONTROL AUTOMATICO.

El concepto de control es extraordinariamente amplio, abarcando desde un simple interruptor que gobierna el encendido de una bombilla o el grifo que regula el paso de agua en una tubería, hasta el más complejo ordenador de proceso o el piloto automático de un avión.

Se puede definir el control como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado *planta* a través de otro sistema llamado *sistema de control*.

2.1. SISTEMAS DE CONTROL

Un “sistema” es un ordenamiento, conjunto o colección de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyan un todo.

Un “sistema” es un ordenamiento de componentes físicos conectados o relacionados de manera que formen una unidad completa para que puedan actuar como tal.

La palabra “control” generalmente se usa para designar regulación, dirección o comando.

Al combinar las definiciones anteriores se tiene:

Un sistema de control es un ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que el mismo pueda comandar, dirigir o regularse a sí mismo o a otro sistema. Según lo que se ha dicho el objetivo de un sistema de control es de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador actúa únicamente sobre los valores de las entradas de consigna (la entrada es el estímulo o la excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa), y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos.

2.1.1. Definiciones. Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

- Variable controlada y variable manipulada: La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema.
- Controlar: significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado.
- Plantas: Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular. Planta se puede denominar cualquier objeto físico que se va a controlar (tal como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).
- Procesos: El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinados. Se llamara proceso a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.
- Sistemas: Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema se aplica a

fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

- Perturbaciones: Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y se constituye en una entrada.
- Control realimentado: El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, dado que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.
- Sistemas de control realimentado: Es aquel que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia, comparando ambas y utilizando la diferencia como parámetro de control.

Es de notar que los sistemas de control realimentado no están limitados al campo de la ingeniería, sino que se les puede encontrar en áreas ajenas a la misma, como la economía y la biología. Por ejemplo el organismo humano, en un aspecto, es análogo a una intrincada planta química con una enorme variedad de operaciones unitarias. El control de procesos de esta red de transporte y reacciones químicas involucra una variedad de lazos de control. De hecho, el organismo es un sistema de control realimentado extremadamente complejo.

- Sistemas de regulación automática: Un sistema de regulación automática es un sistema de control realimentado en el que la entrada de referencia o la salida deseada son o bien constante o varían lentamente en el tiempo, y donde la tarea fundamental consiste en mantener la salida en el valor deseado a pesar de las perturbaciones presentes.

Un sistema de calefacción domiciliario en el que un termostato es el control, constituye un ejemplo de sistema de regulación automático. En este sistema, se compara el ajuste del termostato (la temperatura deseada) con la temperatura efectiva de la habitación. Una perturbación en este sistema la constituye un cambio en la temperatura exterior. El objetivo es mantener la temperatura deseada en la habitación a pesar de las variaciones en la temperatura exterior. Hay muchos otros ejemplos de sistemas de regulación automáticos, algunos de los cuales son el control automático de la presión y de magnitudes eléctricas como corriente, tensión y frecuencia.

- Sistema de control de procesos: Un sistema de regulación automático en el que la salida es una variable como temperatura, presión, flujo, nivel de líquido o pH, se llama sistema de control de procesos. El control de procesos tiene amplia aplicación en la industria. Frecuentemente se usan en estos sistemas controles programados como el de temperatura de un horno de calentamiento en el que la temperatura del horno es controlada de acuerdo con un programa preestablecido. Por ejemplo el programa preestablecido puede consistir en elevar la temperatura a determinado valor durante determinado intervalo de tiempo, y luego reducir a otra temperatura prefijada también durante un periodo de tiempo prefijado.

2.1.2. Funciones Del Sistema De Control. El sistema de control, complementado por el operador o por el controlador, realiza las siguientes funciones:

- Medición: Es esencialmente una estimación o aproximación del proceso bajo control.
- Comparación: Es un cotejo entre los valores medidos y los valores deseados.
- Cómputo: Este es un cálculo que indica cuánto difieren los valores medidos de los valores deseados, y qué acción y en qué cantidad debe tomarse para que dicha diferencia tienda a cero.
- Corrección: Esta es en últimas la materialización del ajuste. Toma las acciones necesarias para corregir el error. Luego, para que un sistema de control opere satisfactoriamente, debe tener las habilidades de medir, comparar, computar y corregir aquellas variables necesarias para cumplir con los objetivos del sistema de control.

2.1.3. Componentes De Un Sistema De Control. Examinando un sistema de control automático, encontramos que contiene el siguiente hardware:

- Sensor: Sirve para medir las variables del sistema y como la fuente de señal en el control automático (en nuestro caso particular un Sensor de Posición y dos sensores de Presión).
- Controlador: Una pieza del equipo que realiza las funciones de comparación y computación (en nuestro caso particular un PLC-Siemens CPU 224).
- Elemento final de control: Una pieza del equipo que realiza la acción de control o que posee algún tipo de acción sobre el proceso (en nuestro caso particular una servoválvula).

Asociadas al sistema de control existen diferentes tipos de Variables. Primero tenemos la Variable Controlada; este es el valor básico del proceso que estamos regulando en el sistema de control; es la variable en la que estamos interesados (La posición del cilindro y la presión ejercida por éste); en un sistema de control con retroalimentación es usualmente la variable medida.

Un concepto importante relacionado con la variable controlada es el **Setpoint**. Este es el valor deseado para la variable controlada. El objetivo del sistema de control es regular la variable controlada en forma tal que tienda hacia el valor del Setpoint, analizar figura 1.

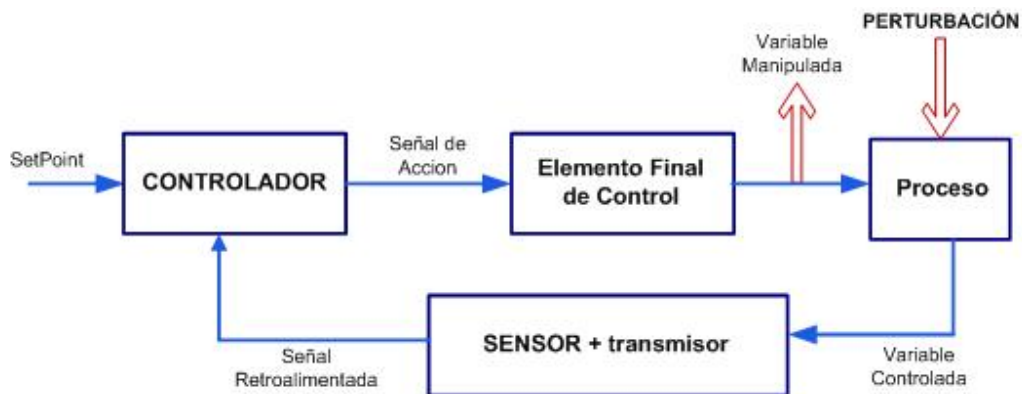


Figura 1. Esq. general de un Sist. De Control retroalimentado y el proceso a controlar

Para lograr el objetivo del control debe haber una o más variables que podamos alterar o ajustar; éstas son llamadas las Variables Manipuladas. (Para nuestro caso particular es la Apertura de la Servoválvula).

En conclusión, en un sistema de control nosotros ajustamos la variable manipulada para mantener la variable controlada en el valor del Setpoint. Esto debe cumplir con el requerimiento de mantener la estabilidad del proceso y suprimir la influencia de perturbaciones.

2.1.4. Representación De Un Sistema De Control. En todo sistema de control existen relaciones matemáticas que pueden ser representadas por medio de diagramas de bloques. La ventaja principal de estos diagramas consiste en representar de una forma práctica lo que ocurre en el sistema, en lugar de observar formulaciones netamente matemáticas relacionadas con el sistema de control.

Los diagramas de bloques son una forma sencilla de mostrar las relaciones funcionales, o ecuaciones de transferencia de los diversos componentes y revela el funcionamiento del sistema más fácilmente que la observación directa del propio sistema físico. Un aspecto importante del diagrama de bloques, es la posibilidad de apreciar la similitud entre diferentes tipos de sistemas, permitiendo con ello observar como, sistemas físicos aparentemente distintos, pueden ser analizados con las mismas técnicas y que sistemas, aparentemente sin relación, pueden ser representados por el mismo diagrama de bloques. La figura 2 representa el diagrama de bloques de un sistema de control típico. La salida o variable controlada, se realimenta a un punto, donde se le compara con la entrada de referencia o SetPoint, señal deseada para el sistema.

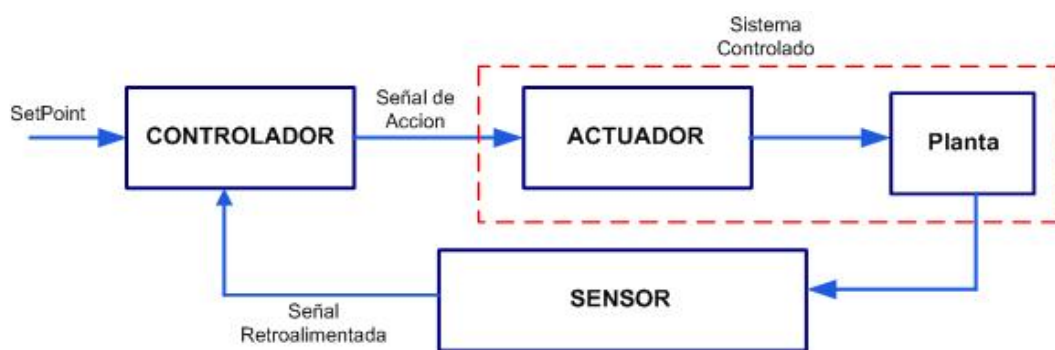


Figura 2. Diagrama de Bloques

Como se observa en la figura del diagrama de bloques se pueden distinguir dos elementos significativos los cuales son: el controlador, que es quien realiza la acción de control y recibe la señal de error. Sistema controlado, que esta comprendido por el elemento actuador y la planta.

2.1.5. Clasificación De Los Sistemas De Control. Retomando la definición de sistema de control: “Es un ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que el mismo pueda comandar, dirigir o regularse a sí mismo o a otro sistema”. Se pueden distinguir varias clasificaciones posibles en los sistemas de control, en función de una serie de criterios. Una de ellas se realiza o vienen dadas en función de la forma general del diagrama de bloques del sistema.

Así se tendrían los sistemas de control en lazo abierto en los que no existe cadena de realimentación y sistemas de control en lazo cerrado, en los que sí existe.

2.1.5.1. Sistema De Control De Lazo Abierto. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control. Es decir, en un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se realimenta para comparación con la entrada, esta idea se refleja en la Figura 3.

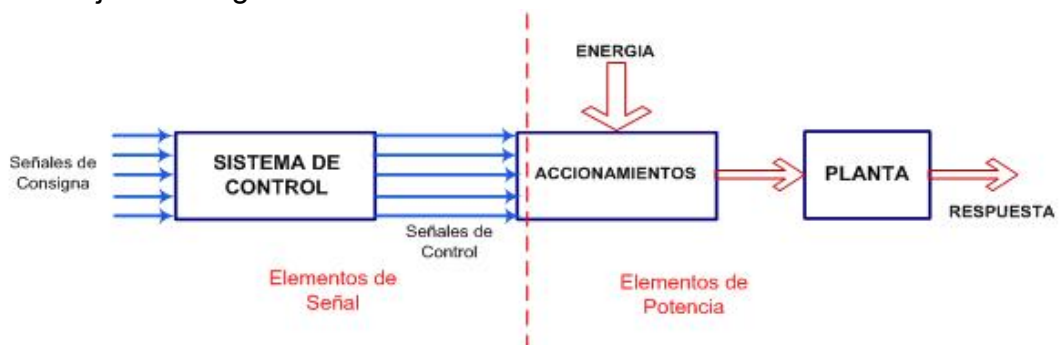


Figura 3. Sistema de control en lazo abierto

En un sistema de control de lazo abierto cualquiera, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada. Así, la exactitud del sistema depende de la calibración. (Los sistemas de control de lazo abierto deben ser cuidadosamente calibrados y para que sean útiles deben mantener esa calibración.) En presencia de perturbaciones un sistema de control de lazo abierto no cumple su función asignada. En la práctica, sólo se puede usar el control de lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no hay perturbaciones ni internas ni externas.

2.1.5.2. Sistema De Control De Lazo Cerrado. Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control, como el representado en la figura 4. Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentado.

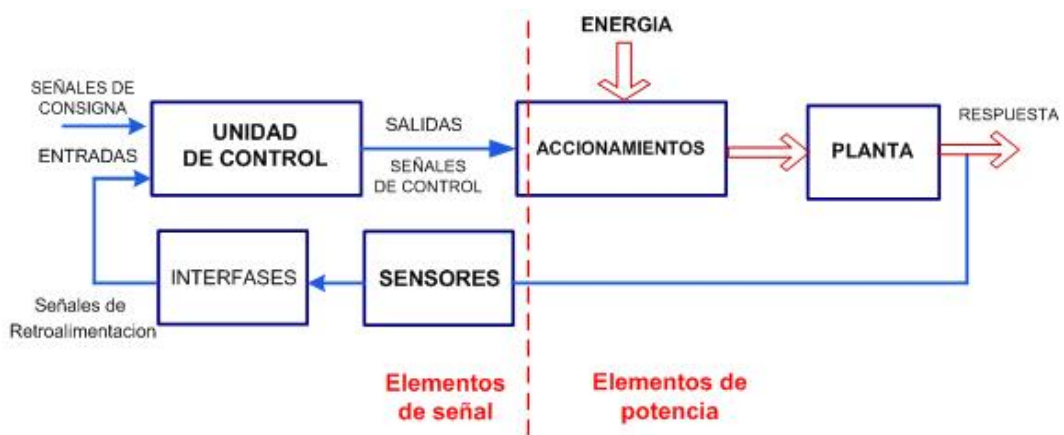


Figura 4. Sistema de control en lazo cerrado

La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas), entra al detector o control de manera de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. En otras palabras, el

término “lazo cerrado” implica el uso de realimentación para reducir el error del sistema.

2.1.5.3. Elementos Básicos De Un Sistema De Control De Lazo Cerrado.

- Elemento de comparación: Este compara el valor de referencia de la variable de la condición que esta siendo controlada con el valor medido de la que esta siendo realizada y produce una señal de error.
- Elemento de control: Este decide que acción tomar cuando recibe una señal de error. Este control se puede realizar mediante sistemas cableados o con sistemas programables donde la acción de control es almacenada dentro de una unidad de memoria y puede ser reprogramada.
- Elemento de corrección: El elemento de corrección produce un cambio en el proceso para corregir o cambiar la condición controlada. El término actuador es utilizado para el elemento de una unidad de corrección que proporciona la energía para llevar a cabo la acción de control.
- Elemento proceso: Corresponde al proceso que esta siendo controlado.
- Elemento de medición: El elemento de medición produce una señal relacionada a la variable del proceso que esta siendo controlado. Los términos transductor o sensor son utilizados para el elemento de medición.

2.1.5.4. Sistemas De Control Analógicos Y Digitales. Según la naturaleza de las señales que intervienen en el proceso, los sistemas de control pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Sistemas analógicos.
- Sistemas digitales.
- Sistemas híbridos analógico-digitales.

Los sistemas analógicos trabajan con señales de tipo continuo, con un margen de variación determinado. Dichas señales suelen representar magnitudes físicas del proceso, tales como presión, temperatura, velocidad, etc., mediante una tensión o corriente proporcionales a su valor (0 a 10 V, 4 a 20 mA, etc.).

Los sistemas digitales, en cambio, trabajan con señales todo o nada, llamadas también binarias, que sólo pueden presentar dos estados o niveles: abierto o cerrado, conduce o no conduce, mayor o menor, etc. Estos niveles o estados se suelen representar por variables lógicas o bits, cuyo valor puede ser sólo 1 o 0, empleando la notación binaria del álgebra de Boole.

Los sistemas de control actuales con un cierto grado de complejidad, y en particular los autómatas programables, son casi siempre híbridos, es decir, sistemas que procesan a la vez señales analógicas y digitales. No obstante, se tiende a que la unidad de control sea totalmente digital y basada en un microprocesador, que aporta la capacidad de cálculo necesaria para tratar las señales todo o nada en forma de bits y las señales analógicas numéricamente.

El sistema de control debe disponer de un convertidor (A/D) cuando se utilicen sensores que suministren señales de tipo analógico y puedan ser tratadas por la unidad de control, así como disponer también de interfaces para la conversión (D/A), capaces de suministrar dichas señales a partir de los valores numéricos obtenidos por la unidad de control cuando sea necesario disponer de señales analógicas de salida, para ciertos indicadores o para control de ciertos servosistemas externos.

2.1.5.5. Sistemas De Control Cableados Y Programables. De acuerdo con su configuración y construcción los sistemas de control pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Sistemas cableados.
- Sistemas programables.

Los sistemas cableados realizan una función de control fija, que depende de los componentes que lo forman y de la forma en que se han interconectado. Por tanto, la única forma de alterar la función de control es modificando sus componentes o la forma de interconectarlos.

Los sistemas programables, en cambio, pueden realizar distintas funciones de control sin alterar su configuración física, sino sólo cambiando el programa de control, lo que se resume en la tabla 1.

CARACTERISTICA	SISTEMA CABLEADO	AUTOMATA PROGRAMABLE
Flexibilidad de adaptación al proceso	Baja	Alta
Hardware estándar para dist. aplicaciones	No	Si
Posibilidades de ampliación	Bajas	Altas
Interconexiones y cableado exterior	Mucho	Poco
Tiempo de desarrollo del proyecto	Largo	Corto
Posibilidades de modificación	Difícil	Fácil
Mantenimiento	Difícil	Fácil
Herramientas para prueba	No	Si
Stocks de mantenimiento	Medios	Bajos
Modificaciones sin parar el proceso	No	Si
Coste para pequeñas series	Alto	Bajo
Estructuración en bloques independientes	Difícil	Fácil

Tabla 1. Comparación de Sist. Cableados y Sist. Programables

2.1.5.6. Sistemas Lineales. En estos sistemas las ecuaciones matemáticas que rigen su comportamiento son diferenciales lineales de coeficientes constantes. Esto supone que si introducimos al sistema una señal de entrada combinación lineal de otras dos, la salida es la misma combinación lineal de las respuestas individuales de dicho sistema a cada entrada por separado (propiedad de superposición). Esta propiedad simplifica notablemente el

análisis del sistema. Estrictamente hablando, los sistemas lineales no existen ya que todos los sistemas físicos, en la práctica, resultan ser no lineales en algún sentido. Por esto, los sistemas lineales son sistemas ideales empleados solamente para facilitar el análisis y el proyecto. Todos los sistemas de control que estudiemos en este tema se considerarán lineales si explícitamente no se indica lo contrario.

2.1.5.7. Sistemas No Lineales. Estos sistemas no cumplen la propiedad de superposición citada anteriormente. La no linealidad (presente en todos los sistemas) de un sistema suele manifestarse en situaciones extremas, provocadas normalmente cuando las señales de entrada sobrepasan un determinado margen o cuando la carga del sistema se sale fuera de los límites establecidos. En ambos casos se hace trabajar a determinados componentes del sistema en su zona no lineal provocando con ello la no linealidad del conjunto del sistema, siendo necesario en este caso estudiarlo como tal.

Ejemplos de sistemas no lineales podrían ser los servos amplificadores electrónicos y los servomotores, en general todos los sistemas hidráulicos. Los primeros presentan normalmente un efecto de saturación cuando la señal amplificada se hace excesiva. Los segundos presentan su saturación en los circuitos magnéticos internos. Existen también otras no-linealidades que afectan a componentes o sistemas de control específicos: las holguras en los engranajes, los efectos de histéresis, etc. La última clasificación de los sistemas de control está hecha desde el punto de vista de la planta o proceso a controlar; en este caso se tendría sistemas de control de procesos continuos y sistemas de control de procesos discretos.

2.1.5.8. Sistema De Control De Procesos Continuos. Un sistema de señales continuas es aquel en el que todas las señales que intervienen son

funciones continuas de la variable tiempo, t . Por lo contrario, en los sistemas de señales discretas, la señal, tiene forma de pulsos, ya que varía en determinados instantes de tiempo únicamente. Además, los sistemas de señales continuas (sistemas continuos) manejan señales que, dentro de unos márgenes, pueden tomar cualquier valor y se implementan en base a sistemas analógicos. Los sistemas de señales discretas (sistemas discretos) reales tienen limitado el número de valores posibles de sus señales y se realizan a partir de tecnologías digitales.

Por lo tanto los sistemas de control de procesos continuos pueden subdividirse en sistemas de control continuo o analógico de procesos continuos y sistemas de control discreto o digital de procesos continuos.

- Sistemas de control continuo de procesos continuos: En esos sistemas todas las señales implicadas son continuas o analógicas y todos los subsistemas son analógicos.
- Sistemas de control discreto de procesos continuos: Para este tipo de sistemas, a pesar de que el proceso a controlar es continuo, el sistema de control asociado al mismo no lo es. Es decir, que el sistema de control sólo actuará en determinados instantes de tiempo y sólo podrá considerar, realmente, valores discretos de las señales implicadas.

2.1.5.9. Comparación entre los sistemas de control de lazo cerrado y de lazo abierto. Una ventaja del sistema de control de lazo cerrado es que el uso de la realimentación hace al sistema, en su respuesta, relativamente insensible a perturbaciones externas y a variaciones internas de parámetros del sistema. De este modo es posible utilizar componentes relativamente inexactos y económicos y lograr la exactitud de control requerida en determinada planta; mientras esto sería imposible en el caso de lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, en el sistema de control de lazo abierto es más fácil de lograr, ya que la estabilidad no constituye un problema importante. Por otro lado, en los sistemas de lazo cerrado la estabilidad siempre constituye un problema de importancia, por la tendencia a sobrecorregir errores, que puede producir oscilaciones de amplitud constante o variable.

Hay que recalcar que para sistemas en los que las entradas son conocidas previamente y en los que no hay perturbaciones, es preferible usar el control de lazo abierto. Los sistemas de control de lazo cerrado solamente tienen ventajas si se presentan perturbaciones no previsibles y/o variaciones imprevisibles de componentes del sistema. Se hace notar que la magnitud de potencia de salida determina parcialmente el costo, peso y tamaño de un servomecanismo. Para disminuir la potencia requerida de un sistema, si es aplicable, se puede utilizar control de lazo abierto. Generalmente se logra un funcionamiento satisfactorio y más económico de todo el sistema si se opta por una combinación adecuada de controles de lazo abierto y cerrado.

2.2. ACCIONES DE CONTROL

En sistemas de lazo cerrado, la manera como el dispositivo corrector final o controlador reacciona a una señal de error es un indicativo de una acción de control.

Un control automático compara el valor efectivo de la salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación o error y produce una señal de control que reduce el error a cero o a un valor pequeño. La forma en que el control automático produce la señal de control recibe el nombre de acción de control.

Los sistemas clásicos de control automático se pueden clasificar, según su acción de control en:

- Control de dos posiciones (control sí–no ó control on–off).
- Control Proporcional (**P**).

- Control Integral (**I**).
- Control Derivativo (**D**).
- Control Proporcional – Integral (**PI**).
- Control Proporcional – Derivado (**PD**)
- Control Proporcional – Integral – Derivativo (**PID**)

2.2.1. Control todo o nada. El elemento corrector final tiene solamente dos posiciones, generalmente ON - OFF.

De acuerdo a la dirección de la señal de error el controlador envía el dispositivo a una de sus dos posiciones. Este tipo de control tiene como característica principal de presentar una oscilación permanente del valor real o medido alrededor del valor de referencia, lo cual representa la primera desventaja. Entonces el sistema debe diseñarse para que mantenga una pequeña amplitud de las oscilaciones, pero tiende a producir una ocurrencia mas frecuente. Esto agrava la otra desventaja del control todo o nada, como el desgaste del dispositivo corrector final producido por la frecuente oscilación. Una válvula solenoide es un ejemplo típico para ejercer esta acción de control.

El control de dos posiciones es relativamente simple y económico por lo cual es muy utilizado. La señal de control $u(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según que la señal de error $e(t)$ sea positiva o negativa de modo que:

$$u(t) = \begin{cases} M1 & \text{para } e(t) > 0 \\ M2 & \text{para } e(t) < 0 \end{cases}$$

Ejemplo: Calentadores de agua, Enfriadores, control de nivel en baterías sanitarias, etc.

2.2.2. Control proporcional (P). Es la acción que produce una señal de control proporcional a la desviación de la salida del proceso respecto al punto de consigna.

En la acción de control proporcional, el dispositivo corrector final tiene un rango continuo de posiciones posibles. La posición exacta que toma es proporcional a la señal de error. Al hablar de control proporcional se debe definir el significado de Banda Proporcional, que es el porcentaje del rango total del controlador en el cual el valor medido cambiaría en orden de producir que el dispositivo de corrección cambie en un 100%. La mayoría de los controladores proporcionales tienen una banda proporcional ajustable, usualmente comprendida entre poco porcentaje a no muchos cientos por ciento.

Una banda proporcional estrecha es aquella en la que un pequeño incremento de error origina una gran respuesta del controlador, cabe resaltar que si la banda proporcional es muy pequeña hace que el control proporcional opere de la misma forma que un control todo o nada. Si la banda proporcional es ancha necesita un error relativamente grande para producir la cantidad necesaria de respuesta del controlador.

Entre los efectos del control proporcional se tienen: Elimina la oscilación permanente que siempre acompaña al control todo o nada, podría haber una oscilación temporal hasta que el controlador se acomode pero eventualmente la oscilación desaparece si se ajusta apropiadamente la banda proporcional. El control proporcional trabaja bien solamente en sistemas donde los cambios del proceso son muy pequeños y lentos. Para sistemas que sufran cambios fuertes, se produciría lo que se conoce como desbalance en control proporcional, que es un error permanente debido a que el sistema no va a regresar a su valor original de control.

En este tipo de compensador, la señal de control es proporcional a la señal de error, la forma general de un controlador proporcional es:

$$u(t) = K_p * e(t)$$

Donde **K_p** se denomina Ganancia Proporcional, el control proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable.

2.2.3. Control Integral (I). Es la acción que produce una señal de control proporcional al tiempo que la salida del proceso ha sido diferente del punto de consigna. En este caso la señal de control esta dada por:

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} * \int e(t) dt$$

Donde T_i: Tiempo integral o tiempo de restablecimiento, Es el tiempo, generalmente expresado en minutos, que debe transcurrir para que la acción integral alcance (iguale o repita) a la acción proporcional.

1/T_i: Velocidad de restablecimiento

La acción de control Integral recibe a veces el nombre de control de reposición.

2.2.4. Control Derivativo (D). Es la acción que produce una señal de control proporcional a la velocidad con que la salida esta cambiando respecto al punto de consigna.

En este caso la señal de control es la derivada de la señal de error

$$u(t) = (K_p)(T_d) \frac{de(t)}{dt}$$

Donde T_d se denomina tiempo diferencial o derivativo, Es el intervalo de tiempo, generalmente expresado en minutos, en el que la acción derivativa adelanta a la acción proporcional.

2.2.5. Control Proporcional-Integral (PI). El control estrictamente proporcional puede utilizarse solamente cuando los cambios en la carga son pequeños y lentos, es decir, la variación en el valor de referencia es pequeño. Para las situaciones en las cuales los cambios en la carga son grandes, rápidos y el valor de referencia puede variar considerablemente, la acción de control proporcional - integral se adapta mejor.

En la acción de control - proporcional integral la respuesta esta determinada por dos factores:

- La magnitud de la señal de error. Esta es la parte proporcional.
- La integral con respecto al tiempo de la señal de error; en otras palabras, la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido. Esta es la parte integral.

Entonces cualquier desbalance permanente del error que resulte del control proporcional solo es corregido eventualmente a medida que pasa el tiempo. Se Puede ver de esta manera: la parte de control proporcional responde en proporción al error que exista. Entonces la parte de control integral se da cuenta que existe un pequeño error (desbalance) y lo ayuda a corregir. Eventualmente, el error se reducirá a cero.

La respuesta de control es determinada inicialmente por la parte de control proporcional pero finalmente se establece una posición determinada parcialmente por la parte de control integral. Ver figura 5.

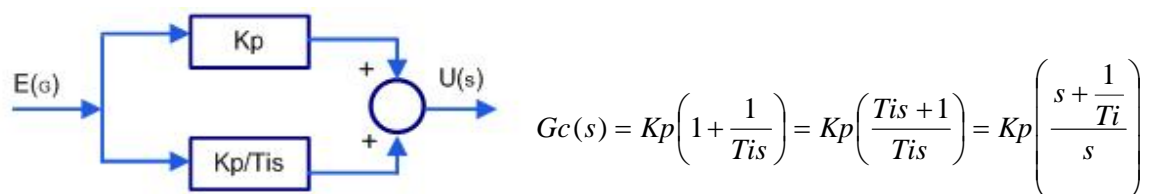


Figura 5. Acción de control Proporcional-Integral

Efectos:

- El orden del sistema controlado se incrementa.

- Se introduce un polo en el origen y un cero de lazo abierto en $s = -1/T_i$
- El error en estado estacionario (para entrada tipo escalón), se elimina.
- El tiempo integral (T_i) regula la acción de control integral, mientras una modificación de K_p afecta tanto a la parte proporcional como a la integral.
- Si K_p se aumenta, la respuesta se hace más rápida y más oscilatoria. Valores grandes de K_p pueden llevar el sistema a la inestabilidad.
- Si T_i disminuye (con K_p constante), la respuesta es más rápida pero también más oscilatoria.

2.2.6. Control Proporcional-Derivativo (PD). La acción de control proporcional y derivativo queda definida por la siguiente ecuación:

$$G_C(s) = K_p + K_p T_d s$$

Efectos:

- Se introduce un cero de lazo abierto en $s = -1/T_d$.
- k_p y T_d son regulables.
- La señal de control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante.
- La acción de control derivativo tiene las desventajas de amplificar las señales de ruido y puede producir efectos de saturación en el actuador.
- Se debe notar que nunca puede tenerse una acción derivativa sola, porque este control es efectivo sólo durante periodos transitorios.

2.2.7. Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Existen sistemas para los cuales no es suficiente un control proporcional integral, estos sistemas presentan las siguientes características:

- Cambios muy rápidos en la carga.

- Retardo de tiempos grandes entre la aplicación de la señal correctora y la aparición de resultados de la acción en la variable medida.

En los casos en que uno, cualquiera o ambos de estos problemas prevalezcan se hace necesario el empleo de la acción de control Proporcional–Integral–Derivativo (PID). Aquí la acción correctora es determinada por tres factores:

- La magnitud de la señal de error. Esta es la parte proporcional.
- La integral con respecto al tiempo de la señal de error; en otras palabras, la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido. Esta es la parte integral.
- La razón de tiempo de cambio del error: un cambio rápido en el error produce una acción correctora mayor que un cambio lento en el error. Esta es la parte derivativa. La parte derivativa del controlador trata de anticiparse al proceso aplicando más acción correctora que la que aplicaría un control proporcional - integral solo. En otras palabras introduce una sobrecorrección porque reconoce que una rápida rata de cambio inicial en la variable medida presagia un gran cambio total de esta medida. Pueden ocurrir oscilaciones prolongadas alrededor del valor de referencia si se utiliza una alta razón de tiempo.

La acción de control proporcional y derivativo queda definida por la siguiente ecuación:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p \left(\frac{T_d s^2 + s + \frac{1}{T_i}}{s} \right)$$

Efectos:

- Se introduce dos ceros de lazo abierto y un polo en el origen.
- Al aumentar K_p la respuesta se hace más rápida y oscilatoria.

- La acción derivativa disminuye la oscilación (tiene un efecto estabilizador).
- La acción integral permite tener un error de estado estable nulo.

2.3. RESPUESTA DEL PROCESO AL CONTROL

Al diseñar sistemas de control se debe tener en cuenta las características del sistema y del controlador, por lo tanto se debe tener en cuenta parámetros como:

- Constante de tiempo de retardo (retardo de reacción): es el tiempo que toma todo sistema en alcanzar su estado estable después de producirse un cambio, el tiempo de retardo se aprecia en sistemas con alta inercia como los procesos térmicos.
- Atraso de transporte; es el tiempo que emplea el controlador en detectar los cambios en las variables del proceso.
- Tiempo muerto: es la cantidad real de tiempo que el cambio del dispositivo corrector permanece indetectado. La Tabla 2 resume las relaciones entre las características del proceso y el modo de control.

Modo de control	Retardo de reacción de proceso (mínimo)	Tiempo muerto (máximo)	Magnitud del disturbio en la carga (máximo)	Veloc. del disturbio en la carga (máxima)
Todo o nada	Largo solamente	Muy corto	Pequeño	Lento
Proporcional	Largo o moderado	Moderado	Pequeño	Lento
Proporcional-integral	Cualquiera	Moderado	Cualquiera	Lento
Proporcional-derivativo	Largo o moderado	Moderado	Pequeño	Cualquiera
Proporcional-integral-derivativo	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Tabla 2. Proc. Controlados por c/u de los modos básicos de control.

2.4. ANÁLISIS DE RESPUESTA TRANSITORIA EN UN SISTEMA DE CONTROL.

La estabilidad, precisión y rapidez de respuesta de un sistema de control, se determina analizando el estado estable y el comportamiento transitorio. Es conveniente que se obtenga el estado estable en el menor tiempo posible, mientras que las salidas se mantienen dentro de los límites especificados. El comportamiento en el estado estable se evalúa en términos de la precisión con que se controla la salida para una entrada especificada. El comportamiento transitorio, esto es, el comportamiento de la salida que varía a medida que el sistema cambia desde una condición de estado estable a otra se evalúa en términos de cantidades como: máximo sobretiro, tiempo de crecimiento y tiempo de respuesta. Ver Figura 6.

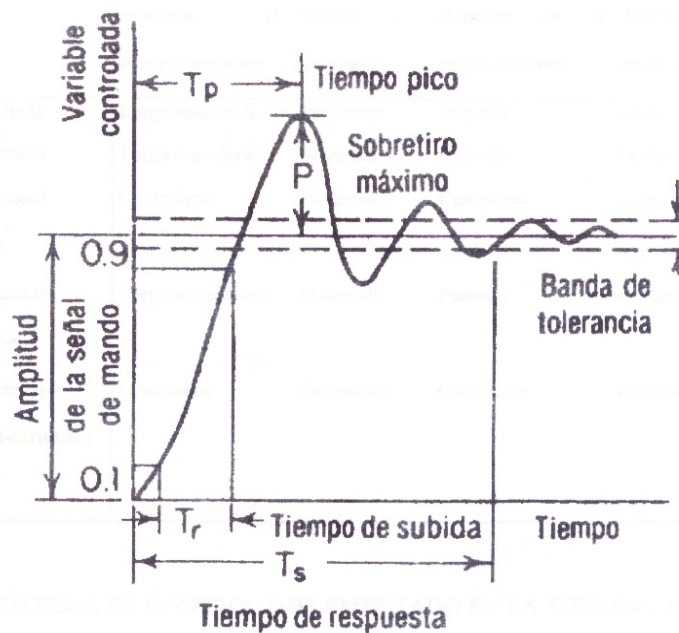


Figura 6. Respuesta de un Sistema a una perturbación

3. SERVOMECANISMOS ELECTROHIDRAULICOS

La palabra servomecanismo implica control, para el caso de servomecanismo electrohidráulico lo que se busca es controlar variables cinéticas como lo son la posición y velocidad y variable cinemática como lo es fuerza, que son condiciones de operabilidad de la mayor parte de las maquinas herramientas industrialmente hablando.

3.1. INTRODUCCION

Una ventaja tradicional de los sistemas hidráulicos es su capacidad de controlar potencias muy elevadas con componentes relativamente pequeños. El control de la potencia hidráulica se consigue de una forma rutinaria mediante la electrónica. La utilidad de la electrohidráulica ha sido bien comprobada durante muchos años en aplicaciones aeroespaciales, industriales y móviles.

Los sistemas electrohidráulicos comparados con otros tipos de control, presentan las ventajas siguientes:

- El fluido hidráulico transporta el calor generado lejos de los elementos componentes y además lubrica continuamente los componentes mecánicos, lo que asegura un tamaño más pequeño, un funcionamiento más fiable y una duración más larga.
- Los actuadores hidráulicos pueden ser lineales o rotatorios con grandes intervalos de velocidad y ciclos continuos de trabajo. El funcionamiento de los cilindros y de los motores puede invertirse, pararse o hacerse intermitente, sin el desgaste o deterioro típicos de los componentes electromecánicos.
- Los actuadores hidráulicos no vienen limitados por los efectos de saturación magnética de los motores eléctricos, puesto que el par desarrollado es proporcional a la diferencia de presiones. De esta

forma, pueden conseguirse pares muy elevados de dispositivos pequeños que vienen limitados únicamente por el diseño del componente.

- Los actuadores hidráulicos presentan una rigidez, tiempo de respuesta, aceleración y transferencia de energía o de potencia más elevados, lo que origina una ganancia del sistema, una precisión y una amplitud de banda, mejores.

La combinación del uso de las señales electrónicas con la capacidad de los componentes hidráulicos de responder con precisión, ha desarrollado una tecnología de control adecuada idealmente para las aplicaciones en cadena cerrada. La salida del sistema se mide electrónicamente de una forma continua y cualquier error se corrige automáticamente. Las desventajas previas del control hidráulico en cadena abierta quedan superadas por los remarcables beneficios de los sistemas con servoválvulas y con válvulas proporcionales de prestaciones elevadas.

3.2. ELEMENTOS NECESARIOS EN UN SERVOMECANISMO ELECTROHIDRAULICO.

El servomecanismo electrohidráulico se compone de:

- Elemento final de control: Válvula proporcional, a este grupo corresponden las servovalvulas y las válvulas de solenoide proporcional.
- Controlador: Donde se llevan a cabo las operaciones de adición de señales (comando y retroalimentación), control de ganancia, compensación de banda muerta, función rampa, etc.
- Transductores: Que cumplen con la función de monitorear la variable que se esta controlando y al mismo tiempo retroalimenta el valor para llevar a cabo el control en lazo cerrado. Para el control de una variable

especifica existe un transductor específico, por esta razón hay transductores de posición, velocidad y fuerza o presión.

3.3. SERVOVALVULAS.

Aunque en las aplicaciones industriales se utilizan varios tipos diferentes de servoválvulas, el modelo más corriente es el tipo lengüeta/boquilla, ilustrado en la fig. 7.

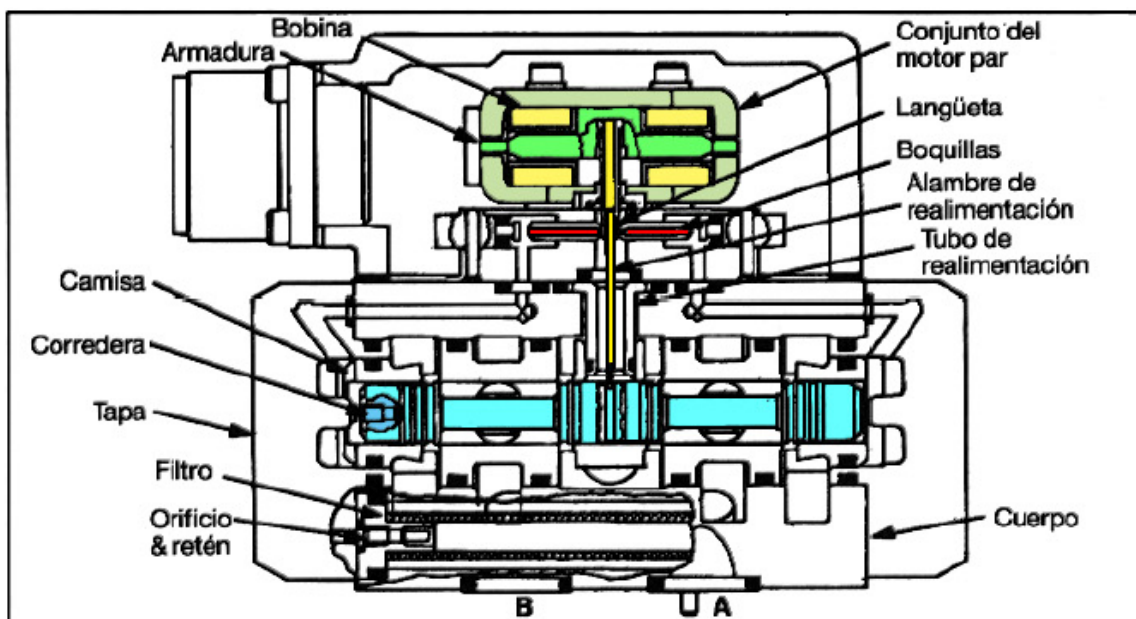


Figura 7. Servoválvula tipo lengüeta/boquilla

Esta válvula es una versión de dos etapas (pilotada), en la que un motor par acciona la lengüeta de pilotaje. El conjunto lengüeta/boquilla controla la presión en ambos extremos de la corredera principal, haciéndola mover y creando un movimiento de realimentación mecánica de la lengüeta en la etapa de pilotaje.

3.3.1. Motor par. El Motor par está formado por dos Imanes permanentes, rodeado cada uno por un bastidor (fig. 8). Un conjunto armadura y lengüeta está soportado entre los dos bastidores mediante un tubo de flexión. Este tubo permite que la armadura se mueva y suministra también estanqueidad

para el fluido entre las áreas eléctrica e hidráulica de la válvula. A ambos lados del tubo de flexión, hay dos bobinas que rodean la armadura.

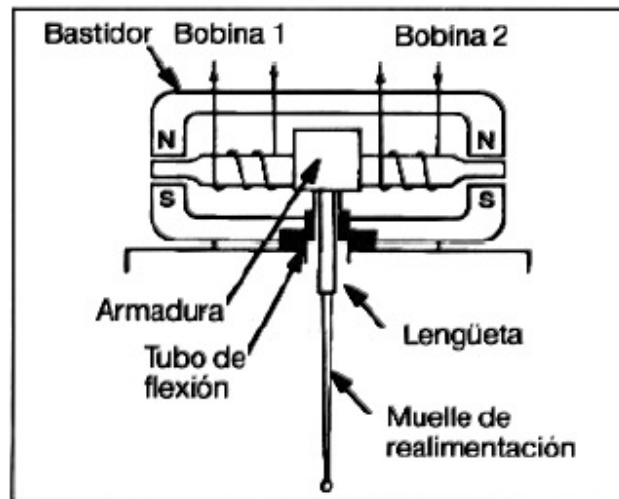


Figura 8. Bastidor motor par

Al pasar una corriente eléctrica a través de las bobinas la armadura se magnetiza, uno de sus extremos se convierte en polo sur y el otro en polo norte (fig. 9).

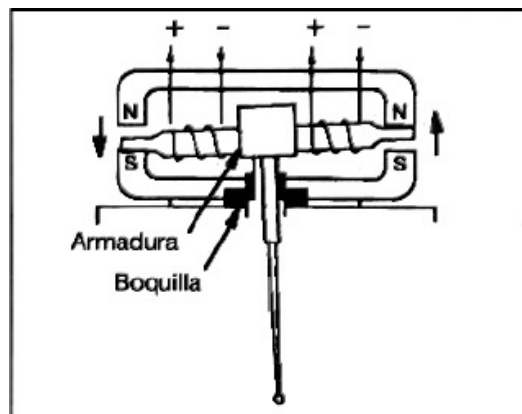


Figura 9. Funcionamiento motor par

3.3.2. Conjunto lengüeta y boquilla. Unido al centro de la armadura hay un conjunto lengüeta y muelle que se extiende hacia abajo a través del tubo de flexión. Una bola en el extremo del muelle de realimentación está situada

en un alojamiento en la corredera. A ambos lados de la lengüeta hay dos boquillas con fluido presurizado (fig. 10).

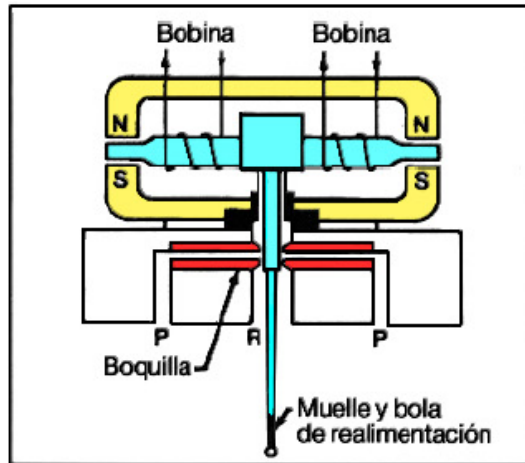


Figura 10. Conjunto lengüeta y boquilla

La presión que llega a cada boquilla es proporcionada por el orificio de suministro de presión de la válvula a través de un filtro incorporado y un orificio fijo. Los orificios fijos limitan el caudal que riega a las boquillas. El filtro impide que las partículas contaminantes del fluido puedan penetrar en esta parte sensible de la válvula. En algunos casos, la presión piloto de alimentación para las dos boquillas puede suministrarse por una conexión piloto separada o quinto orificio. La presión del fluido en cada cámara del extremo de la corredera viene determinada por la restricción de caudal en las boquillas que, a su vez, viene controlada por la posición de la lengüeta.

Con señal cero aplicada al motor par, la lengüeta queda situada a medio camino entre las dos boquillas, lo que crea la misma situación e igual presión en cada cámara del extremo de la corredera.

En esta situación, la corredera principal se centra puesto que cualquier desplazamiento de ella haría mover la lengüeta y desequilibraría las presiones en las cámaras de los extremos.

Cuando se aplica una señal al motor par, la lengüeta se mueve creando una restricción mayor en una boquilla y una menor en la otra, lo que disequilibra las presiones en las cámaras de los extremos de la corredera (fig. 11).

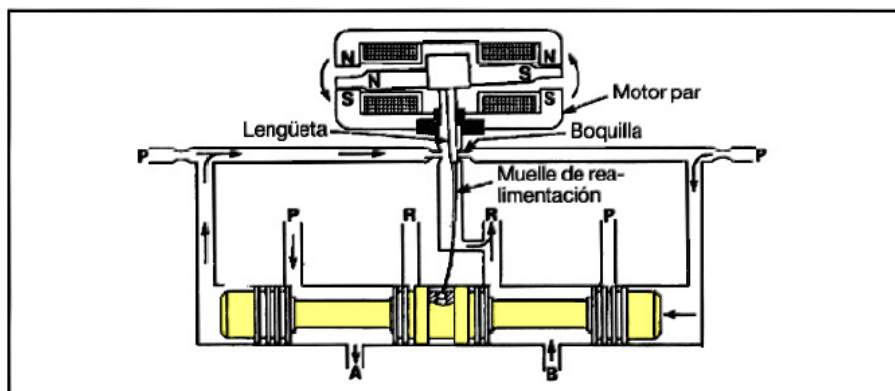


Figura 11. Funcionamiento conjunto lengüeta y boquilla

Esta diferencia de presiones hace desplazar a la corredera principal dentro de la camisa, haciendo que el caudal pueda atravesar la válvula. Cuando esta corredera se mueve, la lengüeta es arrastrada por ella hacia la posición central de las dos boquillas. Cuando llega a esta posición, se iguala la presión en las dos cámaras (fig. 12).

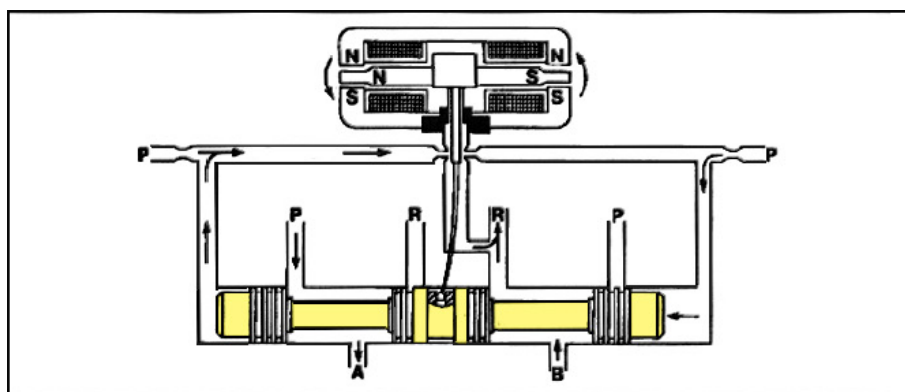


Figura 12. Lengüeta en posición central

La corredera principal se desplaza hasta que la fuerza del motor par y la mecánica del muelle se equilibran. Puesto que la fuerza del motor par es proporcional a la corriente de la bobina, la magnitud de este desplazamiento viene también determinada por esta corriente de entrada. De forma similar, la

dirección del movimiento de la corredera a partir de la posición central, vendrá dada por la dirección de esta corriente.

3.3.3. Etapa Principal. Para poder conseguir una coincidencia precisa de los resaltes de la corredera con relación a los orificios de la válvula, el cuerpo de ésta lleva incorporada una camisa con orificios electroerosionados para el caudal. La corredera puede deslizarse dentro de esta camisa suministrando un caudal muy preciso en función de la corriente de entrada. Mediante un conjunto de ajuste de la posición nula incorporado dentro del cuerpo de la válvula, la camisa puede desplazarse ligeramente con relación a la corredera, para asegurar que con una señal cero aplicada a la válvula, la corredera esté centrada con precisión en la camisa (fig. 13).

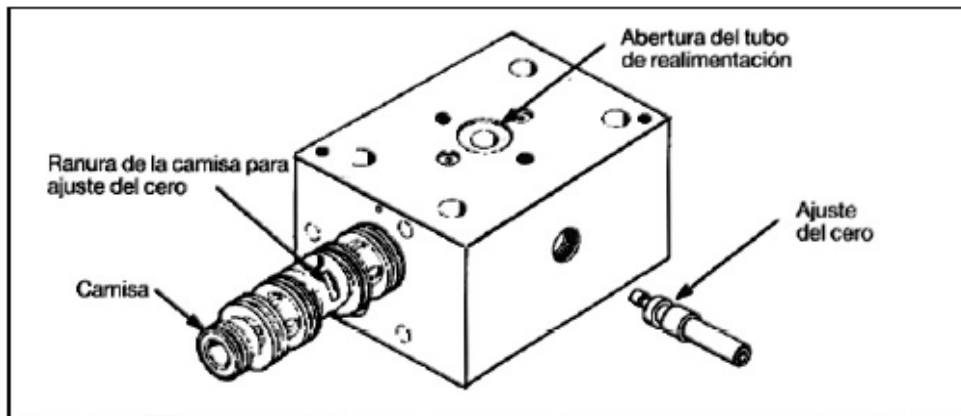


Figura 13. Etapa Principal

3.3.4. Posición Central. Cuando la corredera principal se mueve dentro de la camisa, crea vías para el caudal a través de la válvula de P a A y de B a T (movimiento de la corredera hacia la izquierda) o de P a B y de A a T (movimiento de la corredera hacia la derecha). Se consigue el control del caudal haciendo variar la magnitud del desplazamiento de la corredera para descubrir el orificio en un grado mayor o menor. Una característica crítica de

la válvula es la posición relativa del extremo del resalte de la corredera y del extremo del orificio en la posición nula. Es lo que se denomina condición en la posición central.

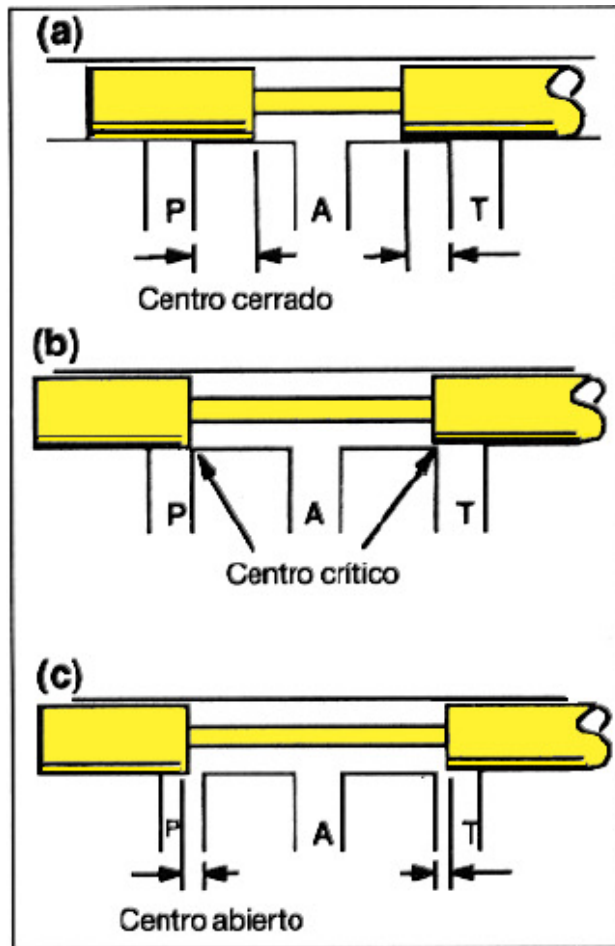


Figura 14. Diferentes tipos de corredera

La figura 14 (a), representa una corredera de centro cerrado en la que la anchura del resalte sobrepasa el extremo del orificio. La fig. 14 (b), muestra una corredera de centro crítico en la que el extremo del resalte esté exactamente alineado con el del orificio, y la fig. 14 (c) corresponde a un centro abierto. El extremo del resalte no cubre completamente el orificio en la

posición nula. Las anchuras de los centros cerrado y abierto se expresan normalmente en % del movimiento de la corredera o de la señal de entrada. Considerando las características de estas disposiciones y suponiendo que el movimiento de la corredera sea hacia la derecha, para la corredera de centro cerrado de la fig. 14 (a), habrá evidentemente, una cierta zona muerta al principio de su movimiento. El caudal no podrá atravesar la válvula hasta que el extremo del resalte de la corredera no empiece a descubrir el orificio (fig. 15).

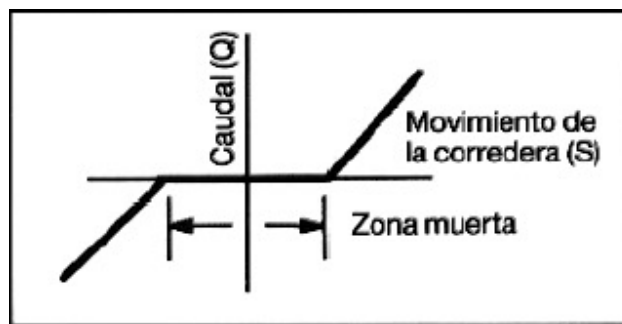


Figura 15. Zona muerta vs. Caudal

Cuando la corredera descubre el orificio, el caudal (Q) es proporcional a su desplazamiento (S) para una diferencia de presiones dada. La relación fundamental entre este desplazamiento y el caudal no es siempre lineal. La linealidad depende de la forma de los orificios en la camisa de la válvula y si se utilizan ranuras en los resaltes de la corredera. Generalmente, orificios cuadrados y una corredera sin ranuras, dan aproximadamente una relación en línea recta entre Q y S.

Se obtiene una relación similar si el caudal se refiere a la señal de entrada de la válvula (fig. 16).



Figura 16. Señal de entrada

Debido a la corredera de centro cerrado, habrá una señal mínima de entrada (típicamente menos del 4 % de la corriente nominal) requerida para que un caudal pueda atravesar la válvula, lo que significa que una señal inferior a este nivel mínimo no originará ningún caudal, y que el sistema no será sensible a señales pequeñas de entrada o de error.

3.3.5. Ganancia en Caudal. En cuanto la señal de entrada es lo suficientemente elevada para crear un caudal a través de la válvula, este caudal será proporcional a la señal de entrada. La pendiente de la gráfica correspondiente a esta relación se denomina ganancia en caudal da la válvula, que es la variación de caudal para un cambio dado en la señal de entrada a una diferencia de presiones especificada (fig. 17).

