

**CONTROL AUTOMATICO DE UNA TRANSMISION
HIDROSTATICA A VELOCIDAD CONSTANTE**

**OSCAR FERNANDO CENTENO ARIZA
FREDDY ALEXANDER CEPEDA GOMEZ**

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

2007

**CONTROL AUTOMATICO DE UNA TRANSMISION
HIDROSTATICA A VELOCIDAD CONSTANTE**

**OSCAR FERNANDO CENTENO ARIZA
FREDDY ALEXANDER CEPEDA GOMEZ**

**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
2007**

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

*a mis padres que en todo momento me han brindado todo
el apoyo y siempre han estado a mi lado.*

*A mi novia por apoyarme siempre, por su
comprensión y cariño en todo momento*

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

Oscar Centeno

*...A Dios por permitirme finalizar mi carrera como profesional
a mi familia, por su apoyo incondicional y por brindarme
la oportunidad de una formación académica e intelectual.
a mi novia y mis compañeros por su incondicional
compañía y amistad*

Freddy Cepeda

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado no hubiese llegado a su completa realización sin la ayuda incondicional otorgada por nuestro director de proyecto Ing. Abel Parada Corrales quien constantemente nos brindo su apoyo y conocimiento para solucionar los diversos inconvenientes que se presentaron a lo largo del desarrollo de este mismo.

Agradecemos de igual manera a todos y cada uno de los profesores de la escuela de ingeniería mecánica quienes en el transcurrir de la carrera nos brindaron los conocimientos necesarios para la formación integral como ingenieros mecánicos

También queremos agradecer a nuestros a padres quienes siempre estuvieron presentes en cada alegría y tristeza a lo largo de nuestra vida universitaria, y su apoyo económico para la realización de este proyecto

A nuestros compañeros y amigos quienes nos colaboraron en las diversas etapas del desarrollo de este trabajo de grado.

Freddy Alexander Cepeda Gomez
Oscar Fernando Centeno Ariza

CONTENIDO

| | pág. |
|--|-----------|
| 1. OBJETIVOS..... | 11 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL..... | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 11 |
| 2. GENERALIDADES DE LAS TRANSMISIONES HIDROSTATICAS... 15 | |
| 2.1 CIRCUITOS ABIERTOS O NO INTEGRALES..... | 17 |
| 2.2 CIRCUITOS CERRADOS O INTEGRALES..... | 18 |
| 2.2.1 Circuito cerrado reversible..... | 20 |
| 2.2.2 Circuito cerrado reversible compacto..... | 21 |
| 2.3 FORMULAS BASICAS TRANSMISIONES HIDROSTATICAS..... | 25 |
| 2.4 CLASIFICACION TRANSMISIONES SEGÚN DESPLAZAMIENTO DE SUS COMPONENTES..... | 26 |
| 2.4.1 Transmisión hidrostática Bomba Fija, Motor Fijo..... | 26 |
| 2.4.2 Transmisión hidrostática Bomba Variable, Motor Fijo..... | 28 |
| 2.4.3 Transmisión hidrostática Bomba Fija, Motor Variable..... | 30 |
| 2.4.4 Transmisión hidrostática Bomba Variable, Motor Variable..... | 31 |
| 2.5 ESPEFICICACIONES DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMATICOS..... | 33 |
| 2.5.1 Paquete de potencia transmisión hidrostática..... | 33 |
| 2.5.2 Circuito de Carga de la transmisión hidrostática..... | 37 |
| 2.5.3 Formulas básicas de motores hidráulicos..... | 47 |
| 3. CONTROL AUTOMATICO..... | 51 |
| 3.1 REPRESENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL..... | 51 |
| 3.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMA DE CONTROL..... | 54 |
| 3.2.1 Sistema de control lazo abierto..... | 55 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 3.2.2 | Sistema de control lazo cerrado..... | 55 |
| 3.2.3 | Sistemas lineales..... | 57 |
| 3.2.4 | Sistemas no lineales..... | 58 |
| 3.2.5 | Sistema de control de procesos continuos..... | 58 |
| 3.3 | ACCIONES BASICAS DE CONTROL..... | 59 |
| 3.3.1 | Control proporcional P..... | 61 |
| 3.3.2 | Control integral I..... | 62 |
| 3.3.3 | Controlador proporcional - Integral PI..... | 63 |
| 3.3.4 | Controlador proporcional - Derivativo PD..... | 64 |
| 3.3.5 | Controlador proporcional - Integral - Derivativo PID..... | 66 |
| 3.4 | TIPO DE CONTROL PARA LA TRANSMISION..... | 67 |
| 4. | SERVOMECANISMO ELECTROHIDRAULICO DE CONTROL | |
| | DE VELOCIDAD..... | 72 |
| 4.1 | INTRODUCCION..... | 72 |
| 4.2 | SERVOVALVULA..... | 74 |
| 4.2.1 | Principio de funcionamiento..... | 74 |
| 4.2.2 | Características de las servo válvulas..... | 76 |
| 4.3 | SERVOMECANISMO DE POSICION..... | 80 |
| 4.4 | FUNCION DE TRANSFERENCIA DE LA CARGA MOTR BOMBA..... | 87 |
| 4.5 | DISEÑO CIRCUITO PALANCA DE CONTROL..... | 94 |
| 4.6 | SERVO MECANISMO DE VELOCIDAD..... | 97 |
| 5. | CONTROL AUTOMATICO DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA | |
| | MEDIANTE IMPLEMENTACION DE AUTOMATAPROGRAMABLE | |
| | (PLC)..... | 105 |
| 5.1 | INTRODUCCION..... | 105 |
| 5.2 | SELECCIÓN DEL AUTOMATA PROGRAMABLE..... | 107 |
| 5.2.1 | CPU Siemens 222 Serie S7 200..... | 114 |
| 5.2.2 | Módulo de expansión para entradas y salidas analógicas EM 235..... | 117 |
| 5.3 | INSTALACION AUTOMATA PROGRAMABLE..... | 118 |
| 5.3.1 | Armario de Montaje..... | 119 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3.2 | Alimentación Eléctrica, reglas de cableado y puesta a tierra..... | 121 |
| 5.3.3 | Acondicionamiento de Entradas y Salidas..... | 124 |
| 5.4 | DESARROLLO DEL PROGRAMA EN ENTORNO SIMATIC STEP 7...131 | |
| 5.4.1 | Entradas y Salidas..... | 133 |
| 5.4.2 | Bloques y Subrutinas Empleadas..... | 138 |
| 5.4.3 | Ciclo de Escan del PLC..... | 149 |
| 5.4.4 | Auto sintonía del PID y panel de sintonía..... | 151 |
| 5.4.5 | Visualizador de textos TD 100C..... | 165 |
| 6. | DESARROLLO DE LA PRACTICA DE LABORATORIO DE CONTROL | |
| | AUTOMATICO DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA..... | 171 |
| 6.1 | INTRODUCCION..... | 171 |
| 6.2 | OBJETIVOS..... | 172 |
| 6.3 | REALIZACION DE LA PRÁCTICA (PASOS A SEGUIR)..... | 172 |
| 6.3.1 | Encendido de la Transmisión..... | 172 |
| 6.3.2 | Manipulación del PLC..... | 173 |
| 6.3.3 | Cambios de velocidad y set point..... | 177 |
| 6.3.4 | Cambios de Carga..... | 179 |
| 7. | PRUEBAS..... | 183 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 196 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA..... | 200 |
| | ANEXOS..... | 202 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Esquema de la Transmisión, y la solución a implementar..... | 13 |
| Figura 2. Circuito Hidráulico Simulación de carga..... | 14 |
| Figura 3. Transmisión de potencia, variación de la energía en el circuito, eléctrica, hidráulica y mecánica..... | 15 |
| Figura 4. Circuito abierto..... | 18 |
| Figura 5. Circuito cerrado..... | 19 |
| Figura 6. Circuito cerrado reversible..... | 21 |
| Figura 7. Transmisión hidrostática. Circuito cerrado..... | 22 |
| Figura 8. Circuito cerrado Transmisión hidrostática flujo ininterrumpido..... | 23 |
| Figura 9. Diagrama del fluido Transmisión hidrostática Bomba variable Motor fijo..... | 24 |
| Figura 10. Diagrama Transmisión hidrostática..... | 25 |
| Figura 11. Transmisión hidrostática. Bomba y motor fijos..... | 27 |
| Figura 12. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba y motor fijos..... | 28 |
| Figura 13. Transmisión hidrostática. Bomba variable y motor fijo..... | 29 |
| Figura 14. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba variable y motor fijo..... | 29 |
| Figura 15. Transmisión hidrostática. Bomba Fija, motor variable..... | 30 |
| Figura 16. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba fija, motor variable..... | 30 |
| Figura 17. Transmisión hidrostática. Bomba Variable, motor variable..... | 32 |
| Figura 18. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba Variable, motor variable.. | 32 |
| Figura 19. Circuito Hidráulico Transmisión Hidrostática..... | 34 |
| Figura 20. Motor Eléctrico y Bomba Variable..... | 35 |
| Figura 21. Cilindro hidráulico, Palanca de control..... | 35 |
| Figura 22. Motor Hidráulico y Volante..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Motor Hidráulico Parker, Nichols Serie 0508AS circuito de carga..... | 39 |
| Figura 24. Acople motor hidráulico a la transmisión..... | 40 |
| Figura 25. Motor Hidráulico y Volante..... | 41 |
| Figura 26. Circuito hidráulico de carga a la transmisión..... | 42 |
| Figura 27. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en venteo..... | 43 |
| Figura 28. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en presión intermedia.... | 44 |
| Figura 29. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en alta presión..... | 45 |
| Figura 30. Datos técnicos motor parker, Nichols Serie 0508AS..... | 47 |
| Figura 31. Parámetros motor hidráulico..... | 48 |
| Figura 32. Potencia consumida por el motor a presión y caudal dados..... | 50 |
| Figura 33. Diagrama de bloques..... | 52 |
| Figura 34. Diagrama de bloques de un proceso de un tanque de mezclado..... | 54 |
| Figura 35. Representación sistema de control lazo abierto..... | 55 |
| Figura 36. Representación sistema de control lazo cerrado..... | 56 |
| Figura 37. Respuesta a una señal escalón de un controlador P en lazo cerrado y diagrama de bloque..... | 62 |
| Figura 38. Respuesta a una señal escalón de un controlador I en lazo cerrado... | 63 |
| Figura 39. Respuesta a una señal escalón de un controlador PI..... | 64 |
| Figura 40. Respuesta a una señal rampa de un controlador PD..... | 66 |
| Figura 41. Respuesta a una señal escalón de un controlador PID..... | 67 |
| Figura 42. Diagrama de bloques de control transmisión hidrostática..... | 73 |
| Figura 43. Servoválvula..... | 74 |
| Figura 44. Corte de una Servoválvula..... | 75 |
| Figura 45. Gráfica de sensibilidad a la respuesta..... | 77 |
| Figura 46. Gráfica banda muerta..... | 78 |
| Figura 47. Respuesta dinámica..... | 79 |
| Figura 48. Transductor diferencial lineal variable..... | 81 |
| Figura 49. Transductor diferencial lineal variable..... | 81 |
| Figura 50. LVDT laboratorio sistemas óleo neumáticos..... | 82 |
| Figura 51. Diagrama de bloques servo de posición..... | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 52. Curva característica motor Vickers 25M55A..... | 85 |
| Figura 53. Curva característica bomba Vickers PVB 15..... | 86 |
| Figura 54. Respuesta segundo orden para una entrada escalón..... | 89 |
| Figura 55. Respuestas sobre amortiguada, sub-amortiguada y críticamente amortiguada..... | 90 |
| Figura 56. Diagrama de bloque combinado bomba, motor, carga (transmisión hidrostática). Función de transferencia..... | 94 |
| Figura 57. Circuito de control de la bomba..... | 95 |
| Figura 58. Diagrama de bloques de la palanca de control de la bomba variable... | 96 |
| Figura 59. Diagrama de bloques Simulink..... | 96 |
| Figura 60. Diagrama Respuesta al escalón 300 rpm..... | 96 |
| Figura 61. Diagrama de bloques del control a la transmisión hidrostática..... | 97 |
| Figura 62. Encoder Incremental Autonics..... | 99 |
| Figura 63. Funcionamiento del encoder incremental..... | 99 |
| Figura 64. Encoder Incremental Autonics E50S8-600-3-A-24..... | 100 |
| Figura 65. Construcción interior del encoder | 101 |
| Figura 66. Micro PLC Siemens..... | 106 |
| Figura 67. Parámetros de selección..... | 111 |
| Figura 68. Disposición de las entradas y salidas del micro PLC..... | 114 |
| Figura 69. Imagen módulo expansión EM 235..... | 117 |
| Figura 70. Disposición CPU y modulo en riel omega..... | 120 |
| Figura 71. Dimensiones para el montaje en el armario..... | 121 |
| Figura 72. Reglas de cableado CPU 222..... | 123 |
| Figura 73. Reglas cableado modulo EM 235..... | 123 |
| Figura 74. Módulo expansión EM 235 Siemens..... | 125 |
| Figura 75. Armario de Control Exterior..... | 127 |
| Figura 76. Armario de Control Interior..... | 131 |
| Figura 77. STEP7 MicroWin..... | 132 |
| Figura 78. Escalamiento señal de retroalimentación LVDT..... | 134 |
| Figura 79. Selección del tipo de contador y modo de operación..... | 136 |

| | |
|---|-----|
| Figura 80. Determinación de los parámetros de la subrutina de HSC0..... | 137 |
| Figura 81. Ejemplo de funcionamiento de HSC0 en modo 9, (contador A/B, velocidad cuádruple)..... | 138 |
| Figura 82. Bloque de programa y subrutinas del programa de control..... | 139 |
| Figura 83. Tabla de símbolos del programa de control..... | 139 |
| Figura 84. Lazo de control implementado en el programa del PLC..... | 148 |
| Figura 85. Diagrama ciclo scan del PLC..... | 149 |
| Figura 86. Interconexión equipos de control automático..... | 151 |
| Figura 87. Asistente de operaciones PID..... | 152 |
| Figura 88. Parámetros de lazo PID..... | 153 |
| Figura 89. Rutinas de operaciones PID..... | 154 |
| Figura 90. Panel de sintonía PID..... | 156 |
| Figura 91. a), b), c), d). Respuestas del PID1 valores de parámetros de sintonía no acordes para los objetivos del presente proyecto..... | 159 |
| Figura 92. a), b), c). Respuestas del PID0 lazo de control de posición. Con lo valores de parámetros de sintonía óptimos..... | 161 |
| Figura 93. a), b), c) y d). Respuestas del PID1 lazo de control de velocidad. Con lo valores de parámetros de sintonía óptimos..... | 163 |
| Figura 94. Visualizador de textos TD 100C..... | 166 |
| Figura 95. Programación del visualizador de texto TD 100C..... | 167 |
| Figura 96. Asistente del visualizador de texto TD 100C..... | 168 |
| Figura 97. Visualización de datos de la memoria en el TD 100C..... | 169 |
| Figura 98. Visualizador TD 100C..... | 170 |
| Figura 99. Disposición del tablero de control..... | 174 |
| Figura 100. Configuración comunicación computador CPU..... | 175 |
| Figura 101. Carga del programa de la CPU al Computador..... | 176 |
| Figura 102. Ingreso de valores de velocidad..... | 178 |
| Figura 103. Ingreso de valores de carga..... | 179 |
| Figura 104. Circuito de carga..... | 180 |
| Figura 105. Variación del set point entre 0 – 300 rpm – 0..... | 186 |

| | |
|---|-----|
| Figura 106. Variación del set point entre 0 – 400 rpm – 0..... | 186 |
| Figura 107. Variación del set point entre 0 – 580 rpm – 0..... | 187 |
| Figura 108. Set point 300 RPM y carga máxima de 500 Psi..... | 190 |
| Figura 109. Set point de 400 RPM y carga máxima de 500 Psi..... | 191 |
| Figura 110. Visualización del set point de 500 RPM y carga máxima de 500 Psi..... | 192 |
| Figura 111. Transmisión con carga máxima y cambios de velocidad en ascenso..... | 194 |
| Figura 112. Transmisión con carga máxima y cambios de velocidad en descenso..... | 194 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Características generales de las diversas configuraciones de transmisiones hidrostáticas..... | 33 |
| Tabla 2. Especificaciones motor parker, Nichols Serie 0508AS..... | 39 |
| Tabla 3. Valores de torque motor parker, Nichols Serie 0508AS..... | 46 |
| Tabla 4. Valores velocidad motor parker, Nichols Serie 0508AS..... | 46 |
| Tabla 5. Valores potencia motor parker, Nichols Serie 0508AS..... | 49 |
| Tabla 6. Acciones básicas de control..... | 60 |
| Tabla 7. Especificaciones motor Vickers 25M55A..... | 85 |
| Tabla 8. Especificaciones bomba Vickers PVB 15..... | 86 |
| Tabla 9. Parámetros de selección del PLC..... | 107 |
| Tabla 10. Especificaciones CPU Siemens serie S7 200..... | 113 |
| Tabla 11. Dimensiones para el montaje según CPU..... | 119 |
| Tabla 12. Configuraron del modulo de ampliación EM 235..... | 126 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo A. Catalogo Encoder Autonics | 201 |
| Anexo B. Curvas de operación del motor del circuito de carga | 204 |
| Anexo C. Especificaciones Técnicas CPU 222 | 207 |

NOMENCLATURA

NOTACIÓN

| | |
|-------------|---|
| N_m | Revoluciones por minuto para el motor [rpm] |
| Q_m | Caudal del motor. [Gpm] |
| C_m | Desplazamiento o capacidad del motor [in^3/rev] |
| η_{vm} | Eficiencia volumétrica del motor |
| η_{mm} | Eficiencia mecánica del motor |
| η_{Tm} | Eficiencia total del motor |
| λ_m | Coefficiente de pérdidas del motor |
| ΔP | Cambio de presión [Psi] |
| N_b | Revoluciones por minuto de la bomba [rpm] |
| Q_b | Caudal de la bomba. [Gpm] |
| C_b | Desplazamiento o capacidad de la bomba [in^3/rev] |
| η_{vb} | Eficiencia volumétrica de la bomba |
| η_{mb} | Eficiencia mecánica de la bomba |
| η_{Tb} | Eficiencia total de la bomba |
| λ_b | Coefficiente de pérdidas de la bomba |

GLOSARIO

Acción Control Proporcional. Es la acción de control proporcional que consiste en el producto entre la señal de *error* y la constante proporcional. Toma un papel importante cuando la señal de *error* es grande, pero su acción se ve disminuida con la disminución de dicha señal. Este efecto tiene como consecuencia la aparición de un *error permanente*, que hace que la parte proporcional nunca llegue a solucionar por completo el error del sistema.

Acción de control Integral. El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El *error* es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un periodo de tiempo determinado; Luego es multiplicado por una constante I . I representa la constante de integración. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control $P + I$ con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

Acción de control Derivativa. La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El *error* es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "*Set Point*". La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la velocidad misma que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Actuadores Son aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.

Amplificador. Dispositivo para incrementar la corriente, el voltaje o la potencia de una señal. El amplificador realiza esta función tomando potencia de una fuente de alimentación y controlando la salida para hacer coincidir la forma de onda de la señal de entrada con la de salida, pero con una amplitud mayor.

Autómata Programable. Equipo electrónico programable en lenguaje no informático y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales.

CPU. Unidad central de procesamiento, CPU, o, simplemente, el procesador. Es el componente en una computadora digital que interpreta las instrucciones y procesa los datos contenidos en los programas de computadora.

Diagrama de Bloques. Es la representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales donde cada función de transferencia tiene un bloque asignado y éstos se unen por flechas que representan el flujo de señales.

Función de transferencia. Es un modelo matemático que entrega la respuesta de un sistema a una señal de entrada o excitación exterior.

PID. Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un sistema de control que, mediante un actuador, es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Es uno de los métodos de control más frecuentes y precisos dentro de la regulación automática.

Preactuador. Es el elemento que hace de interfaz, tomando como entrada la señal eléctrica y procediendo en el actuador.

PLC. (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos usados en Automatización Industrial.

Sensor. Es un dispositivo que detecta, o *sensa* manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro elemento

Señal analógica. Es aquella función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo.

Señal digital. Es aquella cuando las magnitudes de la misma se representan mediante valores discretos en lugar de variables continuas.

Sistemas de control. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta, y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación.

RESUMEN

TÍTULO:
CONTROL AUTOMATICO DE UNA TRANSMISION HIDROSTATICA A VELOCIDAD CONSTANTE*

AUTORES:

Oscar Fernando Centeno Ariza.
Freddy Alexander Cepeda Gómez.**

PALABRAS CLAVES:

PLC, Transmisión Hidrostática, Control Automático, PID.

DESCRIPCIÓN:

El programa de control de la velocidad se diseño con base en los equipos involucrados en el proyecto, ya que estos se encuentran instalados con anterioridad, por lo tanto el sistema a implantar se debía acoplar a cada uno de estos equipos, bombas, motores eléctricos, electro válvulas, etc. Mediante la adquisición de un autómata programable y su respectivo software de programación se desarrolla el programa de control digital en lazo cerrado, desarrollando a su vez una acción de control tipo, proporcional integral y derivativo, necesaria para este caso donde la inercia se hace presente en el proceso a controlar. Con el fin de controlar la velocidad de la transmisión a valores constantes, mediante el control de flujo de aceite a través de la bomba de desplazamiento variable, la acción de control se realizara a la servoválvula la cual es el actuador principal del sistema. Aun cuando el sistema se perturbe por medio de cargas resistivas procedentes del mecanismo de carga instalado, el sistema de control debe detectar el error por medio de los sensores, y realizar las acciones necesarias para corregirlo y retornar nuevamente al valor establecido de velocidad.

El resultado es un banco automatizado pero que a su ves permite realizar las practicas de laboratorio como se estaban realizando anteriormente con el control por medio de tarjetas análogas, se utiliza el armario de control donde se encuentran instalados todos los equipos que fueron requeridos para el desarrollo del presente proyecto y desde allí por medio de la interfaz hombre maquina son proporcionadas las comandos al sistema de control diseñado e implementado.

* Trabajo de grado

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

SUMMARY

TITLE:

AUTOMATIC CONTROL OF HYDROSTATIC TRANSMISSION AT CONSTANT SPEED*

AUTHORS:

Oscar Fernando Centeno Ariza.

Freddy Alexander Cepeda Gomez. **

KEY WORDS:

PLC, Hydrostatic Transmission, Automatic Control, PID

DESCRIPTION:

The control program of the speed was designed with base in the equipment involved in the project, since these are installed previously, therefore the system to implant was due to connect to each one of these electrical equipment, pumps, motors, electro valves, etc. Through the acquisition of a programmable automata and its respective software of programming is developed the digital control program in close loop, developing as well to a control action type, proportional integral and derivative, necessary for this case where inertia is present in the process control. With the purpose of controlling the speed of the transmission to constant values, through the flow control of oil through the variable pump of displacement, the control action was made to the servovalve which is the main actuator of the system. Even though the system is disturbed by resistives loads coming from the installed loading mechanism, the control system must detect the error using sensors, and make the actions necessary to correct it and to return again to the established value of speed.

The result is an automated bank but which you see it allows to make the practice of laboratory as were being made previously with the control through analogous cards, is used the closet of control where is installed all the equipment that was required for the development of the present project and thence through the interface human machine the commandos to the system of designed and implemented control are provided.

* Degree Work.

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

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de asimilar críticamente y crear conocimiento en los diferentes campos de la ingeniería, en particular el estudio del control automático servo asistido, se hace necesario contar con equipos para la realización de las prácticas de la materia en mención, que ayuden a el estudiante a enriquecer sus conocimientos gracias a la experimentación en el laboratorio. Con la ejecución de este proyecto se beneficia a los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica, los cuales podrán realizar las prácticas en el área del control automático (Potencia Fluida Proporcional).

Finalmente este proyecto colocaría en evidencia una vez más el protagonismo de la Universidad Industrial de Santander, a través de su escuela de Ingeniería Mecánica como gestora del desarrollo tecnológico e industrial de la región. Con este trabajo de grado se busca mejorar el funcionamiento del sistema de control de la transmisión en aspectos como la precisión, complejidad, mantenimiento, respuestas del control de la velocidad de la transmisión, entre otros. Consistiendo dicha mejora en el reemplazo del controlador que actualmente posee, y sustituir el transductor de velocidad para que suministre una señal de realimentación de la velocidad de la transmisión confiable; e instalar un circuito hidráulico para someter a la transmisión a cargas externas, o perturbaciones.

En los primeros capítulos se tratan temas generales acerca de las transmisiones hidrostáticas, en este capítulo se presenta el circuito hidráulico de instalado a la transmisión hidrostática para la simulación de carga. Los conceptos generales del control automático así como las acciones básicas de control son presentados en el tercer capítulo. En el cuarto capítulo se presenta el estudio realizado de los servo mecanismos de posición y velocidad. Los procedimientos realizados para la

selección, instalación y desarrollo del programa de control de velocidad mediante implementación del autómata programable, así como los parámetros de sintonía del PID utilizados son presentados en el capítulo quinto. En el sexto capítulo se presenta el desarrollo de la práctica de laboratorio, junto con el procedimiento a seguir para la correcta manipulación del PLC. Finalmente los últimos capítulos del proyecto presentan las pruebas y conclusiones realizadas para la evaluación del trabajo realizado.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de asimilar y críticamente y crear conocimiento en los diferentes campos de acción de la ingeniería; implementando herramientas didácticas para el estudio de la materia control automático (Potencia Fluida Proporcional) de la escuela de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Industrial de Santander a través de el control de una transmisión hidráulica a velocidad constante mediante la implementación de un autómata programable.
- ✓ Impulsar el estudio y la investigación en automatización industrial dentro de la escuela de Ingeniería Mecánica.

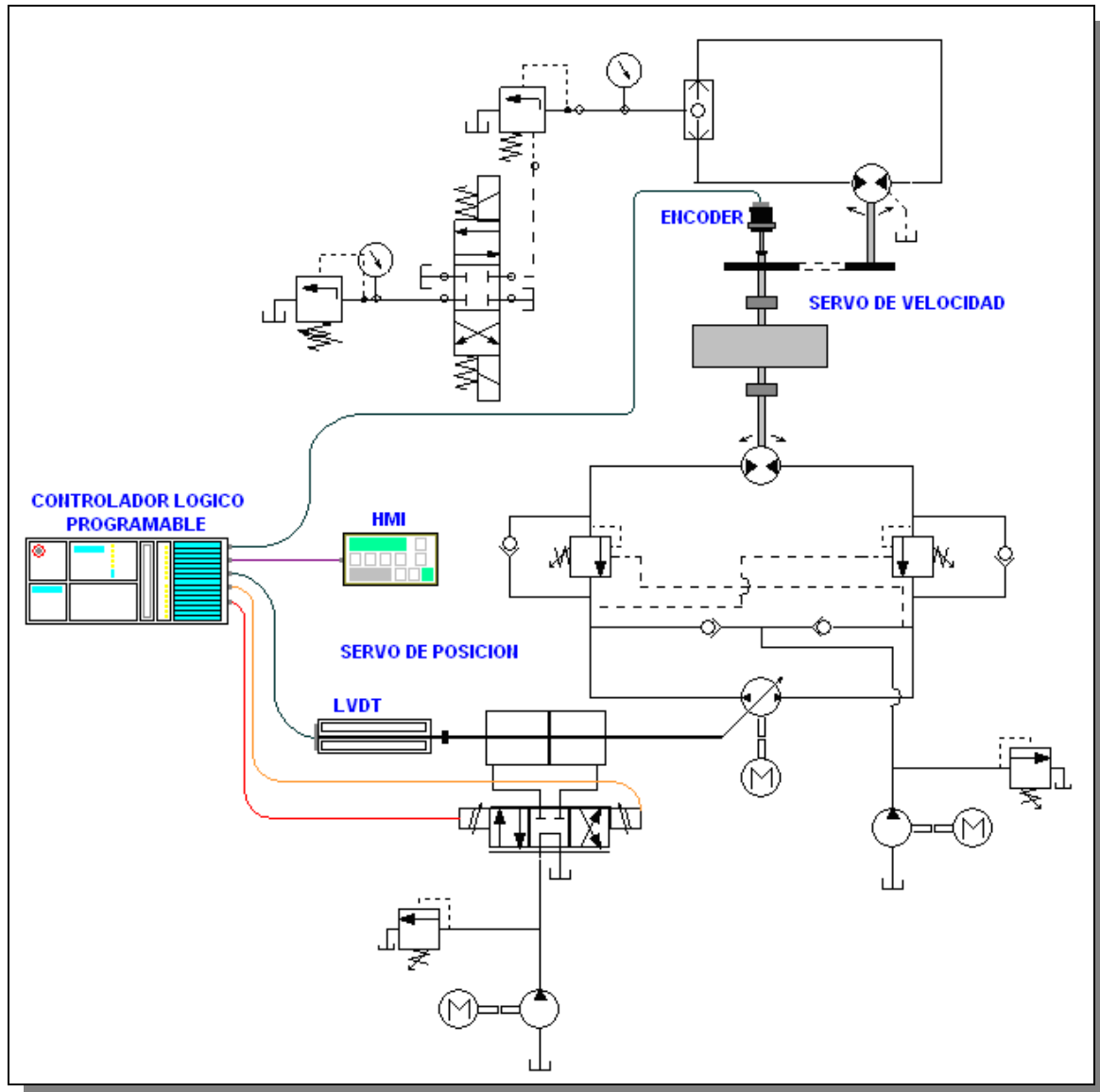
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Controlar la transmisión hidráulica a velocidad constante a pesar de cambios de carga conocidos como perturbaciones al lazo de control. La transmisión trabaja con una presión máxima de 2000 psi, posee un motor hidráulico de desplazamiento fijo (25M Vickers) y una bomba variable (15 gpm). Desarrolla un torque máximo de 900 lb.-pulg. y una velocidad máxima de 600 rpm. Los cambios de carga estarán en el rango de 60 a 500 Psi. En las pruebas experimentales se esperan obtener que el valor de salida se encuentre en el rango de errores del 2% al 5%, según el comando de velocidad deseada, y reducir los sobrepicos en la respuesta en un 50%.

- La señal de retroalimentación del lazo de control de velocidad será proporcionada por un transductor de velocidad que será adquirido e instalado.
- La señal de retroalimentación del lazo interno de control de la posición de la placa de la bomba provendrá de un transformador diferencial de variable lineal (LVDT), que se encuentra instalado en el laboratorio, esta señal es de tipo analógico ($\pm 10 V_{DC}$).
- Las dos señales entraran al controlador lógico programable, y con el debido programa desarrollado, se realizaran las acciones de control requeridas con el fin de suministrar la señal de comando a la servoválvula cuya señal es de tipo analógico ($\pm 50 mA$), con el objetivo de reducir el error y mantener la velocidad constante.
- ✓ Suministrar e instalar un autómatas 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.

Figura 1. Esquema de la Transmisión, y la solución a implementar

Fuente: El autor



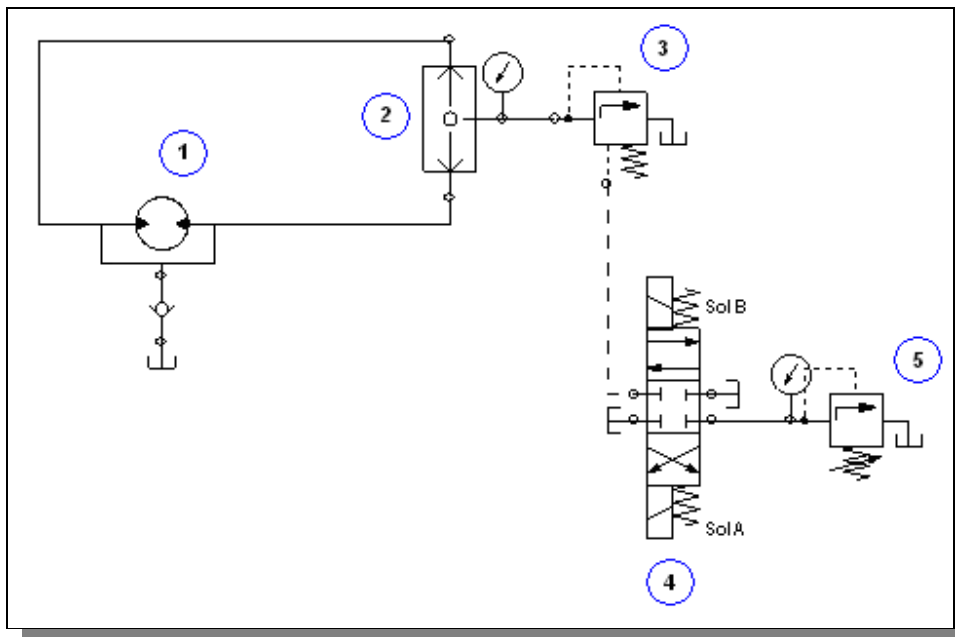
- ✓ Instalar un sistema hidráulico que simule las cargas a la transmisión hidráulica. En el extremo opuesto en donde se encuentra ubicado el motor hidráulico, se instalara, un sistema hidráulico para la simulación de carga. Por medio de un acople mecánico, se transferirá la rotación del eje de la

transmisión a un motor hidráulico. Empleando válvulas direccionales y válvulas limitadoras de presión se obtienen las cargas o torques resistivos constantes y medibles en el sistema. El circuito hidráulico de carga esta compuesto por:

- Motor hidráulico (1).
- Válvula direccional selectiva (2).
- Válvula de seguridad pilotada (3).
- Válvula direccional de bajo solenoide (4).
- Válvula de seguridad de acción directa (5).

Figura 2. Circuito Hidráulico Simulación de carga.

Fuente: El autor



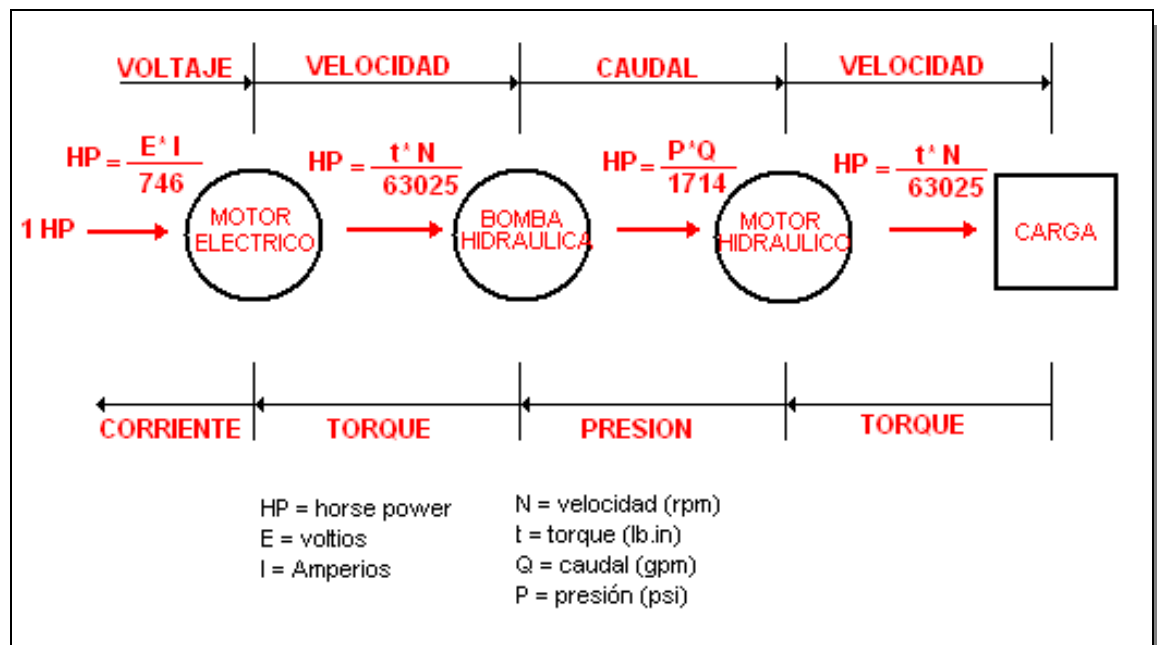
- ✓ Efectuar el mantenimiento, fin de eliminar impurezas que degraden los equipos, evitar daños a los dispositivos electrónicos y obtener el banco con la mejor presentación posible.

2. GENERALIDADES DE LAS TRANSMISIONES HIDROSTATICAS.

La función primordial de una transmisión hidrostática (HST) es recibir potencia rotativa desde un motor generalmente eléctrico o de combustión interna, que tiene su propio conjunto de características y posteriormente transmitir esa energía a una carga que también tiene sus características particulares. En el proceso, las transmisiones hidrostáticas (HST) generalmente debe regular velocidad, torque, potencia o, en algunos casos, dirección de rotación lo que en el diseño mecánico se acostumbra a hacer con reductores, poleas o cadenas. Dependiendo de su configuración, las transmisiones hidrostáticas pueden conducir una carga a máxima velocidad en una dirección y luego en la dirección opuesta, también a la máxima velocidad, con infinitas variaciones de velocidad entre los dos máximos, todo esto con el motor primario operando con velocidad constante.

Figura 3. Transmisión de potencia, variación de la energía en el circuito, eléctrica, hidráulica y mecánica.

Fuente: El autor



En la figura 3 se puede observar la transferencia de la potencia a través de los diversos equipos que están involucrados constitutivamente en una transmisión hidrostática, el principio de funcionamiento de las transmisiones hidrostática es simple: una bomba conectada con el motor primario ya sea eléctrico o de combustión, el cual le entrega una velocidad de rotación y un torque. La bomba toma esta potencia y la entrega en el flujo a cierta presión que es recibido por el motor hidráulico el cual entrega potencia en forma de velocidad rotacional. Dentro los diversos tipos de transmisiones hidráulicas se encuentran las que poseen una bomba de desplazamiento variable, motor, o ambos de modo que la velocidad, torque o potencia pueden ser regulados o variados según la necesidad de la aplicación. Las transmisiones hidrostáticas ofrecen muchas ventajas importantes sobre otras formas de transmisión de potencia. Dependiendo de su disposición una HST

- Transmiten gran potencia por pulgada cúbica de desplazamiento con baja inercia.
- Operan eficientemente sobre un amplio rango de relaciones torque - velocidad
- Mantiene velocidad controlada sin importar la carga, sin límites de diseño
- Mantienen la velocidad seleccionada aún con cargas acelerativas o de frenado
- Pueden transmitir potencia desde un motor primario hacia múltiples locaciones, aún si la posición orientación cambian.
- Eliminación de ejes de accionamiento y sistemas complicados de engranajes.
- Pueden permanecer detenidas sin daño alguno bajo carga plena
- Mantienen constantes las bajas velocidades
- Pueden proporcionar frenado dinámico
- Protección contra sobrecargas.
- Baja relación entre peso y potencia.

Se usan dos tipos de transmisiones hidrostáticas: integrales y no integrales. La disposición no integral es la más común, porque la potencia puede transmitirse a una o varias cargas en áreas a las cuales de otra manera sería difícil acceder. En esta técnica, la no integral o no compacta; la bomba está acoplada al motor primario, el motor óleo hidráulico está acoplado a la carga, y ambos están conectados a través de una tubería, o mangueras.

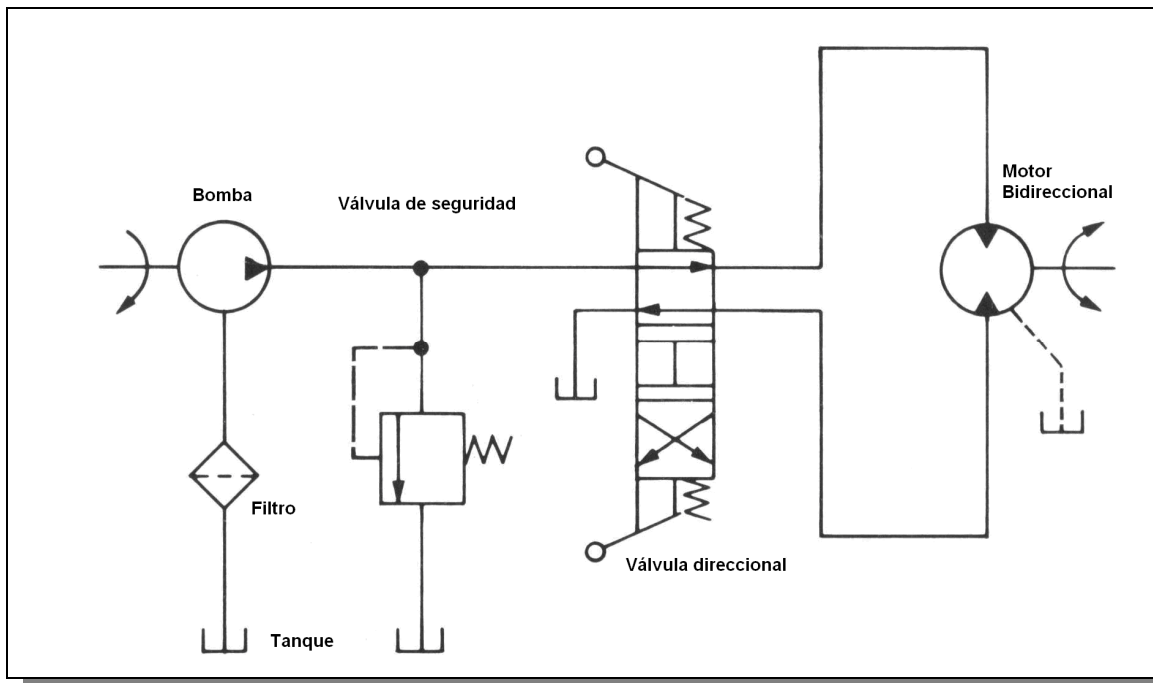
2.1 CIRCUITOS ABIERTOS O NO INTEGRALES

En un circuito abierto, la bomba extrae el aceite del depósito. Su salida se dirige a un motor hidráulico que a su vez descarga al tanque. La figura 4, ilustra un circuito abierto que contiene las unidades básicas requeridas para una transmisión hidrostática reversible. Si la bomba y el motor tienen el mismo desplazamiento teóricamente, la velocidad y el par de salida deberán ser idénticos a la velocidad y el par de entrada. La transmisión funciona pues, simplemente, como un "eje" de accionamiento líquido.

Si el motor tuviese un desplazamiento doble de la bomba, la velocidad de salida sería la mitad de la de entrada, pero el par de salida sería el doble. Otras combinaciones de desplazamiento producirían una velocidad de salida proporcional a la relación de desplazamientos bomba-motor y un par de salida proporcional a la relación de desplazamientos motor-bomba. Este tipo de transmisión, utilizando una bomba de desplazamiento fijo, puede llevar incorporado también un control de velocidad en forma de una válvula reguladora de caudal. El par máximo viene naturalmente limitado por el taraje de la válvula de seguridad.

Figura 4. Circuito abierto.

Fuente: *Manual Oleohidráulica Industrial*

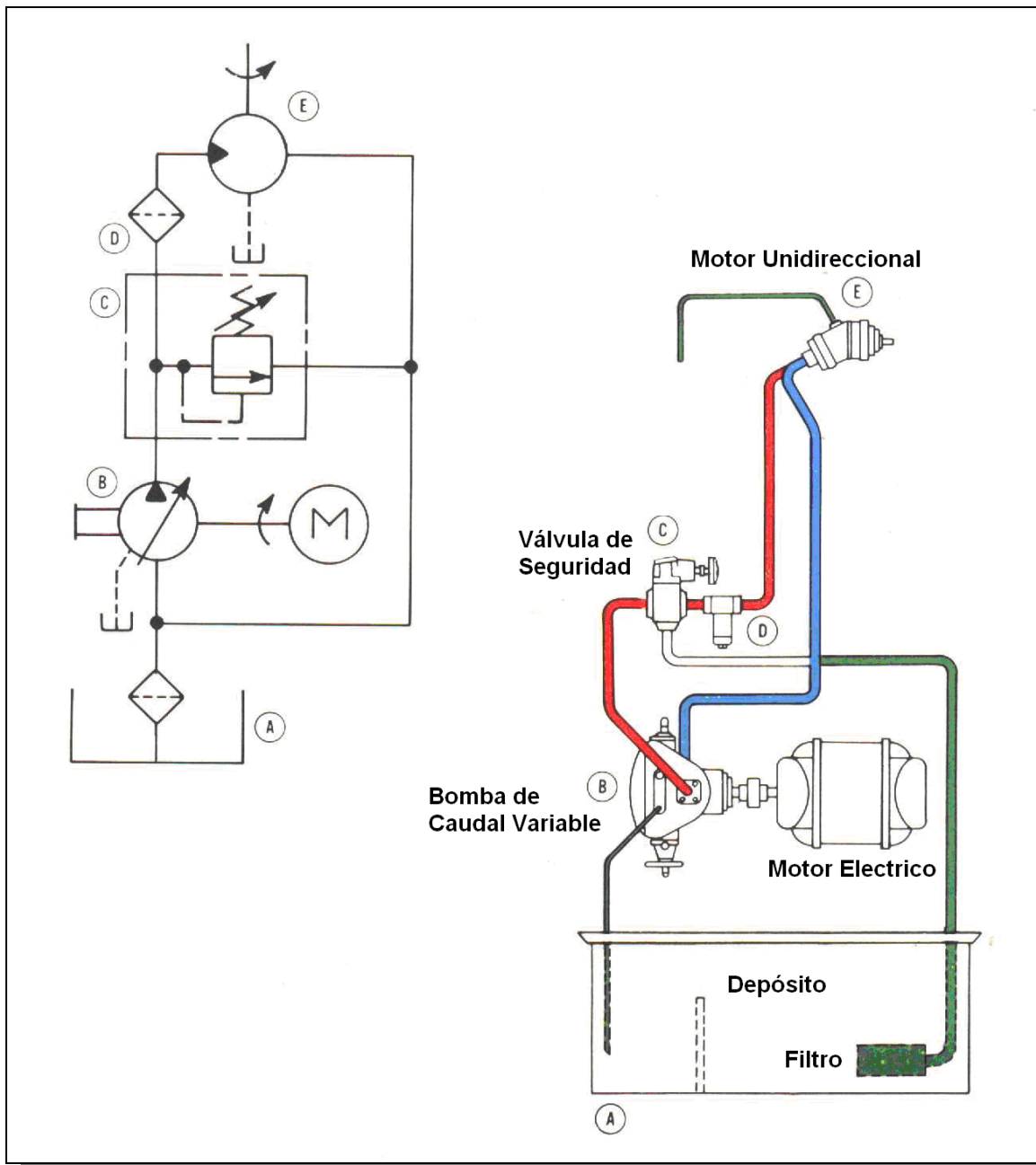


2.2 CIRCUITOS CERRADOS O INTEGRALES

En un circuito cerrado, el aceite de salida del motor vuelve directamente a la entrada de la bomba. La figura 5, muestra un circuito cerrado unidireccional. La velocidad del motor viene determinada por la variación de desplazamiento de la bomba. El par depende del desplazamiento del motor y del taraje de la válvula de seguridad. Debido a las fugas del circuito cerrado, el caudal de entrada de la bomba sería siempre inferior al de salida, lo que produciría vacío y cavitación de la bomba. Una conexión a tanque en la línea de baja presión permite que la bomba aspire el aceite necesario del depósito

Figura 5. Circuito cerrado.