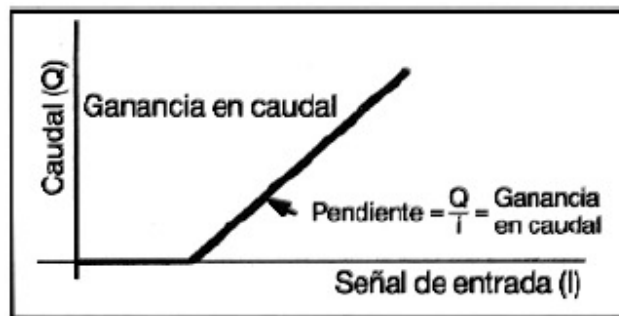


Figura 17. Ganancia en caudal

Con las correderas de centro crítico (fig. 18) el extremo de su resalte, coincide exactamente con el extremo del orificio, eliminándose así la zona muerta. El caudal puede atravesar la válvula incluso a niveles muy bajos de la señal de entrada, haciendo que esta válvula sea muy sensible alrededor de la posición nula.



Figura 18. Sin zona muerta

La ganancia en caudal puede variar con relación a su valor nominal alrededor de la posición nula debido a las tolerancias de fabricación y a la cuadratura de los orificios (fig. 19).

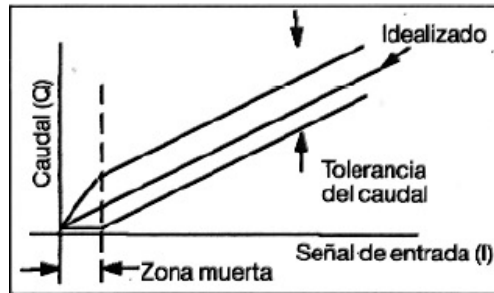


Figura 19. Tolerancias de fabricación y cuadratura de los orificios

Para la corredera de centro abierto, fig. 14 (c) y considerando sólo un orificio aislado, la característica caudal/señal de entrada, es como la mostrada en la fig. 20.

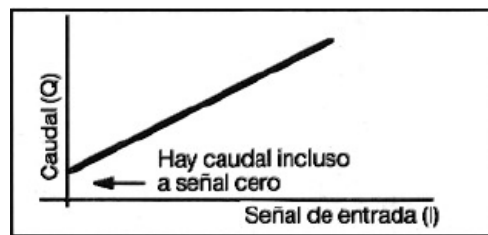


Figura 20. Característica caudal/señal de entrada

Incluso en ausencia de señal, un caudal pequeño puede atravesar la válvula, debido a que la corredera no cierra completamente el orificio en la posición central. Debe considerarse el efecto de los dos orificios (fig. 21).

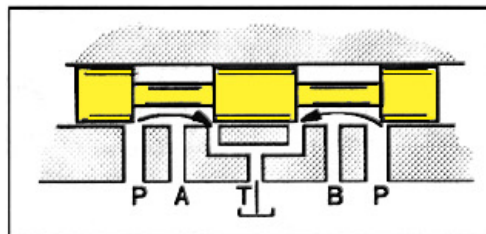


Figura 21. Efecto de los dos orificios

Suponiendo zonas abiertas iguales a ambos lados, en la posición nula, ambos orificios estarán parcialmente abiertos, lo que iguala la presión en los

orificios A y B e impide el caudal. Cuando la corredera se mueve, una vía de caudal se abre y la otra se cierra. Habiéndose desplazado la corredera una distancia igual a la anchura del resalte, la ganancia en caudal será la mostrada en la fig. 22.

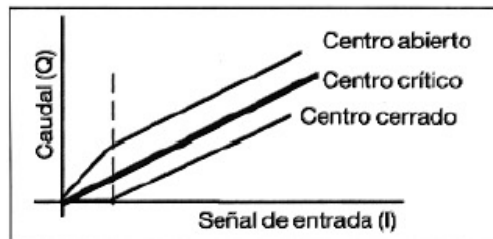


Figura 22. Ganancia de caudal en centro crítico

El resultado es que una corredera de centro abierto tiene una ganancia en caudal {más pendiente) más elevada alrededor de la posición central, la que puede ser una característica deseable en algunas aplicaciones.

3.3.6. Ganancia en Presión. Una segunda característica importante determinada por las condiciones en la posición central se conoce como la ganancia en presión de la válvula, que se define como la relación de cambio en la presión de salida en función de la corriente de entrada, suponiendo un caudal nulo y los orificios bloqueados.

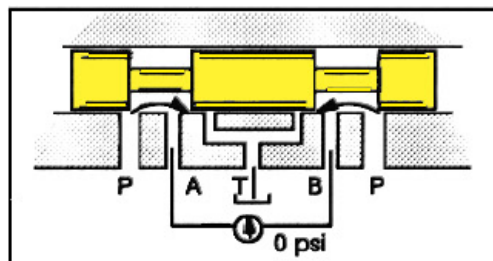


Figura 23. Corredera en posición nula

Con la corredera en la posición nula, como se muestra en la fig. 23, hay unas fugas de ambos orificios de presión (P) a tanque (T), lo que significa que la presión en los orificios A y B será una presión intermedia entre las presiones de suministro y de tanque. Suponiendo condiciones ideales, las presiones en ambos orificios serán iguales y el manómetro diferencial marcará cero. Si la

corredera se mueve ahora hacia la izquierda, el orificio A se abrirá a P y se cerrará a T. De forma similar, el orificio B se abrirá a T y se cerrará a P. Esto significa que aumentará la presión en A y disminuirá en B hasta que P llegue al valor de la presión de suministro, y P_T , presión en la línea del tanque, P_T disminuye a cero (o a la presión en la línea del tanque).

En este instante, el manómetro marcará la presión de suministro (suponiendo que $P_T = 0$) (fig. 24).

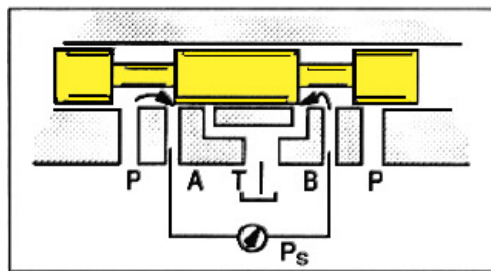


Figura 24. Presión de suministro

Para una corredera crítica, se llegará a la presión máxima en los orificios A o B, cuando la señal de entrada (o desplazamiento de la corredera) llegue del 3 al 4 % de su valor máximo. La ganancia en presión es la pendiente de las condiciones mostradas en la fig. 24, y puede especificarse gráfica o numéricamente como 30% de la presión de suministro por 1 % de la corriente nominal.

La condición central de la corredera afecta también la forma de la curva característica de ganancia en presión (fig. 25).

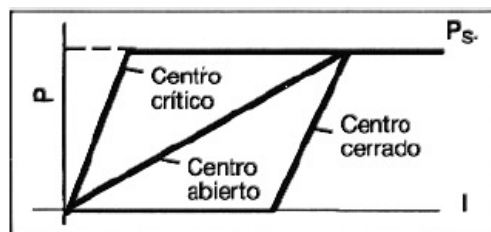


Figura 25. Ganancia en presión

Con una corredera de centro abierto, se requiere un mayor desplazamiento de la corredera antes de que se cierre completamente el orificio de tanque, lo que origina una pendiente menos inclinada y un valor más bajo de la ganancia en presión. Para una corredera con centro cerrado, la presión no empieza a aumentar hasta que la abertura del orificio de presión no haya salido de la zona muerta.

La ganancia en presión de una válvula es evidentemente un criterio muy importante para las aplicaciones de control de presión en cadena cerrada. Es también importante para determinar la precisión permanente de los sistemas de control de la posición, como se verá más adelante. En las aplicaciones que requieren una ganancia en presión elevada con una zona muerta mínima, la corredera con centro crítico es la que da los mejores resultados.

3.3.7. Histéresis. Como con cualquier dispositivo electromecánico, la fricción y los efectos magnéticos originan la histéresis. El caudal de salida de la válvula, para una señal de entrada dada, difiere según esta señal vaya aumentando o disminuyendo (fig. 26).

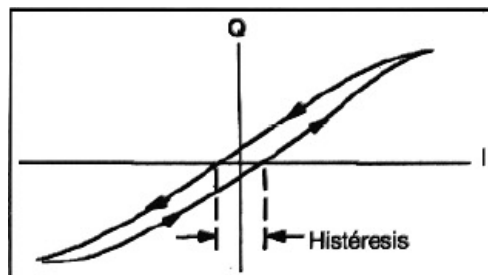


Figura 26. Histéresis

La histéresis se define como un % de la señal de entrada nominal máxima.

3.3.8. Umbral. Una característica similar a la histéresis, llamada umbral de sensibilidad o error de inversión. Es la diferencia de corriente de entrada que se requiere para pasar de una condición de caudal creciente a decreciente o viceversa (fig. 27). Se expresa normalmente como en el caso anterior.

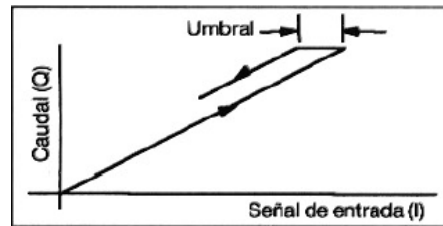


Figura 27. Umbral

3.3.9. Linealidad y Simetría. Hay otras dos características de la servoválvula que relacionan la curva del caudal que la atraviesa en función de la corriente de entrada, con la ganancia en caudal idealizada, que son los errores de linealidad y de simetría. El primero es la diferencia máxima entre la curva real del caudal y la línea idealizada de la ganancia, en porcentaje de la corriente nominal (fig. 28).

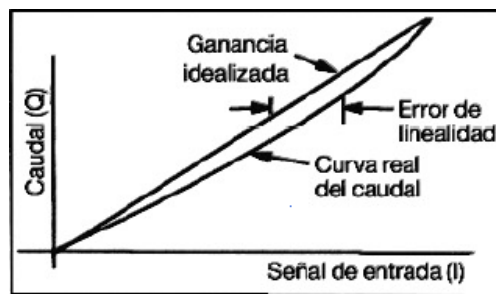


Figura 28. Linealidad y simetría

El error de simetría es la diferencia entre las líneas de ganancia en caudal para el desplazamiento de la corredera a ambos lados del centro, lo que se expresa como la diferencia de ganancia en caudal para cada polaridad como un porcentaje de la mayor.

3.3.10. Caudal. Una servoválvula o una válvula proporcional de prestaciones elevadas es una válvula de control muy preciso de la dirección y del caudal. Este se controla ajustando la abertura corredera/orificio que crea un orificio variable. Puesto que hay dos vías de caudal a través de la válvula, en la mayoría de las aplicaciones, la servoválvula crea dos restricciones en el sistema (fig. 29).

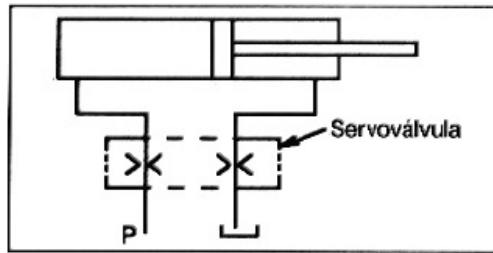


Figura 29. Restricciones en una servoválvula

El caudal (Q) que pasa por un orificio puntiagudo es proporcional al área del orificio (A) y a la raíz cuadrada de la pérdida de carga (ΔP) a su través.

$$Q \cong A \sqrt{\Delta P}$$

El área del orificio es controlada por la señal de entrada a la válvula y el movimiento resultante de la corredera. La diferencia de presiones a través de la válvula viene determinada por la presión de sistema P_S , la presión requerida para mover la carga P_L , y la presión en la línea de retorno P_T .

$$\Delta P_V = P_S - P_L - P_T$$

Tradicionalmente, el caudal nominal de una servoválvula se refiere a una corriente de entrada del 100% y a una pérdida de carga de 70 bar {1000 psi). Puede considerarse que a cada vía de caudal, P a A o B a T, le corresponden 35 bar (50 psi). Puesto que el caudal es proporcional a la señal de entrada y a la pérdida de carga en la válvula, para determinar el caudal que corresponde a otros niveles de señal o pérdidas de carga, tenemos:

$$Q_L = Q_R \left(\frac{I_A}{100} \right) \sqrt{\frac{\Delta P_V}{70}} \quad Q_L = Q_R \left(\frac{I_A}{100} \right) \sqrt{\frac{\Delta P_V}{1000}}$$

Q_L = caudal real que llega a la carga.

Q_R = caudal nominal (servoválvula)

I_A = nivel actual de la señal de entrada (como porcentaje de la señal de entrada nominal)

ΔP_v = pérdida de carga total a través de la válvula.

La representación grafica puede verse en la fig. 30.

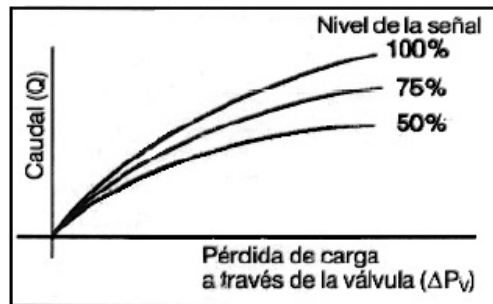


Figura 30. Representación grafica de caudal

Utilizando escalas logarítmicas, la relación entre caudal y presión puede representarse por una línea recta (fig. 31).

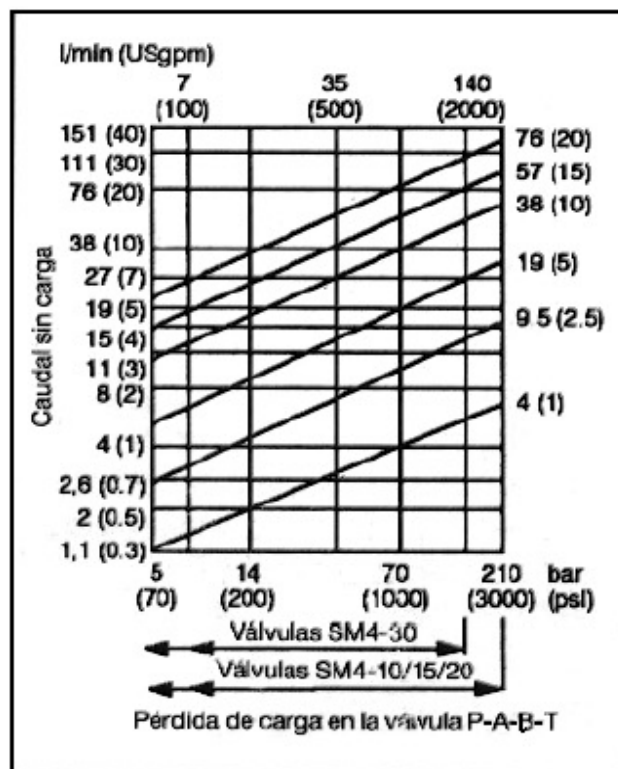


Figura 31. Representación entre caudal y presión

Históricamente, las servoválvulas han sido accionadas con valores más elevados de la pérdida de carga a su través que las válvulas convencionales o las válvulas proporcionales.

Una pérdida de carga elevada permite utilizar una válvula más pequeña (lo que puede ser importante en aplicaciones de automatismo), y generalmente contra más pequeña sea la válvula, más rápida será su respuesta. El tiempo de respuesta puede también mejorarse aumentando la presión del sistema. En las aplicaciones en las que este tiempo es crítico, una pérdida de carga relativamente elevada aumenta la rigidez y la precisión del sistema. En otras aplicaciones, el rendimiento del sistema puede ser más importante que la respuesta de la válvula, en cuyo caso puede utilizarse una pérdida de carga más baja. La pérdida de carga mínima a la que una servoválvula tipo lengüeta/boquilla puede funcionar es típicamente 14 bar (200 psi).

Existe una relación específica entre la presión de suministro y la pérdida de carga en la válvula para la transmisión de una potencia máxima a través de la válvula. La potencia hidráulica disponible para accionar un actuador depende del caudal y de la presión disponible (fig. 32).

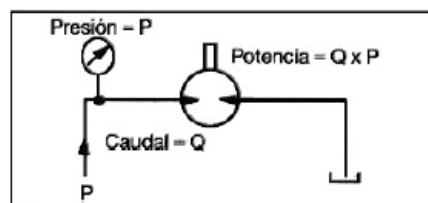


Figura 32. Presión de suministro

El caudal que llega al actuador es el mismo que sale de la válvula y es proporcional a la raíz cuadrada de la pérdida de carga, para una señal de entrada dada. Un aumento de esta pérdida de carga crea un caudal mayor para el actuador lo que tiende a aumentar la potencia disponible para accionarlo. Una pérdida de carga más elevada a través de la válvula deja disponible menos presión para accionar la carga, y tiende a reducir la potencia disponible.

Inicialmente, un aumento de la pérdida de carga origina un aumento de la potencia disponible al actuador, puesto que el caudal resultante, más elevado, compensa la pérdida en presión.

A partir de un cierto punto, la presión reducida que llega al actuador se hace más significativa que el aumento del caudal y la potencia disponible en el actuador empieza a disminuir. Puede demostrarse matemáticamente que para un tamaño dado de válvula, se transmite una potencia máxima a través de ella, cuando la pérdida de carga es igual a la tercera parte de la presión de suministro del sistema (fig. 33).

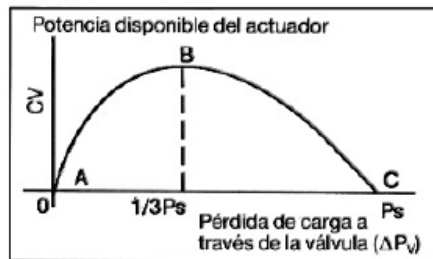


Figura 33. Potencia disponible

Entre A y B, un aumento de la pérdida de carga hace aumentar la potencia. De B a C, este aumento la hace disminuir. Para una transmisión máxima de la potencia:

$$\Delta P = 1/3 P_s$$

3.3.11. Características Dinámicas. En las servoválvulas y en las válvulas proporcionales de prestaciones elevadas, la corredera de la válvula se autoposiciona mediante un mecanismo de control en cadena cerrada (que algunas veces se denomina cadena interna). Para una válvula proporcional en cadena cerrada, la señal de entrada es enviada al amplificador de la válvula lo que origina una corriente de accionamiento al solenoide de la válvula. Una señal de realimentación procedente del sensor de posición de la corredera (LVDT) se suma a la señal de entrada. Cualquier error en la

posición real de la corredera causada por fuerzas de fricción o de caudal, se corrige automáticamente (fig. 34).

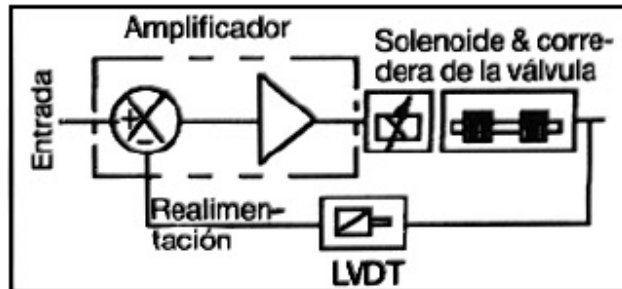


Figura 34. Características dinámicas

En el caso de una servoválvula lengüeta/boquilla, la señal de realimentación se suministra mecánicamente por acción del movimiento de la corredera que actúa sobre el conjunto lengüeta y muelle. En efecto, la lengüeta actúa como una conexión sumadora con la señal de entradas del movimiento de la armadura y la señal de realimentación del movimiento de la corredera principal.

Considerando la válvula de control como un sistema de control de posición en cadena cerrada, pueden determinarse las características dinámicas de la válvula examinando su respuesta a una entrada en escalón o a una entrada que varía sinusoidalmente (respuesta en frecuencia).

3.3.12. Respuesta a una entrada en escalón. La respuesta típica de una válvula de control en cadena cerrada a una entrada en escalón se muestra en la fig. 35.

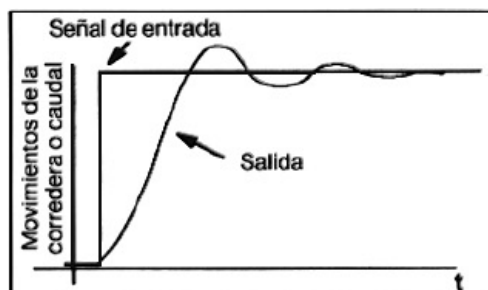


Figura 35. Respuesta a una entrada en escalón

El movimiento de salida de la corredera es característico de un sistema de control de la posición en cadena cerrada. La corredera se mueve rápidamente hacia la posición requerida, la sobrepasa rápidamente en una cierta magnitud, y después se estabiliza a la posición deseada pasando por una serie de oscilaciones amortiguadas. En términos absolutos, todo el proceso dura solamente unas pocas milésimas de segundo.

Esta característica significa que no es completamente correcto definir el tiempo de respuesta de una válvula. La respuesta al escalón puede ser:

- El tiempo para alcanzar el 100% de la salida requerida, despreciando el hecho de que la corredera oscilará.
- El tiempo para pasar del 10% al 90% del movimiento requerido, que es una medida de la velocidad máxima de la corredera, despreciando las irregularidades iniciales y finales.
- El tiempo para alcanzar un cierto porcentaje de la posición requerida (tiempo de elevación) vgr. 63% del movimiento – una constante de tiempo.
- En algunos casos, se define también el tiempo de estabilización que es el tiempo necesario para que las oscilaciones se reduzcan al nivel especificado (normalmente dentro del 5 % del nivel requerido).

3.3.13. Respuesta en frecuencia. Una segunda medida, frecuentemente más útil, de la respuesta de una válvula de control, es examinar la respuesta en frecuencia a una señal de entrada que varía sinusoidalmente. Cuando esta señal varía a frecuencias muy bajas, la salida de la válvula (movimiento de la corredera o caudal) es capaz de seguir estrechamente la señal de mando (fig. 36).

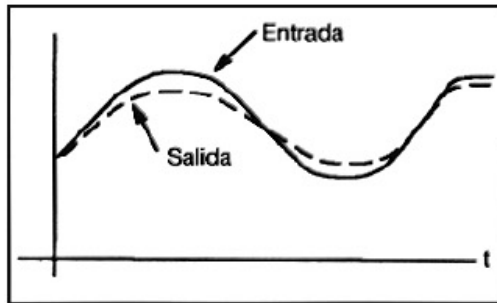


Figura 36. Respuesta en frecuencias bajas

Cuando la frecuencia de la señal de entrada aumenta, el movimiento de salida de la corredera (o caudal de la válvula) es menos capaz de seguir con precisión a la señal de entrada. En primer lugar, la salida empieza a retrasarse con relación a la entrada y en segundo lugar, esta salida no puede alcanzar su valor máximo antes de que la señal de entrada se invierta (fig. 37).

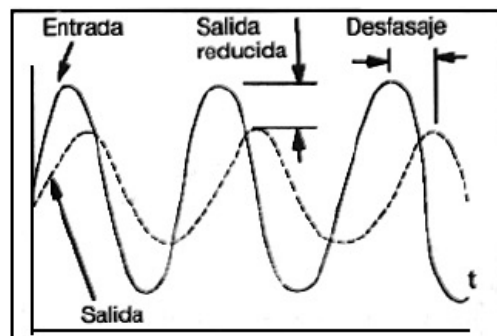


Figura 37. Desfase

El retraso entre las señales de entrada y salida se denomina desfase. El nivel reducido de salida conseguido a frecuencias más elevadas recibe el nombre de atenuación. Puede examinarse la respuesta en frecuencia de la válvula de control a un intervalo de frecuencias de la señal de entrada, y los resultados se representan normalmente en forma gráfica. Tradicionalmente la atenuación se mide en decibels (dB).

$$dB = 20 \log \left(\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \right)$$

En el uso de las servoválvulas, la entrada se mide en términos de corriente (mA) y la salida en términos de caudal o de movimiento de la corredera. Para evitar confusiones, la entrada y la salida en la fórmula precedente se expresa en términos de un porcentaje de sus valores máximos:

Entrada = Porcentaje de la señal de entrada máxima.

Salida = Porcentaje de la salida máxima.

Cuando la señal de entrada varía a frecuencias muy bajas, las magnitudes de entrada y salida son virtualmente iguales puesto que la válvula puede seguir fácilmente a la señal de entrada.

$$\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = 1$$

La atenuación será 0 dB, ya que $\text{Log } 1 = 0$

Cuando aumenta la frecuencia de la señal de entrada, la salida es menos capaz de seguir a la entrada, lo que puede representarse gráficamente en un diagrama conocido como el diagrama de Bode, en el que la atenuación (db) se representa en función de la frecuencia de la señal de entrada (fig. 38).

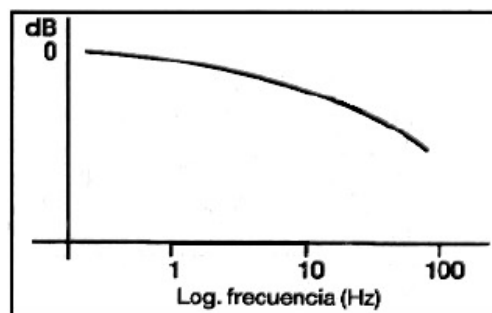


Figura 38. Diagrama de Bode

Por conveniencia, la frecuencia se representa también en escala logarítmica. Como puede verse en el ejemplo típico de esta figura, a frecuencias bajas, la atenuación se aproxima a cero, pero a frecuencias más elevadas, la curva empieza a descender indicando que la salida se va atenuando más y más.

Por ejemplo, supongamos que a una frecuencia dada, la entrada es el 100%, pero que la salida ha disminuido al 70% de su valor máximo, lo que corresponde a un nivel de dB de:

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 20 \log \left(\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} \right) &= 20 \log \left(\frac{70}{100} \right) \\ & &= 20 (-0.155) \\ \text{dB} &= -3 \end{aligned}$$

La atenuación es de -3dB (el signo menos indica que es una atenuación más bien que una ganancia), es decir, la salida es inferior a la entrada, lo que se expresa normalmente como "3dB disminuyendo".

La frecuencia de entrada que origina una atenuación de 3dB es una de las características que definen una válvula y se denomina anchura de banda (fig. 39).

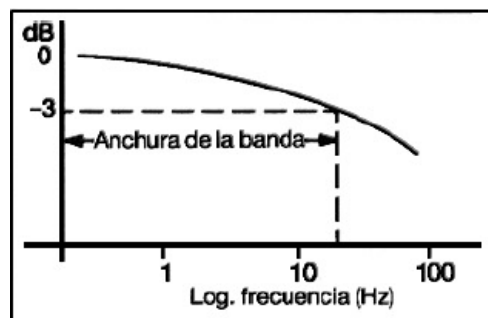


Figura 39. Anchura de banda

La anchura de banda de un componente es la frecuencia a la que su salida queda reducida por un factor de $1/\sqrt{2}$ o 70,7 % lo que corresponde a una atenuación de aproximadamente 3 dB.

Cuando la frecuencia de entrada aumenta, la salida tiende a retrasarse con relación a la entrada (desfasaje), lo que también puede representarse en el diagrama de Bode, tal como se muestra en la fig. 40.

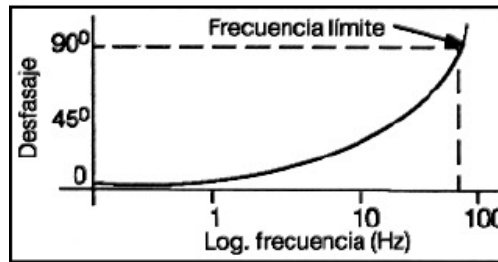


Figura 40. Frecuencia limite

A bajas frecuencias, el desfasaje es relativamente pequeño, pero aumenta cuando la frecuencia de entrada se hace mayor.

Una segunda característica que define a una válvula de control es la frecuencia límite que es la frecuencia a la que el retraso de la salida con relación a la entrada es de 90° ó de $1/4$ de ciclo.

La frecuencia límite de una válvula de control es el criterio normalmente utilizado para comparar una válvula con otra o para seleccionar la válvula adecuada para una aplicación determinada. Esta frecuencia viene afectada por la presión de suministro y por la amplitud de la señal de entrada. Es importante, cuando se comparan válvulas, asegurarse de que estos parámetros son los mismos.

3.3.14. Amplificadores. La finalidad del módulo amplificador o controlador en un sistema en cadena cerrada es básicamente sumar las señales de mando y de realimentación y dar la señal de accionamiento adecuada para hacer funcionar el motor par o solenoide de la válvula de control. Este módulo está formado por una conexión sumadora y un amplificador de señal, como puede verse en la figura 41.

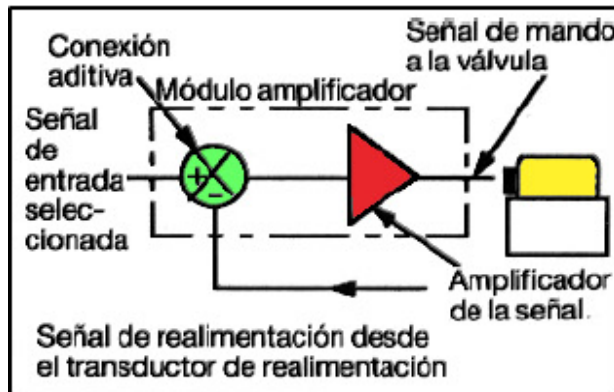


Figura 41. Amplificadores

La figura 42 muestra, en forma simplificada, los componentes típicos y los ajustes que se encuentran en un módulo amplificador.

La señal de entrada seleccionada y la de realimentación se conectan a las terminales A y B unidas por un potenciómetro (1), que actúa como una conexión sumadora. Las señales de tensión, de entrada y de realimentación, deben ser de polaridad opuesta. El ajuste del potenciómetro permite que puedan utilizarse diferentes intervalos de señal de tensión. Si las señales de tensión de entrada y de realimentación son iguales, el cursor del potenciómetro debe posicionarse en el punto central. La tensión del cursor será entonces proporcional a la suma algebraica de las señales de entrada y de realimentación (señal de error).

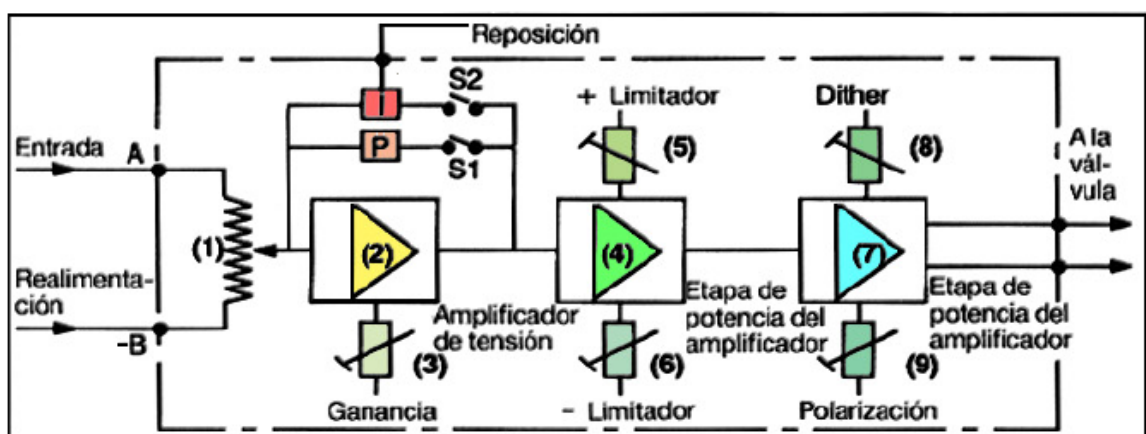


Figura 42. Forma simplificada de un amplificador

Si ambas señales no son iguales, puede desplazarse el cursor para que lo sean. Por ejemplo, si el intervalo de la tensión de entrada es ± 12 volts y el intervalo de la señal de realimentación es ± 10 volts, el potenciómetro puede ajustarse de forma que $+12V$ en la entrada y $-10V$ en la realimentación den una señal nula en el cursor.

El amplificador de tensión (2) puede funcionar de forma lineal (el interruptor S1 cerrado) o de forma integral (el interruptor S2 cerrado). La forma lineal se utiliza para aplicaciones de control de la posición y la integral para los sistemas de control de la velocidad. En cualquier situación, el potenciómetro (3) ajusta la ganancia del amplificador de tensión dentro del intervalo seleccionado. En la forma lineal, la ganancia determina la tensión de salida para una tensión dada de entrada. En la forma integral, la ganancia determina la relación de aumento de tensión (volts/sec) por volt de entrada {fig. 43}.

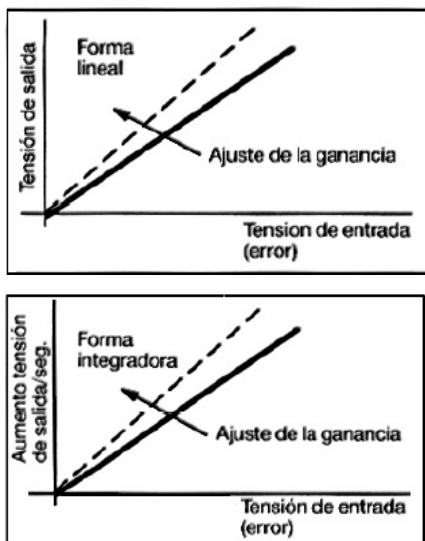


Figura 43. Forma lineal e integradora de la ganancia

Cuando se utiliza en la forma integral, se suministra una función de reposición uniendo a tierra la conexión C que mantiene efectivamente la salida del amplificador de tensión a cero. Esto se utiliza normalmente cuando se selecciona una entrada nula (actuador estacionario}, para evitar que tensiones no filtradas hagan que el amplificador derive y origine un movi-

miento inadvertido del actuador. La función de reposición también se utiliza para la puesta en marcha inicial.

La salida del amplificador de tensión acciona la etapa de potencia preamplificadora (4), que lleva incorporados limitadores de salida, positivo (5) y negativo (6), que limitan la corriente de accionamiento máxima del amplificador en ambas direcciones.

La etapa final del amplificador es la etapa de salida de potencia (7) que crea la corriente de accionamiento para las bobinas del motor par de la servoválvula.

Esta etapa lleva incorporada una disposición de realimentación de corriente que suministra una compensación automática de los cambios de la resistencia de la bobina debidos a las variaciones de temperatura. Para una tensión de entrada dada, la etapa de potencia da una cierta corriente de salida con independencia de las variaciones de resistencia de la bobina. También mejora el tiempo de respuesta de la válvula reduciendo el efecto de la inductancia de la bobina. En la etapa de potencia se incluye un potenciómetro de "dither" (8) para reducir el efecto de la histéresis de la válvula y el depósito de contaminación sobre su corredera. Este potenciómetro se tara lo más alto posible sin que origine un efecto notable en el actuador. La salida también puede cambiarse mediante el potenciómetro de polarización (9) de forma que una señal de entrada cero crea una cierta corriente de salida positiva o negativa (fig. 44).

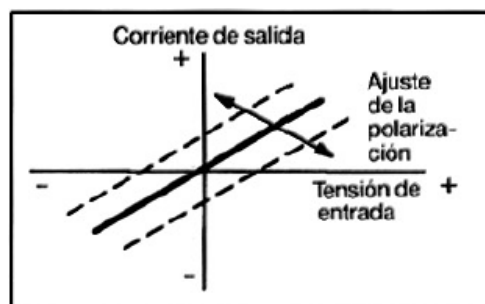


Figura 44. Corriente de salida

Como con la mayoría de los componentes electrónicos, los cambios ambientales o en las condiciones de funcionamiento {tensión de suministro o temperatura), pueden originar ligeras variaciones en la salida del amplificador (deriva). En las aplicaciones que probablemente pueden ser sensibles a estas variaciones, es necesario comprobar los datos del catálogo.

3.3.15. Módulos de Rampa. La adición de un módulo de rampas al amplificador de la servoválvula facilita que la salida de un sistema pueda pasar de una condición a otra, a una velocidad determinada. Por ejemplo, en un sistema de control de la posición, la velocidad de movimiento de una posición fija a otra, puede controlarse con el módulo de rampas. En un sistema de control de la velocidad, la aceleración y la desaceleración, pueden determinarse con este módulo, o en un sistema de control de la presión, la relación de aumento o disminución de ésta (fig. 45).

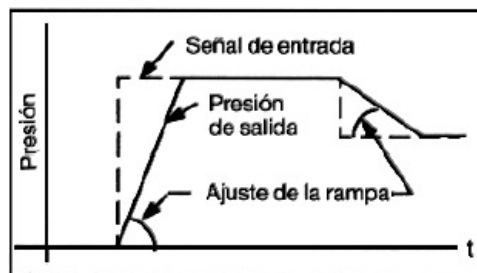


Figura 45. Ajuste de rampa

En la fig. 46, se muestra un módulo de rampas típico que lleva incorporados dos potenciómetros de rampa.

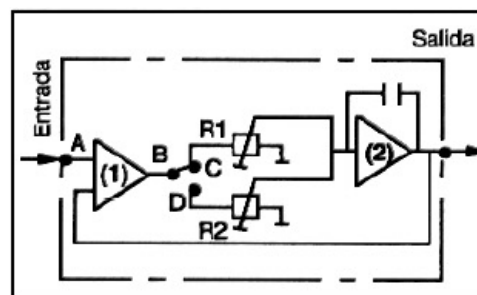


Figura 46. Modulo de rampas típico

Un cambio en escalón en la señal de entrada en la conexión A, hace que el amplificador de ganancia elevada (1) de la salida máxima. Suponiendo que las conexiones B y C están unidas, esta salida es enviada al potenciómetro de rampa (R1). Según cual sea el taraje de éste, se aplica una tensión al amplificador integral (2). La magnitud de esta tensión determina el ángulo de la rampa. La salida del generador de rampa es enviada al amplificador de la servoválvula, pero es también realimentada al amplificador de ganancia elevada. Cuando la salida del generador de rampa llega al nivel de tensión de la señal de entrada, el amplificador de ganancia elevada da una salida cero y la rampa se estabiliza y mantiene constante (fig. 47).

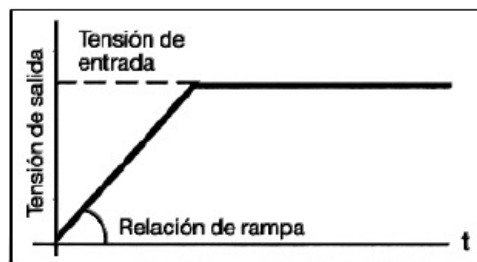


Figura 47. Relación de rampa

Tal como se muestra, el módulo de rampas puede suministrar dos niveles de rampa, según que la conexión B se una a C o D. Para poder conseguir muchas rampas, pueden conectarse al módulo potenciómetros y/o condensadores adicionales, que pueden activarse por relés o interruptores adecuados.

Los módulos de rampas pueden también combinarse con potenciómetros seleccionables de la señal de mando, como puede verse en la fig. 48.

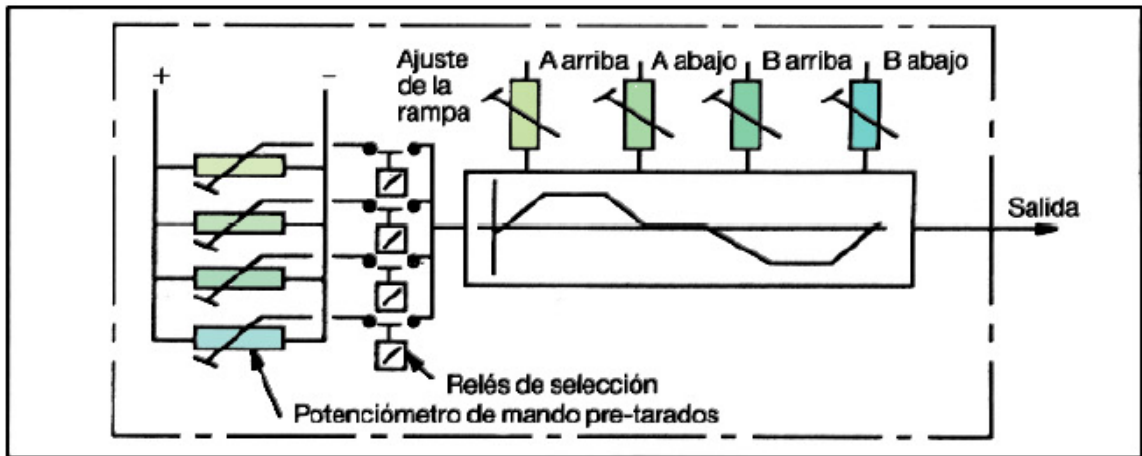


Figura 48. Potenciómetros seleccionables

Este ejemplo muestra un módulo con cuatro potenciómetros de la señal de mando (entrada) y cuatro potenciómetros de ángulo de rampa. Cada potenciómetro de entrada puede tararse a una señal de entrada prefijada y puede seleccionarse excitando el relé adecuado. Los cuatro potenciómetros de rampa controlan la velocidad de cambio de la señal de salida, y suministran un ajuste independiente para señales crecientes y decrecientes a ambos lados de la posición nula (reconocimientos del cuadrante).

3.4. TRANSDUCTORES.

Una característica sobresaliente de un sistema en cadena cerrada es el hecho de que el estado de la variable controlada (posición, velocidad o fuerza) es realimentado al amplificador de control para una corrección automática del error. Esto requiere un dispositivo que convierta la posición, la velocidad o la fuerza en una señal eléctrica adecuada que pueda ser utilizada por el amplificador. Tal dispositivo se denomina transductor de realimentación.

Hay dos etapas para obtener una señal de realimentación.

En primer lugar, el transductor tiene que detectar la variable de salida y en segundo lugar, la señal del transductor debe condicionarse para hacerla compatible con el amplificador de control.

El condicionamiento de esta señal puede incluir:

- Amplificación.
- Separación.
- Demodulación (rectificación).
- Conversión de tensión a corriente (o viceversa).
- Conversión de digital a analógico (o viceversa).
- Calibración (adaptación de la escala).

La introducción de circuitos electrónicos integrados permite el condicionamiento de la señal dentro del mismo transductor.

Considerando un diagrama de bloques sencillo para un sistema en cadena cerrada (fig. 49), hay típicamente dos caminos en el sistema.

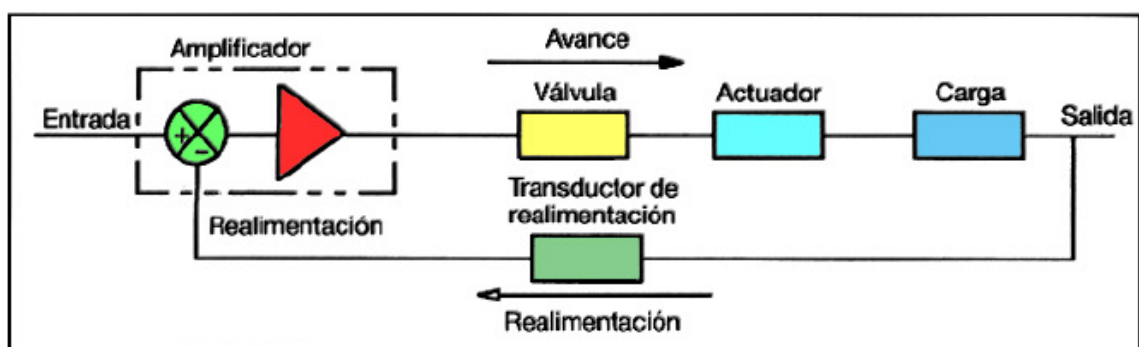


Figura 49. Diagrama de bloques para un sistema en cadena cerrada

El camino directo incluye el amplificador de la válvula, la válvula de control y el actuador. El camino de realimentación incluye el transductor de

realimentación y su electrónica asociada. Cualesquiera errores o irregularidades que se presenten en el camino directo, tales como histéresis, no linealidad, o deriva de temperatura, son minimizados por la ganancia del amplificador de control y pueden eliminarse completamente utilizando un amplificador con una función integradora. Esta no es el caso en la derivación de realimentación, en la que cualesquiera errores de los componentes se reflejan directamente en el estado de la variable controlada. La presión de un sistema en cadena cerrada nunca puede ser superior a la del transductor y su electrónica asociada.

Los errores del transductor son aditivos a cualesquiera errores que se originen en los componentes del camino directo y no pueden corregirse utilizando un controlador más sofisticado. La selección e instalación correctas del transductor de realimentación es esencial para el funcionamiento del sistema.

Aunque hay muchos tipos distintos de transductores diseñados para detectar un amplio intervalo de variables, básicamente, pueden clasificarse en dos grupos, analógicos y digitales.

Los transductores analógicos originan una señal continua (típicamente, una tensión o una corriente), que es proporcional a la variable detectada.

Idealmente, la relación fundamental entre esta variable y la señal del transductor debería ser lineal en todo el intervalo de trabajo requerido.

Con los transductores digitales, la señal de salida se divide en una serie de escalones o incrementos y la dimensión de cada escalón se denomina resolución.

La fig. 50 muestra salidas típicas de los dos tipos de transductores.

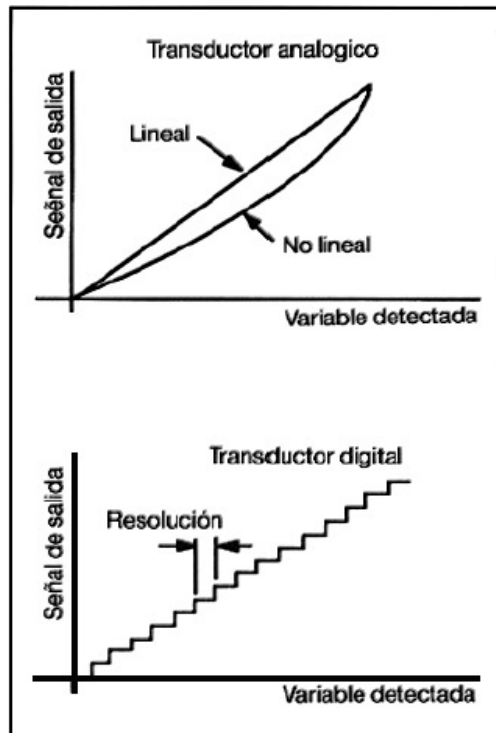


Figura 50. Salidas típicas de los dos tipos de transductores

En la mayoría de los casos, el control de los sistemas o de las máquinas se realiza mediante controladores digitales PLC o microprocesadores. En tales casos, las señales originadas por los transductores digitales pueden ser procesadas directamente. Una señal analógica debe ser "digitalizada" mediante un convertidor analógico a digital (A a D). Inversamente, con los sistemas de control analógico, una señal digital debe convertirse en analógica utilizando un convertidor digital a analógico (D a A) (fig. 51).

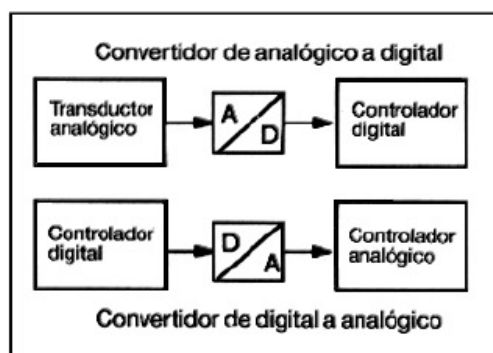


Figura 51. Convertidor Analógico/Digital a Digital/Analógico

Los transductores de posición digitales (lineales o giratorios) pueden, a su vez, dividirse en dos tipos: incrementales y absolutos. Los primeros originan una serie de impulsos para indicar la posición relativa a un punto fijo dado. Estos impulsos se envían aun contador bidireccional y mediante la lectura de éste, puede establecerse la posición relativa al punto dado. En la puesta en marcha, el contador debe ajustarse a cero, moviendo físicamente un actuador hasta la posición de referencia dada. El tener a cero cada uno de los actuadores, después de una interrupción en el suministro eléctrico, puede resultar desventajoso en algunas aplicaciones, y de hecho puede no ser posible en ciertos casos.

Los transductores absolutos han sido diseñados para resolver esta dificultad mediante una información adicional codificada e incorporada dentro del transductor. Después de su calibración inicial, el transductor puede suministrar una señal absoluta relativa a la posición que no requiere ser referenciada en la puesta en marcha.

3.4.1. Consideraciones sobre los transductores. Como ya se ha mencionado, un transductor de realimentación es el componente crítico para determinar el funcionamiento de un sistema en cadena cerrada. Cuando se selecciona un transductor adecuado para una aplicación, deben tenerse en cuenta ciertas de sus características, como se indica a continuación;

- Linealidad: La linealidad (o no linealidad) es la desviación máxima entre la señal real que da el transductor y la relación lineal ideal entre la entrada y la salida. La linealidad se expresa como un porcentaje de La señal de salida nominal máxima (fig. 52).

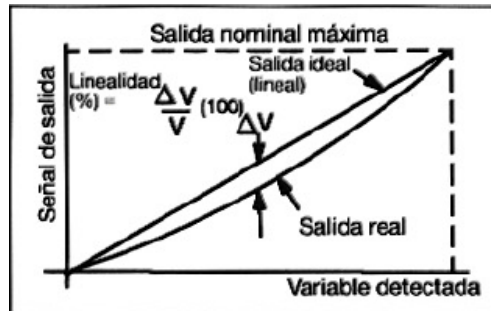


Figura 52. Linealidad en los transductores

Supongamos que un transductor de presión con su electrónica asociada da una salida de 0 a 10 volts dentro de su intervalo de trabajo de 0 a 400 bar (5800 psi). Si el error de la linealidad es del 0,5 %, esto origina un error máximo de salida de $0,005 \times (10 \text{ V}) = 0,05 \text{ volts}$, lo que a su vez corresponde a un error de presión máximo de $0,05 \times (400/10) = 2 \text{ bar}$ (29 psi).

- **Histéresis:** La histéresis es la magnitud de la desviación de la salida ideal según que la señal vaya aumentando o disminuyendo y viene dada como un porcentaje de la salida nominal máxima.
- **Repetibilidad:** La repetibilidad es la capacidad de un transductor de dar la misma salida para aplicaciones sucesivas de una entrada dada. Los errores de histéresis y de repetibilidad no tienen en cuenta las variaciones que pueden presentarse debidas a cambios de temperatura.
- **Deriva de temperatura:** La salida de los transductores analógicos puede variar si la temperatura varía. La deriva de temperatura se expresa como un porcentaje de la señal nominal de salida por grado de variación de temperatura dentro de un intervalo especificado.
- **Resolución:** Los transductores digitales tienen niveles finitos de resolución según cual sea el número de escalones de señal. Esto también se aplica en el caso de potenciómetros de cable arrollado. Esta resolución puede especificarse como un porcentaje de la salida nominal o como un valor absoluto. Como regla general, la resolución

de un transductor debe ser por lo menos diez veces mejor que la precisión requerida del sistema.

Si un sistema de control de la posición necesita alcanzar una precisión de 0,1 mm. (0,004 in), la resolución del transductor debe ser de 0,01 mm. (0,0004 in).

- Rizado: La salida eléctrica de un transductor puede incluir algunas veces un cierto grado de rizado de corriente o de tensión, especialmente en aquellos que funcionan con una tensión alterna (transductores inductivos). Es necesario asegurarse que ningún rizado origina señales de realimentación al sistema de control.
- Velocidad de funcionamiento: Muchos transductores, tales como potenciómetros o transductores digitales, tienen una velocidad de funcionamiento limitada por motivos mecánicos o electrónicos. Debe comprobarse la velocidad máxima de funcionamiento para asegurarse que ésta sea compatible con los requerimientos del sistema.
- Respuesta dinámica: La respuesta en frecuencia de un transductor debe también ser compatible con la del sistema que se desea controlar y, como regla general, la frecuencia propia del transductor debe ser por lo menos, diez veces mayor que la del sistema controlado.
- Instalación: Es necesario tener un cuidado especial en la instalación mecánica del transductor que tiene una influencia directa en el funcionamiento del sistema. Los transductores deben unirse rígidamente sin juegos ni vibraciones. En ambientes peligrosos, deben también protegerse adecuadamente contra cualquier daño. Si pueden haber interferencias eléctricas, el transductor y los cables deben blindarse adecuadamente.
- Duración esperada: Los transductores de contacto mecánico (potenciómetros) tienen una vida o duración de ciclo limitados, lo que puede ser un factor crítico a considerar en las aplicaciones de ciclo

rápido o en sistemas de control de procesos, en los que la fiabilidad es muy importante.

3.4.2. Funcionamiento típico de un transductor. Las variables que normalmente requieren ser detectadas en un sistema hidráulico en cadena cerrada incluyen:

- Posición lineal.
- Posición giratoria.
- Velocidad lineal.
- Velocidad de rotación.
- Presión.
- Fuerza.
- Par.

- Transductores de posición lineal: El modelo más sencillo de este tipo de transductores es el potenciómetro lineal. Normalmente, está formado por una regleta o guía de carbón o de plástico conductor, soportado dentro de un cuerpo. A ambos lados de la guía, se aplica una tensión de suministro, y un cursor puede desplazarse a lo largo de ella mediante una varilla de mando (fig. 53).

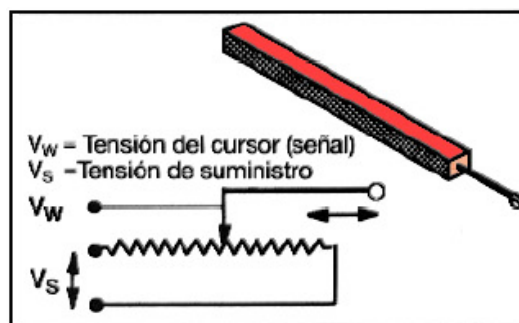


Figura 53. Transductor de posición lineal

Los potenciómetros dan una buena linealidad, y la utilización de una guía conductora significa que la resolución es virtualmente infinita. El contacto

mecánico entre el cursor y la guía puede originar un desgaste o una duración limitada, y un intervalo de frecuencias relativamente bajo (típicamente <5 Hz), También se utilizan normalmente para el control de la posición los transductores de desplazamiento sin contacto tales como el LVDT (linear variable differential transformer) mostrado en la fig. 54.

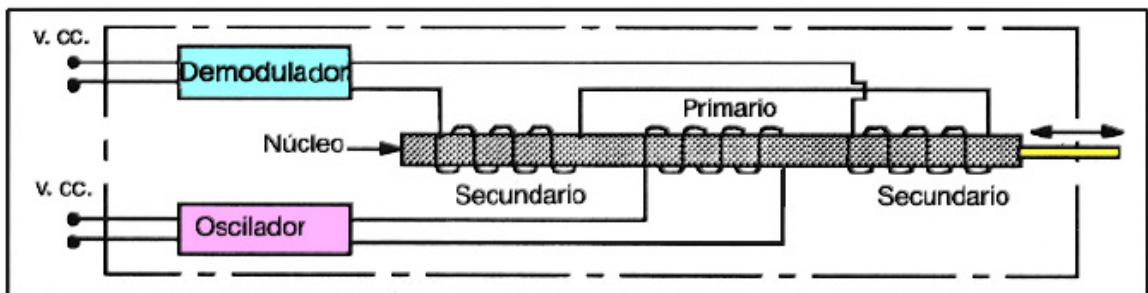


Figura 54. LVDT (linear variable differential transformer)

El LVDT está formado por una bobina primaria y dos secundarias que rodean un núcleo de hierro dulce conectado a la varilla de mando. La bobina primaria se alimenta con una CA de frecuencia elevada que crea un campo magnético variable en el núcleo. A su vez, este campo magnético induce tensiones en las dos bobinas secundarias por efecto transformador. Si estas dos bobinas están conectadas en oposición, entonces con el núcleo centrado, las tensiones inducidas en cada bobina se cancelan y dan una salida cero. Cuando el núcleo se aleja del centro, la tensión inducida en una bobina secundaria aumenta y disminuye en la otra, lo que origina una tensión de salida no nula, cuya magnitud es proporcional a la magnitud del desplazamiento y su desfase indica la dirección del movimiento. La salida puede conectarse a un rectificador sensible a las variaciones de fase (demodulador), que da una señal de CC proporcional al movimiento y cuya polaridad depende de su dirección.