Fuente: *Manual de Oleohidráulica Industrial*



El caudal variable de la bomba se dirige a través de la válvula y del filtro al motor. La descarga vuelve a la entrada de la bomba, conjuntamente con el aceite procedente del depósito. La válvula de seguridad limita el par máximo del motor y

protege al sistema contra sobrecargas. Por esta razón como se menciono anteriormente este es un circuito cerrado.

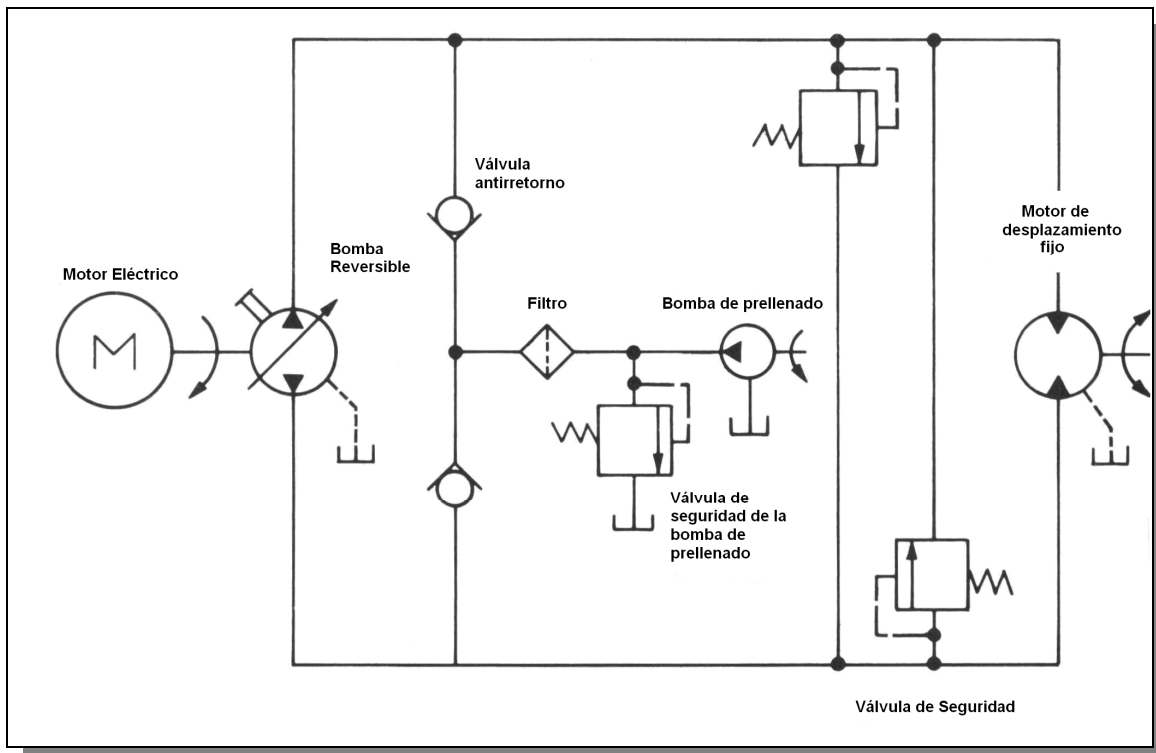
La construcción integral combina bomba, motor y todos los demás componentes dentro de un paquete, la ventaja aquí es un paquete compacto y económico que puede contener ejes, superficie de montaje y otros componentes adicionales a la transmisión hidrostática. Para cualquier aplicación, la transmisión hidrostática debe diseñarse como un acople óptimo entre motor primario y carga. Esto permite al motor primario maniobrar a su velocidad más eficiente y a la transmisión hidrostática hacer ajustes para las condiciones de operación.

2.2.1 Circuito cerrado reversible.

Muchas transmisiones de circuito cerrado incluyen una bomba reversible de desplazamiento variable, con una salida conectada al orificio del motor y el otro orificio del motor conectado a la otra salida de la bomba figura 6. Esto permite que el motor sea accionado en cualquier dirección a velocidades infinitamente variables, determinadas cada una por la posición del control de caudal de la bomba. En el circuito que se muestra, las pérdidas debidas a fugas internas son compensadas por una bomba de pre-llenado que mantiene una presión positiva en el lado de baja presión del sistema. La protección contra sobrecargas está asegurada por válvulas de seguridad montadas en paralelo.

Figura 6. Circuito cerrado reversible.

Fuente: *Manual de Oleohidráulica Industrial*

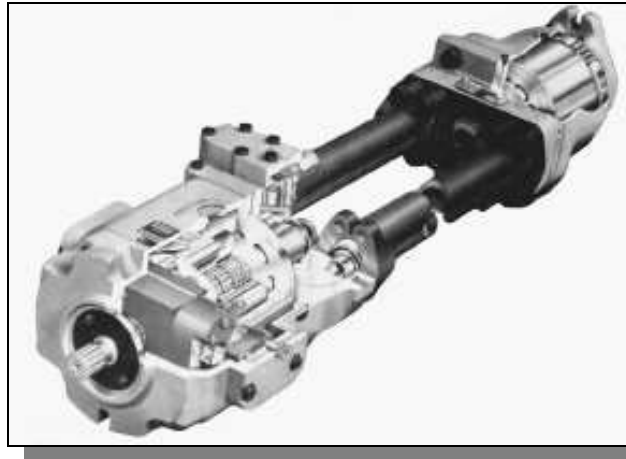


2.2.2 Circuito cerrado reversible compacto.

Transmisiones de circuito cerrado, de construcción compacta e integral, están disponibles para muchas aplicaciones, incluso con todas las válvulas y controles en una sola unidad compacta. Unas unidades típicas se muestran en las figuras 7, 8 y 9. Se construyen con el motor hidráulico incorporado en la unidad o en versiones separadas, con el motor instalado a distancia.

Figura 7. Transmisión hidrostática. Circuito cerrado.

Fuente: <http://www.hydraulicspneumatics.com>

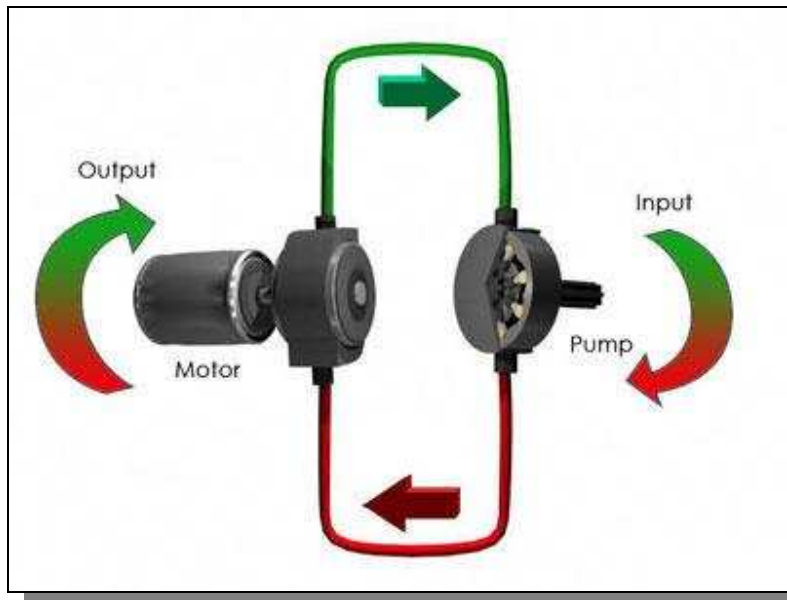


Este tipo de Transmisión Hidrostática que consiste en una bomba de desplazamiento variable de pistones de axiales, motor de desplazamiento fijo de pistones axiales y un sistema de válvulas, están unido a través de mangueras. Puede usarse en muchos tipos diferentes de aplicaciones dónde la velocidad del rendimiento variable es un requisito. Tiene muchas ventajas sobre otros tipos de transmisiones variables de velocidad (Eléctrico y mecánico). Algunas de estas son:

- Respuesta. Estas transmisiones responden más rápidamente que cualquier otro tipo de sistema de transmisión de potencia.
- La velocidad precisa. Tiene la capacidad de mantener la velocidad precisa bajo las condiciones de carga variantes.
- La facilidad de funcionamiento. Una palanca controla dirección y velocidad fácilmente.
- El mantenimiento bajo. Requieren de un mínimo plan de mantenimiento.
- Autosuficiente. No hay ninguna línea de presión alta externa, o componentes externos, etc.

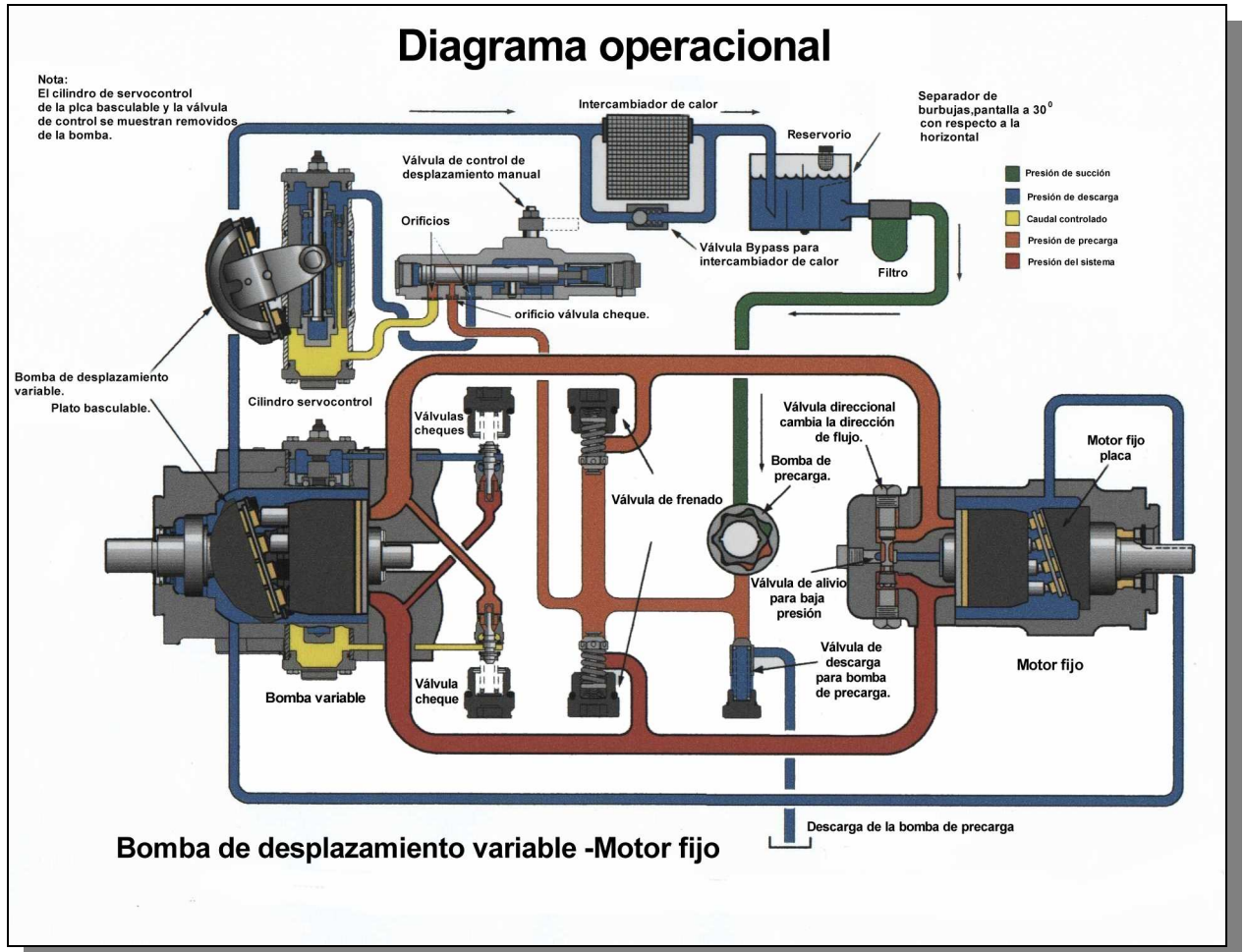
Figura 8. Circuito cerrado Transmisión hidrostática flujo ininterrumpido.

Fuente: www.howstuffworks.com



Este diagrama muestra flujo de fluido a través del lazo cerrado interior entre la bomba y el motor. El aceite presurizado se dirige por la bomba al motor y de nuevo regresa a la bomba después de haber entregado su energía, podemos observar que es un circuito cerrado ya que el aceite se encuentra recirculando. En ocasiones debido al goteo, la cantidad de fluido enviado por el motor es ligeramente menor del requerido por la bomba. Por lo tanto existen bombas de precarga para proporcionar el fluido de aceite cuando sea necesario. La variación de la velocidad esta dada por la bomba de desplazamiento variable, el mando de velocidad se logra cambiando la cantidad de aceite entregada por la bomba del desplazamiento variable al motor del desplazamiento fijo moviendo la palanca del mando.

Figura 9. Diagrama del fluido Transmisión hidrostática Bomba variable Motor fijo.
 Fuente: Eaton Hydraulics

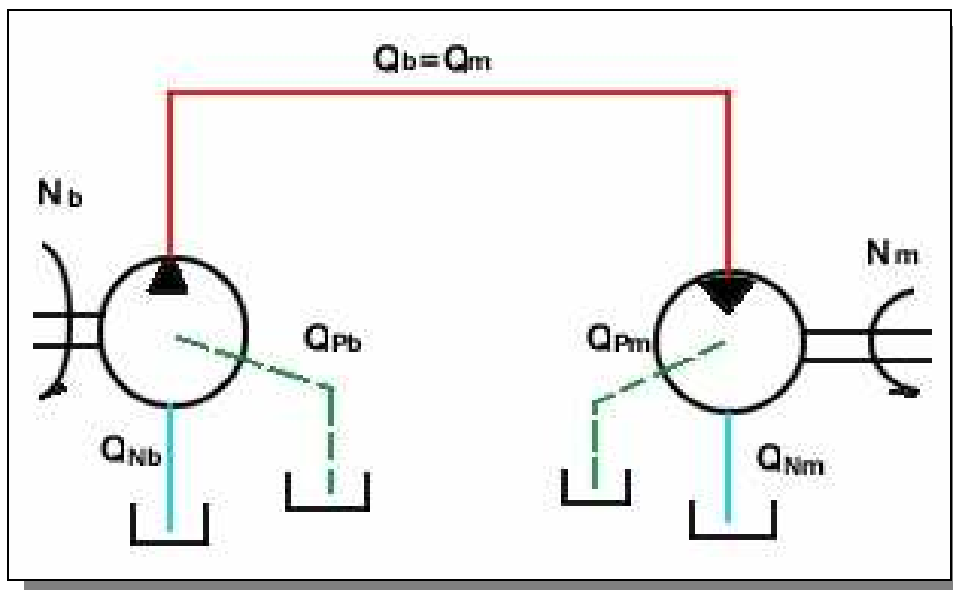


En la figura 9 se observa el diagrama operacional de una transmisión hidrostática conformada por una bomba de desplazamiento variable y un motor hidráulico de desplazamiento fijo, funciona en circuito cerrado, es decir el aceite recircula y cuando sea necesario la bomba de precarga suministra el aceite que es perdido en las fugas. El ángulo de la placa de la bomba variable es comando por una válvula direccional de accionamiento manual, el mando intermedio es realizado por un cilindro de servocontrol de modo que a la máxima inclinación de la placa, la bomba suministra el máximo de caudal.

2.3 FORMULAS BASICAS TRANSMISIONES HIDROSTATICAS

Figura 10. Diagrama Transmisión hidrostática.

Fuente: El autor



Ecuación general de las transmisiones hidrostáticas expresada en coeficientes de pérdida

$$N_m = \frac{C_b}{C_m} N_b - \frac{\Delta p}{C_m} (\lambda_b + \lambda_m)$$

Ecuación general de las transmisiones hidrostáticas expresada en eficiencias

$$N_m = \frac{C_b}{C_m} N_b \times \eta_{vb} \times \eta_{vm}$$

N_m = revoluciones por minuto para el motor [rpm]

Q_m = caudal del motor. [Gpm]

C_m = desplazamiento o capacidad del motor [in^3/rev]

η_{vm} = eficiencia volumétrica del motor

λ_m = coeficiente de perdidas del motor [in^3/psi]

ΔP = cambio de presión [Psi]

N_b = revoluciones por minuto de la bomba [rpm]

Q_b = caudal de la bomba. [Gpm]

C_b = desplazamiento o capacidad de la bomba [in^3/rev]

η_{vb} = eficiencia volumétrica de la bomba [in^3/psi]

λ_b = coeficiente de perdidas de la bomba

2.4 CLASIFICACION TRANSMISIONES SEGÚN DESPLAZAMIENTO DE SUS COMPONENTES.

La clasificación de las transmisiones hidrostáticas según la configuración de los elementos implicados en esta presenta cuatro variantes, por lo tanto los circuitos cerrados pueden diseñarse con bombas y motores hidráulicos de desplazamiento fijo o variable, en cualquier tipo de combinación. Según la necesidad de la aplicación.

2.4.1 Transmisión hidrostática Bomba Fija, Motor Fijo.

La forma más sencilla para una transmisión hidrostática utiliza una bomba de desplazamiento fijo conduciendo un motor de desplazamiento fijo también, como se muestra en la Figura 11 y 12. La ventaja de esta transmisión es su bajo costo, pero sus aplicaciones son muy limitadas, porque las formas alternativas de transmisión de potencia para este caso son más eficientes energéticamente. Ya que el desplazamiento de la bomba es fijo, la bomba debe ser adecuada para conducir el motor a la velocidad requerida bajo carga plena. Cuando la velocidad

total no es requerida (o en el arranque), el fluido desde la salida de la bomba debe ser descargado a través de la válvula de alivio. Esto hace que se desperdicia energía en forma de calor. El torque es constante porque la presión del sistema alcanza el valor del taraje de la válvula de alivio inmediatamente después de que la válvula de control direccional cambia.

Esta transmisión presenta muy baja eficiencia para las velocidades de operación inferiores a la máxima. Este tipo de transmisiones no son recomendadas para aplicaciones que requieren arranques y detenciones frecuentes, o cuando se presentan torques inferiores a la de carga plena. Por lo general estas transmisiones también son conocidas de velocidad constante desde el punto de vista del control si sube la carga el caudal no varia puesto que no se tiene ningún control sobre éste

Figura 11. Transmisión hidrostática. Bomba y motor fijos

Fuente: El autor

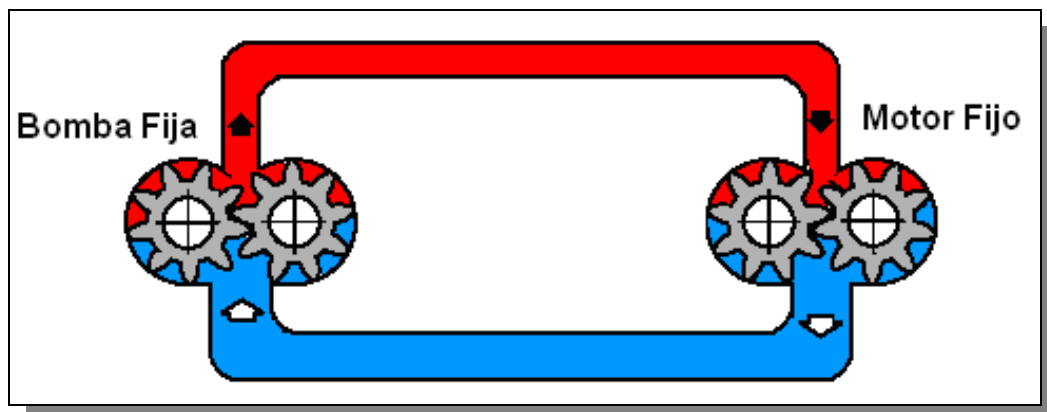
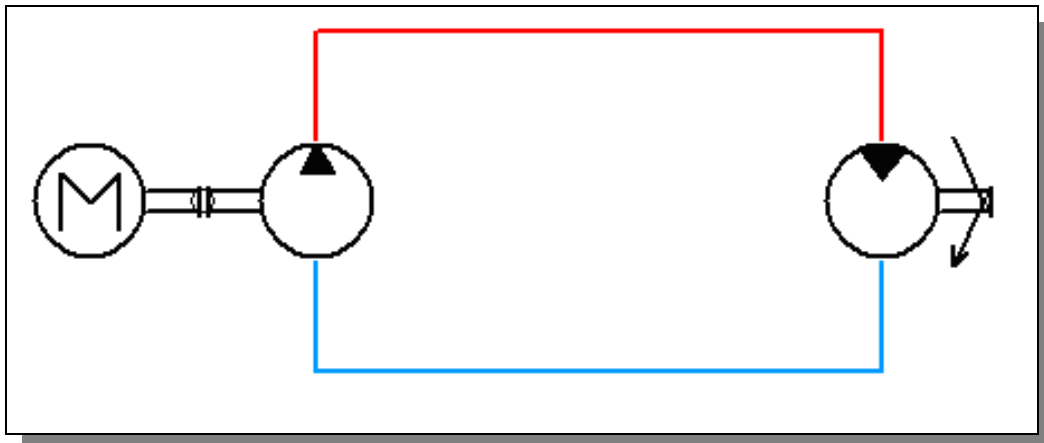


Figura 12. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba y motor fijos

Fuente: El autor



2.4.2 Transmisión hidrostática Bomba Variable, Motor Fijo.

Utilizando una bomba de desplazamiento variable en lugar de una de desplazamiento fijo se obtiene una transmisión hidrostática de torque constante, como se muestra la Figura 13 y 14. La salida de torque es constante a cualquier velocidad porque el torque depende solamente de la presión del fluido y del desplazamiento del motor que es constante no varía su capacidad. Incrementando o disminuyendo el desplazamiento de la bomba aumenta o disminuye la velocidad del motor, enviando mayor o menor cantidad de fluido respectivamente, mientras el torque permanece aproximadamente constante. La potencia, por tanto, aumenta con el desplazamiento de la bomba.

Este tipo de transmisión hidrostática es el más comúnmente utilizado. Mediante la variación del desplazamiento de la bomba se obtienen infinitas velocidades de salida desde neutral hasta el máximo valor, hacia delante o hacia atrás. El máximo valor de velocidad esta determinado por las capacidades nominales del motor y de la bomba. También se obtiene condición neutral sin necesidad de utilizar válvulas.

Figura 13. Transmisión hidrostática. Bomba variable y motor fijo

Fuente: Eaton Hydraulics

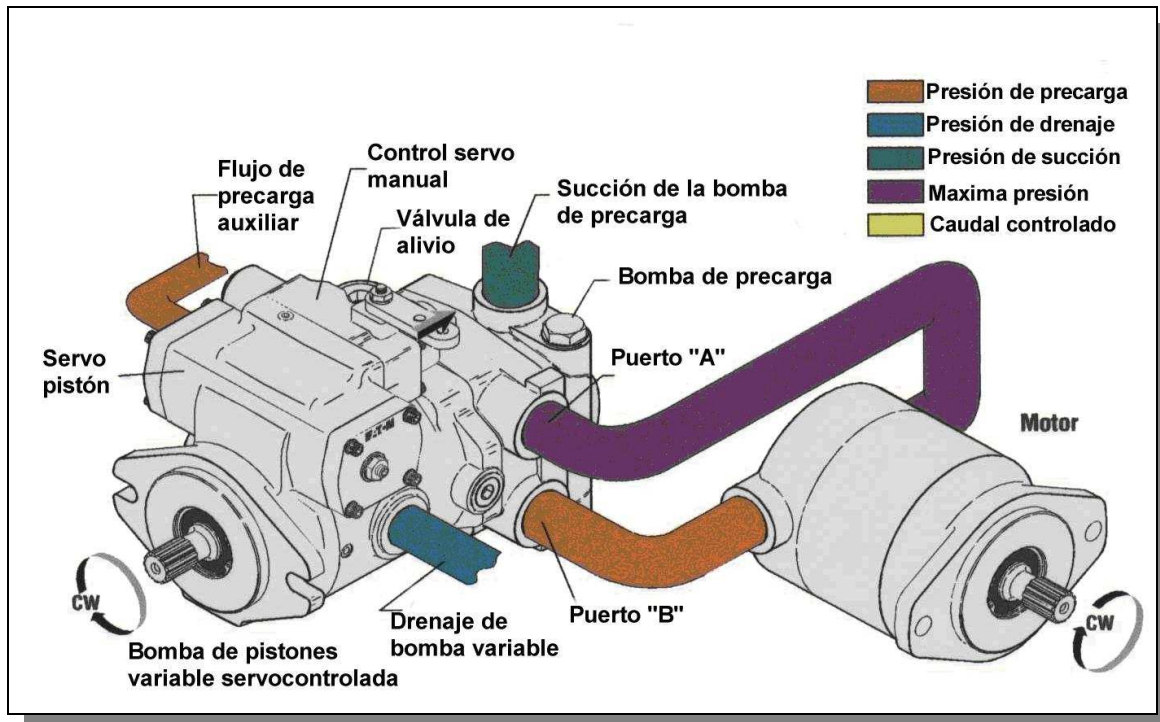
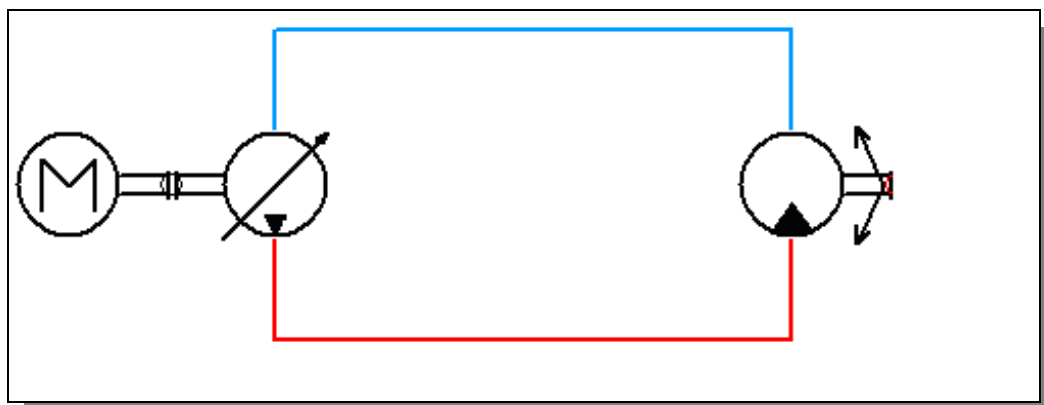


Figura 14. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba variable y motor fijo

Fuente: El autor



2.4.3 Transmisión hidrostática Bomba Fija, Motor Variable.

Cuando se tiene una configuración de motor de desplazamiento variable con una bomba de desplazamiento fijo se obtiene una transmisión que entrega potencia constante, como se puede observar en la figura 15 y 16. Si el flujo al motor es constante, y el desplazamiento del motor es variado para mantener el producto torque-velocidad de manera constante, entonces la potencia entregada es constante. Cuando disminuye el desplazamiento del motor se incrementa su velocidad porque el torque disminuye, una combinación que mantiene la potencia constante. Teóricamente, la máxima potencia que una transmisión hidrostática puede transmitir es una función del caudal y de la presión. Sin embargo, en transmisiones de potencia constante con velocidad de salida variables, la potencia teórica dividida entre la relación torque-velocidad determina la salida real de potencia. La mayor potencia constante que se puede transmitir está determinada por la menor velocidad de salida a la que dicha potencia será transmitida.

Figura 15. Transmisión hidrostática. Bomba Fija, motor variable.

Fuente: El autor

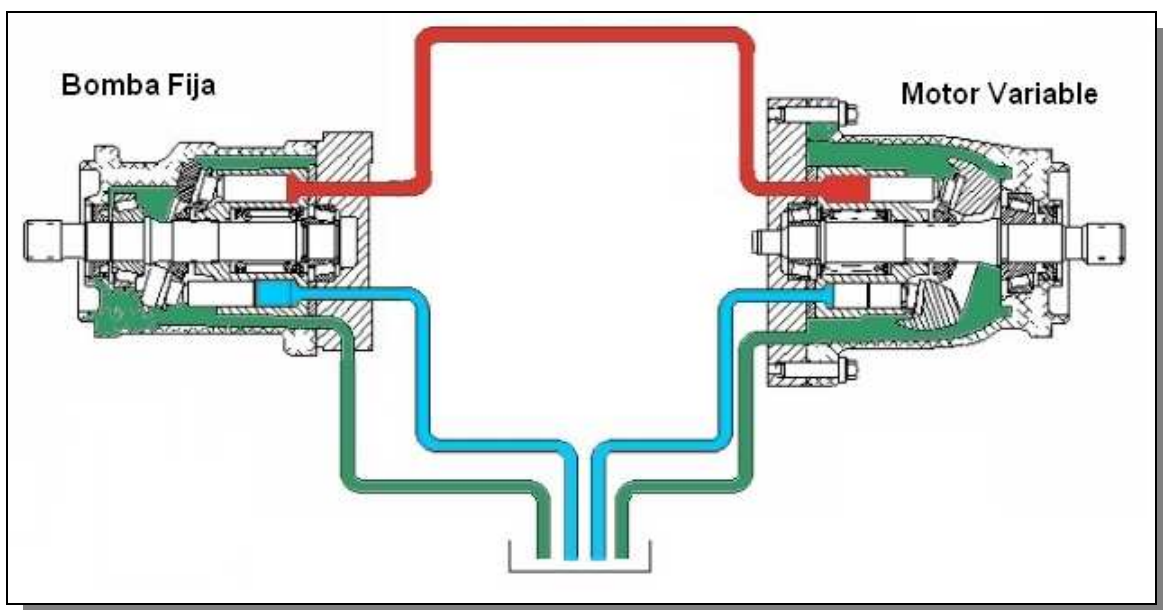
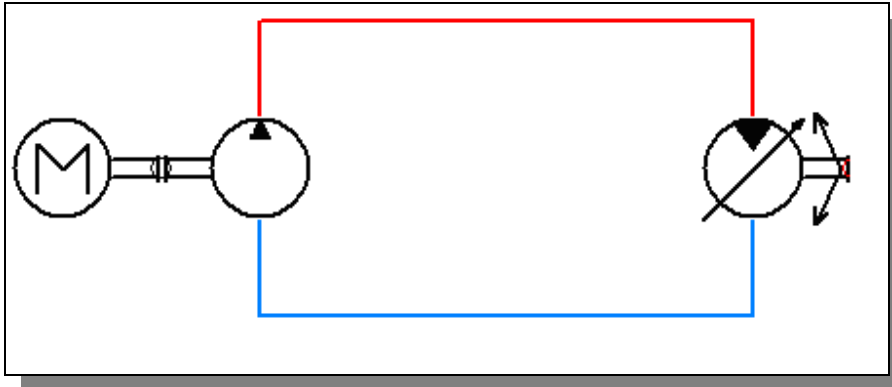


Figura 16. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba fija, motor variable.

Fuente: El autor



2.4.4 Transmisión hidrostática Bomba Variable, Motor Variable.

La transmisión hidrostática más versátil combina una bomba de desplazamiento variable con un motor desplazamiento variable, como se muestra en la Figura 17 y 18. Teóricamente, este arreglo provee infinitas relaciones de torque-velocidad. Con él motor en su punto de desplazamiento máximo, variando la salida de la bomba, la velocidad de salida varía al igual que la potencia mientras que el torque permanece constante. Con él motor en su punto de desplazamiento mínimo, y la bomba enviando el máximo caudal, se incrementa la velocidad del motor hasta el máximo; el torque varía inversamente con la velocidad, y de esta forma la potencia permanece constante.

Figura 17. Transmisión hidrostática. Bomba Variable, motor variable.

Fuente: El autor

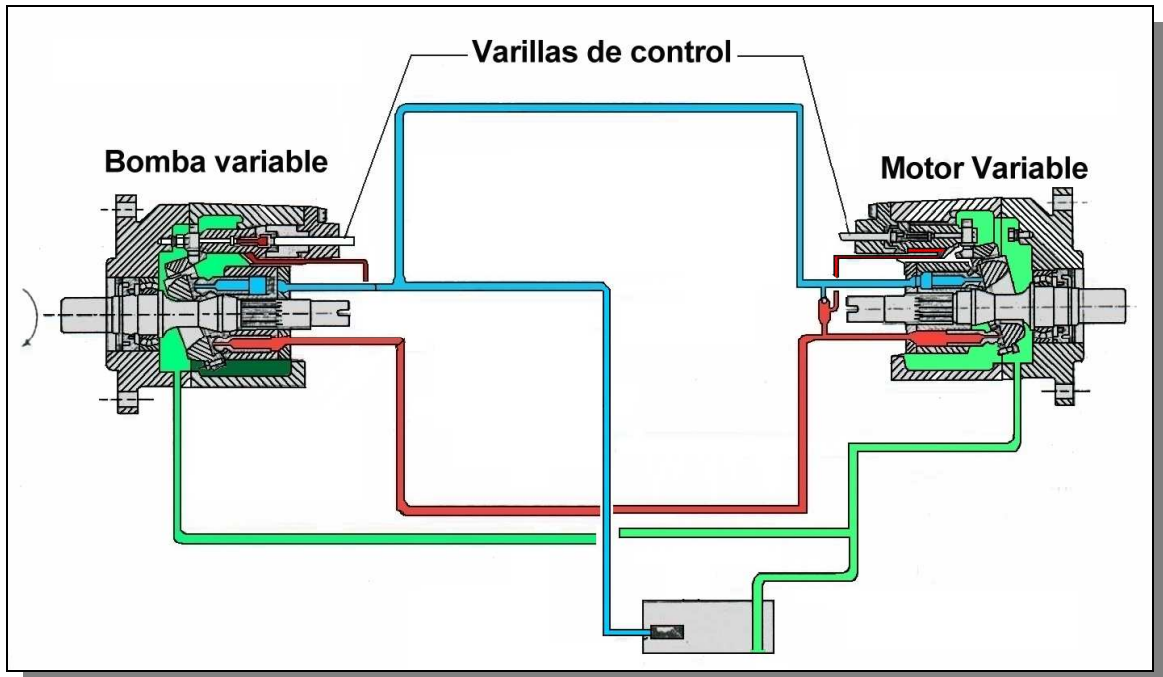
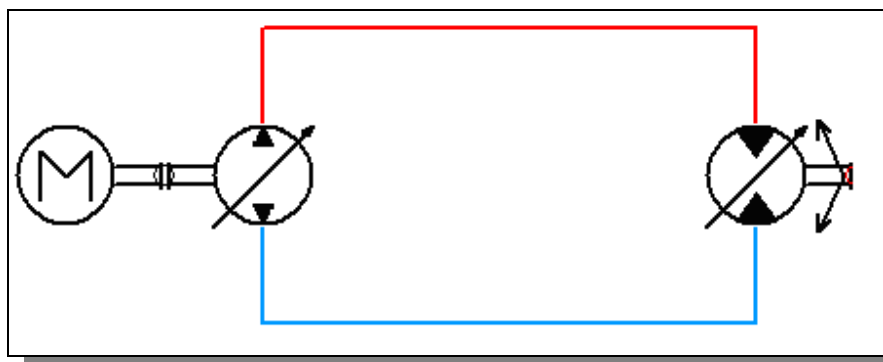


Figura 18. Diagrama Transmisión hidrostática. Bomba Variable, motor variable.

Fuente: El autor



En la siguiente tabla se pueden observar los parámetros de rendimiento de cada una de las configuraciones para las transmisiones hidrostáticas.

Tabla 1. Características generales de las diversas configuraciones de transmisiones hidrostáticas.

Fuente: El autor

| Desplazamiento | | Rendimientos de la transmisión | | |
|-----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------|------------------|
| Bomba | Motor | Potencia | Torque | Velocidad |
| Fija | Fijo | Constante | Constante | Constante |
| Variable | Fijo | Variable | Constante | Constante |
| Fija | Variable | Constante | Variable | Variable |
| Variable | Variable | Variable | Variable | Variable |

2.5 ESPECIFICACIONES DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMATICOS.

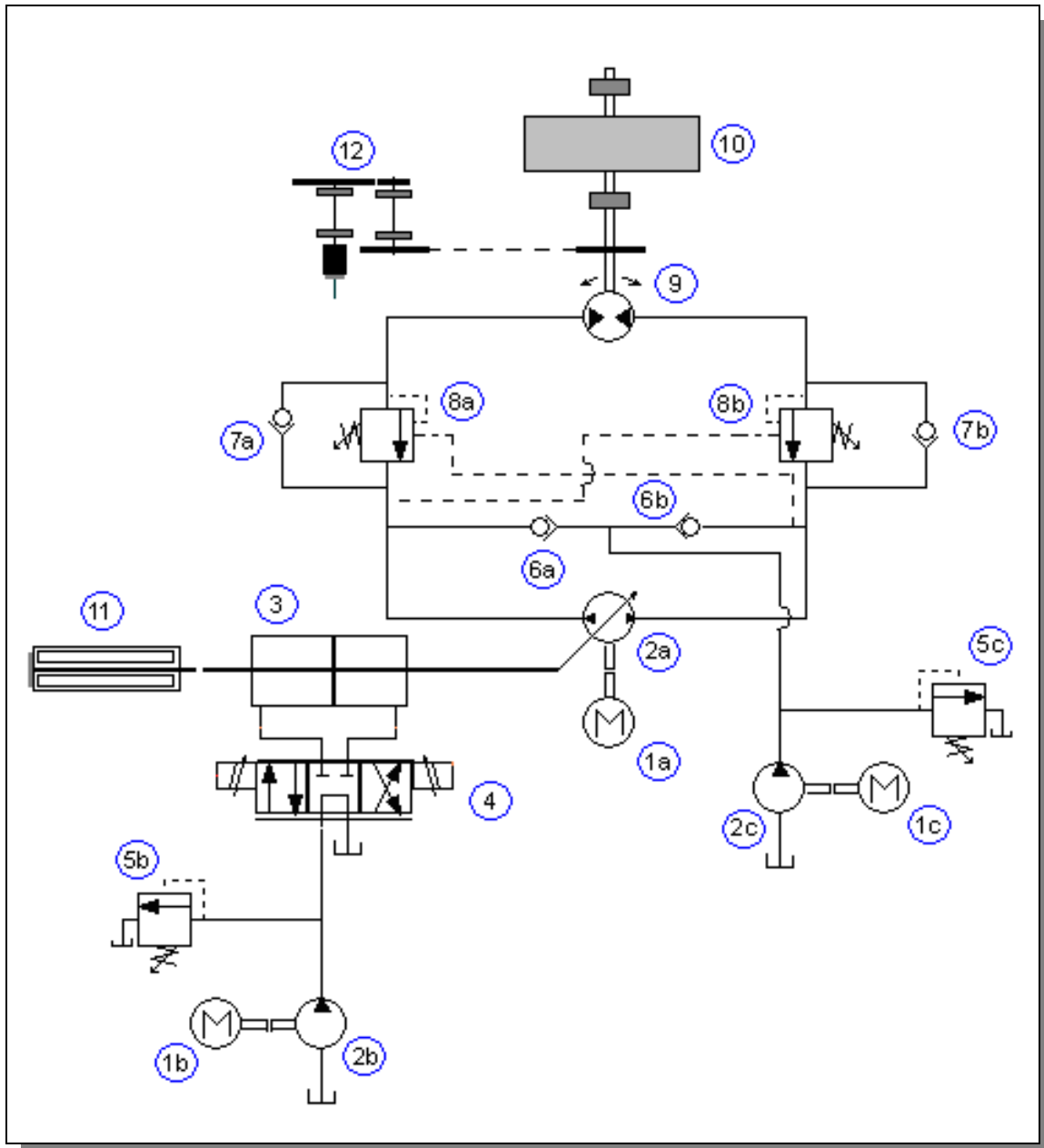
A continuación se realiza una descripción general del sistema de potencia o lo que corresponde a la parte de hidráulica que constituye la transmisión hidrostática. También se presentara el circuito de carga a la transmisión hidrostática.

2.5.1 Paquete de potencia transmisión hidrostática.

En la figura 19 se puede apreciar el circuito hidráulico de la transmisión. Que actualmente se encuentra instalada en el laboratorio de sistemas oleoneumáticos de la escuela de ingeniería mecánica.

Figura 19. Circuito Hidráulico Transmisión Hidrostática

Fuente: El autor

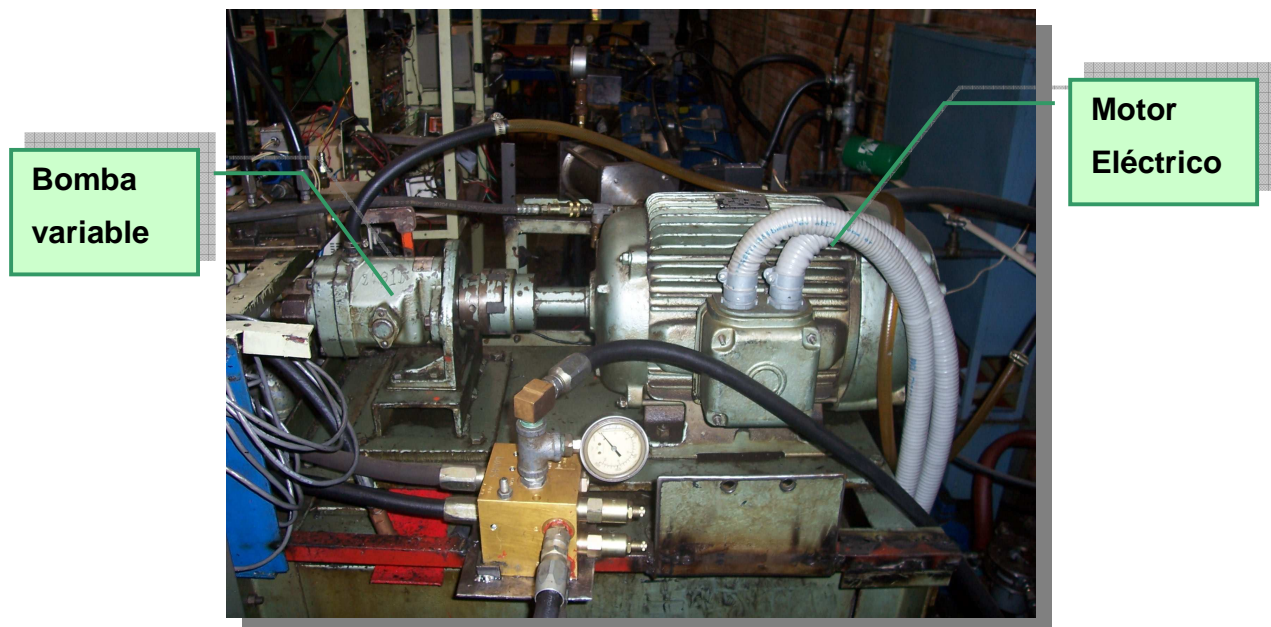


En el circuito hidráulico que se observa en la figura 18, el motor eléctrico (1a) acciona la bomba de pistones de desplazamiento variable (2a). La inclinación de la palanca de mando de esta bomba varía la carrera de los pistones, dando como resultado el cambio del volumen de aceite distribuido durante cada revolución del eje, variando el caudal suministrado al motor de desplazamiento fijo (9). Por

consiguiente impone la velocidad que la transmisión hidrostática requiere para conseguir cualquier velocidad (entre 0 – 800 rpm). El conjunto comprendido por el motor eléctrico (1b), la bomba (2b), servoválvula (4), cilindro de accionamiento que varia la inclinación de la placa de la bomba de caudal variable (5), y el transductor de posición LVDT (11) que suministra la señal de realimentación, conforman el servomecanismo de posición.

Figura 20. Motor Eléctrico y Bomba Variable.

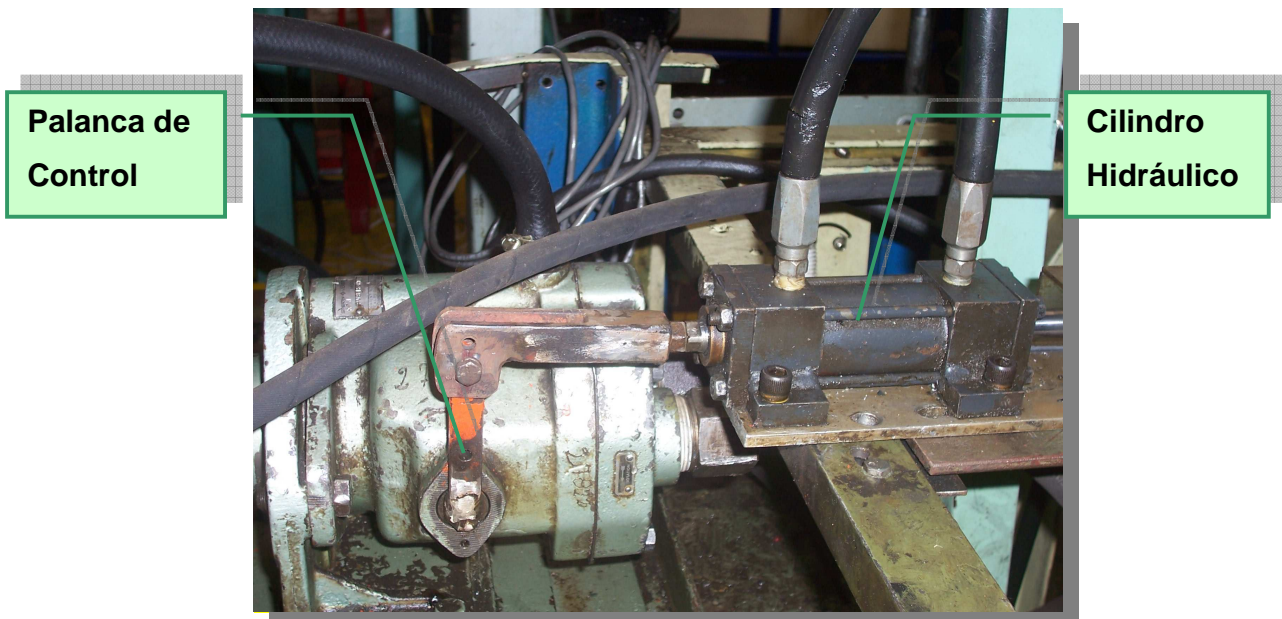
Fuente: Fotografía tomada por el autor



La bomba auxiliar (2b), se utiliza para suministrar aceite a la servoválvula (4); la cual regula el caudal necesario para mover el embolo del cilindro hidráulico (3), que a su vez acciona la palanca de control; regulando el suministro de aceite de la bomba (2a) mediante la variación del ángulo de inclinación de la placa de la bomba de caudal variable. El motor eléctrico (1c) acciona la bomba de precarga (2c), esta suministra aceite al circuito de la transmisión hidrostática para remplazar el aceite que se pierde por fugas o drenajes.