El suministro de CA puede obtenerse a partir de una tensión de CC mediante un dispositivo llamado oscilador. Normalmente, el oscilador y el demodulador pueden ir incorporados dentro del cuerpo del LVDT.

Este LVDT suministra un dispositivo robusto, sin contactos, que evita los problemas de posibles desgastes mecánicos y proporciona un intervalo elevado de frecuencias. Los errores de linealidad pueden ser mayores que los correspondientes a los potenciómetros.

Actualmente está siendo cada vez más popular incorporar el transductor de desplazamiento dentro del cilindro, tanto por conveniencia como por protección. En este caso, se utilizan varias técnicas distintas, tales como el sensor mostrado en la fig. 55.

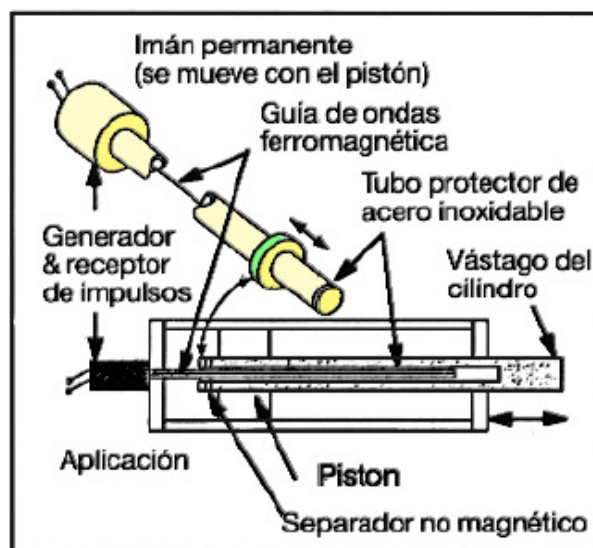


Figura 55. Técnica utilización de un sensor de posición lineal

Los impulsos eléctricos se transmiten a lo largo de un cable dentro del vástago del cilindro. Este cable está rodeado por un tubo (guía de ondas) de aleación magneto estrictiva (que es una aleación en la que se crea una deformación en presencia de un campo magnético).

Un imán permanente en forma de anillo está unido al pistón del cilindro. Cuando los impulsos pasan por el cable, se crea un campo magnético en la guía de ondas que interaccionan con el campo magnético del imán permanente, lo que origina un impulso de deformación en el tubo de guía de ondas que retrocede hacia el sensor donde se convierte en un impulso de tensión.

Midiendo el tiempo de transmisión entre el impulso eléctrico inicial y el impulso de deformación resultante, puede determinarse la posición del pistón del cilindro.

- Posición giratoria: Como con los transductores de posición lineal, los potenciómetros pueden utilizarse para señales de posición giratoria pero son susceptibles a desgaste mecánico o deterioro en algunas aplicaciones.

El equivalente giratorio de un LVDT se denomina RVDT (rotary differential variable transformer) y su funcionamiento se basa en un principio similar, con la excepción de que se utiliza una leva especialmente diseñada en lugar de un núcleo de hierro. Es un transductor de posición giratorio sin contactos.

Una segunda clase de transductor sin contactos es el encoder óptico que está disponible en forma lineal o giratoria. Ambos pueden ser de dos tipos: incremental o absoluto.

En un encoder típico de eje incremental, un disco de vidrio que lleva impresas unas líneas radiales con separaciones iguales en su borde exterior gira entre un LED emisor y un fototransistor receptor (fig. 56).

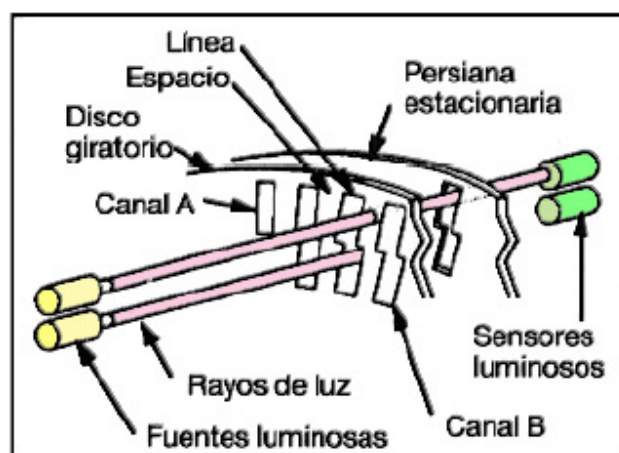


Figura 56. Encoder típico

Un disco estacionario instalado cerca del disco giratoria crea un mecanismo tipo persiana. Las líneas y los espacios del elemento giratorio interrumpen o dejan pasar alternativamente el rayo luminoso, lo que origina que al circuito fotoeléctrico genere una serie de impulsos representando cada uno de ellos un cierto grado de rotación. Cuanto mayor sea el número de ranuras y de espacios en el disco, mayor será su resolución. Si hace falta, la salida puede convertirse en una señal analógica en vez de digital.

Un encoder incremental suministra una señal de posición angular relativa que puede hacer falta referirla a una posición dada en el momento de la puesta en marcha y a intervalos de tiempo. Un encoder absoluto funciona prácticamente según el mismo principio con la excepción de que se incluyen en el disco señales codificadas adicionales para dar información con relación a la posición absoluta del eje, lo que hace innecesaria la puesta a cero del encoder (fijar una posición dada).

- Velocidad: El transductor utilizado para medir la velocidad angulares el generador tacométrico (dinamo tacométrica), que es básicamente un generador de CC de imán permanente (fig. 57).

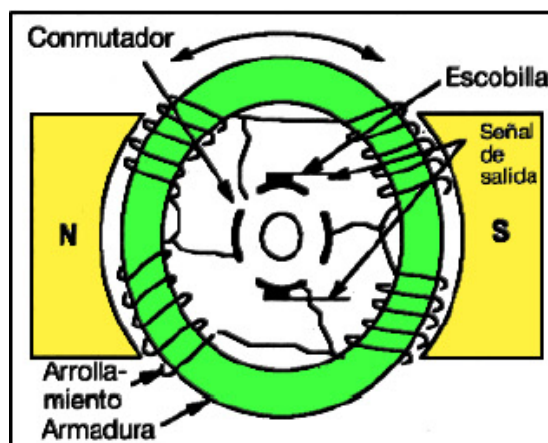


Figura 57. Dinamo tacométrica

Esta dinamo suministra una tensión de salida de CC proporcional a la velocidad de rotación del eje, y es casi un caso único en el campo de los transistores al no requerir un suministro de potencia. Ella sola crea una señal de tensión.

Para medir una velocidad lineal, se puede utilizarla conjuntamente con un dispositivo piñón y cremallera para convertir una velocidad lineal en angular. La velocidad del actuador también puede detectarse indirectamente detectando su caudal. En la fig. 58 se muestra un transductor típico de caudal.

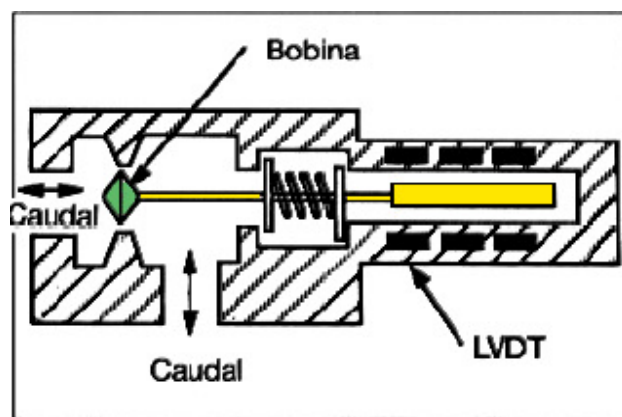


Figura 58. Transductor típico de caudal

Un huso accionado por un muelle está situado en el estrangulamiento del sensor de caudal y el eje de este huso lleva incorporado un sensor de posición LVDT. Cuando el caudal atraviesa el transductor, en cualquiera de las dos direcciones, el huso se desplaza en un grado mayor o menor según cual sea la magnitud de este caudal. Las formas del huso y del estrangulamiento han sido diseñadas especialmente para suministrar una relación lo más lineal posible entre el caudal y el desplazamiento del huso.

El LVDT detecta este desplazamiento y da una señal eléctrica proporcional al caudal. Las limitaciones principales de tales dispositivos son los errores de linealidad, relativamente elevados, y el hecho de que debe haber un caudal mínimo para que pueda obtenerse una señal fiable.

- Presión, fuerza y par: En muchas aplicaciones de control de la fuerza o del par en cadena cerrada, puede ser más conveniente detectar la presión del actuador más bien que directamente la fuerza o el par.

El funcionamiento de los transductores de presión se basa normalmente en la piezoelectricidad o en la deformación por presión. Cuando se utilizan con la electrónica adecuada, originan una corriente o una tensión de salida proporcionales a la presión. Puesto que estos transductores no tienen piezas móviles, son normalmente de funcionamiento muy fiable. Hay también disponibles transductores de presión diferencial para detectar la diferencia de presiones entre los orificios del actuador.

Los transductores de par y de fuerza (load cells) funcionan también normalmente según el principio de la deformación por presión, y están disponibles en muchos tipos y tamaños distintos para adaptarlos a la mayoría de las aplicaciones.

3.5. SERVOMECANISMO CONTROL DE LA POSICION.

Como ya su nombre sugiere, la finalidad de un sistema de control de la posición es mover una carga hasta una cierta posición o serie de posiciones. Puede ser el movimiento lineal efectuado por un cilindro o el movimiento giratorio realizado por un motor. En algunos casos, el movimiento giratorio puede convertirse en lineal utilizando un husillo de avance tal como se muestra en la fig. 59.

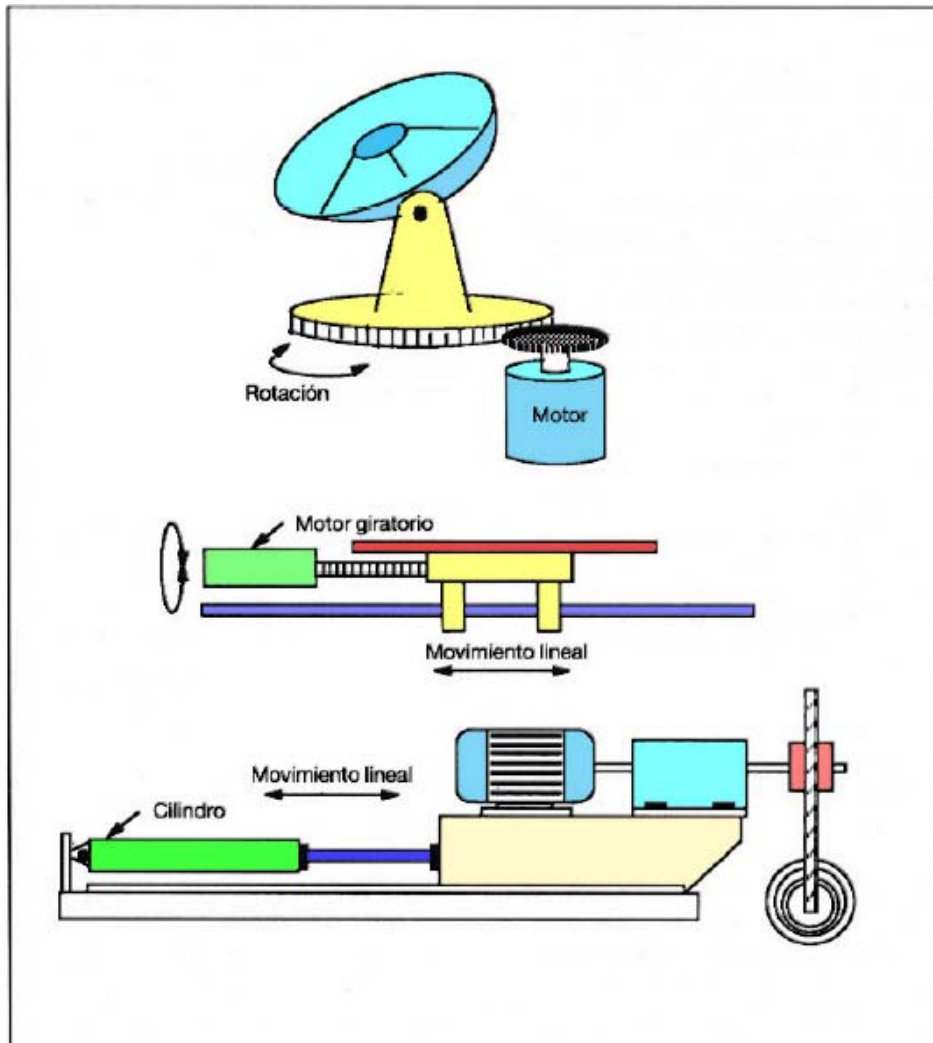


Figura 59. Conversión movimiento giratorio a lineal

Cuando se requieren niveles de precisión muy elevados, se utilizan normalmente accionamientos mecánicos, tales como husillos de avance o de bola. Si el paso de éste es de 5mm (0.2 in), es posible posicionar el motor con una precisión de ± 1 grado. La precisión lineal que puede conseguirse es $5/360: \pm 0.014\text{mm}$ [0.005 in].

Para controlar el actuador se requiere una válvula hidráulica que normalmente lo hace avanzar, retroceder o parar. Si se utiliza una válvula de

corredera deslizante, ésta es básicamente una válvula de tres posiciones como puede verse en la fig. 60.

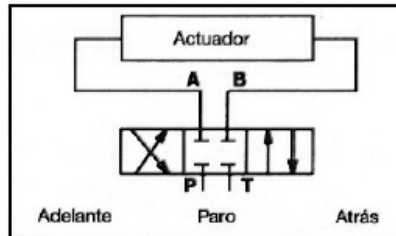


Figura 60. Válvula de corredera deslizante

Supongamos que la válvula de control debe ser actuada eléctricamente. La gama de válvulas que pueden seleccionarse empieza en un extremo con las electro válvulas distribuidoras todo/nada y se extiende pasando por las válvulas proporcionales hasta las servoválvulas en el otro extremo [fig. 61) de la gama.

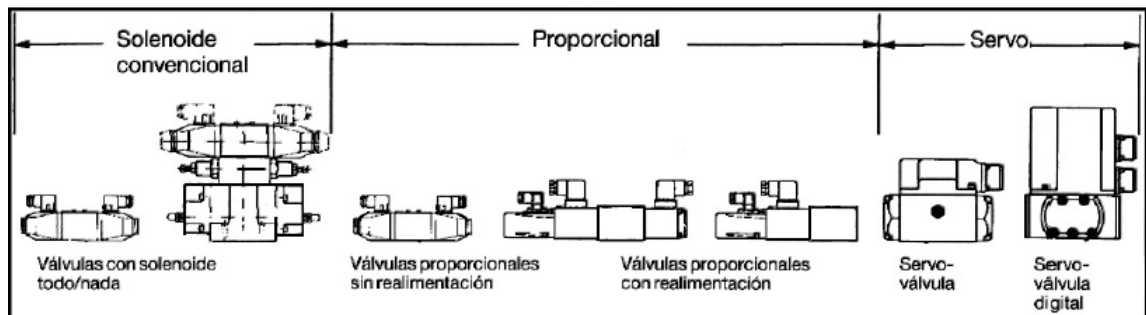


Figura 61. Gama de válvulas

3.5.1. Descripción de un sistema de control de posición de lazo cerrado.

Si su finalidad es el control de posición, es necesaria una señal de comando (voltios) que corresponda a la posición deseada, la posición real del cilindro es medida y realimentada como voltaje. Al amplificador llega la diferencia entre estos dos voltajes denominado error. Este error es ampliado y luego la señal de salida de este controla directamente la válvula. Para el caso de una

válvula proporcional la señal amplificada debe llegar a una etapa de potencia para así accionar los solenoides proporcionales que tiene un consumo cercano a los 2A. Para el caso de una servoválvula la señal amplificada llega directamente por su bajo consumo de corriente (9 mA), indiferente de de que tipo de válvula (proporcional o servoválvula) se utilice el resultado es un paso estrangulado de fluido y como consecuencia, el movimiento del cilindro. Como la lectura de la posición real del cilindro esta cambiando y cada vez se aproxima al voltaje de comando el error es cada vez mas pequeño. Como consecuencia la válvula dispone de un valor pequeño de corriente que se traduce para la válvula en un cierre gradual estrangulando cada vez mas el paso del fluido hasta el punto de cierre que corresponda a un error de cero voltios.

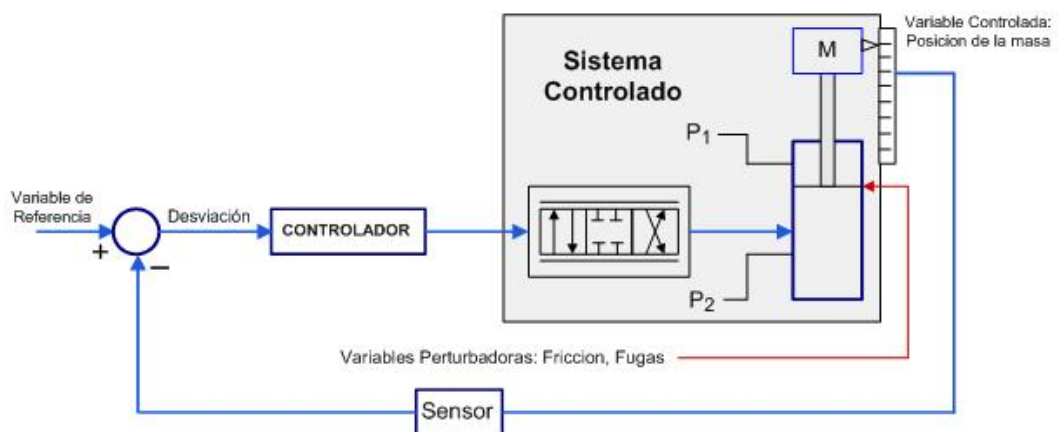


Figura 62. Ejemplo sistema de control de posición de lazo cerrado

Las perturbaciones externas no afectan el control del lazo cerrado por el hecho de tener siempre una retroalimentación de la salida del sistema y cualquier consecuencia de la perturbación es corregida. Esta es la característica más importante del sistema de control de lazo cerrado.

En el ejemplo mostrado en la figura 62, el dispositivo de control incluye:

- Regulador: Que consiste en un comparador el cual genera la señal de diferencia comando/retroalimentación y además cumple con la función de amplificador.
- Sistema de medición de posición.
- El sistema controlado incluye: La válvula hidráulica y el cilindro.

3.6. SERVOMECANISMO CONTROL DE LA VELOCIDAD.

Los sistemas de control de la velocidad se utilizan cuando es necesario controlar la velocidad de movimiento del actuador más bien que la posición. Pueden utilizarse con actuadores lineales o giratorios y en ambos casos queda involucrado el control del caudal del actuador.

La velocidad del actuador puede controlarse de muchas formas diferentes, desde con un sencillo orificio en un racor hasta con una servoválvula en cadena cerrada. La sección siguiente expone las opciones disponibles y las características de cada una.

3.7. SERVOMECANISMO CONTROL DE LA FUERZA.

El control de la fuerza o del par de salida de un actuador se consigue básicamente controlando la presión en éste. El control de la presión en cadena abierta se logra tradicionalmente utilizando una válvula de seguridad o una válvula reductora que pueden dar un control adecuado en muchas aplicaciones (fig. 63).

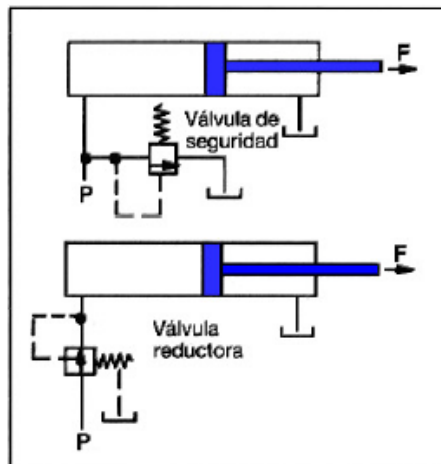


Figura 63. Control de la presión en cadena abierta

La precisión de estos sistemas viene limitada por la capacidad de las válvulas utilizadas para mantener una presión constante bajo condiciones variables. Las variaciones de caudal a través de la válvula pueden afectar también a la presión controlada, lo mismo que los cambios en la viscosidad del fluido o en las cargas reactivas en el actuador.

Si es necesario variar o perfilar la fuerza del actuador durante el ciclo de la máquina, pueden utilizarse válvulas de seguridad o reductoras proporcionales, controladas por el programador de la máquina. Estos requerimientos son frecuentemente necesarios en aplicaciones de prensas o de moldeo por inyección.

Para conseguir niveles más elevados de precisión, las válvulas proporcionales de control de presión pueden utilizarse en un sistema en cadena cerrada utilizando un transductor de presión para obtener una señal de realimentación de presión

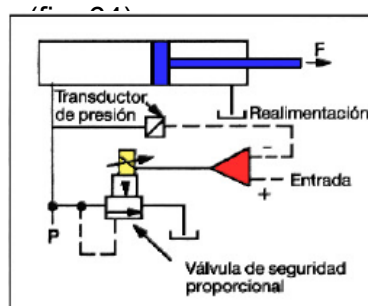


Figura 64. Control de la presión en cadena cerrada

Las servoválvulas o las válvulas proporcionales de prestaciones elevadas (tipos corredera deslizante), con centro crítico o abierto, pueden también utilizarse para controlar la presión del actuador. Las válvulas proporcionales con correderas cerradas no son idealmente adecuadas para los sistemas de control de presión debido a la zona muerta de la corredera, aunque pueden utilizarse algunas veces como válvulas de seguridad de la misma forma que una válvula de seguridad proporcional (fig. 65).

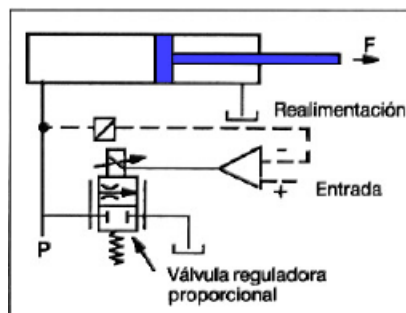


Figura 65. Control de presión con válvula de seguridad proporcional

En la fig. 66. Se muestra una disposición típica para un sistema de control de la fuerza en cadena cerrada.

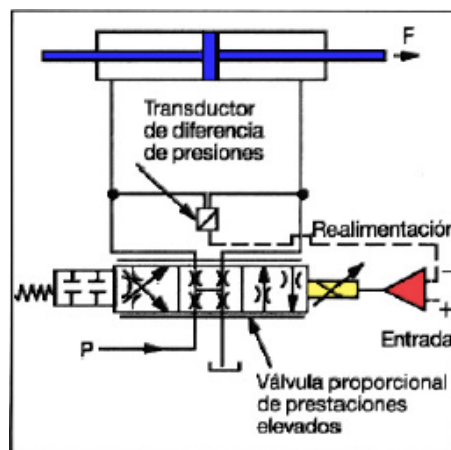


Figura 66. Disposición típica de un sistema de control de la presión

La señal de entrada escogida se suma con la señal de realimentación procedente de un transductor de posición para dar la señal de error. Para crear la señal de realimentación, la salida del sistema puede detectarse directamente con un transductor de fuerza o con una "load cell", o

indirectamente detectando una presión. En muchas aplicaciones, puede ser más conveniente detectar una presión que una fuerza. Si se utiliza la primera, debe tenerse en cuenta el efecto de la contrapresión en el orificio de salida del actuador, puesto que esta contrapresión tiende a restarse de la fuerza de salida.

Si se utiliza un actuador de áreas iguales (cilindro de doble vástago o motor), un transductor de diferencia de presiones (fig. 66) compensa automáticamente esta contrapresión. Si se trata de un cilindro diferencial, hacen falta dos transductores de presión, con uno de ellos tarado adecuadamente para tener en cuenta la diferencia de áreas.

Las fugas en la válvula de control o en el actuador tienden a originar un error constante en el sistema y esta válvula debe accionarse parcialmente para compensar estas fugas. Para poderla accionar, debe existir una señal de error, lo mismo que si el actuador se mueve mientras se controla la presión. La corredera de la válvula debe desplazarse en una cierta magnitud para originar un caudal, lo que a su vez requiere una señal de error. Aunque un aumento de la ganancia del amplificador reduce este error, no lo elimina completamente.

Se utiliza un amplificador tipo integrador que permite que la señal de salida aumente hasta un valor constante que se mantenga cuando el error se reduce a cero. Esta disposición podría también utilizarse en un sistema de control de la presión, pero normalmente se combina con el amplificador proporcional convencional (fig. 67).

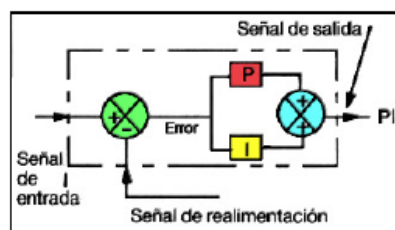


Figura 67. Amplificador proporcional convencional

El amplificador se denomina tipo PI (proporcional más integral), la parte proporcional suministra la respuesta rápida y la integral elimina el error constante. Una ventaja adicional de la utilización de válvulas proporcionales o servoválvulas con corredera en esta forma, es que muy frecuentemente puede controlarse al mismo tiempo la posición y la fuerza del actuador. Por ejemplo, en la aplicación de una prensa, el movimiento inicial y la preformación pueden conseguirse utilizando el control de posición del actuador y después cambiarse al control de la fuerza para el funcionamiento del prensado. En tales casos, puede utilizarse la misma válvula de control para ambas funciones pasando el amplificador de control de proporcional a integral (fig. 68).

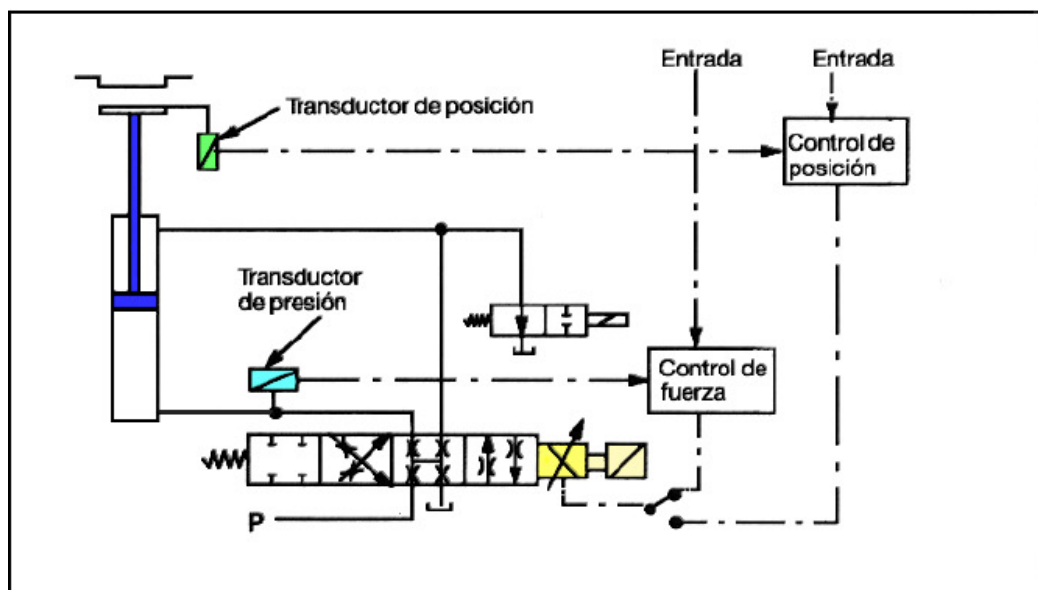


Figura 68. Control de posición y control de fuerza

3.8. SERVOCONTROL DE LOS ACTUADORES.

En este control la servoválvula o la válvula proporcional, debe instalarse cerca del cilindro o del motor y controla directamente el caudal enviado a los orificios del actuador (fig. 69).

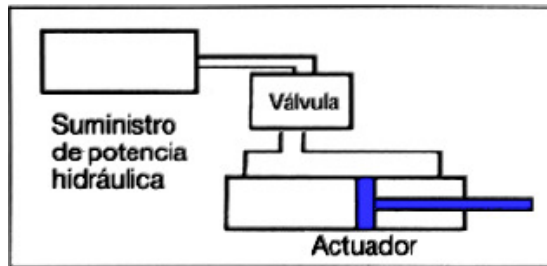


Figura 69. Servocontrol de los actuadores

Uno de los factores más importantes para determinar la capacidad de funcionamiento de un sistema en cadena cerrada, es la rigidez del conjunto actuador y carga. Al aumentar la rigidez se aumenta la ganancia máxima del sistema que puede utilizarse. Esto origina tiempos de respuesta más elevados y errores permanentes más pequeños. Puesto que el volumen de fluido comprimido afecta a la rigidez del actuador, cuanto más pequeño sea este volumen, mayor será la rigidez. Con la instalación de la válvula de control cerca del actuador, el volumen de aceite comprimido se reduce a un mínimo, maximizando la rigidez del actuador. Normalmente, las servoválvulas se montan directamente sobre los orificios del actuador para mantener el volumen del aceite lo más pequeño posible.

Para dar un funcionamiento consistente y predecible, la servoválvula requiere una presión de suministro constante y la forma más sencilla de conseguir esto es mediante una bomba de desplazamiento constante y una válvula de seguridad (fig. 70).

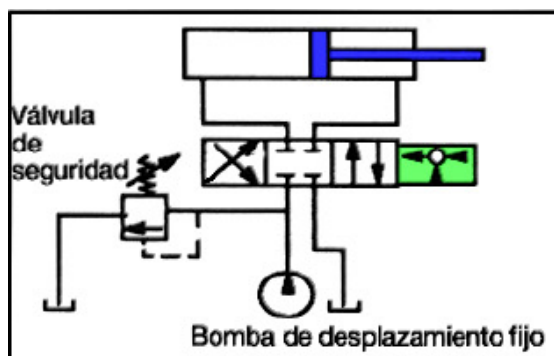


Figura 70. Conjunto servoválvula y bomba de desplazamiento fijo

Una consideración importante con relación a este circuito es la pérdida de potencia o el rendimiento. El caudal que sobra, pasa por la válvula de seguridad a su taraje, originando calor, lo que es especialmente importante en las aplicaciones de control de la presión o de la posición, en las que el actuador puede estar parado durante largos períodos de tiempo. Puede no ser práctico poner la válvula de seguridad a descarga a presión reducida durante estos periodos utilizando una electroválvula, puesto que puede ser necesario que la presión se mantenga para conservar el actuador en posición.

Añadiendo un acumulador al sistema, es posible poner a descarga la bomba cuando no se requiera movimiento (fig. 71), lo que reduce la generación de calor.

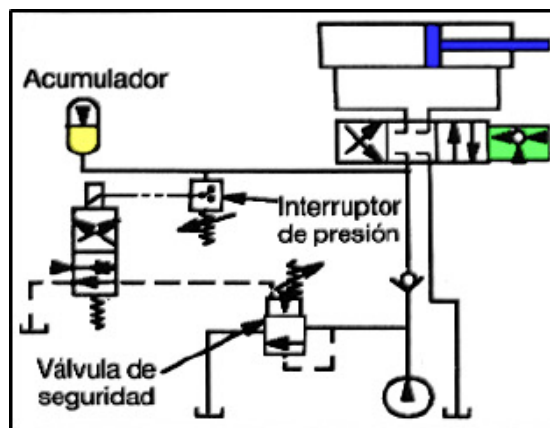


Figura 71. Acumulador

Utilizando un presostato y una válvula de seguridad con mando eléctrico, puede ponerse a descarga la bomba durante los períodos sin movimiento, pero la presión del sistema se mantiene en la servoválvula por el acumulador. Puesto que debe haber una diferencia de presiones entre la carga y descarga de la bomba, habrá un cierto grado de variación de presión en el sistema. Esta presión variará entre ajustes de la válvula de seguridad y del presostato. Esta diferencia de presiones puede minimizarse aumentando el tamaño del acumulador, pero con un aumento del costo.

Una bomba de desplazamiento variable compensada por presión (fig. 72) puede suministrar una presión constante a la servoválvula, sin crear grandes cantidades de calor durante los períodos sin movimiento.

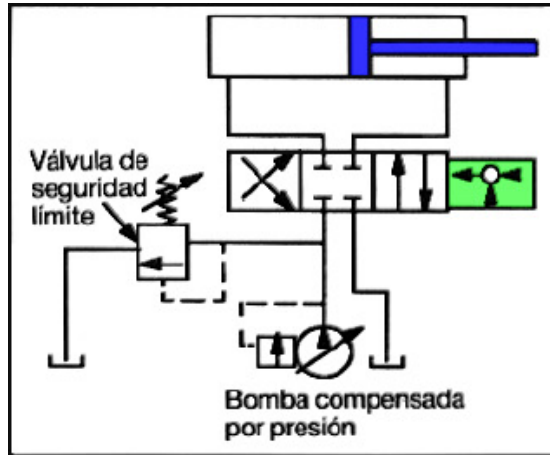


Figura 72. Bomba de desplazamiento variable compensada por presión

Cuando la servoválvula está funcionando en 0 cerca de la posición nula, el caudal de la bomba se reduce automáticamente a casi cero. La magnitud de la variación de presión entre el caudal total y el casi nulo de la bomba es relativamente pequeño, puesto que viene ahora determinada por el margen de sobrepresión del compensador de la bomba que es típicamente de unos 5 bar (75 psi).

Una posible desventaja, especialmente con las bombas más grandes o en los sistemas en que haya mucha tirada de tubería entre la bomba y el actuador, es el tiempo que se requiere para que la bomba responda o se mueva desde la condición de caudal nulo hasta el caudal requerido. Esto es únicamente un problema en los sistemas de actuación rápida en los que la respuesta es crítica.

Si es necesario, puede utilizarse un acumulador conjuntamente con la bomba variable (fig. 73).

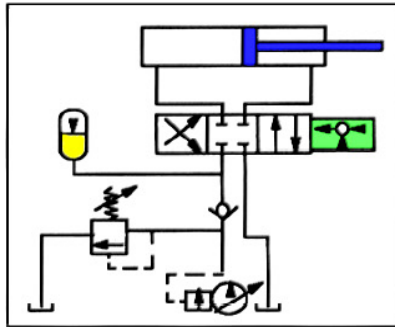


Figura 73. Acumulador conjuntamente con bomba variable

Si el acumulador se instala cerca de la válvula de control, la presión del sistema puede mantenerse durante el período comprendido entre el funcionamiento de la servoválvula y la bomba dando el caudal requerido.

Con independencia del circuito que se utilice, la servoválvula o la válvula proporcional introduce también una falta de rendimiento en el sistema debido a la pérdida de carga a través de la válvula.

Como ya se ha especificado anteriormente, para una transmisión de potencia máxima al actuador, la pérdida de carga total máxima en la válvula debe ser $1/3$ de la presión del sistema. Si se utiliza este criterio, debe tenerse en cuenta en el diseño del circuito, el calor generado por esta pérdida de carga. Esto puede ser más crítico en los sistemas de control de la velocidad o en las aplicaciones de ciclo rápido, en las que la servoválvula puede permanecer en la posición actuada durante períodos de tiempo relativamente largos. Puede no ser crítico, en las aplicaciones de control de la presión o de la posición, en las que el actuador permanece estacionario o se mueve solamente muy despacio durante un porcentaje elevado de tiempo.

3.9 ANALISIS DEL SISTEMA EN LAZO CERRADO PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON

En la figura 74, 75 y 76, se podrá observar datos técnicos de la servoválvula y los transmisores de presión, el diagrama del sistema se representa en la figura 77.

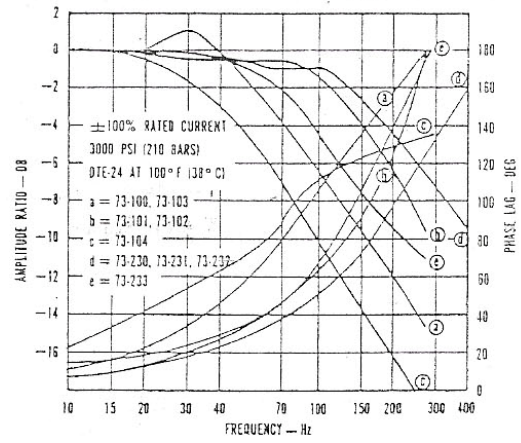
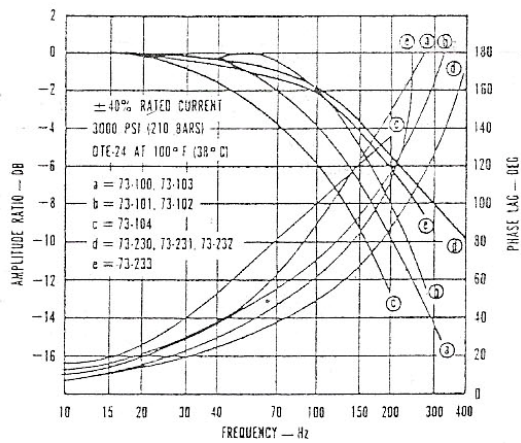
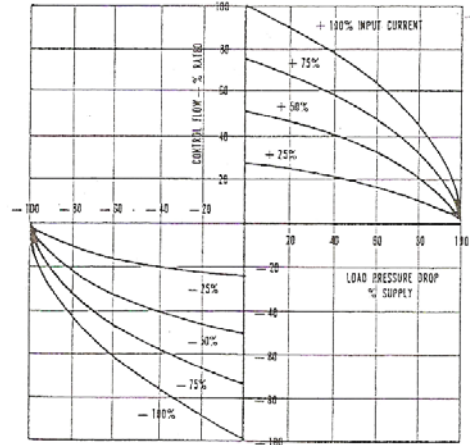
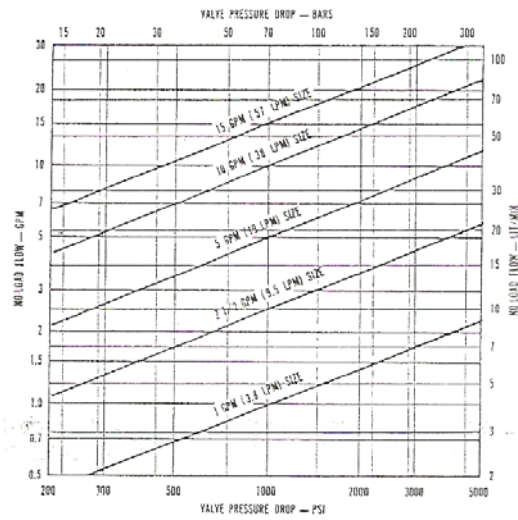


Figura 74. Datos técnicos Servoválvula



Figure 1 Transmitter Type 7MF1563

Notes

These instructions do not contain all information details for clarity reasons. May we also point out that these instructions are neither part of an earlier or existing agreement, acceptance or legal relationship nor an amendment of such. All obligations of the Siemens AG are given by the respective contract of sale which also contains the full and solely valid warranty conditions.

1 Technical Description

1.1 Range of Application

The Type 7MF1563 is a pressure transmitter for measuring the relative pressure and absolute pressure of the gases, liquids and steam in the energetics and mechanical engineering industry, ship building, water supply etc.

1.2 Structure

The transmitter consists of a thin-film measuring cell with a ceramic diaphragm and electronics board both installed in the stainless steel housing. The electrical connection is made by a right-angled connector (DIN 43650) with Pg 9 cable gland. The device is connected with the process connection G $\frac{1}{4}$ A (external thread) or G $\frac{7}{8}$ A (internal thread) made of stainless steel.

1.3 Functional Principle

The thin-film measuring cell has a thin-film resistor bridge at which the measuring pressure p is transferred through a ceramic diaphragm. The measuring cell output voltage is fed to an amplifier and converted into an output current I_o in the output stage U/I . The device is fed with a power supply U_b and reverse polarity and too high a supply voltage are prevented by the protective diodes at the input. The device is protected against high frequency interference by an RF choke, capacitor and toroid diode.

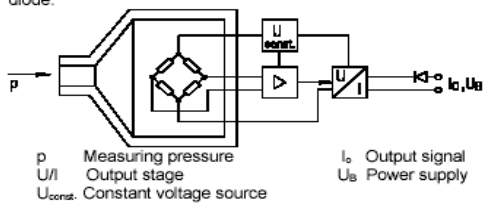


Figure 2 Transmitter Type 7MF1563, Function diagram

1.3 Technical Data

Functional principle and system structure

Measuring principle	Thin-film DMS
Input	
Measuring variable	Pressure and absolute pressure see chapter 1.5
Measuring range	
Output	
Output signal	4 to 20 mA
Load	($U_b - 10 V$)/0,02 A
Characteristic	linear increasing
Measuring accuracy	
Measuring error (at 25°C, characteristic deviation, hysteresis and repetitive accuracy included)	0,25% of final value – typical
Setting time T_{90}	< 0,1 s
Long-term drift	
Start of scale	0,25% of final value/year
Span	0,25% of final value/year
Influence of ambient temperature	
Start of scale	0,25%/10 K of final value
Span	0,25%/10 K of final value
Vibration influence	0,05%/g to 500 Hz in all directions (acc. to IEC 68-2-64)
Influence of power supply	0,01 %/V
Operating conditions	
<i>Ambient conditions</i>	
Ambient temperature	-25 °C bis +85 °C -25 °C to +85 °C
Storage temperature	-50 °C bis +100 °C -50 °C to +100 °C
Protection type (DIN EN 60 529)	IP65
Electromagnetic compatibility	
Spurious emission	acc. to EN 50 081
Interference strength	acc. to EN 50 082
<i>Measuring medium conditions</i>	
Measuring medium temperature	-30 °C to +120 °C
Measuring medium pressure limit	see chapter 1.5

Construction

Weight	about 0,25 kg
Dimensions	see figure 3
<i>Material of the parts which come into contact with the measuring medium</i>	
Measuring cell	Al ₂ O ₃ - 96 %
Process connection	Stainless steel, M-no. 1.4571
O-ring	Viton

Material of the parts which do not come into contact with the measuring medium

Housing	Stainless steel, M-no. 1.4571
Connector	DIN 43 650, Form A Plastic housing, DIN 43 650, form A
Process connection	G $\frac{1}{4}$ A external thread G $\frac{1}{4}$ A internal thread
Electr. connection (DIN 43 650)	Pg 9
Power supply	
Terminal voltage at the transmitter	10 to 36 V DC

1.4 Ordering Data

Range	Upper measuring medium pressure limit	Order no.	
		7MF1563- Pressure *)	00+ Absolute pressure *)
0 to 1 bar	7 bar	3BA	5BA
0 to 1,6 bar	7 bar	3BB	5BB
0 to 2,5 bar	12 bar	3BD	5BD
0 to 4 bar	12 bar	3BE	5BE
0 to 6 bar	25 bar	3BG	5BG

Figura 75. Datos técnicos Transmisores de Presión

0 to 10 bar	25 bar	3CA	5CA
0 to 16 bar	50 bar	3CB	5CB
0 to 25 bar	120 bar	3CD	-
0 to 40 bar	120 bar	3CE	-
0 to 60 bar	250 bar	3CG	-
0 to 100 bar	250 bar	3DA	-
0 to 160 bar	500 bar	3DB	-
0 to 250 bar	500 bar	3DD	-
0 to 400 bar	600 bar	3DE	-

For different version add plain text:

Range: ... to ... (m)bar

Order number

for pressure: 7MF1563-9AA00+H1Y

for absolute pressure: 7MF1563-9AB00+H1Y

*) Please enter the values of this column at ... in the order number.

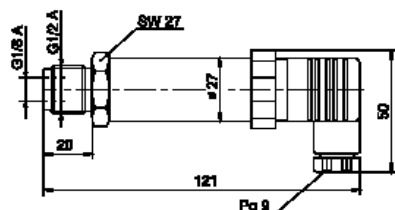
2 Installation and Operation

⚠ WARNING

This device may only be installed and operated when qualified personnel has made sure that suitable power supplies are used which ensure no dangerous voltages can get into the device during normal operation or in the event of an error.

The device can be operated with high pressure. Therefore serious injury and/or considerable damage to property cannot be totally ruled out in the event of incorrect handling.

Perfect and reliable functioning of this device depends on proper transport, storage, installation and assembly as well as on careful operation and maintenance.



2.1 Installation

There are two installation possibilities (Figure 4):

- a) at process connection G $\frac{1}{2}$ A external thread
- b) at process connection G $\frac{1}{2}$ A internal thread

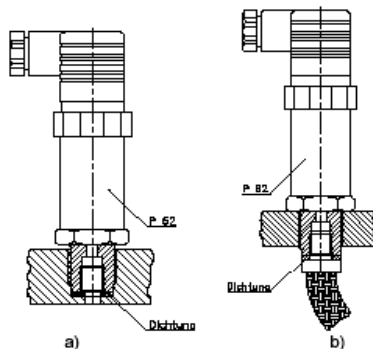


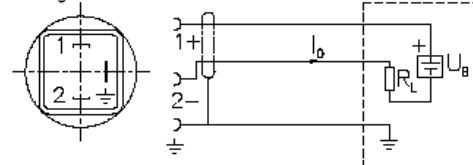
Figure 4 Transmitter 7MF1563, Installation

The position of the device has no influence on the measuring accuracy.

The permissible temperature deviations may not be exceeded. The process data must be compared with the data on the rating plate before installation.

2.2 Electrical Connection

The screened cable must be inserted with two wires through the screw-type cable gland. Only earth the cable shield at one point (preferably in the terminal box). The earth is connected to the housing.



Terminals 1 (+) 2 (-) Earth \perp
Output current I_0 Power supply U_B Load R_L

Figure 5 Transmitter 7MF1563, Connection diagram

2.3 Setting

The transmitter is set to the respective range at the factory.

If an additional setting is necessary, the top part with the grip ring of the connector must be removed.

The output current for the start of scale (4 mA) is set with the Z potentiometer, the output current for the full scale (20 mA) with the S potentiometer.



Figure 6 Transmitter 7MF1563, Setting

If the start of scale is set, the span does not change!
(Span = full scale – start of scale)

The start of scale and span can be changed by $\pm 10\%$ of the set range.

Figura 76. Continuación datos técnicos Transmisores de Presión

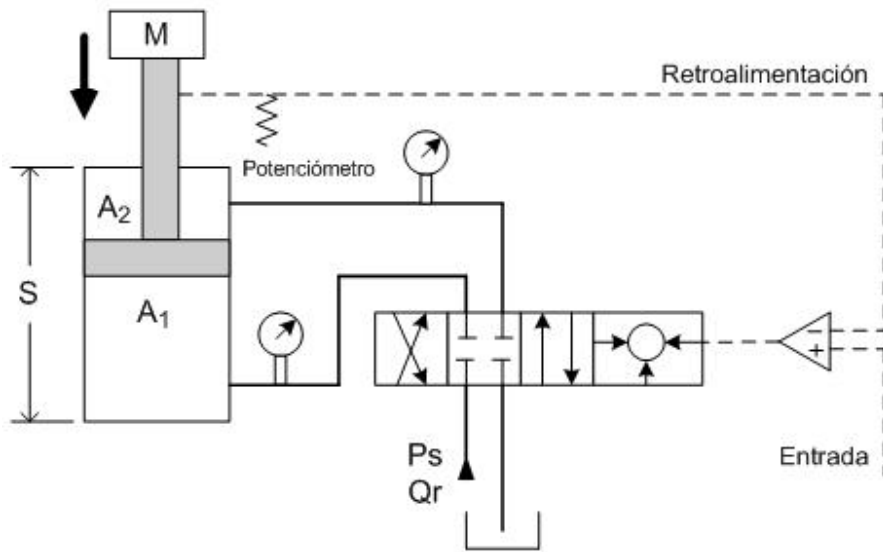


Figura 77. Diagrama del sistema

3.9.1. Análisis del sistema en lazo cerrado Posición.

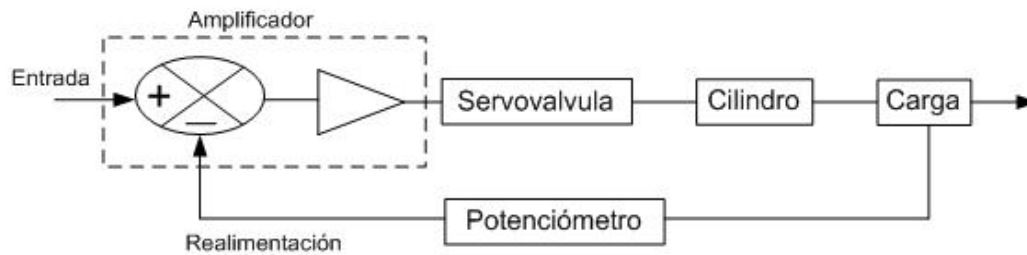


Figura 78. Diagrama de bloques del sistema

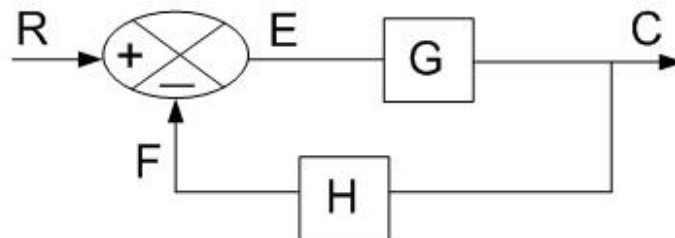


Figura 79. Bloques del lazo cerrado

De la figura 79, obtenemos la relación para la ganancia del lazo cerrado.

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1+GH}$$

Donde $G=G_1 \cdot G_2 \cdot G_3$

$G_1 = G$ Amplificador

$G_2 = G$ Servoválvula

$G_3 = G$ Cilindro

$$G_{\text{amplificador}} = \frac{100 \text{ mA}}{10 \text{ V}} = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$G_{\text{servovalvula}} = \frac{Q}{I} = \frac{46,2 \text{ plg}^3 / \text{sg}}{20 \text{ mA}} = 2,31 \frac{\text{plg}^3 / \text{sg}}{\text{mA}}$$

$$G_{\text{cilindro}} = \frac{d}{V} = \frac{v}{Q} = \frac{1}{A} = \frac{1}{40,5 \text{ plg}^2} = 2,47 \times 10^{-2} \frac{1}{\text{plg}^2}$$

$$H_{\text{potenciometro}} = \frac{30 \text{ V}}{250 \text{ mm}} = \frac{30 \text{ V}}{9,84 \text{ plg}} = 3,048 \frac{\text{V}}{\text{plg}}$$

$$G = G_{\text{amp}} * G_{\text{serv}} * G_{\text{cil}} = \left(10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right) * \left(2,31 \frac{\text{plg}^3 / \text{sg}}{\text{mA}} \right) * \left(2,47 \times 10^{-2} \frac{1}{\text{plg}^2} \right) = 0,5705 \frac{\text{plg}}{\text{sg} * \text{V}}$$

$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1+GH} \Rightarrow \frac{C}{R} = \frac{(0,5705)}{1+[(0,5705)*(3,048)]} \Rightarrow \frac{C}{R} = 0,2083 \frac{\text{plg}}{\text{V}}$$

- Constante de velocidad, constante de error de velocidad, ganancia K_{vx}

$$K_{vx} = G_{\text{amp}} * G_{\text{serv}} * G_{\text{cil}} * H_{\text{cil}}$$

$$K_{vx} = \left(10 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right) * \left(2,31 \frac{\text{plg}^3 / \text{sg}}{\text{mA}} \right) * \left(2,47 \times 10^{-2} \frac{1}{\text{plg}^2} \right) * \left(3,048 \frac{\text{V}}{\text{plg}} \right)$$

$$K_{vx} = 1,739 \frac{1}{\text{sg}}$$

$$\tau = \frac{1}{K_V} = \frac{1}{1,739} = 0,575 \text{ sg}$$

$$t = 5\tau = (5) * (0,575 \text{ sg}) \Rightarrow t = 2,875 \text{ sg}$$

- Frecuencia Natural (Actuador/Carga)

$$C_H = E \left[\frac{A_1^2}{V_1} + \frac{A_2^2}{V_2} \right]$$

$$E = \text{Modulo de compresibilidad} = 2 \times 10^5 \text{ lbf/plg}^2$$

$$s = \text{Carrera} = 150 \text{ mm} = 5,9 \text{ plg}$$

$$V_1 = A_1 (X_0)$$

$$V_2 = A_2 (s - X_0)$$

$$A_1 = 40,5 \text{ plg}^2$$

$$A_2 = 40,5 - \frac{\pi}{4} (4,875)^2 = 21,8345 \text{ plg}^2$$

$$X_0 \text{ min} = \frac{\sqrt{\frac{A_1}{A_2}} * (s)}{1 + \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 1,8548$$

$$X_0 \text{ min} = \frac{\sqrt{1,8548} * (5,9)}{1 + \sqrt{1,8548}} \Rightarrow X_0 \text{ min} = 3,4 \text{ plg}$$

Para $X_0 \text{ min} = 3,4 \text{ plg}$, tenemos:

$$V_1 = A_1 (X_0 \text{ min}) \Rightarrow V_1 = (40,5) * (3,4) \Rightarrow V_1 = 137,7 \text{ plg}^3$$

$$V_2 = A_2 (s - X_0 \text{ min}) \Rightarrow V_2 = (21,8345) * (5,9 - 3,4) \Rightarrow V_2 = 54,5862 \text{ plg}^3$$

$$C_H = E \left[\frac{A_1^2}{V_1} + \frac{A_2^2}{V_2} \right] \Rightarrow (2 \times 10^5) * \left[\frac{(40,5)^2}{(137,7)} + \frac{(21,8345)^2}{(54,5862)} \right]$$

$$C_H = 4129114 \text{ lbf/in} \Rightarrow C_H = 4,13 \times 10^6 \text{ lbf/in}$$

$$W_L = \sqrt{\frac{C_H}{m}}$$

W_L = Frecuencia propia de la carga.

m = masa de la Carga = 50 Kg. = 110 lb.

$$W_L = \sqrt{\frac{(4,13 \times 10^6) * (386)}{110}} = 3807 \frac{rad}{seg} \Rightarrow f_L = 605,88 Hz$$

Del catalogo de la servovalvula

$$f_v = 80 Hz \Rightarrow W_v = 502,65 \frac{rad}{seg}$$

$$f_v = 100 Hz \Rightarrow W_v = 628,32 \frac{rad}{seg}$$

En conclusión Caso **C**: $W_L > 3W_v \Rightarrow \varepsilon = 0,4 \Rightarrow W_s = W_v$

$$K_w(\max) = (\varepsilon)(W_s) \Rightarrow$$

$$K_w(\max) = (0,4)(502,65) \Rightarrow$$

$$K_w(\max) = 201,062 \frac{1}{seg} (f_v = 80 Hz)$$

- Error total de posición

$$X_{tot} = \Delta X_U + \Delta X_E$$

Donde:

ΔX_U = Error de posición debido a las incertidumbres de la válvula

ΔX_E = Error de posición debido a fuerzas externas

Q_{RP} = Caudal nominal de la válvula a la presión de funcionamiento del sistema

F_E = Fuerza externa

$$\Delta X_U = 0,04 \left[\frac{Q_{RP}}{K_{VX} * A} \right]$$

$$\Rightarrow Q_{RP} = Q_R \sqrt{\frac{P_S}{1000}} \Rightarrow Q_{RP} = (12) * \sqrt{\frac{1400}{1000}} \Rightarrow Q_{RP} = 14,2 \text{ gpm} \Rightarrow Q_{RP} = 54,67 \frac{\text{plg}^3}{\text{seg}}$$

$$\Delta X_U = 0,04 \left[\frac{54,67}{(201,062) * (40,5)} \right] \longrightarrow \Delta X_U = 2,68 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

$$\Delta X_E = 0,02 \left[\frac{Q_{RP}}{K_{VX} * A} \right] \left[\frac{F_E}{P_S * A} \right]$$

$$\Delta X_E = 0,02 \left[\frac{54,67}{(201,062) * (40,5)} \right] \left[\frac{110}{(1400) * (40,5)} \right] \longrightarrow \Delta X_E = 2,6 \times 10^{-7} \text{ plg}$$

$$X_{tot} = \Delta X_U + \Delta X_E \longrightarrow X_{tot} = 2,68 \times 10^{-4} + 2,6 \times 10^{-7} \longrightarrow X_{tot} = 2,68 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

3.9.2. Análisis del sistema de control de fuerza.

- Error total de presión

$$P_{tot} = \Delta P_U + \Delta P_E$$

Donde:

ΔP_U = Error de presión estacionario debido a las anomalías de la válvula

ΔP_E = Error de presión estacionario debido a la velocidad del actuador

Q_{RP} = Caudal nominal de la válvula a la presión de funcionamiento del sistema

$$\Delta P_U = 0,04 \left[\frac{Q_{RP} * C_{TOTAL}}{K_{VP} * A^2} \right] \longrightarrow \Delta P_U = 0,04 \left[\frac{(54,67) * (4,13 \times 10^6)}{(201,62) * (40,5)^2} \right] \longrightarrow \Delta P_U = 27,38 \text{ psi}$$

$$\Delta P_E = \left[\frac{C_{TOTAL}}{K_{VP} * A} \right] V \longrightarrow \Delta P_E = \left[\frac{(4,13 \times 10^5)}{(201,62) * (40,5)} \right] \left(\frac{46,2}{40,5} \right) \longrightarrow \Delta P_E = 57,856 \text{ psi}$$

$$P_{tot} = \Delta P_U + \Delta P_E \longrightarrow 27,38 + 57,856 \longrightarrow P_{tot} = 85,236 \text{ psi}$$

4. MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON.

4.1. DESCRIPCION GENERAL.

Esta descripción corresponde al reconocimiento inicial de la máquina, realizado como primer procedimiento en el desarrollo de éste trabajo de grado.

Se refiere a la identificación de los sistemas, subsistemas, elementos y accesorios que componen la máquina, así como la ubicación de éstos y la localización en sí de la máquina como conjunto.

Mediante el uso de planos, fotografías y la observación directa, se expone a continuación la descripción general de la máquina universal de ensayos INSTRON.

La máquina universal de ensayos INSTRON, tiene una capacidad máxima de trabajo que alcanza las 80 toneladas @ 3000 psi, y es utilizada para realizar pruebas de ensayo tales como tracción y compresión de materiales, y ensayos de fatiga lenta (2 Hz).

La máquina INSTRON consta esencialmente de tres partes principales, como se muestra en la figura 80. Estas son:

- Paquete de potencia oleohidráulica. (10 g.p.m @ 3000 psi.)
- Marco de carga.
- Sistema de control.

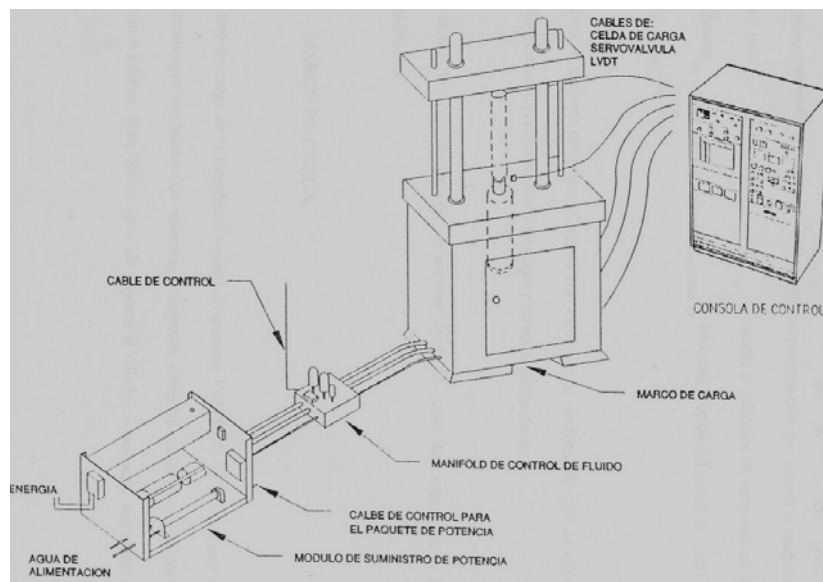


Figura 80. Máq. Universal INSTRON

4.1.1. Paquete De Potencia Oleohidráulica. Paquete de potencia oleohidráulica está especialmente diseñado para el uso con un alto grado de funcionamiento, utilizando un servosistema electrohidráulico. Esta unidad ofrece un alto grado de versatilidad, exactitud, como también una fácil operación. Además, el módulo cuenta con la instrumentación necesaria para su operación.

Este módulo se puede apreciar en la figura 81 que muestra el circuito hidráulico del paquete. El módulo esta compuesto básicamente por los siguientes elementos:

- **Bomba:** Con capacidad de 10 g.p.m a 3000 Psi con alimentación por gravedad para máxima eficiencia. Esta bomba es accionada por un motor de 20 HP, a 230-460 voltios, de 3 fases 55 Amperios y que gira a 1200 rpm. El motor es activado directamente desde la consola de control y lectura.

- Manifold de control: El cuál internamente lleva una válvula de seguridad y un filtro, externamente presenta los puertos de presión y de retorno, los puertos para la conexión de dos presostatos. Los puertos de presión y retorno son de diferente tamaño para prevenir accidentalmente el intercambio de las líneas respectivas.
- Acumulador: Cuya función es amortiguar las pulsaciones de la bomba.
- Sistema de enfriamiento: Este sistema consiste en un intercambiador de calor que toma el aceite de retorno caliente y lo coloca en contacto con agua de enfriamiento, antes de que éste llegue al tanque; como se puede observar en la figura 81 del circuito hidráulico.

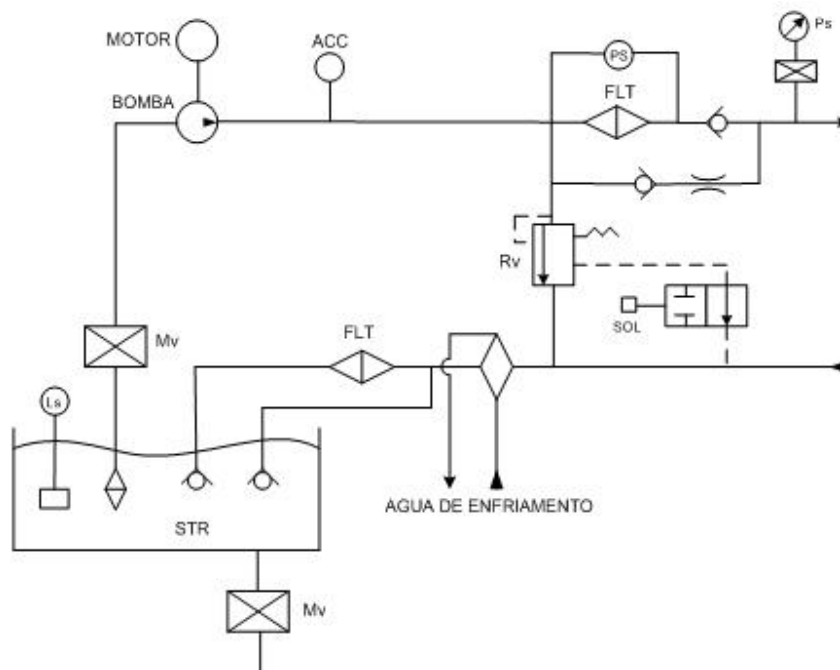


Figura 81. Módulo Potencia fluida

- Conector eléctrico: Este conector es utilizado para unir todos los componentes de control eléctrico de la unidad.

En la figura 82 podemos observar que en este módulo existen cuatro switches para controlar la parada de la máquina, los cuales son:

- Switch de control de temperatura: Este switch controla la temperatura del aceite del tanque, trabaja a temperaturas que se encuentren en el rango de 80° F a 240° F. Es normalmente abierto y se cierra cuando la temperatura de ajuste es alcanzada, apagando la máquina.
- Switch de control de presión máxima: Este switch controla la presión máxima que se puede desarrollar en la máquina. Puede ser ajustado en un rango de presión entre 190 y 3200 Psi. Cuando se alcanza la presión de ajuste el switch se activa y apaga la máquina.

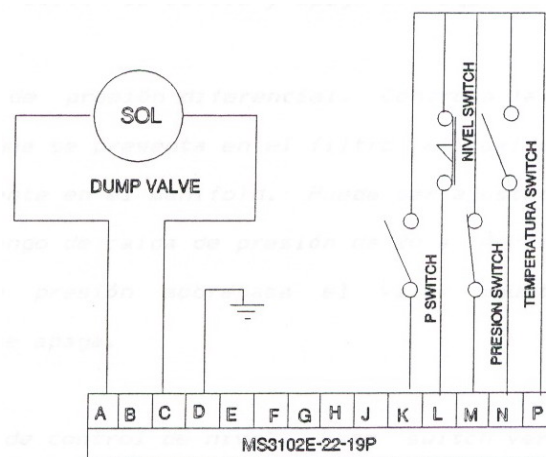


Figura 82. Circuitos de los switches de control

- Switch de presión diferencial: Controla la caída de presión que se presenta en el filtro el cual se encuentra internamente en el manifold, puede ser ajustado dentro de un rango de caída de presión de 20 a 140Psi. si la caída de presión sobrepasa el valor ajustado, la máquina se apaga.
- Switch de control de nivel: Este switch verifica el nivel mínimo de aceite que debe tener el tanque; en caso de que este valor este por debajo del valor ajustado la máquina se apagará.

Las dimensiones de la estructura donde se encuentran montados todos los elementos que conforman el módulo de suministro de potencia son:

Altura = 135 cm. Largo = 154 cm. Ancho = 105 cm.

El peso total de todo el módulo es aproximadamente 955kg.

- Manifold de control del fluido: El manifold de control del fluido tiene como función controlar el paso de fluido desde el módulo de suministro de potencia hacia el actuador hidráulico que se encuentra ubicado en el marco de carga; mediante una válvula solenoide que se activa desde la consola de control. Además el manifold presenta dos acumuladores para amortiguar las pulsaciones y una aguja reguladora de caudal a la entrada de la válvula solenoide.

El manifold de control del fluido, tiene tres puertos de conexión en la entrada; puerto de presión, puerto de retorno y puerto de drenaje, a la salida del manifold, éste presenta además de los anteriores un cuarto puerto de presión piloto, como se aprecia en el circuito hidráulico del manifold, figura 83.

Las dimensiones del manifold de control del fluido son las siguientes:

Altura = 41 cm. Largo = 27 cm. Ancho = 31 cm.

Además posee un peso total que es aproximadamente 34kg.

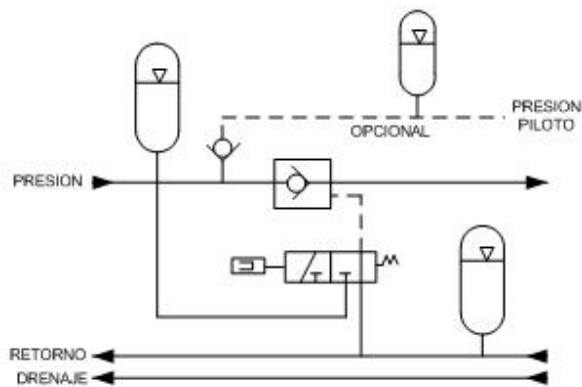


Figura 83. Circuito Hidráulico y fotografía del manifold de control

4.1.2. Marco de carga. El marco de carga de la máquina universal de ensayos INSTRON es un conjunto rígido conformado por una base y dos columnas principales, sobre las cuales se apoyan las vigas superior e inferior. Esta última sirve de soporte al cilindro o actuador hidráulico de la máquina, como se muestra en la figura 84 y figura 85. La viga superior se puede desplazar a lo largo de las columnas principales para permitir una longitud variable de probetas a utilizar. Esta viga superior se desplaza mediante dos actuadores oleohidráulicos de simple efecto, que utiliza la presión del aceite generada en el paquete de potencia.

En la viga superior se encuentra fija la celda o transductor de carga, mientras que en la viga inferior está fijo el actuador oleohidráulico de precisión, de doble efecto. Sobre éste actuador se encuentra montada la servoválvula, la cual es un amplificador de potencia que regula el flujo de aceite al actuador, en proporción a la señal de comando del servoamplificador. Tiene la capacidad de llevar flujo de aceite dentro o fuera de los dos lados del actuador, o permanecer en posición de no flujo o cierre total.

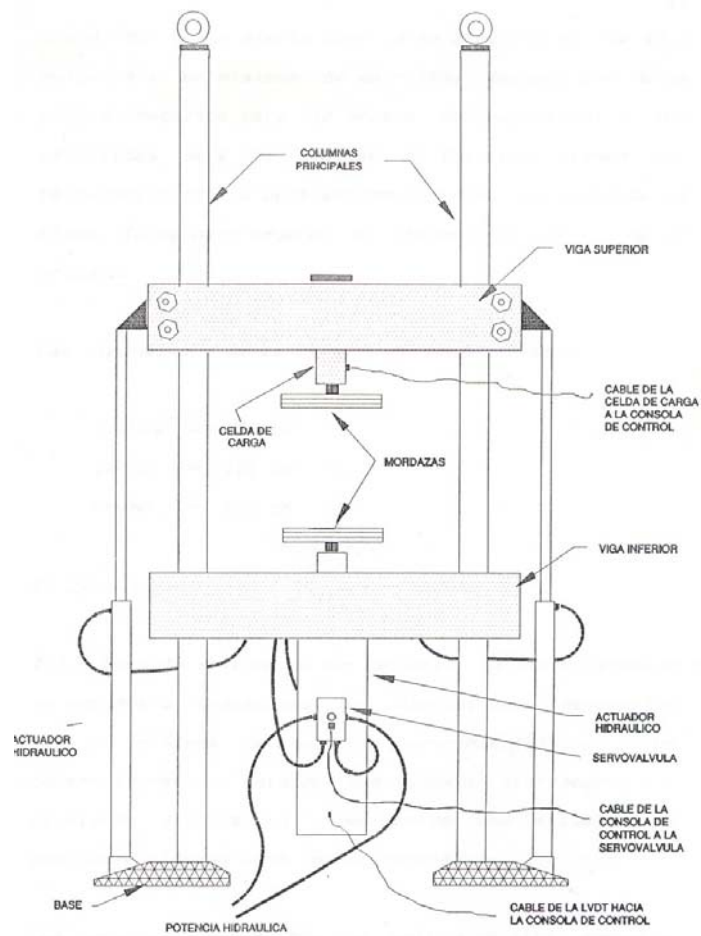


Figura 84. Esquema General del marco de carga

En este módulo es donde realmente se realiza la prueba de ensayo de materiales; para lo cual dispone de un pistón de doble efecto cuya área efectiva es de 40,5 pulgadas cuadradas y un sistema de sujeción, formado por unos platos compactos para la prueba de compresión; y los utilizados para las pruebas de tracción tienen una perforación cónica para introducir unas mordazas de la misma forma para mejorar el sistema de agarre de la probeta.



Figura 85. Marco de carga

Las dimensiones de la estructura compacta son:

Altura = 366 cm.

Largo = 122 cm.

Ancho = 129 cm.

El peso total es de 160 kg. aproximadamente.

4.1.3. Sistema de control. Consiste en un sistema de control con estructura de lazo cerrado, tal como se observa en la figura 86. Así, en el caso más

general, podemos dividir el sistema de control en los siguientes bloques: Unidad de control, accionamientos, sensores, interfaces.

- ✓ Unidad de control: Controlador.
- ✓ Accionamientos:
 - Preactuador: Servoválvula, Señal de tipo analógico (± 50 mA).
 - Actuador principal: Proceso.
- ✓ Sensores:
 - Desplazamiento: LVDT. Señal de tipo analógico (± 10 V_{DC}).
 - Carga: Celda de carga. Señal de tipo analógico (± 10 V_{DC}).

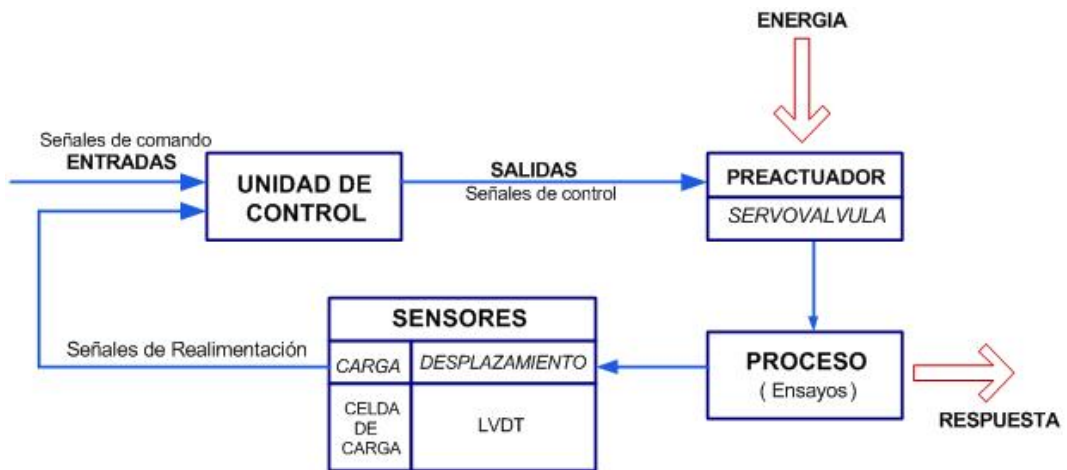


Figura 86. Esq. Básico del Sist. De Control Máq. INSTRON

4.1.3.1. Unidad De Control

4.1.3.1.1. Consola De Control. La consola de control se compone de diferentes paneles, cada uno de los cuales ejecuta una operación diferente pero relacionada directamente con la máquina que controla. Entre dichos paneles encontramos: un voltímetro, un osciloscopio, un graficador en dos dimensiones, una matriz de selección de canales, un panel de control del paquete de potencia hidráulica, un contador de ciclos y el panel principal,

donde encontramos: el controlador analógico de la máquina universal de ensayos INSTRON ver figura 87 y figura 88.

Los diferentes paneles se relacionan mediante conexiones internas del sistema, las cuales se pueden escoger mediante la matriz de selección de canales, con lo que se evita la utilización de cables externos, lo que entorpecería el trabajo.

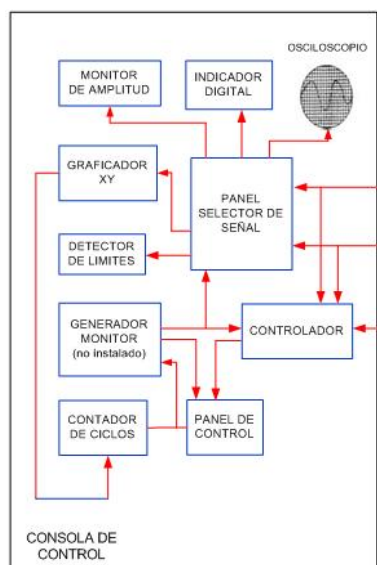


Figura 87. Consola de control



Figura 88. Fotografía consola de control

El voltímetro, el osciloscopio y el graficador son equipos Standard adaptados al sistema de control, con su alimentación interna y conexiones de entrada y salida por medio de la matriz de selección de canales. Sin embargo, tienen la posibilidad de trabajar completamente independientes a la máquina universal de ensayos, mediante conexiones externas.

El panel de control del paquete de potencia provee el control de la fuente hidráulica y sus funciones anexas, controla la tensión del motor, la válvula de presión, la válvula de corte (manifold). Indica también las funciones de bloqueo, las cuales interrumpen la acción de la unidad de potencia hidráulica. Los indicadores de falla indican bajo nivel en el tanque de aceite, alta

temperatura del aceite, baja presión a la salida de la bomba y filtro de aceite saturado, el panel de contador de ciclos posee un contador electromecánico, diseñado para ensayos dinámicos. En él se fija el número de ciclos que se desea alcanzar y él mismo interrumpe el ensayo al final de la cuenta.

En el numeral 4.1.3.1.2. se describe detalladamente el controlador analógico de la máquina universal de ensayos INSTRON, sin embargo, a modo de resumen, el controlador recibe la señal de excitación y la suma con la señal de retroalimentación del transductor seleccionado (carga o desplazamiento), para producir una señal de error, a la cual responde la servoválvula, ocasionando el movimiento del actuador en el sentido deseado.

El controlador analógico se compone principalmente de: Acondicionadores de transductores (excitación y preamplificación), detección de límites y controlador de salida o servoamplificador (ganancia, integración, eliminación de zona muerta o dither, velocidad o derivación, balance y salida).

4.1.3.1.2. Controlador Analógico De La Máquina INSTRON. Como cualquier sistema de control de lazo cerrado, el controlador de la INSTRON utiliza básicamente una señal de retroalimentación que comparada con la señal de comando produce una señal de error a la cual responde el actuador. El controlador es la parte más importante que se encuentra en la consola de control, junto con otros elementos auxiliares como son el osciloscopio, el voltímetro, el graficador (o registrador X-Y), el control del paquete oleohidráulico y el contador de ciclos.

El controlador de la máquina INSTRON permite comandar, ya sea por carga o por desplazamiento, el sistema servohidráulico retroalimentado. La unidad provee la retroalimentación para el control en el modo seleccionado (carga o desplazamiento), excita los transductores y acondiciona la señal de los mismos, además incluye los límites de seguridad a fin de desconectar el

sistema automáticamente. Ver diagrama de bloques del controlador analógico de la INSTRON en la figura 89.

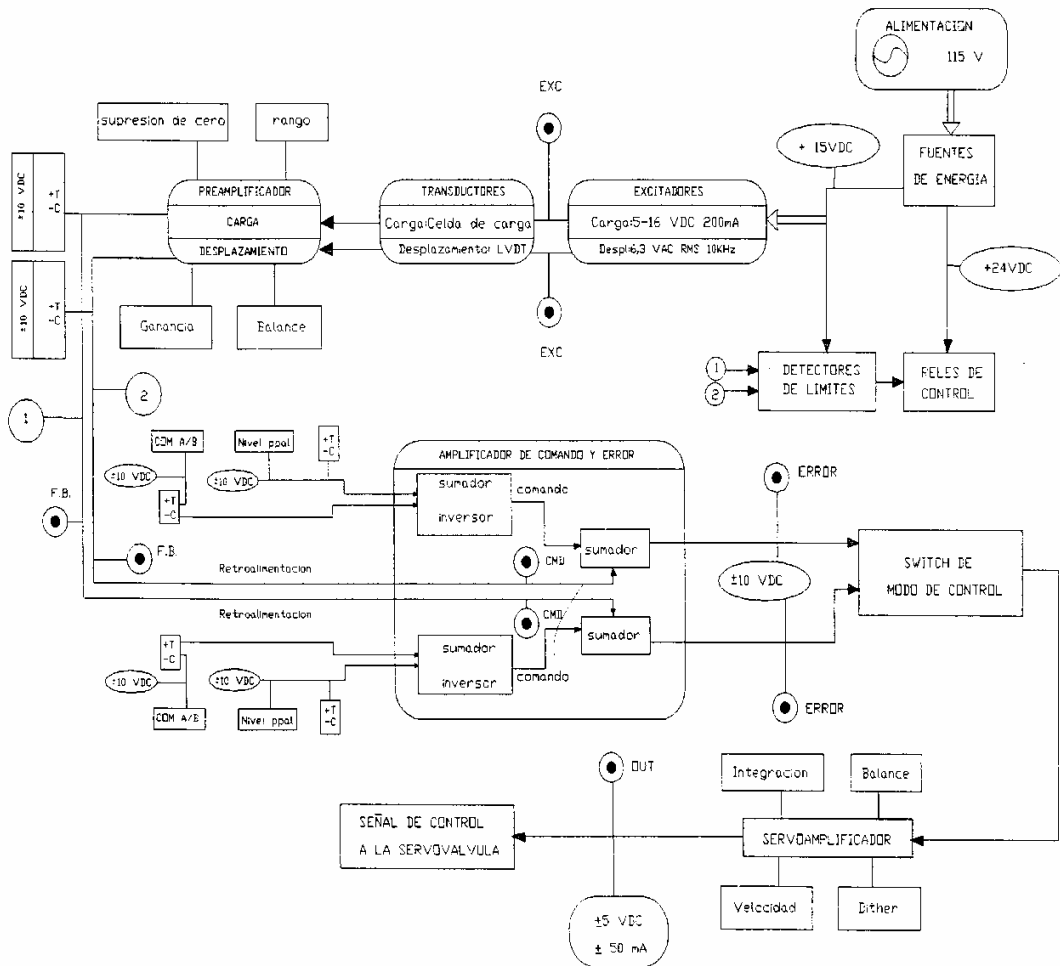


Figura 89. Diagrama de bloques controlador analógico

El controlador se compone de módulos conformados por uno o más circuitos impresos independientes que se identifican por la función que cumplen, tal como se observa en la figura 90.

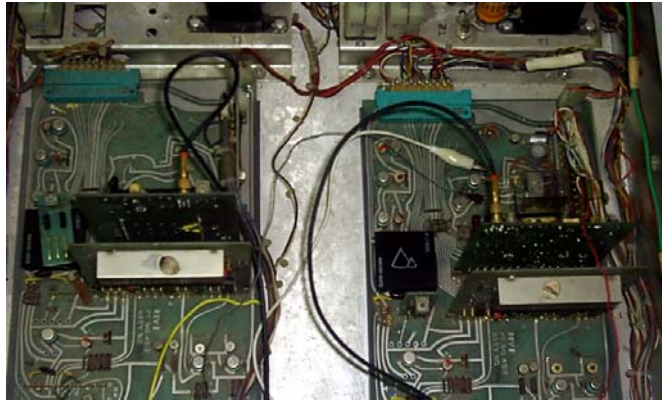


Figura 90. Circuitos impresos del controlador analógico

- Detección de límites: Permite seleccionar los límites en el 100% de la escala o el rango seleccionado.
- Amplificador de Comando y Error: Este módulo recibe la señal acondicionada de los transductores de carga y desplazamiento (o retroalimentación), de forma independiente y las suma con las respectivas señales de comando (externa) y nivel principal (interna), para producir una señal de error tanto como para carga como para desplazamiento. Las señales de error pasan luego de selección de modo de control, de donde sale una de ellas hacia el servoamplificador.

4.1.3.2. Sensores. Los términos sensor y transductor se suelen aceptar como sinónimos, aunque, si hubiera que hacer alguna distinción, el término transductor es quizás más amplio, incluyendo una parte sensible o captador propiamente dicho y algún tipo de circuito de acondicionamiento de la señal detectada. Si nos centramos en el estudio de los transductores cuya salida es una señal eléctrica, podemos dar la siguiente definición:

Un transductor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital.

Limitándonos, pues, a los transductores basados en fenómenos eléctricos o magnéticos, en los cuales podemos distinguir las siguientes partes:

- Elemento sensor o captador: Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética, que denominaremos habitualmente señal.
- Bloque de tratamiento de señal: Si existe, suele filtrar, amplificar, linealizar, y en general, modificar la señal obtenida en el captador, por regla general utilizando circuitos electrónicos.
- Etapa de salida: Esta etapa comprende los amplificadores, interruptores, conversores de código, transmisores, y en general, todas aquellas partes que adaptan la señal a las necesidades de la carga exterior.

4.1.3.2.1. Celda de carga. Es un transductor que mide la carga en términos de la variación de la resistencia de una galga extensiométrica, Tales galgas se fabrican con alambres de resistencia de pequeño diámetro o de pequeñas y delgadas hojas metálicas. La resistencia del alambre cambia con la longitud, a medida que el material a la cual está adherida la galga sufre tensiones o compresiones; es proporcional a la tensión aplicada y se mide por medio de un puente de Wheastone especialmente adaptado.

En la figura 91 se dan a conocer las especificaciones técnicas de la celda de carga, load cell Mod: 3156-50 M.T serial 377, Cap 50 metric ton, ya que es el sensor de carga que posee la máquina, y en la figura 92 se puede observar la ubicación real en la máquina.

La sensibilidad de la galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamada "factor de la galga", K, definido como la unidad de cambio de longitud.

$$K=1+2u$$

Donde: u es la relación de Poisson que relaciona las tensiones mecánicas axial y lateral, la relación de Poisson se encuentra entre 0,25 y 0,35 para la mayoría de los metales y por consiguiente el factor de galga está entre 1,5 y 1,7.

Para aplicaciones de mediciones de tensión mecánica, es muy deseable una alta "sensibilidad", un factor de galga alto implica un cambio grande en la resistencia, el cual se puede medir con mayor facilidad. Para un alambre de constantan (aleación de 60% de Cobre y 40% de Níquel), está cerca de 2, mientras que la aleación 479 de valor K cerca de 4.

También se utilizan galgas semiconductoras, en transductores de alta salida, tales como celdas de carga. Estas galgas tienen muy alta sensibilidad, con factores de galga de 50 a 200, pero son sensibles a la temperatura.

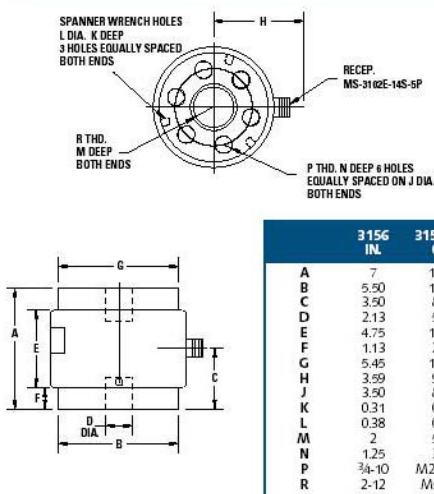
El transductor de carga consiste en un marco estacionario y una armadura que se sostiene en el centro del marco. La armadura se puede mover únicamente en una dirección; su movimiento está limitado por los filamentos de alambre sensible a los esfuerzos, devanado entre aisladores rígidos que están montados sobre el marco y la armadura.

MODEL 3156

Tension and compression 25,000 lbs. to 150,000 lbs.



3156 (English)—Capacities available 25K to 150K lbs.
3156-133 (Metric)—Capacities available 100K to 750K Newtons
Optional dual bridge not shown



FEATURES :

- Resists fatigue failure
- Minimized bending strains
- Dual bridges available on all models
- Standard of the industry
- Special structure design
- High resistance to side loads and bending moments

Lebow® fatigue-resistant load cells are the result of many years of design development. You will note from the specifications that these load cells are extremely resistant to extraneous bending and side loading forces. The structure virtually eliminates bending strains at the strain gage, minimizing the primary cause of load cell failure.

PERFORMANCE SPECS : 3156

SPECIFICATIONS

Output at rated capacity: <i>millivolts per volt, nominal</i>	± 2
Nonlinearity: <i>of rated output</i>	± 0.2%
Hysteresis: <i>of rated output</i>	± 0.2%
Repeatability: <i>of rated output</i>	± 0.05%
Zero balance: <i>of rated output</i>	± 1.0%
Bridge resistance: <i>ohms nominal</i>	350
Temperature range, compensated: °F	+70 to +170
Temperature range, compensated: °C	+21 to +77
Temperature range, usable: °F	-65 to +200
Temperature range, usable: °C	-54 to +93
Temperature effect on output: <i>of reading per °F</i>	± 0.003%
Temperature effect on output: <i>of reading per °C</i>	± 0.0054%
Temperature effect on zero: <i>of rated output per °F</i>	± 0.003%
Temperature effect on zero: <i>of rated output per °C</i>	± 0.0054%
Excitation voltage, maximum: <i>volts DC or AC rms</i>	30
Insulation resistance, bridge/case: <i>megohms at 50 VDC</i>	>5,000
Number of bridges:	1 or 2
Fatigue life: <i>0 to full fatigue load (cycles x 10⁶)</i>	100
Fatigue life: <i>full fatigue tension to full fatigue compression (cycles x 10⁶)</i>	50

Note: Calibration results are based on applied load being carried by center thread. Consult factory for alternative loading methods.

SENSOR CHARACTERISTICS : 3156

MODEL NUMBER	NOMINAL LOAD LIMIT CAPACITY F _L		STATIC OVERLOAD CAPACITY % OF NOM. CAPACITY	FATIGUE CAPACITY % OF NOM. CAPACITY	STATIC EXTRANEIOUS LOAD LIMITS			DEFLECTION AT NOM. LOAD LIMIT INCHES	RINGING FREQUENCY H _Z
	LBS.	NEWTONS			SHEAR F _x OR F _y LBS.	BENDING M _x OR M _y LB. INCHES	TORQUE M _z LB. INCHES		
3156	25K	100K	150	100	2K	68K	10K	0.003	2,100
	50K	200K	150	100	6K	130K	20K	0.003	3,000
	100K	500K	150	100	10K	220K	85K	0.003	4,200
	150K	750K	150	100	20K	220K	85K	0.003	4,800

Figura 91. Especificaciones técnicas celda de carga

Al aplicar una fuerza externa, la armadura se mueve y los elementos sensibles modifican su longitud. El cambio de resistencia de los filamentos se mide con un puente de Wheatstone.

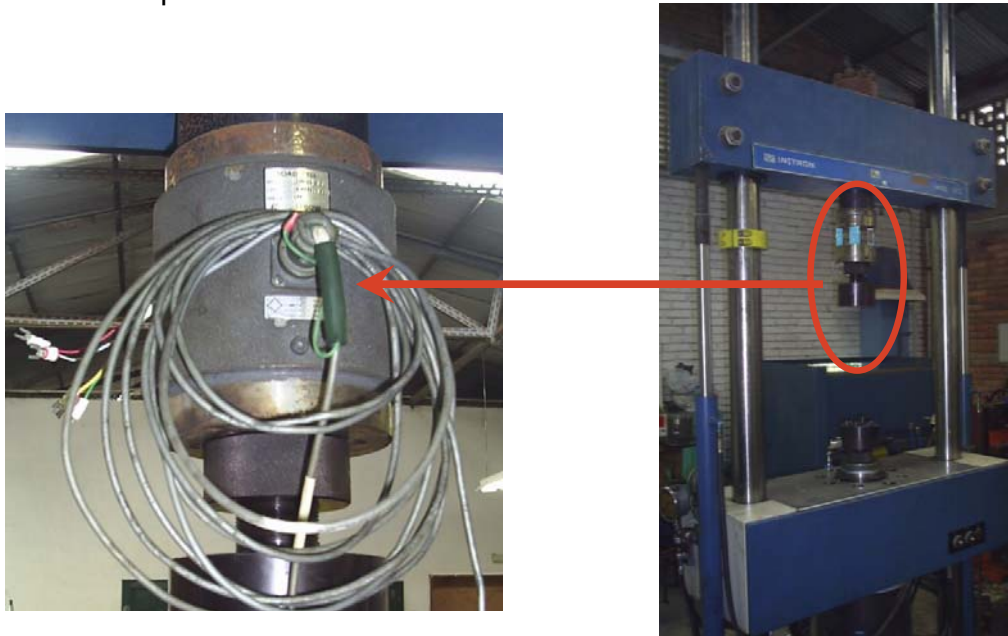


Figura 92. Ubicación celda de carga

La corriente desbalanceada indicada por el medidor de corriente, se calibra para que lea la magnitud del desplazamiento de la armadura. Ver Figura 93.

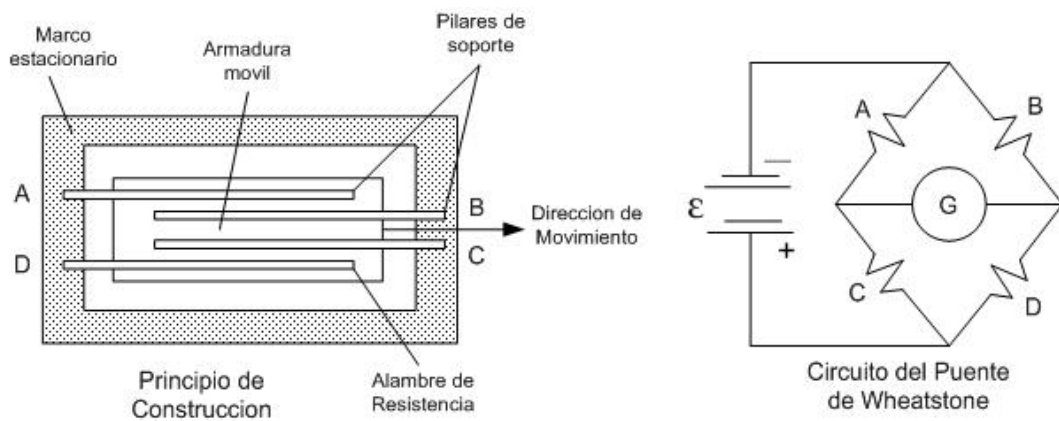


Figura 93. Celda de carga

4.1.3.2.2. Acondicionador de Transductor de carga. Este módulo provee la excitación a la celda de carga, con una salida de 5 a 16 voltios D.C. a 200 m.A. y la preamplificación de la señal del transductor, con una salida de +/- 10 voltios D.C. a 10 m.A. como se puede observar en la figura 94 y la figura 95.

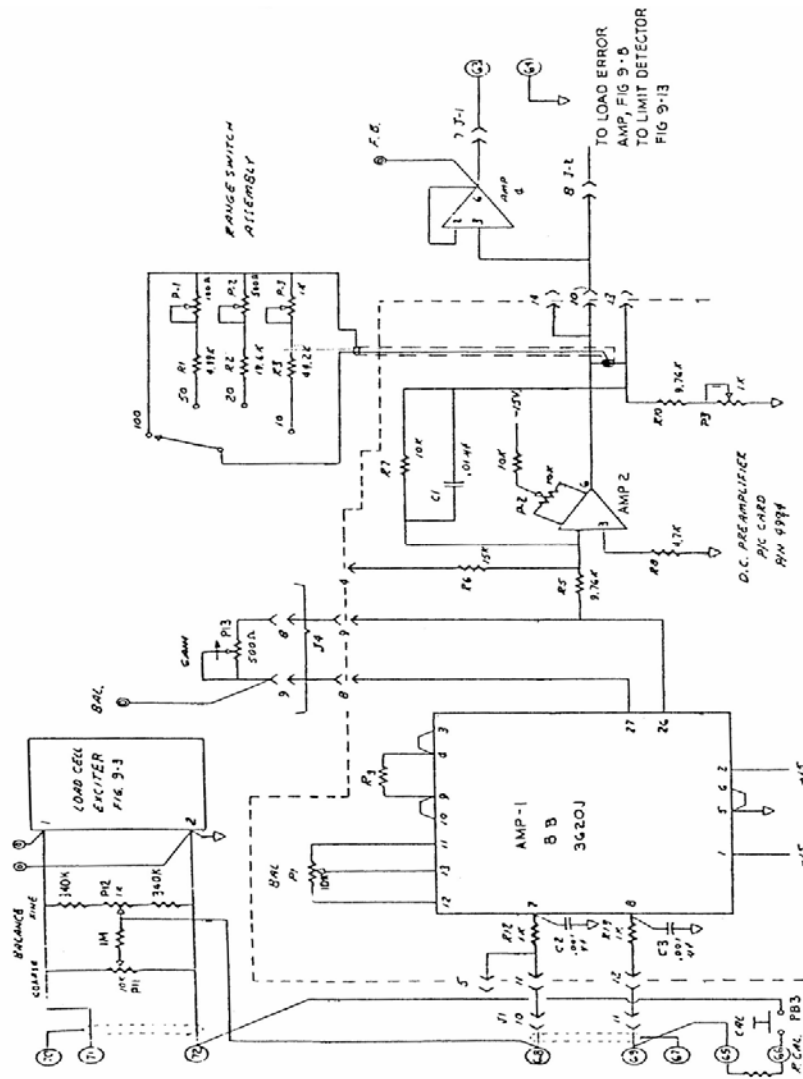


Figura 94. Esquema preamplificador de carga

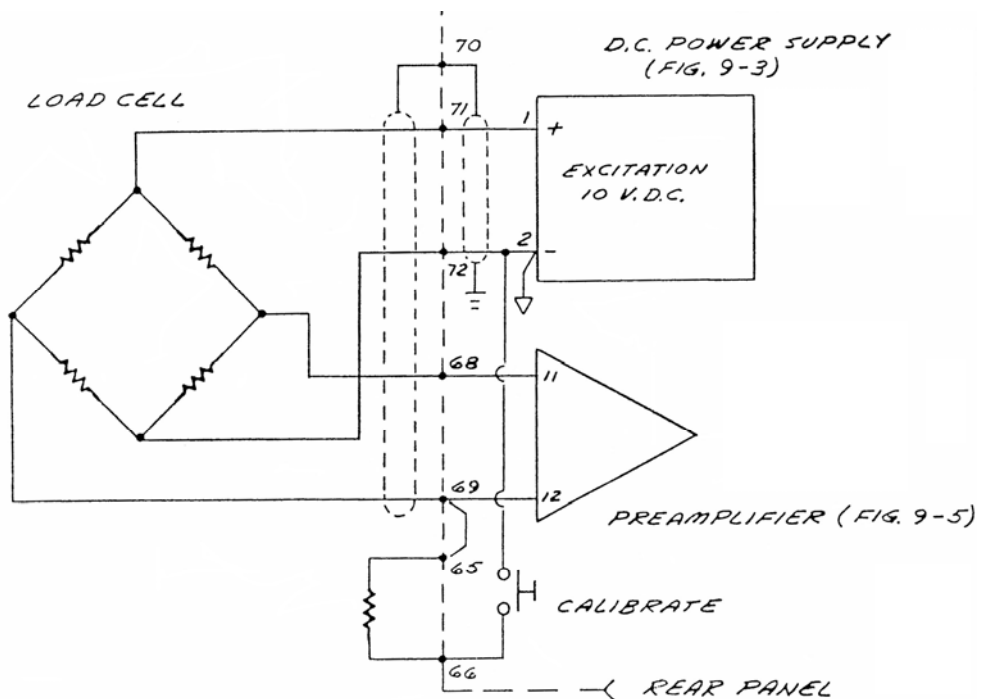


Figura 95. Esquema transductor de carga

4.1.3.2.3. Transductor de Posición (LVDT). Es un transductor que mide el desplazamiento en términos del movimiento del núcleo magnético de un transformador. Este sensor se basa en la variación en la inductancia mutua entre un devanado primario y dos secundarios cuando se desplaza en su interior un núcleo ferromagnético, accionado por el objeto bajo medición. La construcción del transductor variable lineal (LVDT) se muestra en la Figura 96 (a); éste consta de un devanado primario simple y dos devanados secundarios colocados al lado y lado del primario, Los devanados secundarios se conectan en posición y en serie, de tal forma que las Fem. inducidas en las bobinas se oponen entre si.

La posición del núcleo móvil determina el eslabonamiento de flujo entre el devanado primario excitado con C.A. y cada uno de los devanados secundarios. Con el núcleo en el centro, o posición de referencia, las fuerzas

electromotrices en los secundarios son iguales y como se oponen entre sí, el voltaje de salida será 0 V. Cuando la fuerza aplicada externamente mueve el núcleo fuera de su posición de referencia, se eslabona más flujo magnético y por consiguiente se induce una mayor Fem., en una de las dos bobinas secundarias. La magnitud del voltaje de salida es entonces igual a la diferencia entre los dos voltajes secundarios y está en fase con el voltaje de la bobina que produce una mayor Fem. ver figura 96 (b).

La Figura 96 (c) muestra el voltaje de salida del LVDT como función de la posición del núcleo; el transductor diferencial variable suministra una resolución continua y muestra una histéresis baja; se requieren desplazamientos relativamente grandes y el instrumento receptor de la señal debe operar con señales de C.A. o utilizar un transformador, si se requiere una salida de C.C.

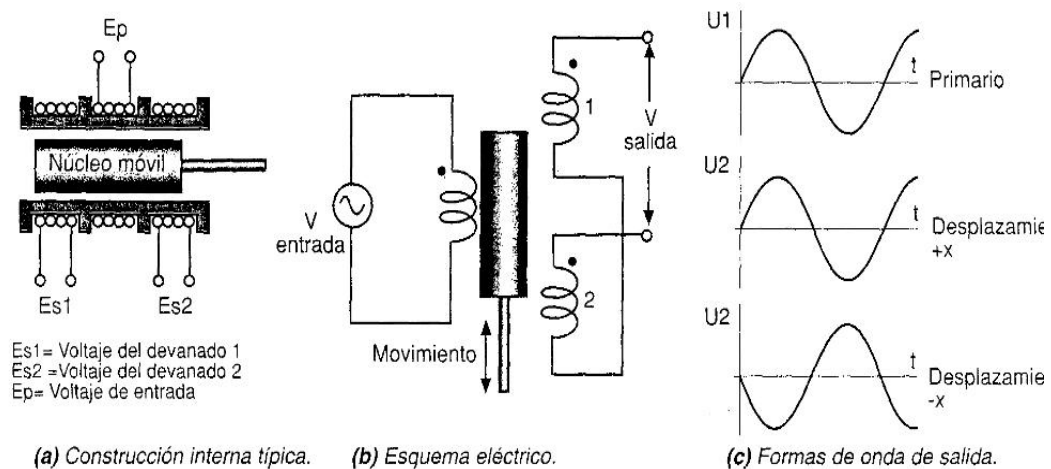


Figura 96. Transductor diferencial lineal variable

Entre algunas ventajas y desventajas del LVDT encontramos: casi infinita resolución, poco rozamiento y alta repetibilidad, se utiliza ampliamente debido a su gran resolución, alta linealidad y rápida respuesta. Sin embargo, tiene el inconveniente de que no permite medir grandes desplazamientos, en la figura 97 se observa el LVDT Model 307 100, serial 3435, el cual es usado en la máquina INSTRON.

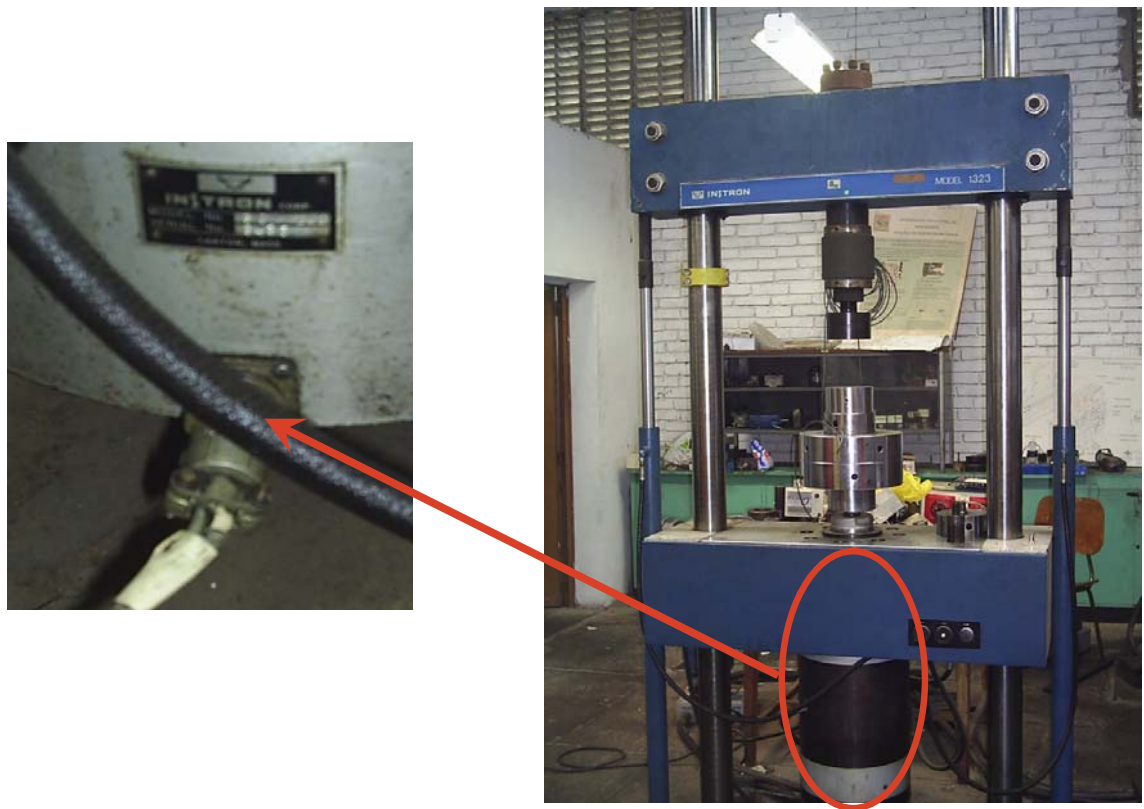


Figura 97. LVDT

4.1.3.2.4. Acondicionador de Transductor de Desplazamiento. Este módulo provee la excitación al LVDT, con una salida de 6 voltios A.C. (R.M.S.) a 10 Khz. y la preamplificación de la señal del transductor, con una salida de ± 10 voltios D.C. a 10 m.A. Además cuenta con la supresión de cero, ajustable en todo el rango de salida del transductor, como se puede observar en la figura 98 y la figura 99.

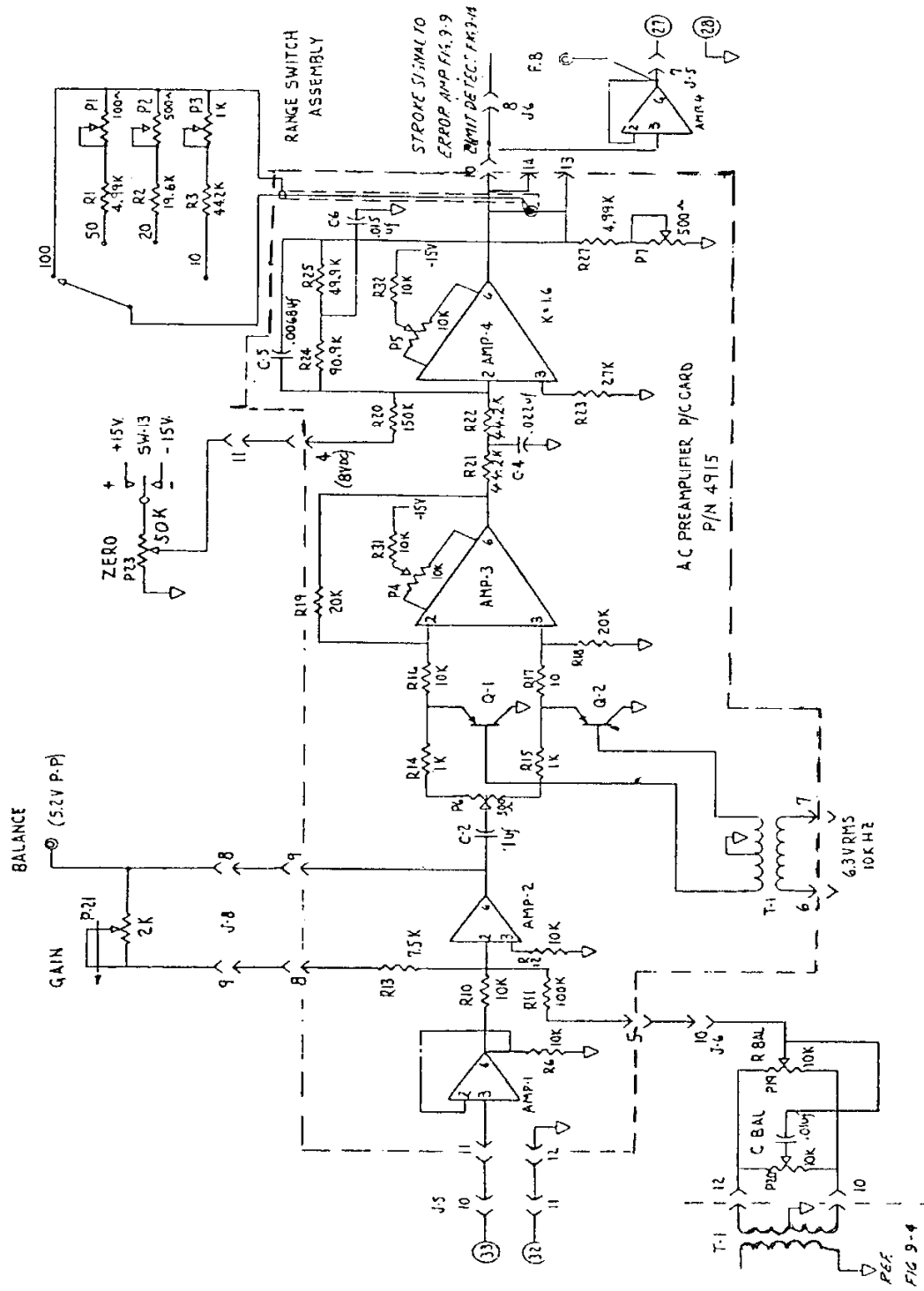


Figura 98. Esquema preamplificador de desplazamiento

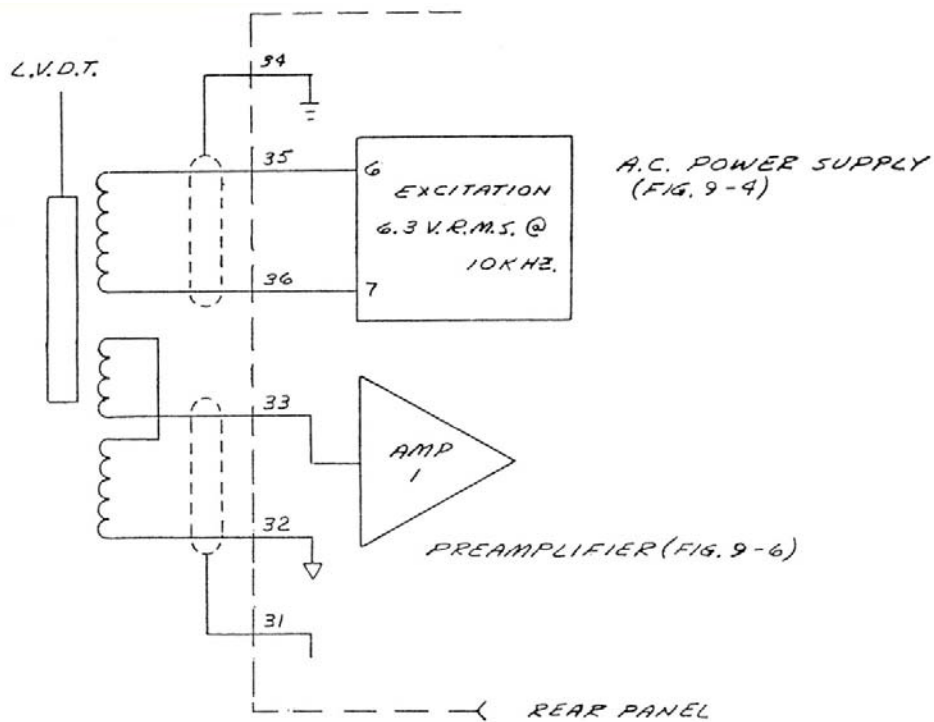


Figura 99. Esquema transductor de desplazamiento

4.1.3.3. Preaccionamiento.

4.1.3.3.1. Servoválvula. Sobre el actuador oleohidráulico de precisión, de doble efecto se encuentra montada la servoválvula, como se muestra en la Figura 100. La servoválvula es un aplicador de potencia que regula el flujo del aceite al actuador, en proporción a la señal de comando del servoamplificador. Tiene la capacidad de llevar flujo de aceite dentro o fuera de los dos lados del actuador, o permanecer en posición de no flujo o cierre total.