Figura 21. Cilindro hidráulico, Palanca de control.

Fuente: Fotografía tomada por el autor



El motor hidráulico bidireccional (9) recibe potencia fluida y la transforma en potencia mecánica. El motor mediante un acople transmite el movimiento rotacional a el volante (10), de este modo produciendo la aceleración del mismo según el caudal suministrado al motor. Mediante la instalación del encoder de velocidad (12), en el eje de la transmisión en el extremo opuesto al cual donde se encuentra el motor, se obtendrá la señal de retroalimentación de la velocidad de rotación de la transmisión con el fin de que se realice la comparación de la señal de comando y la señal de retroalimentación, para obtener el error y de esta manera la acción de control necesaria mediante el servomecanismo de velocidad, para mantener constante la velocidad de rotación en la transmisión hidrostática.

Las líneas de presión se encuentran aseguradas a sobrecargas mediante las válvulas limitadoras de presión (8a) y (8b). Para evitar daños por cavitación se instalo una tubería de aspiración posterior empalmada a través de válvulas antiretorno (6a) y (6b). La válvula de alivio (5b), ayuda a eliminar las sobre presiones y controla la presión del sistema. La válvula (5a), que regula la presión para proteger a la servoválvula.

Figura 22. Motor Hidráulico y Volante.

Fuente: Fotografía tomada por el autor



Todos los anteriores elementos mostrados y descritos se encuentran actualmente en el laboratorio de sistemas oleoneumáticos de la escuela de ingeniería mecánica, y su funcionamiento es satisfactorio.

2.5.2 Circuito de Carga de la transmisión hidrostática.

En el extremo opuesto en donde se encuentra ubicado el motor hidráulico, se encuentra instalado, un sistema hidráulico para la simulación de carga. Por medio de un acople de araña, se transmite el movimiento rotacional proveniente del motor de la transmisión al motor del circuito de carga. Por lo tanto, se transferirá el par rotacional del eje de la transmisión y la velocidad angular a la cual va girando la transmisión en una relación de 1:1 al un motor hidráulico del circuito de carga. Para la selección del motor hidráulico del circuito de carga se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones.

- Velocidad mínima de rotación

- Capacidad volumétrica
- Torque generado
- Robustez y sencillez
- Soporte técnico

Finalmente el motor seleccionado para ser empleado en el circuito de carga de la transmisión hidrostática fue:

Motor Nichols 050 Series (LSHT), Baja velocidad y alto torque, el motor posee una alta eficiencia volumétrica, debido a que su forma de construcción permite una transmisión de potencia según la presión de suministro. Es de uso compensado, para que su eficacia volumétrica no se degrade con el uso y el paso del tiempo. Puede proporcionar hasta 1006 lb.-in de torque a través del eje fijo de una sola pieza. También permite extenderse el eje a través de la tapa trasera para montar frenos, sistemas conductores auxiliares o encoders para lectura de velocidad o el control de lazo cerrado. Posee una baja presión de fuga, significa eficiencia mecánica alta y la capacidad de flujo más alta. Este motor robusto es el más compacto en el mercado.

Figura 23. Motor Hidráulico Parker, Nichols Serie 0508AS circuito de carga.

Fuente: www.parker.com



➤ **Especificaciones motor hidráulico Nichols Serie 0508AS**

Tabla 2. Especificaciones motor parker, Nichols Serie 0508AS.

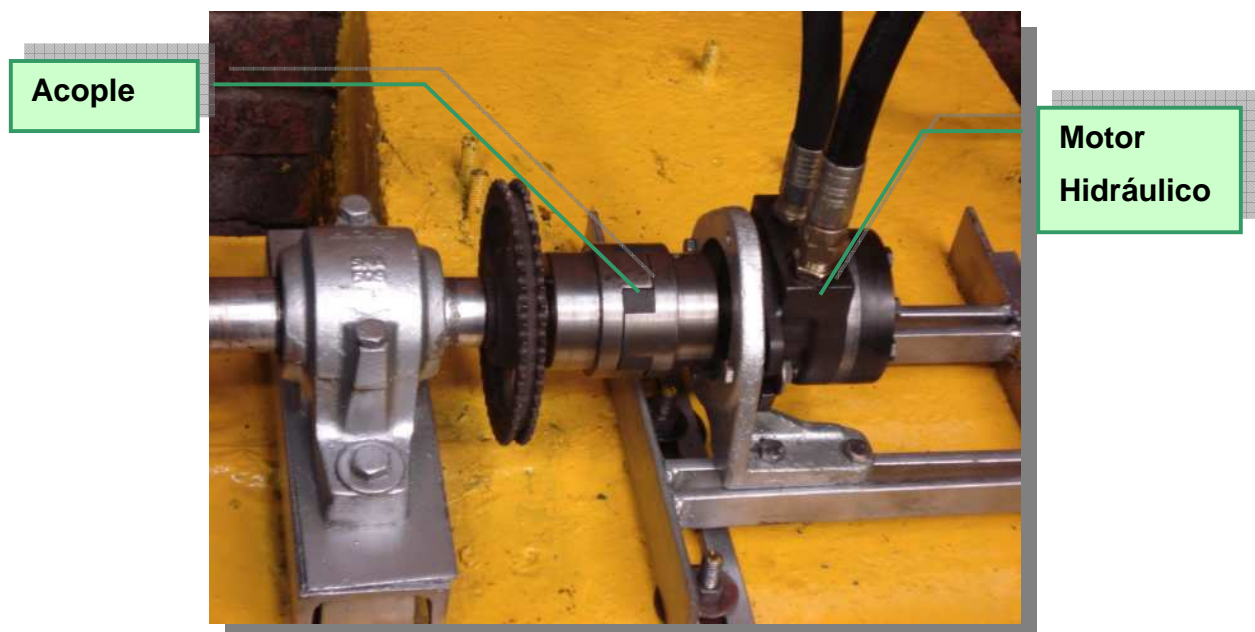
Fuente: www.parker.com

| | |
|----------------------------------|---------------------------|
| Desplazamiento | 3.6 in ³ /Rev. |
| Longitud | 3.48 in |
| Peso | 7.91 lb. |
| Máx. Velocidad | 945 rpm |
| Presión diferencial | |
| Máx. Continua | 1600 psi |
| Máx. Intermitente | 2250 psi |
| Máx. Torque | |
| @ Máx. Pres. Continua | 715 lb.-in |
| @ Máx. Pres. Intermitente | 1006 lb.-in |

El montaje del motor se empleo un soporte existente en el laboratorio de un motor hidráulico de semejantes dimensiones, lo cual permitió un ajuste perfecto y una rigidez en la unión mediante tornillos del motor al soporte. EL soporte descansa sobre un apoyo rígido, construido con placa de hierro de 5 mm de espesor el cual va sujeto a la base de concreto mediante tornillos de 5 mm de diámetro. Mediante el uso de un acople tipo araña el motor fue acoplado a el eje de la transmisión, la mayor precaución fue la correcta alineación del motor, por lo tanto el soporte fue construido de modo tal que posee guías para la correcta alineación de los ejes del motor y la transmisión de modo que no existan inclinaciones y esfuerzos el eje del motor.

Figura 24. Acople motor hidráulico a la transmisión.

Fuente: Fotografía tomada por el autor

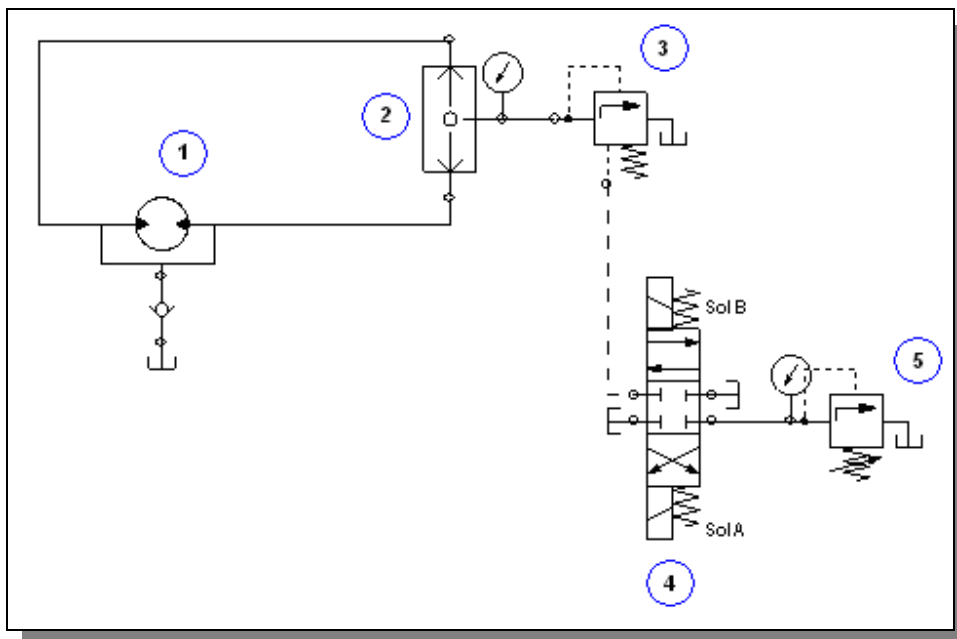


Luego de la selección y montaje del motor que proporciona el torque resistivo a la transmisión, se prosiguió, con el correcto adecuamiento del circuito figura 26, es decir limpieza y mantenimiento a los otros componentes del mismo, como lo son la válvula direccional, válvula de seguridad pilotada, válvula de seguridad de acción directa. Así como el tanque mangueras y acoples. Finalmente el circuito hidráulico

que se instalo para la simulación de carga a la transmisión presenta la siguiente configuración:

Figura 25. Motor Hidráulico y Volante.

Fuente: El autor



El circuito hidráulico de carga esta compuesto por:

- Motor hidráulico (1).
- Válvula direccional selectiva (2).
- Válvula de seguridad pilotada (3).
- Válvula direccional de bajo solenoide (4).
- Válvula de seguridad de acción directa (5).

Figura 26. Circuito hidráulico de carga a la transmisión.

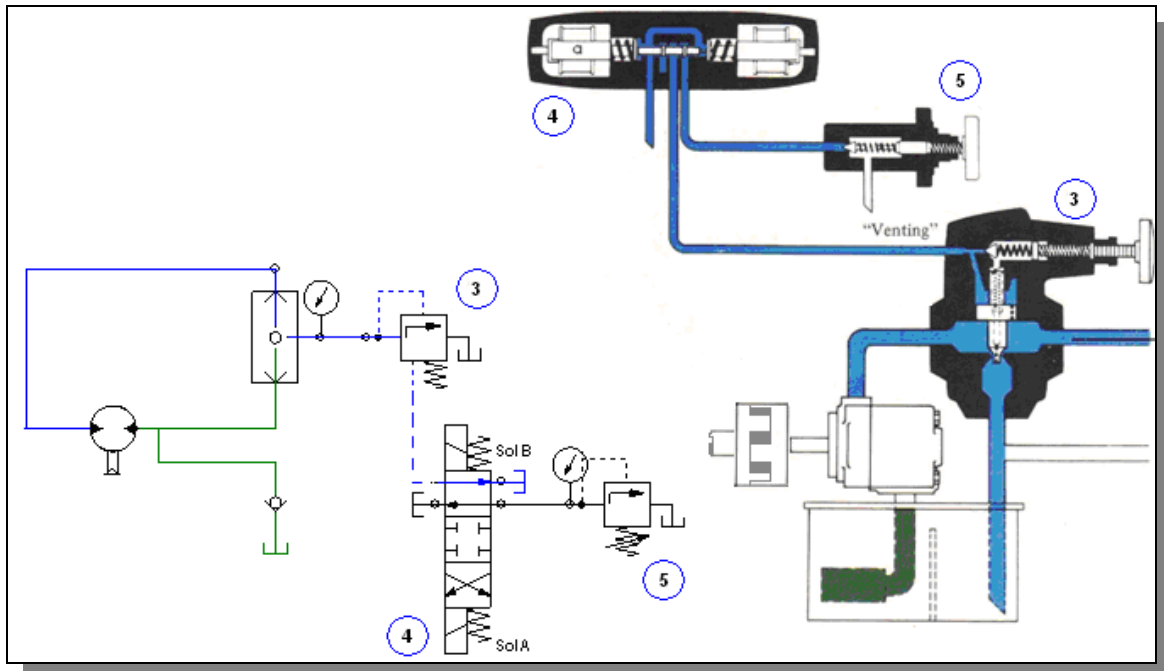
Fuente: Fotografía tomada por el autor



El objetivo de la instalación del circuito de carga o resistencia a la transmisión hidrostática, es la generación de un torque resistivo a la transmisión, y por lo tanto someter a la transmisión a una carga externa o perturbación. La transmisión en un principio gira a una determinada velocidad sin carga es decir ninguno de los solenoides activados en la válvula direccional. Con el empleo de las válvulas de seguridad tanto la de acción directa como la pilotada, obtenemos diversos valores de torque resistivo.

Figura 27. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en venteo.

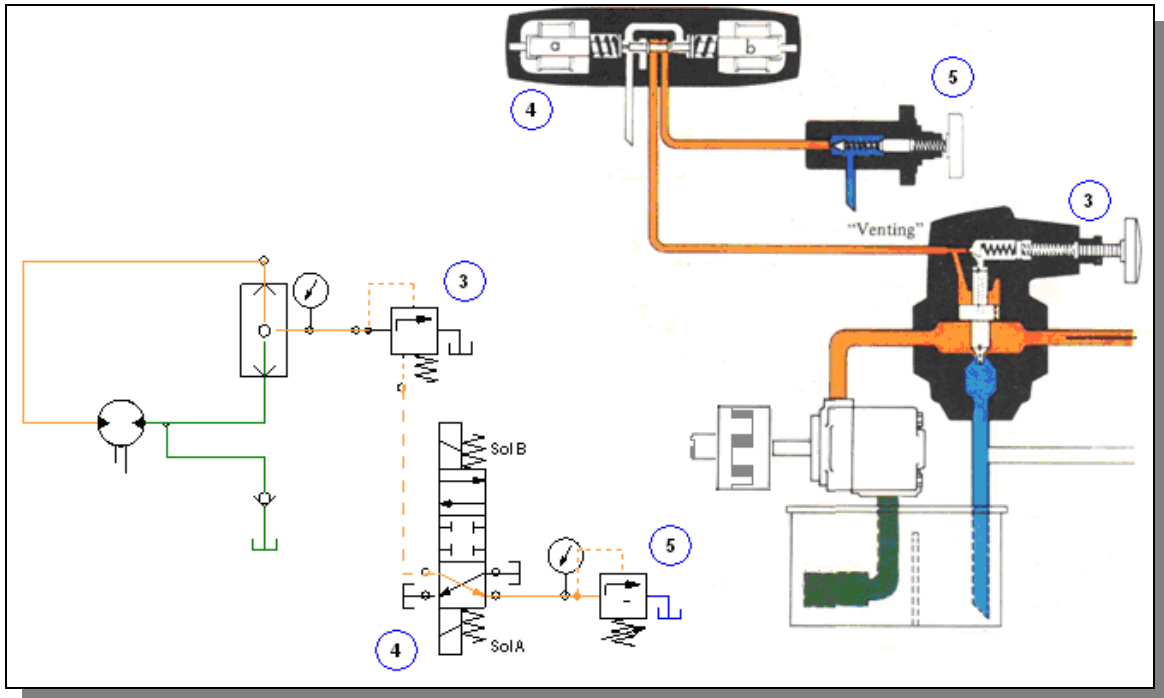
Fuente: *Manual Oleohidráulica Industrial*



Para la presión de venteo el solenoide B de la válvula direccional 4, es mantiene excitado como se muestra en la figura 27. La conexión piloto de la válvula de seguridad 3 esta comunicado a tanque a través de la válvula direccional 4, el caudal proveniente del motor descarga a tanque a través de la válvula 4, en esta configuración el aceite circula libremente sin que nadie obstruya su paso, por lo tanto la transmisión gira libremente sin carga alguna.

Figura 28. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en presión intermedia.

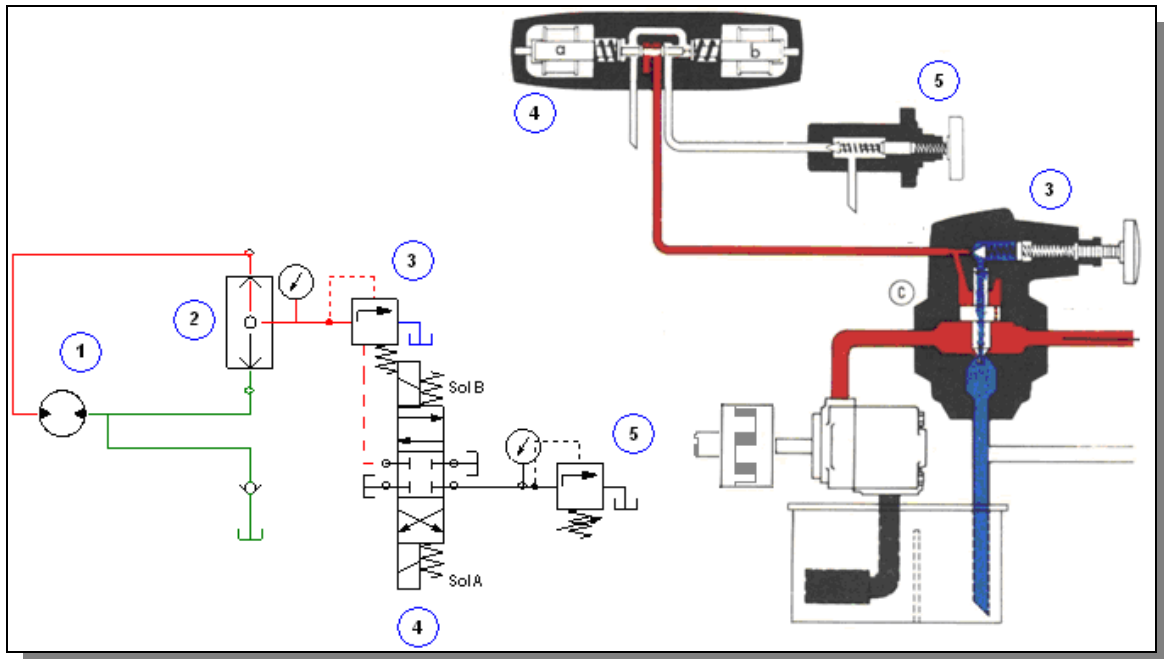
Fuente: *Manual Oleohidráulica Industrial*



Para una presión intermedia el solenoide A de la válvula direccional 4 se excita. El aceite circula a través del orificio de pilotaje de la válvula de seguridad 5 tal se ve en la figura 28. La presión del sistema viene limitada por el valor del taraje de la válvula de seguridad de acción directa que controla remotamente la válvula de seguridad 3. En esta configuración el aceite encuentra resistencia a su paso por lo tanto la presión es inducida en el aceite al valor del taraje de la válvula 3 y por consiguiente se determina el valor intermedio del torque resistivo que esta actuando en ese momento en la transmisión hidrostática.

Figura 29. Circuito hidráulico de carga a la transmisión en alta presión.

Fuente: *Manual Oleohidráulica Industrial*



Para una alta presión los solenoides A y B de la válvula direccional 4 se mantienen desexcitados como se observa en la figura 29. La conexión piloto de la válvula de seguridad 3 esta unida al orificio de la válvula direccional en el cual todos sus puertos están bloqueados ya que el centro cerrado. La presión del sistema viene limitada por el valor del taraje de la válvula de seguridad piloto. En esta configuración el aceite encuentra resistencia a su paso por lo tanto la presión es inducida en el aceite al valor del taraje de la válvula de seguridad pilotada y por consiguiente se determina el valor superior del torque resistivo que esta actuando en ese momento en la transmisión hidrostática.

➤ **Calculo del torque resistivo aplicado a la transmisión**

Mediante el empleo de las tablas suministradas por el fabricante se grafica la curva de desempeño del motor, de modo que en una sola grafica están relacionados todos las variables de trabajo; presión de suministro, velocidad, caudal y torque. Para valores que no se encuentran en las tablas, se puede realizar una aproximación en la grafica. Las tablas son las siguientes:

Valores de torque (lb.-in) a presión y caudal dados.

Tabla 3.Valores de torque motor parker, Nichols Serie 0508AS.

Fuente: www.parker.com

| Caudal (GPM) | Presión (Δ Psi) | | | | |
|--------------|-----------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2250 |
| 2 | 215 | 348 | 516 | 688 | 967 |
| 5 | 218 | 358 | 536 | 715 | 1006 |
| 8 | 206 | 330 | 523 | 697 | 967 |
| 10 | 160 | 307 | 502 | 678 | 967 |
| 15 | 140 | 298 | 488 | 660 | 928 |

Valores de Velocidad (RPM) a presión y caudal dados.

Tabla 4.Valores velocidad motor parker, Nichols Serie 0508AS.

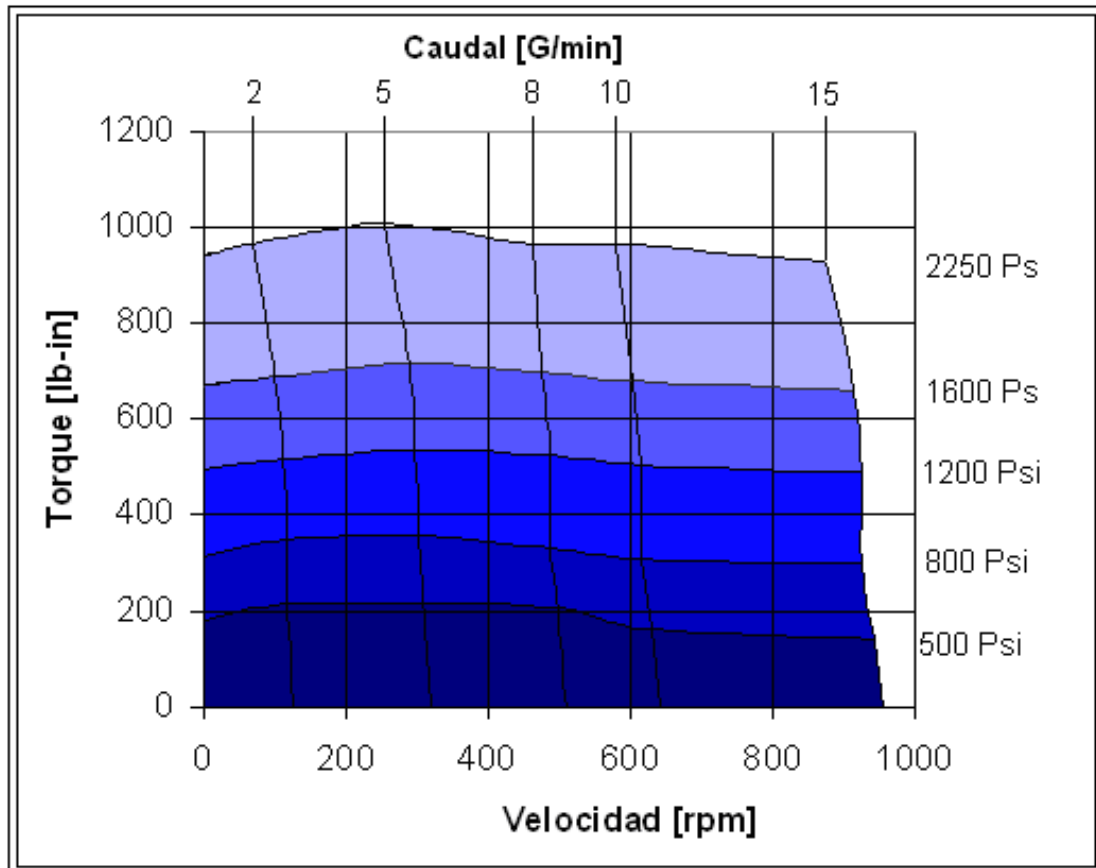
Fuente: www.parker.com

| Caudal (GPM) | Presión (Δ Psi) | | | | |
|--------------|-----------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2250 |
| 2 | 119 | 118 | 112 | 101 | 71 |
| 5 | 308 | 302 | 298 | 289 | 253 |
| 8 | 498 | 488 | 488 | 477 | 462 |
| 10 | 629 | 616 | 616 | 603 | 578 |
| 15 | 943 | 924 | 924 | 914 | 876 |

➤ **Datos técnicos motor parker, Nichols Serie 0508AS.**

Figura 30. Datos técnicos motor parker, Nichols Serie 0508AS.

Fuente: www.parker.com

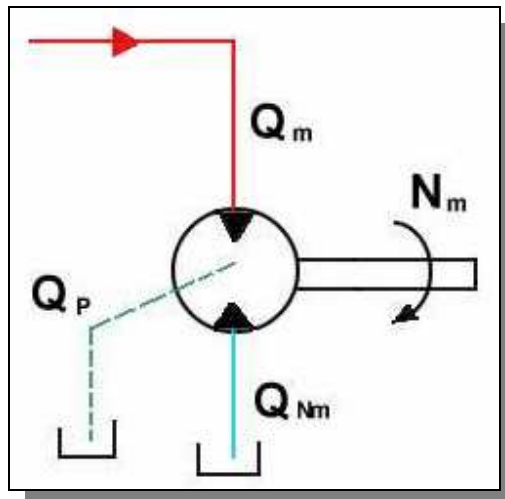


2.5.3 Formulas básicas de motores hidráulicos

Para la determinación de otros valores como lo son la potencia según el punto de operación o la obtención de las eficiencias tanto volumétrica, como mecánica se pueden emplear las formulas que rigen el comportamiento de los motores hidráulicos

Figura 31. Parámetros motor hidráulico.

Fuente: El autor



Estas ecuaciones son desarrolladas por el cálculo de parámetros del motor.

- Q_m = caudal de entrega [Gpm]
- Q_{Nm} = caudal nominal o teórico [Gpm]
- Q_p = caudal de pérdidas [Gpm]
- N_m = revoluciones por minuto [Rpm]
- C_m = desplazamiento o capacidad [in^3/rev]
- ΔP = cambio de presión [Psi]
- η_{vm} = eficiencia volumétrica
- η_{mm} = eficiencia mecánica
- η_{Tm} = eficiencia global o total
- λ_m = coeficiente de pérdidas
- T_r = torque real [lb.-in]
- T_o = torque teórico [lb.-in]
- Q_f = calor disipado [hp]
- H_p = potencia de consumo [hp]

$$Q_m = \frac{C_m \times N_m}{\eta_{vm}} < Q_{Nm} = C_m * N_m; Q_m = C_m N_m + \lambda_m \Delta P \quad Ec (1)$$

$$\eta_{vm} = (Q_{Nm} / Q_m) * 100 \quad Ec (2)$$

$$Q_p = C_m * N_m * \left(\frac{1}{\eta_{vm}} - 1 \right) \quad Ec (3)$$

$$Q_p = \lambda_m * \Delta P \quad Ec (4)$$

$$Q_f = Q_p \Delta P \quad Ec (5)$$

$$T_o = \frac{C_m \times \Delta P}{2\pi} = \frac{J \times \Delta \omega}{\Delta t} \quad Ec (6)$$

$$T_r = T_o * \eta_{mec} = \frac{C_m \times \Delta P}{2\pi} \times \eta_{mec} \quad Ec (7)$$

$$HP = \frac{Q_m * \Delta P}{1714} * \eta_T \quad Ec (8)$$

Valores de potencia [hp] calculados en motor hidráulico del circuito de carga, a valores dados de caudal y presión

$$HP = \frac{Q_m * \Delta P}{1714} * \eta_T \quad Ec (9)$$

$$\eta_{Tm} = \eta_{vm} * \eta_{mm} \quad Ec (10)$$

Valores de Potencia (hp) a presión y caudal dados.

Tabla 5. Valores potencia motor parker, Nichols Serie 0508AS.

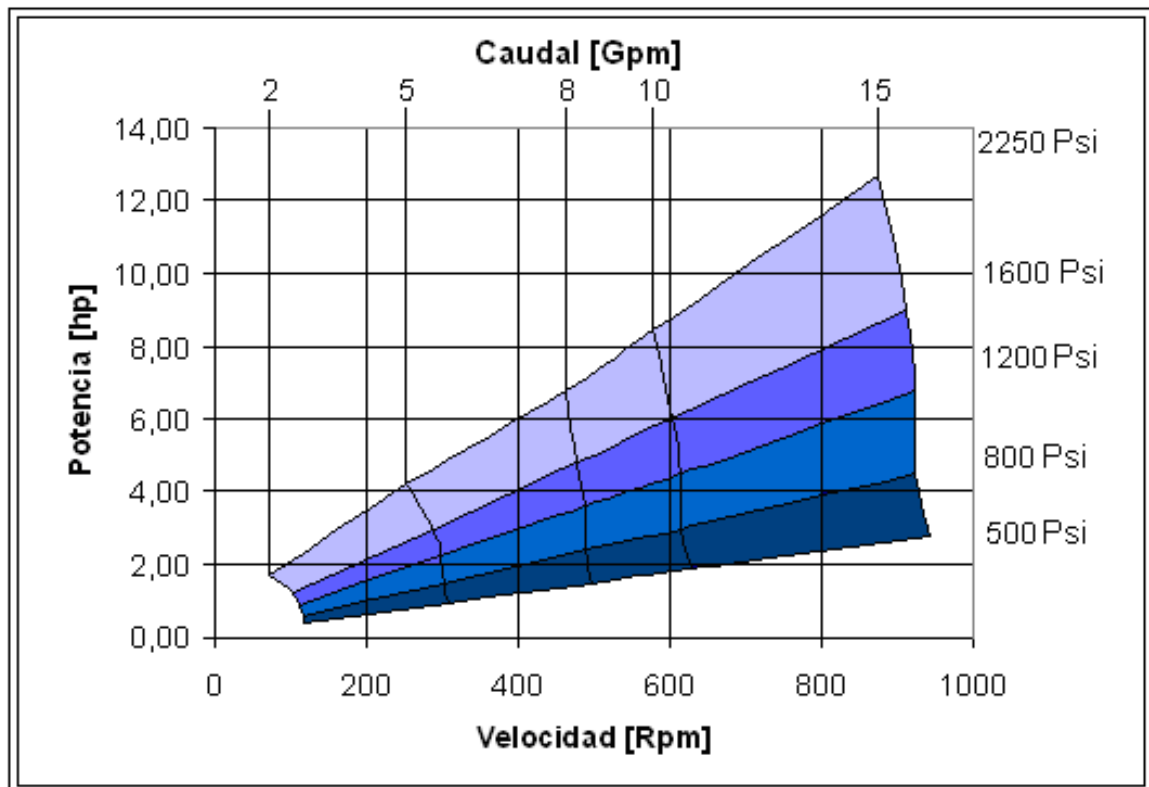
Fuente: www.parker.com

| Caudal (GPM) | Presión (Δ Psi) | | | | |
|--------------|-----------------|------|------|------|-------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2250 |
| 2 | 0,37 | 0,60 | 0,90 | 1,20 | 1,69 |
| 5 | 0,94 | 1,50 | 2,25 | 3,00 | 4,22 |
| 8 | 1,50 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,75 |
| 10 | 1,87 | 3,00 | 4,50 | 6,00 | 8,43 |
| 15 | 2,81 | 4,50 | 6,75 | 9,00 | 12,65 |

Valores de Potencia (hp) a presión y caudal dados.

Figura 32. Potencia consumida por el motor a presión y caudal dados.

Fuente: www.parker.com



3. CONTROL AUTOMATICO.

Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o aun valor pequeño. La maneta en la cual el controlador automático produce la señal de control se denomina acción de control

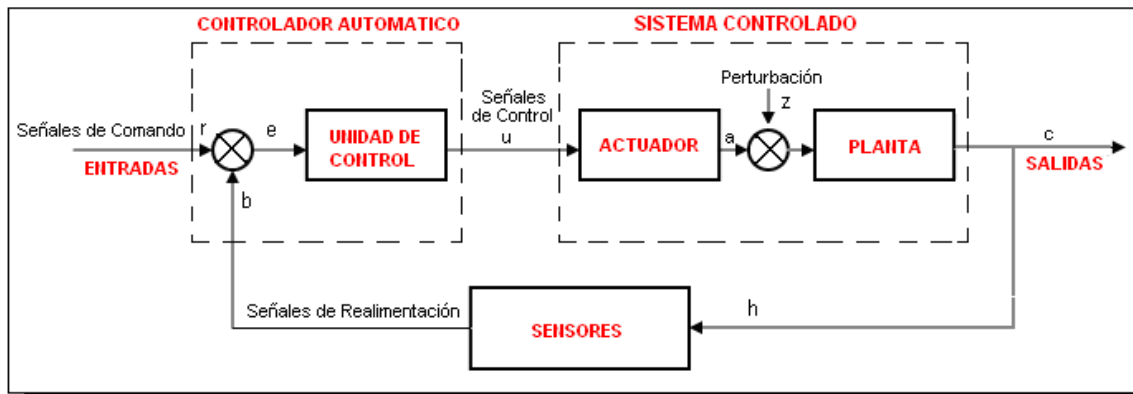
3.1 REPRESENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL

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 33 representa el diagrama de bloques de un sistema de control típico. La salida C, señal que se pretende controlar, se realimenta a un punto, donde se le compara con la entrada de referencia R, señal deseada para el sistema.

Figura 33. Diagrama de bloques.

Fuente: El autor



Como se observa en la figura del diagrama de bloques se pueden distinguir dos elementos significativos los cuales son: el controlador automático, 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. La terminología empleada en los diagramas de bloques es la siguiente

- r: Señal de referencia ó Set Point (SP)
- e: Señal de error
- b: Señal de retroalimentación ó Variable del Proceso (PV)
- u: Señal de control ó Variable de control (CV)
- a: Señal accionadora
- z: Señal de perturbación
- c: Señal de salida
- h: Señal de retroalimentación de perturbación.

En el diagrama de bloques anterior se pueden distinguir las partes más significativas de este como lo son.

El *comparador* realiza la operación de sustracción entre la señal de referencia c y la señal realimentada r , la señal suministrada por el comparador es $r-c$, que se convierte en la señal e .

$$e = c - r$$


El símbolo utilizado para indicar la operación de adición es el círculo. Las puntas de flechas orientadas hacia el círculo indican magnitudes de entrada, y las que salen, magnitudes de salida. El signo de cada entrada indica si la operación es de adición o de sustracción.

La señal e es el valor que actúa en el sistema y es la entrada de los elementos de control. Está relacionada con la variable controlada c , que es la salida de control en la siguiente forma:

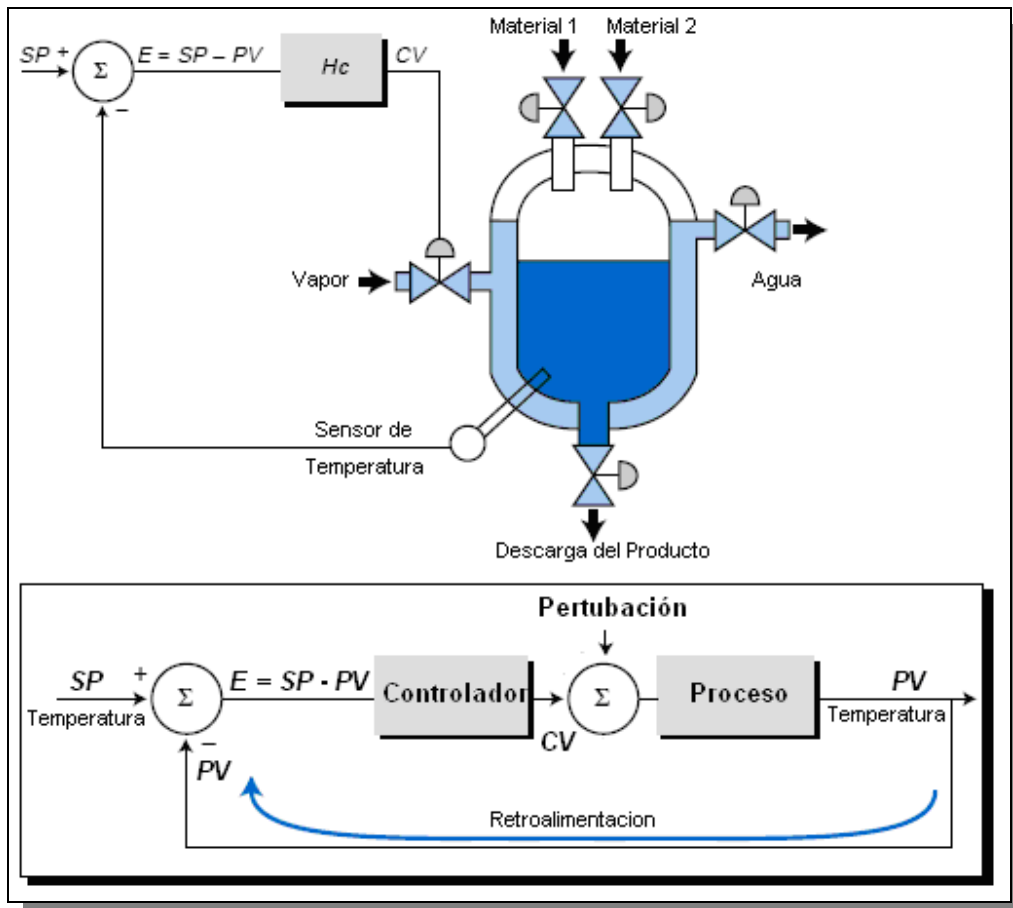
$$c = G(s)e$$


Donde $G(s)$ representa la operación de los *elementos de control* y s es la transformada de Laplace. El rectángulo es el símbolo de la multiplicación. En este caso, la cantidad de entrada e es multiplicada por la función $G(s)$ encerrada por el rectángulo para obtener la salida c .

En términos sencillos un diagrama de bloques representa un sistema a controlar, en la siguiente gráfica se observa un proceso de mezclado cuya variable crítica es la temperatura de la salida de la mezcla en el producto de descarga, en el proceso ingresan dos materiales y vapor para que intercambie calor con los materiales. Por medio del sensor de temperatura se realiza el control sobre la válvula que da paso al vapor y se regula la cantidad del mismo, de esta manera se mantiene dentro de los parámetros permisibles del proceso la variable crítica.

Figura 34. Diagrama de bloques de un proceso de un tanque de mezclado.

Fuente: *Engineering PLC*



3.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMA DE CONTROL

Retomando la definición de *sistema de control*: conjunto de componentes físicos conectados de tal manera que pueda 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*.

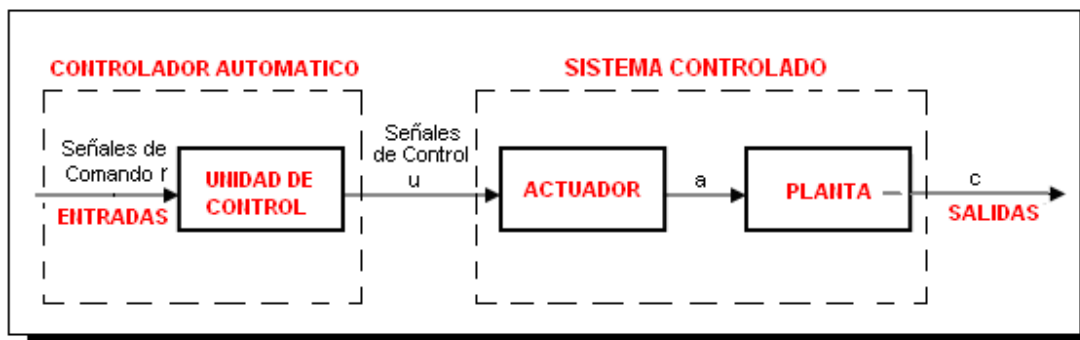
Así se tendrían los sistemas de control en lazo abierto en los que no existe cadena de realimentación y sistemas de control en lazo cerrado, en los que sí existe.

3.2.1 Sistema de control lazo abierto.

El control de lazo abierto se caracteriza porque la salida no tiene efecto sobre la acción de control, además porque la salida ni se mide ni se retroalimenta. Esto quiere decir que para un comando dado se tiene una salida ó condición de operación y cualquier condición externa al sistema afectará su operación y por consecuencia la salida. Figura 34.

Figura 35. Representación sistema de control lazo abierto.

Fuente: El autor



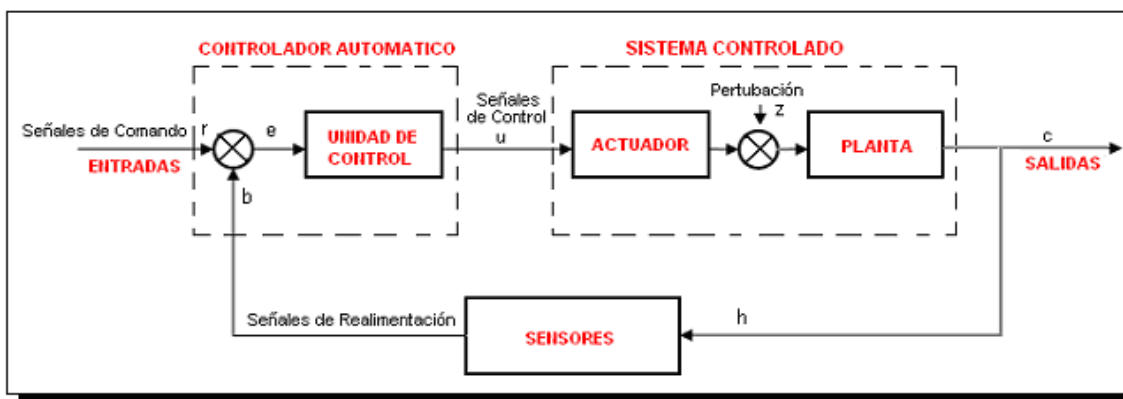
3.2.2 Sistema de control lazo cerrado.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control, esto es, son *sistemas de control realimentado*. 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 controlador para reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. La figura 35, muestra la relación entrada-salida de un sistema de control de lazo cerrado. En la mayoría de los casos suele modelarse el sistema de forma que la señal de salida llega directamente al controlador, sin que el elemento de medida influya en la misma

(realimentación unitaria), por ejemplo incluyéndolo en la cadena directa y tomando como variable controlada la salida del mismo.

Figura 36. Representación sistema de control lazo cerrado.

Fuente: El autor



La principal tarea del circuito de control de lazo cerrado es eliminar el efecto de las perturbaciones externas en los parámetros de control. Otra ventaja es la facilidad con que este circuito busca rápidamente el valor cero (Voltios) de error cuando la señal de comando es cambiante.

En resumen el control de lazo cerrado tiene dos tareas:

- Corregir los efectos de las perturbaciones externas.
- Ajustarse rápidamente al valor de referencia.

Pero ajustar el sistema a una señal externa (perturbación) ó un cambio en el comando requiere un cierto periodo de tiempo. Si la señal es escalonada, el control de lazo cerrado responde reajustando la variable de control. Esto ocurre con una demora propia independiente de la naturaleza física del sistema de lazo cerrado.

El sistema puede oscilar si se pretende reducir el tiempo de demora, permitiendo que el regulador intervenga ó tenga mayor interacción para el caso de variables no deseadas (perturbaciones). Si la oscilación inicial es amortiguada, el sistema de

control de lazo cerrado es considerado estable. Pero si la oscilación permanece en el tiempo se dice que el control de lazo cerrado es inestable.

Si el control de lazo cerrado es estable, debe notarse otra característica que es mantener el error de lazo cerrado por debajo de un valor preestablecido. Los requerimientos de estabilidad y mantener los errores del lazo cerrado son esenciales para un circuito de control de lazo cerrado. Si se quiere tener un circuito de control de lazo cerrado que cumpla con los requerimientos, se debe tener en cuenta las consideraciones y especificaciones de los reguladores para una selección apropiada. Es necesaria una descripción completa del comportamiento dinámico de todos los elementos de control de lazo cerrado con el fin de asegurar la correcta selección del regulador.

Un sistema de lazo cerrado proporciona un control más preciso que otro de lazo abierto, sin embargo, puede resultar inestable si no está bien diseñado. Por ejemplo, si la ganancia es demasiado elevada, es posible que se produzca en el sistema una "sobre corrección de error" que provoque una oscilación creciente de salida. Un sistema que sea inestable resulta totalmente inútil.

3.2.3 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.

3.2.4 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 a-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*.

3.2.5 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.

3.3 ACCIONES BASICAS DE CONTROL

El controlador tiene dos tareas en el lazo cerrado que están naturalmente unidas. Una es la de asegurar que la variable controlada c reaccione a las alteraciones en la variable de comando r tan rápido y exacto como sea posible; con la variable de comando constante, la variable controlada debe ser equivalente a la variable de comando sin compensación. Por otro lado, el controlador debe mantener al mínimo los efectos perturbadores externos que actúan sobre la variable controlada.

El controlador recibe la diferencia entre la variable de comando y la variable de retroalimentación formada por el comparador como una señal de entrada. Esta

diferencia siempre existe cuando el circuito de control está des balanceado; ya sea como resultado de un cambio en la variable de comando o debido a la influencia de una variable perturbadora. La variable debe ser cero en condiciones de estado estable y si el controlador está operando apropiadamente.