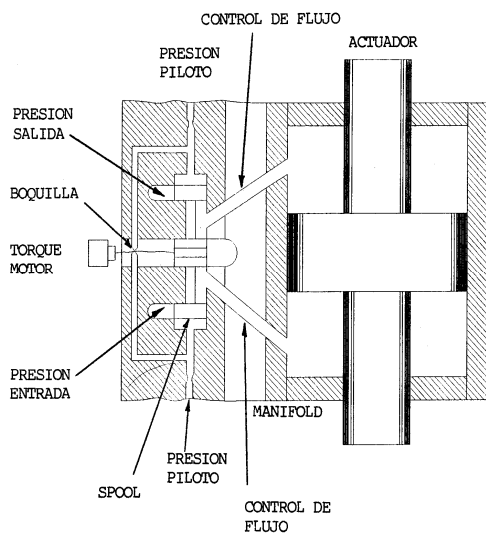


Figura 100. Servoválvula

4.1.3.3.2. Controlador de Salida Servoválvula o Servoamplificador .La señal de error seleccionada mediante el switch de modo de control llega a este módulo donde se le aplican las funciones de control tales como ganancia, integración (para carga, de 10 a 200 repeticiones por segundo), integración (para desplazamiento, de una repetición por segundo), eliminación de zona muerta (Dither). Velocidad y balance. Finalmente, el servoamplificador entrega una señal de +/- 5 voltios D.C. máximo, a +/- 50 m.A., que va directamente a la servoválvula. Ver Figura 101.

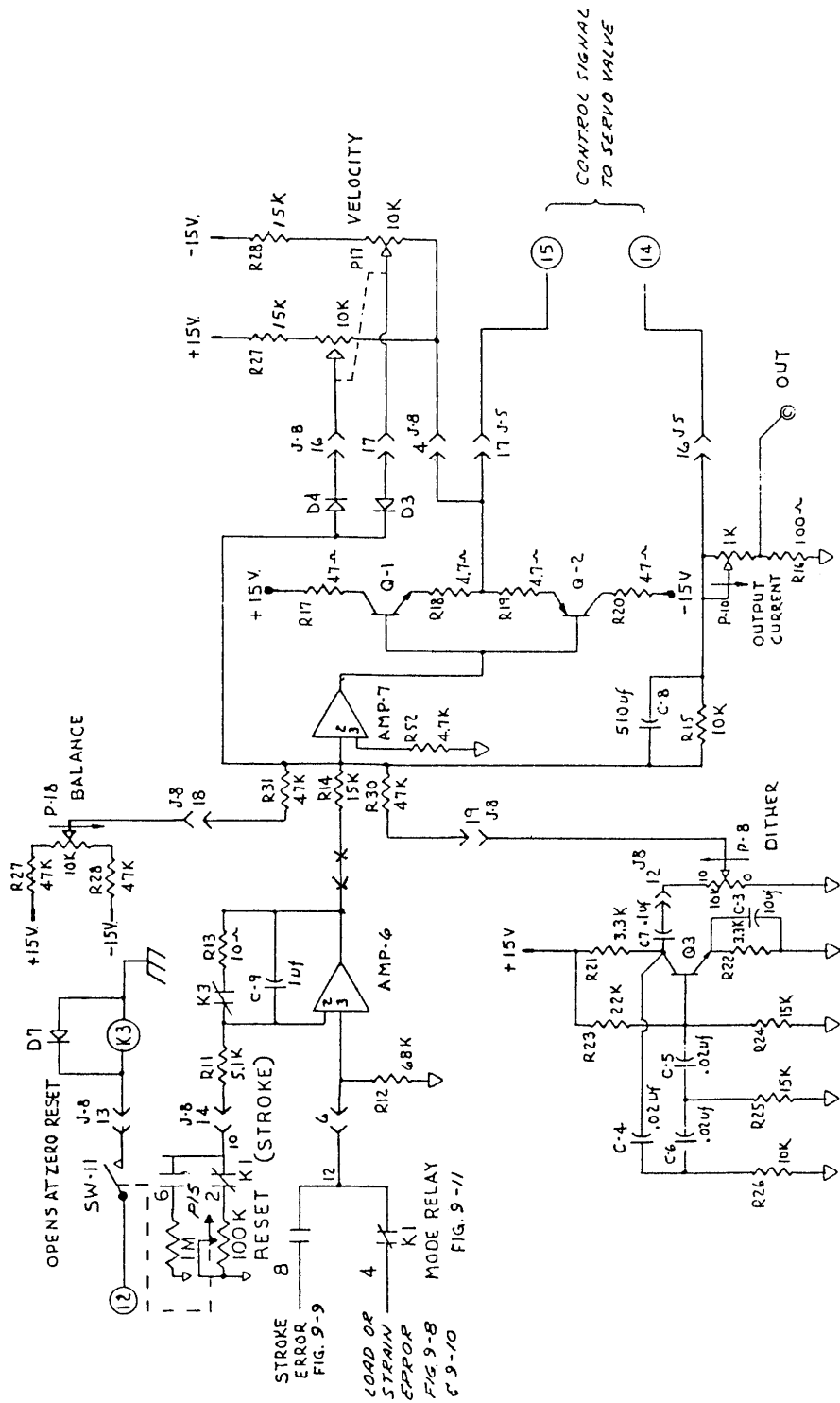


Figura 101. Esquema del amplificador servoválvula

4.2. DIAGNOSTICO

En esta etapa de trabajo se decidió realizar primero una inspección visual, para continuar con una inspección técnica, de cada uno de los elementos de la máquina y su respectiva valoración.

4.2.1. Inspección Visual. El sistema de control de la máquina INSTRON, esta basado en la lógica cableada, es decir por medio de relés, temporizadores, switches, cables y otros dispositivos eléctricos los cuales presentaban un estado de deterioro que impiden el buen funcionamiento de la máquina.

El estado de deterioro, desorden y la ausencia de planos eléctricos de la consola de control hacia imposible las actividades de mantenimiento y de recuperación de las funciones perdidas, lo que condujo que a través de los años se fueran agregando dispositivos eléctricos y cableado buscando resolver los problemas que se iban presentando incrementando la complejidad del sistema sin que se logrará finalmente solucionar los problemas.

Otro aspecto a destacar es el deterioro de los cables de celda de carga, servoválvula, LVDT, fuentes de alimentación, los cuales presentan pequeñas alteraciones de corriente produciendo cortos circuitos y descargas eléctricas, como se puede detallar en la figura 102. También se encontró que algunos de los elementos eléctricos y electrónicos usados en distintos circuitos son obsoletos y no se encuentran ya en el mercado.



Figura 102. Deterioro en cables

4.2.2. Inspección Técnica. Etapa en la cual se usaron distintos elementos como: multímetros, fuentes de alimentación de 24 V_{DC}, osciloscopio, tarjeta de potencia Vickers, buffer, circuitos electrónicos diseñados sobre protoboard, entre otros.

LVDT Figura 103, figura 104 y figura 105.

- ✓ Se construyó un circuito generador de señal utilizando el circuito integrado XR2206 de EXAR, complementado con un circuito restador para eliminar el nivel de DC y amplificar la señal a 6,3 V_{rms}.
- ✓ Se aplicó esta señal al LVDT y a la salida del LVDT se agregó un puente rectificador y un filtro, para eliminar el rizado de la rectificación o demodulación.
- ✓ La señal medida a la salida del sensor **NO VARÍA** de 0 a 9 V_{DC}, que es un resultado poco satisfactorio para lo propuesto en nuestro plan de proyecto.

- ✓ Estado funcional del LVDT: se midieron las bobinas del sensor para descartar posibles daños del sensor, los valores de las bobinas están entre 15 y 20 Ω .

Al cabo de este periodo de pruebas no se obtiene una señal de respuesta satisfactoria para continuar con el uso del transductor de posición LVDT. Se deja en espera de una revisión técnica especializada o si es el caso, el reemplazo de éste.

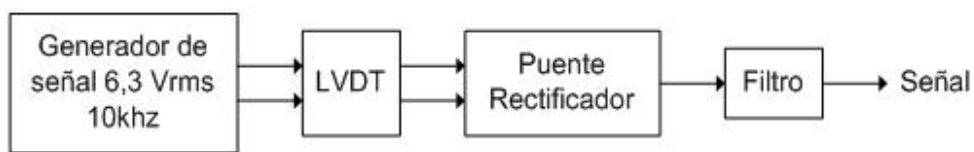


Figura 103. Diagrama de bloques LVDT

Celda de Carga Figura 106.

- ✓ Se construyo un circuito diferencial utilizando un amplificador operacional TL082, se amplifico la señal debido a que el sensor entrega 10 mV/V por voltio de la señal de entrada (10 V_{DC}), por esta razón se le dio una ganancia de 106 para tener una salida de 0 a 10 V_{DC}.
- ✓ Se agrego un filtro pasabajo para eliminar el ruido de la señal.

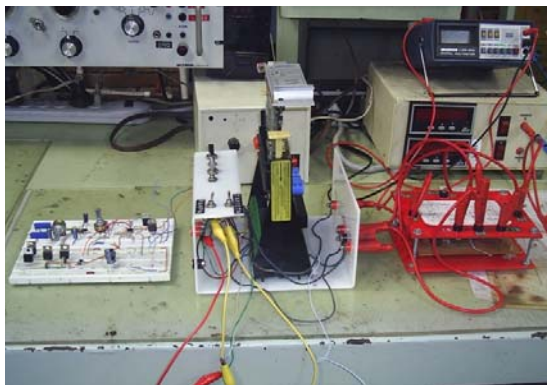


Figura 104. Inspección técnica

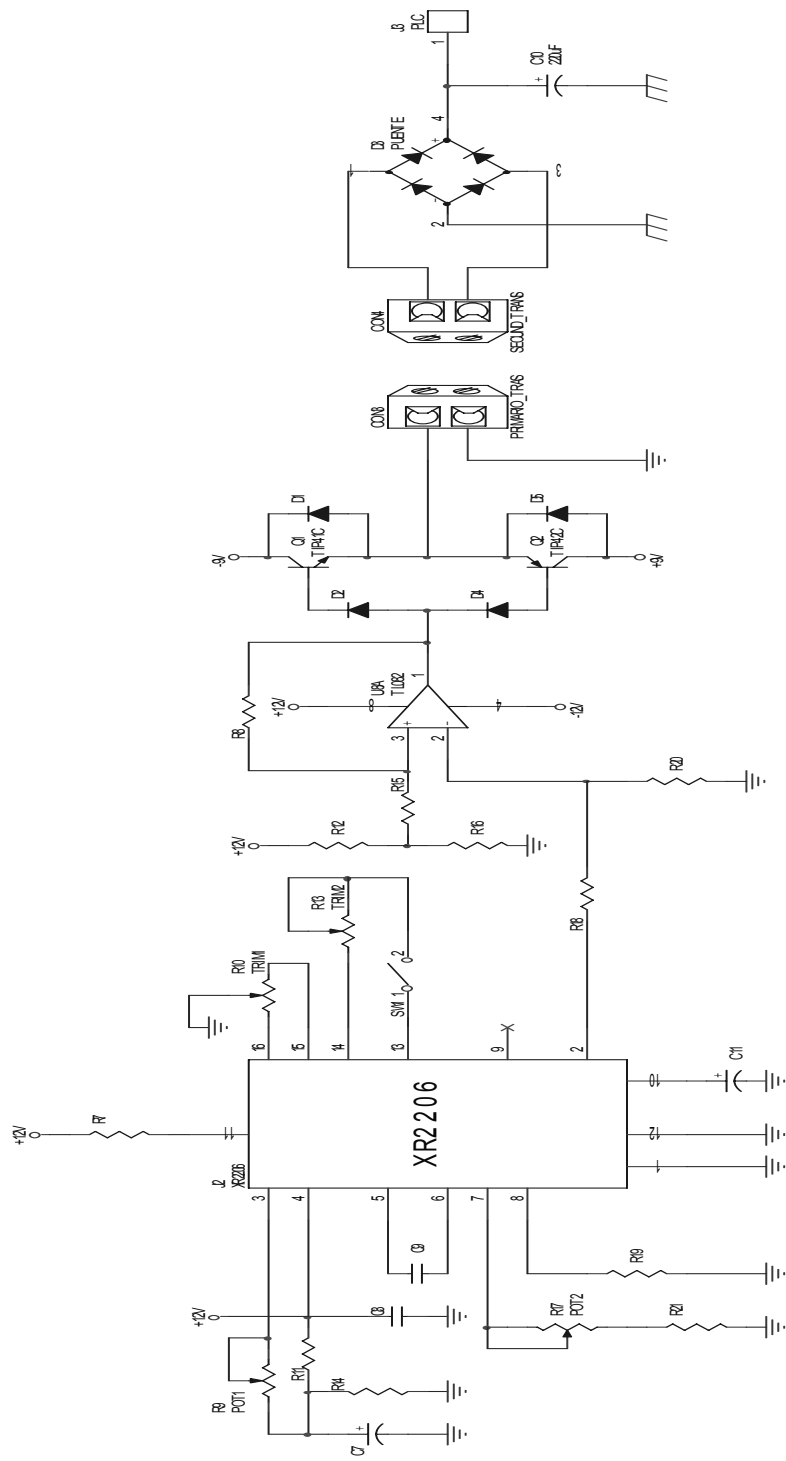


Figura 105. Circuito generador de señal LVDT

- ✓ La señal medida a la salida del sensor varía de 0 a 10 V_{DC}, que es un resultado satisfactorio para lo propuesto en este plan de proyecto.
- ✓ Estado funcional de la celda de carga: se midieron las resistencias del puente, cada una dio un valor de 608 Ω.

Cabe anotar que durante el periodo de inspección de la celda de carga, se demostró que ésta presenta un estado funcional aceptable.

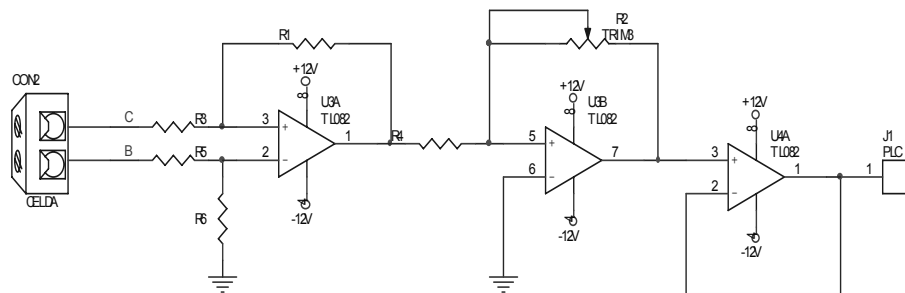


Figura 106. Circuito diferencial celda de carga

SERVOVALVULA Figura 107 y figura 108.

Esta inspección fue la primera que se realizó, y con ella se probó el estado funcional de la servoválvula, de igual manera comprobándose al mismo tiempo los elementos del paquete oleohidráulicos tales como: tanque, bomba, válvulas, mangueras, manifold, esto observando el movimiento del actuador principal.

- ✓ Se utilizó la tarjeta Vickers acompañada de un buffer para su protección, se muestra esquema y foto.

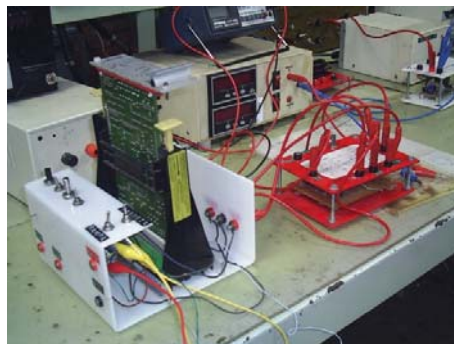


Figura 107. Circuito prueba servoválvula

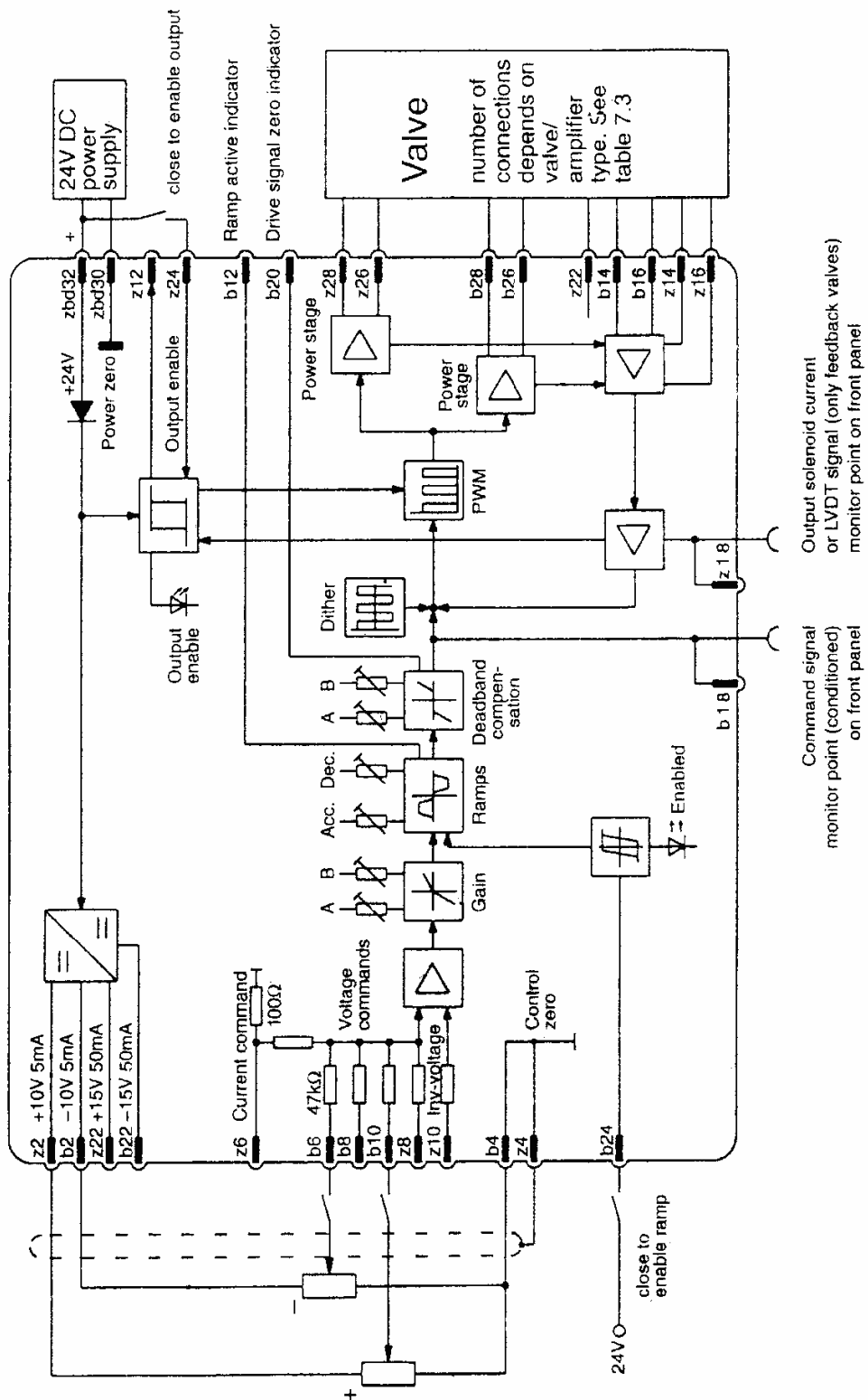


Figura 108. Esquema tarjeta de potencia Vickers

5. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL BASADO EN AUTOMATA PROGRAMABLE PARA LA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS INSTRON.

5.1. DEFINICION PARTE OPERATIVA.

La maquina universal de ensayos INSTRON se conforma de dos servomecanismos electrohidraulicos:

- Servomecanismo de control de la posición.
- Servomecanismo de control de la fuerza.

A continuación se describen los elementos que conforman dichos servomecanismos.

5.1.1. Accionamientos. Se ha definido el accionamiento como aquel dispositivo o subsistema que se encarga de regular la potencia de una planta o de un automatismo. El accionamiento puede estar bajo el control directo de la parte de mando o puede requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando.

El accionamiento principal de la maquina corresponde al cilindro actuador de la prensa y como preaccionamiento en el sistema de control se utiliza la servoválvula con la que viene equipada originalmente la maquina, su descripción y funcionamiento se encuentra en los capítulos 3 y 4 de este material y su ficha técnica se encuentra en los anexos de este material.

La servoválvula de la maquina universal de ensayos Instron corresponde a una MOOG Serie 73, Mod. 73–103, serial 2974, ver figura 109.

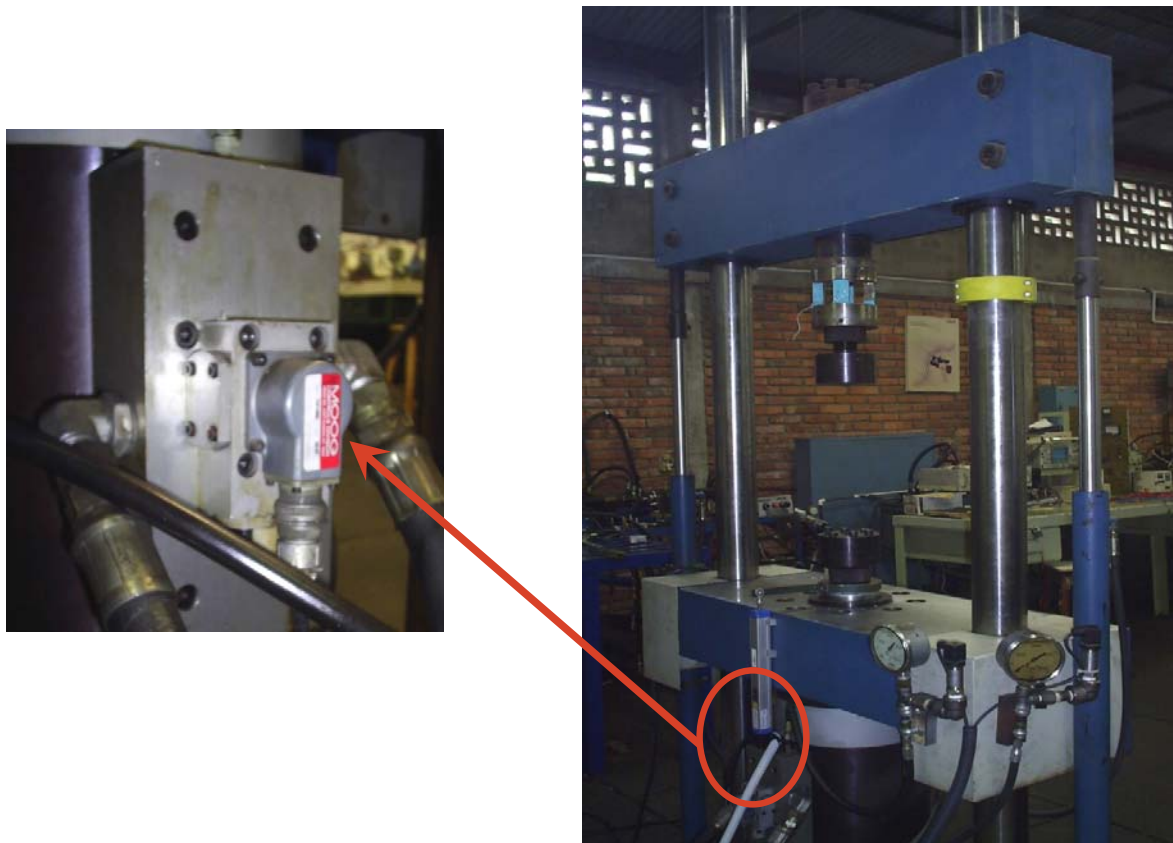


Figura 109. Ubicación servoválvula

5.1.2. Transductores. Un transductor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital.

El término transductor incluye una parte sensible o captador propiamente dicho y algún tipo de circuito de acondicionamiento de la señal detectada.

- Para el servomecanismo de control de la posición, la maquina cuenta con un LVDT originalmente equipado, el cual después del diagnostico y las pruebas técnicas de inspección realizadas para comprobar su funcionamiento, presentó como resultado fallas en la captación y variación de la señal de respuesta. Transcurrido el tiempo y en espera de una prueba técnica especializada o su posible reemplazo se utilizó un **Sensor Magnetorestrictivo de Posición** y así conformar con este el transductor para el servomecanismo de control de la posición.

El Sensor Magnetostrictivo de Posición utilizado en la maquina universal de ensayos Instron para la realización de este trabajo de grado corresponde a un MTS Temposonics, cuya ficha técnica se encuentra en los anexos de este material, ver figura 110.

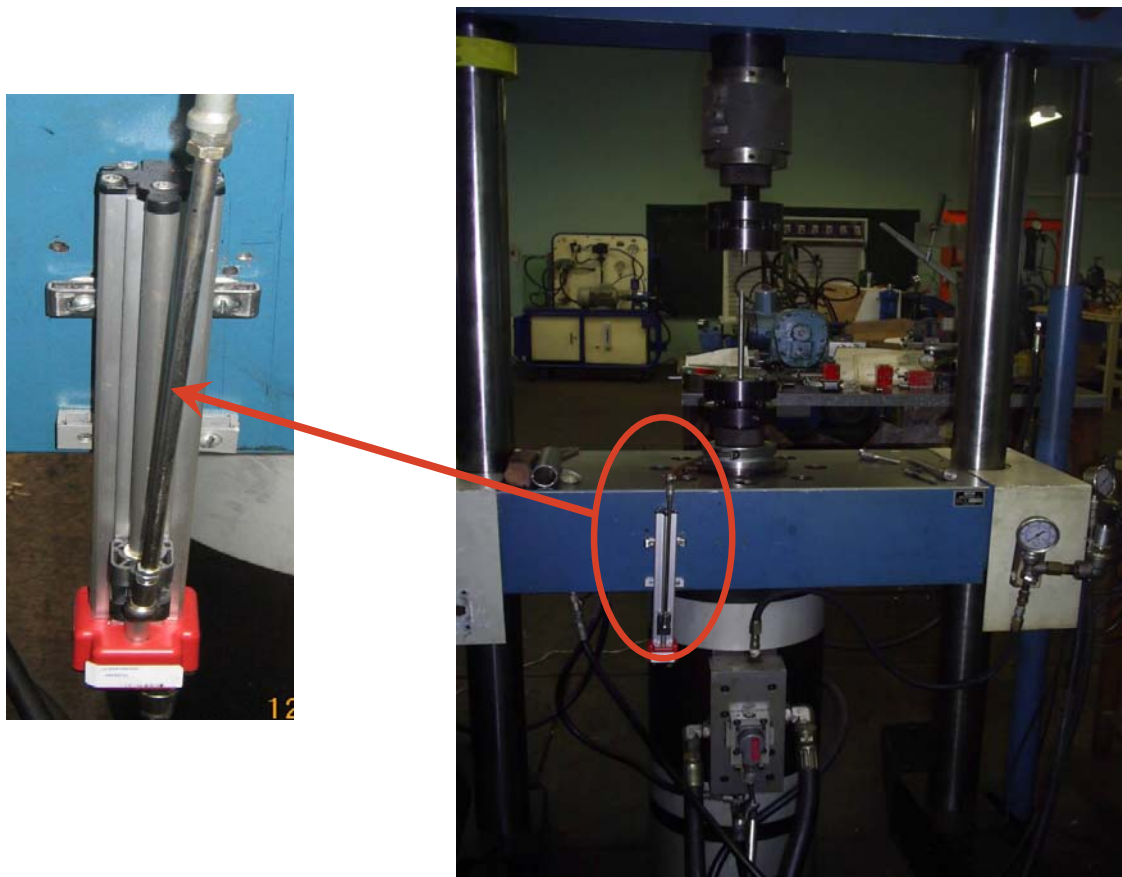


Figura 110. Ubicación Sensor Magnetostrictivo de Posición

- Para el servomecanismo de control de la fuerza, la maquina cuenta con una celda de carga originalmente equipada, la cual después del diagnostico y las pruebas técnicas de inspección realizadas para comprobar su funcionamiento, presentó un resultado positivo. Durante el desarrollo de

este trabajo de grado en la etapa inicial de instalación de los dispositivos y equipos, esta celda de carga presento falla con la ausencia total de la señal de respuesta (señal de medición), lo que condujo consecuentemente a su reemplazo, esto debido a no obtener alguna solución para su reparación.

Teniendo en cuenta el alto costo que conllevaría adquirir una celda de carga de similares características técnicas por parte de los autores de este trabajo de grado se optó como solución por parte de éstos, la adquisición e instalación de dos **transductores de presión** sensando al lado y lado del pistón dentro del cilindro del actuador principal, y así conformar con éstos el transductor para el servomecanismo de control de la fuerza.

Los transductores de presión adquiridos y utilizados en la maquina universal de ensayos Instron para la realización de este trabajo de grado corresponden a dos transmisores para presión y presión absoluta SIEMENS SITRANS P Serie Z, tipo 7MF1563, cuya ficha técnica se encuentra en los anexos de este material, ver figura 111.

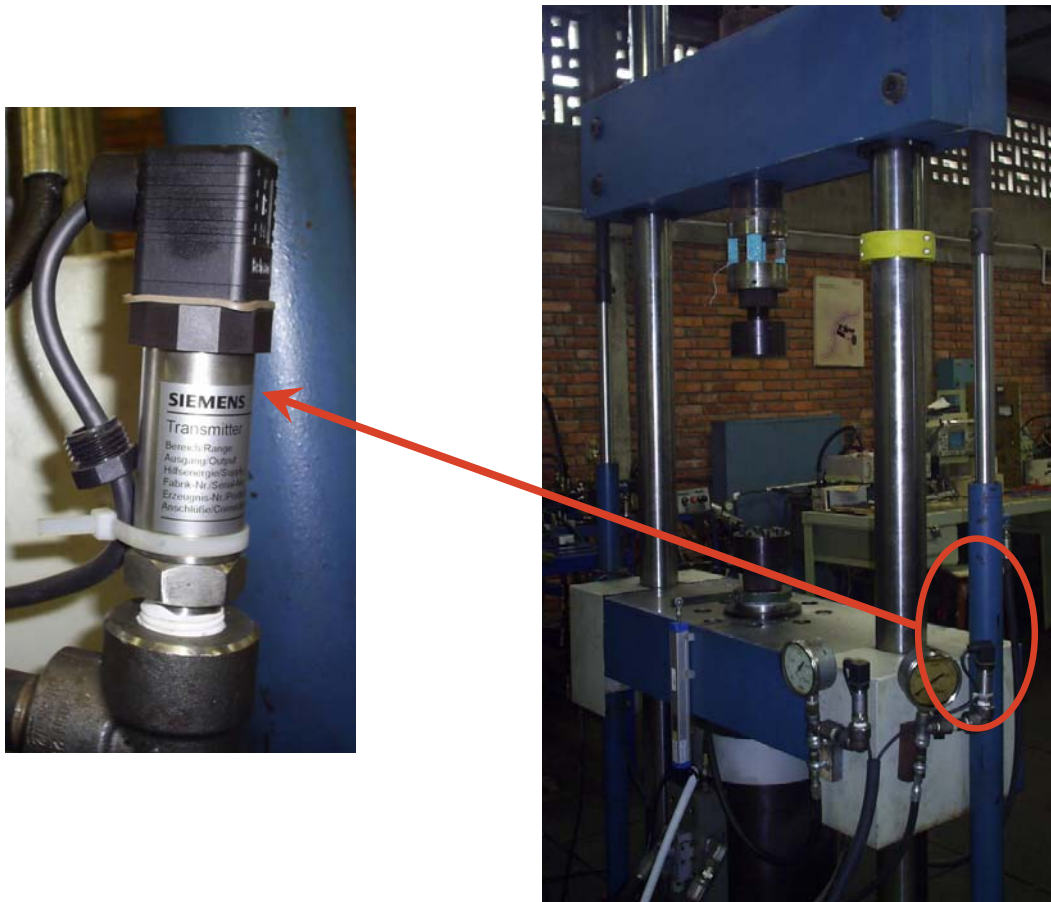


Figura 111. Ubicación transductores de presión

5.1.3. Comunicación Hombre – Máquina. Debido a la disposición física de la máquina y a la necesidad de establecer de manera sencilla una interfase para la comunicación hombre-máquina, se dispuso para la máquina universal de ensayos Instron un panel de operación (fig. 112), sobre la cara frontal externa del cofre en el que se incluyen los elemento de control y los elementos de potencia trasladados allí con el fin de sustituir éstas operaciones manipuladas anteriormente desde la antigua consola de control de la maquina, que como se presentó en el capítulo 4 de este material esta consola no facilita su uso y el control desde allí de los elementos de control y de potencia. A continuación se muestra el panel accesible al operador y posteriormente en el numeral 5.3 se describen la selección, el diseño y el montaje de la bandeja de control y los respectivos elementos de control y de potencia.

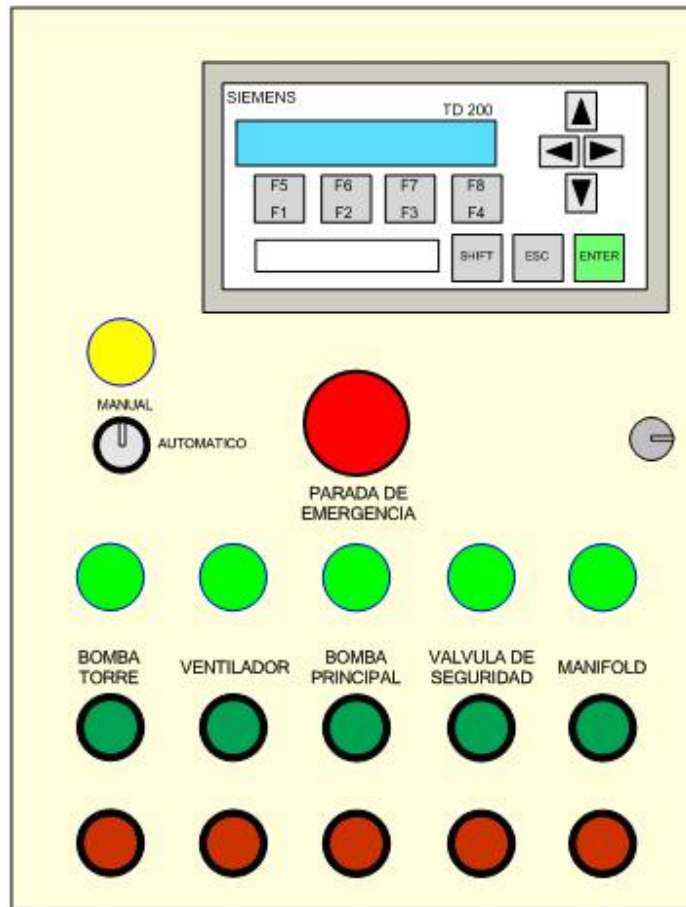


Figura 112. Panel de operación

- En la zona superior se ubica el visualizador de textos el cual permite el acceso al programa de mando y a las lecturas obtenidas.
- En la zona central se encuentra al lado izquierdo un accesorio conmutador actuado con llave, que se utiliza para cambiar la forma de operar la maquina de manual a automática.
- En la zona inferior se ubican los pulsadores para encender y apagar los elementos de potencia de la maquina que como se identifican allí corresponden al Ventilador y Bomba de la torre de enfriamiento, la Bomba principal, la Válvula de seguridad y el Manifold.

En el centro del panel se encuentra el pulsador tipo hongo para interrumpir el circuito principal de corriente y de este modo realizar un paro de emergencia.

5.2. SELECCION HARDWARE

Del marco bibliográfico se extrae la siguiente tabla en la que se indica de forma esquemática los elementos que deben sopesarse para efectuar la elección del autómatas programable. Ver tabla 3.

FUNCIONES DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE			
COMPLEJIDAD	VOLUMEN Y TIPO DE SENSORES/ACTUADORES	NECESIDADES DE EXPLOTACION	CONDICIONES AMBIENTALES Y FIABILIDAD
↓	↓	↓	↓
CPU Y PROGRAMACIÓN	NUMERO Y TIPO DE E/S	NUMERO Y TIPO DE PUESTOS DE OPERACIÓN	PROTECCIONES Y MANTENIMIENTO
- Tipo de CPU - ¿Multiarea? (Varias CPU) - Software: ♣Bajo nivel ♣Alto nivel ♣Orientado a objetos - Medios de programación ♣Consolas ♣PC ♣Tipo memoria ♣Medios almacenamiento	- E/S todo-nada - E/S analógicas - E/S específicas - ¿E/S distribuidas/Red? - Periferia especial: ♣Impresoras ♣Terminales alfanum ♣Terminales TRC ♣Modems ♣Radiocontrol -Alimentación	-¿Comunicaciones? -Periféricos de explotación -Terminales de dialogo -Sinópticos -Software de diagnostico	-Alimentación -Protecciones -Hardware redundante -Software redundante -Mantenimiento preventivo -Formación de personal

Tabla 3. Elementos que influyen en la elección del autómatas.

Para casos en particular, tomando como base lo anterior, se puede pensar en dividir las consideraciones para efectuar dichas selección como por ejemplo:

- ✓ Consideraciones técnicas.
- ✓ Consideraciones económicas.
- ✓ Consideraciones de respaldo y accesibilidad.

En cuanto a los aspectos técnicos es importante:

La CPU; que es fundamental para conocer la velocidad de respuesta del sistema de control (tiempo de ejecución, generalmente medido en instrucciones por segundo).

Software; para el que se debe tener en cuenta que exista un buen nivel de soporte de programación, lo cual permitirá la elaboración de los programas de aplicación con un mínimo coste y esfuerzo.

Interfases de entrada y salida, alimentación y protecciones; influyen de manera considerable en el funcionamiento y desempeño del autómata programable y se refleja en los tiempos de respuesta y en costos.

Respaldo, soporte y garantía; por parte de los distribuidores de cada marca.

5.2.1. Requisitos. Considerando ahora para nuestro caso nos basamos en el siguiente criterio:

- CPU: Dado que los procesos a controlar son lentos y que las frecuencias también son bajas, el criterio de la CPU giraría entorno a la versatilidad, en prestaciones y funciones como lo es el controlador PID parametrizable incorporado, valores bajos en los tiempos de ejecución de operaciones binarias ($< 0.5 \mu\text{s}$) y además de otras funciones complementarias que sean para beneficio del sistema.
- En cuanto al software se puede pensar en facilidades para su adquisición y de igual manera para su ejecución y configuración.
- Entradas/Salidas E/S: Corresponde a un criterio determinante, debido a que el sistema dispone de tres transductores que suministran señales de tipo analógico, y se requiere que contenga interfase para tres entradas de tipo analógico; y el preactuador (servoválvula), requiere también una señal de tipo analógico y condiciona una interfase para una salida analógica.
- En cuanto a la alimentación, la requerida para el Autómata programable y el modulo de E/S, en cuanto a protecciones y mantenimiento se requiere que cumpla con las normas y recomendaciones suficientes.

Teniendo en cuenta:

- ✓ las referencias de trabajos anteriores,
- ✓ el manejo y experiencia con la marca en adquisiciones anteriores,
- ✓ el respaldo, que es ya conocido,
- ✓ distribuidores cercanos,

El equipo que se selecciona es el SIEMENS SIMATIC MICROAUTOMATION S7-200 CPU 224, agregando el modulo de expansión para entradas y salidas analógicas EM235 y la fuente de alimentación marca SIEMENS requerida para el suministro de energía para el autómata.

5.2.2. Descripción Equipo Seleccionado. La gama S7-200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro-PLCs) que se pueden utilizar para numerosas tareas. Gracias a su diseño compacto, su capacidad de ampliación, su bajo costo y su amplio juego de operaciones, los Micro-PLCs S7-200 son especialmente apropiados para solucionar tareas de automatización sencillas. Además, los diversos tamaños y fuentes de alimentación de las CPUs ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización. Ver fig. 113.

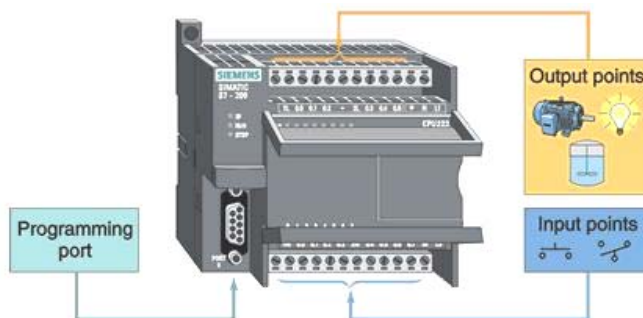


Figura 113. Descripción Micro-PLC S7-200

- Capacidad de las CPU's S7 200: La gama S7-200 comprende diversas CPUs. Por lo tanto, se dispone de una gran variedad de funciones que permiten diseñar soluciones de automatización a un precio razonable (Ver tabla 4).

- Principales componentes de un Micro-PLC S7-200: Entre los principales componentes del MicroPLC S7-200 se encuentran: CPU, Módulos de ampliación
- CPU S7-200: La CPU S7-200 es un equipo autónomo compacto que incorpora una unidad central de procesamiento (CPU), una fuente de alimentación, así como entradas y salidas digitales, ver fig. 114.
 - La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización o el proceso.
 - El sistema se controla mediante entradas y salidas digitales (E/S). Las entradas vigilan las señales de los dispositivos de campo (por ejemplo transductores e interruptores), mientras que las salidas supervisan las bombas, ventilador, válvula de seguridad y manifold.
 - La fuente de alimentación suministra corriente a la CPU y a los módulos de ampliación conectados.
 - El (los) puerto(s) de comunicación permite(n) conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos que intervengan en el proceso.
 - Los diodos luminosos indican el modo de operación de la CPU (RUN o STOP), el estado de las entradas y salidas físicas, así como los posibles fallos del sistema que se hayan detectado.

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226
Tamaño físico	90 mm x 80 mm x 62 mm	90 mm x 80 mm x 62 mm	120,5 mm x 80 mm x 62 mm	190 mm x 80 mm x 62 mm
Memoria				
Programa	2048 palabras	2048 palabras	4096 palabras	4096 palabras
Datos de usuario	1024 palabras	1024 palabras	2560 palabras	2560 palabras
Memoria para el programa de usuario	EEPROM	EEPROM	EEPROM	EEPROM
Respaldo (condensador de alto rendimiento)	50 horas (tip.)	50 horas (tip.)	190 horas (tip.)	190 horas (tip.)
E/S físicas				
E/S físicas	6 E / 4 S	8 E / 6 S	14 E / 10 S	24 E / 16 S
Número de módulos de ampliación	Ninguno	2 módulos	7 módulos	7 módulos
E/S (total)				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)	256 (128 E / 128 S)	256 (128 E / 128 S)	256 (128 E / 128 S)
Tamaño de la imagen de E/S analógicas	Ninguno	16 E / 16 S	32 E / 32 S	32 E / 32 S
La cantidad real de E/S que se puede contar con las CPUs se puede ver limitada por el tamaño de la imagen del proceso, la cantidad de módulos de ampliación, la corriente de 5 V y la cantidad de E/S físicas de cada componente.(v. apt. 1.3).				
Operaciones				
Velocidad de ejecución booleana a 33 MHz	0,37 μ s/operación	0,37 μ s/operación	0,37 μ s/operación	0,37 μ s/operación
Imagen del proceso de las E/S	128 E / 128 S	128 E / 128 S	128 E / 128 S	128 E / 128 S
Relés internos	256	256	256	256
Contadores/temporizadores	256/256	256/256	256/256	256/256
Palabra IN / palabra OUT	Ninguno	16/16	32/32	32/32
Relés de control secuencial	256	256	256	256
Bucles FOR/NEXT	Sí	Sí	Sí	Sí
Aritmética en coma fija (+ - * /)	Sí	Sí	Sí	Sí
Aritmética en coma flotante (+ - * /)	Sí	Sí	Sí	Sí
Funciones adicionales				
Contadores rápidos	4 H/W (20 KHz)	4 H/W (20 KHz)	6 H/W (20 KHz)	6 H/W (20 KHz)
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2
Salidas de impulsos	2 (20 KHz, sólo DC)	2 (20 KHz, sólo DC)	2 (20 KHz, sólo DC)	2 (20 KHz, sólo DC)
Interrupciones de comunicación	1 transmisión/ 2 recepción	1 transmisión/ 2 recepción	1 transmisión/ 2 recepción	2 transmisión/ 4 recepción
Interrupciones temporizadas	2 (1 ms a 255 ms)	2 (1 ms a 255 ms)	2 (1 ms a 255 ms)	2 (1 ms a 255 ms)
Entradas de interrupción de hardware	4 filtros de entrada	4 filtros de entrada	4 filtros de entrada	4 filtros de entrada
Reloj de tiempo real	Sí (cartucho)	Sí (cartucho)	Sí (incorporado)	Sí (incorporado)
Protección con contraseña	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 4. Elementos que influyen en la elección del autómeta.

- Utilizando módulos de ampliación se pueden agregar entradas y salidas (E/S) adicionales a la CPU. (La CPU 221 no se puede ampliar.)
- El rendimiento de la comunicación se puede incrementar utilizando módulos de ampliación.
- Algunas CPUs tienen un reloj de tiempo real incorporado, en tanto que otras pueden disponer de un cartucho (opcional) de reloj de tiempo real.
- Un cartucho enchufable EEPROM en serie (opcional) sirve para almacenar programas de la CPU y transferir programas de una CPU a otra.
- Un cartucho enchufable de pila (opcional) permite prolongar el respaldo de los datos en la RAM.

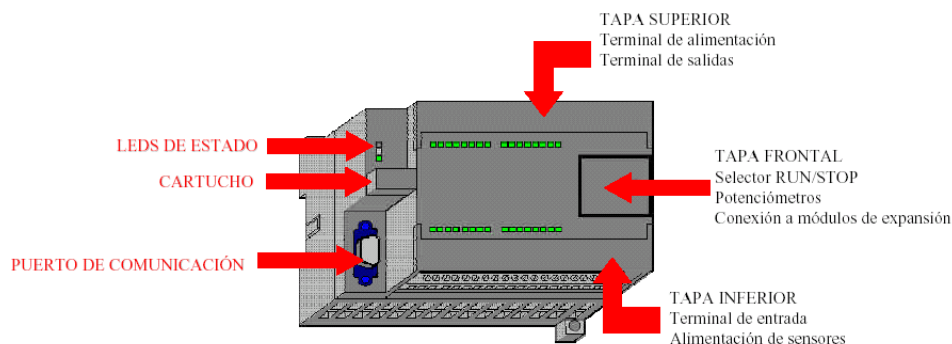


Figura 114. Micro-PLC S7-200

- Módulos de ampliación: La CPU S7-200 dispone de un número determinado de entradas y salidas físicas. Conectando un módulo de ampliación se dispondrá de más entradas y salidas. Los módulos de expansión además de ofrecer la posibilidad de contar con un gran número de entradas/salidas digitales, también permite la obtención de entradas/salidas analógicas y de módulos PROFIBUS

A continuación se presenta una descripción general de los equipos seleccionados para la automatización de la Máquina Universal de Ensayos Instron

- CPU SIEMENS 224: La CPU seleccionada fue la CPU 224 AC/DC/Relé, dado que esta CPU, cumple con los requerimientos del sistema a automatizar, el número de entradas/salidas integradas, aunque no cuenta con la cantidad requerida, presenta una alternativa económica si se compara con la siguiente CPU, dada la posibilidad de ampliación con un modulo adicional; la memoria de programa y la memoria de usuario dado su tamaño permite la elaboración de un programa de control de proceso bastante estructurado y con una longitud considerable. A continuación se presentan las características técnicas más representativas de esta CPU.

Característica	CPU 224 AC/DC/Relé
Memoria de programa	4096 palabras
Memoria de usuario	2560 palabras
Tipo de memoria	EEPROM
Respaldo de datos	190 horas
Entradas/salidas integradas	14 E / 10 S
Máximo número de módulos de expansión	7 módulos
Tamaño de la imagen de E / S digitales	256 (128 E / 128 S)
Tamaño de la imagen de E / S analógicas	32 E / 32 S
Velocidad de ejecución booleana	0.37 μ s/instrucción
Relés internos	256
Contadores/temporizadores	256 / 256
Relés de control secuencial	256
Bucles FOR/NEXT	Si
Aritmética en coma Fija	Si
Aritmética en coma flotante	Si

Tabla 5. Características técnicas CPU 224 AC/DC/Relé

- Modulo de entradas Analógicas: Dado que la CPU 224 no cuenta con entradas analógicas y salidas analógicas, se requiere de un módulo de entradas adicional, para este caso se seleccionó el modulo de entradas

analógicas EM 235; a continuación se presentan algunas de las características técnicas de este módulo.

Característica	EM 235
Referencia	6ES7 235-0KD22-0XA0
Entradas análogas	4
Salidas análogas	1
Bloque de terminales extraíble	No
Dimensiones en mm. (l x a x p)	71,2 x 80 x 62
Peso	186 gr.
Disipación	2 W
Tensión +5 V c.c	30 mA
Tensión +24 V c.c	60 mA (salida 20 mA)
Bipolar	-32000 a +32000
Unipolar	0 a 32000
Impedancia de entrada DC	10 MΩ
Atenuación del filtro de entrada	-3 dB a 3,1 Khz
Tensión de entrada máxima	30 Vc.c
Intensidad de entrada máxima	32 mA
Resolucion Bipolar	11 bits mas 1 bit de signo
Resolucion Unipolar	12 Bits
Aislamiento	Ninguno
Rango de señales	±10 V, 0 a 20 mA

Tabla 6. Características técnicas módulo EM235

- Visualizador de textos: Dada la necesidad de insertar y modificar las variables de proceso (Posición y Presión) se seleccionó el visualizador de textos TD200 que además permite visualizar mensajes de estados

particulares del automatismo. A continuación se presentan las características del TD 200, ver fig. 115 y Tabla 7.

- El TD 200 es un visualizador de textos y un interfase de operador para la gama de sistemas de automatización S7-200.
- Con el TD 200 se pueden ejecutar las siguientes funciones:
- Visualizar mensajes leídos de la CPU S7-200.
- Ajustar determinadas variables de programa.
- Forzar/desforzar entradas y salidas (E/S).
- Ajustar la hora y la fecha de las CPUs que incorporen un reloj de tiempo real.
- Utilizar menús e indicadores en seis idiomas



Figura 115. Conexión TD200

Descripción	Datos técnicos
Display	Resolución de 181x33 píxels (retroiluminación LED)
Teclado	Teclas de membrana / 9 teclas
Interfase PG - CPU	RS 485(PPI); 9.6/ 19.2 / 187.5 Kbits/s
Tensión alimentación	DC 24V
Consumo de corriente	Típico 70 mA – máximo 120 mA
Clase de protección	IP 65 – IP 20

Tabla 7. Características técnicas del TD200

5.3. INSTALACION, ADECUACION Y MONTAJE

- **Conectar el S7-200**

Es muy fácil conectar el S7-200. En el presente ejemplo, basta con conectar la alimentación del S7-200 y utilizar el cable de comunicación para unir la unidad de programación y el S7-200.

- **Conectar la alimentación del S7-200**

Primero que todo es preciso conectar el S7-200 a una fuente de alimentación. La figura 116 muestra el cableado de una CPU S7-200 con alimentación c.c. (corriente continua) o c.a. (corriente alterna). Antes de montar o desmontar cualquier aparato eléctrico, vigile que se haya desconectado la alimentación del mismo. Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y verifique que la alimentación eléctrica del S7-200 se haya desconectado antes del montaje.

- **Precaución**

Si intenta montar o cablear el S7-200 y/o los equipos conectados a los mismos estando conectada la alimentación, puede producirse un choque eléctrico o fallos en los equipos. Si antes del montaje o desmontaje no se ha desconectado por completo la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados a las mismas, ello podría causar la muerte o heridas graves al personal, y/o daños

materiales. Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y vigile que la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados se haya desconectado antes del montaje o desmontaje.

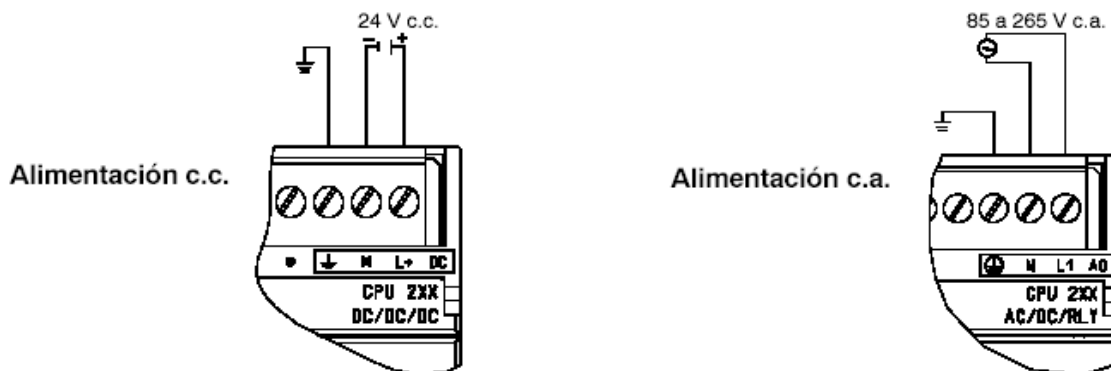


Figura 116. Alimentación S7-200

- **Conectar el cable multimaestro RS-232/PPI**

La figura 117 muestra un cable multimaestro RS-232/PPI que conecta el S7-200 con la unidad de programación. Para conectar el cable:

- Una el conector RS-232 (identificado con "PC") del cable multimaestro RS-232/PPI al puerto de comunicación de la unidad de programación. (En el presente ejemplo, conectar a COM 1.)
- Una el conector RS-485 (identificado con "PPI") del cable multimaestro RS-232/PPI al puerto 0 ó 1 del S7-200.
- Vigile que los interruptores DIP del cable multimaestro RS-232/PPI estén configurados como muestra la figura 117.

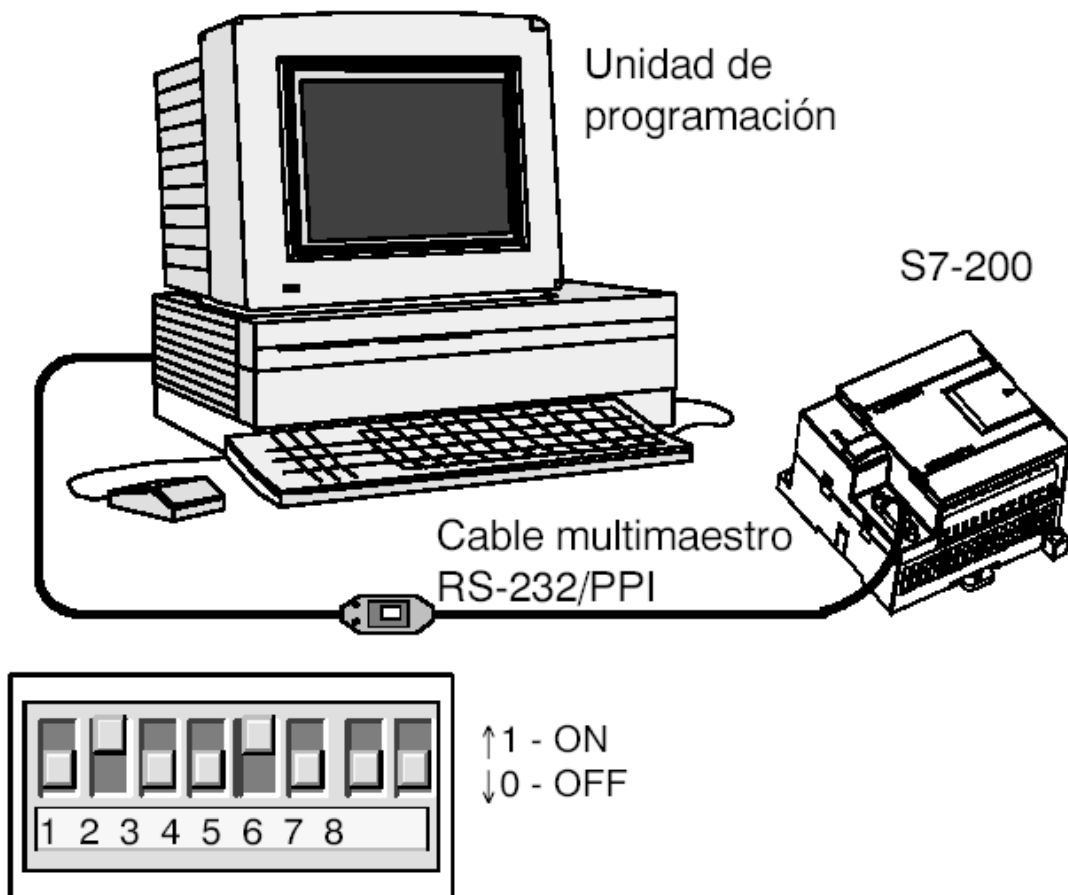


Figura 117. Conectar el cable multimaestro RS-232/PPI

- **Reglas para montar el S7-200**

El S7-200 se puede montar en un armario eléctrico o en un raíl normalizado (DIN), bien sea horizontal o verticalmente.