Los controladores industriales analógicos, se pueden clasificar de acuerdo con sus acciones de control de la siguiente forma:

- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controladores proporcional – integral
- Controladores proporcional – derivativo
- Controladores tipo proporcional – integral – derivativo.

Tabla 6. Acciones básicas de control.

Fuente: El autor

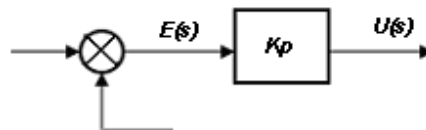
| Tipo de Control | Respuesta | Aplicación |
|--|--|--|
| Proporcional P | CV Varía en proporción con E | Sistemas con cambios pequeños de carga y/o tiempos cortos de retraso |
| Integral I | CV Varía de acuerdo como E varía en el tiempo | Procesos con demoras cortas y baja capacidad |
| Derivativo D | CV Varía de acuerdo cuan rápido varia E | Nunca usado solo en ninguna aplicación |
| Proporcional – Integral PI | CV responde en una combinación de acciones de P e I | Sistemas con grandes cambios de carga |
| Proporcional – Derivativo PD | CV responde en una combinación de acciones P y D | Procesos con cambios rápidos de carga |
| Proporcional – Integral – Derivativo PID | CV responde en una combinación de acciones P, I, y D | Puede ser usada en prácticamente todos los procesos de control. |

3.3.1 Control proporcional P.

El controlador proporcional, como cualquier otro controlador, recibe un voltaje en su entrada que viene de un comparador y representa la diferencia de control. La tarea del controlador es hacer esta diferencia de control cero lo mas rápido posible. Este criterio determina, entre otras cosas, si un controlador puede ser usado para una cierta tarea o no. La salida del controlador P reacciona, como su nombre lo dice, proporcionalmente a la variable de entrada. La señal de salida establecida aparece únicamente si se aplica un voltaje de entrada; se requiere además una diferencia de control en la entrada para generar una variable manipulada en su salida. Las principales áreas de aplicación para el controlador P son circuitos de control de llenado, etc.

La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ viene dada por

$$u(t) = K_p \times e(t)$$



O en transformada de Laplace, $\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$ donde K_p se denomina factor de ganancia proporcional.

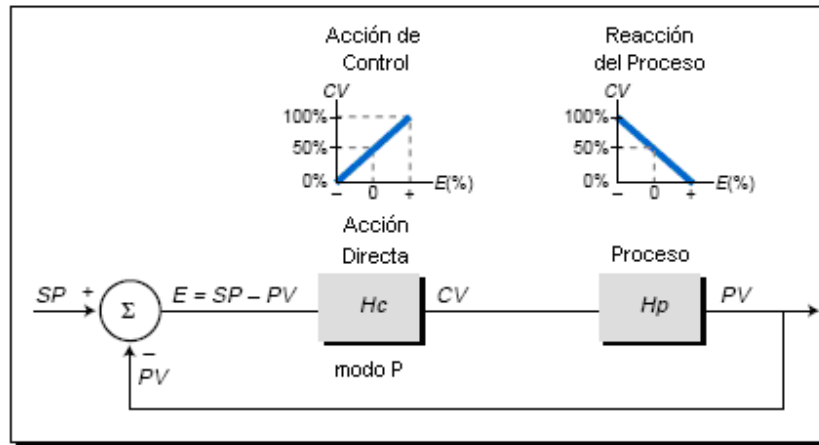
Las características de un regulador P son:

- Construcción simple.
- Ajuste fácil.
- Rápida respuesta para cambio en la variable de control.

Básicamente, la variable de control nunca iguala completamente la variable de entrada debido a que el controlador P necesita de un error para funcionar. El error del lazo cerrado depende del factor de ganancia.

Figura 37. Respuesta a una señal escalón de un controlador P en lazo cerrado y diagrama de bloque.

Fuente: *Engineering PLC*



3.3.2 Control integral I.

En un controlador con acción integral, el valor de la salida del controlador $u(t)$ varía en razón proporcional a la señal de error $e(t)$. Es decir,

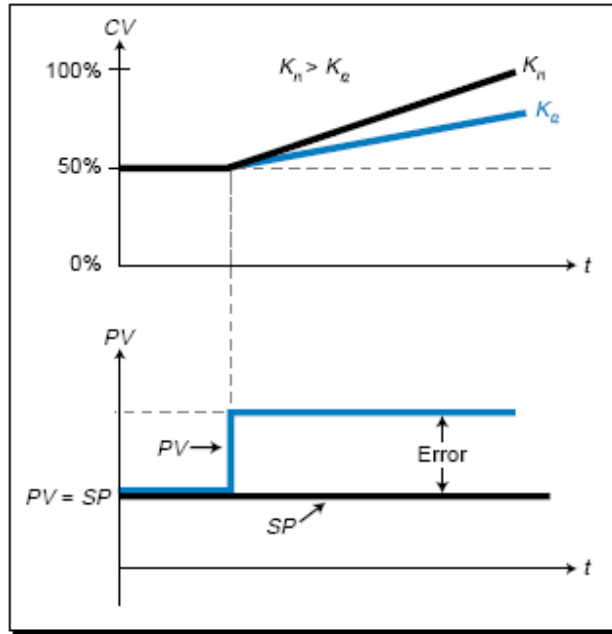
$$\frac{du(t)}{dt} = K_i \times e(t)$$

Donde K_i es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

El elemento I hace que la salida del controlador siga variando hasta que el valor de entrada se hace cero. En comparación con el controlador P, la variable de control generada por el controlador I no es proporcional al error de lazo cerrado, pero si es proporcional a la tasa de cambio de la variable de entrada. El controlador I elimina el error pero reacciona relativamente lento a un cambio en la variable de control. Esto resulta en tiempos de control muy largos.

Figura 38. Respuesta a una señal escalón de un controlador I en lazo cerrado.
 Fuente: *Engineering PLC*



3.3.3 Controlador proporcional - Integral PI.

Algunas veces se utiliza un controlador solamente con control integral, pero es más común encontrar controladores combinados PI. El controlador PI combina la rapidez de respuesta del controlador P con la exactitud del controlador I. Con la adición de la acción integral se elimina la desviación permanente del modo puramente proporcional. Cuando el error existe, la acción integral hace que la salida cambie hasta que un nuevo valor de salida adecuada y necesaria mantenga la variable controlada bajo un punto de ajuste fijo sin ninguna desviación.

La acción de un controlador PI queda definida por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p \times e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

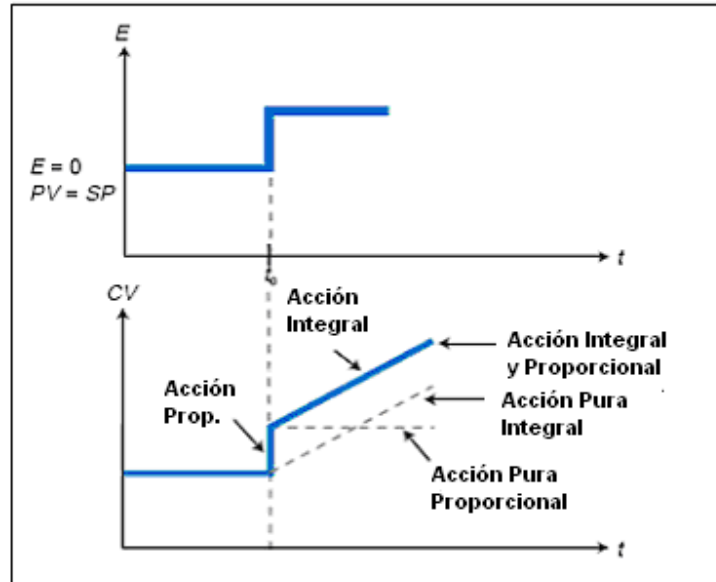
La función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \times s} \right)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_i se denomina tiempo integral. Ambos valores K_p y T_i , son ajustables. El tiempo integral regula la acción de control integral, mientras que una modificación en K_p afecta tanto la parte integral como la proporcional. El recíproco del tiempo integral T_i recibe el nombre de frecuencia de reposición. La frecuencia de reposición es la cantidad de veces por minuto que se repite la acción proporcional.

Figura 39. Respuesta a una señal escalón de un controlador PI.

Fuente: *Engineering PLC*



3.3.4 Controlador proporcional - Derivativo PD.

El controlador P únicamente genera un voltaje de salida si se tiene disponible un voltaje de entrada. Si el voltaje de entrada cae a cero, el voltaje de salida también desaparece. El controlador PD incrementa su voltaje de salida tan pronto como se disponga de un voltaje de entrada, aún con el voltaje de entrada más bajo, el voltaje de salida continúa su crecimiento. Se detiene el crecimiento cuando el voltaje de entrada desaparece. El controlador PI es muy exacto pero relativamente lento, la integración necesita tiempo. Si se va a controlar un sistema inercial, por ejemplo un sistema de calentamiento, se requiere un controlador que reaccione proporcionalmente al principio. De esta manera es capaz de compensar la inercia inicial del sistema. En este caso se usan controladores PD o PID.

En el controlador PD, el valor del voltaje de salida no depende del valor del voltaje de entrada, pero sí de la velocidad del cambio. De esta manera un pequeño cambio en la diferencia de control en la entrada del controlador PD produce inmediatamente un voltaje de salida relativamente alto.

La acción de control proporcional derivativo se define por la siguiente ecuación:

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

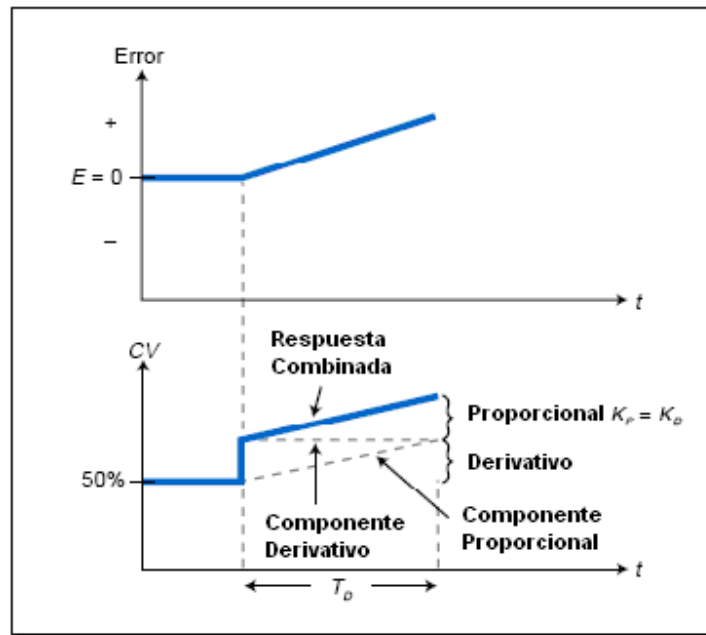
La función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d \times s)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo derivativo o tiempo de adelanto. Tanto K_p como T_d son ajustables. La acción de control derivativa, a veces llamada control de velocidad, se presenta cuando el valor de salida del controlador es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción derivativa se adelanta al efecto de la acción proporcional.

Figura 40. Respuesta a una señal rampa de un controlador PD.

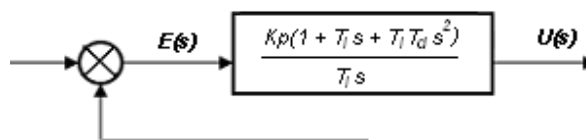
Fuente: *Engineering PLC*



3.3.5 Controlador proporcional - Integral - Derivativo PID.

Esta combinación posee las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción es:

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



La función de transferencia es:

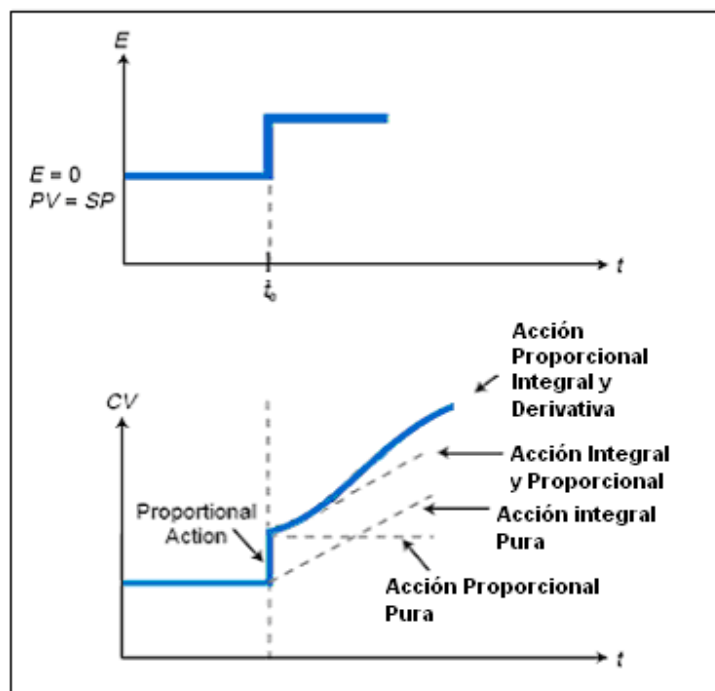
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \times \left[1 + \frac{1}{T_i \times s} + T_d \times s \right]$$

Donde K_P es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

Cuando la señal de entrada cambia, el controlador responde inicialmente en proporción al componente derivativo. Después de que ha cesado la acción derivativa, la variable de control regresa a un valor dentro del rango de acción proporcional y luego cambia con respecto al valor del componente I.

Figura 41. Respuesta a una señal escalón de un controlador PID.

Fuente: *Engineering PLC*

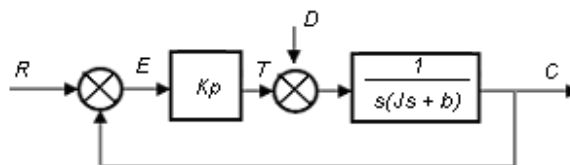


3.4 TIPO DE CONTROL PARA LA TRANSMISION

Al Suministrar e instalar un autómata programable, que contenga integrado un regulador PID parametrizable, se obtiene un sinnúmero de ventajas en el control se puede observar esta ventaja analizando el caso semejante a cual se va trabajar el presente proyecto. En el sistema considerado (transmisión hidrostática) se

pretende eliminar lo mas posible los errores de velocidad producidos por los pares de perturbación, es decir se desea cancelar el efecto de un par de perturbación en estado estable para que un par de perturbación constante aplicado al miembro de salida no produzca un cambio de velocidad en estado estable.

Para un control exclusivamente proporcional el controlador aportaría la señal necesaria de corrección para controlar la perturbación de igual magnitud pero de signo opuesto, pero la salida en estado estable producida por el par de perturbación T_d es aun la relación del par de perturbación sobre la constante proporcional T_d/K_p . Esto lo podemos observar en los estudios realizados por *Katsuhiko Ogata*^{*} en el libro de ingeniería de control moderna.



En el sistema mostrando, una perturbación par ocurre en un elemento de carga, el controlador proporcional produce una señal par t para posicionar el elemento de carga, que consiste en el momento de inercia y una fricción viscosa. La perturbación de par se representa como D. Suponiendo que la entrada de referencia es cero, $R(s) = 0$, la función de transferencia entre $C(s)$ y $D(s)$ se obtiene mediante:

$$C(s)/D(s) = 1 / Js^2 + bs + K_p$$

por lo tanto,

$$E(s)/D(s) = - C(s)/D(s) = 1 / Js^2 + bs + K_p$$

El error en estado estable producido por un par de perturbación escalón de magnitud T_d se obtiene mediante la siguiente forma.

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} -s / Js^2 + bs + K_p * T_d / s \end{aligned}$$

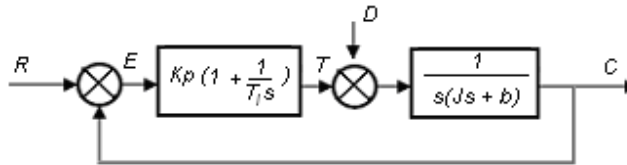
^{*} Autor del libro Ingeniería de Control moderna

$$= -T_d / K_p$$

En el estado estable, el controlador proporcional aporta el par $-T_d$, que tiene igual magnitud pero signo opuesto que el par de perturbación $-T_d$, la salida en estado estable producida por el par de perturbación escalón es:

$$e_{ss} = -e_{ss} = T_d / K_p$$

El error en estado estable se reduce si se incrementa el valor de la ganancia K_p . Sin embargo aumentar este valor provocara que la respuesta del sistema sea más oscilatoria. Por lo tanto para eliminar el error presente (*offset*) debido a un perturbación par, el controlador proporcional se sustituye con un controlador proporcional – integral, y luego, mientras existe una señal de error, el controlador desarrolla una señal para reducir este error, siempre y cuando el sistema de control sea estable. Por tanto, el error en estado estable para el par de perturbación se elimina si el controlador es del tipo proporcional - integral.



Para eliminar el error presente, se emplea el tipo de control proporcional – integral, y luego, mientras exista una señal de error, el controlador desarrolla una señal para reducir este error, siempre y cuando el sistema de control sea estable. A continuación se muestra el control proporcional – integral del elemento de carga, formado por el momento de inercia y una fricción viscosa. La función de transferencia es lazo cerrado entre $C(s)$ y $D(s)$ es:

$$C(s)/D(s) = s / Js^2 + bs^2 + K_p + K_p/T_i$$

Ante la ausencia de la entrada de referencia $R(t) = 0$, la señal de error se obtiene de:

$$E(s)/D(s) = s / Js^3 + bs^2 + K_p s + K_p/T_i$$

Si este sistema de control es estable, es decir las raíces de la ecuación característica

$$Js^3 + bs^2 + K_p s + K_p/T_i = 0$$

Tienen partes reales negativas, el error en estado estable en la respuesta a un par de perturbación escalón unitario se obtiene aplicando el teorema de valor final del modo siguiente:

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} -s^2 / Js^3 + bs^2 + K_p s + K_p/T_i * 1/s \\ &= 0 \end{aligned}$$

Por tanto, error en estado estable para el par de perturbación escalón se elimina si el controlador es del tipo proporcional – integral. La acción de control integral agregada al control proporcional convierte el sistema, en uno de tercer orden, por ende, el sistema de control puede volverse inestable para un valor grande de K_p . Para corregir esta inestabilidad se agrega una acción de control derivativa al control, esta aporta un medio para obtener un controlador con alta sensibilidad. Una ventaja de usar la acción derivativa, es que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error sea significativa, por el hecho de que el sistema posee una inercia de valores considerables y que no puede ser frenada instantáneamente. Por tanto el control derivativo prevé el error, inicia una acción correctiva oportuna, entendiéndose como una desaceleración y tiende a aumentar la estabilidad del sistema.

Aunque el control derivativo no afecta de forma directa el error en estado estable añade amortiguamiento al sistema y por tanto permite el uso de un valor más

grande de la ganancia, lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable. Debido a que el control derivativo opera sobre la velocidad de cambio del error, y no sobre el error mismo, este modo nunca se usa solo. Siempre se emplea junto con una acción de control. Para este caso el tipo de control acorde a la situación es del tipo PID, es decir una acción de control proporcional, integral y derivativo.

4. SERVOMECANISMO ELECTROHIDRAULICO DE CONTROL DE VELOCIDAD

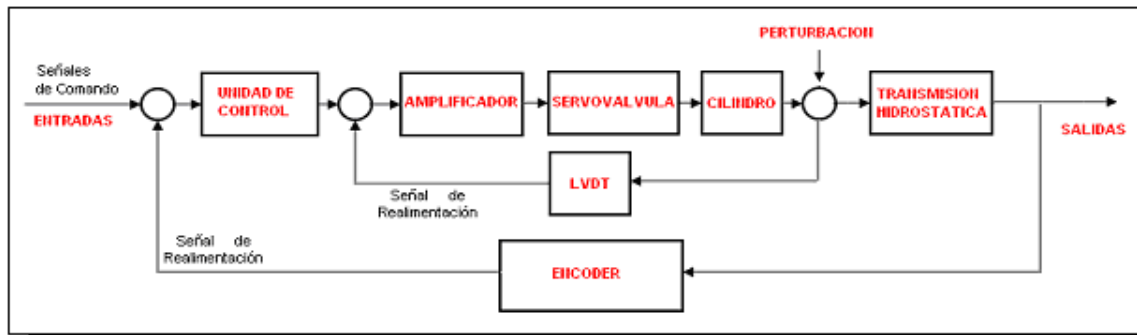
4.1 INTRODUCCION

Un servomecanismo es un sistema compuesto formado de partes tanto mecánicas como electrónicas su característica principal es que se activa debido a una señal de error, que viene determinada por la diferencia entre la señal establecida como salida para una determinada señal de entrada y la señal de salida real. Esta señal de error se envía a la entrada para compensar ese error, de forma que el mecanismo se autorregula. Esta técnica se llama realimentación.

El control que posee la transmisión hidráulica es un sistema de control con estructura de lazo cerrado, esto quiere decir que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control en este caso la variable a controlar es la velocidad. La señal de error actuante es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación. El sistema de control de la transmisión hidrostática esta comprendido por: unidad de control, accionamientos hidráulicos o planta y finalmente sensores. El objetivo de este proyecto de grado es la realización del control automático de la transmisión a velocidad constante, y para este propósito se cuentan con los servomecanismos de posición y velocidad. En adelante se explicará detalladamente sus características y funciones. En la figura 41, se ha realizado el esquema del control de la transmisión hidrostática en diagrama de bloques.

Figura 42. Diagrama de bloques de control transmisión hidrostática.

Fuente: El autor

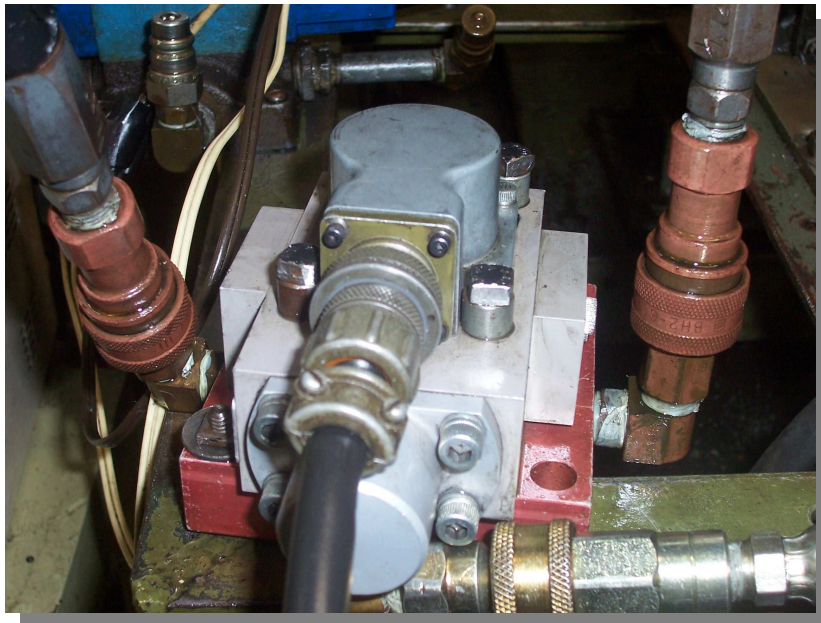


Como se puede observar en la figura, se presenta el diagrama de bloques de control de la transmisión. Allí se presentan los lazos cerrados del control de posición y el lazo cerrado del control de velocidad, también esta presente en el diagrama la consideración de perturbaciones al lazo de control. El servo de posición realiza la función del control de la inclinación del ángulo de la placa de la bomba de caudal variable para imponer la velocidad requerida y suministrar el caudal necesario. El servo de velocidad realiza la labor del control la velocidad constante de la transmisión hidrostática a pesar de cambios de carga.

4.2 SERVOVALVULA.

Figura 43. Servoválvula

Fuente: Fotografía tomadas por el autor



Una servoválvula es básicamente un amplificador que produce una salida hidráulica controlada continua en función de una señal de comando eléctrica. La señal de salida controlada puede ser flujo, presión diferencial, o la combinación de las dos. La señal de comando eléctrica se convierte en un movimiento mecánico proporcional por medio del motor de torque.

4.2.1 Principio de funcionamiento

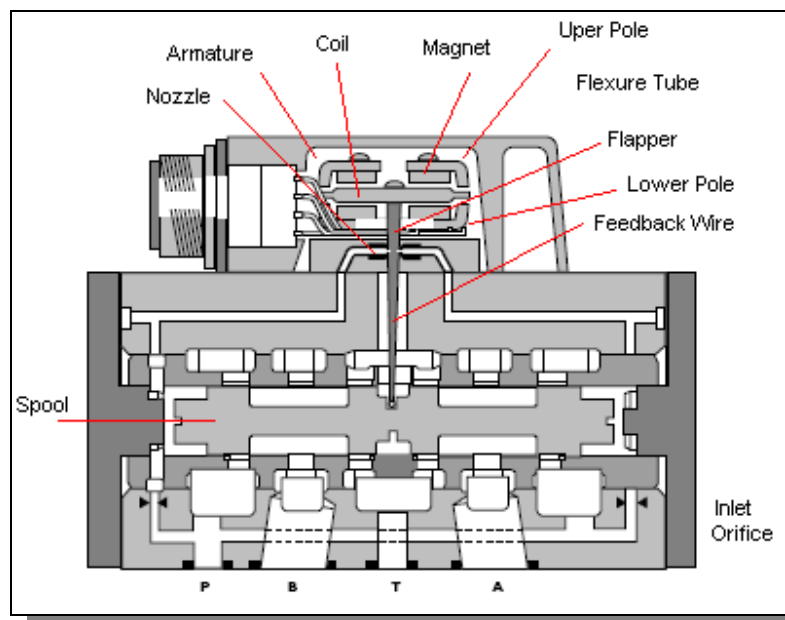
La Servo válvula electro hidráulica funciona mediante un motor de torsión eléctrico que es accionado mediante una señal de comando que polariza el motor de torsión eléctrico y dos etapas de amplificación de la energía hidráulica. La armadura del motor se extiende entre en los espacios del circuito magnético del y esta pivotado en esta posición por un miembro del tubo de la flexión. El tubo de de

flexión actúa como sello entre las secciones electromagnética e hidráulica de la válvula. Las dos bobinas del motor de torsión rodean la armadura, cada una en cada lado del tubo de la flexión.

La lengüeta de la primera etapa del amplificador hidráulico está rígidamente adherida al punto medio de la armadura, la aleta se extiende a través del tubo de la flexión y pasa entre las dos boquillas, creando dos orificios variables entre las boquillas y la lengüeta. La presión controlada por la lengüeta y los orificios variables de las boquillas, alimenta a las áreas del final del carrete de la segunda etapa. La segunda etapa es un diseño de carrete de cuatro puertos convencional, en el que la salida de aceite de la válvula es proporcional a la posición del carrete. Un resorte voladizo da la retroalimentación, está fijado a la lengüeta y encaja en la ranura en el centro del carrete.

Figura 44. Corte de una Servoválvula

Fuente: www.servovalve.com



El desplazamiento del carretel desvía el resorte de retroalimentación que crea una fuerza en el conjunto lengüeta de la armadura. La señal de entrada induce una carga magnética en la armadura y causa a deflexión de la armadura y de la lengüeta. Este conjunto pivota sobre el tuno de flexión e incrementa el tamaño de una boquilla y disminuye el tamaño de la otra. Esta acción crea una diferencia de presión a partir de un extremo del carretel al otro y el resultado es el desplazamiento del carretel. El desplazamiento del carretel provoca una fuerza en el alambre de retroalimentación que se opone el esfuerzo de torsión original de la señal de entrada. El movimiento del carretel continúa hasta que la fuerza del alambre de retroalimentación iguala la fuerza de la señal de entrada.

4.2.2 Características de las servo válvulas

Las características más importantes de la servoválvula que se deben tener en cuenta para la realización del programaba de control de la transmisión hidrostática son:

➤ Flujo nominal

El flujo nominal de una servoválvula está referenciado a una caída de presión de 70 bares, sin querer decir que su operación esté limitada a una caída de presión de 70 bares. Cualquier punto de operación puede ser usado.

$$Q = Q_{nominal} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_{nominal}}}$$

$Q_{nominal}$ = Flujo nominal a la caída de presión nominal $\Delta p_{nominal}$.

El flujo nominal es siempre con respecto a la operación de la servoválvula totalmente abierta. En el caso de un punto de operación con apertura parcial el flujo varía proporcional a la carrera.

➤ **Ganancia de flujo**

La ganancia normalmente es la relación entre señales de entrada y salida. La ganancia de flujo está definido como:

$$V_q = \frac{q}{U_E} \quad \frac{L/min}{Volt}$$

Esta definición está representada por el gradiente promedio de la curva de operación de flujo. El gradiente de esta curva depende de la presión del sistema.

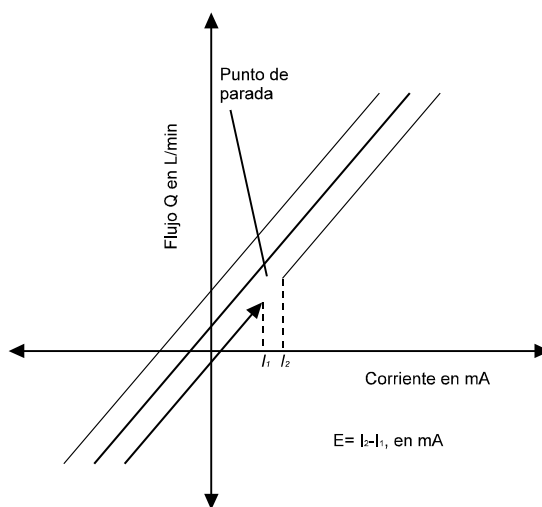
Debido a las tolerancias de la construcción, las ganancias diferentes ocurren particularmente cerca del punto nulo A, figura 55. Como resultado, puede ser necesario reajustar el controlador cuando se reemplace la válvula.

➤ **Sensibilidad a la respuesta E y banda muerta S**

Es el cambio en la entra eléctrica requerida para generar un cambio de flujo evaluable. Este tiene que ser medido en la misma dirección (de un punto a otro) ya sea en sentido ascendente o descendente de la señal eléctrica. La sensibilidad se especifica como un porcentaje de la corriente evaluada.

Figura 45. Gráfica de sensibilidad a la respuesta

Fuente: *Servomecanismos Electro hidráulicos*



Se denomina banda muerta al cambio en la entrada eléctrica requerida para generar un cambio de flujo. Debe ser medida en dirección opuesta (de un punto a otro). Se especifica como un porcentaje de la rata de corriente.

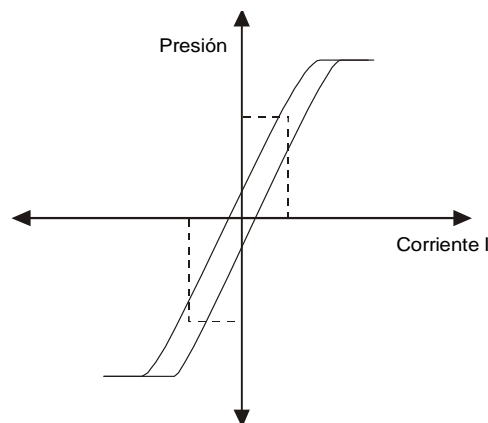
La sensibilidad a la respuesta y la banda muerta representan zonas muertas las cuales influyen en la exactitud del control del lazo cerrado. Cualquier cambio en la señal de entrada aplicada a la servoválvula debe ser mayor que la respuesta a la sensibilidad o banda muerta (dependiendo de la dirección de la corrección).

➤ **Característica señal presión**

Una fuerza es necesaria para corregir un movimiento. Por esta razón, el comportamiento de la presión de salida con respecto a la señal de entrada es significativo. Este comportamiento es mostrado en la curva Presión-Señal.

Figura 46. Gráfica banda muerta

Fuente: Servomecanismos Electro hidráulicos



➤ **Respuesta dinámica**

La frecuencia natural de la transmisión y la ganancia total resultante determina la exactitud del control de lazo cerrado. La frecuencia natural de la transmisión está determinada por la respuesta dinámica de la servoválvula.

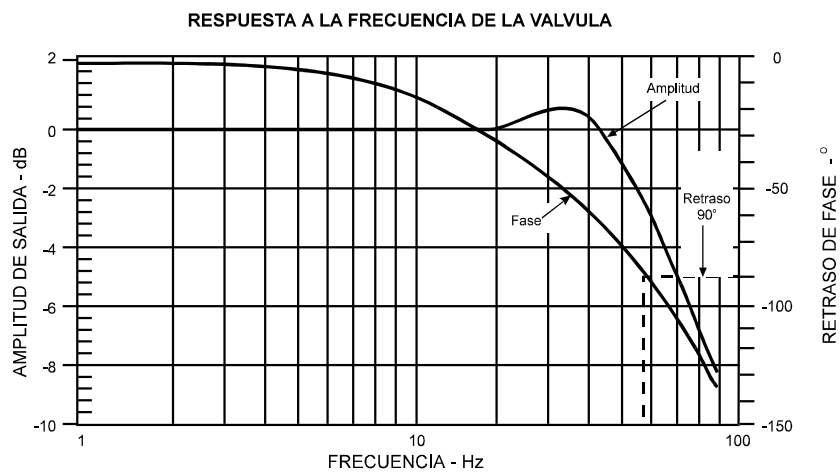
Para determinar las características dinámicas existen diferentes métodos como el tiempo de posicionamiento y la respuesta a la frecuencia siendo este último el método más común.

El método de prueba de respuesta a la frecuencia puede ser usado en cualquier parte, si el dispositivo puede ser excitado con una señal de prueba sinusoidal y la señal de salida se puede medir. El procedimiento de la prueba de respuesta a la frecuencia es simple y fácilmente asimilable a los pocos minutos de observar la prueba

La finalidad del Diagrama de Bode es la de representar gráficamente y simplificar el análisis de la respuesta a la frecuencia para sistemas dinámicos, que también puede ser expresado en términos matemáticos.

Figura 47. Respuesta dinámica

Fuente: Servomecanismos Electro hidráulico



La relación entre frecuencia, fase y amplitud es mostrada en el diagrama de Bode. Aquí, la relación entre la amplitud de salida y la amplitud de entrada X_s/X_e se muestra con respecto a la frecuencia de excitación y de esta manera se obtiene la "amplitud de respuesta". Además, se obtiene la relación de la diferencia de fases entre la señal de salida y la señal de entrada con respecto a la frecuencia, denominada "respuesta de fase". Ambas características forman el diagrama de Bode. La amplitud de respuesta normalmente se da en dB. Por lo tanto la amplitud

$$\text{de respuesta en } dB = 20 \cdot \log \frac{x_s}{x_e} \text{ ó } \frac{x_s}{x_e} = 10^{\left(\frac{dB}{20}\right)}$$

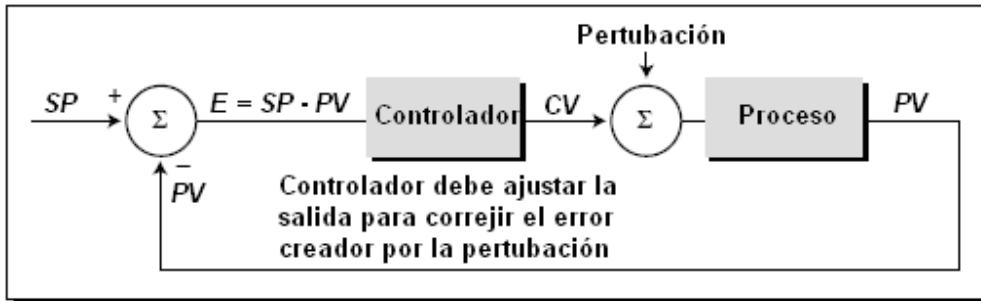
Para cuantificar la respuesta a la frecuencia en datos técnicos, la frecuencia esta definida en los valores de -3 dB y -90° . f_{-3dB} está definida como la frecuencia a la cual la señal de salida de la válvula Q ha caído en -3 dB con respecto a la señal de entrada. Esto corresponde a $X_s/X_e = 0.707$. Este valor característico describe un punto en la curva respuesta a la amplitud. f_{90} esta definida como la frecuencia en la curva de "respuesta de fase" donde el retraso de la señal de salida con respecto a la señal de entrada es 90° .

4.3 SERVOMECANISMO DE POSICION.

En el caso de estudio el servomecanismo esta compuesto por la elemento controlador, servoválvula y cilindro, como instrumento de retroalimentación esta en LVDT, ya que permite sensar la posición del cilindro hidráulico y este a su vez la posición de la placa de la bomba, por lo tanto tenemos una señal de comando (eléctrica), señal de retroalimentación (eléctrica), señal de salida (posición). De esta manera obtenemos un lazo cerrado de control para este servomecanismo.

Figura 48. Transductor diferencial lineal variable

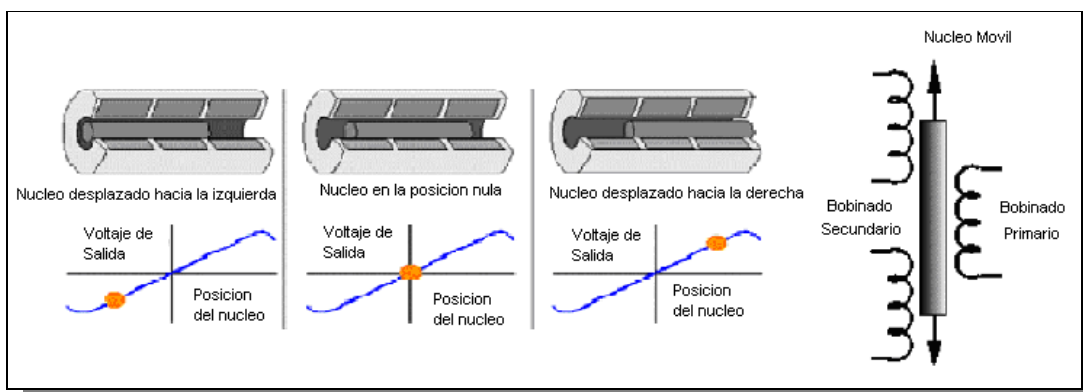
Fuente: *Engineering PLC*



El LVDT se utiliza para sensar la posición de la placa variable de la bomba de pistones, esta formado por tres embobinados, uno principal y dos secundarios, y un núcleo magnético tal como se muestra en la figura 49. Una señal fija, de corriente alterna se aplica al embobinado primario produciendo un campo magnético variable alrededor del núcleo el cual a su vez induce un voltaje alterno (CA) en el embobinado secundario. Como en cualquier transformador el voltaje la señal inducida en el embobinado secundario es una relación lineal del número de espiras.

Figura 49. Transductor diferencial lineal variable

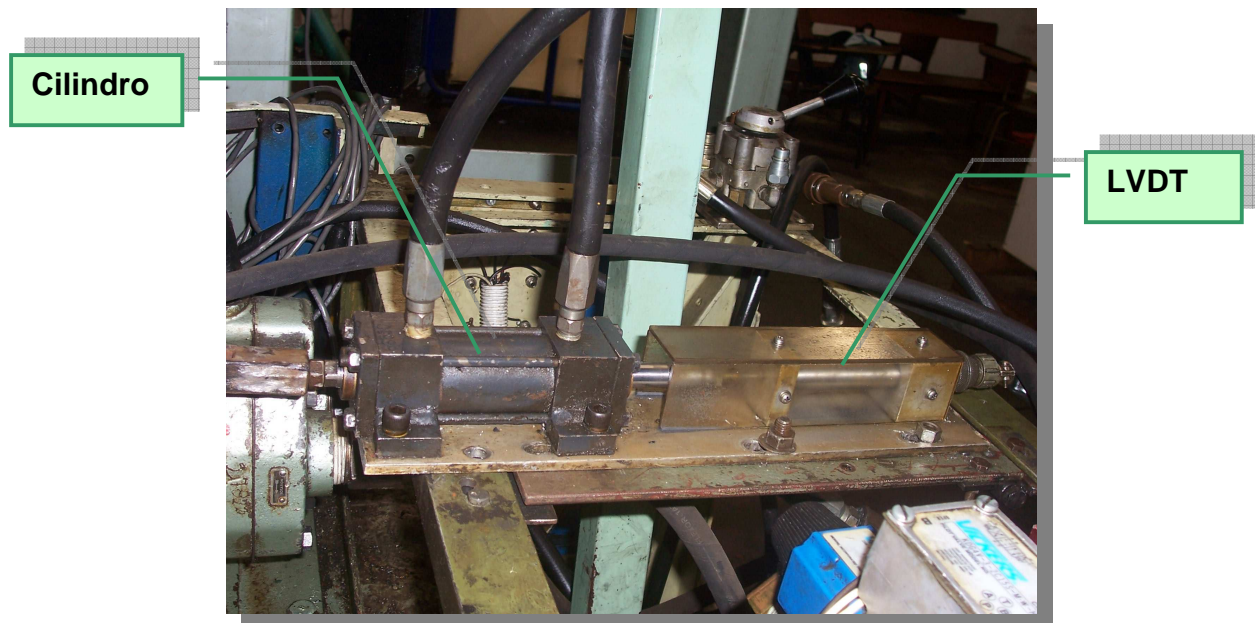
Fuente: *Automatización Industrial*



El núcleo del LVDT esta conectado al embolo del pistón el cual se mueve según la orden de mando que proveniente de la servoválvula, el otro lado del pistón esta conectado directamente a la placa variable de la bomba de pistones, tal como se muestra en la figura 49.

Figura 50. LVDT laboratorio sistemas óleo neumáticos.

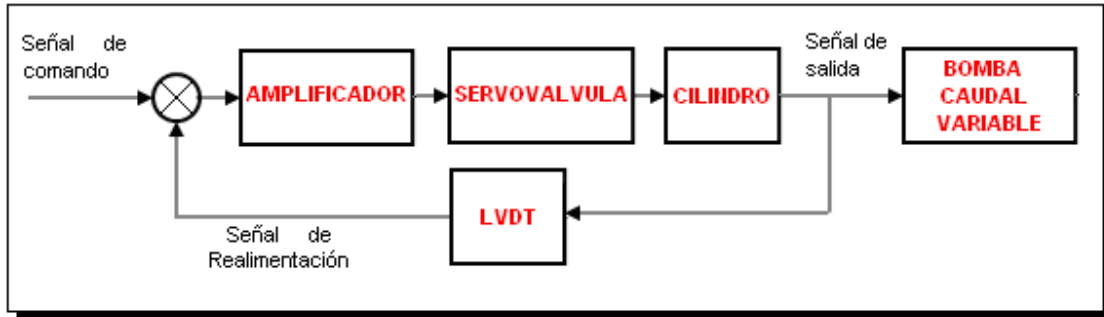
Fuente: Fotografía tomada por el autor



Debido a esto, cuando la servoválvula mueve el pistón el núcleo del LVDT se mueve con el embolo de este, censando el movimiento de la placa y enviando una señal proporcional a dicho movimiento. Esta señal se utilizara posteriormente para el control de la transmisión hidrostática.

Figura 51. Diagrama de bloques servo de posición.

Fuente: El autor



En el servo mecanismo de posición en primera instancia se tienen en cuenta los parámetros de carga inercial, propiedades del aceite, aceleración y velocidad máxima del volante, se retomara el trabajo realizado con anterioridad por los estudiantes Carlos Amaya y Fernando Londoño que en el pasado realizaron un estudio a la transmisión hidrostática. las especificaciones de funcionamiento de los equipos que previamente han sido instalados los cuales son, la bomba de pistones de desplazamiento variable Vickers PBV 15, servoválvula Moog serie 62, motor de paletas de desplazamiento fijo Vickers 25M. Estos equipos fueron instalados en el laboratorio de sistemas oleoneumáticos, para el banco de la transmisión hidrostática. Aproximadamente en el año de 1985 por lo tanto se debe tener en cuenta el desgaste inherente al tiempo y su uso que repercuten en la eficiencia de los mismos. Además se debe evaluar los parámetros de diseño ya que se esta incorporando el circuito de carga y se debe corroborar el correcto funcionamiento de todos equipos que conforman la transmisión hidrostática. Los parámetros que se emplearon en el diseño para el control de la transmisión son:

- Carga inercial $J_1 = 49.5 \text{ lb.-in-s}^2$
- Aceleración máxima $\alpha_{\text{max}} = 10 \text{ rad/s}^2$
- Velocidad de rotación máxima $N_{\text{max}} = 900 \text{ rpm}$
- Presión máxima $P = 2000 \text{ psi}$
- Modulo del aceite $E = 240000 \text{ psi}$
- Densidad del aceite $\delta = 0.86 \text{ gr/mlt}$

Torque (T)

$$T = J_1 * \beta_{\max}$$

$$T = 49.5lb.in.s^2 * 10rad / s^2 = 495lb.in$$

Torque inducido por el circuito de carga, se trabajara el circuito de carga a la presión máxima en las válvulas de seguridad de 700 psi, el torque generado por el motor a este valor de presión es de 400 lb-in. Entonces el torque total es:

$$T_t = 495lb.in + 400lb.in = 895lb.in$$

Potencia necesaria a suministrar

$$Pot = \frac{N_{\max} * T_t}{63025}$$

$$Pot = \frac{900rpm * 895lb.in}{63025} = 12.7hp$$

Datos técnicos de los equipos del motor hidráulico y de la bomba de pistones que se encuentran instalados en el laboratorio de sistemas oleoneumáticos de la escuela de ingeniería mecánica se presentan a continuación.

Figura 52. Curva característica motor Vickers 25M55A.