Alejar los equipos S7-200 de fuentes de calor, alta tensión e interferencias, como regla general para la disposición de los equipos que conforman el sistema, aleje siempre los aparatos de alta tensión que generan interferencias de los equipos de baja tensión y de tipo lógico, tales como el S7-200.

Al configurar la disposición del S7-200 en el armario eléctrico, tenga en cuenta los aparatos que generan calor y disponga los equipos electrónicos en las zonas más

frías del armario eléctrico. El funcionamiento de equipos electrónicos en entornos de alta temperatura acorta su vida útil.

Considere también la ruta del cableado de los equipos montados en el armario eléctrico. Evite colocar los conductores de señalización y los cables de comunicación en una misma canalización junto con los cables c.a. y los cables c.c. de alta tensión y de conmutación rápida.

Prever espacio suficiente para la ventilación y el cableado, para los equipos S7-200 se ha previsto la ventilación por convección natural. Por tanto, se deberá dejar un margen mínimo de 25 mm por encima y por debajo de los equipos. Asimismo, prevea 75 mm para la profundidad de montaje, ver fig. 118.

En el montaje vertical, la temperatura ambiente máxima admisible se reduce en 10° C. Monte la CPU S7-200 debajo de los módulos de ampliación. Al planificar la disposición del sistema S7-200, prevea espacio suficiente para el cableado y la conexión de los cables de comunicación. Para mayor flexibilidad al configurar la disposición del sistema S7-200, utilice un cable de conexión para los módulos de ampliación.

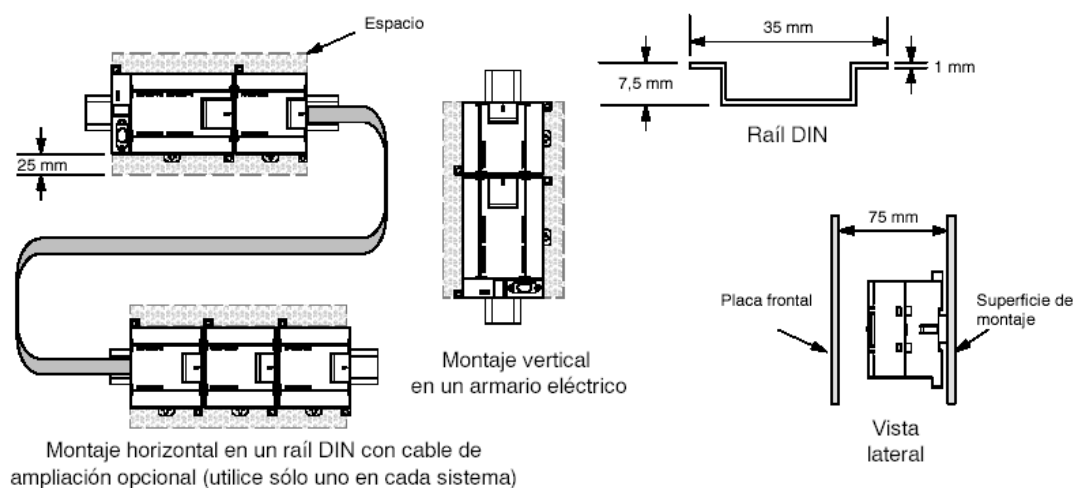


Figura 118. Métodos de montaje, orientación y espacio necesario

- **Alimentación**

Las CPUs S7-200 tienen integrada una fuente de alimentación capaz de abastecer la CPU, los módulos de ampliación y otras cargas que precisen 24 V c.c.

La CPU S7-200 suministra la corriente continua de 5 V necesaria para los módulos de ampliación del sistema. Preste especial atención a la configuración del sistema para garantizar que la CPU pueda suministrar la corriente de 5V necesaria para los módulos de ampliación seleccionados. Si la configuración requiere más corriente de la que puede suministrar la CPU, deberá retirar un módulo o seleccionar una CPU de mayor capacidad.

Todas las CPUs S7-200 aportan también una alimentación para sensores de 24 V c.c. que puede suministrar corriente de 24 V c.c. a las entradas y a las bobinas de relés de los módulos de ampliación, así como a otros equipos. Si los requisitos de corriente exceden la capacidad de la alimentación para sensores, será preciso agregar una fuente de alimentación externa de 24 V c.c. al sistema.

Si se precisa una fuente de alimentación externa de 24 V c.c., vigile que ésta no se conecte en paralelo con la alimentación para sensores de la CPU S7-200. Para aumentar la protección contra interferencias, se recomienda conectar los cables neutros (M) de las distintas fuentes de alimentación.

Si se conecta una fuente de alimentación externa de 24 V c.c. en paralelo con la fuente de alimentación para sensores de 24 V c.c. del S7-200, podría surgir un conflicto entre ambas fuentes, ya que cada una intenta establecer su propio nivel de tensión de salida. Este conflicto puede tener como consecuencia una reducción de la vida útil o la avería inmediata de una o ambas fuentes de alimentación y, en consecuencia, el funcionamiento imprevisible del sistema de automatización, lo que podría ocasionar la muerte o lesiones graves al personal, y/o daños al equipo. La fuente de alimentación c.c. para sensores del S7-200 y la fuente de alimentación externa deben alimentar diferentes puntos.

- **Montar y desmontar el S7-200**

El S7-200 se puede montar fácilmente en un raíl DIN o en un armario eléctrico. Antes de montar o desmontar cualquier aparato eléctrico, vigile que se haya desconectado la alimentación del mismo. Verifique también que se haya desconectado la alimentación de todos los equipos conectados.

Si intenta montar o desmontar los módulos S7-200 y/o los equipos conectados a los mismos estando conectada la alimentación, puede producirse un choque eléctrico o fallos en los equipos. Si antes del montaje o desmontaje no se ha desconectado por completo la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados a las mismas, ello podría causar la muerte o heridas graves al personal, y/o daños materiales. Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y verifique que la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados se haya desconectado antes del montaje o desmontaje. Al sustituir o montar un sistema de automatización S7-200, vigile que se utilice siempre el módulo correcto o un equipo equivalente.

Si monta un módulo incorrecto, es posible que el programa contenido en el S7-200 funcione de forma impredecible. Si un equipo S7-200 se sustituye con otro modelo o si no se monta con la orientación correcta y en el orden previsto, ello podría causar la muerte o lesiones graves al personal, y/o daños materiales. Sustituya un equipo S7-200 con el mismo modelo y móntelo con la orientación correcta y en el orden previsto.

- **Dimensiones de montaje**

Las CPUs S7-200 y los módulos de ampliación disponen de orificios para facilitar el montaje en armarios eléctricos. En la figura 119 se muestran las dimensiones de montaje.

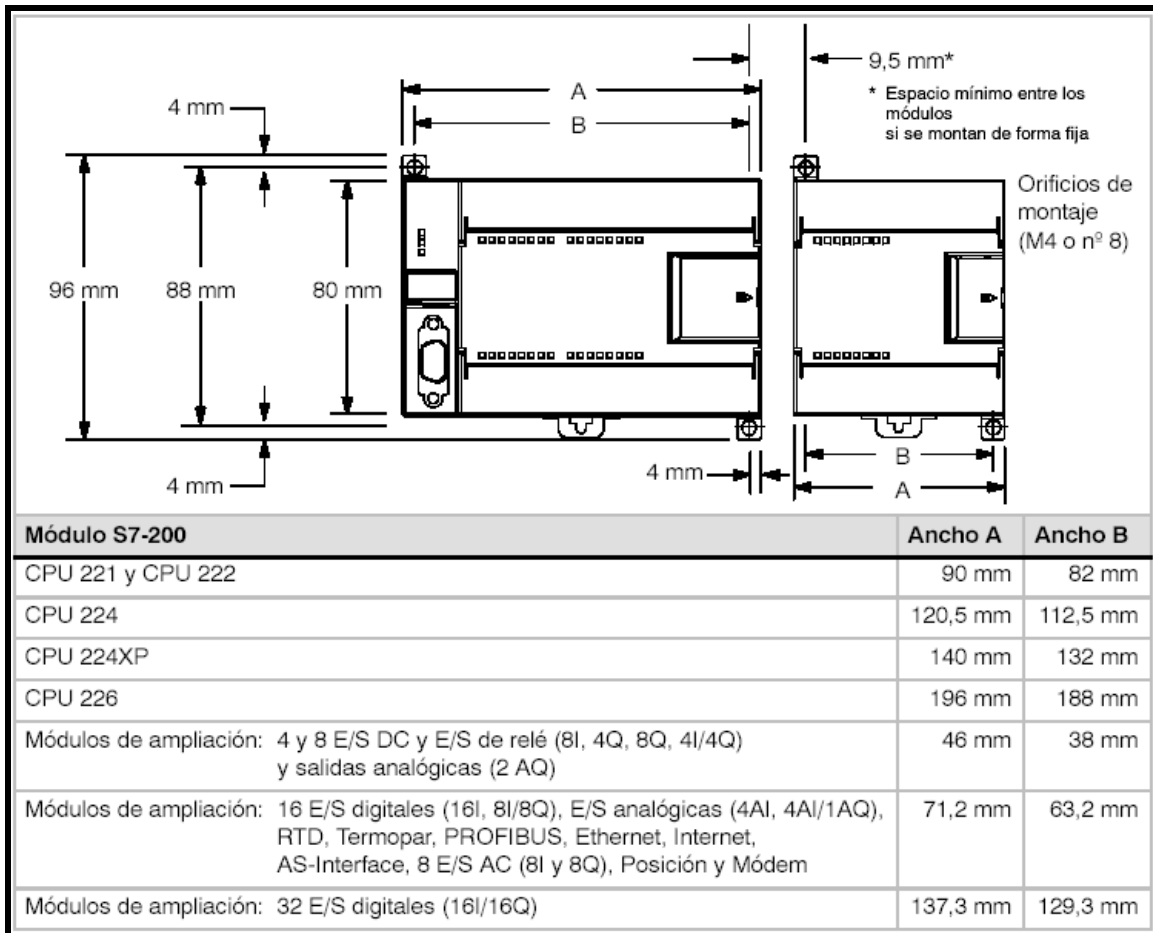


Figura 119. Dimensiones de montaje

- **Montar una CPU o un módulo de ampliación**

El montaje del S7-200 es muy sencillo. Proceda de la manera siguiente:

Montaje en un armario eléctrico

- Posicione y taladre los orificios de montaje (M4 o estándar americano nº 8) conforme a las dimensiones indicadas en la figura 119.
- Atornille la CPU o el módulo de ampliación al armario eléctrico utilizando los tornillos apropiados.

- Si desea montar un módulo de ampliación, enchufe el cable plano en el conector del módulo (ubicado debajo de la tapa frontal).

Montaje en un raíl DIN

- Atornille el raíl DIN al armario eléctrico dejando un espacio de 75 mm entre tornillo y tornillo.
- Abra el gancho de retención (ubicado en el lado inferior de la CPU o del módulo) y enganche la parte posterior de la CPU o del módulo al raíl DIN.
- Si desea montar un módulo de ampliación, enchufe el cable plano en el conector del módulo (ubicado debajo de la tapa frontal).
- Gire la CPU o el módulo hacia el raíl DIN y cierre el gancho de retención. Vigile que la CPU o el módulo se hayan enganchado correctamente en el raíl. Para evitar deterioros en la CPU o en el módulo, oprima la orejeta del orificio de montaje en vez presionar directamente sobre el lado frontal de la CPU o del módulo.

Consejo

Si el S7-200 se monta en un raíl DIN en entornos donde se presenten vibraciones fuertes, o bien con orientación vertical, puede resultar necesario asegurarlo con topes. Si el S7-200 se encuentra en un entorno donde se presenten vibraciones fuertes, es recomendable montarlo en un armario eléctrico, puesto que éste ofrece una mejor protección contra vibraciones.

• **Desmontar una CPU o un módulo de ampliación**

Para desmontar una CPU o un módulo de ampliación S7-200, proceda de la manera siguiente:

- Desconecte la alimentación del S7-200.
- Desconecte todos los cables enchufados a la CPU o al módulo. La mayoría de las CPUs S7-200 y de los módulos de ampliación tienen conectores extraíbles que facilitan esta tarea.

- Si hay módulos de ampliación conectados al equipo que desea desmontar, abra la tapa de acceso frontal y desconecte el cable plano de los módulos adyacentes.
- Desatornille los tornillos de montaje o abra el gancho de retención.
- Desmonte el módulo.

- **Extraer y reinsertar el bloque de terminales**

La mayoría de las CPUs S7-200 y de los módulos de ampliación tienen bloques de terminales extraíbles incorporados que permiten montar y sustituir fácilmente el módulo, para determinar si su módulo S7-200 incorpora un bloque de terminales extraíble. Para los módulos que no dispongan de un bloque de terminales extraíble se puede pedir un bloque de bornes opcional.

- **Para extraer el bloque de terminales:**

- Abra la tapa del bloque de terminales para acceder al mismo.
- Inserte un destornillador pequeño en la ranura central del bloque de terminales.
- Extraiga el bloque de terminales haciendo palanca con el destornillador, alejándolo de la carcasa del S7-200 (v. fig. 120).

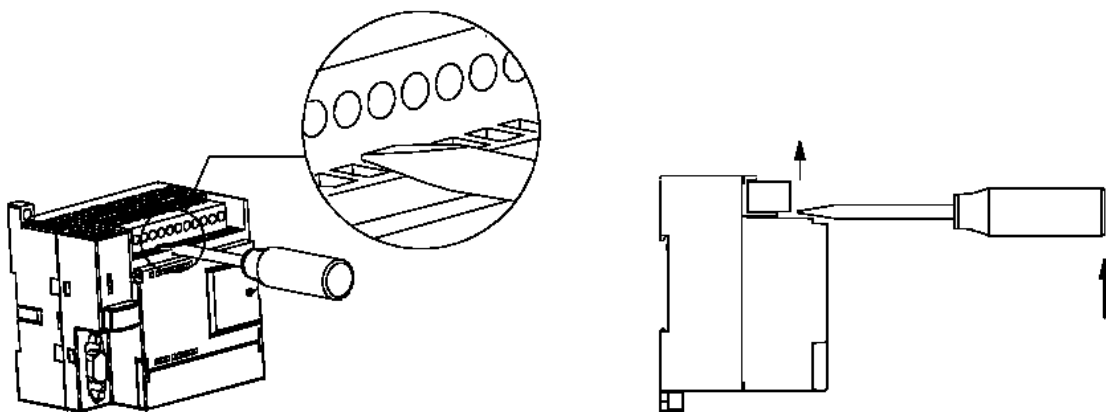


Figura 120. Extraer el bloque de terminales

- **Para reinsertar el bloque de terminales:**

- Abra la tapa del bloque de terminales.
- Alinee el bloque de terminales con los pines de la CPU o del módulo de ampliación y alinee el borde del cableado con la base del bloque de terminales.
- Empuje firmemente el bloque de terminales hacia abajo hasta que quede insertado correctamente. Compruebe si el bloque de terminales está bien alineado y acoplado por completo.

- **Reglas de puesta a tierra y cableado**

La puesta a tierra y el cableado de todos los equipos eléctricos es importante para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema y para aumentar la protección contra interferencias en la aplicación y en el S7-200.

- **Requisitos previos**

Antes de poner a tierra o cablear cualquier aparato eléctrico, vigile que se haya desconectado la alimentación del mismo. Verifique también que se haya desconectado la alimentación de todos los equipos conectados.

Al cablear un PLC S7-200 y los equipos conectados es necesario respetar todos los reglamentos, códigos y normas eléctricas vinculantes. Monte y utilice el equipo conforme a todas las normas nacionales y locales vigentes. Diríjase a las autoridades locales para informarse acerca de qué reglamentos, códigos o normas rigen en el lugar de montaje.

Precaución

Si intenta montar o cablear el S7-200 y/o los equipos conectados a los mismos estando conectada la alimentación, puede producirse un choque eléctrico o fallos en los equipos. Si antes del montaje o desmontaje no se ha desconectado por completo la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados a las mismas, ello podría causar la muerte o heridas graves al personal, y/o daños

materiales. Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y vigile que la alimentación eléctrica del S7-200 y de los equipos conectados se haya desconectado antes del montaje o desmontaje. Considere siempre los aspectos de seguridad al configurar la puesta a tierra y el cableado del sistema de automatización S7-200. Los aparatos electrónicos, tales como el S7-200, pueden fallar y causar un funcionamiento inesperado de los equipos conectados que se están controlando o vigilando. Por este motivo, es recomendable que prevea medidas de seguridad independientes del S7-200 para evitar lesiones personales y/o daños al equipo.

Precaución

Un funcionamiento anormal de los equipos de control puede causar un funcionamiento inesperado del equipo controlado, lo que podría ocasionar la muerte o lesiones graves al personal, y/o daños al equipo.

Prevea dispositivos de parada de emergencia, dispositivos electromecánicos de mayor jerarquía y otras medidas redundantes de seguridad que sean independientes del S7-200.

- **Reglas de aislamiento**

El aislamiento de la alimentación c.a. del S7-200 y de las E/S a los circuitos c.a. es de 1500 V c.a. Estos aislamientos han sido comprobados y aprobados, ofreciendo una separación segura entre el conductor c.a. y los circuitos de baja tensión.

Todos los circuitos de baja tensión conectados a un S7-200 (por ejemplo, la corriente de 24 V) deben ser alimentados por una fuente aprobada que proporcione un aislamiento seguro del conductor c.a. y de otros circuitos de alta tensión. Estas fuentes incorporan un aislamiento doble conforme a lo definido en las normas internacionales de seguridad eléctrica, teniendo salidas clasificadas como SELV, PELV, clase 2 o intensidad limitada (según la norma en cuestión).

Precaución

La utilización de fuentes de alimentación no aisladas o con aislamiento simple para abastecer los circuitos de baja tensión de un conductor c.a. pueden causar tensiones peligrosas en circuitos considerados no peligrosos (seguros al tacto), tales como los circuitos de comunicación y el cableado de sensores de baja tensión. Las altas tensiones inesperadas podrían ocasionar la muerte o lesiones graves al personal, y/o daños al equipo. Utilice sólo convertidores de alta a baja tensión aprobados como fuentes de circuitos de tensión limitada seguros al tacto.

- **Reglas de puesta a tierra del S7-200**

La mejor forma de poner a tierra la aplicación es garantizar que todos los conductores neutros y de masa del S7-200 y de los equipos conectados se pongan a tierra en un mismo punto. Este punto se debería conectar directamente a la toma de tierra del sistema.

Para incrementar la protección contra interferencias es recomendable que todos los conductores de retorno c.c. neutros se conecten a un mismo punto de puesta a tierra. Conecte a tierra el conductor neutro (M) de la alimentación para sensores de 24 V c.c. Todos los cables de puesta a tierra deberían tener la menor longitud posible y una sección grande, por ejemplo 2 mm² (14 AWG).

Al definir físicamente las tierras es necesario considerar los requisitos de puesta a tierra de protección y el funcionamiento correcto de los aparatos protectores.

- **Reglas de cableado del S7-200**

Al diseñar el cableado del sistema de automatización S7-200, incorpore un interruptor unipolar para cortar simultáneamente la alimentación de la CPU S7-200, de todos los circuitos de entrada y de todos los circuitos de salida. Prevea dispositivos de protección contra sobreintensidad (por ejemplo, fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Para mayor protección es posible instalar un fusible u otro limitador de sobreintensidad en todos los circuitos de salida.

Instale dispositivos de supresión de sobretensiones apropiados en el cableado susceptible de recibir sobretensiones causadas por rayos.

Evite colocar los conductores de señalización y los cables de comunicación en una misma canalización junto con los cables de corriente c.a. y los cables c.c. de alta tensión y de conmutación rápida. El cableado deberá efectuarse por pares; con el cable de neutro o común combinado con el cable de fase o de señal.

Utilice el cable más corto posible y vigile que tenga una sección suficiente para conducir la corriente necesaria. El conector acepta cables con sección de 2 mm² a 0,30 mm² (14 AWG a 22 AWG). Utilice cables apantallados para obtener el mayor nivel de inmunidad a interferencias. Por lo general, se obtienen los mejores resultados si la pantalla se pone a tierra en el S7-200. Al cablear circuitos de entrada alimentados por una fuente externa, prevea dispositivos de protección contra sobreintensidad en esos circuitos. La protección externa no se requiere en los circuitos alimentados por la alimentación para sensores de 24 V c.c. del S7-200, puesto que la alimentación para sensores ya está protegida contra sobreintensidad.

La mayoría de los módulos S7-200 disponen de bloques de terminales extraíbles para el cableado de usuario. Para evitar conexiones flojas, vigile que el bloque de terminales esté encajado correctamente y que el cable esté instalado de forma segura. No apriete excesivamente los tornillos para evitar que se deteriore el bloque de terminales. El par máximo de apriete de los tornillos del bloque de terminales es de 0,56 N-m. El S7-200 incluye aislamientos en ciertos puntos para prevenir la circulación de corrientes indeseadas en la instalación. Tenga en cuenta estos elementos de aislamiento al planificar el cableado del sistema de automatización. Los aislamientos con valores nominales inferiores a 1.500 V c.a. no deberán tomarse para definir barreras de seguridad.

Consejo

En una red de comunicación, la longitud máxima del cable de comunicación debería ser de 50 metros sin utilizar un repetidor. El puerto de comunicación del S7-200 no está aislado.

6. PROGRAMACION, SINTONIZACION Y VISUALIZACION

El programa de mando fue realizado utilizando el entorno de programación STEP7 Micro/WIN 4.0 propio para la programación de los PLCs S7200 de SIEMENS. El programa desarrollado obedece a la filosofía de la programación estructurada mediante el uso de un bloque principal, subrutinas, rutinas de interrupción temporizadas y una base de datos.

6.1. PAQUETE DE PROGRAMACIÓN STEP 7-MICRO/WIN

El paquete de programación STEP 7-Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación, STEP 7-Micro/WIN comprende tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control. Para encontrar fácilmente las informaciones necesarias, STEP 7-Micro/WIN incorpora una completa Ayuda en pantalla y un CD de documentación que incluye una versión electrónica del presente manual, ejemplos de aplicación y otras informaciones de gran utilidad, ver figura 121 y 122.

6.1.1. Requisitos del sistema. STEP 7-Micro/WIN se puede ejecutar en un ordenador (PC), o bien en una unidad de programación de Siemens (por ejemplo, en una PG 760). El PC o la PG deberá cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 2000, Windows XP (Professional o Home)
- 100 MB libres en el disco duro (como mínimo)
- Ratón (recomendado)



Figura 121. Step 7–Micro/Win

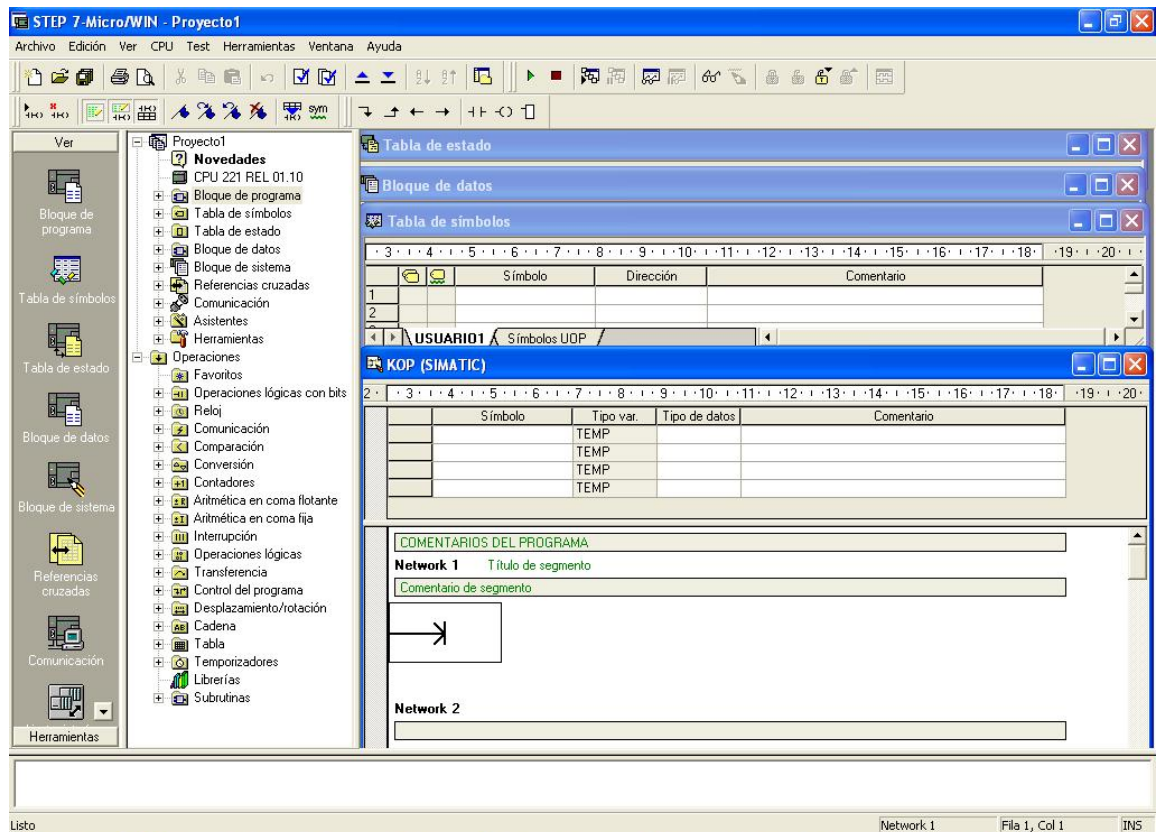


Figura 122. Step 7–Micro/Win – Proyecto

6.1.2. Instalar STEP 7-Micro/WIN. Inserte el CD de STEP 7-Micro/WIN en la unidad de CD-ROM. El asistente de instalación arrancará automáticamente y le conducirá por el proceso de instalación. Para más información sobre cómo instalar STEP 7-Micro/WIN, consulte el archivo LÉAME.

- Consejo: Para instalar STEP 7-Micro/WIN en el sistema operativo Windows NT, Windows 2000 o Windows XP (Professional o Home), deberá iniciar la sesión con derechos de administrador.

6.1.3. Opciones de comunicación. Siemens ofrece dos opciones de programación para conectar el PC al S7-200, a saber: una conexión directa vía un cable PPI multimaestro, o bien un procesador de comunicaciones (CP) con un cable MPI.

El cable de programación PPI multimaestro es el método más usual y más económico de conectar el PC al S7-200. Este cable une el puerto de comunicación del S7-200 con el puerto serie del PC. El cable de programación PPI multimaestro también se puede utilizar para conectar otros dispositivos de comunicación al S7-200.

6.1.4. Elementos básicos de un programa. Un bloque de programa incluye el código ejecutable y los comentarios. El código ejecutable comprende el programa principal, así como subrutinas y/o rutinas de interrupción (opcionales). El código se compila y se carga en el S7-200, a excepción de los comentarios del programa. Las unidades de organización (programa principal, subrutinas y rutinas de interrupción) sirven para estructurar el programa de control.

El programa de ejemplo siguiente incluye una subrutina y una rutina de interrupción. Este programa utiliza una interrupción temporizada para leer el valor de una entrada analógica cada 100 ms, ver figura 123.

Elementos básicos de un programa de control		
P R I N C I P A L		<pre> Network 1 //Llamar a la subrutina 0 en el //primer ciclo LD SM0.1 CALL SBR_0 </pre>
S B R O		<pre> Network 1 //Ajustar a 100 ms el intervalo //de la interrupción temporizada. //Habilitar el evento de //interrupción 0. LD SM0.0 MOVB 100, SMB94 ATCH INT_0, 10 ENI </pre>
I N T O		<pre> Network 1 //Mostrar la entrada analógica 4. LD SM0.0 MOVW AIW4, VW100 </pre>

Figura 123. Elementos básicos de un programa de control

6.1.5. Programa principal. Esta parte del programa contiene las operaciones que controlan la aplicación. El S7-200 ejecuta estas operaciones en orden secuencial en cada ciclo. El programa principal se denomina también OB1.

6.1.6. Subrutinas. Estos elementos opcionales del programa se ejecutan sólo cuando se llaman desde el programa principal, desde una rutina de interrupción, o bien desde otra subrutina. Las subrutinas son elementos opcionales del programa, adecuándose para funciones que se deban ejecutar repetidamente. Así, en vez de tener que escribir la lógica de la función en cada posición del programa principal donde se deba ejecutar esa función, basta con escribirla sólo una vez en una

subrutina y llamar a la subrutina desde el programa principal cada vez que sea necesario. Las subrutinas tienen varias ventajas:

- La utilización de subrutinas permite reducir el tamaño total del programa.
- La utilización de subrutinas acorta el tiempo de ciclo, puesto que el código se ha extraído del programa principal. El S7-200 evalúa el código del programa principal en cada ciclo, sin importar si el código se ejecuta o no. Sin embargo, el S7-200 evalúa el código en la subrutina sólo si se llama a ésta. En cambio, no lo evalúa en los ciclos en los que no se llame a la subrutina.
- La utilización de subrutinas crea códigos portátiles. Es posible aislar el código de una función en una subrutina y copiar ésta a otros programas sin necesidad de efectuar cambios o con sólo pocas modificaciones.
- Consejo: La utilización de direcciones de la memoria V limita la portabilidad de las subrutinas, ya que la asignación de direcciones de un programa en la memoria V puede estar en conflicto con la asignación en un programa diferente. En cambio, las subrutinas que utilizan la tabla de variables locales (memoria L) para todas las asignaciones de direcciones se pueden transportar muy fácilmente, puesto que no presentan el riesgo de conflictos de direcciones entre la subrutina y otra parte del programa.

6.1.7. Rutinas de interrupción. Estos elementos opcionales del programa reaccionan a determinados eventos de interrupción. Las rutinas de interrupción se pueden programar para gestionar eventos de interrupción predefinidos. El S7-200 ejecuta una rutina de interrupción cuando ocurre el evento asociado. El programa principal no llama a las rutinas de interrupción. Una rutina de interrupción se asocia a un evento de interrupción y el S7-200 ejecuta las operaciones contenidas en esa rutina sólo cada vez que ocurra el evento en cuestión.

- Consejo: Puesto que no es posible saber con anterioridad cuándo el S7-200 generará una interrupción, es recomendable limitar el número de variables

utilizadas tanto por la rutina de interrupción como en otra parte del programa.

Utilice la tabla de variables locales de la rutina de interrupción para garantizar que ésta utilice únicamente la memoria temporal, de manera que no se sobrescriban los datos utilizados en ninguna otra parte del programa.

Hay diversas técnicas de programación que se pueden utilizar para garantizar que el programa principal y las rutinas de interrupción compartan los datos correctamente.

6.1.8. Otros elementos del programa. Hay otros bloques que contienen información para el S7-200. A la hora de cargar el programa en el S7-200, es posible indicar qué bloques se deben cargar también.

- Bloque de sistema: El bloque de sistema permite configurar diversas opciones de hardware para el S7-200. ver figura 124.



Figura 124. Icono Bloque de sistema

- Bloque de datos: En el bloque de datos se almacenan los valores de las diferentes variables (memoria V) utilizadas en el programa. Este bloque se puede usar para introducir los valores iniciales de los datos, tal como se muestra en la figura 125.



Figura 125. Icono Bloque de datos

6.1.9. Utilizar STEP 7-Micro/WIN para crear programas. Para iniciar STEP 7-Micro/WIN, haga doble clic en el icono de STEP 7-Micro/WIN o elija los comandos **Inicio > SIMATIC > STEP 7 Micro/WIN 32 V4.0**. STEP 7-Micro/WIN ofrece una interfaz de usuario cómoda para crear el programa de control.

Las barras de herramientas incorporan botones de método abreviado para los comandos de menú de uso frecuente. Estas barras se pueden mostrar u ocultar.

La barra de navegación comprende iconos que permiten acceder a las diversas funciones de programación de STEP 7-Micro/WIN.

En el árbol de operaciones se visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control. Para insertar operaciones en el programa, puede utilizar el método de “arrastrar y soltar” desde el árbol de operaciones, o bien hacer doble clic en una operación con objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas, ver figura 126.

El editor de programas contiene el programa y una tabla de variables locales donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de fichas en el borde inferior del editor de programas. Para acceder a las subrutinas, a las rutinas de interrupción o al programa principal, haga clic en la ficha en cuestión.



Figura 126. Icono Editor de Programas

STEP 7-Micro/WIN incorpora los tres editores de programas siguientes: Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás.

6.1.10. Funciones del editor AWL. El editor AWL visualiza el programa textualmente. Permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. El editor AWL sirve para crear ciertos programas que, de otra forma, no se podrían programar con los editores KOP ni FUP. Ello se debe a que AWL es el lenguaje nativo del S7-200, a diferencia de los editores gráficos, sujetos a ciertas restricciones para poder dibujar los diagramas correctamente. Como muestra la figura 127, esta forma textual es muy similar a la programación en lenguaje ensamblador.

LD	I0.0	//Leer una entrada
A	I0.1	//AND con otra entrada
=	Q0.0	//Escribir en el valor en //la salida 1

Figura 127. Funciones del editor AWL

El S7-200 ejecuta cada operación en el orden determinado por el programa, de arriba a abajo, reiniciando después arriba.

AWL utiliza una pila lógica para resolver la lógica de control. El usuario inserta las operaciones AWL para procesar las operaciones de pila.

Considere los siguientes aspectos importantes cuando desee utilizar el editor AWL:

- El lenguaje AWL es más apropiado para los programadores expertos.
- En algunos casos, AWL permite solucionar problemas que no se podrían resolver fácilmente con los editores KOP o FUP.
- El editor AWL soporta sólo el juego de operaciones SIMATIC.
- En tanto que el editor AWL se puede utilizar siempre para ver o editar programas creados con los editores KOP o FUP, lo contrario no es posible en todos los casos. Los editores KOP o FUP no siempre se pueden utilizar para visualizar un programa que se haya creado en AWL.

6.1.11. Funciones del editor KOP. El editor KOP visualiza el programa gráficamente, de forma similar a un esquema de circuitos. Los programas KOP hacen que el programa emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida. Los programas KOP incluyen una barra de alimentación izquierda que está energizada. Los contactos cerrados permiten que la corriente circule por ellos hasta el siguiente elemento, en tanto que los contactos abiertos bloquean el flujo de energía.

La lógica se divide en segmentos ("networks"). El programa se ejecuta un segmento tras otro, de izquierda a derecha y luego de arriba a abajo. La figura 128 muestra un ejemplo de un programa KOP. Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas.

Los contactos representan condiciones lógicas de entrada, tales como interruptores, botones o condiciones internas. Las bobinas representan condiciones lógicas de salida, tales como lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos o condiciones internas de salida.

Los cuadros representan operaciones adicionales, tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

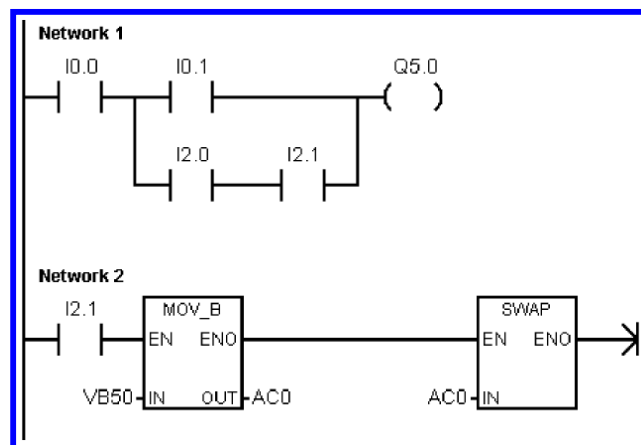


Figura 128. Funciones del editor KOP

Considere los siguientes aspectos importantes cuando desee utilizar el editor KOP:

- El lenguaje KOP les facilita el trabajo a los programadores principiantes.
- La representación gráfica es fácil de comprender, siendo popular en el mundo entero.
- El editor KOP se puede utilizar con los juegos de operaciones SIMATIC e IEC 1131-3.
- El editor AWL se puede utilizar siempre para visualizar un programa creado en KOP SIMATIC.

6.1.12. Funciones del editor FUP. El editor FUP visualiza el programa gráficamente, de forma similar a los circuitos de puertas lógicas. En FUP no existen contactos ni bobinas como en el editor KOP, pero sí hay operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros. La figura 129 muestra un ejemplo de un programa FUP.

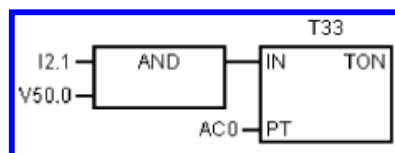


Figura 129. Funciones del editor FUP

El lenguaje de programación FUP no utiliza las barras de alimentación izquierda ni derecha. Sin embargo, el término “circulación de corriente” se utiliza para expresar el concepto análogo del flujo de señales por los bloques lógicos FUP.

El recorrido “1” lógico por los elementos FUP se denomina circulación de corriente. El origen de una entrada de circulación de corriente y el destino de una salida de circulación de corriente se pueden asignar directamente a un operando.

La lógica del programa se deriva de las conexiones entre las operaciones de cuadro. Ello significa que la salida de una operación (por ejemplo, un cuadro AND) se puede utilizar para habilitar otra operación (por ejemplo, un temporizador), con

objeto de crear la lógica de control necesaria. Estas conexiones permiten solucionar numerosos problemas lógicos.

Considere los siguientes aspectos importantes cuando desee utilizar el editor FUP:

- El estilo de representación en forma de puertas gráficas se adecua especialmente para observar el flujo del programa.
- El editor FUP soporta los juegos de operaciones SIMATIC e IEC 1131-3.
- El editor AWL se puede utilizar siempre para visualizar un programa creado en SIMATIC FUP.

6.2. EJECUTAR LA LÓGICA DE CONTROL EN EL S7-200

El S7-200 ejecuta cíclicamente la lógica de control del programa, leyendo y escribiendo datos.

6.2.1. Relacionar el programa con las entradas y salidas físicas. El funcionamiento básico del S7-200 es muy sencillo:

- El S7-200 lee el estado de las entradas.
- El programa almacenado en el S7-200 utiliza las entradas para evaluar la lógica. Durante la ejecución del programa, el S7-200 actualiza los datos.
- El S7-200 escribe los datos en las salidas.

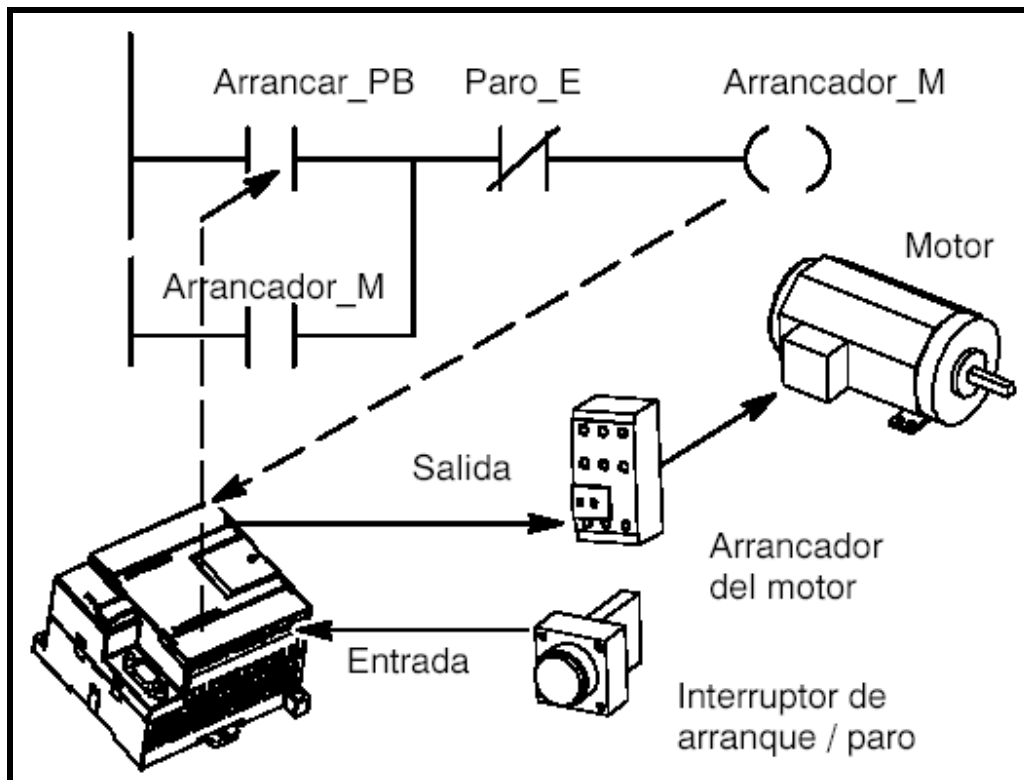


Figura 130. Esquema de circuitos simple

La figura 130 muestra cómo se procesa un esquema de circuitos simple en el S7-200. En este ejemplo, el estado del interruptor para arrancar el motor se combina con los estados de otras entradas. El resultado obtenido establece entonces el estado de la salida que corresponde al actuador que arranca el motor.

6.2.2. Ejecutar las tareas en un ciclo. El S7-200 ejecuta una serie de tareas de forma repetitiva. Esta ejecución se denomina ciclo. Como muestra la figura 131, el S7-200 ejecuta la mayoría de las tareas siguientes (o todas ellas) durante un ciclo:

- Leer las entradas: el S7-200 copia el estado de las entradas físicas en la imagen del proceso de las entradas.
- Ejecutar la lógica de control en el programa: el S7-200 ejecuta las operaciones del programa y guarda los valores en las diversas áreas de memoria.

- Procesar las peticiones de comunicación: el S7-200 ejecuta las tareas necesarias para la comunicación.
- Efectuar el autodiagnóstico de la CPU: el S7-200 verifica si el firmware, la memoria del programa y los módulos de ampliación están trabajando correctamente.
- Escribir en las salidas: los valores almacenados en la imagen del proceso de las salidas se escriben en las salidas físicas.

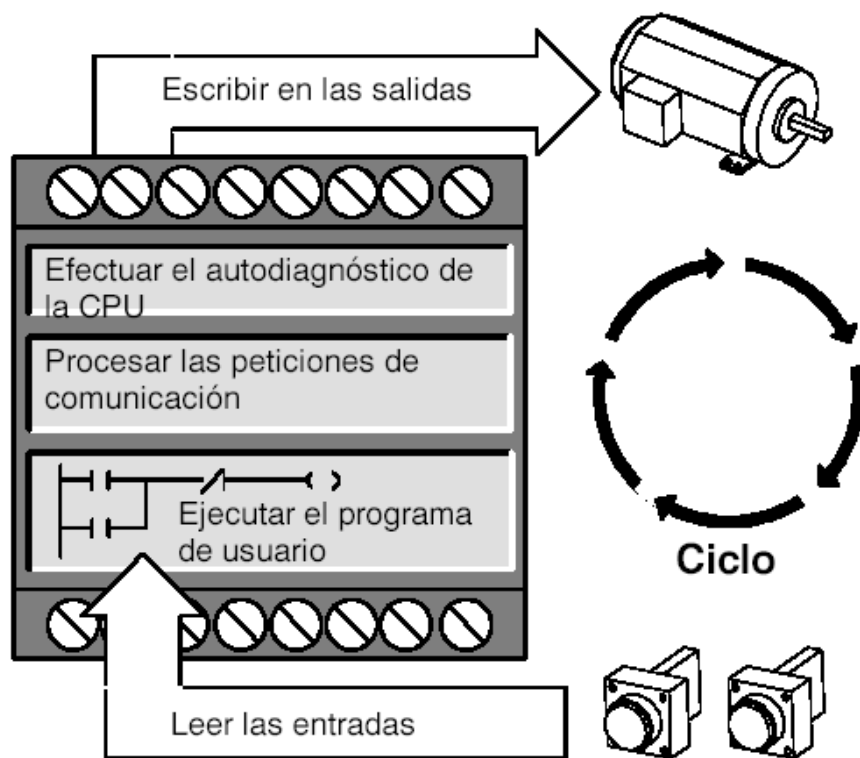


Figura 131. Ejecutar las tareas en un ciclo

La ejecución del programa de usuario depende de si el S7-200 está en modo STOP o RUN. El programa se ejecutará si el S7-200 está en modo RUN. En cambio, no se ejecutará en modo STOP.

6.2.3. Leer las entradas.

- Entradas digitales: Al principio de cada ciclo se leen los valores actuales de las entradas digitales y se escriben luego en la imagen del proceso de las entradas.
- Entradas analógicas: El S7-200 no actualiza las entradas analógicas de los módulos de ampliación como parte del ciclo normal, a menos que se haya habilitado la filtración de las mismas. Existe un filtro analógico que permite disponer de una señal más estable. Este filtro se puede habilitar para cada una de las entradas analógicas. Si se habilita la filtración de una entrada analógica, el S7-200 actualizará esa entrada una vez por ciclo, efectuará la filtración y almacenará internamente el valor filtrado. El valor filtrado se suministrará cada vez que el programa accede a la entrada analógica.

Si no se habilita la filtración, el S7-200 leerá de los módulos de ampliación el valor de la entrada analógica cada vez que el programa de usuario acceda a esa entrada.

Las entradas analógicas AIW0 y AIW2 incorporadas en la CPU 224XP se actualizan en cada ciclo con el resultado más reciente del convertidor analógico/digital. Este convertidor es de tipo promedio (sigma-delta) y, por lo general, no es necesario filtrar las entradas en el software.

- Consejo: La filtración de las entradas analógicas permite disponer de un valor analógico más estable. Utilice el filtro de entradas analógicas en aplicaciones donde la señal de entrada cambia lentamente. Si la señal es rápida, no es recomendable habilitar el filtro analógico.

No utilice el filtro analógico en módulos que transfieran informaciones digitales o indicaciones de alarma en las palabras analógicas. Desactive siempre el filtro analógico si utiliza módulos RTD, termopar o AS-Interface Master.

6.2.4. Ejecutar el programa. Durante esta fase del ciclo, el S7-200 ejecuta el programa desde la primera operación hasta la última (= Finalizar programa). El

control directo de las entradas y salidas permite acceder directamente a éstas mientras se ejecuta el programa o una rutina de interrupción.

Si se utilizan interrupciones, las rutinas asociadas a los eventos de interrupción se almacenarán como parte del programa. Las rutinas de interrupción no se ejecutan como parte del ciclo, sino sólo cuando ocurre el evento (en cualquier punto del ciclo).

6.2.5. Procesar las peticiones de comunicación. Durante esta fase del ciclo, el S7-200 procesa los mensajes que haya recibido por el puerto de comunicación o de los módulos de ampliación inteligentes.

6.2.6. Efectuar el autodiagnóstico. Durante el autodiagnóstico, el S7-200 comprueba si la CPU está funcionando correctamente, así como el estado de los módulos de ampliación.

6.2.7. Escribir las salidas digitales. Al final de cada ciclo, el S7-200 escribe los valores de la imagen del proceso de las salidas en las salidas digitales. (Las salidas analógicas se actualizan de inmediato, independientemente del ciclo.)

6.3. CONFIGURACION DEL PROGRAMA DE CONTROL.

6.3.1. Entradas y Salidas. Teniendo en cuenta el análisis que se realizó para la selección de la CPU en base a la naturaleza y número de entradas que se manipulan, se procede a una explicación del tipo de señales y el tratamiento que se elabora para su empleo.

- Para la lectura de posición del actuador principal se emplea el Ubicación Sensor Magnetorestrictivo de Posición, este transductor posee tres conexiones, dos de ellas corresponden a su alimentación, y la otra

corresponde a la señal de retroalimentación. La tensión a la cual se debe alimentar este transductor esta comprendida entre $\pm 15 V_{DC}$. La señal obtenida desde el transductor es de tipo analógica y viene dada por tensión en un rango comprendido entre $\pm 15 V_{DC}$, debido a que la carrera del potenciómetro no es utilizada en su totalidad, realmente la señal medida varia entre $\pm 10 V_{DC}$, aproximadamente, para luego mediante el uso de una resistencia eléctrica de $5 K\Omega$ se convierte en señal medible y tratable por corriente variando entre 4 y 20 mA, procedimiento efectuado debido a que la configuración de entradas y salidas del modulo de expansión EM235 se realiza para trabajar las señales por corriente (4 a 20 mA), Esta señal es la retroalimentación del PID0, es decir el lazo cerrado de control de posición.

Para una señal de voltaje de $-10V$ el actuador principal se encuentra totalmente contraído y para el caso contrario a un valor de retroalimentación de $10V$, el actuador principal se encuentra totalmente extendido, ver figura 132.

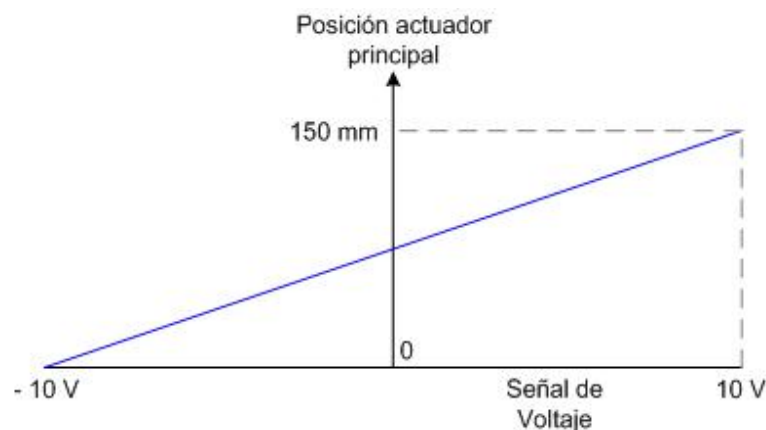


Figura 132. Escalamiento señal de voltaje Ubicación Sensor Magnetorestrictivo de Posición

- Para la lectura de presión en las cámaras superior e inferior del cilindro principal se emplean los transductores transmisores de presión, estos transductores poseen dos conexiones cada uno, una de ellas corresponde

a su alimentación, y la otra corresponde a la señal de retroalimentación. La tensión a la cual se alimentan estos transductores esta comprendida entre $\pm 10 V_{DC}$. La señal obtenida desde los transductores es de tipo analógica y viene dada por corriente en un rango comprendido entre 4 y 20 mA. Esta señal es la retroalimentación del PID 1, es decir el lazo cerrado de control de presión.

- La señal que comanda la servoválvula también es analógica bipolar en corriente, por lo tanto es una señal que sale del modulo EM235. esta es la salida para los dos lazos de control independiente (Posición y Presión), también se debe escalar para su manipulación. Se cuenta con un rango de salida de -32000 a 32000 , esto quiere decir que es la velocidad de desplazamiento en la abertura de la servoválvula. Para un control optimo y dada las especificaciones del caso se determino que el rango de trabajo de la servoválvula será limite inferior -27000 y el limite superior 32000 .

6.4. ASIGNACION ENTRADAS Y SALIDAS

ENTRADAS/SALIDAS	ASIGNACION
Ventilador	Entrada Digital
Bomba Torre	Entrada Digital
Bomba Principal	Entrada Digital
Válvula de Seguridad	Entrada Digital
Manifold	Entrada Digital
Transductor Posición	Entrada Análogo
Transmisor de Presión 1	Entrada Análogo
Transmisor de Presión 2	Entrada Análogo
Servovalvula	Salida Análogo

Tabla 8. Asignación entradas y salidas

6.5. REGULADOR PID EN EL SIMATIC S7–200 CPU 224.

La operación Regulación PID (PID) ejecuta el cálculo de un lazo de regulación PID en el LOOP referenciado, conforme a las informaciones de entrada y configuración definidas en TABLE (TBL).

Condiciones de error que ponen ENO a 0:

- SM1.1 (desbordamiento)
- 0006 (direccionamiento indirecto)

Marcas especiales afectadas:

- SM1.1 (desbordamiento)

La operación PID (lazo de regulación con acción proporcional, integral, derivativa) sirve para ejecutar el cálculo PID. Para habilitar el cálculo PID, el primer nivel de la pila lógica (TOS) deberá estar a ON (circulación de corriente). Esta operación tiene dos operandos: una dirección TABLE que constituye la dirección inicial de la tabla del lazo y un número LOOP que es una constante comprendida entre 0 y 7.

Un programa sólo admite ocho operaciones PID. Si se utilizan dos o más operaciones PID con el mismo número de lazo (aunque tengan diferentes direcciones de tabla), los dos cálculos PID se interferirán mutuamente siendo impredecible el resultado.

La tabla del lazo almacena nueve parámetros que sirven para controlar y supervisar la operación del mismo. Incluye el valor actual y previo de la variable del proceso (valor real), la consigna, la salida o magnitud manipulada, la ganancia, el tiempo de muestreo, el tiempo de acción integral, el tiempo de acción derivativa y la suma integral (bias).

Para poder realizar el cálculo PID con el intervalo de muestreo deseado, la operación PID deberá ejecutarse bien dentro de una rutina de interrupción

temporizada, o bien desde el programa principal, a intervalos controlados por un temporizador. El tiempo de muestreo debe definirse en calidad de entrada para la operación PID a través de la tabla del lazo.

La función de autosintonía se ha agregado a la operación PID. El Panel de sintonía PID sólo funciona con los lazos PID creados con el asistente PID.

Entradas/Salidas	Tipos de datos	Operandos
TBL	BYTE	VB
LOOP	BYTE	Constante (0 a 7)

Tabla 9. Operandos validos para la operación regulación PID

STEP 7-Micro/WIN incorpora el asistente PID que ayuda a definir un algoritmo PID para un proceso de control de bucle cerrado. Elija el comando de menú **Herramientas > Asistente de operaciones** y seleccione **PID** en la ventana del asistente.

- Consejo: La consigna de los límites inferior y superior debería corresponder a los límites inferior y superior de la variable del proceso.