Fuente: www.eaton.com

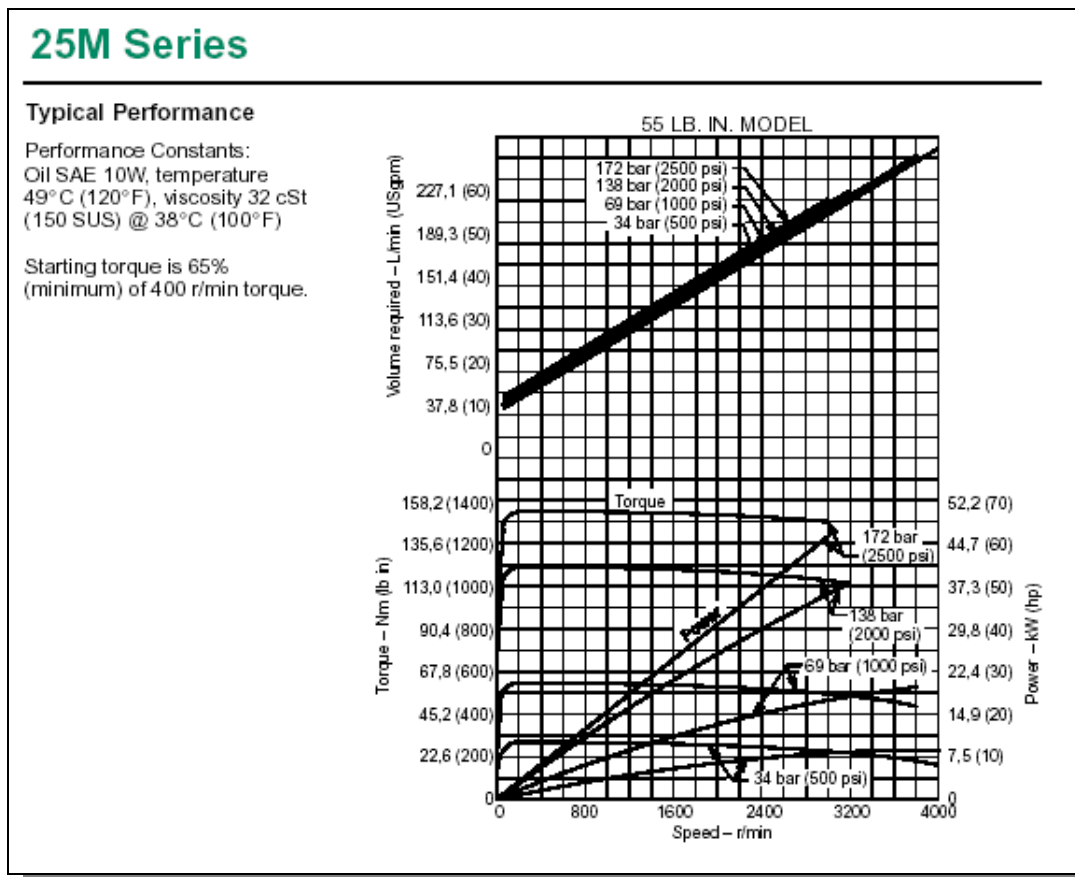


Tabla 7. Especificaciones motor Vickers 25M55A.

Fuente: www.eaton.com

| | |
|---|---|
| Desplazamiento | 3.52 in ³ /Rev.=0.56 in ³ /rad. |
| Longitud | 7.18 in |
| Peso | 40 lb. |
| Caudal requerido @ 1200 rpm | 18.3 Gpm |
| Máx. velocidad @ 500 Psi. Continua @ 500 Psi. Intermitente | 3600 rpm 4000 rpm |

| | |
|----------------------------------|-------------|
| Máx. Torque | |
| @ Máx. Pres. Continua | 1350 lb.-in |
| @ Máx. Pres. Intermitente | 1500 lb.-in |

Por lo tanto la potencia que requiere la bomba, teniendo en cuenta la eficiencia mecánica del motor es del 95%, y asumiendo una pérdida de potencia del 5% a través de las líneas, el valor de la potencia es de 15 Hp.

Figura 53. Curva característica bomba Vickers PVB 15.

Fuente: www.eaton.com

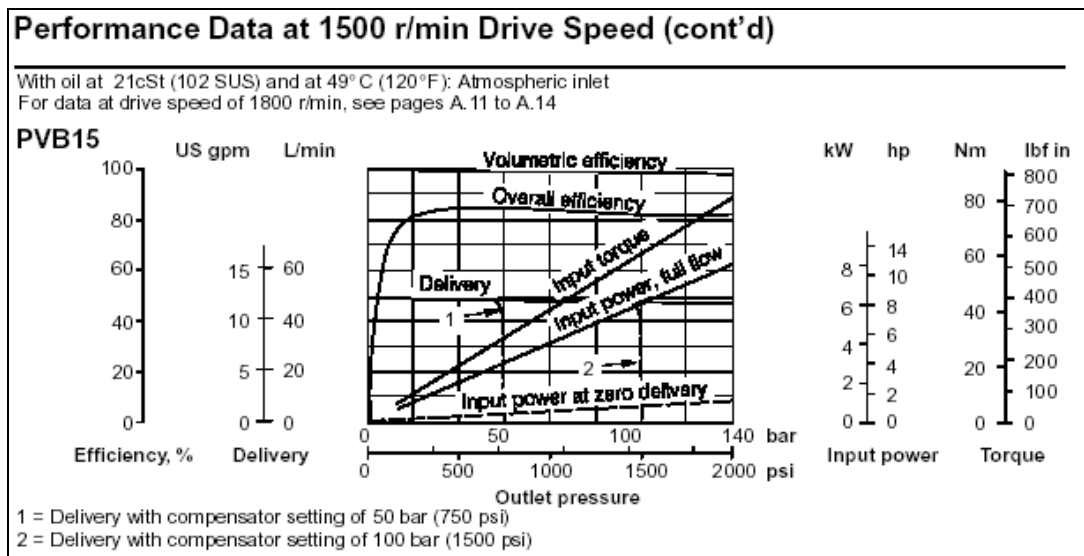


Tabla 8. Especificaciones bomba Vickers PVB 15.

Fuente: www.eaton.com

| | |
|-----------------------|----------------------------|
| Desplazamiento | 2.01 in ³ /Rev. |
| Longitud | 6.87 in |
| Peso | 37 lb. |
| Máx. velocidad | 1800 rpm |
| Máx. presión | 2000 psi. |

De las curvas de operación de la bomba PVB 15 se puede obtener que la eficiencia mecánica de la misma es del 86%, por lo tanto la potencia que será requerida por el motor eléctrico es igual a:

$$Pot = \frac{15hp}{0.86} = 17.44hp$$

El motor eléctrico que se encuentra instalado en el laboratorio de sistemas óleo neumáticos posee una potencia nominal de 18 Hp, por lo tanto la potencia disponible satisface las necesidades de potencia y carga que impone el circuito de la transmisión y del circuito de carga, se debe recordar que estos valores fueron obtenidos para valores máximos de velocidad de rotación de la transmisión y valor máximo de presión establecido en las válvulas de seguridad del circuito de carga, por lo tanto para estos valores las pruebas deben ser intermitentes debido a la proximidad de los valores de potencia instalada y potencia requerida, con el fin de evitar posibles daños y averías a los equipos que conforman el banco del laboratorio.

El caudal máximo de la bomba variable a la velocidad fija del motor eléctrico de 1800 rpm, y con el desplazamiento máximo de la bomba $C_b = 2.01 \text{ in}^3/\text{rev}$, y considerando su eficiencia volumétrica del 96%. Entonces:

$$Q_b = \frac{0.96 * 2.01 \text{ in}^3 / \text{rev} * 1800 \text{ rpm}}{231} = 15 \text{ gpm} = 57.75 \text{ in}^3 / \text{sec}$$

4.4 FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL SISTEMA CARGA – MOTOR – BOMBA.

Un sistema responde, mediante la señal de salida, a un cambio en la señal de entrada de una manera dinámica según las características del sistema. Las

características del sistema que incluyen factores como, tiempo de retraso y las respuestas físicas inherentes del sistema, son definidas por una función de transferencia. La función de transferencia de un sistema es una representación o ecuación matemática, sencilla y cómoda de manejar, que caracteriza la relación existente entre la salida y la entrada del mismo. La función de transferencia de un sistema de control realimentado se obtiene a partir de las funciones de transferencia de cada uno de los bloques que lo constituyen

Para el análisis de los sistemas de control continuos las señales empleadas que evolucionan con el tiempo, o que están en el dominio del tiempo (t), se deben transformar a la viable (s) en el dominio de la frecuencia, obtenida a partir del tiempo mediante la transformada de Laplace. La transformada de Laplace son funciones matemáticas que son usadas para solucionar ecuaciones diferenciales complejas convirtiéndolas en ecuaciones algebraicas de fácil manejo. La mayoría de los procesos industriales están representados por ecuaciones diferenciales de segundo orden $y = \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + x$ que expresa la proporción de cambio de un

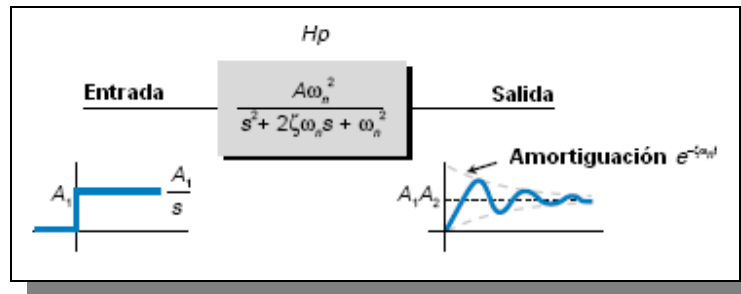
término del primero-orden con respecto a su variable independiente. Mediante el empleo de la transformada de laplace se obtiene la función de transferencia para una ecuación de segundo orden $= \frac{X_{(s)}}{Y_{(s)}} = \frac{1}{(s^2 + s + 1)}$.

El retraso de la respuesta del sistema de segundo orden presenta oscilaciones que ocurren mientras la señal de salida se establece en el valor de estado estable. La función de transferencia de segundo orden con retraso esta caracterizada por la ecuación diferencial de segundo orden que es representada por la transformada de Laplace como:

$$H_{(s)} = \frac{\text{Entrada}}{\text{Salida}} = \frac{\omega_n}{(s^2 + 2 * \zeta * \omega_n * s + \omega_n^2)}$$

Figura 54. Respuesta segundo orden para una entrada escalón.

Fuente: *Engineering PLC*



Para obtener la expresión que determinara la salida o respuesta del sistema hidráulico comprendido por el motor, la bomba y la carga se debió empelar la anterior expresión y determinar cada uno de los parámetros allí establecidos.

El desplazamiento del embolo del cilindro que a su vez mueve la placa de mando, determina la cantidad de fluido hidráulico, que la bomba de desplazamiento variable puede suministrarle al motor de hidráulico de desplazamiento volumétrico fijo. Como la velocidad de rotación del motor depende de la cantidad de aceite suministrado por la bomba ya que entre el caudal que ingresa al motor y la velocidad de rotación del motor la relación es directamente proporcional. La velocidad del motor N_m puede hallarse de acuerdo a la siguiente relación:

$$N_m = \frac{Q_b * \eta_{vm}}{C_m}$$

Donde:

Q_b = Caudal suministrado por la bomba [in^3/sec]

C_m = Desplazamiento motor hidráulico [in^3/rad]

N_m = Velocidad del motor [rpm]

η_{vm} = Eficiencia volumétrica del motor hidráulico

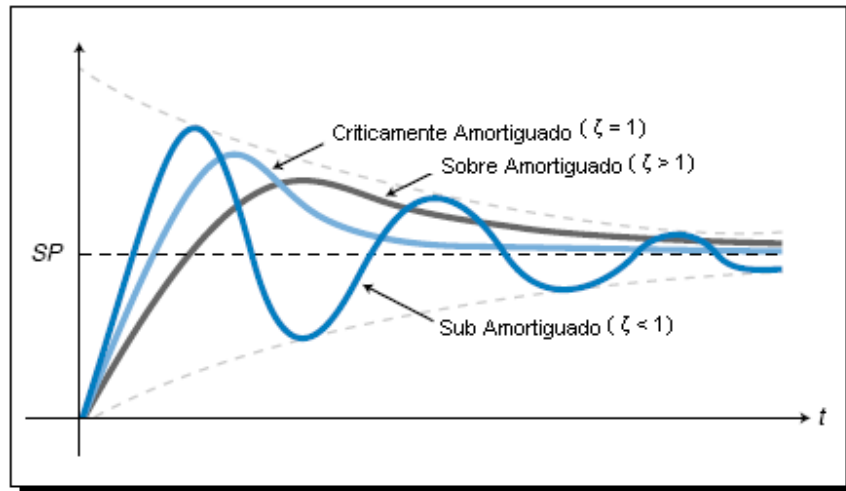
En la anterior relación no se consideran las cargas dinámicas de la bomba y motor, ya que el aceite es compresible, la carga no responde instantáneamente cuando la bomba comienza a suministrar aceite. Debido al modulo volumétrico del aceite, el volumen de aceite ocupado en la bomba, motor, válvulas y líneas, funcionara similar a un resorte. Cuando la carga esta comenzando a ser acelerada, la misma bomba esta funcionando a una velocidad fija y por consiguiente no experimenta ninguna aceleración. La combinación carga bomba – motor esta sujeta a la función de transferencia que corresponde a:

$$\frac{N_m}{Q_b} = \frac{W_n}{C_m [s^2 + 2 * s * \zeta + W_n]}$$

ζ = Coeficiente de amortiguación, este coeficiente es el factor que suprime la oscilación con el tiempo para que la respuesta finalmente tome el valor deseado o estado estable, este valor determinara la forma de la respuesta y según el valor puede ser un sistema sub amortiguado $\zeta < 1$, sobre amortiguado $\zeta > 1$, o críticamente amortiguado $\zeta = 1$. Una respuesta sub-amortiguada oscila alrededor del set-point por que su tiempo de dominio de la ecuación de transferencia posee el término $e^{-\zeta W_n t}$. Las respuestas críticamente amortiguado y sobre amortiguado no poseen este termino, por lo tanto rebasan el set-point y luego se establecen en ese valor.

Figura 55.Respuestas sobre amortiguada, sub-amortiguada y críticamente amortiguada

Fuente: Engineering PLC



W_n = frecuencia de resonancia, frecuencia natural de oscilación, es un factor que determina que tan rápida será la respuesta del sistema a la oscilación de la salida, cuyo valor se halla mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{N_m}{Q_b} = \frac{1}{C_m \left[(s^2 / W_n) + (2 * s * \zeta / W_n) + 1 \right]}$$

$$W_n = \frac{C_m * E^{1/2}}{(V_c * J_1)^{1/2}}$$

Entonces W_n es igual a:

$$W_n = 0.56 \text{ in}^3 / \text{rad} * \left[\frac{240000 \text{ psi}}{122 \text{ in}^3 * 49.5 \text{ lb.in.s}^2} \right]$$

$$W_n = 3.53 \text{ rad} / \text{sec}$$

Considerando los equipos instalados, bomba variable, motor hidráulico y las cargas dinámicas basadas en los parámetros dados, se establece el coeficiente de perdidas.

- Desplazamiento volumétrico motor. $C_m = 3.52 \text{ in}^3/\text{rev.} = 0.5602 \text{ in}^3/\text{rad}$
- Volumen del aceite bajo compresión. $V_c = 122 \text{ in}^3$.
- Modulo del aceite. $E = 240000 \text{ Psi}$.

- Presión de suministro. $P_s = 1000 \text{ Psi.}$
- Velocidad de rotación de la bomba. $N_b = 1800 \text{ rpm} = 30 \text{ rev/s}$
- Eficiencia volumétrica de la bomba. $L_b = 96 \%$

El coeficiente de pérdidas L es determinado desde los parámetros enunciados mediante la siguiente relación.

$$L = \frac{L_b * N_b * C_m}{P_s}$$

Entonces para el presente caso, reemplazando los valores anteriores en la relación se obtiene:

$$L = \frac{0.04 * 30 \text{ rev/s} * 3.52 \text{ in}^3 / \text{rev}}{1000 \text{ psi}} = 4.224 \times 10^{-3} \text{ in}^5 / \text{lb.s}$$

$$L = 4.224 \times 10^{-3} \text{ in}^5 / \text{lb.s}$$

La rata de amortiguación ζ es hallada empleando la siguiente ecuación, y utilizando el valor del coeficiente de pérdidas encontrado anteriormente:

$$\zeta = \frac{L}{2 * C_m} * \sqrt{\frac{J_1 * E}{V_c}}$$

Entonces para el caso presente se tiene:

$$\zeta = \frac{4.224 \times 10^{-3} \text{ in}^5 / \text{lb.s}}{2 * 0.56 \text{ in}^3 / \text{rad}} * \sqrt{\frac{49.5 \text{ lb.in.s}^2 * 240000 \text{ psi}}{122 \text{ in}^3}}$$

$$\zeta = 1.182 \text{ Sobre amortiguado}$$

El caudal de la bomba Q_b , es proporcional al ángulo de inclinación de la placa, y este a sus ves al desplazamiento del cilindro, ya que el motor eléctrico permanece a velocidad constante. La relación entre el desplazamiento del embolo (X_l) del cilindro, y el caudal suministrado por la bomba Q_b , se halla de la siguiente relación:

$$\frac{Q_b}{X_l} = 57.75 \text{in}^3 / s$$

$$Q_b = 57.75 \text{in}^3 / s * X_l$$

La velocidad del volante (N_l) es la misma velocidad del eje del motor hidráulico, entonces $N_l = N_m$. Entonces para determinar la relación entre el desplazamiento del vástago del cilindro y la velocidad de la carga, se emplea la siguiente relación.

$$\frac{N_l}{Q_b} = \frac{1}{C_m [(s/W_n)^2 + (2 * s * \zeta / W_n) + 1]}$$

Remplazando el valor de Q_b en la anterior ecuación se obtiene:

$$\frac{N_l}{X_l} = \frac{57.75 \text{in}^3 / s}{C_m [(s/W_n)^2 + (2 * s * \zeta / W_n) + 1]}$$

Remplazando los valores de C_m , W_n , ζ en la ecuación anterior, se obtiene la ecuación para la velocidad de la carga en función de la posición del embolo que mueve la palanca de control de la bomba.

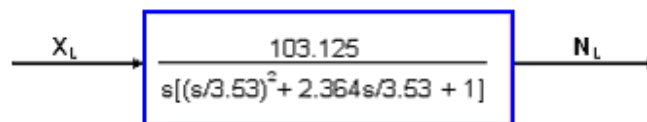
$$\frac{N_l}{X_l} = \frac{57.75 \text{in}^3 / s}{0.56 \text{in}^3 / s [(s/3.53 \text{rad} / s)^2 + (2 * s * 1.182 / 3.53 \text{rad} / s) + 1]}$$

Para hacer la conversión de velocidad de la carga en una señal de posición, se multiplica a la anterior relación, por el término $1/s$, que representa la forma operación de integración. Estas consideraciones permiten sustituir las representaciones hidráulicas en el diagrama de bloques de la figura 50

$$\frac{N_l}{X_l} = \frac{103.125}{s[(s/3.53\text{rad}/s)^2 + (2.364s/3.53 + 1)]}$$

Figura 56. Diagrama de bloque combinado bomba, motor, carga (transmisión hidrostática). Función de transferencia.

Fuente: El autor

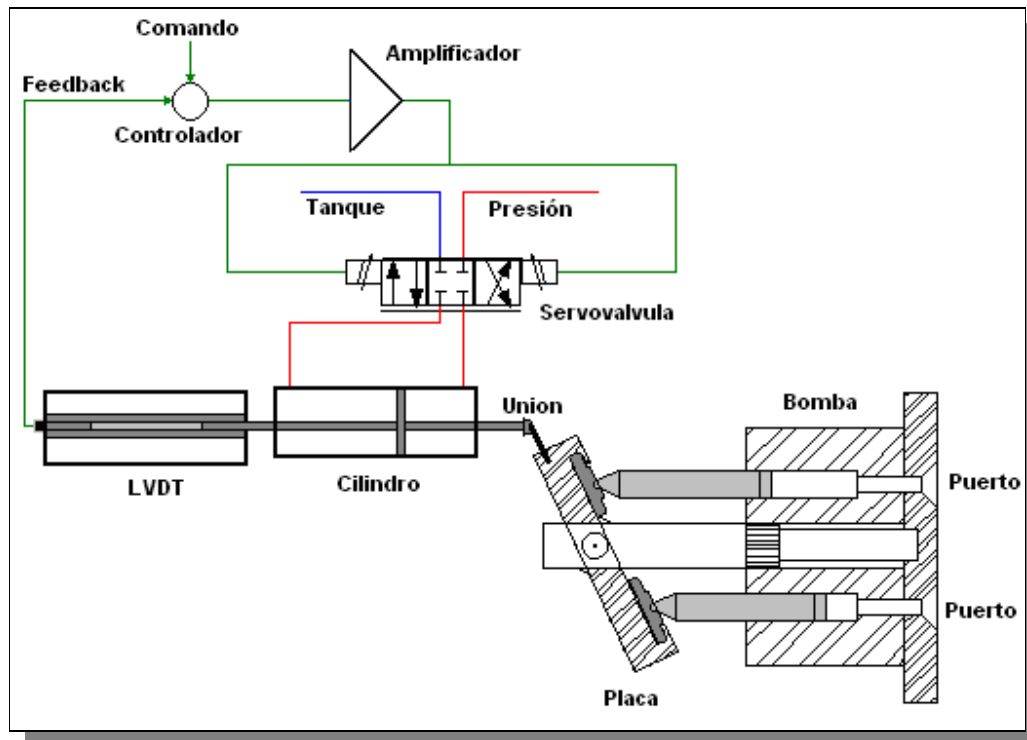


4.5 PALANCA DE CONTROL.

Debido a que el flujo de aceite de la bomba depende de la posición de la palanca, el método para controlar el ángulo de la palanca. La figura 56 muestra los componentes que determinan el control de la carrera del pistón, donde el actuador posiciona la palanca y la cantidad de aceite al cilindro es regulado por la servoválvula. La posición del émbolo es censada por un el transductor LVDT y este a su vez retorna la señal eléctrica aun servo amplificador, el controla de la carrera del émbolo representa un circuito cerrado en el mismo sistema.

Figura 57. Circuito de control de la bomba.

Fuente: El autor



En la figura 57 se observa el esquema de la manera en que el cilindro controla la inclinación de la placa de la bomba variable. El transductor del cilindro convierte la posición lineal del émbolo en voltaje, para poder realizar la acción de comparación en el controlador y la señal es enviada al módulo de entradas analógicas como retroalimentación del lazo interno de control de posición de la transmisión hidrostática.

Mediante el empleo de las operaciones de bloques se realiza el modelamiento del control de la transmisión analógicamente en el software simulink de matlab, en donde los equipos que conforman la transmisión son linealizados para que se pueda estimar y obtener una aproximación de la respuesta de la transmisión al control que se desea implementar. .

Figura 58. Diagrama de bloques de la palanca de control de la bomba variable.

Fuente: El autor

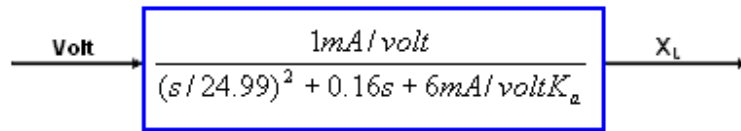


Figura 59. Diagrama de bloques Simulink†

Fuente: El autor

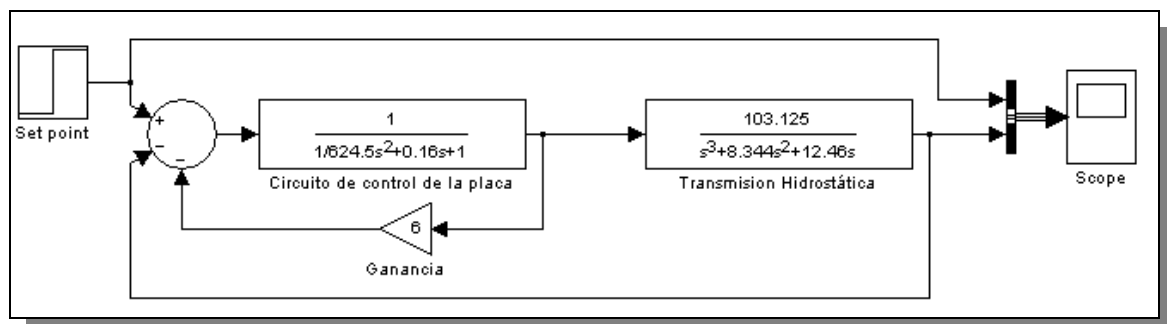
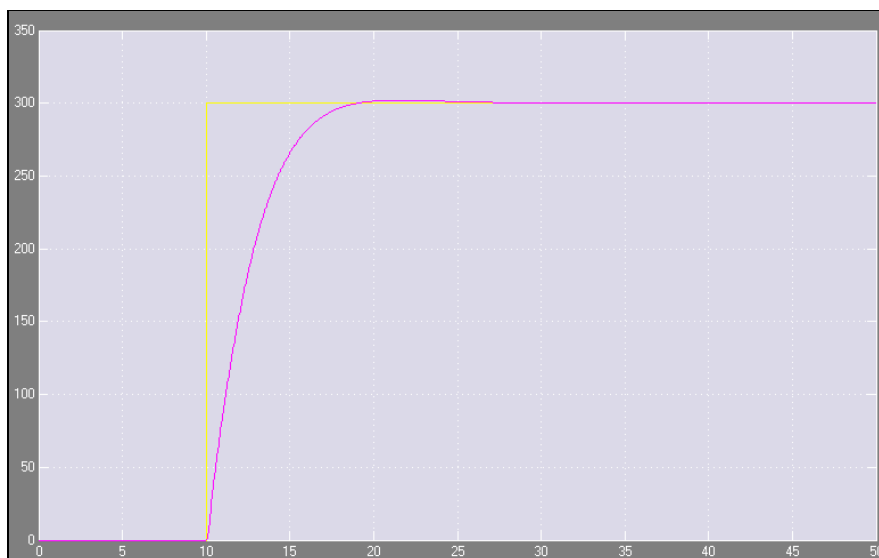


Figura 60. Diagrama Respuesta al escalón 300 rpm

Fuente: El autor



† Aplicación de matlab empleada para la realización de simulaciones

De la anterior gráfica obtenida a partir de la simulación del diagrama de bloques y ecuaciones de transferencia de cada uno de los elementos involucrados en la transmisión hidrostática. En Simulink de Matlab podemos realizarla simulación del sistema y obtener la respuesta, en la cual se puede observar que a una orden escalón (señal amarilla), la salida de respuesta (señal morada) no presenta un sobre-pico, además podemos observar que el tiempo de estabilización es de aproximadamente 10 segundos y que no presenta error de estado estable,

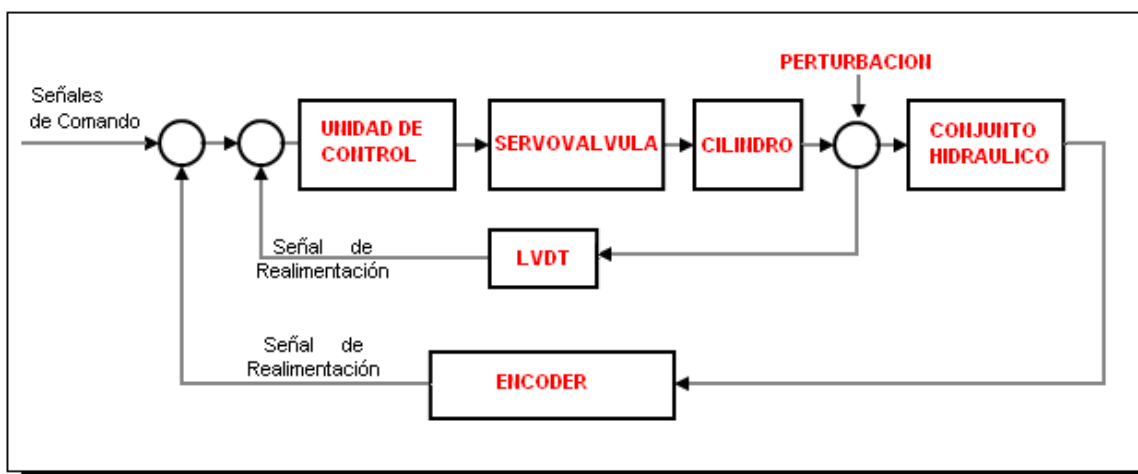
4.6 SERVO MECANISMO DE VELOCIDAD.

El servomecanismo de velocidad es un sistema de control retroalimentado mediante el encoder incremental que convierte una señal física de velocidad de rotación y la convierte en una equivalente pero de otra naturaleza en este caso del tipo eléctrico esta información es automática y continuamente suministrada al controlador.

El servomecanismo de velocidad es el objetivo central de desarrollo del presente proyecto, ambos sistemas tanto el servo mecanismo de velocidad como el de posición se complementan para el correcto funcionamiento del proceso, por lo tanto no se pueden aislar, pero este último es considerado un lazo interno de retroalimentación.

Figura 61. Diagrama de bloques del control a la transmisión hidrostática

Fuente: El autor



La señal de retroalimentación se compara con el valor deseado de la velocidad (set point) de la señal de entrada. Si alguna diferencia es encontrada entre estas dos señales, el controlador automáticamente genera una señal de corrección proporcional al valor de la diferencia o error. La señal reposiciona la servoválvula al flujo correcto de aceite que es requerido para establecer el valor de velocidad deseado. Esta acción de pensar y corregir es continua, por lo tanto cualquier cambio de velocidad originado por la variación de la carga o perturbación al lazo de control es automáticamente corregido. Los elementos claves para realizar esta función son principalmente la servo válvula, actuador de carga, el encoder incremental para la medición de la velocidad y el controlador electrónico.

El elemento encargado de la señal de retroalimentación de la velocidad de giro del volante, es un encoder incremental **Autonics (E50S8-600-3-1-24)**. El encoder se encuentra unido al eje del volante de la transmisión mediante una relación por cadenas mediante un acople y este último va al eje del encoder. Los encoders son dispositivos electro-opto-mecánicos, los encoders incrementales como es el caso del empleado para el presente proyecto se caracterizan porque determina la velocidad, contando el número de pulsos que se generan cuando un rayo de luz,

es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

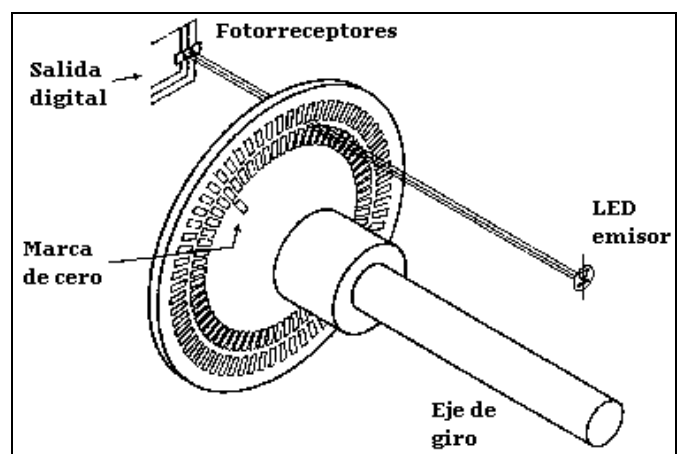
Figura 62. Encoder Incremental Autonics.

Fuente: www.autonics.com



Figura 63. Funcionamiento del encoder incremental.

Fuente: www.forosdeelectronica.com



Los encoders rotativos incrementales son elementos opto-electrónicos que se utilizan para medir carreras, ángulos o velocidades de rotación en máquinas. Su señal de salida puede ser evaluada por Controles Numéricos, PLC, contadores o Indicadores digitales de Cotas. Los encoders incrementales son aquellos que deben pasar por una marca de referencia cada vez que se encienda el sistema de automatización al que asisten. Todas las variaciones de posición que se realicen con el sistema desconectado, no serán tomadas en cuenta. Su modo de sujeción a la base fue mediante brida de apriete se sujeta mediante tres tornillos o por compresión radial.

Referente a la salida de conexión, ésta se realiza mediante cable. La configuración estándar es la de salida a cable de un metro con conector. El eje pueden ser de 8mm de diámetro y su vinculación con el elemento rotante (motor, tornillo, polea, etc.) se realiza con acople determinado según corresponda el diámetro del eje. Los encoders rotativos incrementales operan por el principio de Captación Fotoeléctrica: Un LED como fuente lumínica es captado por una serie de foto-elementos a través de marcas realizadas en un disco de cristal que gira solidario al eje del encoder. Esta modulación claro/oscuro genera, a través de las células fotoeléctricas, dos trenes de pulsos desfasados 90° entre sí. Por otra parte, un foto-elemento adicional sensa una marca de referencia que está grabada en otra pista concéntrica del disco de cristal dándonos un pulso cada vez que el encoder completa una vuelta.

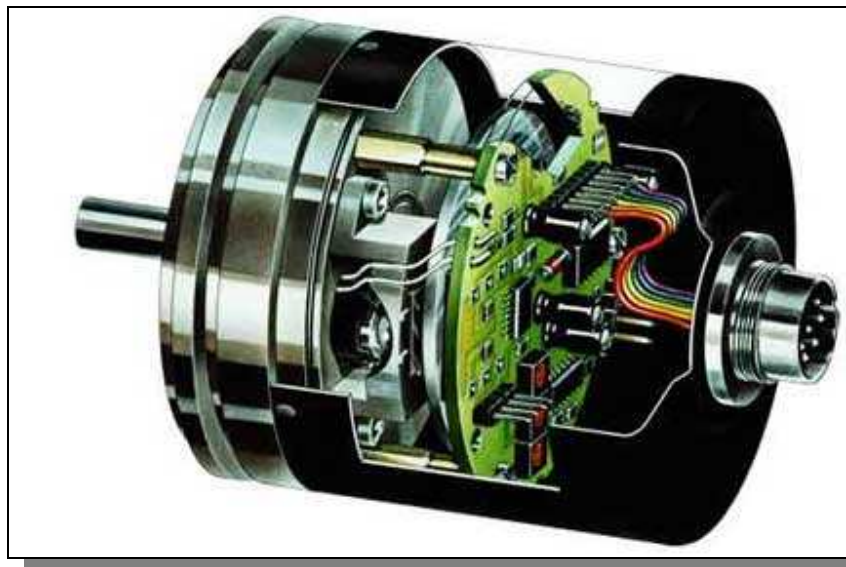
Figura 64. Encoder Incremental Autonics E50S8-600-3-A-24

Fuente: www.autonics.com



Figura 65. Construcción interior del encoder

Fuente: www.forosdeelectronica.com



La electrónica del encoder amplifica estas señales otorgándonos las siguientes opciones de salida. Señales diferenciales por RS 422 (TTL): La resolución puede

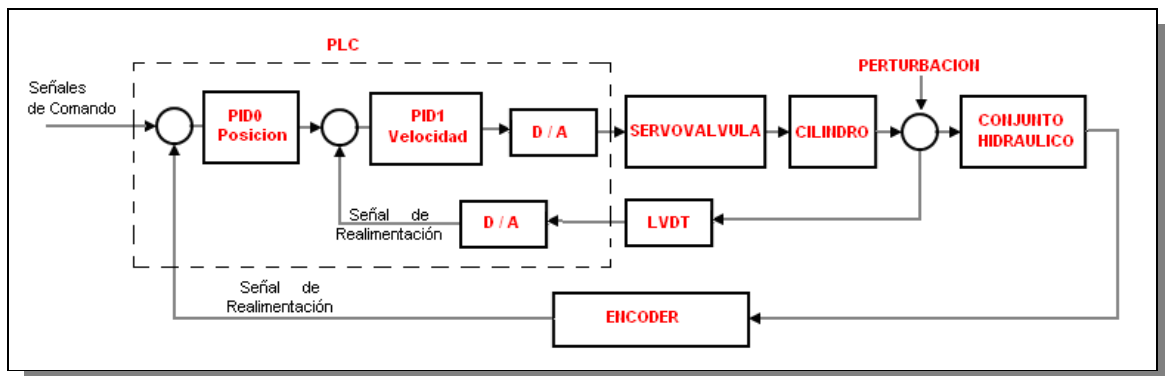
ser cuadruplicada a través de la evaluación de los flancos de los trenes de pulsos. Provisión estándar en este caso para el encoder que se emplea entrega 600 p/rev y cuadruplicando su salida tenemos una resolución de 2400 p/rev. La resolución del encoder depende del número de impulsos por revolución.

En el servo sistema de velocidad de lazo cerrado, la salida controlada por medio del encoder incremental se compara con la señal de entrada para mantener el equivalente de la salida dentro de unos límites de exactitud prescritos, al de entrada. En operación, la señal de medición de la salida del actuador es retroalimentada al controlador electrónico, y comparada con la señal del comando de entrada. La diferencia entre las dos señales es llamada señal de error. La señal de error se suministra a la servoválvula para generar una salida al actuador que mantendrá la salida del actuador equivalente a la señal de comando. El transductor de medición del tipo de carga mide y normalmente determina la variable controlada de salida, es decir el encoder incremental.

En el control que se realizó a la transmisión hidrostática se debe tener en cuenta que la planta es un sistema mecánico, al igual que la servovalvula, el cilindro de control de la placa de la bomba, cuyo comportamiento es continuo. El controlador (PLC) y el encoder son sistemas digitales al igual que el módulo que se añadió a la CPU que permite la conversión de las señales digitales a analógicas y viceversa tanto de señales de entrada así como de salida, y fue requerido ya que el PLC solo funciona y procesa señales digitales. La naturaleza del sistema total de control, planta y retroalimentación es mixta. No era objeto del presente proyecto de grado realizar el modelamiento matemático del sistema completo.

Figura 66. Diagrama de bloques para el control implementado a la transmisión

Fuente: El autor



En la figura 66 podemos observar que la señal de comando ingresa al controlador (PLC), digital de modo que es comparada con la señal de retroalimentación del encoder el cual envía el tren de pulsos mediante la ejecución del programa de control se realizan las acciones de control en los bloques PID de posición cuya señal de retroalimentación proviene del LVDT la cual es de naturaleza analógica por que es necesario que esta señal sea convertida a digital para realizar el control. Luego de ejecutado el programa la señal de control va a la servoválvula pero antes se requiere que sea convertida a una señal analógica, finalmente la servoválvula comanda al cilindro el cual es el que se encarga de variar la inclinación de la placa de la bomba variable de tal manera que disminuya o aumente el flujo de aceite según corresponda.

La sintonía del sistema se realizó por tanteo debido a que no se contaba con el modelo matemático el cual no se ejecutó debido a la naturaleza no lineal de la planta, dando la posibilidad de que se realice el modelamiento matemático en un nuevo proyecto de investigación. El modelamiento que se realizó con la transformada de Laplace es una aproximación lineal de la planta (conjunto hidráulico y carga). Los datos del modelamiento sirvieron como referencia para saber como el sistema se comportaba y para la aproximación de los valores de las constantes de los lazos de PID que iban a ser implementados, de modo que

servieran como referencia y punto de partida para realizar la sintonía de los lazos de control.

El modelamiento del sistema motor, bomba, carga, se ejecutó para estimar el comportamiento del sistema, matemáticamente se obtuvo una característica sobre amortiguada lo cual puede discrepar con la característica real de amortiguación del sistema ya que el sistema es de naturaleza no lineal, así como los elementos involucrados se ven afectados con el paso del tiempo donde el comportamiento teórico puede alejarse en gran medida al comportamiento real.

Del trabajo anterior de control que se realizó a la transmisión hidrostática se han tomado los valores de las ganancias y funciones de transferencia mostrados en la siguiente grafica que corresponde al lazo de control completo de la transmisión, en el capítulo 5 se realizara un estudio del control que se implemento a la banco del laboratorio.

5. CONTROL AUTOMATICO DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA MEDIANTE IMPLEMENTACION DE AUTOMATA PROGRAMABLE (PLC).

5.1 INTRODUCCION

Un autómata programable industrial es un equipo electrónico de control con un cableado interno (hardware) independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico (software) que contiene la secuencia de operaciones a realizar, según la definición del IEC 61131 es un sistema electrónico probable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar una soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, conteo y funciones aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y análogas diversos tipos de maquinas o procesos. Esta secuencia de operaciones se define sobre señales de entrada y salida al proceso, cableadas directamente en los bornes de conexión del autómata. Las señales de entrada pueden ser digitales o análogas y proceden de elementos de medición, las señales de salida al igual que las de entrada digitales o análogas, son órdenes que se envían a los elementos actuadores del proceso. El autómata gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en una memoria a partir del estado de las señales de entrada.

La característica diferenciadora del los autómatas programables industriales frente a otros sistemas de control programables esta en la estandarización de su hardware, que permite la configuración de sistemas de control, según las

necesidades estimadas de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entradas y salidas.

Para la modificación y del control de la transmisión hidrostática se requería de cambios, en el antiguo tipo de control cableado y analógico, en este tipo de sistemas de control se requería un gran esfuerzo técnico y económico. Además se debe tener en cuenta que la mayoría de estos elementos son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada que requiere un estricto mantenimiento. Por otra parte, estos sistemas suponen un conexionado complejo cuando existen gran cantidad de elementos, lo que implica un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento.

Figura 66. Micro PLC Siemens

Fuente: Siemens



Con el objetivo de solucionar, o al menos reducir, estos inconvenientes se selecciona el autómata programable para la realización del control de la transmisión a velocidad constante, que permiten cambiar la funcionalidad del control del proceso sin más que cambiar el programa, ya que gran parte de los componentes necesarios como relees auxiliares, temporizadores, etc, se

encuentran implementados en la programación interna de él. Además, en los casos en que las modificaciones superen la capacidad del sistema, es posible agregar módulos de ampliación que permitan cumplir con las nuevas exigencias.

Entre las características de los PLC's destacan:

- Fácilmente programables por la mayoría de los técnicos.
- Facilidad en la modificación de programas.
- Comunicación con otros PLC's, pudiendo enviar y recibir señales.
- Tiempo de vida largo.
- Pueden trabajar sin problemas en todo tipo de ambientes industriales.
- Equipos flexibles, por su carácter programable
- Fáciles de instalar y reutilizables
- Fácil mantenimiento y localización de averías
- Permite emplearse en múltiples tareas de control
- Permite la integración en la tarea global de control.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.

5.2 SELECCIÓN DEL AUTOMATA PROGRAMABLE

Para la selección del autómata programable que mejor se adecue el proceso, en primera medida debemos analizar la planta o proceso a controlar, es decir: las especificaciones del sistema, como lo son las funciones a realizar, sensores que estarán involucrados en el proceso, preactuadores, interfaces que ocuparan estos actuadores en el autómata (E/S).

Tabla 9. Parámetros de selección del PLC.

Fuente: El autor

| FUNCIONES | SENSOR/ ACTUADOR | E/S |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| Lectura de posición | LVDT | 1 Entrada Analógica |
| Lectura de velocidad | Encoder | 2 Entradas Digitales |
| Control Posición Placa | Servoválvula | 1 Salida Análoga |
| Comunicación | Cable IP/PPC | Puerto PC / PLC |

➤ **CARACTERISITICAS Y CAPACIDAD E/S.** De la columna E/S obtenemos uno de los primeros parámetros para la selección del PLC, por lo tanto nos da como mínimo la configuración de entradas y salidas que debe poseer el autómatas programable a escoger y la naturaleza de las mismas.

- Entradas digitales de 24 Vcc.
- Entradas análogas de +10, -10 V.
- Salidas análogas de +10, -10 V.

De esta información obtenida debemos tener en cuenta una muy importante, la cual es la existencia de señales análogas, puesto que en el mercado no todas las CPU permiten manipular este tipo de señales, por lo tanto se debe tener en cuenta para la selección de la CPU.

➤ **CONJUNTO DE INSTRUCCIONES.** El conjunto de instrucciones a realizar es otro parámetro importante en la selección ya que será el objeto central del proceso, es decir la labor o tarea a realizar primordialmente. Para el control de la transmisión hidrostática cuyo objetivo es el control automático a velocidad constante y como uno de los objetos específicos propuestos para el presente proyecto, es la realización del control de la velocidad

mediante la utilización de la acción de control PID, por lo tanto es de vital importancia que la CPU seleccionada posea esta herramienta, ya que se requerirá ajustar los valores, una interfaz que permita visualizar cada una constante del control.

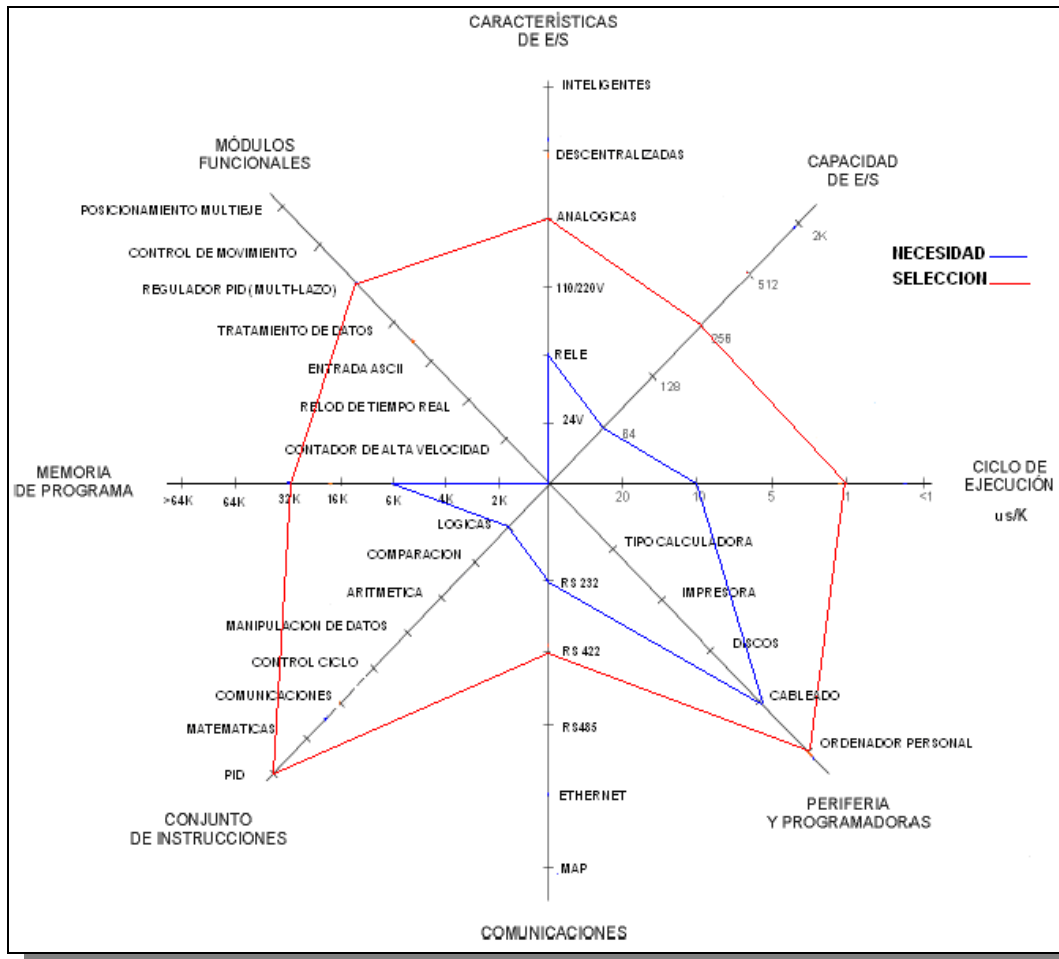
- **PROGRAMACION.** Se debe evaluar el entorno de programación de modo que permita al usuario una programación sencilla y de baja complejidad, además de un entorno amigable, ya que un parámetro importante para la ejecución del programa de control es que sea de fácil manejo la herramienta de sintonía del PID para la regulación de las acciones proporcional integral y derivativa, de los lazos de control tanto de posición así como el de velocidad , ya que facilitara en gran manera al consecución exitosa de los objetivos planteados.
- **MEMORIA DE PROGRAMA.** la elaboración del programa significa que deberá ser almacenado en la memoria de la CPU independiente del programa a realizar o la tarea a realizar la CPU debe poseer suficiente espacio en su memoria para su almacenamiento y ejecución, además debe tener la posibilidad del manejo del diverso tipo de variables que se emplean en la ejecución de la programación. También que cuente que el numero suficiente de espacios de memoria para cada una de los tipos de memorias.
- **CICLO DE EJECUCION.** Se refiere al tiempo que serán muestreados los datos, es decir el tiempo en que toma leer las entradas procesar su información, mandar una señal de comando y reemplazar a las salidas anteriores. Para nuestro caso se tiene en cuenta que es un sistema mecánico de relativo retardo, de alta inercia, por lo que los tiempos de ejecución satisfacen muy por encima las necesidades planteadas. El tiempo de respuesta del PLC se considera el tiempo que es empleado desde la entrada de la señal en ser procesada hasta la salida de la señal a los pre -

actuadores. Esto es muy importante y no se puede olvidar a la hora de determinar el tiempo de respuesta requerido para la selección del PLC. Desde el punto de vista del PLC existe una división de las acciones que consumen tiempo las cuales son: tiempo para revisar el estado de las entradas, tiempo que transcurre durante la ejecución de las rutinas programadas, tiempo en el cual se actualiza el estado de las salidas.