6.5.1. Algoritmo PID. En modo estacionario, un regulador PID varía el valor de su salida para llevar a cero el error de regulación (e). El error es la diferencia entre el valor de consigna (SP) (el punto de trabajo deseado) y la variable del proceso (PV) (el punto de trabajo real). El principio de una regulación PID se basa en la ecuación que se indica a continuación y que expresa la salida $M(t)$ como una función de un término proporcional, uno integral y uno derivativo:

Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término derivativo
M(t)	=	K_C * e	+	K_C ∫₀^t e dt + M_{inicial}	+	K_C * de/dt
<i>donde:</i>	M _(t)	es la salida del lazo en función del tiempo				
	K _C	es la ganancia del lazo				
	e	es el error de regulación (diferencia entre la consigna y la variable de proceso)				
	M _{inicial}	es el valor inicial de la salida del lazo				

Para poder implementar esta función de regulación en un sistema digital, la función continua deberá cuantificarse mediante muestreos periódicos del valor del error, calculándose seguidamente el valor de la salida. La ecuación que constituye la base de la solución en un sistema digital es:

M_n	=	K_C * e_n	+	K_I * ∑₁ⁿ e_x + M_{inicial}	+	K_D * (e_n-e_{n-1})
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término derivativo
<i>donde:</i>	M _n	es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo				
	K _C	es la ganancia del lazo				
	e _n	es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo				
	e _{n - 1}	es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)				
	e _x	es el valor del error de regulación en el muestreo x				
	K _I	es la constante proporcional del término integral				
	M _{inicial}	es el valor inicial de la salida del lazo				
	K _D	es la constante proporcional del término derivativo				

Para esta ecuación, el término integral se muestra en función de todos los términos del error, desde el primer muestreo hasta el muestreo actual. El término derivativo es una función del muestreo actual y del muestreo previo; mientras que el término proporcional sólo es función del muestreo actual. En un sistema digital no es práctico almacenar todos los muestreos del término del error, además de no ser necesario.

Puesto que un sistema digital debe calcular el valor de salida cada vez que se muestre el error, comenzando en el primer muestreo, basta con almacenar el valor previo del error y el valor previo del término integral. Debido a la naturaleza

repetitiva de la solución basada en un sistema digital, es posible simplificar la ecuación a resolver en cada muestreo. La ecuación simplificada es:

M_n	=	$K_C * e_n$	+	$K_I * e_n + MX$	+	$K_D * (e_n - e_{n-1})$
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término derivativo
donde:	M_n	es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo				
	K_C	es la ganancia del lazo				
	e_n	es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo				
	e_{n-1}	es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-ésimo)				
	K_I	es la constante proporcional del término integral				
	MX	es el valor previo del término integral (en el muestreo (n-1)-ésimo)				
	K_D	es la constante proporcional del término derivativo				

Para calcular el valor de salida del lazo, el S7-200 utiliza una forma modificada de la ecuación simplificada anterior. Esta ecuación modificada equivale a:

M_n	=	MP_n	+	MI_n	+	MD_n
Salida	=	término proporcional	+	término integral	+	término derivativo
donde:	M_n	es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo				
	MP_n	es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo				
	MI_n	es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo				
	MD_n	es el valor del término derivativo de salida del lazo en el muestreo n-ésimo				

6.5.2. Término proporcional de la ecuación PID. El término proporcional MP es el producto de la ganancia (K_C), la cual controla la sensibilidad del cálculo de la salida, y del error (e), que es la diferencia entre el valor de consigna (SP) y el valor real o de la variable del proceso (PV) para un instante de muestreo determinado. La ecuación que representa el término proporcional según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

MP_n	=	K_C	*	$(SP_n - PV_n)$
donde:	MP_n	es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-ésimo		
	K_C	es la ganancia del lazo		
	SP_n	es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo		
	PV_n	es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo		

6.5.3. Término integral de la ecuación PID. El término integral MI es proporcional a la suma del error a lo largo del tiempo. La ecuación que representa el término integral según la resuelve el S7-200 es la siguiente:

MI_n	=	K_C	*	T_S	/	T_I	*	$(SP_n - PV_n)$	+	MX
donde:	MI_n	es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-ésimo								
	K_C	es la ganancia del lazo								
	T_S	es el tiempo de muestreo del lazo								
	T_I	es el período de integración del lazo (también llamado tiempo de acción integral)								
	SP_n	es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo								
	PV_n	es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo								
	MX	es el valor del término integral en el muestreo (n-1)-ésimo (también llamado suma integral o "bias")								

La suma integral o bias (MX) es la suma acumulada de todos los valores previos del término integral. Después de cada cálculo de $M_{inicial}$ se actualiza la suma integral con el valor de $M_{inicial}$ que puede ajustarse o limitarse (para más información, consulte la sección "Variables y rangos"). Por regla general, el valor inicial de la suma integral se ajusta al valor de salida ($M_{inicial}$) justo antes de calcular la primera salida del lazo. El término integral incluye también varias constantes tales como la ganancia (K_C), el tiempo de muestreo (T_S), que define el intervalo con que se recalcula periódicamente el valor de salida del lazo PID, y el tiempo de acción integral (T_I), que es un tiempo utilizado para controlar la influencia del término integral en el cálculo de la salida.

6.5.4. Término derivativo de la ecuación PID. El término derivativo MD es proporcional a la tasa de cambio del error. El S7-200 utiliza la ecuación siguiente para el término derivativo:

MD_n	=	K_C	*	T_D	/	T_S	*	$((SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1}))$
--------	---	-------	---	-------	---	-------	---	---

Para evitar cambios o saltos bruscos de la salida debidos a cambios de la acción derivativa o de la consigna, se ha modificado esta ecuación bajo la hipótesis de que la consigna es constante ($SP_n = SP_{n-1}$). En consecuencia, se calcula el

cambio en la variable del proceso en lugar del cambio en el error, como puede verse a continuación:

MD_n	=	K_C	*	T_D	/	T_S	*	$(SP_n - PV_n - SP_n + PV_{n-1})$
o simplificando:								
MD_n	=	K_C	*	T_D	/	T_S	*	$(PV_{n-1} - PV_n)$
<i>donde:</i>	MD_n	es el valor del término derivativo de la salida del lazo en el muestreo n-ésimo						
	K_C	es la ganancia del lazo						
	T_S	es el tiempo de muestreo del lazo						
	T_D	es el período de diferenciación de lazo (también llamado tiempo de acción derivativa)						
	SP_n	es el valor de la consigna en el muestreo n-ésimo						
	PV_{n-1}	es el valor de la consigna en el muestreo n-1						
	PV_n	es el valor de la variable del proceso en el muestreo n-ésimo						
	PV_{n-1}	es el valor de la variable del proceso en el muestreo (n-1)-ésimo						

En lugar del error es necesario guardar la variable del proceso para usarla en el próximo cálculo del término derivativo. En el instante del primer muestreo, el valor de PV_{n-1} se inicializa a un valor igual a PV_n .

6.5.5. Seleccionar el tipo de regulación. En numerosos sistemas de regulación basta con utilizar una o dos acciones de regulación. Así, por ejemplo, puede requerirse únicamente regulación proporcional o regulación proporcional e integral. El tipo de regulación se selecciona ajustando correspondientemente los valores de los parámetros constantes. Por tanto, si no se desea acción integral (sin “I” en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción integral deberá ajustarse a infinito (“INF”). Incluso sin acción integral, es posible que el valor del término integral no sea “0”, debido a que la suma integral MX puede tener un valor inicial. Si no se desea acción derivativa (sin “D” en el cálculo PID), entonces el tiempo de acción derivativa deberá ajustarse a 0.0. Ver tabla 10.

Offset	Campo	Formato	Tipos de datos	Descripción
0	Variable del proceso (PV_n)	REAL	IN	Contiene la variable del proceso que debe estar escalada entre 0.0 y 1.0.
4	Consigna (SP_n)	REAL	IN	Contiene la consigna que debe estar escalada entre 0.0 y 1.0.
8	Salida (M_n)	REAL	IN/OUT	Contiene la salida calculada, escalada entre 0.0 y 1.0.
12	Ganancia (K_C)	REAL	IN	Contiene la ganancia, que es una constante proporcional. Puede ser un número positivo o negativo.
16	Tiempo de muestreo (T_s)	REAL	IN	Contiene el tiempo de muestreo en segundos. Tiene que ser un número positivo.
20	Tiempo de acción integral (T_I)	REAL	IN	Contiene el tiempo de acción integral en minutos. Tiene que ser un número positivo.
24	Tiempo de acción derivativa (T_D)	REAL	IN	Contiene el tiempo de acción derivativa en minutos. Tiene que ser un número positivo.
28	Suma integral (MX)	REAL	IN/OUT	Contiene el valor de la suma integral entre 0.0 y 1.0.
32	Variable del proceso previa (PV_{n-1})	REAL	IN/OUT	Contiene el valor almacenado de la variable de proceso al ejecutar por última vez la instrucción PID.

Tabla 10. Tabla del lazo

6.6. CONFIGURACION DEL REGULADOR PID.

En la barra de herramientas se encuentra el menú “Herramientas” y desplegando este se encuentra “asistente de operaciones”, se elige entonces la opción PID (sombreada) y se da clic en siguiente, ver figura 133.

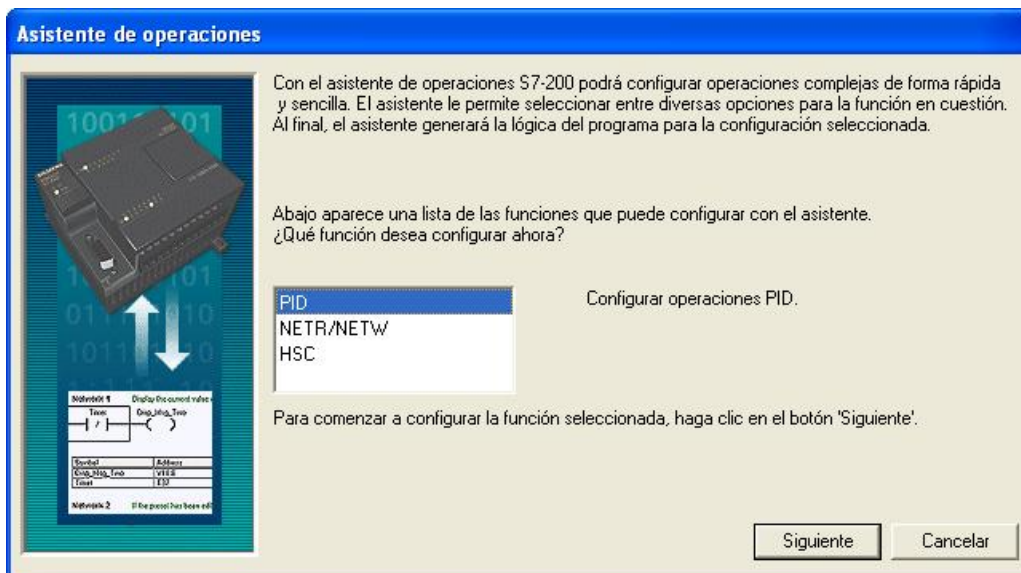


Figura 133. Asistente de operaciones – Cuadro 1

Se selecciona el número con el que se identifica el PID que va a configurar para un lazo de control específico, y luego clic en siguiente, ver figura 134.

Los límites inferior y superior se designan para cada lazo de control a configurar, y las constantes de ganancia, Tiempo de acción Integral, Tiempo de acción derivativa y el tiempo de muestreo se ingresan y se varían dependiendo de la acción PID que se configura para cada lazo de control, y luego clic en siguiente, ver figura 135.

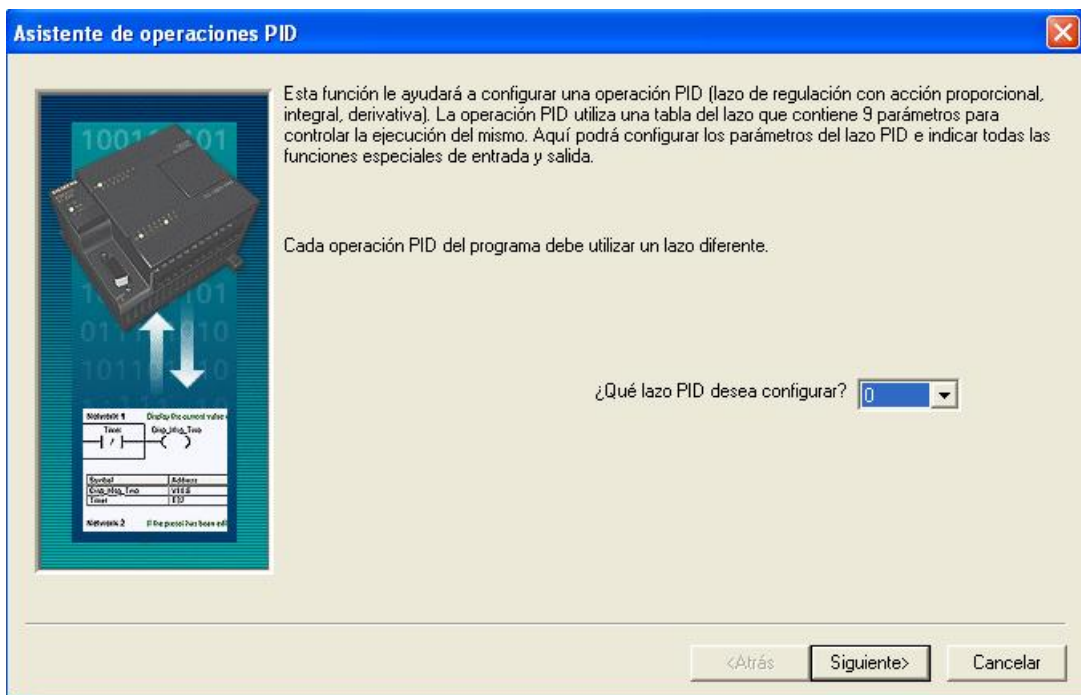


Figura 134. Asistente de operaciones – Cuadro 2

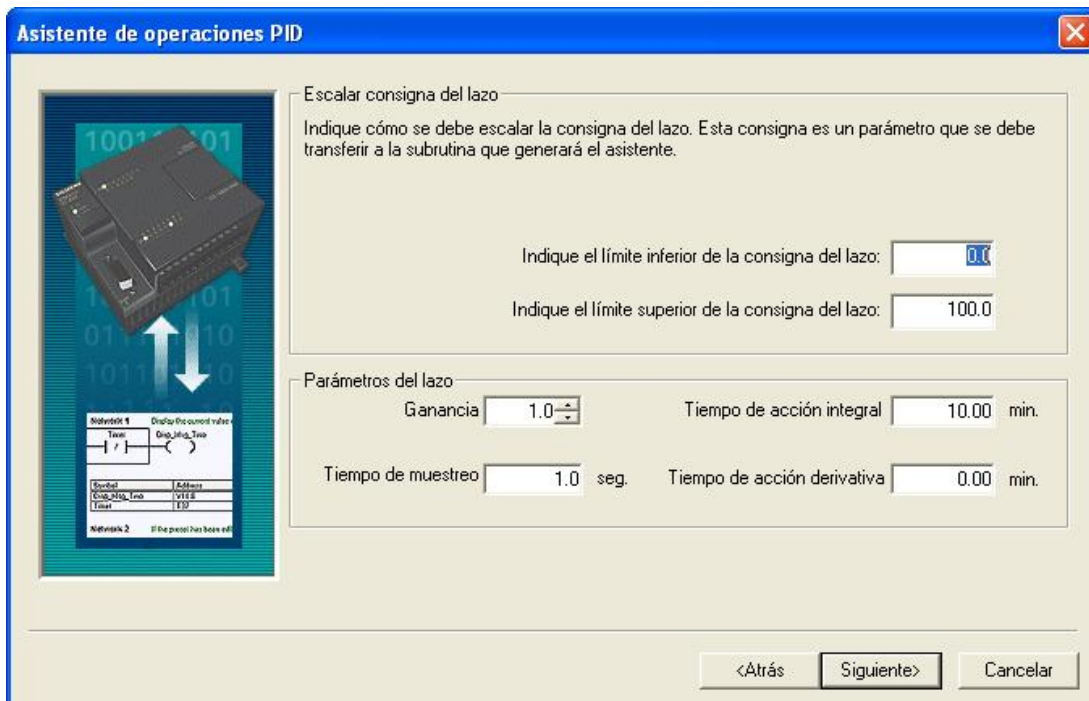


Figura 135. Asistente de operaciones – Cuadro 3

Las opciones de la entrada del lazo (Fig. 136) se configuran de acuerdo al rango que se utiliza para el escalamiento de la señal ya sea positivo (unipolar) o negativo y positivo (bipolar) configurando seguidamente los valores para los límites inferior y superior del escalamiento; y las opciones de la salida del lazo se configuran de acuerdo al tipo de salida (analógica o digital) y al rango de escalamiento (unipolar o bipolar), de igual manera se configuran los valores para los límites, y luego clic en siguiente.

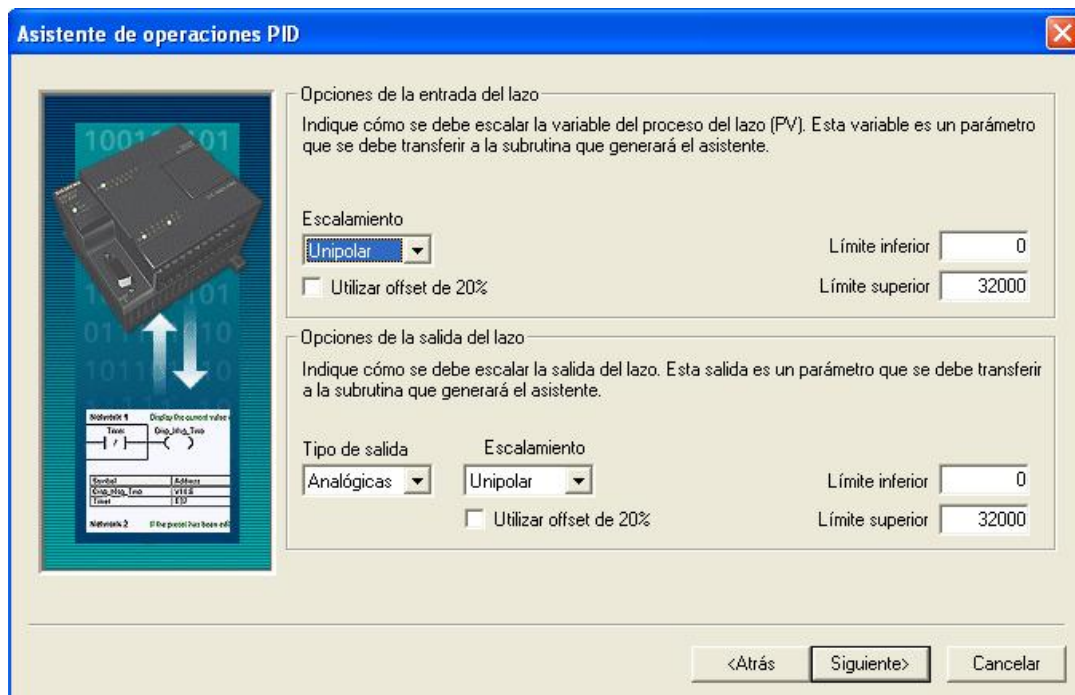


Figura 136. Asistente de operaciones – Cuadro 4

Como se aprecia en la figura 137, en las lecturas de la ventana, es posible y opcional, configurar alarmas para la variable del proceso (PV) y comprobar errores en las entradas analógicas, dependiendo del modulo donde estén ubicadas, y luego dar clic en siguiente.

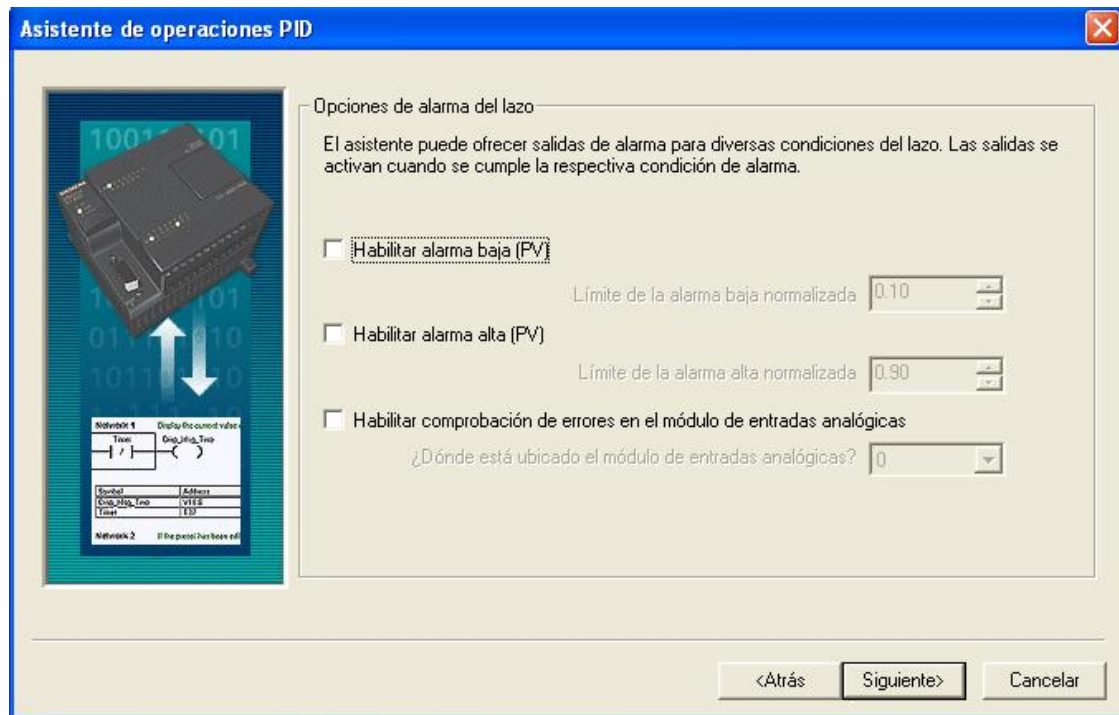


Figura 137. Asistente de operaciones – Cuadro 5

A través de esta ventana (fig. 138) se asignan las variables involucradas en la configuración del lazo, el número máximo de variables es de 120, en principio el asistente de configuración propone las direcciones de las mismas o se pueden reasignar a conveniencia del usuario, y luego dar clic en siguiente.

Como se muestra en la ventana (fig. 139), se identifican los nombres para la subrutina de inicialización y para la rutina de interrupción, también se puede activar el control en modo manual del PID, y luego dar clic en siguiente.

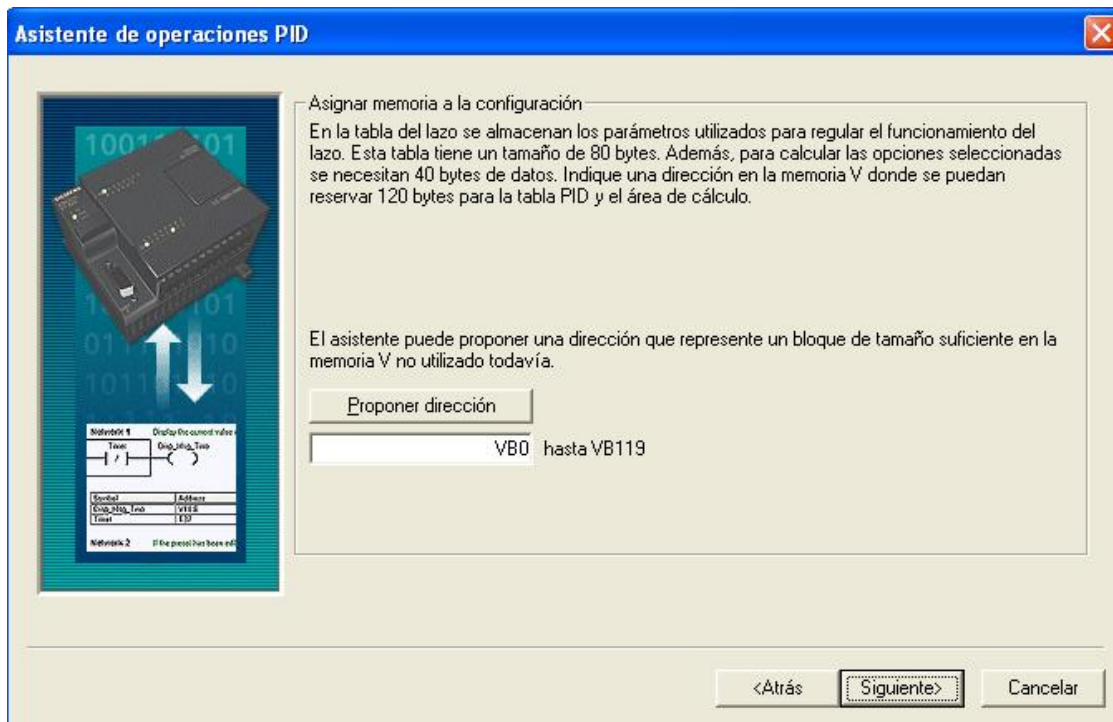


Figura 138. Asistente de operaciones – Cuadro 6

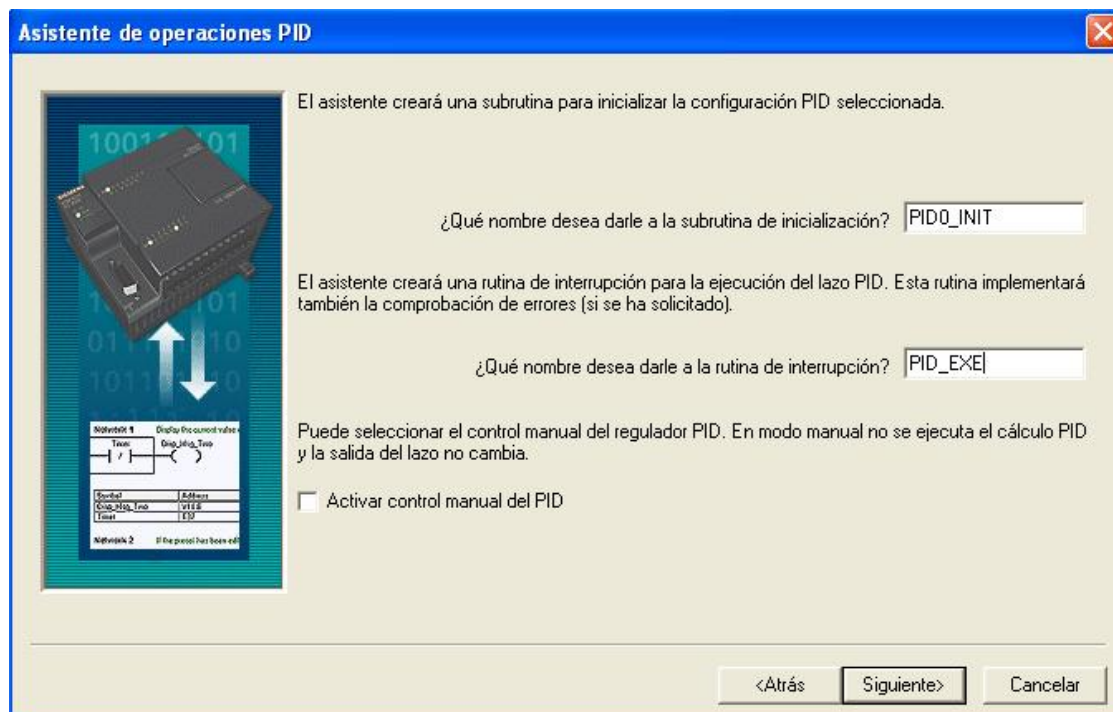


Figura 139. Asistente de operaciones – Cuadro 7

Se finaliza con el nombre de la configuración del respectivo lazo de control PID, y luego dar clic en finalizar, ver figura 140.

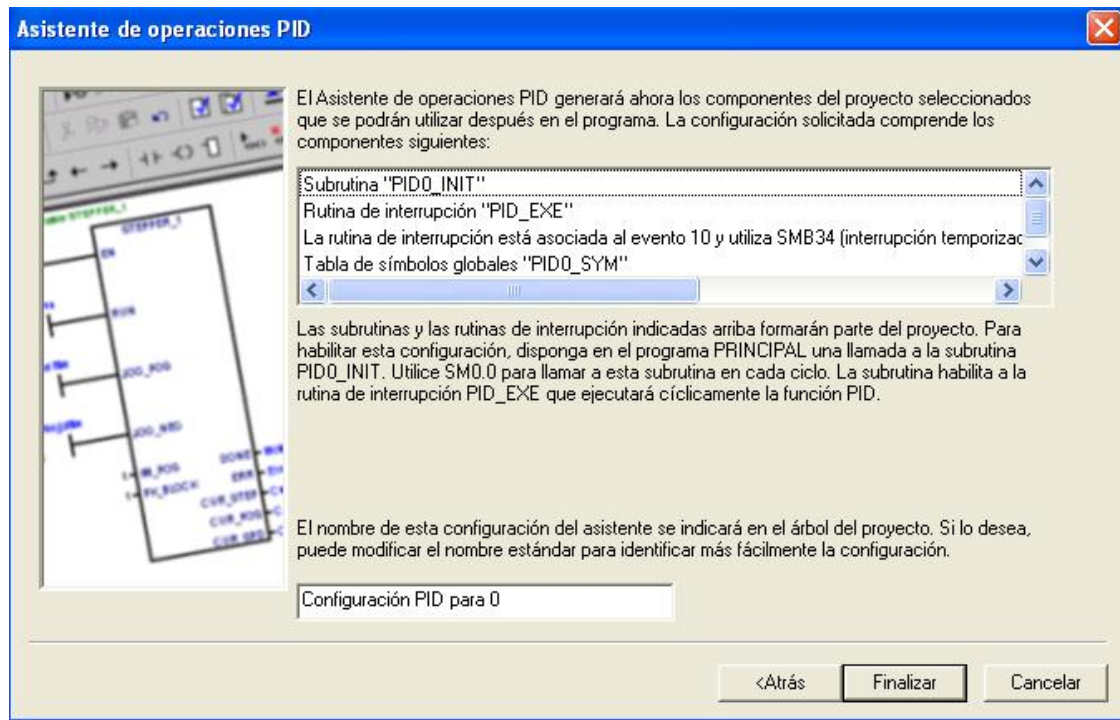


Figura 140. Asistente de operaciones – Cuadro 8

Seguidamente se enlistan las configuraciones realizadas para el lazo de control de posición y para el lazo de control de presión, ver tabla 11.

PARAMETROS	POSICION	PRESION
PID Nro	PID 0	PID 1
Limite inferior de la consigna de lazo	100	0
Limite superior de la consigna de lazo	700	3625
Ganancia	1.5	0.2
Tiempo de acción integral	0.2 min.	0.01 min.
Tiempo de acción derivativa	0.00 min.	0.00 min.
Tiempo de muestreo	0.1 seg.	0.1 seg.
Escalamiento entrada del lazo	Unipolar	Unipolar
Limite Inferior entrada del lazo	100	0
Limite Superior entrada del lazo	700	3625
Tipo de salida	Analógica	Analógica
Escalamiento salida del lazo	Bipolar	Bipolar
Limite Inferior salida del lazo	-27000	-27000
Limite Superior salida del lazo	32000	32000
Dirección Inicial	VB4	VB184
Dirección Final	VB123	VB303
Nombre subrutina de inicialización	POSICION	PRESION
Nombre rutina de interrupción	PID_EXE	PID_EXE
Nombre configuración del PID	Configuración PID para 0	Configuración PID para 1

Tabla 11. Parámetros PID

6.7. BLOQUES Y SUBRUTINAS EMPLEADAS.

El programa de control se configuro en base a los diagramas de bloques de los lazos de control en cada servomecanismo, de control de posición y de control de fuerza. El programa posee un bloque de programa principal, y las subrutinas POSICION (SBR1) y PRESION (SBR2), que corresponden a las subrutinas creadas por los asistentes de operaciones PID 0 (SBR1) y PID 1 (SBR2), además del asistente de visualizador de textos TD_CTRL_338 (SBR3) Y TD_ALM_338 (SBR4). También se crearon las subrutinas de interrupción PID_EXE, ver figura 141.



Figura 141. Árbol de operaciones

		Símbolo	Dirección	Comentario
1		POTENCIOMETRO	Vw0	POSICIN DEL CILINDRO
2		VALVULA	Vw2	SERVO-VALVULA
3		DISTANCIA	VD144	VALOR EN MILIMETRO DE POSICION DEL POTENCIOMETRO
4				
5		SET_POINT	VD126	PUNTO DE CONSIGNA
6		OK	VD148	OK1
7		ETAPA1	M1.0	ARRANQUE 1
8		ETAPA2	M1.1	ARRANQUE2
9		BOMBA_TORRE	Q0.4	BOMBA TORRE
10		VENTILADOR	Q0.5	VENTILADOR
11		BOMBA_PRINCIPAL	Q0.1	BOMBA PRINCIPAL
12		VALVULA_1	Q0.2	VALVULA DE SEGURIDAD
13		MANIFOLD	Q0.3	MONIFOLD
14		AVANCE_RAPIDO	M2.0	PID 0 AVANCE RAPIDO
15		AVANCE_LENTO	M2.1	PID 0 AVANCE LENTO
16		VALOR	VD358	VALOR DE SET POINT POSICION

Figura 142. Tabla de símbolos

En la figura 142 se observa la tabla de símbolos que corresponden a las direcciones de memoria y señales que emplea el programa de control, una sección del programa de control para el servomecanismo de control de posición se presenta en la figura 143. En los anexos de este material se incluyen los bloques y tablas de símbolos de los programas de control configurados para los dos servomecanismos con sus variaciones correspondientes a cada aplicación.

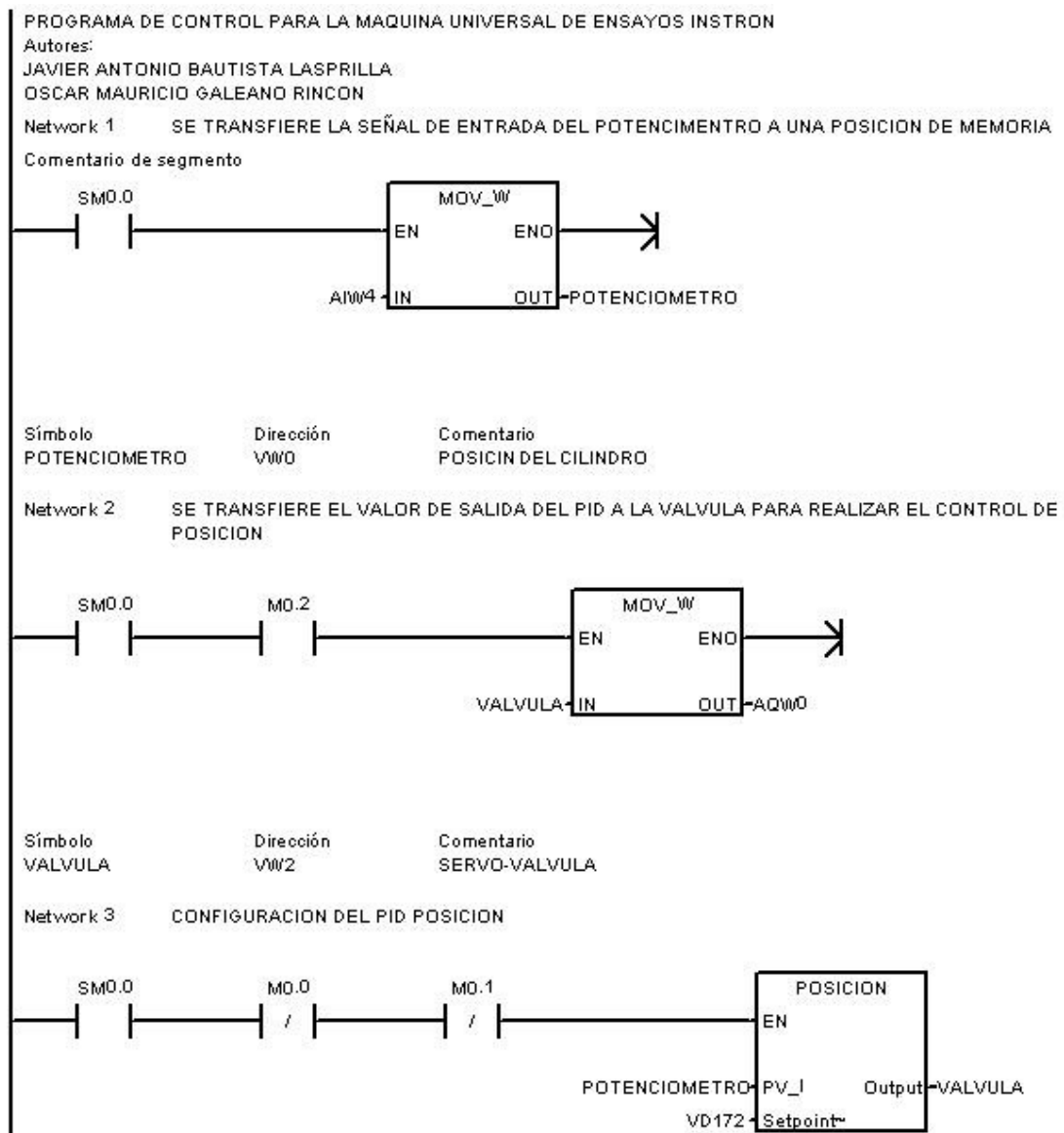


Figura 143. Programa de control

6.8. CONTROL DE SINTONIA PID.

STEP 7-Micro/WIN incorpora un panel de control de sintonía PID que permite vigilar gráficamente el comportamiento de los lazos PID. Además, este panel sirve para iniciar y detener la secuencia de autosintonía, así como para aplicar los valores de sintonía propuestos, o bien sus propios valores de sintonía.

Para poder utilizar el panel de control, se deberá haber establecido un enlace con una CPU S7-200 y en ésta deberá existir una configuración de un lazo PID generada con el asistente PID. La CPU deberá estar en modo RUN para que el funcionamiento PID pueda visualizarse en el panel de control, la figura 144 muestra la pantalla estándar del panel de control.

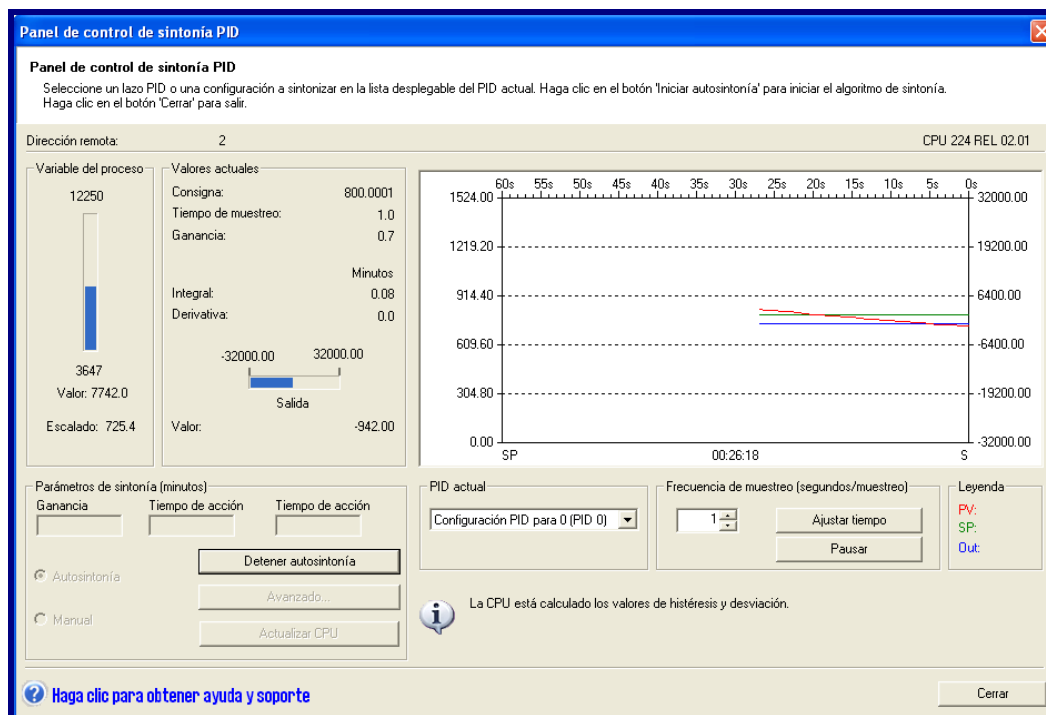


Figura 144. Panel de control de sintonía PID

La dirección de estación (“Dirección remota”) de la CPU de destino se visualiza en el lado izquierdo superior del panel de control. En el lado superior derecho se indican el tipo de CPU y el número de versión. Debajo del campo “Dirección remota”, el valor de la variable del proceso se representa en una barra vertical junto con sus valores escalados y no escalados. El área “Valores actuales” se encuentra inmediatamente a la derecha de la barra que representa la variable del proceso.

En el área “Valores actuales” se muestran el valor de la consigna, el tiempo de muestreo, la ganancia, el tiempo de acción integral y el tiempo de acción derivativa. El valor de la salida se visualiza en una barra horizontal junto con su valor numérico. A la derecha del área “Valores actuales” se encuentra un gráfico.

El gráfico muestra plots en color de la variable del proceso (PV), la consigna (SP) y la salida como función del tiempo. La PV y la SP comparten una misma escala vertical ubicada en el lado izquierdo del gráfico, en tanto que la escala vertical de la salida se encuentra en el lado derecho.

El área “Parámetros de sintonía (minutos)” está en el lado izquierdo inferior de la pantalla. Allí se visualizan los valores de la ganancia, así como del tiempo de acción integral y derivativa. Los botones de opción indican si se está visualizando el valor “Actual”, “Propuesto” o “Manual” de la ganancia, así como del tiempo de acción integral y derivativa. Si desea visualizar un origen diferente de estos valores, haga clic en el botón de opción deseado. Para modificar los parámetros de sintonía, haga clic en el botón de opción “Manual”.

Para transferir los valores visualizados de la ganancia, así como del tiempo de acción integral y derivativa a la CPU cuyo lazo PID se está vigilando, haga clic en el botón de comando “Actualizar CPU”. El botón de comando “Iniciar autosintonía” sirve para comenzar una secuencia de autosintonía. Una vez iniciada una secuencia, el botón “Iniciar autosintonía” se convertirá en el botón “Detener autosintonía”.

Inmediatamente debajo del gráfico se encuentra la lista desplegable "PID actual" en la que es posible seleccionar el lazo PID que se desea vigilar con el panel de control.

En el área "Frecuencia de muestreo" puede seleccionar la frecuencia de muestreo a visualizar en el gráfico. Ésta puede estar comprendida entre 1 y 480 segundos por muestreo. La frecuencia de muestreo se puede modificar. Pulse luego el botón "Ajustar tiempo" para aplicar el cambio. La escala de tiempo del gráfico se ajusta automáticamente para visualizar los datos de la mejor forma posible a la nueva frecuencia.

Si desea congelar el gráfico, haga clic en el botón "Pausar". Para reiniciar el muestreo a la frecuencia deseada, pulse el botón "Reanudar". Para borrar el gráfico, haga clic con el botón derecho del ratón en el mismo y elija el comando del menú contextual "Borrar".

A la derecha del área "Tiempo" se visualiza una leyenda que identifica los colores utilizados para plotear los valores de la variable del proceso, de la consigna y de la salida. Directamente debajo del área "PID actual" se muestran informaciones acerca de la operación que se está ejecutando actualmente. El botón "Avanzado..." en el área de los parámetros de sintonía sirve para configurar parámetros adicionales para el proceso de autosintonía. El cuadro de diálogo "Parámetros avanzados de sintonía PID" se muestra en la figura 145.

En ese cuadro de diálogo puede activar una casilla de verificación para que el autosintonizador determine automáticamente los valores de histéresis y de desviación (ajuste estándar), o bien introducir dichos valores directamente en los respectivos campos para minimizar la perturbación del proceso durante la autosintonía.

En el área "Opciones adicionales" puede indicar el tamaño del paso de salida inicial y el timeout de vigilancia de paso por cero.

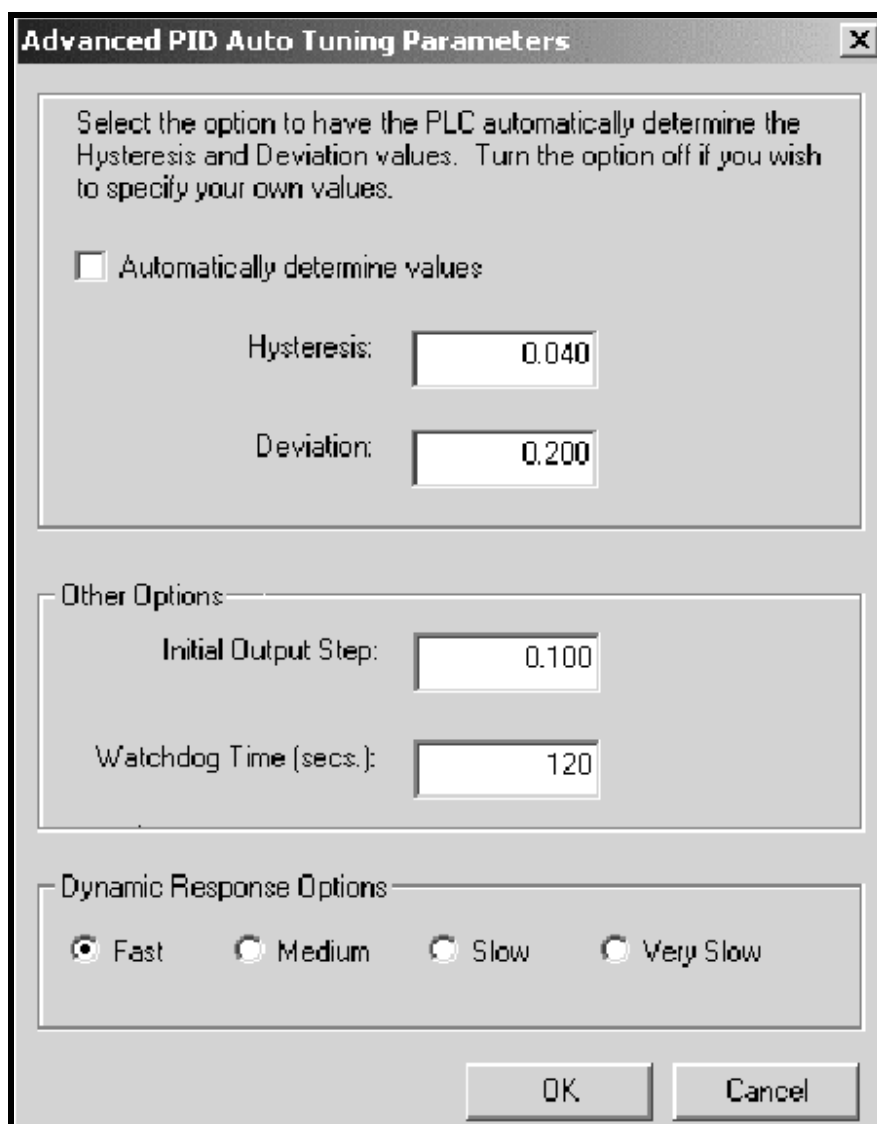


Figura 145. Parámetros avanzados

En el área “Opciones de respuesta dinámica”, haga clic en el botón de opción correspondiente al tipo de respuesta del lazo deseado para el proceso. Dependiendo del proceso, una respuesta rápida podría tener sobreimpulso, lo que correspondería a una condición de sintonía subamortiguada. Una respuesta media podría estar a punto de tener sobreimpulso, lo que correspondería a una condición de sintonía críticamente amortiguada. Una respuesta lenta podría no tener sobreimpulso, lo que correspondería a una condición de sintonía

sobreamortiguada. Una respuesta muy lenta podría no tener sobreimpulso, lo que correspondería a una condición de sintonía altamente sobreamortiguada.

Una vez efectuadas las selecciones deseadas, haga clic en “Aceptar” para regresar a la pantalla principal del panel de control de sintonía PID.

Tras completar la secuencia de autosintonía y transferir los parámetros de sintonía propuestos a la CPU, podrá utilizar el panel de control para vigilar la respuesta del lazo a un cambio de la consigna. La figura 146 muestra la respuesta del lazo a un cambio de la consigna (12000 a 14000) con los parámetros de sintonía originales (es decir, antes de ejecutar la autosintonía). Observe el sobreimpulso y el comportamiento del proceso con oscilaciones amortiguadas al utilizar los parámetros de sintonía originales.

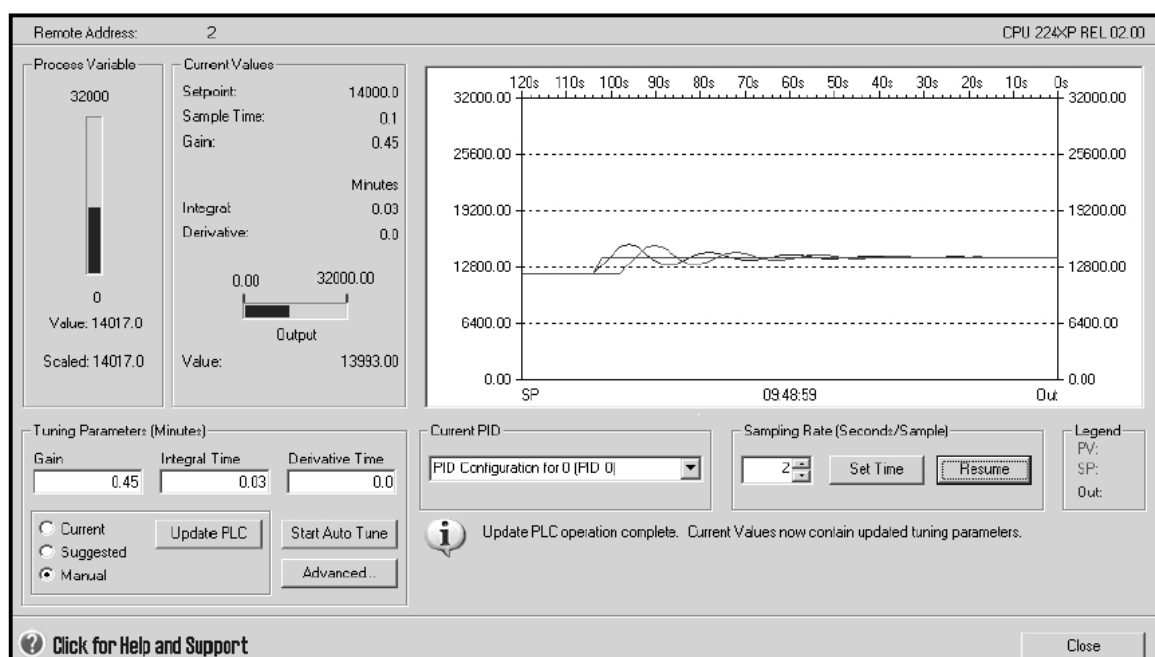


Figura 146. Respuesta a un cambio de consigna

La figura 147 muestra la respuesta del lazo al mismo cambio de la consigna (12000 a 14000) tras aplicar los valores determinados por el proceso de autosintonía utilizando una respuesta rápida. Tenga en cuenta que en este proceso no hay sobreimpulso, sino sólo oscilaciones amortiguadas muy leves. Si

desea eliminar estas oscilaciones a costa de la velocidad de respuesta, deberá seleccionar una respuesta media o lenta y ejecutar de nuevo el proceso de autosintonía.

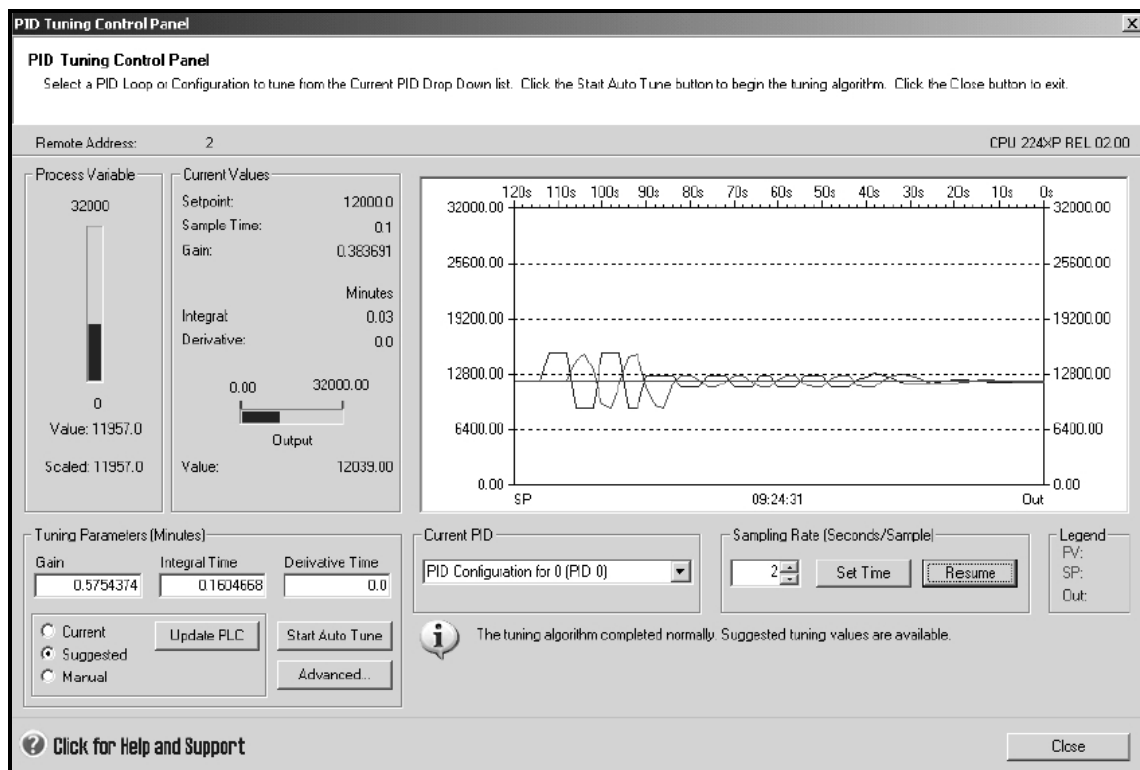


Figura 147. Respuesta tras el proceso de autosintonía

Cuando tenga un buen punto de partida para los parámetros de sintonía del lazo, podrá utilizar el panel de control para modificarlos ligeramente. A continuación, podrá vigilar la respuesta del lazo a un cambio de la consigna. De esta manera podrá sintonizar finamente el proceso y obtener así una respuesta óptima en la aplicación.

6.8.1. Ajuste De Parámetros Del Regulador PID. Una de las principales ventajas de los controladores PID es que los parámetros proporcional integral y derivativo se pueden ajustar empíricamente con lo cual no es necesario elaborar un modelo de la planta y de la realimentación. Esto a su vez se puede entender como un

inconveniente ya que al ser empíricos (prueba y error) en alguno de los tanteos la salida de la planta puede caer en valores catastróficos.

6.8.2. Ajuste Por Error Y Ensayo. Este es un procedimiento empírico sugerido por varios fabricantes de controladores y se realiza con el sistema en lazo cerrado.

Los siguientes pasos describen el procedimiento:

- Elimine la acción integral y la acción derivativa colocando T_i en su valor máximo y T_d en su valor mínimo.
- Coloque K_p en un valor bajo.
- Incremente la ganancia del controlador (K_p) lentamente hasta que la respuesta sea una oscilación continua, ante pequeños cambios en la señal de referencia. Una oscilación continua es una oscilación con amplitud constante.
- Reduzca K_p por un factor de dos.
- Disminuya T_i lentamente hasta que ocurra nuevamente una oscilación continua. Haga T_i igual a tres veces ese valor
- Aumente T_d hasta que ocurre una oscilación continua. Haga T_d igual a un tercio de ese valor.
- El valor de K_p que resulta en el paso 3 se conoce como ganancia última (K_{pu}), y es el valor de la ganancia que coloca al sistema al borde de la inestabilidad.

Desventajas del procedimiento de error y ensayo.

- Se consume mucho tiempo porque se requiere de un gran número de ensayos para optimizar los valores de K_p , T_i y T_d o si las dinámicas de los procesos son demasiado lentas.
- Una oscilación continua puede producir efectos no deseados en el proceso.

- Este procedimiento no es aplicable a procesos que son inestables en lazo cerrado.
- Algunos procesos pueden no tener una ganancia última.