- **MODULOS FUNCIONALES.** Cada una de las empresas constructoras de autómatas programables diseña y construye modules especiales para controlar funciones específicas, como lo son tareas de contadores de alta velocidad, control de movimiento, control de temperatura. En el control de la transmisión se evaluó y determinó, como único requerimiento el regulador PID y un asistente para configuración de contadores rápidos, por lo tanto el autómata a seleccionar debe poseer estas funciones inherentes a su funcionamiento.

Figura 67. Parámetros de selección

Fuente: El autor



Después del profundo análisis de los diversos factores a tener en cuenta en el momento de la selección, y del análisis de las señales que estarán presentes en el proceso a desarrollar se concluye que se deben manipular cierto número de entradas y salidas digitales, por lo tanto se buscara un PLC de prestaciones básicas o un número mínimo de entradas y salidas digitales, si poseen la opción de las entradas análogas se inclinara por esta oferta, de lo contrario será necesario adquirir un modulo de entradas análogas, también es fundamental que la CPU seleccionada posee la herramienta de acción de control PID, así como la

parametrización de cada una de las constantes. Por esta razón nos remitimos a la gama baja de PLC's de los diversos fabricantes. Luego de la búsqueda de los equipos en el mercado local y de las diversas opciones ofrecidas por sus representantes en la ciudad se determinó escoger dentro de los proveedores el fabricante de equipos para automatización marca Siemens debido a la presencia que tiene en el mercado de la ciudad y del soporte técnico así como la ayuda ofrecida en cuanto a precios y catálogos.

La gama baja de siemens es la serie S7 200, los cuales esta especialmente diseñados para proyectos de baja complejidad y que involucran un factor decisivo a la hora de la selección el cual es el costo del autómata programable ya que estos equipos al ser diseñados para estas clases de aplicaciones no incurren en costos muy elevados y permiten ser adquiridos para el empleo de aplicaciones de control.

También estarán presentes señales análogas por lo tanto el autómata a determinar debe poseer módulos que permitan manipular este tipo de señales, lo cual es una factor muy importante a tener en cuenta, y debe de poseer la CPU un medio para la manipulación de este tipo de entradas o un modulo de expansión. Finalmente escogiendo entre las diversas opciones presentes se escoge el conjunto de menor precio, ya sea con el manejo de entradas y salidas análogas inmerso en la CPU o la adquisición del módulo de ampliación.

Tabla 10. Especificaciones CPU Siemens serie S7 200

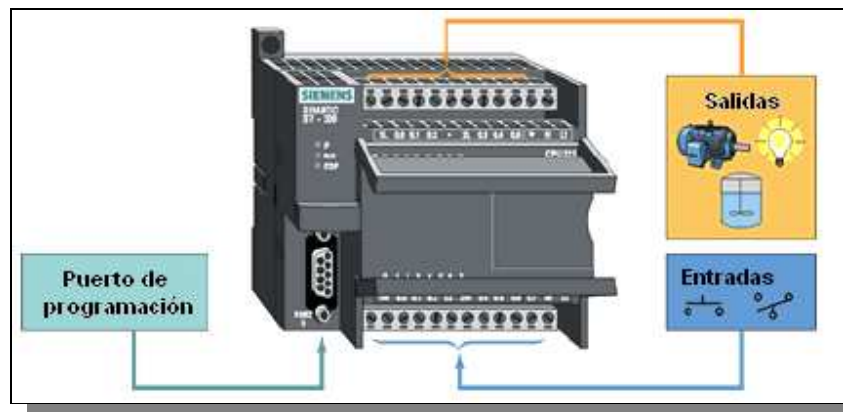
Fuente: Siemens

PLC Seleccionado

| Feature | CPU 221 | CPU 222 | CPU 224 | CPU 226 |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Instructions | | | | |
| Boolean Execution Speed | 0.37 μ s/Inst. | 0.37 μ s/Inst. | 0.37 μ s/Inst. | 0.37 ms/Inst. |
| Internal Relays | 256 | 256 | 256 | 256 |
| Counters | 256 | 256 | 256 | 256 |
| Timers | 256 | 256 | 256 | 256 |
| Sequential Control Relays | 256 | 256 | 256 | 256 |
| For/Next Loops | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Integer Math (+-*) | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Real Math (+-*) | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Built-In High-Speed Counters | 4 (30 KHz) | 4 (30 KHz) | 6 (30 KHz) | 6 (30 KHz) |
| Analog Adjustments | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Pulse Outputs | 2 (20 KHz, DC) | 2 (20 KHz, DC) | 2 (20 KHz, DC) | 2 (20 KHz, DC) |
| Communication Interrupts | 1 Transmit/2 Receive | 1 Transmit/2 Receive | 1 Transmit/2 Receive | 1 Transmit/2 Receive |
| Timed Interrupts | 2 (1ms - 255ms) | 2 (1ms - 255ms) | 2 (1ms - 255ms) | 2 (1ms - 255ms) |
| Hardware Input Interrupts | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Real-Time Clock | Yes (Cartridge) | Yes (Cartridge) | Yes (Built-In) | Yes (Built-In) |
| Password Protection | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Communications | | | | |
| Number of Ports | 1 (RS-485) | 1 (RS-485) | 1 (RS-485) | 2 (RS-485) |
| Protocols Supported Port 0 | PPI, MPI Slave, Freeport | PPI, MPI Slave, Freeport | PPI, MPI Slave, Freeport | PPI, MPI Slave, Freeport |
| Profibus Peer-to-Peer | (NETR/NETW) | (NETR/NETW) | (NETR/NETW) | (NETR/NETW) |

Figura 68. Disposición de las entradas y salidas del micro PLC

Fuente: Siemens



5.2.1 CPU Siemens 222 Serie S7 200.

Para el control de la transmisión hidrostática se determinó el empleo de un autómata programable siemens s7 200 CPU 222, **(212-1BB23-0XB0 AC/DC/RLY)** los parámetros que se tuvieron en cuenta a la hora de selección fueron: velocidad de respuesta o tiempo real de procesamiento, tipos de señales de entrada y salida, soporte técnico, precio, disponibilidad en el mercado, facilidad de mantenimiento, adaptación al entorno de trabajo. etc. La decisión se basó en el análisis sistemático de una serie de factores, pero considerando no solo las características actuales de la tarea de control sino también las necesidades futuras en función de los objetivos del proyecto.

Para la selección del autómata se tuvieron en cuenta los factores cuantitativos, es decir la capacidad del equipo para soportar todas aquellas acciones especificadas para el sistema de control, en conclusión, características técnicas y constructivas de los componentes del autómata. Esta comprendida por las siguientes categorías.

➤ **CPU.**

La CPU ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización o el proceso. La CPU del autómata programable siemens S7 200 CPU 222 es de diseño compacto, alta capacidad de memoria, amplia gama de módulos de ampliación para diferentes funciones, extensiones digitales o análogas E/I, comunicación profibus, manejo y visualización simple mediante el empleo del software Step 7 – MicroWin, velocidad o tiempo de ejecución de instrucciones por segundo de aproximadamente 0.37 μ s, control secuencial y de proceso, adaptable a todos los sistemas de funcionamiento, etc. En el apéndice del presente trabajo se expondrán detalladamente cada una de las características de la CPU 222.

➤ **MEMORIA.**

Dentro de la CPU se encuentra el área de memoria, la cual es empleada para diversas funciones, como lo son: memoria programa de usuario, es donde queda almacenado el programa que al autómata va a ejecutar cíclicamente. Memoria del sistema, donde se el programa en código de maquina que monitorea el sistema. La Memoria de almacenamiento, se trata de la memoria externa que se emplea para el almacenamiento del programa de usuario, en la CPU 222 el tamaño del programa máximo de usuario (EEPROM) es de 4096 bytes.

➤ **SOFTWARE.**

Para la programación de la CPU, se emplea el software diseñado por la misma compañía Siemens, Step 7 MicroWin, este programa que posee entorno Windows facilita la labor de la realización del programa de control y por medio del puerto de comunicación de la CPU los programas son descargados y almacenados en la memoria interna del la CPU, y se estable la comunicación el visualizador de textos. Este software proporciona un sinnúmero de ventajas ya que algunas de las labores de programación han sido preestablecidas en los bloques internos como lo es la sintonización del PID, además la presentación del software permite el fácil

desarrollo de la programación mediante tabla de variables locales, árbol de operaciones, barra de navegación, etc. También permite emplear los diversos lenguajes de programación como lo son: el AWL, KOP y el FUP. El Step 7 – MicroWin también permite la simulación de los programas desarrollados con el fin de realizar seguimiento y corrección de errores.

➤ **ENTRADAS / SALIDAS Y ALIMENTACION.**

Las entradas y salidas controlan el sistema de automatización. La CPU del autómatas programable siemens S7 200 CPU 222 posee ocho entradas digitales y seis salidas digitales, por lo tanto se satisface la necesidad en cuanto a entradas y salidas digitales provenientes del banco de la transmisiones como lo son switches, interruptores, solenoides, relees. Pero las señales provenientes de los transductores de velocidad y posición, así como la señal de control enviada a la servo válvula, son de naturaleza analógica por lo tanto se requiere la adquisición e instalación del módulo de expansión para recibir y enviar este tipo de señales. Se debió adquirir el módulo de expansión siemens EM 235, que posee 4 entradas analógicas y una salida de la misma naturaleza. Más adelante se dará una completa descripción de tal módulo.

➤ **FISICOS Y AMBIENTALES.**

Gracias al diseño compacto de la CPU y su dimensionamiento permite el ahorro de espacio en cuanto a la instalación del tablero de control, permitiendo un fácil montaje sobre el riel DIN. Permite trabajar en ambientes industriales, amplio rango permitido de temperatura ambiente $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, protección contra ruido eléctrico, correcta resistencia a las vibraciones gracias a su montaje, humedad relativa comprendida entre el 5% hasta el 95 %, peso aproximado de 270 grs.

Luego de ser evaluados las características técnicas y constructivas de los componentes del autómatas, la decisión de selección se basó en criterios comerciales, y el aspecto económico de la adquisición. Pero también se deben

evaluaron factores menos tangibles, estos van relacionados según el fabricante del autómeta, algunos de los factores cualitativos son.

➤ **FIABILIDAD DEL PRODUCTO.**

Siendo la empresa siemens una de las lideres del segmento de la automatización presente en casi todos los países del mundo posee, gran experiencia adquirida a través de los años en el mercado, por lo tanto el producto adquirido cuenta con los mas altos estándares de seguridad y calidad, además esta aprobado por un sin numero de organizaciones que se encargan de garantizar la calidad de los productos como los son: Bureau veritas, Des Nirke Veritas, etc. Además se cuenta con ayuda de primera mano y técnicos expertos en la solución de inconvenientes del producto.

5.2.2 Módulo de expansión para entradas y salidas analógicas EM 235.

Figura 69. Imagen módulo expansión EM 235

Fuente: Siemens



El autómata necesitará manejar señales analógicas para realizar el control PID de la servo válvula, las señales analógicas serán las provenientes del LVDT, que es una señal de tensión proporcional a la posición del eje del LVDT, y por ende del cilindro que comanda la bomba variable. También se hace necesario el modulo de expansión EM 235, para que la servoválvula sea comanda por señales proporcionales de voltaje de modo que la salida de control a la válvula debe ser de origen análoga por lo tanto se emplea el modulo para hacer el debido tratamiento a señal, según el rango de valores entre los cuales será enviada. El módulo analógico fue adquirido simultáneamente con el la CPU la referencia manejada es el EM-235, **(235-0KD22-0XA0)** con 1 salida analógica y 4 entradas analógicas; que se pueden configurar para funcionar diversos rangos de voltaje ya sea en modo bipolar o modo unipolar. Una completa descripción del modulo se encuentra en los anexos.

5.3 INSTALACION AUTOMATA PROGRAMABLE.

Para la instalación del autómata se disponen ciertas reglas generales determinadas por el fabricante, por lo tanto se deben seguir muy cuidadosamente para evitar inconvenientes en el futuro. El S7-200 se puede montar en un armario eléctrico o en un raíl normalizado (DIN), bien sea horizontal o verticalmente, se debe alejar siempre los aparatos de alta tensión que generan interferencias de los equipos de baja tensión y de tipo lógico, tales como el S7-200, tener en cuenta los aparatos que generan calor y disponer 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, por lo tanto se debe prever espacio suficiente para la ventilación y el cableado

5.3.1 Armario de Montaje.

Para la preparación del montaje de la CPU y del módulo de ampliación se realizara en armario metálico suspendido en perfil soporte cuya disposición será horizontal, para la instalación se deben respetar los siguientes parámetros dados por el fabricante. En 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, se debe proveer 75 mm para la profundidad de montaje.

Tabla 11. Dimensiones para el montaje según CPU.

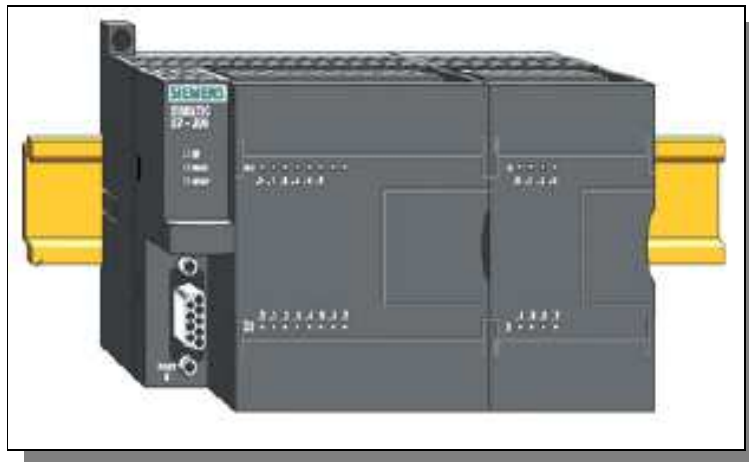
Fuente: Siemens

| Módulo S7-200 | Ancho A | Ancho B |
|--|----------|----------|
| CPU 221 y CPU 222 | 90 mm | 82 mm |
| CPU 224 | 120,5 mm | 112,5 mm |
| CPU 224XP | 140 mm | 132 mm |
| CPU 226 | 196 mm | 188 mm |
| Módulos de ampliación: 4 y 8 E/S DC y E/S de relé (8I, 4Q, 8Q, 4I/4Q) y salidas analógicas (2 AQ) | 46 mm | 38 mm |
| Módulos de ampliación: 16 E/S digitales (16I, 8I/8Q), E/S analógicas (4AI, 4AI/1AQ), RTD, Termopar, PROFIBUS, Ethernet, Internet, AS-Interface, 8 E/S AC (8I y 8Q), Posición y Módem | 71,2 mm | 63,2 mm |
| Módulos de ampliación: 32 E/S digitales (16I/16Q) | 137,3 mm | 129,3 mm |

- Para las CPU S7-222 y los módulos de ampliación se ha previsto la ventilación por convección natural. Por lo tanto, se deberá dejar un margen mínimo de 25 mm por encima y por debajo de las unidades para garantizar su ventilación. El funcionamiento continuo a una temperatura ambiente máxima y con una carga muy elevada reduce la vida útil de cualquier dispositivo electrónico.

Figura 70. Disposición CPU y modulo en riel omega.

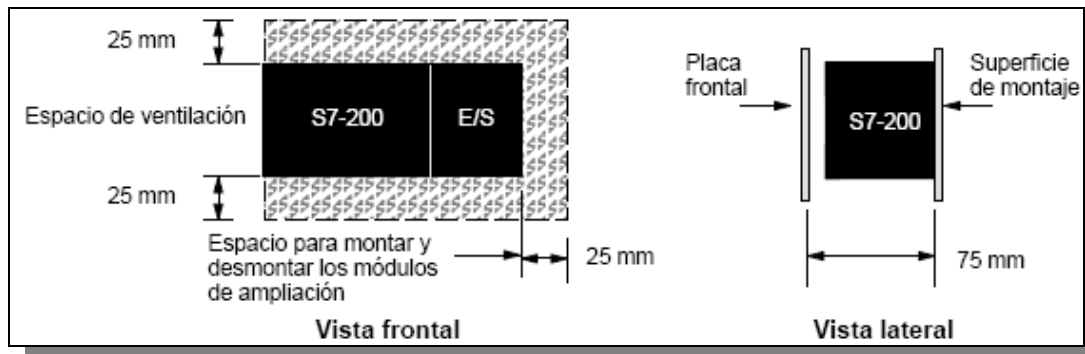
Fuente: Siemens



- Para el montaje horizontal en un armario eléctrico, el espesor mínimo de éste último deberá ser de 75 mm. Cuando se emplean módulos de ampliación en posición horizontal, deberá dejar un margen mínimo de 25 mm de ambos lados de la unidad para poder montar y desmontarlos. Al configurar la disposición de los módulos, se debe preveer suficiente espacio para el cableado de las entradas y salidas, así como para las conexiones de los cables de comunicación.

Figura 71. Dimensiones para el montaje en el armario.

Fuente: Siemens



También en el armario de instalación se encuentran alojados las protecciones necesarias de seguridad, como lo son los breakers, termos magnéticos, relés, portafusibles, bornes, etc. Todos estos están suspendidos en el riel omega que previamente se debió instalar.

5.3.2 Alimentación Eléctrica, reglas de cableado y puesta a tierra.

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 S7-222 suministra la corriente continua de 5 V necesaria para los módulos de ampliación del sistema. Se debe prestar 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, en esta caso el modulo de ampliación seleccionado es el EM 235. 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. Ya que los requisitos de corriente no exceden la capacidad de la alimentación para sensores, no será preciso agregar una fuente de alimentación externa de 24 V c.c. al sistema.

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

Para poner a tierra la aplicación debe 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. Conectar 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, p. ej. 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, se debe incorporar 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. Se debe Proveer dispositivos de protección contra sobreintensidad (por ejemplo, fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Se debe evitar 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. Utilizar el cable más corto posible y vigilar 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). Se debe utilizar cables apantallados para obtener el mayor nivel de inmunidad a interferencias. Para facilitar la instalación, la programación y mantenimiento futuros todas las entradas, salidas, alimentaciones y puestas a tierras se deben identificar apropiadamente. El

cableado no se realiza directamente sobre los bloques de terminales del autómata, dentro del armario de instalación se deben disponer de borneras para el cableado directo de los diversos dispositivos. La longitud máxima de cable de comunicación deberá ser de 50 metros sin repetidor. A continuación se presentan los diagramas de cableados planteados en los documentos del soporte técnico de la CPU y del modulo EM 235.

Figura 72. Reglas de cableado CPU 222

Fuente: Siemens

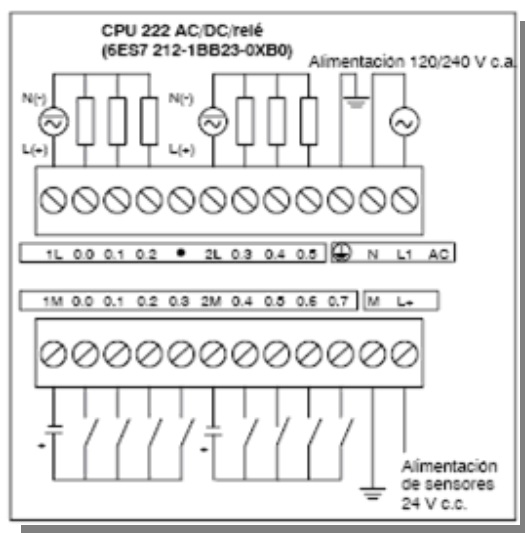
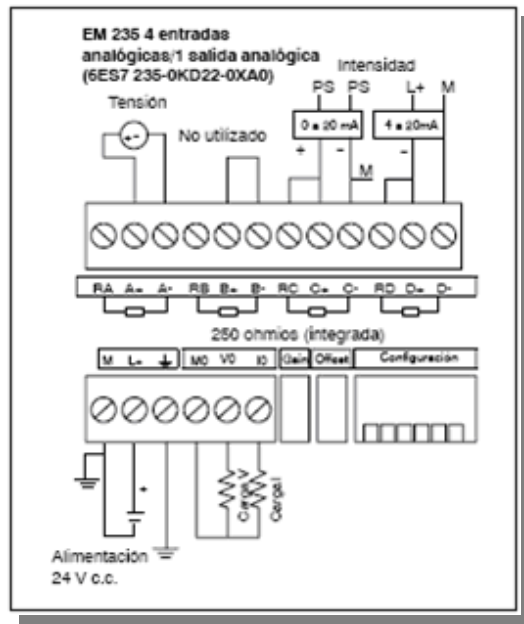


Figura 73. Reglas cableado modulo EM 235

Fuente: Siemens



5.3.3 Acondicionamiento de Entradas y Salidas.

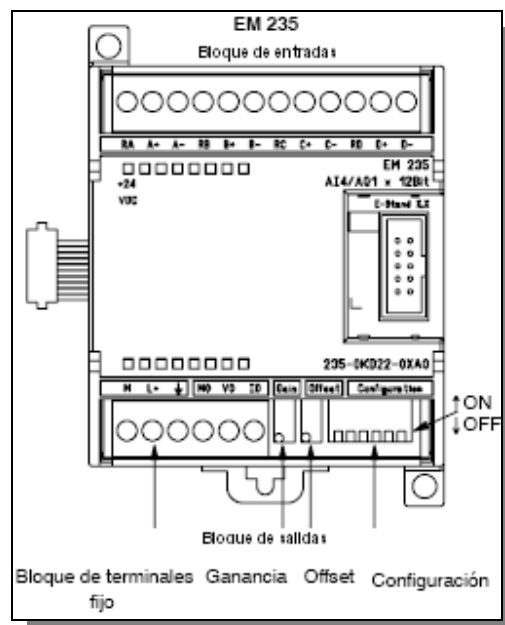
En el proyecto el número de entradas y salidas es reducido, esto se debe a que las señales que ingresan y provienen del PLC son pocas. Para el acondicionamiento de las señales se procede basado en las reglas generalmente utilizadas para realizar esta labor, dentro del armario de instalación donde se encuentra alojado la CPU y el modulo de expansión y las fuentes de alimentación, también se encuentra las borneras, por lo tanto lo que se procede a realizar es cablear las entradas y salidas tanto de la CPU como del modulo de expansión que sean necesarias, pero identificándolas de igual manera, bajo parámetros previamente establecidos con el fin de facilitar la labores de manejo previamente a la programación, aunque en nuestro caso no todas las entradas y salidas serán utilizadas, es recomendable pero no necesario cablearlas pues para que en el futuro cuando se deseen realizar cambios o implementar mejoras, se facilite tal labor.

De este modo todas las señales llegan a un punto común que es la bornera, de esta manera la conexión entre el perímetro y el interior es este objeto, ya que es de fácil manipulación y permite posteriormente chequeos de mantenimiento y posterga la vida útil de todos los elementos.

Basados en los manuales de instalación de tanto la CPU 222, así como del modulo de expansión se procedió a realizar el cableado de los mismos siguiendo las recomendaciones presentadas en estos documentos. Puesto que la manipulación de las entradas y salidas digitales no requieren de mayor esclarecimiento, sucede todo lo contrario con el modulo de expansión EM 235, el cual es quien recibe y envía las señales de naturaleza analógica, por esta razón se puede seleccionar el rango de funcionamiento, la resolución y polaridad que mejor se adecue a los parámetros de funcionamiento a continuación se presenta la tabla de configuración del modulo EM 235.

Figura 74. Módulo expansión EM 235 Siemens

Fuente: Siemens



Configuración de modulo de ampliación EM 235

Tabla 12. Configuraron del modulo de ampliación EM 235.

Fuente: Siemens

| Unipolar | | | | | | Rango máx. | Resolución |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------------|
| Int. 1 | Int. 2 | Int. 3 | Int. 4 | Int. 5 | Int. 6 | | |
| ON | OFF | OFF | ON | OFF | ON | 0 a 50 mV | 12,5 μ V |
| OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | 0 a 100 mV | 25 μ V |
| ON | OFF | OFF | OFF | ON | ON | 0 a 500 mV | 125 μ V |
| OFF | ON | OFF | OFF | ON | ON | 0 a 1 V | 250 μ V |
| ON | OFF | OFF | OFF | OFF | ON | 0 a 5 V | 1,25 mV |
| ON | OFF | OFF | OFF | OFF | ON | 0 a 20 mA | 5 μ A |
| OFF | ON | OFF | OFF | OFF | ON | 0 a 10 V | 2,5 mV |
| Bipolar | | | | | | Rango máx. | Resolución |
| Int. 1 | Int. 2 | Int. 3 | Int. 4 | Int. 5 | Int. 6 | | |
| ON | OFF | OFF | ON | OFF | OFF | \pm 25 mV | 12,5 μ V |
| OFF | ON | OFF | ON | OFF | OFF | \pm 50 mV | 25 μ V |
| OFF | OFF | ON | ON | OFF | OFF | \pm 100 mV | 50 μ V |
| ON | OFF | OFF | OFF | ON | OFF | \pm 250 mV | 125 μ V |
| OFF | ON | OFF | OFF | ON | OFF | \pm 500 mV | 250 μ V |
| OFF | OFF | ON | OFF | ON | OFF | \pm 1 V | 500 μ V |
| ON | OFF | OFF | OFF | OFF | OFF | \pm 2,5 V | 1,25 mV |
| OFF | ON | OFF | OFF | OFF | OFF | \pm 5 V | 2,5 mV |
| OFF | OFF | ON | OFF | OFF | OFF | \pm 10 V | 5 mV |

La tabla 12 muestra cómo configurar el módulo EM 235 utilizando los interruptores DIP. El rango de las entradas analógicas y la resolución se seleccionan con los interruptores 1 a 6. Todas las entradas se activan en un mismo rango y formato. La tabla muestra cómo seleccionar el formato unipolar/bipolar (interruptor 6), la ganancia (interruptores 4 y 5) y la atenuación (interruptores 1, 2 y 3). En la tabla, ON está cerrado y OFF está abierto. Se ha determinado un rango máximo de operación entre (+10V a -10V), debido a la naturaleza de las señales que se emplean. Los ajustes de los interruptores se leen sólo cuando está conectada la alimentación. Por lo tanto la adecuación de todos los elementos involucrados en el montaje del armario, han sido cableados siguiendo las recomendaciones de instalación descritas por los fabricantes de modo que se asegure un correcto funcionamiento y seguridad operativa de los mismos. A continuación podemos observar finalmente el interior del armario que alberga los componentes eléctricos.

Figura 75. Armario de Control Exterior
Fuente: Fotografía tomadas por el autor

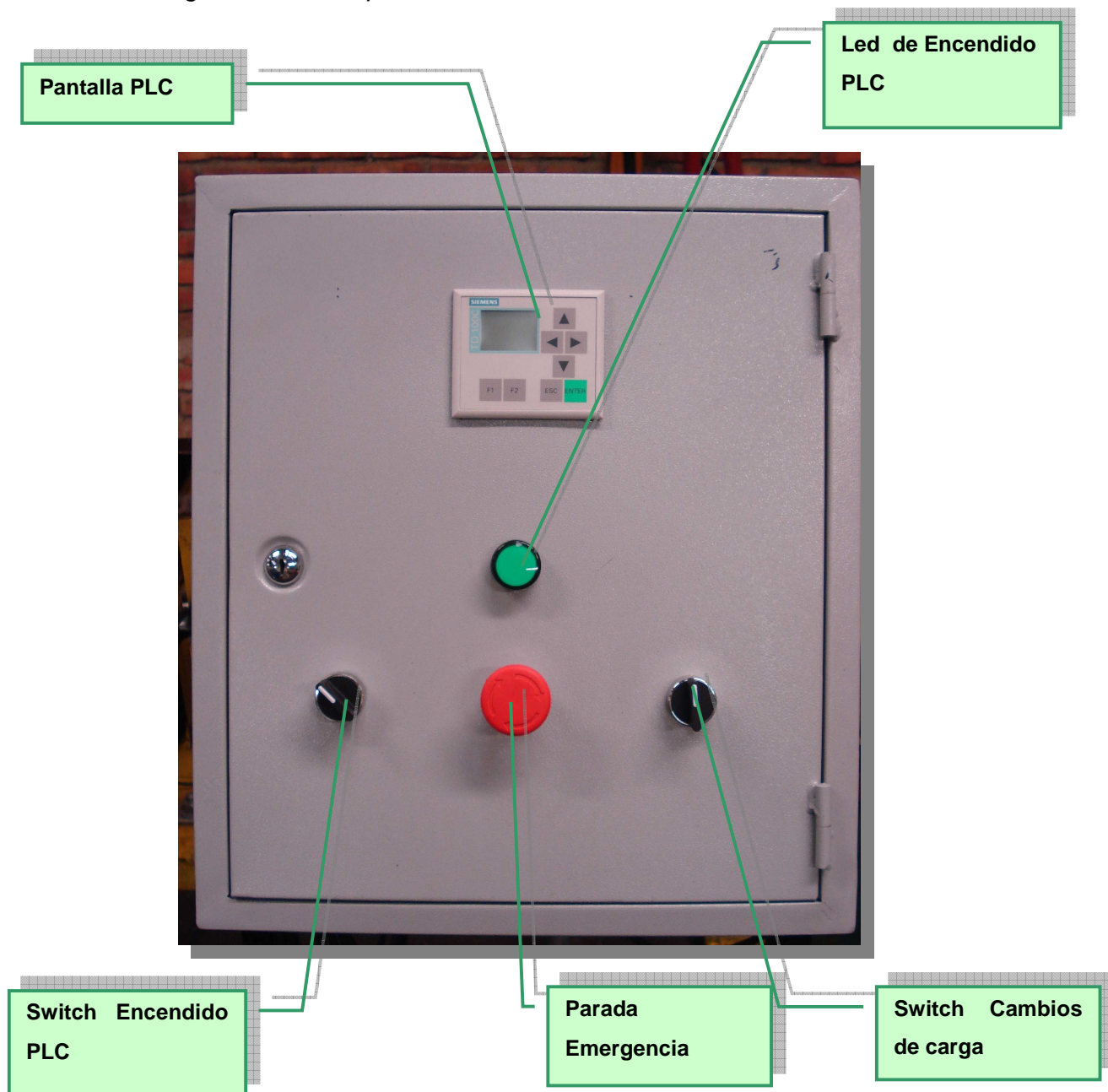
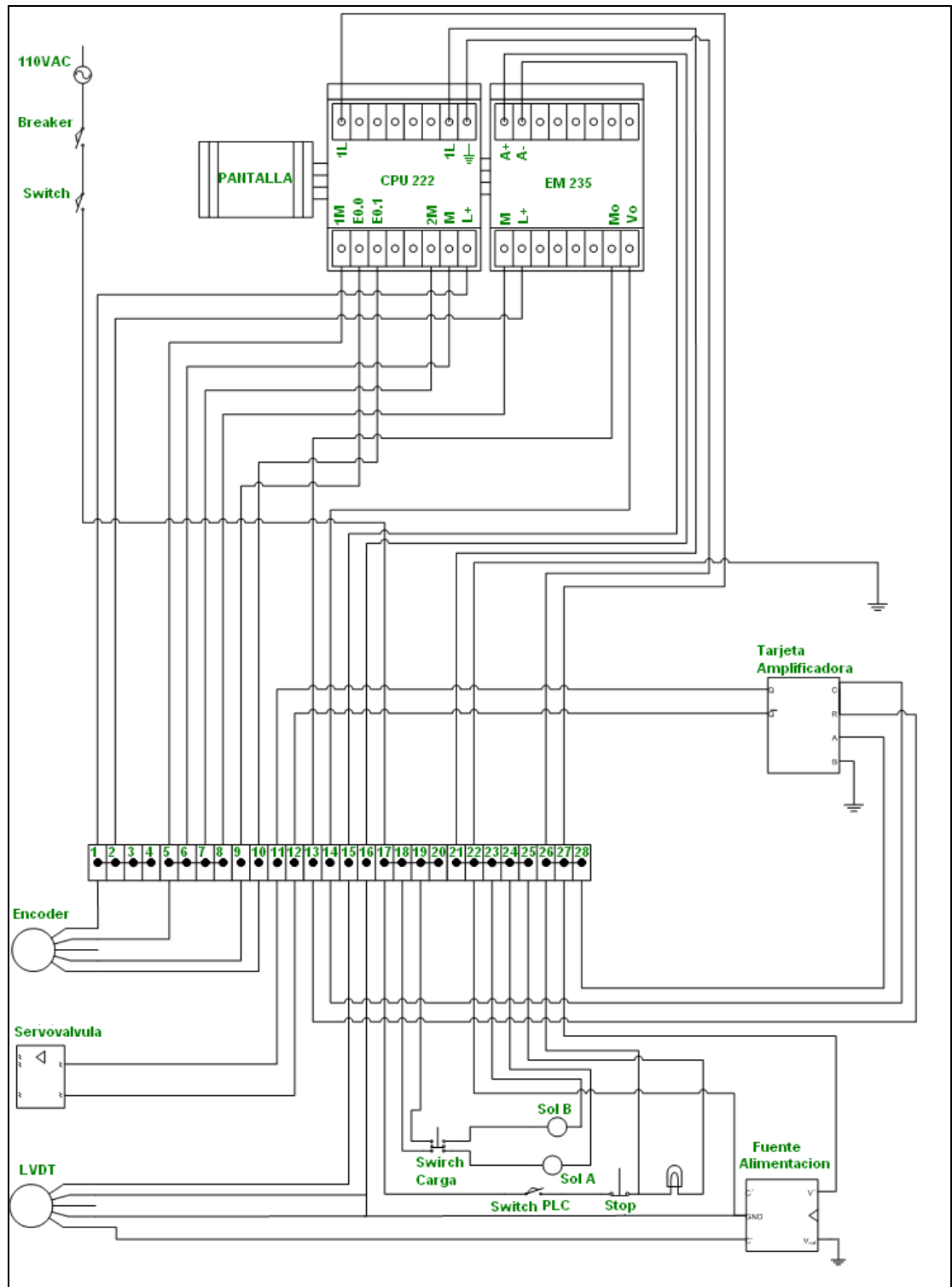


Figura 75. Diagrama electrico del cableado del armario de control

Fuente: El autor



El diagrama eléctrico del cableado del armario de control se realizó de modo que cuando se requiere de modificar o agregar secuencias de encendido u otra aplicación, se facilite esta labor conociendo como se ejecuto el cableado.

Tabla 12. Tabla de la configuración del cableado electrico del armario de control

Fuente: El autor

| Posición | |
|-----------------|---|
| 1 | Alimentación Positiva +24 V cc PLC (L+) y encoder |
| 2 | Alimentación Positiva +24 Vcc |
| 5 | Alimentación Negativa -24 Vcc PLC (1M) y encoder |
| 6 | Alimentación Negativa -24 Vcc PLC (2M) |
| 7 | Alimentación Negativa -24 Vcc PLC (M) |
| 8 | Alimentación Negativa -24 Vcc EM 235 (M) |
| 9 | Entrada Digital del encoder E0.0 |
| 10 | Entrada Digital del encoder E0.1 |
| 11 | Salida de la tarjeta amplificadora a la servoválvula |
| 12 | Salida de la tarjeta amplificadora a la servoválvula |
| 13 | Salida Análoga del EM 235 (Vo), a la tarjeta amplificadora |
| 14 | Salida Análoga del EM 235 (Mo), a la tarjeta amplificadora |
| 15 | Entrada Análoga al EM 235 A+, Señal del LVDT |
| 16 | Entrada Análoga al Em 235 A-, Señal del LVDT |
| 17 | Entrada de alimentación 110 Vac, al swtich encendido PLC |
| 18 | Alimentación 110 Vac al switch del circuito de carga |
| 19 | Alimentación 110 Vac al switch del circuito de carga |
| 21 | Neutro del circuito de alimentación 110 Vac del PLC |
| 22 | Neutro de común de alimentación de 110 Vac |
| 23 | Neutro solenoide A de válvula direccional del circuito de carga |
| 24 | Neutro solenoide B de válvula direccional del circuito de carga |
| 25 | Neutro del circuito de alimentación de 110 Vac |

| | |
|----|--|
| 26 | Alimentación 110Vac del circuito de protección al PLC |
| 27 | Alimentación 110Vac del circuito de protección a la Fuente de alimentación |
| 28 | Alimentación 110Vac del circuito de protección a la tarjeta amplificadora |

Figura 76. Diagrama eléctrico de la tarjeta amplificadora y fuente de alimentación.

Fuente: El autor

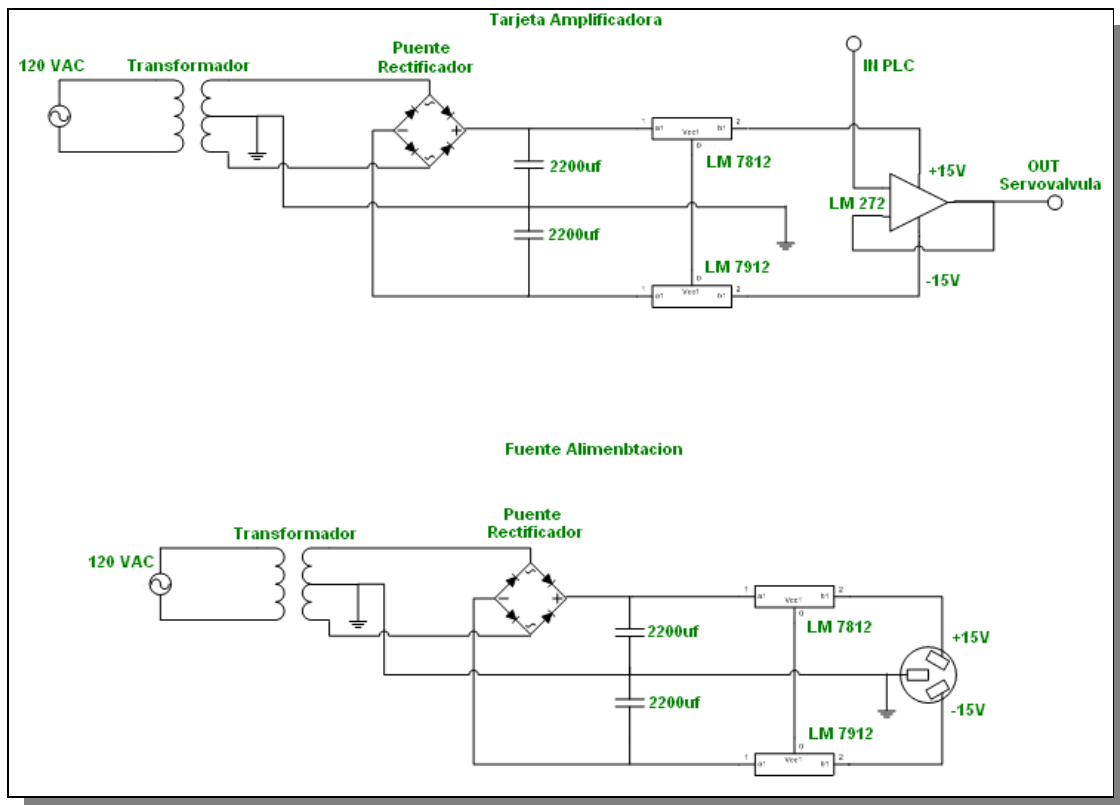
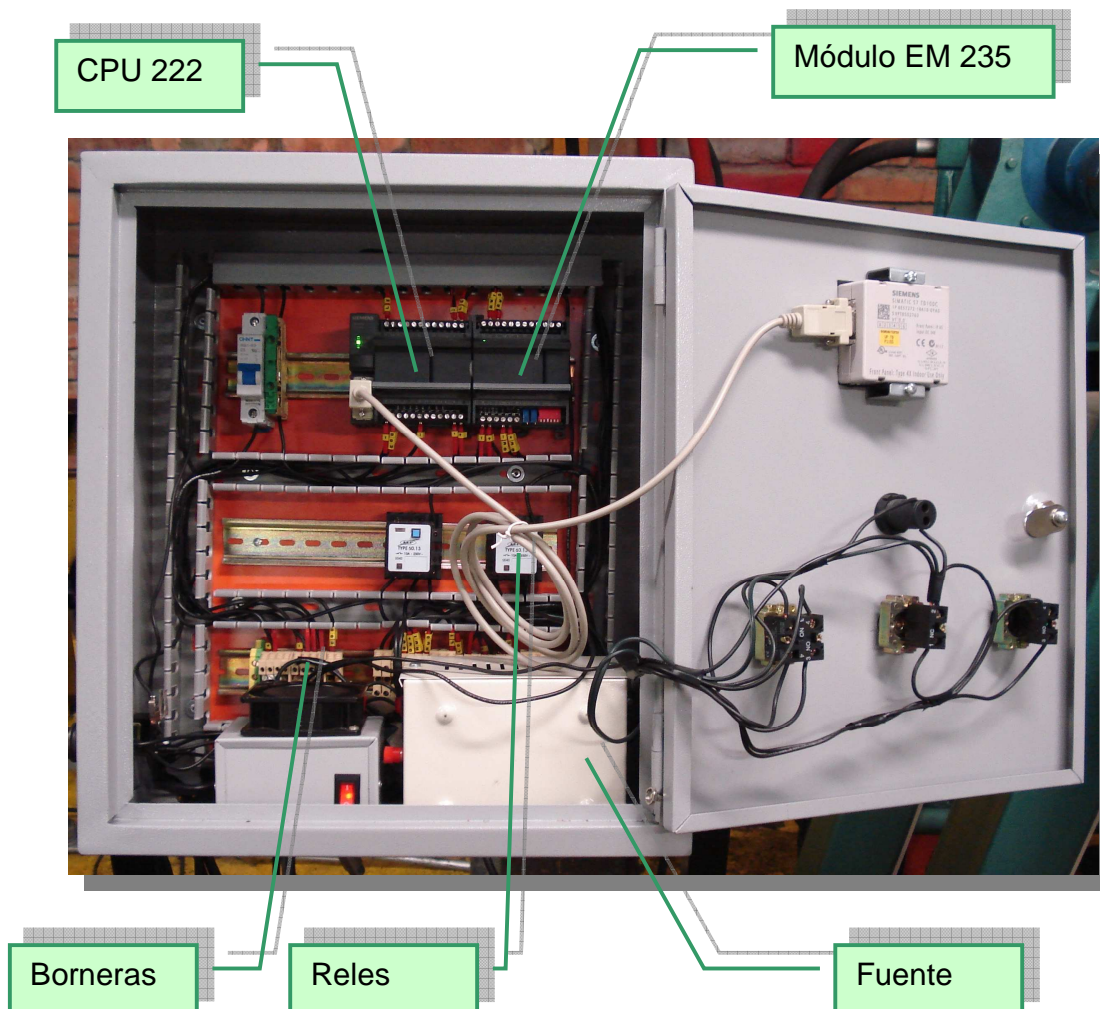


Figura 76. Armario de Control Interior

Fuente: Fotografía tomadas por el autor

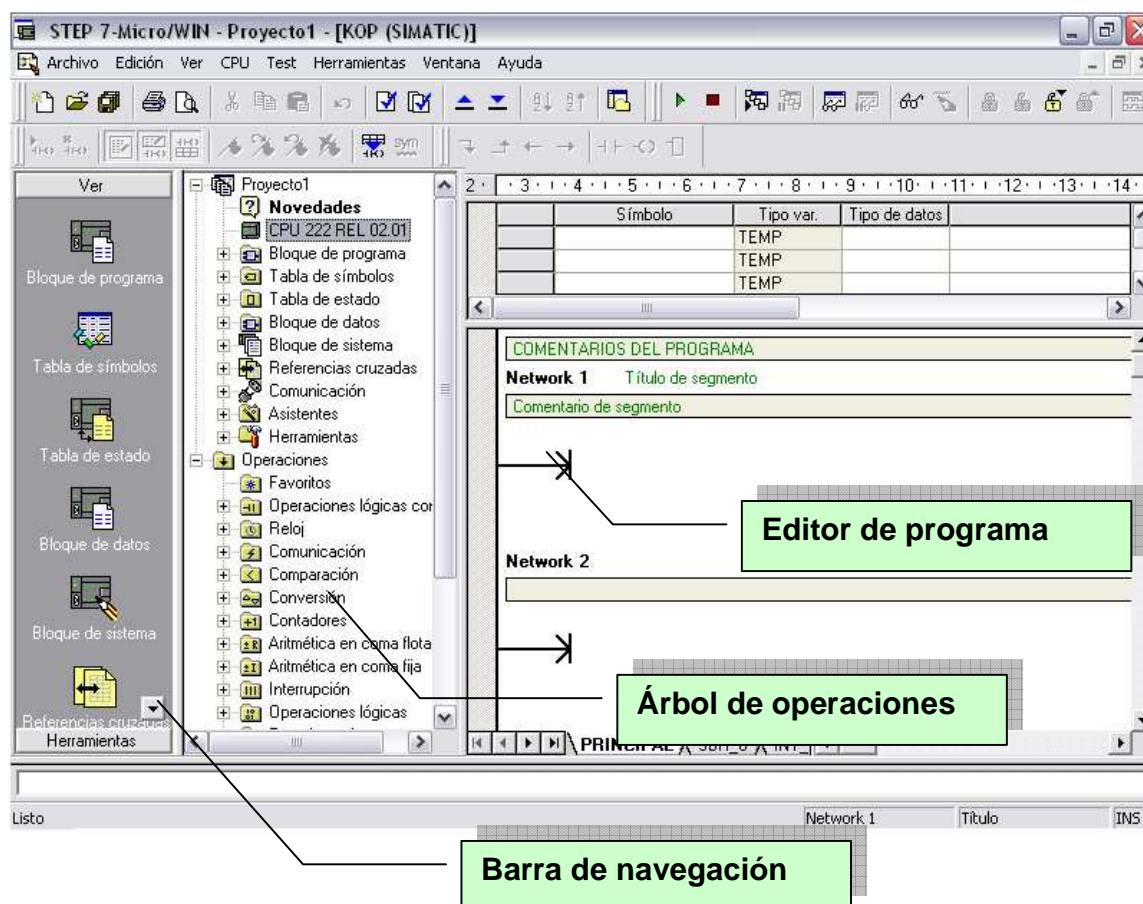


5.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN ENTORNO SIMATIC STEP 7.

Para el desarrollo del programa que se empleara en el control de la transmisión hidrostática se utilizo la plataforma de programación desarrollada por el fabricante el cual es Step 7 MicroWin el programa emplea tres lenguajes de programación AWL, FUP, KOP. La presentación del programa luego de iniciado es la siguiente.

Figura 77. STEP7 MicroWin

Fuente: Siemens



La presentación del programa después de iniciado es el que se observa en la figura anterior, todas las acciones, menús, herramientas, son fácilmente visibles por el usuario. 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.

- Bloques de programa
- Tabla de símbolos

- Tabla de estado
- Bloque de datos
- Referencias cruzadas
- Comunicación
- Ajustar interface PG/PC

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, se puede utilizar el método de “arrastrar y soltar” desde el árbol de operaciones, o bien haciendo doble clic en una operación con objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas. En el árbol de operaciones se encuentran entre los objetos del proyecto las herramientas disponibles así como los diversos asistentes, como los son: el panel de sintonía PID, asistente de PID y Visualizador de textos, más adelante se ahondara en estos temas, ya que fueron los que se usaron para la elaboración del proyecto

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, se hace clic en la ficha en cuestión.

5.4.1 Entradas y Salidas.

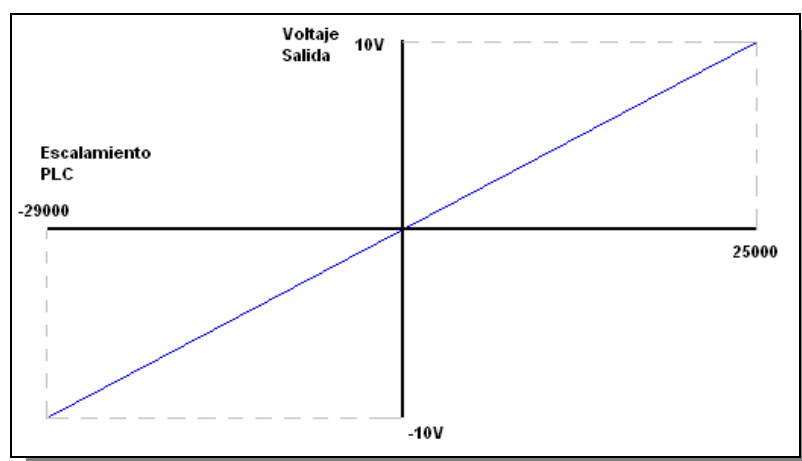
Teniendo en cuenta el análisis que se realizó para la selección de la CPU en base a la naturaleza y número de entradas que se manipularan, se procede a una explicación del tipo de señales y el tratamiento que se elaboró para su empleo. Para la lectura de posición de abertura de la servo válvula se emplea el transductor diferencial variable lineal, el cual se encuentra unido a la parte

posterior del cilindro de mando de la palanca de la bomba variable. Este transductor posee cuatro conexiones dos de ellas son neutro, señal de retroalimentación y alimentación. La tensión a la cual se debe alimentar el transductor esta comprendida entre (-15V y 0, en corriente continua). La señal de del transductor es de naturaleza análoga y viene dada por tensión en un rango comprendido entre (-10V y 10V). Esta señal es la retroalimentación del PID0, es decir el lazo cerrado de control de posición, el tratamiento que se debe dar a esta señal en el PLC es un escalamiento bipolar comprendido entre (-29000 y 25000).

Esto quiere decir que para una señal de voltaje de -10V el cilindro de posicionamiento de placa se encuentra totalmente contraído y por lo tanto valor según el escalamiento de esta señal en el PLC es de -29000. Para el caso contrario a un valor de retroalimentación de 10V, la señal análoga de entrada a el modulo de entradas analógicas EM 235 la dirección para este entrada es la AIW0 y el valor leído en el PLC es de 25000.

Figura 78. Escalamiento señal de retroalimentación LVDT

Fuente: El autor



La señal que comanda la servo válvula también es análoga bipolar pero en corriente, por lo tanto es una señal que sale de modulo EM235 la dirección dispuesta para la salida análoga es la AQW0. Esta es la salida del lazo de control de posición, 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 de la válvula. Para un control óptimo y dada las especificaciones del caso se determino que el rango de trabajo de la servoválvula será límite inferior -1900 y el límite superior 3000.

- **Configuración contador rápido.**

Para la retroalimentación de la velocidad se dispuso de un encoder incremental cuya resolución es de 600 pulsos por revolución, el encoder dispone de dos salidas de tren de pulsos cada una desfasada 90°. Para el empleo de este contador se requiere del empleo de dos entradas digitales de la CPU y además de configurar un contador rápido. El software empleado dispone de asistentes para la configuración de estos contadores. Los contadores rápidos se utilizan habitualmente como accionamiento para temporizadores que funcionan impulsados por un eje que gira a un régimen constante o variable y provisto de un encoder incremental. Éste último provee un número determinado de valores de conteo por giro, así como un impulso de puesta a "0" una vez por giro. El reloj (o relojes) y el impulso de puesta a "0" del encoder suministran las entradas para el contador rápido.

En el menú Herramientas, Asistente de operaciones y selecciona "HSC", que corresponde a sus siglas en ingles (high speed counter). La operación Activar contador rápido (HSC) en KOP o AWL permite que el sistema de automatización S7-200 controle eventos que ocurren más deprisa que el tiempo de ciclo de la CPU. Para poder configurar correctamente un contador rápido es preciso ajustar diversos parámetros en el área de marcas especiales, configurar un determinado

contador rápido para un modo de operación, asociar rutinas de interrupción a determinados eventos del contador y, por último, habilitar el funcionamiento del mismo.

En la primera pantalla de asistente se debe determinar el número de contador y su modo de operación, para la transmisión hidrostática y según el tipo de encoder que se empleará. El contador rápido determinado para el proyecto es el HSC0, el contador emplea dos entradas digitales, en la CPU se deben tener disponible dos de las tres entradas dispuestas para la configuración de HSC0 las cuales son: I0.0, I0.1 y I0.2. El modo de operación es 9 contadores A/B para contadores de dos fases y que permiten elegir una velocidad simple (1x) o cuádruple (4x) para el conteo

Figura 79. Selección del tipo de contador y modo de operación

Fuente: El autor

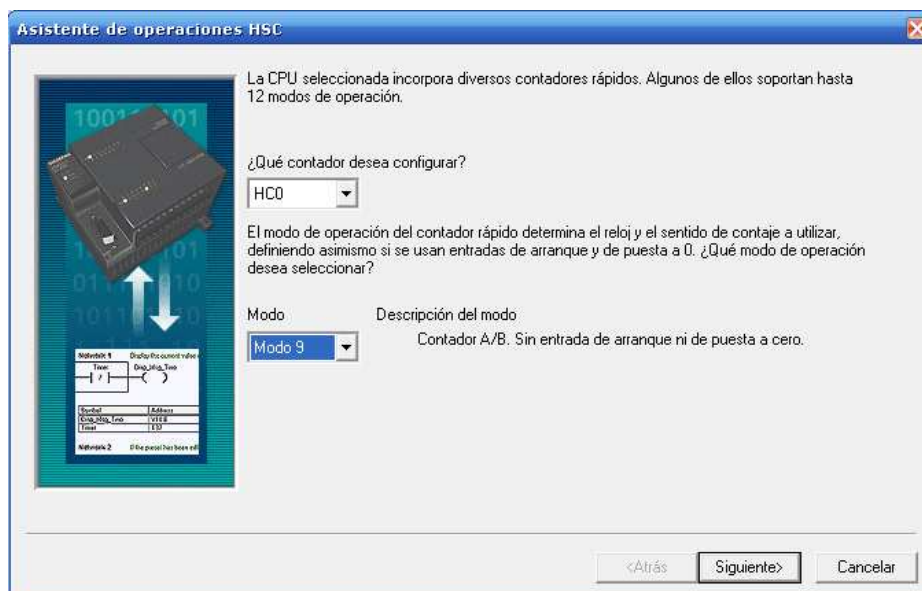
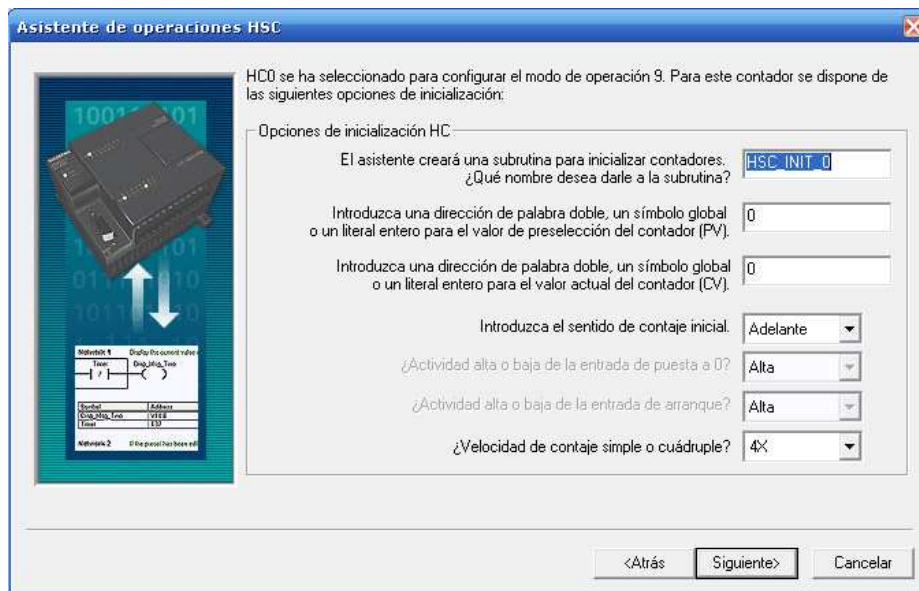


Figura 80. Determinación de los parámetros de la subrutina de HSC0.

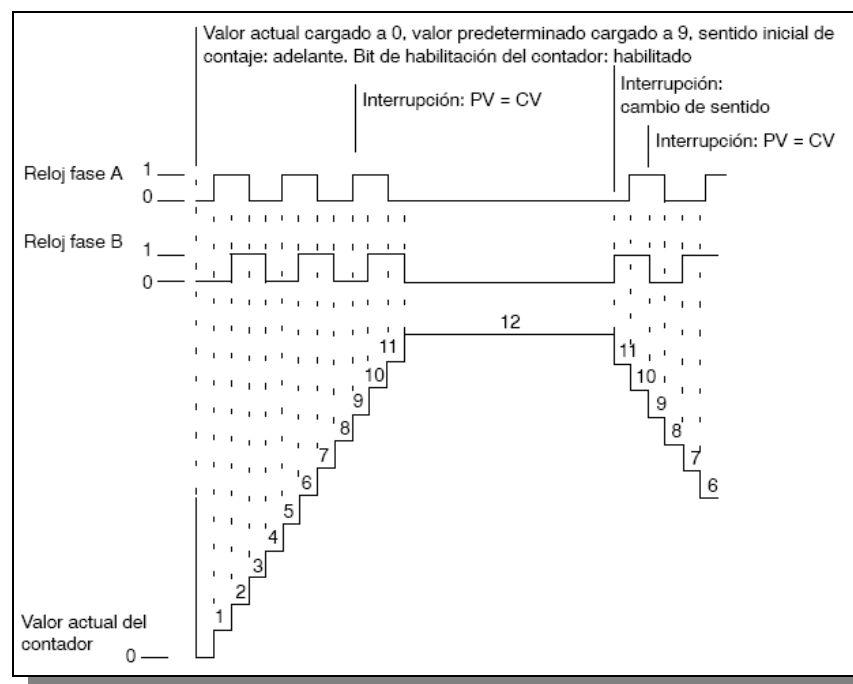
Fuente: El autor



Luego de configurado el contador rápido HSC0 el programa crea automáticamente una subrutina llamada HSC_INIT, que corresponde al tratamiento del tren de pulsos enviados por el encoder, y finalmente entrega el valor de velocidad según la escala estipulada.

Figura 81. Ejemplo de funcionamiento de HSC0 en modo 9, (contador A/B, velocidad cuádruple).

Fuente: El autor

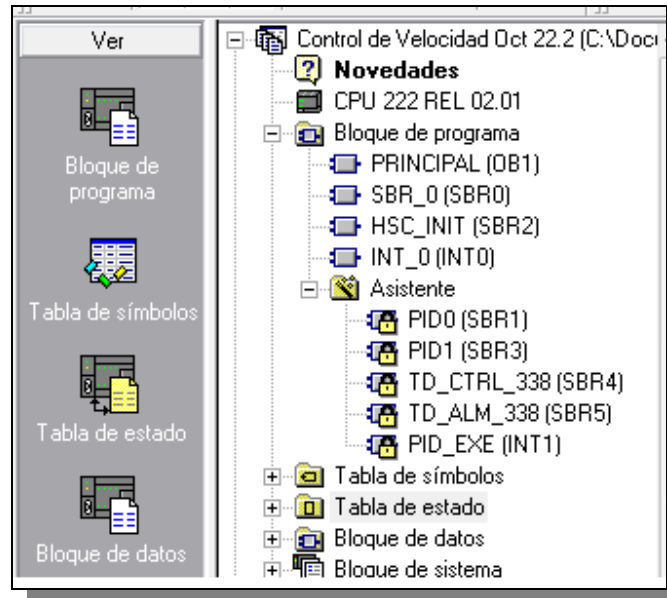


5.4.2 Bloques y Subrutinas Empleadas.

El programa que se realizó para la tarea de control se realizó con base en los diagramas de bloques de los lazos de control interno para posición y externo para velocidad. El programa posee un bloque de programa principal (OB1), y las subrutinas (SBR0 a SBR5), que corresponde a las subrutinas creadas por los asistentes de configuración de operaciones PID0 (SBR1) y PID1 (SBR3), asistente de visualizador de textos TD_CTRL_338 (SBR4) y TD_ALM_338 (SBR5), y el asistente para la configuración de contadores rápidos HSC_INIT (SBR2). También se crearon las subrutinas de interrupción INT0 y INT1.

Figura 82. Bloque de programa y subrutinas del programa de control.

Fuente: El autor



El programa empleado para el control de la transmisión se elaboró en el software Microwin STEP 7. Los comentarios y explicación de cada uno de los segmentos se realizó en el programa con el fin de que cualquier persona que vaya a operar la maquina al descarga el programar en un computador comprenda y pueda interpretar cada uno de los segmentos y su función.

Figura 83. Tabla de símbolos del programa de control.

Fuente: El autor

| | | Símbolo | Dirección | Comentario |
|---|--|------------------|-----------|---|
| 1 | | VELOCIDAD_ACTUAL | Vw1204 | VARIABLE DE VELOCIDAD ENTRADA PROVENIENTE DEL ENCODER UNIPOLAR DEL PID1 |
| 2 | | VELOCIDAD_1 | Vw2002 | VELOCIDAD EN RPM |
| 3 | | VELOCIDAD | VD1010 | VELOCIDAD DEL VOLANTE DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA |
| 4 | | SET_DE_VELOCIDAD | VD1208 | SET POINT DE VELOCIDAD EXPRESADO EN PULSOS POR 100 MILISEGUNDOS |
| 5 | | SET_DE_POSICION | VD206 | VALOR REAL ENTRE 0-100% PARA A JUSTAR LA POSICION DESEADA DE LA SERVO-VALVULA |
| 6 | | SALIDA_DEL_PID1 | Vw1206 | SALIDA DEL PID1 EXPRESADA DE 0-100% VALOR DE ENTRADA COMO SET POINT AL PID0 |
| 7 | | SALIDA_ANALOGA | AQW0 | SEÑAL DE SALIDA BIPOLAR QUE ACCIONA LA VALVULA APERTURA Y CIERRE |
| 8 | | ENTRADA_ANALOGA | AIW0 | SEÑAL ANALOGA BIPOLAR QUE ENTREGA EL DATO DE POSICION DEL CILINDRO DE LA VALV |

En la figura 85 se observa la tabla de símbolos que corresponden a las dirección de memoria y señales que emplea el programa de control, al tener como herramienta esta tabla se facilita la labor de programación ya que mediante el empleo de esta se evitan errores por confusión entre las direcciones de memoria. Además usando la tabla de símbolos se hace referencia a que corresponde cada dirección de memoria empleada siempre y cuando esta contemplada en la tabla de símbolos. El programa de control para la transmisión hidrostática se presenta a continuación, este es el programa que se encuentra almacenado en la CPU.

PROGRAMA CONTROL DE VELOCIDAD CONSTANTE TRANSIMISION HIDROSTATICA

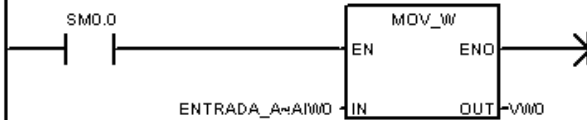
AUTORES:

FREDDY ALEXANDER CEPEDA GOMEZ

OSCAR FERNANDO CENTENO ARIZA

Network 1

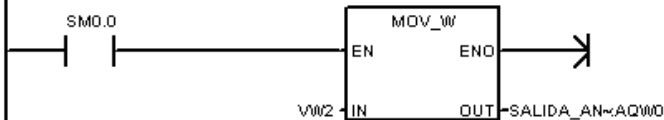
CAPTURA DE LA ENTRADA ANALOGA 1 (POTENCIOMETRO LINEAL QUE PROPORCIONA EL DATO DE APERTURA DE LA VALVULA. RETROALIMENTACION DEL CILINDRO DE CONTROL DE LA PLACA DE LA BOMBA VARIABLE)



| Símbolo | Dirección | Comentario |
|-----------------|-----------|---|
| ENTRADA_ANALOGA | AIW0 | SEÑAL ANALOGA BIPOLAR QUE ENTREGA EL DATO DE POSICION DEL CILINDRO DE LA VALV |

Network 2

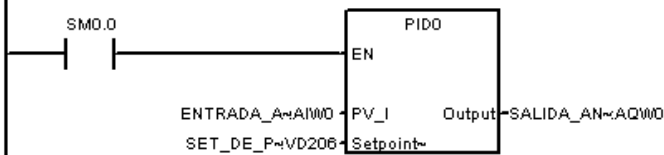
RUTINA PARA FORZAR LA SALIDA ANALOGA CON EL FIN DE CONOCER LOS LIMITES DE POSICION PARA APERTURA Y CIERRE DE LA VALVULA



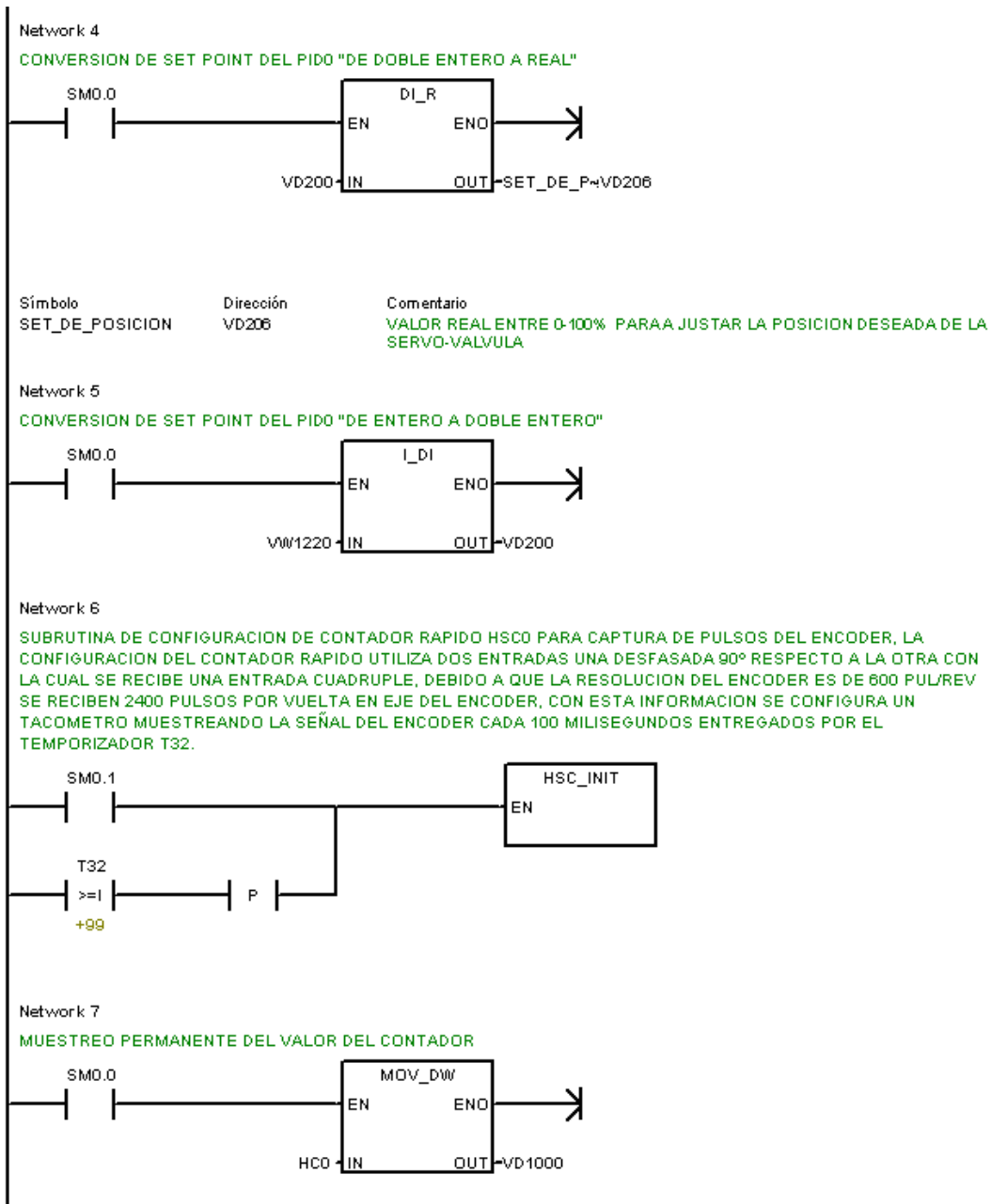
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|----------------|-----------|--|
| SALIDA_ANALOGA | AQW0 | SEÑAL DE SALIDA BIPOLAR QUE ACCIONA LA VALVULA APERTURA Y CIERRE |

Network 3

LLAMADA A SUBROUTINA DE CONFIGURACION DEL PIDO DE POSICION, ESTA SUBROUTINA TIENE QUE ESTAR ACTIVA TODO EL TIEMPO, LA SEÑAL DE RETROALIMENTACION DEL LAZO, PROVIENE DEL LVDT ES DECIR, LA VARIABLE DE ENTRADA DEL PIDO (LAZO DE CONTROL DE POSICION) ES LA ENTRADA ANALOGA SE MUESTREA CADA 100 MILLISEGUNDOS PARA OBTENER UNA RESPUESTA RAPIDA A LA EJECUCION DEL PIDO. EL SET POINT DE LAZO DE POSICION ES LA SALIDA DEL LAZO DE CONTROL DE VELOCIDAD. LA SALIDA DEL PIDO SE ESCALA DE 0 - 100% QUE REPRESENTA EL PORCENTAJE DE APERTURA A LA SERVO VALVULA, ESTA SEÑAL DE SALIDA VA A LA DIRECCION DE MEMORIA AQW0 ES LA SEÑAL DE COMANDO A LA SERVO VALVULA DADA EN UNA ESCALA UNIPOLAR



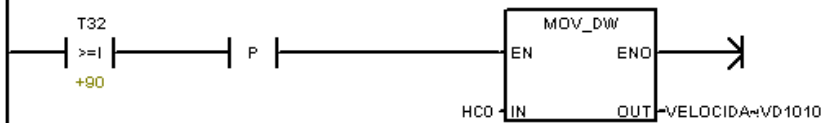
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|-----------------|-----------|---|
| ENTRADA_ANALOGA | AIW0 | SEÑAL ANALOGA BIPOLAR QUE ENTREGA EL DATO DE POSICION DEL CILINDRO DE LA VALV |
| SALIDA_ANALOGA | AQW0 | SEÑAL DE SALIDA BIPOLAR QUE ACCIONA LA VALVULA APERTURA Y CIERRE |
| SET_DE_POSICION | VD206 | VALDR REAL ENTRE 0-100% PARA A JUSTAR LA POSICION DESEADA DE LA SERVO-VALVULA |



Network 8
 CONFIGURACION DEL TACOMETRO CON LA UTILIZACION DEL TEMPORIZADOR T32 RETARDO A LA CONEXION

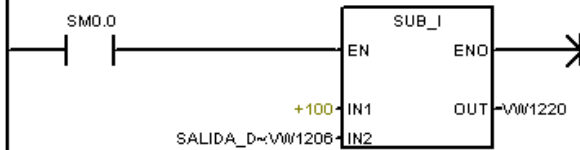


Network 9
 CAPTURA DE LA INFORMACION DEL ENCODER CADA 100 MILISEGUNDOS CON LOCAL SE CONFIGURA EL TACOMETRO " MONITOR DE VELOCIDAD"



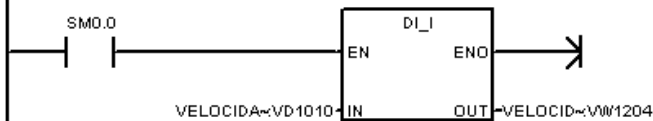
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|-----------|-----------|--|
| VELOCIDAD | VD1010 | VELOCIDAD DEL VOLANTE DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA |

Network 10
 RUTINA PARA INVERTIR LA SEÑAL DE POSICION DE LA VALVULA



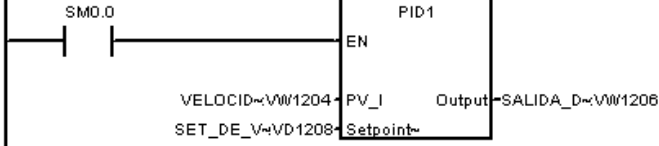
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|-----------------|-----------|---|
| SALIDA_DEL_PID1 | VW1206 | SALIDA DEL PID1 EXPRESADA DE 0-100% VALOR DE ENTRADA COMO SET POINT AL PID0 |

Network 11
 CONVERSION DE LA VELOCIDAD DE UNA "PALABRA DOBLE A ENTERO" SEÑAL REQUERIDA PARA LA ENTRADA DEL PID1



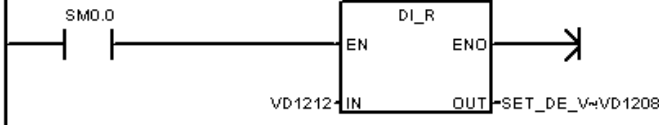
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|------------------|-----------|---|
| VELOCIDAD | VD1010 | VELOCIDAD DEL VOLANTE DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA |
| VELOCIDAD_ACTUAL | VW1204 | VARIABLE DE VELOCIDAD ENTRADA PROVENIENTE DEL ENCODER UNIPOLAR DEL PID1 |

Network 12
 SUBROUTINA PARA CONTROL DE VELOCIDAD EN LAZO CERRADO PID1, ESTA SUBROUTINA PERMITE REALIZAR EL CONTROL DE VELOCIDAD YA QUE SE MUESTREA LA VELOCIDAD ACTUAL Y A PARTIR DEL SET POINT REQUERIDO O DESEADO POR EL OPERADOR, SE AJUSTA LA POSICION DE LA SERVO VALVULA MANTENIENDO LA VELOCIDAD INDEPENDIENTE MENTE DE LA CARGA RESISTIVA APLICADA.



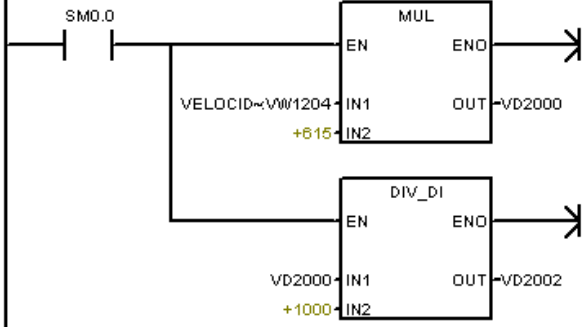
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|------------------|-----------|---|
| SALIDA_DEL_PID1 | VW1206 | SALIDA DEL PID1 EXPRESADA DE 0-100% VALOR DE ENTRADA COMO SET POINT AL PID0 |
| SET_DE_VELOCIDAD | VD1208 | SET POINT DE VELOCIDAD EXPRESADO EN PULSOS POR 100 MILLISEGUNDOS |
| VELOCIDAD_ACTUAL | VW1204 | VARIABLE DE VELOCIDAD ENTRADA PROVENIENTE DEL ENCODER UNIPOLAR DEL PID1 |

Network 13
 CONVERSION DEL SET POINT EN UN VALOR REAL



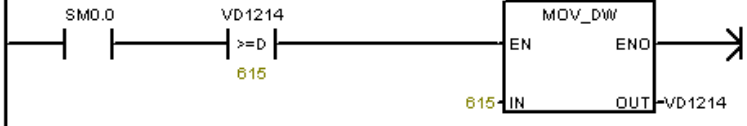
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|------------------|-----------|--|
| SET_DE_VELOCIDAD | VD1208 | SET POINT DE VELOCIDAD EXPRESADO EN PULSOS POR 100 MILLISEGUNDOS |

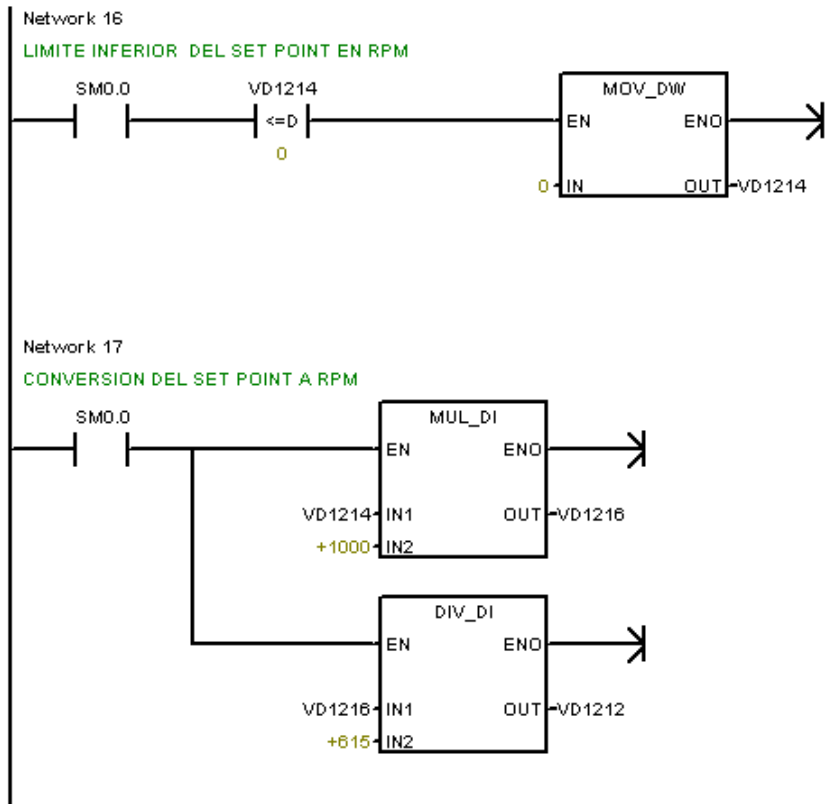
Network 14
 CONVERSION DE VELOCIDAD A RPM



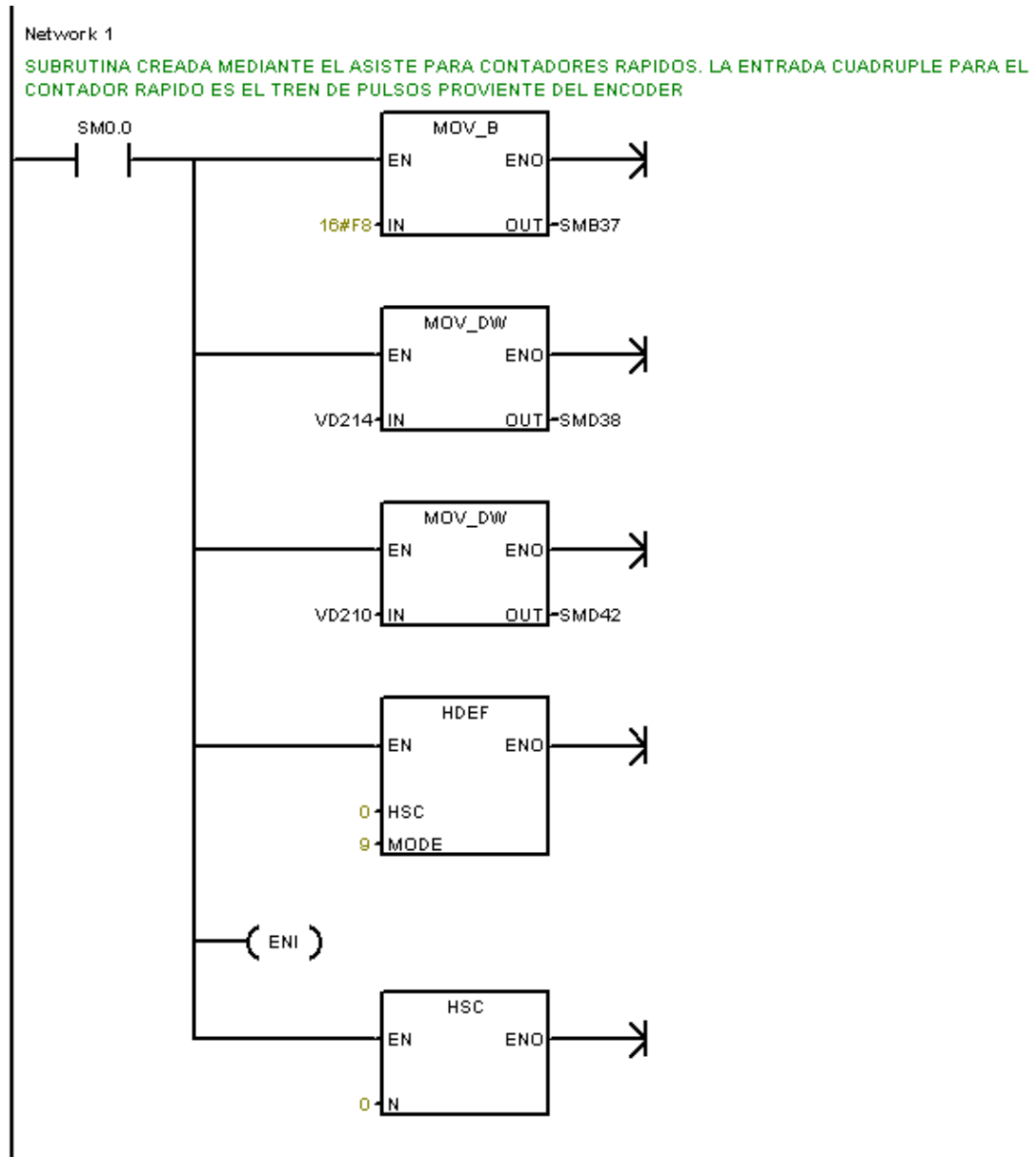
| Símbolo | Dirección | Comentario |
|------------------|-----------|---|
| VELOCIDAD_ACTUAL | VW1204 | VARIABLE DE VELOCIDAD ENTRADA PROVENIENTE DEL ENCODER UNIPOLAR DEL PID1 |

Network 15
 LIMITE SUPERIOR DEL SET POINT EN RPM





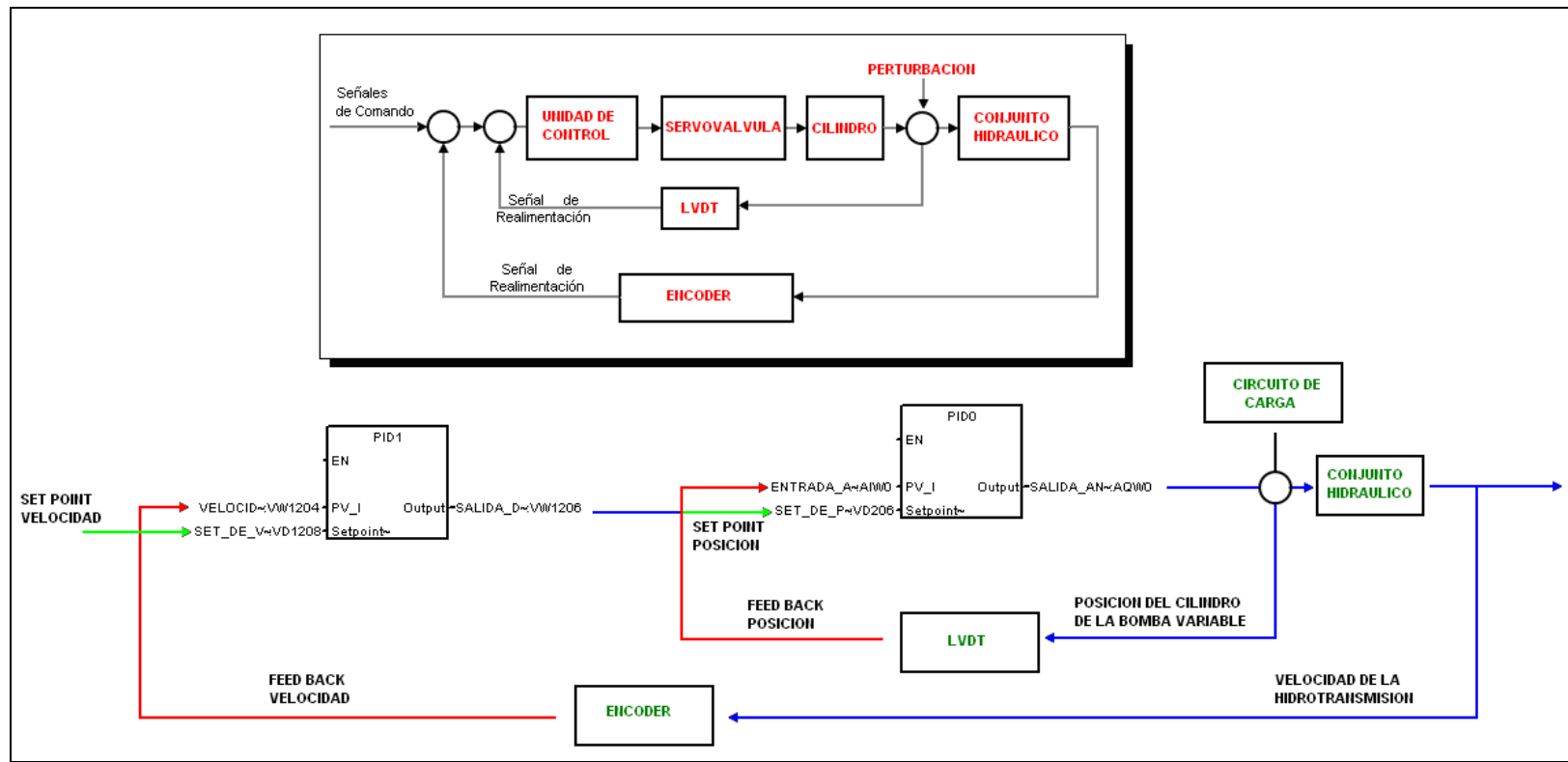
El programa creado para la configuración del contador rápido es la siguiente:



La programación de la rutina de control se realizó con base a los diagramas de bloques del control de transmisión hidrostática tanto de posición internamente así como el lazo de control de velocidad externo, también se tuvo como referencia el control analógico que se realiza por medio de tarjetas y microprocesadores. Por lo tanto a continuación se presenta un símil entre el diagrama de bloques y la secuencia de operación del programa de control ejecutado.

Figura 84. Lazo de control implementado en el programa del PLC

Fuente: El autor

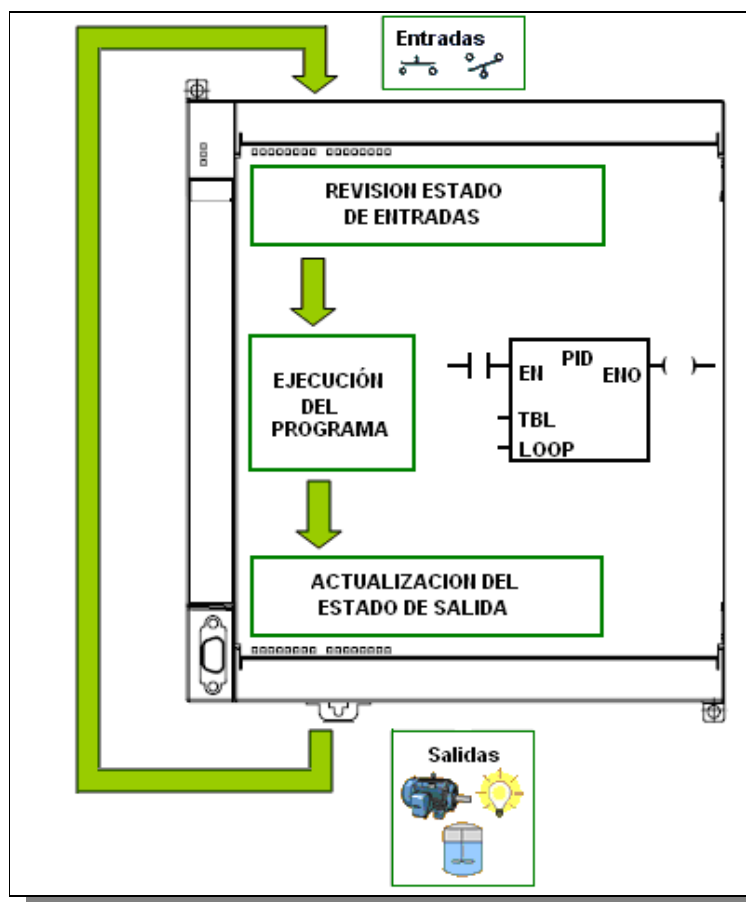


5.4.3 Ciclo de Escan del PLC.

El ciclo de trabajo del PLC consiste en realizar un barrido continuo del programa. Se puede entender estos ciclos de barrido como la ejecución de tres pasos principales. Típicamente existen más de tres pasos pero nos enfocaremos en estos tres pasos principales ya que brindan una idea general del funcionamiento. El tiempo de ejecución del programa depende generalmente de la cantidad de memoria utilizada por el programa de control y por el tipo de instrucciones utilizadas dentro del programa. Siendo mayor para las operaciones aritméticas o de manipulación de datos

Figura 85. Diagrama ciclo scan del PLC

Fuente: El autor



- **Revisión estado de las entradas.** Como primer paso el PLC revisa cada entrada para determinar si esta encendida o apagada en caso de señales digitales, cuando son análogas determinar el valor de la señal en ese instante. Revisa las entradas desde la primera a la última, y graba estos estados en la memoria del PLC para ser utilizados en el paso siguiente.

- **Ejecución de programa.** Ahora el PLC ejecuta el programa preestablecido instrucción por instrucción y en el orden en que se determino. Como ya se ha revisado el estado de las entradas el programa puede tomar decisiones basado en los valores que fueron guardados. Las decisiones que toma el programa, en última instancia, corresponde a los valores que va a tomar cada una de las salidas. Estos valores son almacenados en registros para ser utilizados en la etapa final.

- **Actualización del estado de las salidas.** Finalmente el PLC toma los resultados almacenados después de la ejecución del programa. Los resultados se van reflejando, uno a uno, en cada una de las salidas, en el orden por defecto del equipo, o en el definido si se permite configurar el orden de actualización.

Figura 86. Interconexión equipos de control automático

Fuente: Siemens



5.4.4 Auto sintonía del PID y panel de sintonía.

El algoritmo de auto sintonía utilizado en el S7-200 se basa en una técnica denominada “realimentación con relé”, propuesta por K. J. Åström y T. Hägglund en 1984. En los últimos 20 Años. La realimentación con relé consiste en provocar una oscilación pequeña pero mantenida en un proceso por lo demás estable. La frecuencia y la ganancia límites del proceso se determinan según el período de las oscilaciones y los cambios de amplitud observados en la variable del proceso. A continuación, utilizando dichos valores límite de la ganancia y de la frecuencia, el auto sintonizador PID propone los valores de sintonía de la ganancia, así como los de las acciones integral y derivativa.

Los valores propuestos dependen de la velocidad de respuesta del lazo seleccionada para el proceso. La respuesta puede ser rápida, media, lenta o muy lenta. Dependiendo del proceso, una respuesta rápida podría tener sobre-impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía sub-amortiguada. Una respuesta media podría estar a punto de tener sobre-impulso, lo que

correspondería a una condición de sintonía críticamente amortiguada. Una respuesta lenta podría no tener sobre-impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía sobre-amortiguada. Una respuesta muy lenta podría no tener sobre-impulso, lo que correspondería a una condición de sintonía altamente sobre-amortiguada.