6.8.3. Desarrollo Del Ajuste De Parámetros Para Las Configuraciones PID. A continuación se muestra parte de la secuencia de ensayos realizada para el PID 0 (posición) y PID 1 (presión), mostrando los valores finales obtenidos. Fig. 148 y 149.

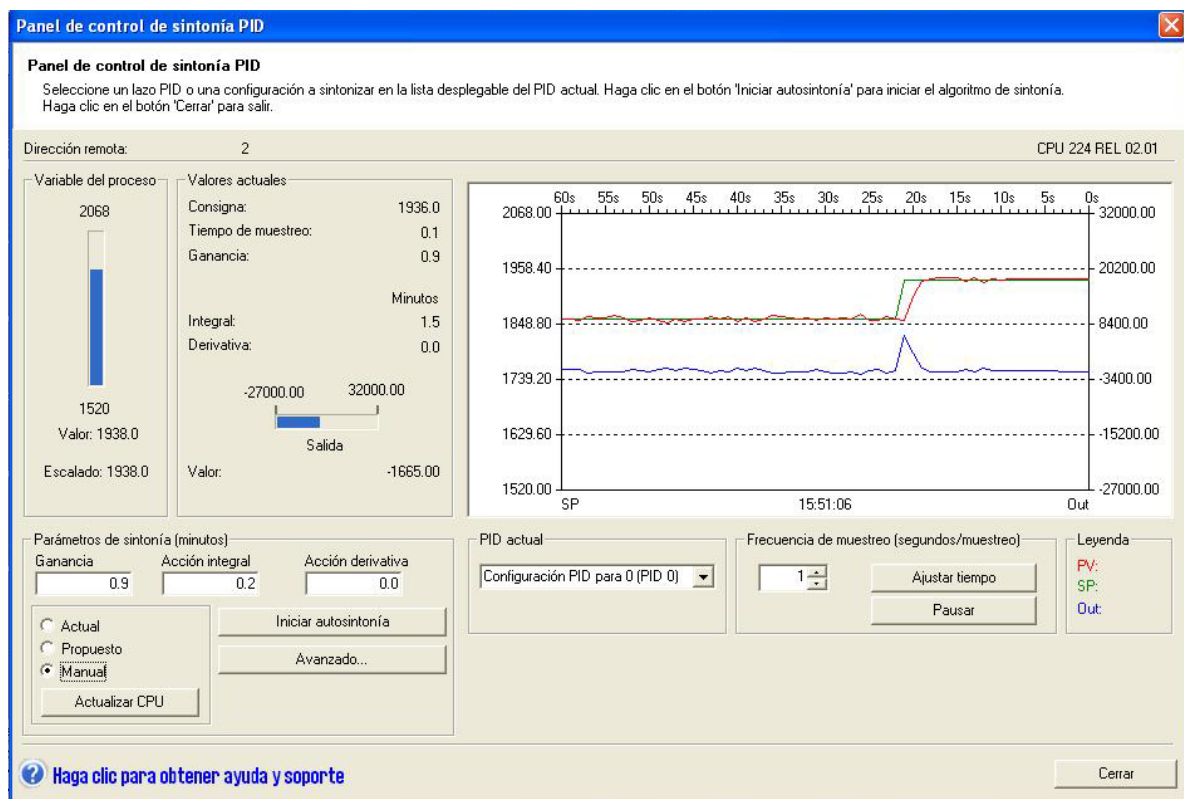


Figura 148. Proceso de autosintonía PID 0 (posición).

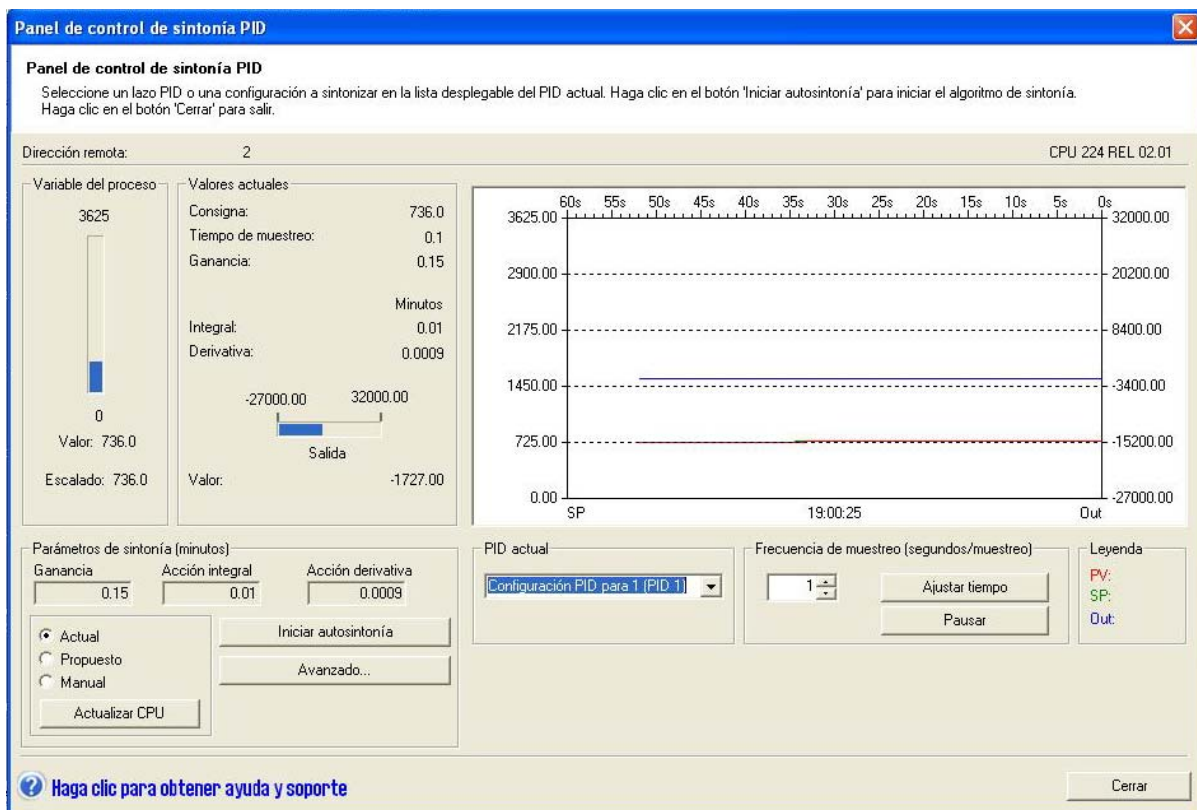


Figura 149. Proceso de autosintonía PID 1 (presión).

6.8.4. Visualización. Para la comunicación entre el PLC y el usuario se dispone del visualizador de textos SIEMENS TD 200C.

El TD 200C son visualizadores de textos de 2 líneas de 20 caracteres cada una que se pueden conectar al S7-200. El asistente del TD 200C sirve para programar el S7-200 de manera que se visualicen mensajes de texto y otros datos pertinentes a la aplicación.

El TD 200 y el TD 200C son aparatos de bajo costo que permiten visualizar, observar y cambiar variables del proceso de la aplicación. Fig. 150.

El asistente de configuración del TD 200 incorporado en STEP 7-Micro/WIN le ayuda a configurar los mensajes del TD 200 de forma rápida y sencilla. Para iniciar el asistente, elija el comando de menú **Herramientas > Asistente del TD 200**.



Figura 150. Visualizador de texto TD 200.

Las fases para la programación de visualizador de textos son, en primera instancia se selecciona el tipo de visualizador de textos tal como se muestra en la figura 151, el idioma que se desea emplear, el juego de caracteres, configuración de botones del teclado ya sea la preestablecida o utilizar un teclado personalizado, asignación de la configuración de memoria. Finalmente se crean los componentes necesarios para después ser usados en el programa.

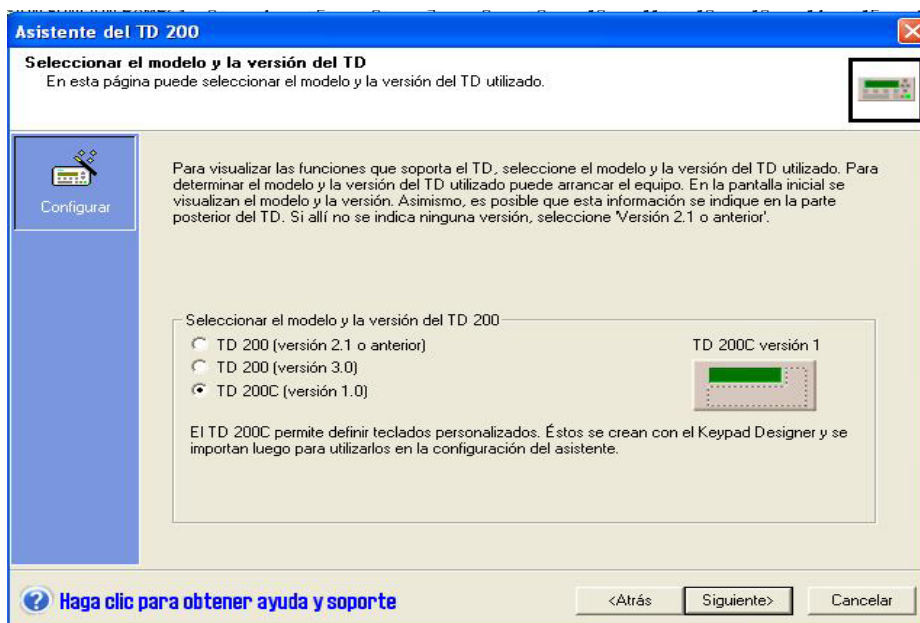


Figura 151. Asistente del TD 200 – Cuadro 1.

El TD 200C soporta un menú personalizado con varias pantallas que pueden utilizarse para visualizar instrucciones del operador. El menú personalizado está compuesto por cuatro componentes cada uno de ellos puede conducir a 8 pantallas. Una pantalla puede incluir referencias a los datos de la CPU e iconos gráficos. Fig. 152.

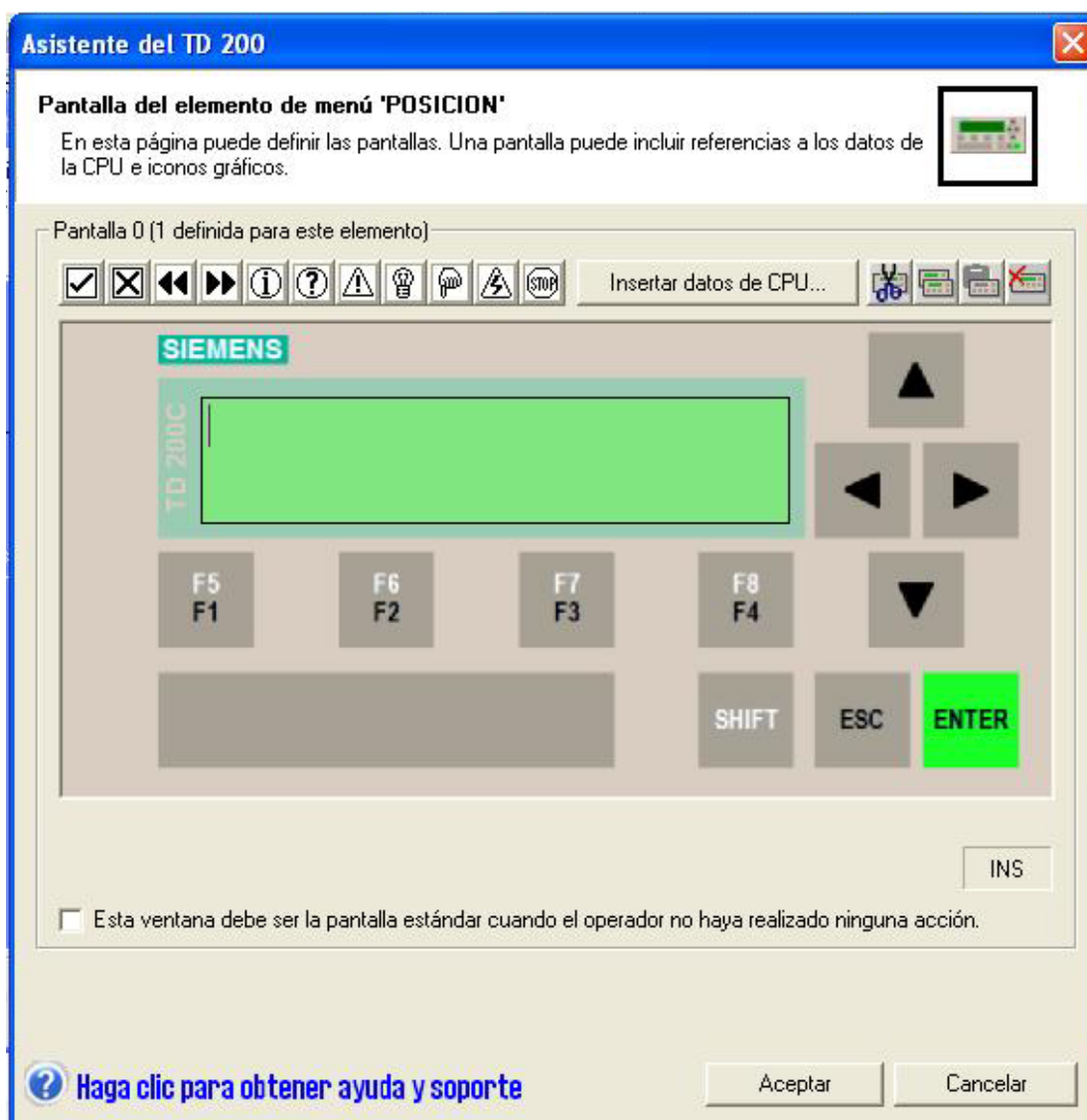


Figura 152. Asistente del TD 200 – Cuadro 2.

Para visualizar datos o variables del programa de la CPU se debe configurar la dirección proveniente de los datos de la CPU ya sean estáticos o que cambien a medida que se desarrolla el proceso, es decir según la variable establecida en el programa de control que se desee mostrar, se debe de determinar la dirección cuando se esté programando la pantalla de modo que se permite visualizar el valor que se desee, ver figura 153, para la aplicación se desean visualizar dos valores. Primero el valor deseado de posición (*Set Point*), además el valor de posición actual o real del cilindro principal, esta opción se realiza mediante el botón “insertar datos de CPU”.

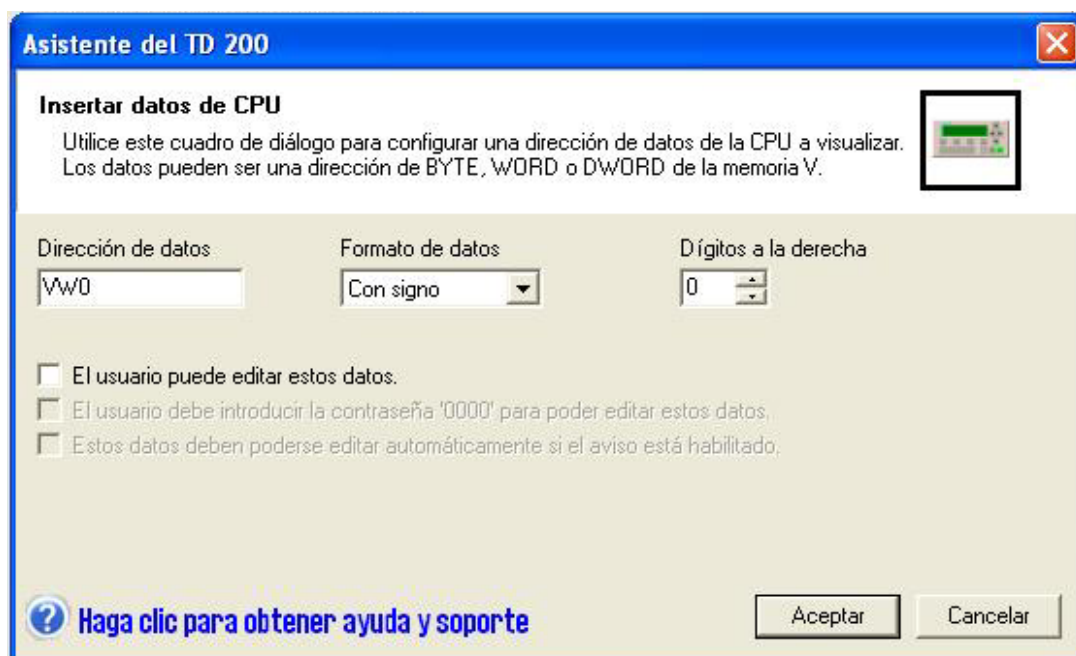


Figura 153. Asistente del TD 200 – Cuadro 2.

En la pantalla que se despliega para insertar datos se debe escribir la dirección donde se encuentra almacenado el valor que deseamos sea visualizado, de igual manera existe la opción si desea agregar símbolo al valor y el número de dígitos a visualizar.

Como alternativa de visualización se desarrollo un sistema scada (WinCC flexible 2005) el cual se ejecuta directamente desde el computador, a continuación

mostramos imágenes sobre la edición del sistema scada (ver Figuras 154 y 155) e imágenes finales del ejecutable o runtime, este último se conforma de cinco pantallazos, el primero e inicial es para el encendido de la maquina y escoger el tipo de prueba que se desea realizar (Figura 156), los otros cuatros corresponden a las pruebas de Posición (Fig. 157), Presión (Fig. 158), Compresión (Fig. 159) y Tensión (Fig. 160).

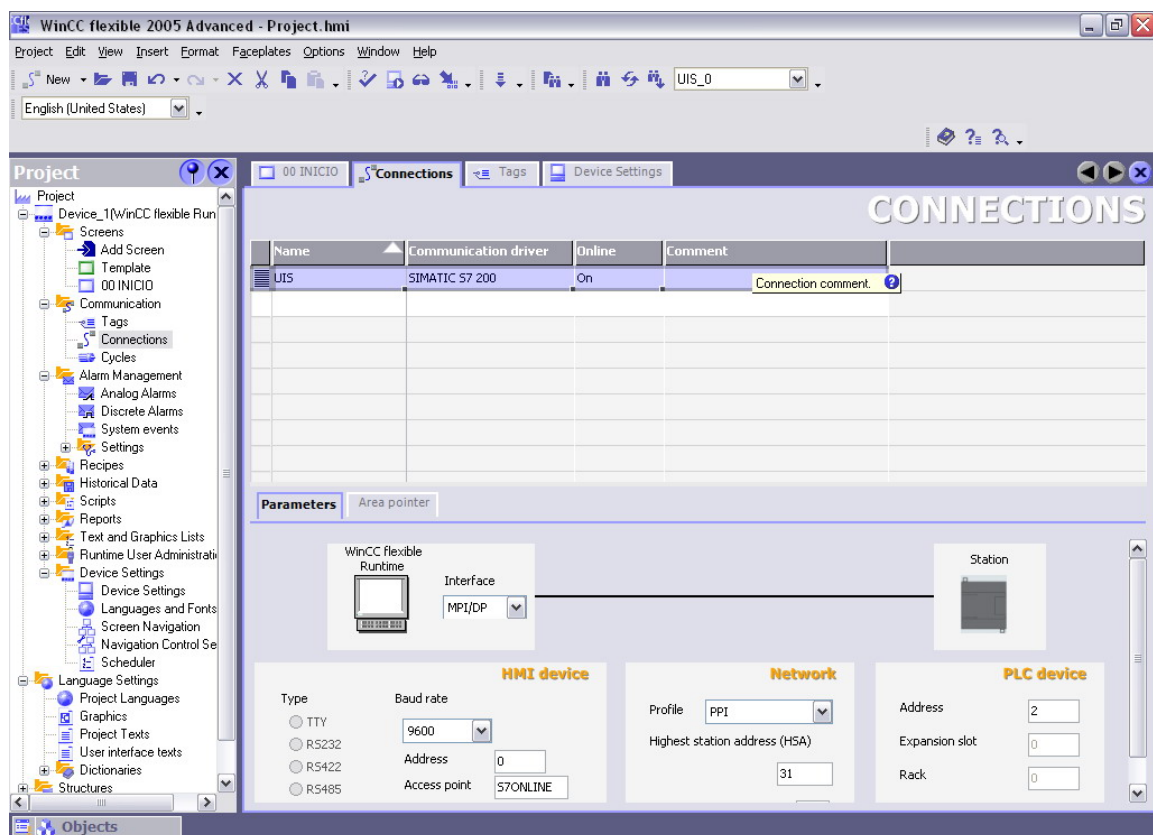


Figura 154. Dibujando Scada.

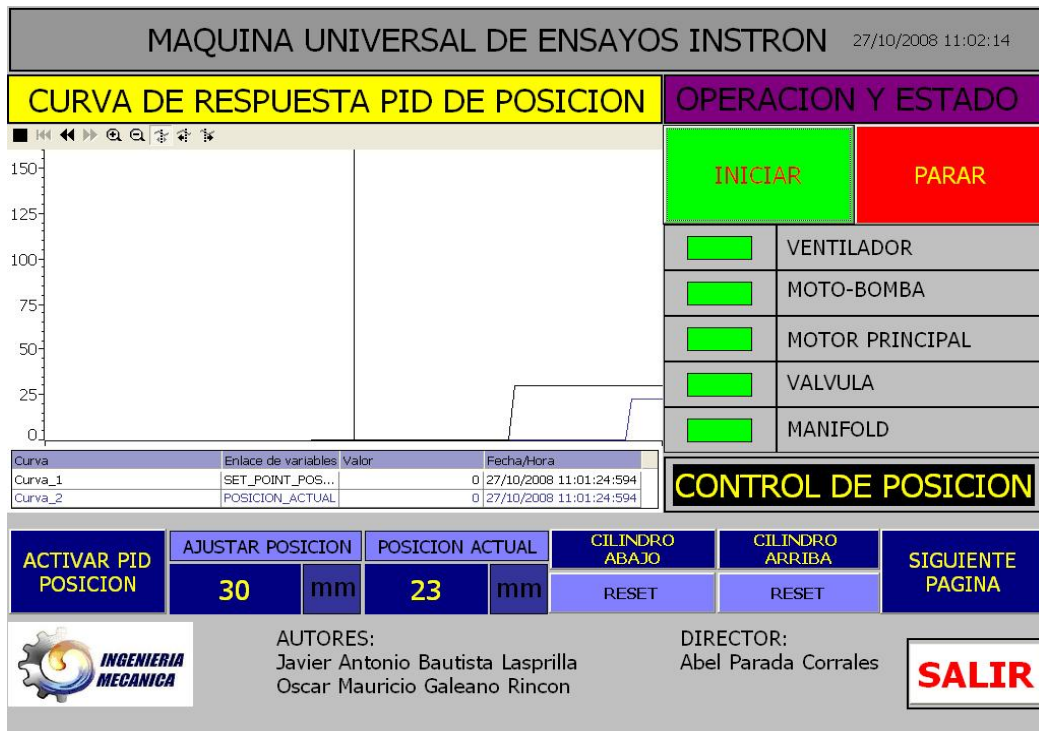


Figura 155. Encendido Maquina y Prueba de Posición.

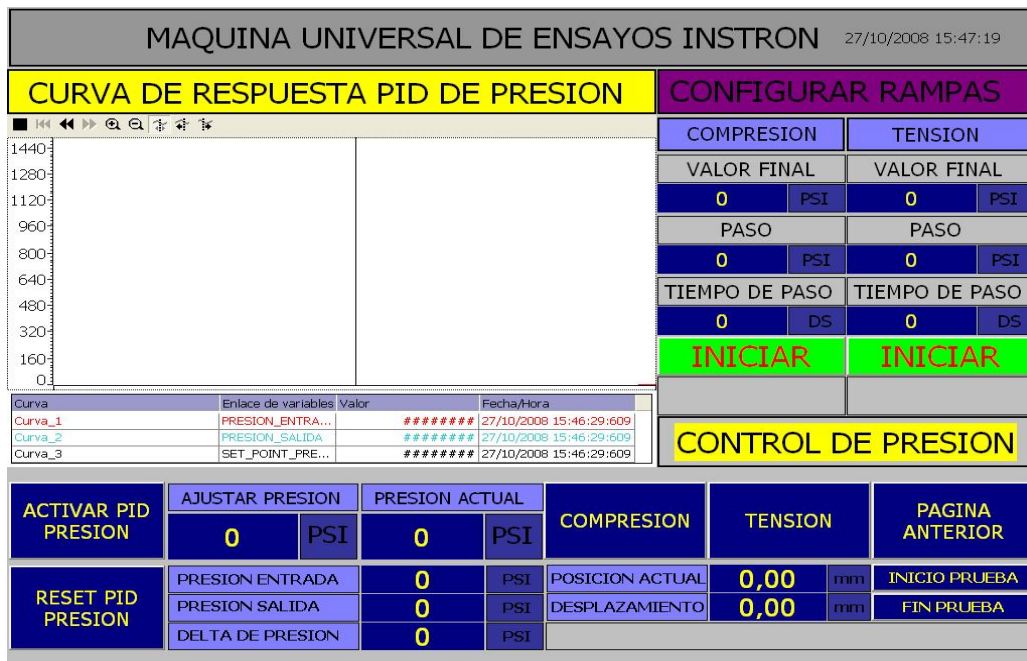


Figura 156. Prueba de Compresión y Tensión.

7. PRUEBAS

7.1. CONTROL DE POSICION.

Consiste en obtener posiciones de la carrera del actuador por medio de un sistema de control de lazo cerrado configurado con un controlador PID.

Procedimiento

- Alimentar todos los dispositivos que se usaran en la práctica:




Cambiar a modo ON los tacos que permiten la entrada de alimentación para el tablero de control.

- Verificar conexión de la servovalvula, el transductor de posición (Sensor Magnetorestrictivo de Posición) y el cable PC/PPI, con el tablero de control.
- Cambiar a modo automático el panel de control utilizando su respectiva llave.
- Ejecutar el archivo "PROGRAMA MAQUINA INSTRON" del programa Micro/Win.
- Ajustar interface PG/PC. (Barra de Navegación)



- Establecer comunicación entre el computador y la CPU 224. (Barra de Navegación)



- Compilar programa. (Barra de herramientas Estándar) 
- Cargar programa en CPU 224. (Barra de herramientas Estándar) 
- Correr programa "RUN". (Barra de herramientas Test) 
- Ver tabla de estado. (Barra de Navegación)



- Actualizar por medio de “estado de tabla”. (Barra de herramientas Test)
- Encender “ETAPA 1”, la cual enciende de forma progresiva y automática el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento, y el motor de la bomba principal, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Encender “ETAPA 2”, la cual activa de forma progresiva y automática la válvula de seguridad y el manifold, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Ya encendida la maquina, activar la marca M0.2, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test) , con esta marca activada se habilita el PID de posición.
- Como parámetros iniciales debemos tener en cuenta las siguientes variables.

VD1004	0.2
VD1008	0.15
VD1012	0.9
VD1016	0.9

- Para posicionar la carrera del actuador a una distancia requerida ingrese el valor deseado en mm (Carrera del actuador 0-150mm) en la columna “nuevo valor” del renglón “VALOR” y luego “escribir todo”, a continuación active la marca M2.2 colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo”.
- Para realizar una nueva prueba, desactive la marca M2.2 colocando en la columna de nuevo valor “0” y luego “escribir todo”, seguidamente realice el mismo procedimiento citado en el punto anterior.
- Con la marca M0.1 activada el cilindro se posiciona en su extremo superior.
- Con la marca M0.0 activada el cilindro se posiciona en su extremo inferior.

A continuación presentamos la tabla de estado para diferentes posiciones.

CILINDRO EN EXTREMO SUPERIOR

DIRECCION	FORMATO	VALOR ACTUAL
POTENCIOMETRO	Con signo	2160
VALVULA	Con signo	32000
BOMBA_TORRE	Bit	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1
BOMBA_PRINCIPAL	Bit	2#1
VALVULA_1	Bit	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1
SET_POINT	Con signo	0
M0.0	Bit	2#0
M0.1	Bit	2#1
DISTANCIA	Coma flotante	1.778.351
OK	Con signo	178
M0.2	Bit	2#1
M0.3	Bit	2#0
ETAPA1	Bit	2#1
ETAPA2	Bit	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	0.9
PID0_SampleTime	Coma flotante	0.1
PID0_I_Time	Coma flotante	0.1
AVANCE_RAPIDO	Bit	2#0
AVANCE_LENTO	Bit	2#0
VALOR	Con signo	0
M2.2	Bit	2#0
M2.3	Bit	2#0
VD1004	Coma flotante	0.2
VD1008	Coma flotante	0.15
VD1012	Coma flotante	0.9
VD1016	Coma flotante	0.9



Figura 157. Cilindro en extremo superior.

CILINDRO EN EXTREMO INFERIOR

DIRECCION	FORMATO	VALOR ACTUAL
POTENCIOMETRO	Con signo	1605
VALVULA	Con signo	-27000
BOMBA_TORRE	Bit	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1
BOMBA_PRINCIPAL	Bit	2#1
VALVULA_1	Bit	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1
SET_POINT	Con signo	0
M0.0	Bit	2#1
M0.1	Bit	2#0
DISTANCIA	Coma flotante	3.479.381
OK	Con signo	35
M0.2	Bit	2#1
M0.3	Bit	2#0
ETAPA1	Bit	2#1
ETAPA2	Bit	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	0.9
PID0_SampleTime	Coma flotante	0.1
PID0_I_Time	Coma flotante	0.1
AVANCE_RAPIDO	Bit	2#0
AVANCE_LENTO	Bit	2#0
VALOR	Con signo	0
M2.2	Bit	2#0
M2.3	Bit	2#0
VD1004	Coma flotante	0.2
VD1008	Coma flotante	0.15
VD1012	Coma flotante	0.9
VD1016	Coma flotante	0.9



Figura 158. Cilindro en extremo inferior.

CILINDRO EN POSICION INTERMEDIA

DIRECCION	FORMATO	VALOR ACTUAL
POTENCIOMETRO	Con signo	1859
VALVULA	Con signo	-1719
BOMBA_TORRE	Bit	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1
BOMBA_PRINCIPAL	Bit	2#1
VALVULA_1	Bit	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1
SET_POINT	Con signo	100
M0.0	Bit	2#0
M0.1	Bit	2#0
DISTANCIA	Coma flotante	1.002.577
OK	Con signo	100
M0.2	Bit	2#1
M0.3	Bit	2#0
ETAPA1	Bit	2#1
ETAPA2	Bit	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	0.9
PID0_SampleTime	Coma flotante	0.1
PID0_I_Time	Coma flotante	0.1
AVANCE_RAPIDO	Bit	2#0
AVANCE_LENTO	Bit	2#0
VALOR	Con signo	100
M2.2	Bit	2#1
M2.3	Bit	2#0
VD1004	Coma flotante	0.2
VD1008	Coma flotante	0.15
VD1012	Coma flotante	0.9
VD1016	Coma flotante	0.9



Figura 159. Cilindro en posición intermedia.

CILINDRO EN POSICION INTERMEDIA

DIRECCION	FORMATO	VALOR ACTUAL
POTENCIOMETRO	Con signo	1671
VALVULA	Con signo	-2004
BOMBA_TORRE	Bit	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1
BOMBA_PRINCIPAL	Bit	2#1
VALVULA_1	Bit	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1
SET_POINT	Con signo	50
M0.0	Bit	2#0
M0.1	Bit	2#0
DISTANCIA	Coma flotante	5.080.412
OK	Con signo	50
M0.2	Bit	2#1
M0.3	Bit	2#0
ETAPA1	Bit	2#1
ETAPA2	Bit	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	0.9
PID0_SampleTime	Coma flotante	0.1
PID0_I_Time	Coma flotante	0.1
AVANCE_RAPIDO	Bit	2#0
AVANCE_LENTO	Bit	2#0
VALOR	Con signo	100
M2.2	Bit	2#1
M2.3	Bit	2#0
VD1004	Coma flotante	0.2
VD1008	Coma flotante	0.15
VD1012	Coma flotante	0.9
VD1016	Coma flotante	0.9



Figura 160. Cilindro en posición intermedia (a).

7.2. CONTROL DE PRESION.

Consiste en obtener puntos de equilibrio (presión determinada para la cual el actuador mantiene su posición estable por control de presión) del actuador en diferentes posiciones por medio de un sistema de control de lazo cerrado configurado con un controlador PID.

Procedimiento

- Alimentar todos los dispositivos que se usaran en la práctica:

Cambiar a modo ON los tacos que permiten la entrada de alimentación para el tablero de control.

- Verificar conexión de la servovalvula, el transductor de posición (potenciómetro lineal), los transductores de presión y el cable PC/PPI, con el tablero de control.
- Cambiar a modo automático el panel de control utilizando su respectiva llave.
- Ejecutar el archivo "PROGRAMA MAQUINA INSTRON" del programa Micro/Win.
- Ajustar interface PG/PC. (Barra de Navegación)



- Establecer comunicación entre el computador y la CPU 224. (Barra de Navegación)



- Compilar programa. (Barra de herramientas Estándar)
- Cargar programa en CPU 224. (Barra de herramientas Estándar)
- Correr programa "RUN". (Barra de herramientas Test)
- Ver tabla de estado. (Barra de Navegación)
- Actualizar por medio de "estado de tabla". (Barra de herramientas Test)

- Encender “ETAPA 1”, la cual enciende de forma progresiva y automática el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento, y el motor de la bomba principal, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Encender “ETAPA 2”, la cual activa de forma progresiva y automática la válvula de seguridad y el manifold, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Como parámetros iniciales debemos tener en cuenta las siguientes variables.

VW504	150
VD600	0.2
VD604	0.15
VD1004	0.2
VD1008	1.5
VD1012	0.9
VD1016	0.9

- Ya encendida la maquina, activar la marca M0.2, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test) , con esta marca activada se habilita el PID de posición.
- Para posicionar la carrera del actuador a una distancia requerida ingrese el valor deseado en mm (Carrera del actuador 0-150mm) en la columna “nuevo valor” del renglón “VALOR” y luego “escribir todo”, a continuación active la marca M2.2 colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo”.
- Después de ubicar el cilindro en la posición requerida o deseada, continuamos con el proceso para controlar el cilindro por presión, debemos tener en cuenta algunos valores en ciertas marcas, las cuales referenciamos a continuación.

M0.0	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- En este instante el cilindro se encuentra retraído hacia su extremo inferior, para realizar la prueba, active la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor “1” y luego “escribir todo”, seguidamente observe el valor generado en la casilla VD332, la cual indica el valor de presión actual en la parte inferior del cilindro, el máximo valor generado allí ingréselo en la casilla VD310 y en la casilla VD500 ingrese el mismo valor de VD310 pero aumentado en cuatro.
- Realice el mismo procedimiento citado en el punto anterior, pero con los valores de VD332, VD310, Y VD500, actuando en el control de presión.

M0.0	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- Para realizar una nueva prueba, desactive la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor “0” y luego “escribir todo”, seguidamente realice el mismo procedimiento citado en el punto anterior y en cualquier distancia requerida.

A continuación presentamos la tabla de estado para diferentes presiones.

DIRECCIÓN	FORMATO	VALOR ACTUAL "1"	VALOR ACTUAL "2"	VALOR ACTUAL "3"	VALOR ACTUAL "4"	VALOR ACTUAL "5"
VALVULA	Con signo	31792	-27000	-27000	-27000	31941
BOMBA TORRE	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
BOMBA PRINCIPAL	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
VALVULA	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
SET_POINT	Con signo	75	75	75	75	75
M0.0	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.1	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
DISTANCIA	Coma flotante	7.030.81	9.663.866	1.086.835	9.495.798	5.490.196
OK	Con signo	70	97	109	95	55
VD172	Coma flotante	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0
VD310	Con signo	776	760	740	724	736
M0.2	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.3	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
VW318	Con signo	-1679	-1698	-1709	-1730	-1728
AIW0	Con signo	11931	11823	11684	11575	11648
AIW2	Con signo	11867	11759	11606	11498	11582
AQW0	Con signo	-1679	-1698	-1709	-1730	-1728
VD332	Coma flotante	772.0	756.0	740.0	724.0	732.0
VD500	Coma flotante	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0
M0.4	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
M0.5	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
PID1 Table	Sin signo	62	62	62	62	62
PID1_SP	Coma flotante	0.214069	0.2096552	0.2041379	0.1997241	0.2030345
PID1 Output	Coma flotante	0.429151	0.4288456	0.4286644	0.4283025	0.4283337
PID1_Gain	Coma flotante	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
VW504	Con signo	150	150	150	150	150
M0.6	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
ETAPA1	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1

ETAPA2	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
PID0 Sample Time	Coma flotante	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PID0 I_Time	Coma flotante	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AVANCE RAPIDO	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
AVANCE LENTO	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
VD350	Con signo	74	60	68	75	75
VD354	Con signo	74	60	68	75	75
VALOR	Con signo	75	75	75	75	75
M2.2	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
M2.3	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
OK	Con signo	70	96	109	95	55
SET_POINT	Con signo	75	75	75	75	75

7.3. PRUEBA DE COMPRESION.

Consiste en ejercer presión en el lado inferior del cilindro de tal manera que se logre comprimir una probeta de distintas características entre ellas tipo de material, longitud y diámetro, por medio de un sistema de control de lazo cerrado configurado con un controlador PID.

Procedimiento

- Alimentar todos los dispositivos que se usaran en la práctica:
- Cambiar a modo ON los tacos que permiten la entrada de alimentación para el tablero de control.
- Verificar conexión de la servovalvula, el transductor de posición (potenciómetro lineal), los transductores de presión y el cable PC/PPI, con el tablero de control.
 - Cambiar a modo automático el panel de control utilizando su respectiva llave.

- Ejecutar el archivo “COMPRESION FUNCION RAMPA OK (Final)” del programa Micro/Win.

- Ajustar interface PG/PC. (Barra de Navegación)



- Establecer comunicación entre el computador y la CPU 224. (Barra de Navegación)



- Compilar programa. (Barra de herramientas Estándar)
- Cargar programa en CPU 224. (Barra de herramientas Estándar)
- Correr programa “RUN”. (Barra de herramientas Test)

- Ver tabla de estado. (Barra de Navegación)



- Actualizar por medio de “estado de tabla”. (Barra de herramientas Test)
- Encender “ETAPA 1”, la cual enciende de forma progresiva y automática el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento, y el motor de la bomba principal, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Encender “ETAPA 2”, la cual activa de forma progresiva y automática la válvula de seguridad y el manifold, colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo” (Barra de herramientas Test).
- Como parámetros iniciales debemos tener en cuenta las siguientes variables.

VW504	150
VD600	0.2
VD604	0.15
VD1004	0.2
VD1008	1.5
VD1012	0.9
VD1016	0.9

- Ya encendida la maquina, activar la marca M0.2, colocando en la casilla de nuevo valor "1" y luego "escribir todo" (Barra de herramientas Test), con esta marca activada se habilita el PID de posición.
- Para posicionar la carrera del actuador a una distancia requerida ingrese el valor deseado en mm (Carrera del actuador 0-150mm) en la columna "nuevo valor" del renglón "VALOR" y luego "escribir todo", a continuación active la marca M2.2 colocando en la casilla de nuevo valor "1" y luego "escribir todo".
- Después de ubicar el cilindro en la posición requerida o deseada, continuamos con el proceso para controlar el cilindro por presión, debemos tener en cuenta algunos valores en ciertas marcas, las cuales referenciamos a continuación.

M0.0	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- En este instante el cilindro se encuentra retraído hacia su extremo inferior, para realizar la prueba, active la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor "1" y luego "escribir todo", seguidamente observe el valor generado en la casilla VD332, la cual indica el valor de presión actual en la parte inferior del cilindro, el máximo valor generado allí ingréselo en la casilla VD310 y en la casilla VD500 ingrese el mismo valor de VD310 pero aumentado en cuatro.

- Realice el mismo procedimiento citado en el punto anterior, pero con los valores de VD332, VD310, y VD500, actuando en el control de presión.

M0.0	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- En este instante controlamos el cilindro por presión, ubicamos el cilindro en la posición necesaria para poder instalar la probeta requerida en las mordazas.
- A continuación ejecutamos la función rampa, para lo cual debemos tener en cuenta los siguientes parámetros.

DIRECCIÓN	FORMATO	COMENTARIO
M12.0	Bit	<i>Da inicio a la función RAMPA</i>
VALOR FINAL DE PRESION	Con signo	<i>Valor de presión al cual queremos llegar</i>
PASO	Con signo	<i>Valor secuencial agregado para llegar a la presión final</i>
TIEMPO DE SET PRESION	Con signo	<i>Tiempo de espera para agregar el PASO (valor en milisegundos)</i>

- Para realizar una nueva prueba, desactive la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor “0” y luego “escribir todo”, seguidamente realice el mismo procedimiento citado en los siete puntos anteriores.

A continuación presentamos la tabla de estado para diferentes pruebas de compresión.

VALVULA	- 18711	- 26941	- 27000	- 26915	- 27000	- 26889	- 27000	- 26915	- 27000	- 26931	- 27000	- 26969
BOMBA TORRE	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
VENTILADOR	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
BOMBA PRINCIPAL	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
VALVULA_1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
MANIFOLD	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
M0.0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.1	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
DISTANCIA	7.843. 137	7.871. 149	7.871. 149	789.9 16	7.871. 149	7.955. 182	7.927. 171	7.983. 193	8.067. 227	8.403. 362	859. 944	1.016 .807
OK	78	79	79	79	79	80	79	80	81	84	86	102
VD310	780	820	860	900	940	980	1020	1060	1100	1140	1180	1200
M0.2	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.3	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
VD332	780.0	820.0	860.0	900.0	940.0	976.0	1020. 0	1056. 0	1096. 0	1136. 0	1180. 0	1.195 .375
VD500	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788.0	788. 0	788.0
M0.4	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
M0.5	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
PID1_SP	0.215 1724	0.226 2069	0.237 2414	0.248 2759	0.259 3103	0.270 3448	0.281 3793	0.292 4138	0.303 4483	0.303 4483	0.32	0.32
PID1_Gain	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
VW504	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
M0.6	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
ETAPA1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
ETAPA2	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#0
PID0_Gain	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
PID0 SampleTime	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PID0_I_Time	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AVANCE RAPIDO	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
AVANCE LENTO	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
VD350	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
VD354	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
VALOR	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
M2.2	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
M2.3	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0	2#0
VD600	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

VD604	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
VD1004	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
VD1008	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
VD1012	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
VD1016	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
M12.0	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1	2#1
VALOR FINAL_DE PRESION	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
PASO	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
TIEMPO DE SET PRESION	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50





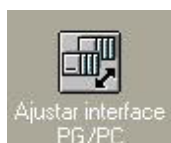
Figura 161. Imágenes prueba de Compresión.

7.4. PRUEBA DE TENSION.

Consiste en ejercer presión en el lado superior del cilindro de tal manera que se logre alargar una probeta de distintas características entre ellas tipo de material, longitud y diámetro, por medio de un sistema de control de lazo cerrado configurado con un controlador PID.

Procedimiento

- Alimentar todos los dispositivos que se usaran en la práctica:
Cambiar a modo ON los tacos que permiten la entrada de alimentación para el tablero de control.
- Verificar conexión de la servovalvula, el transductor de posición (potenciómetro lineal), los transductores de presión y el cable PC/PPI, con el tablero de control.
- Cambiar a modo automático el panel de control utilizando su respectiva llave.
- Ejecutar el archivo "TENSION FUNCION RAMPA 1 (Final)" del programa Micro/Win.
- Ajustar interface PG/PC. (Barra de Navegación)



- Establecer comunicación entre el computador y la CPU 224. (Barra de Navegación)



- Compilar programa. (Barra de herramientas Estándar)
- Cargar programa en CPU 224. (Barra de herramientas Estándar)
- Correr programa "RUN". (Barra de herramientas Test)
- Ver tabla de estado. (Barra de Navegación)
- Actualizar por medio de "estado de tabla". (Barra de herramientas Test)
- Encender "ETAPA 1", la cual enciende de forma progresiva y automática el ventilador y la bomba de la torre de enfriamiento, y el motor de la bomba principal, colocando en la casilla de nuevo valor "1" y luego "escribir todo" (Barra de herramientas Test).
- Encender "ETAPA 2", la cual activa de forma progresiva y automática la válvula de seguridad y el manifold, colocando en la casilla de nuevo valor "1" y luego "escribir todo" (Barra de herramientas Test).
- Como parámetros iniciales debemos tener en cuenta las siguientes variables.



VW504	150
VD600	0.2
VD604	0.15

- Ya encendida la maquina, activar la marca M0.2, colocando en la casilla de nuevo valor "1" y luego "escribir todo" (Barra de herramientas Test), con esta marca activada se habilita el PID de posición.
- Para posicionar la carrera del actuador a una distancia requerida ingrese el valor deseado en mm (Carrera del actuador 0-150mm) en la columna "nuevo valor" del renglón "VALOR" y luego "escribir todo", a continuación

active la marca M2.2 colocando en la casilla de nuevo valor “1” y luego “escribir todo”.

- Después de ubicar el cilindro en la posición requerida o deseada, continuamos con el proceso para controlar el cilindro por presión, debemos tener en cuenta algunos valores en ciertas marcas, las cuales referenciamos a continuación.

M0.1	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- En este instante el cilindro se encuentra ubicado en su extremo superior, para realizar la prueba, active la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor “1” y luego “escribir todo”, seguidamente observe el valor generado en la casilla VD332, la cual indica el valor de presión actual en la parte superior del cilindro, el máximo valor generado allí ingréselo en la casilla VD310 y en la casilla VD500 ingrese el mismo valor de VD310 pero disminuido en cuatro.
- Realice el mismo procedimiento citado en el punto anterior, pero con los valores de VD332, VD310, y VD500, actuando en el control de presión.

M0.1	2#1
M0.2	2#1
M0.3	2#0
M0.4	2#0
M0.5	2#0
PID1_Gain	0.15
M0.6	2#0

- En este instante controlamos el cilindro por presión, ubicamos el cilindro en la posición necesaria para poder instalar la probeta requerida en las mordazas.
- A continuación ejecutamos la función rampa, para lo cual debemos tener en cuenta los siguientes parámetros.

DIRECCIÓN	FORMATO	COMENTARIO
INICIO_RAMPA	Bit	<i>Da inicio a la función RAMPA</i>
PRESIÓN_RAMPA	Con signo	<i>Valor de presión al cual queremos llegar</i>
PASO	Con signo	<i>Valor secuencial agregado para llegar a la presión final</i>
TIEMPO_DE_PASO	Con signo	<i>Tiempo de espera para agregar el PASO (valor en milisegundos)</i>

- Para realizar una nueva prueba, desactive la marca M0.3 colocando en la columna de nuevo valor “0” y luego “escribir todo”, seguidamente realice el mismo procedimiento citado en los siete puntos anteriores.

A continuación presentamos la tabla de estado para diferentes pruebas de compresión.

VALVULA	Con signo	18637	22745	26995	32000
BOMBA_TORRE	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
VENTILADOR	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
BOMBA_PRINCIPAL	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
VALVULA_1	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
MANIFOLD	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
M0.0	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.1	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
DISTANCIA	Coma flotante	1.023.814	793.421	743.560	683.247
OK	Con signo	1000	800	742	700
VD310	Con signo	900	1000	1100	1200
M0.2	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
M0.3	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1

VD332	Coma flotante	911.772	1.000.214	1.172.417	1.241.772
VD500	Coma flotante	780.0	780.0	780.0	780.0
M0.4	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
M0.5	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
PID1_SP	Coma flotante	0.3426207	0.3054765	0.2614320	0.2051498
PID1_Gain	Coma flotante	0.15	0.15	0.15	0.15
VW504	Con signo	150	150	150	150
M0.6	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
PID0_Gain	Coma flotante	0.9	0.9	0.9	0.9
PID0_SampleTime	Coma flotante	0.1	0.1	0.1	0.1
PID0_I_Time	Coma flotante	0.2	0.2	0.2	0.2
AVANCE_RAPIDO	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
AVANCE_LENTO	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
VD350	Con signo	100	100	100	100
VD354	Con signo	100	100	100	100
VALOR	Con signo	100	100	100	100
M2.2	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
M2.3	Bit	2#0	2#0	2#0	2#0
VD600	Coma flotante	0.2	0.2	0.2	0.2
VD604	Coma flotante	0.15	0.15	0.15	0.15
INICIO_RAMPA	Bit	2#1	2#1	2#1	2#1
PRESION_RAMPA	Con signo	1200	1200	1200	1200
PASO	Con signo	100	100	100	100
TIEMPO_DE_PASO	Con signo	200	200	200	200



Figura 162. Imágenes prueba de Tensión.

7.5. SISTEMA DE EJECUCION Y ADQUISICION DE DATOS

Se ejecuta el archivo del Sistema Scada "PROGRAMA MAQUINA INSTRON" en el cual en el primer pantallazo se prende la maquina en una secuencia de activar el Ventilador, Moto-Bomba, Motor Principal, Válvula y Manifold con el Boton "INICIAR".

- Para **POSICIÓN** se maneja el mismo pantallazo trabajando en el cuadro "Ajustar Posición" dando clic para introducir la nueva medida y luego enter, para dar inicio se marca "Activar PID Posición" y podemos leer la misma en el cuadro "Posicion Actual".

Con los botones de "Cilindro Abajo" y "Cilindro Arriba" llevamos el cilindro a la posición referenciada, y con su respectivo "RESET" vuelve a la posición referenciada en "Ajustar Posición"

- Para **COMPRESION** se maneja el siguiente pantallazo, al cual se llega, dando clic en "Siguiete Pagina" del primer pantallazo, desarrollando el siguiente procedimiento:
 - ✓ Clic en el botón "COMPRESION".
 - ✓ Clic en el botón "ACTIVAR PID PRESION".
 - ✓ Trabajaremos en la configuración de rampas, en la sección de compresión, el valor final hace referencia al valor al cual queremos llegar, esta dado en PSI, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.
 - ✓ Luego el paso hace referencia al valor gradual que va aumentando la presión, esta dado en PSI, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.

- ✓ Luego el tiempo de paso hace referencia al valor en el tiempo que va aumentando la presión, esta dado en DS, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.
 - ✓ Clic en el botón “INICIO PRUEBA”.
 - ✓ Clic en el botón “INICIAR”.
 - ✓ Cuando la prueba de compresión hubiese terminado damos clic en “FIN PRUEBA”
- Para **TENSION** se maneja el mismo pantallazo de compresión, desarrollando el siguiente procedimiento:
 - ✓ Clic en el botón “TENSION”.
 - ✓ Clic en el botón “ACTIVAR PID PRESION”.
 - ✓ Trabajaremos en la configuración de rampas, en la sección de Tensión, el valor final hace referencia al valor al cual queremos llegar, aclarando que este valor debe ser menor que el valor registrado en la “Presión Actual” esta dado en PSI, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.
 - ✓ Luego el paso hace referencia al valor gradual que va disminuyendo la presión, esta dado en PSI, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.
 - ✓ Luego el tiempo de paso hace referencia al valor en el tiempo que va a disminuir la presión, esta dado en DS, hacemos un clic para introducir el valor y luego Enter.
 - ✓ Clic en el botón “INICIO PRUEBA”.
 - ✓ Clic en el botón “INICIAR”.
 - ✓ Cuando la prueba de compresión hubiese terminado damos clic en “FIN PRUEBA”

La adquisición de Datos se origina en unos archivos de Excel que se generan automáticamente en el disco local “C” del computador usado, estos archivos son

borrados al iniciar cada prueba, lo recomendable es copiarlos y manipularlos en otra carpeta para así obtener las graficas requeridas por el ensayo.

Para finalizar cualquiera de las pruebas damos clic en el botón “SALIR” ubicado en el primer pantallazo.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con la elaboración de este trabajo de grado se realizó un aporte significativo a la escuela de ingeniería mecánica y por ende a la universidad industrial de Santander, implementando artefactos de tecnología más actualizada que se constituyen en herramientas didácticas disponibles en el laboratorio, para este caso relacionado a la asignatura de Control automático.
- La implementación del sistema de control basado en autómeta programable en la maquina universal de ensayos Instron dejó como resultado la facilidad y comodidad en el manejo de las salidas digitales (encendido y apagado) de la maquina, accesibilidad en la configuración de variables para el control de cada uno de los servomecanismos (Fuerza y Posición) y la posibilidad de ampliar y generar programas con diferente configuración en la búsqueda de optimizar las respuestas. Permitiendo de igual modo la disponibilidad en entradas/salidas digitales y analógicas para el caso necesario del montaje de otros sensores o transductores.
- Llevar a cabo la implementación del autómeta programable en el sistema de control de la maquina universal de ensayos Instron significó una adecuación considerable en la configuración del sistema eléctrico, de control y de potencia de la maquina, referente al reemplazo y suministro del cableado y dispositivos de protección, traslado del panel de operador e igualmente el suministro en instrumentación de los transductores transmisores de presión marca Siemens para sustituir la celda de carga descartada por falla.

- Se realizó la configuración de programas con algoritmos de control PID aplicados en los sistemas de control realimentado para posición y fuerza que corresponden a los dos servomecanismos electrohidráulicos del control de la maquina universal Instron, tomando ventaja con la utilización del controlador PID parametrizable que es función integrada en la CPU 224 de la serie Siemens Simatic S7 200 del autómatas programable instalado.
- Por su versatilidad, confiabilidad, facilidad de programación, instalación y bajo costo los autómatas programables Siemens Simatic S7 200 se convierten en una buena alternativa de selección para la implementación en sistemas automáticos.
- En el transcurso de este Trabajo de Grado se reemplazo del transductor de posición potenciómetro lineal por un Sensor Magnetorestrictivo de Posición; esto debido a que dicho potenciómetro presentó una falla en la etapa final de la realización de este trabajo de grado y aun habiendo sido reparado sigue presentando errores en su señal de respuesta (señal de realimentación para posición).
- Cabe resaltar que los ensayos de compresión y de tensión fueron realizados de forma general ya que el objetivo final de este proyecto de grado es controlar la posición y fuerza de la Maquina Universal de Ensayos Instron, se recomienda trabajar en otro proyecto de grado si es posible para un mejor análisis de estas pruebas.

- Se deja la inquietud a la Escuela de Ingeniería Mecánica del requisito de un computador de escritorio de muy optimas condiciones ya que el sistema de ejecución y adquisición de datos requiere de maquina computacional.

9. BIBLIOGRAFIA

OROZCO RINCÓN, Eliana Maria y SARMIENTO PINTO, Silvia Fernanda. Control de nivel basado en autómatas programables para el laboratorio de control de procesos. Bucaramanga (Colombia). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MENDOZA GENEY, Libardo y RODRÍGUEZ VIZCAÍNO, Javier. Diseño de la logística documental y física para la realización de practicas de selección, implementación y diagnóstico en autómatas programables en el marco de la reestructuración del laboratorio de mecatrónica. Bucaramanga (Colombia). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

CENTENO ARIZA, Oscar Fernando y CEPEDA GOMEZ, Freddy Alexander. Control automático de una transmisión hidrostática a velocidad constante. Bucaramanga (Colombia). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MIRANDA VAZQUEZ, José Francisco. Aplicación de los algoritmos PID a un controlador lógico programable. San José (Costa Rica). Trabajo de grado (Ingeniero Eléctrico). Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Escuela de Ingeniería Eléctrica.

MANUAL DE OLEO HIDRAULICA INDUSTRIAL VICKERS. Barcelona: Blume, s. f. 375 p.

OGATA, KATSUHIKO. (1998); Ingeniería de control moderna. Editorial Prentice Hall.

BALCELLS, Joseph. Autómatas programables. Editorial Marcombo S.A. 456 Pág.

MANUAL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN S7-200 (2005). Edición 08/2005
Siemens.

A. ROLDAN (2000). Apuntes S7-200.Siemens.

ALFARO, VÍCTOR (2003); métodos de sintonización de controladores PID que operan como servomecanismos. Universidad de Costa Rica.

Manual de usuarios del visualizador de textos (TD) (2005). Siemens.

ANEXOS