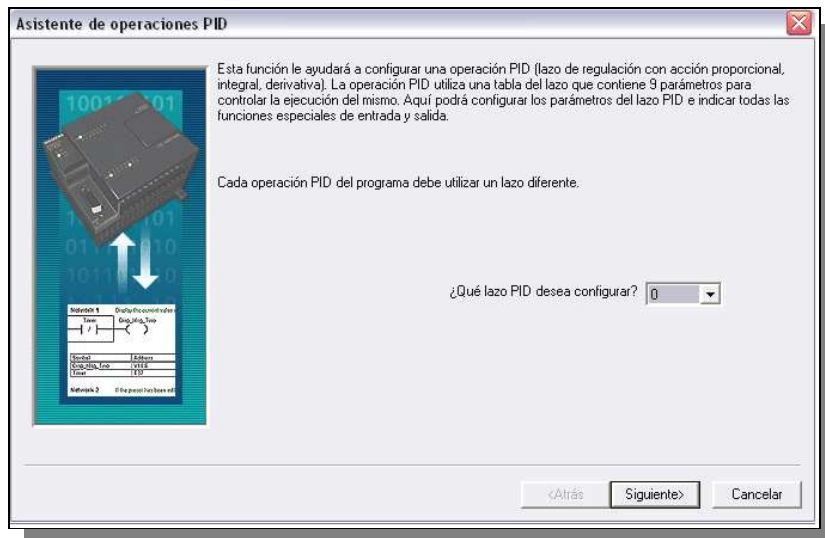
Además de proponer valores de sintonía, el auto sintonizador PID puede determinar automáticamente los valores de histéresis y de desviación de la variable del proceso. Estos parámetros se utilizan para reducir el efecto del ruido del proceso, limitando asimismo la amplitud de las oscilaciones mantenidas que ha ajustado el auto sintonizador PID. El objetivo del auto sintonizador PID consiste en determinar un juego de parámetros de sintonía que ofrezcan una aproximación razonable a los valores óptimos del lazo. A partir de los valores de sintonía propuestos, se podrá efectuar la sintonización fina y optimizar realmente el proceso.

➤ **Configuración lazo PID**

En el árbol de operaciones se encuentra la carpeta de asistentes, dentro de ella se halla el asistente para la creación de operaciones PID se debe hacer doble click sobre el para iniciarlo, la función del asistente es crear una subrutina PID lazo de regulación de acción proporcional, integral y derivativa al bloque de programa se escoge que lazo se desea configurar. Se determinó para el lazo de control de posición el PID0 y para el lazo de control de velocidad el PID1.

Figura 87. Asistente de operaciones PID

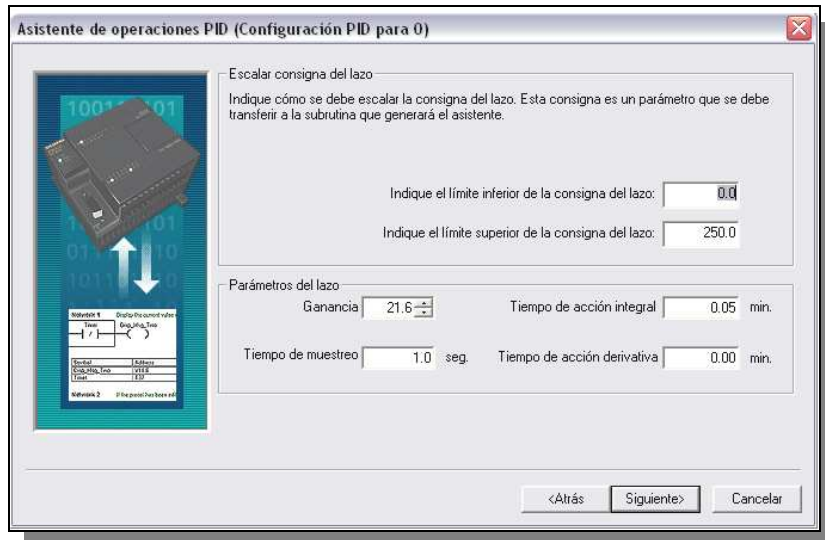
Fuente: Siemens



Enseguida se establecen los límites de la consigna del lazo, parámetros de lazo, ganancia, tiempo de muestreo, tiempo de acción integral, tiempo de acción derivativa. También se determina las opciones de entrada de lazo, escalamiento de la variable del proceso del lazo ya sea en el rango bipolar o unipolar, así como los límites, los límites que se manejan son valores comprendidos en el rango de (32000, -32000). Además se establecen las opciones de salida del lazo. Para los dos lazos de control los valores de los parámetros de configuración del asistente de operaciones PID se determinaron con base en los equipos presentes de modo que el acondicionamiento de la señales de entrada como de salida se ajustaran al programa de control que se realizó. Los valores de ganancias, tiempos de acción integral, tiempo de acción derivativa y tiempo de muestreo, se obtienen de las jornadas de sintonía al programa de control.

Figura 88. Parámetros de lazo PID

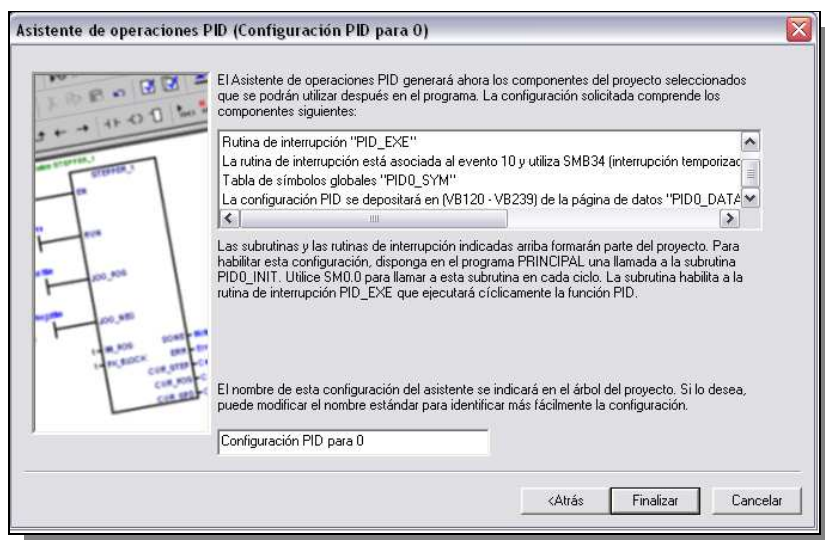
Fuente: Siemens



Finalmente el asistente genera los componentes del proyecto seleccionado que serán empleados en el programa que se compone de, rutina de interrupción "PID_EXE", tabla de símbolos globales "PID0_SYM" y rango de memoria que se utilizara. Luego de realizada esta operación, se tiene disponible la subrutina PID0_INIT, que corresponde a la subrutina de inicialización.

Figura 89. Rutinas de operaciones PID

Fuente: Siemens



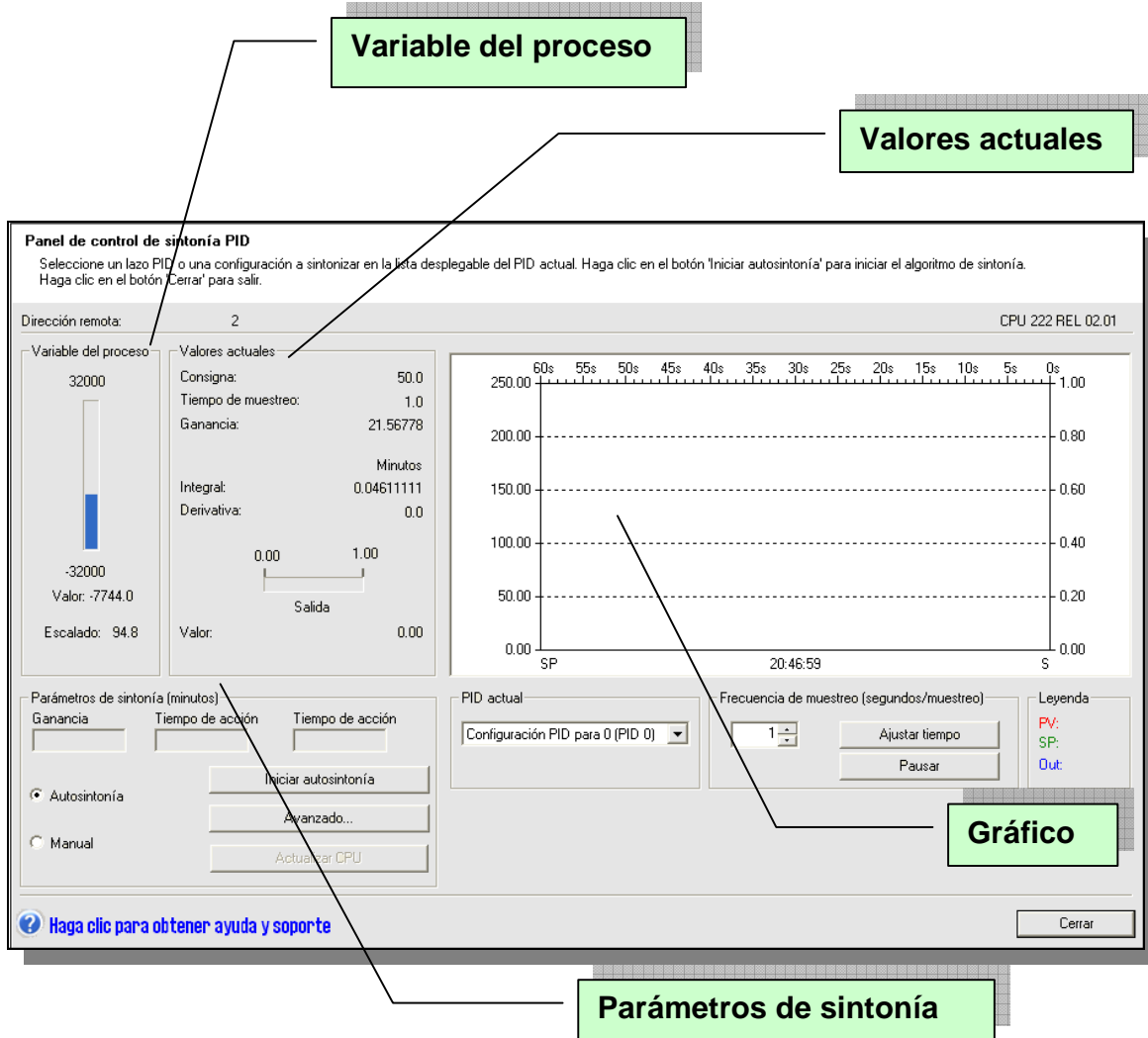
Luego de creada la subrutina de operación PID, se procede a realizar la sintonía mediante el panel de autosintonía, el objetivo de la autosintonía es buscar los parámetros que ofrezcan una aproximación razonable a los valores óptimos del lazo y partir de los valores propuestos para realizar una sintonización mas fina y optimizar el proceso. En el menú de herramientas se selecciona panel de sintonía, para iniciar el panel de autosintonía el programa debe estar debidamente realizado, el lazo debe estar en modo automático, la ejecución de la operación PID debe controlar la salida del lazo. Antes de iniciar la autosintonía el proceso debe estar en estado estable esto significa que la variable del proceso PV deberá haber alcanzado el valor de la consigna SP, la CPU debe estar en modo RUN. La autosintonía crea una oscilación en el proceso efectuando pequeños cambios escalonados en la salida del lazo.

➤ **Panel de sintonía PID**

El panel de control de sintonía PID de STEP 7-Micro/WIN 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. 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.

Figura 90. Panel de sintonía PID

Fuente: Siemens



El valor de la salida se visualiza en una barra horizontal junto con su valor numérico. El gráfico muestra líneas en color rojo para la variable del proceso (PV), la consigna en color verde (SP) y la salida en color azul (Out) como función del tiempo. La (PV), variable de proceso y el (SP) comparten una misma escala vertical ubicada en el lado izquierdo del gráfico, en tanto que la escala vertical de la salida (Out) se encuentra en el lado derecho. El área parámetros de sintonía (minutos) visualiza los valores de la ganancia, así como del tiempo de acción integral y derivativa. Los botones de opción indican si se está realizando la

sintonía "Automática" o "Manual". Para modificar los parámetros de sintonía, se hace 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, se hace 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". A la derecha del área "Tiempo" se visualiza una leyenda que identifica los colores utilizados para graficar los valores de la variable del proceso, de la consigna y de la salida.

➤ **Secuencia de autosintonía**

Para sintonizar cada una de los lazo de control en primera instancia se selecciona el modo de "autosintonia", seguido a esto se oprime el boton de iniciar autosintonia. La primera operación que se realiza consiste en determinar los valores de auto histéresis y auto desviación, que consisten en determinar el parámetro de variacion (positiva o negativa) de la consigna que puede tener la variable del proceso PV sin que el controlador modifique la salida. Este valor se utiliza para minimizar el efecto de ruido en la señal de PV. La auto desviación, especifica la oscilación pico a pico deseada de la variable del proceso (PV) alrededor de la consigna.

El proceso de sintonía comienza cuando el paso de salida inicial se aplica a la salida del lazo. Este cambio del valor de salida debería causar un cambio correspondiente del valor de la variable del proceso (PV). Cuando el cambio de la salida aleje la PV de la consigna lo suficiente, de manera que se exceda el límite de la histéresis, el autosintonizador detectará un evento de paso por cero. En cada evento de paso por cero, el autosintonizador conducirá la salida en el sentido

opuesto. El sintonizador continuará muestreando la PV y esperará a que se produzca el siguiente evento de paso por cero. Para completar la secuencia se requieren doce pasos por cero en total. La magnitud de los valores pico a pico de la PV (error de pico) y la frecuencia a la que pueden ocurrir los pasos por cero dependen directamente de la dinámica del proceso.

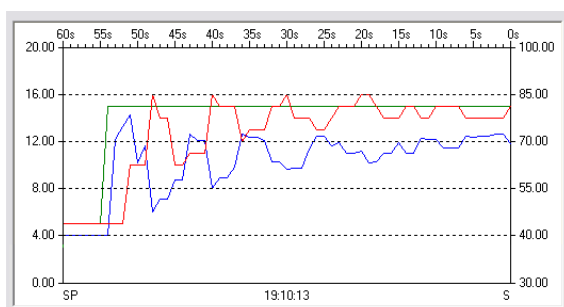
La gráfica de autosintonía muestra el comportamiento de la salida y de la variable del proceso durante una secuencia de autosintonía en un lazo de actuación directa. El panel de control de sintonía PID se ha utilizado para iniciar y vigilar la secuencia de sintonía. Se puede observar cómo el autosintonizador conmuta la salida para que ocurran pequeñas oscilaciones en el proceso (según lo demuestra el valor de la PV). La frecuencia y la amplitud de las oscilaciones de la PV indican la ganancia y la frecuencia natural del proceso.

Los valores límite de ganancia y de frecuencia se calculan conforme con la información obtenida acerca de la frecuencia y la ganancia del proceso durante el proceso de autosintonía. A partir de estos valores se calculan los valores propuestos para la ganancia proporcional, así como para los tiempos de acción integral y derivativa. Tras completar la secuencia de autosintonía y transferir los parámetros de sintonía propuestos a la CPU, se podrá utilizar el panel de control para vigilar la respuesta del lazo a un cambio de la consigna.

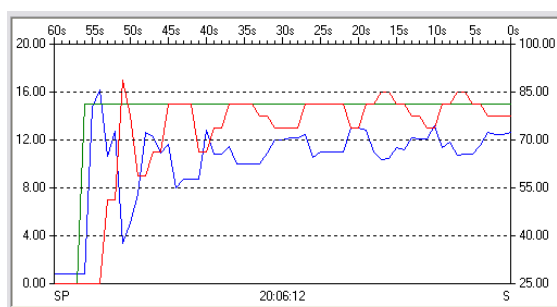
Del proceso de autosintonía se obtienen unos primeros valores propuestos para el lazo de control de posición que fue en primera medida el primer paso del programa, la sintonización de PID0 ya que este es el lazo interno que controla la inclinación de la placa de la bomba variable mediante el mando del cilindro hidráulico comandado por la servoválvula, y se requiere un muy buen funcionamiento ya que los lazos de control no son independientes y se complementan mutuamente.

Figura 91. a), b), c), d). Respuestas del PID1 valores de parámetros de sintonía no acordados para los objetivos del presente proyecto.

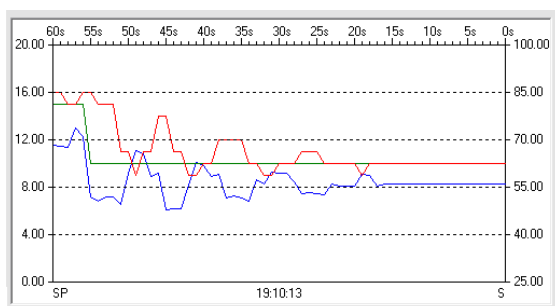
Fuente: El autor



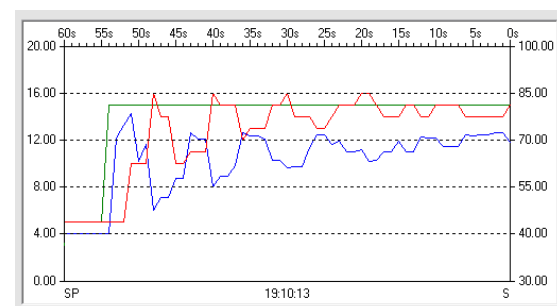
a)



b)



c)



d)

En todas las gráficas anteriores podemos observar que el tiempo de respuesta es aproximadamente aceptable, pero el tiempo de estabilización es de aproximadamente un minuto, lo cual quiere decir que a variaciones o perturbaciones al lazo de control el sistema tomaría mucho tiempo en responder. Además podemos observar que existe gran variación en los sobrepicos de modo que no es un sistema estable. Por lo tanto se tienen que ajustar estos valores de autosintonía con el fin de determinar los valores óptimos para el control.

Tomando los valores propuestos proporcionados por el panel de autosintonía se procede a evaluar estos valores planteados de modo que la respuesta de posición

del cilindro sea lo mas rápida posible tan pronto recibe una señal de comando y que sea estable.

Los valores de consigna de lazo para el PID0 lazo de control de posición fueron:

- Limite inferior de consigna de lazo = 0.0
- Limite superior de consigna de lazo = 100
- Ganancia = 1.8
- Tiempo de acción integral = 0.01
- Tiempo de acción derivativa = 0.0
- Tiempo de muestreo = 0.1 seg.
- Limite inferior entrada PV = -29000
- Limite superior entrada PV = 25000
- Limite inferior salida de lazo Out = -1900
- Limite superior salida de lazo Out = 3000

El paso siguiente a realizar es la sintonización del PID1, lazo de control de velocidad, se realizo el mismo procedimiento al igual que para el lazo interno de posición. Se inicio la herramienta de panel se sintonía y se selecciono autosintonía, el asistente calcula los valores propuestos para ganancia, tiempo integral y tiempo derivativo. Estos valores planteados en un principio por el asistente de sintonía PID son actualizados al programa de modo que se realicen pruebas para observar que tan acertados son según la aplicación específica. Estos valores planteados sirven de guía para realizar un ajuste mas fino de modo que con ayuda del grafico que realiza el seguimiento a cada una de las variables del PID, y también por medio de observaciones atentas a la variación de los manómetros se permite detectar picos de aceleración que no pueden ser permitidos.

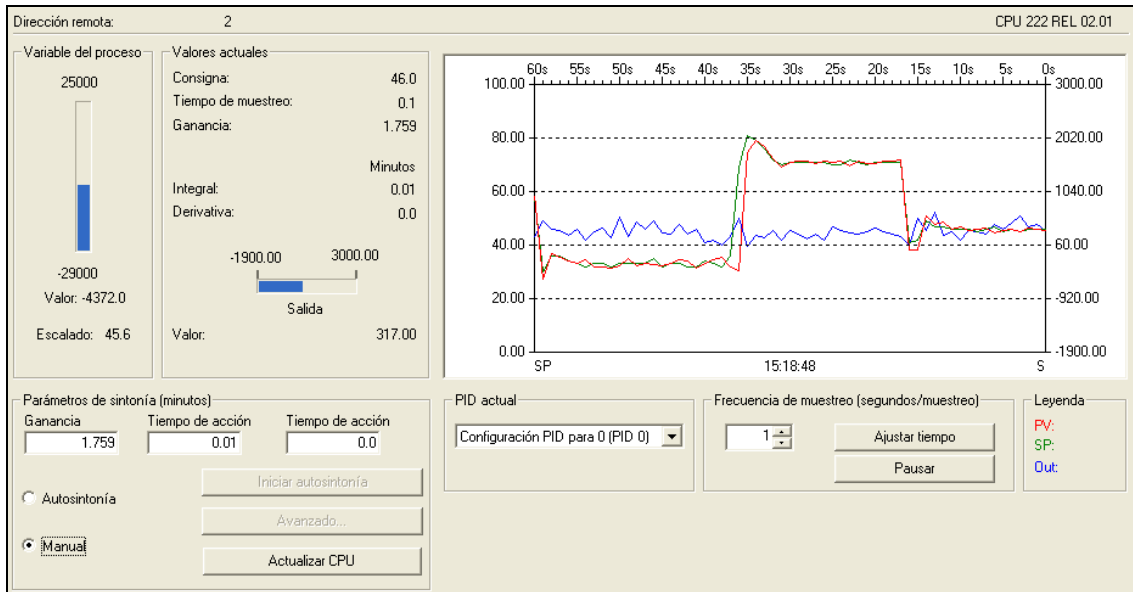
Finalmente luego de realizar los ajustes necesarios a cada uno de estos parámetros del PID y de cómo cada uno de estos afecta el control tanto en tiempos de respuesta, picos a los cambios de comando, se determina el valor de ganancia adecuado para una respuesta inmediata a las perturbaciones presentes al lazo de control dadas por el circuito de carga, se obtiene un valor aceptable para tiempo de acción derivativa para la aceleración y desaceleración controlada de la inercia del volante de la transmisión hidrostática y un valor acertado para el tiempo de acción integral de modo que se posea rapidez en la respuesta a los cambios de velocidad y una señal estable.

Los valores de consigna de lazo para el PID1 del lazo de control de velocidad fueron:

- Limite inferior de consigna de lazo = 0.0
- Limite superior de consigna de lazo = 1000
- Ganancia = 0.9
- Tiempo de acción integral = 0.02
- Tiempo de acción derivativa = 0.00013
- Tiempo de muestreo = 0.1 seg.
- Limite inferior entrada PV = 0
- Limite superior entrada PV = 1000
- Limite inferior salida de lazo Out = 16
- Limite superior salida de lazo Out = 83

Figura 92. a), b), c). Respuestas del PID0 lazo de control de posición. Con los valores de parámetros de sintonía óptimos.

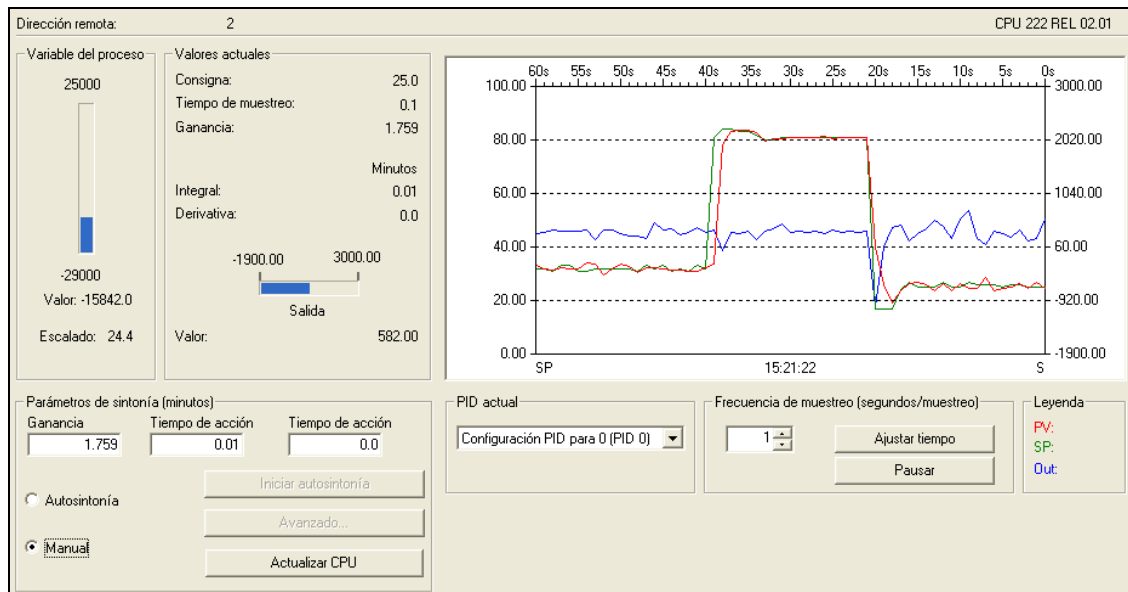
Fuente: El autor



a) Panel de Sintonía del PID0 de posición variaciones del set point.



b) Panel de sintonía del PID0, se observa el seguimiento de la señal de retroalimentación LVDT al set point de posición.

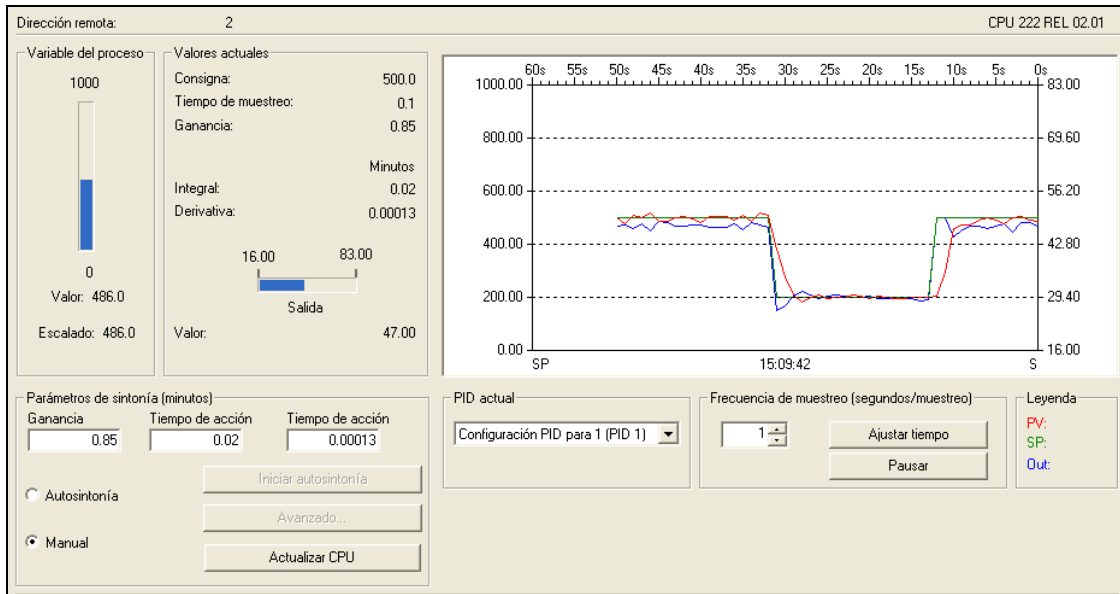


c) Respuesta del PID de posición a los cambios en el set point.

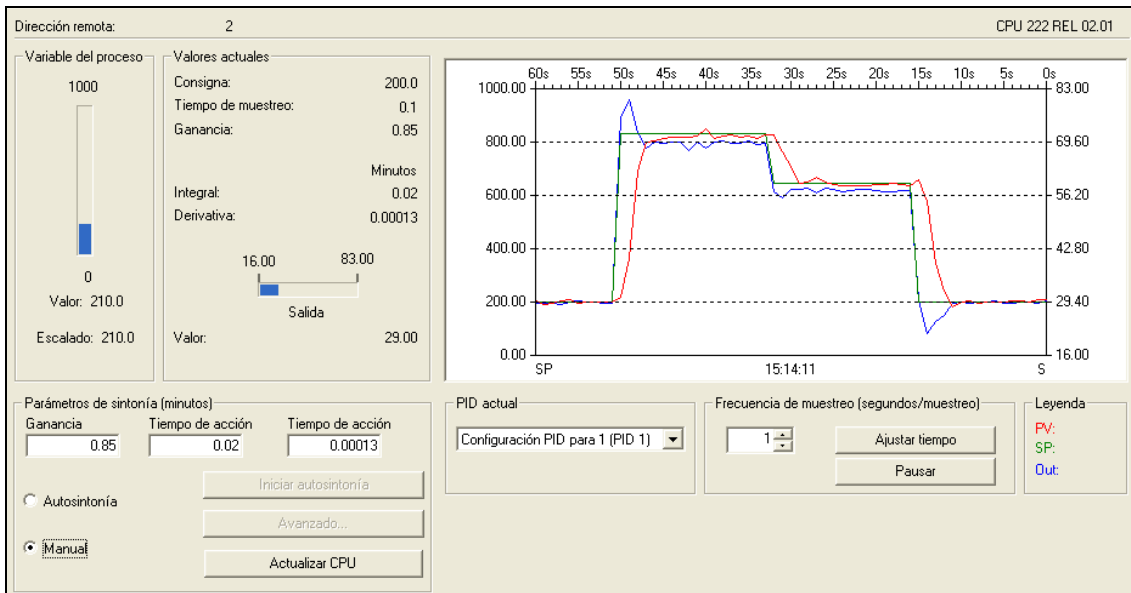
Cada una de las graficas anterior muestra como la señal de retroalimentación del LVDT (señal roja) sigue al set point de posición (señal verde), la señal azul es la salida de control a la válvula. Para los cambios de velocidad de rotación el cilindro inclina la placa para que aumente el caudal de aceite y la velocidad aumente, a cambios de carga con el set point de velocidad prefijado el lazo de control debe responder a las perturbaciones y nuevamente establecer la velocidad del volante al valor deseado.

Figura 93. a), b), c) y d). Respuestas del PID1 lazo de control de velocidad. Con lo valores de parámetros de sintonía óptimos.

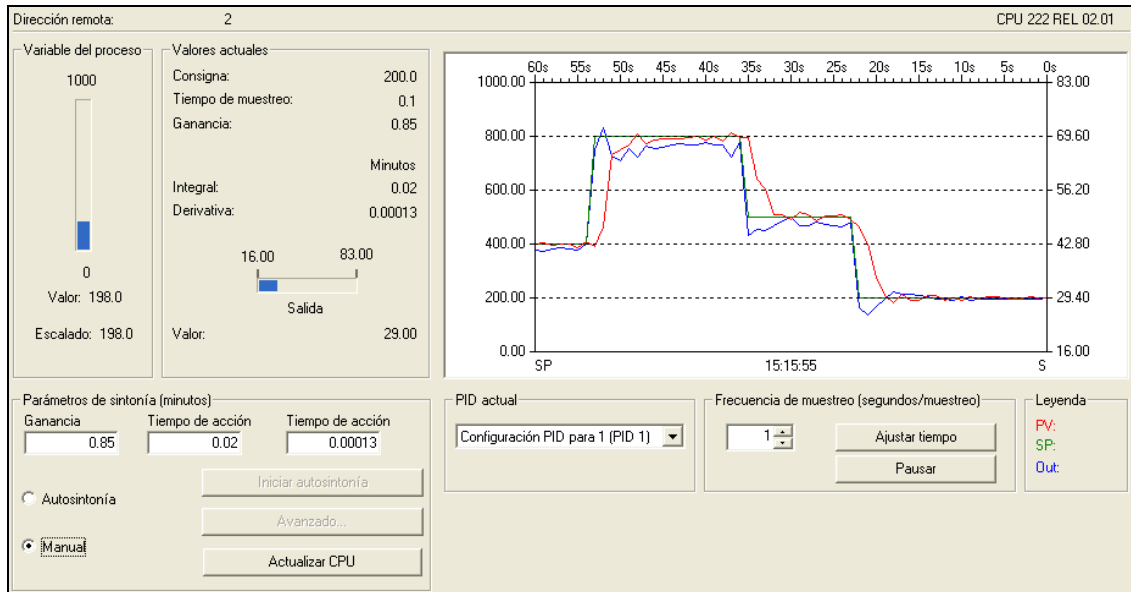
Fuente: El autor



a)



b)



c)

En cada una de las graficas anteriores donde se observa la respuesta del lazo de control de velocidad PID1, la señal de respuesta o retroalimentación de velocidad entregada por el encoder (señal roja) sigue a el valor prefijado de velocidad en el set point (señal verde). A diferentes señales escalón variando la velocidad en ascenso y también en descenso se observa que la respuesta es casi inmediata y que el tiempo de estabilización es de aproximadamente 5 segundos para cualquier cambio en el set point.

5.4.5 Visualizador de textos TD 100C.

Para la comunicación entre el PLC y la persona que lo opera se dispone del display de textos TD 100 de la misma casa matriz de la CPU. Para la aplicación específica de control de velocidad, se desea que mediante el visualizador de textos se pueda ingresar el valor deseado de velocidad (*Set Point*), pero que a su vez se permita leer el valor actual de velocidad medido por el transductor. La función del visualizador de textos permite visualizar una jerarquía de menús

personalizados y pantallas para que el operador pueda interactuar con la aplicación o el proceso. Por lo tanto el software permite una creación particular para cada aplicación. Mediante el asistente de visualizadores de texto que se encuentra presente en el software de programación STEP 7 MicroWin, permite una configuración que se acomode a las necesidades del proceso, como lo son: mostrar datos, cambiar datos, mostrar alarmas, cambiar modo de operación.

Figura 94. Visualizador de textos TD 100C

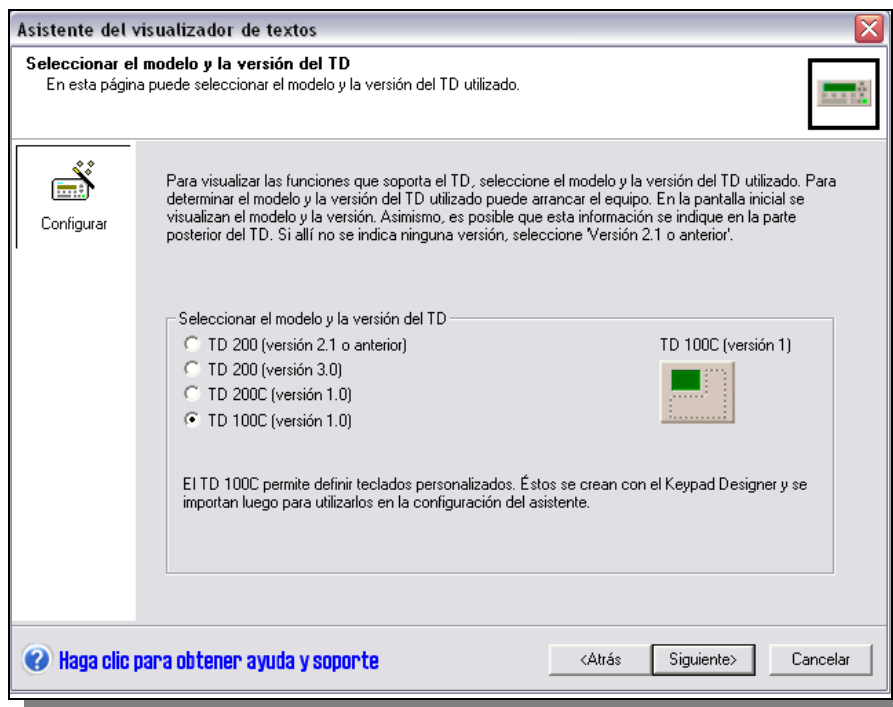
Fuente: Siemens



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, 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 95. Programación del visualizador de texto TD 100C

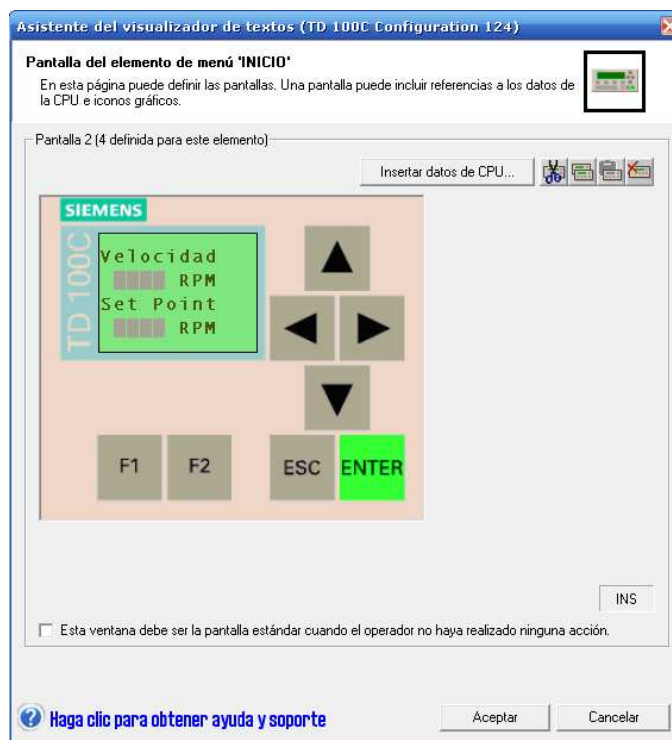
Fuente: Siemens



El TD 100C soporta un menú personalizado con varias pantallas que pueden utilizarse para visualizar instrucciones del operador. El menú personalizado esta 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. Para el la operación de la transmisión hidrostática se dispuso de tres pantallas. Las dos primeras tienen la presentación del proyecto y los autores del mismo. La tercera pantalla de menú personalizado es la que el operario emplea para manipular la maquina ya que en la primera línea presenta la velocidad de rotación actual del volante de transmisión en revoluciones por minuto, y la segunda línea se habilita para que se ingrese el valor de velocidad deseado o set point.

Figura 96. Asistente del visualizador de texto TD 100C

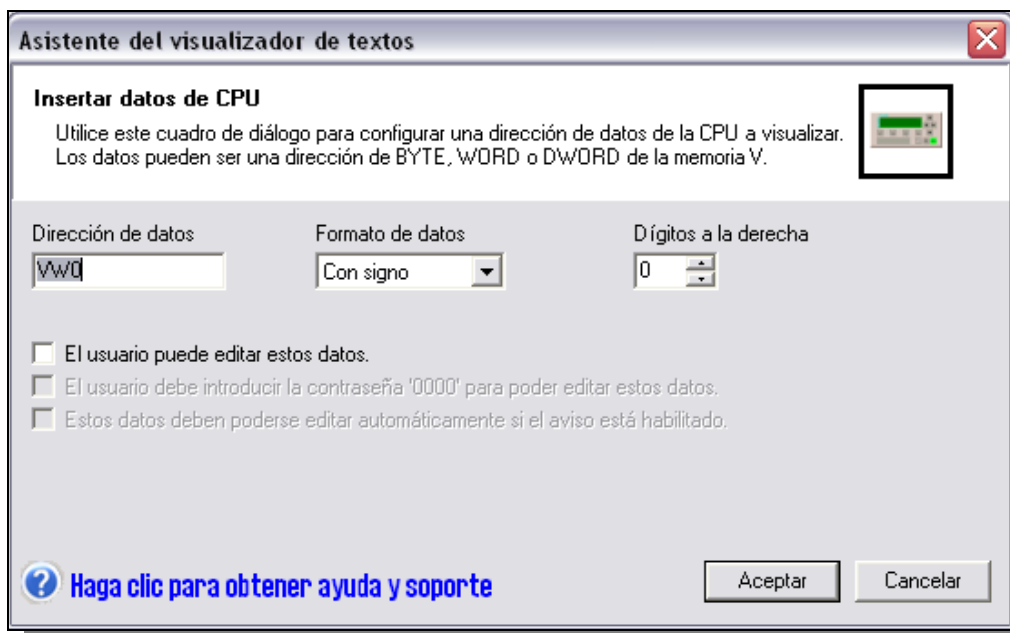
Fuente: Siemens



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 cambian 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 este programando la pantalla de modo que se permite visualizar el valor que se desee, para la aplicación se desean visualizar dos valores. Primero el valor deseado de velocidad (*Set Point*), además el valor de velocidad actual o real de la transmisión hidrostática, que se medido por el sensor inductivo. Esta opción se realiza mediante el botón “insertar datos de CPU”.

Figura 97. Visualización de datos de la memoria en el TD 100C

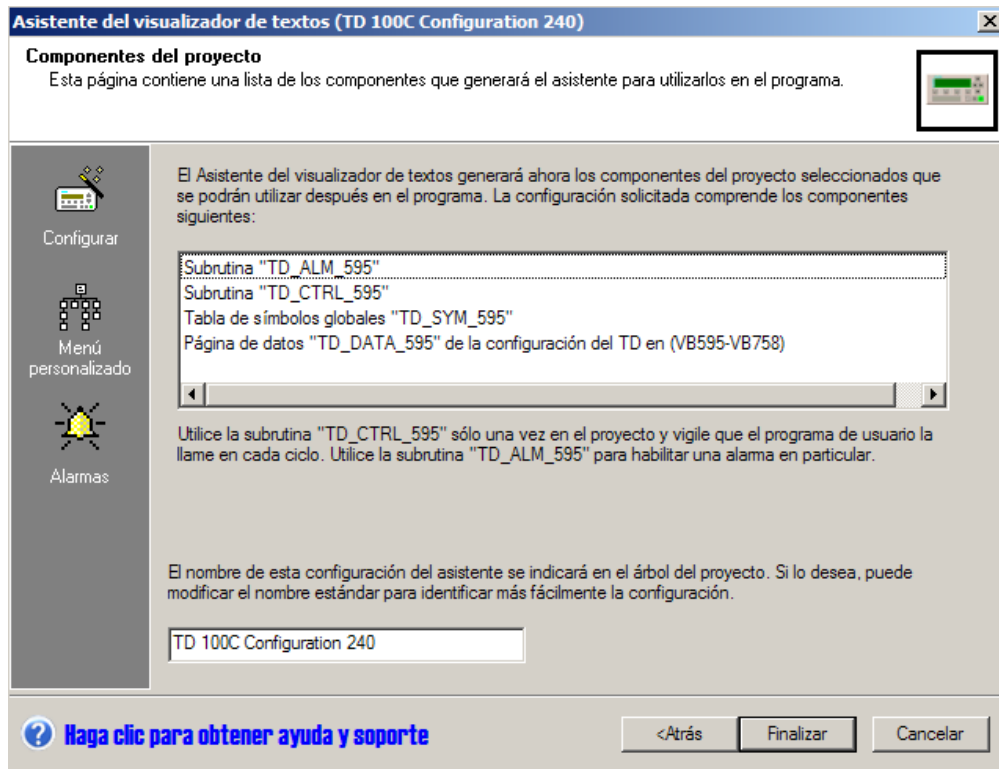
Fuente: Siemens



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 se desea agregar símbolo al valor y el número de dígitos a visualizar.

Figura 98. Visualización de datos de la memoria en el TD 100C

Fuente: Siemens



6. DESARROLLO DE LA PRACTICA DE LABORATORIO DE CONTROL AUTOMATICO DE LA TRANSMISION HIDROSTATICA.

6.1 INTRODUCCION.

Con la implementación de controladores digitales para la realización de las prácticas de laboratorio de la asignatura control automático se logra enriquecer los conocimientos de los estudiantes gracias a la comprobación y puesta en práctica en el laboratorio de la teoría de control adquirida en el salón de clase. Se permite la interacción al estudiante con la tendencia de automatización de la industria y la innovación en el control automático servo asistido, además se evidencia la integración de otras asignaturas como los son autómatas programables y automatización industrial; por lo tanto, para la exitosa culminación de este proyecto fue necesario una asociación de todos estos elementos y ser plasmados en el banco de la transmisión hidrostática.

Los estudiantes que realizan la práctica de control automático de la transmisión a velocidad constante, se encontrarán con un banco construido hace cerca de 20 años gracias también al desarrollo de un proyecto de grado. Los elementos constituyentes principalmente poseen edad similar, gracias al mantenimiento realizado, la implementación del circuito de carga, y la adquisición y ejecución del programa de control, se puede obtener aun mayor beneficio de este banco de laboratorio e identificar las diferencias entre el control clásico que se realizaba mediante las tarjetas análogas construidas por estudiantes, y control digital implementado en este proyecto.

6.2 OBJETIVOS.

- Identificar cada uno de los elementos que integran la transmisión hidrostática.
- Identificar cada uno de los elementos que conforman el circuito de carga, su función y su modo de operación.
- Identificar los lazos de control presentes en banco de la transmisión, y a su vez identificar y describir las funciones de los sensores de retroalimentación, los actuadores, preactuadores, y elementos de perturbación al lazo de control.
- Determinar el porcentaje de repetibilidad en la respuesta a la orden del *set point*, es decir, determinar la precisión.
- Determinar el porcentaje de exactitud mediante una comparación entre la entrada y la salida.
- Observar las diferencias que se presentan cuando se realiza el control de la transmisión mediante las tarjetas análogas y en control digital instalado.
- Mediante la variación de los parámetros del lazo de control de velocidad PID1 y del lazo de control de posición, los cuales son ganancia, tiempos de acción integral y tiempos de acción derivativa. Determinar como afecta la variación de cada una de estas constantes a la respuesta deseada.

6.3 REALIZACION DE LA PRÁCTICA (PASOS A SEGUIR).

Para la realización de la práctica de laboratorio y poder cumplir con los objetivos planteados, se presentan a continuación una serie de pasos para facilitar la comprensión y la correcta manipulación del banco de la transmisión hidrostática

6.3.1 Encendido de la Transmisión.

En el encendido de la transmisión se realizara de la misma manera en que se estaba llevando a cabo antes de la implementación del presente proyecto, ya que

dentro de las funciones que están desarrolladas en el programa de control no está incluido el encendido de la máquina, como proceso adicional de formación, se debe proponer incluir estas funciones y reformar el programa de control del PLC en un futuro. Por lo tanto para la realización de la práctica se debe encender todo el circuito hidráulico, comenzado por el motor de las bombas de precarga, válvula de presión a las bombas, y finalmente el motor eléctrico de la bomba variable.

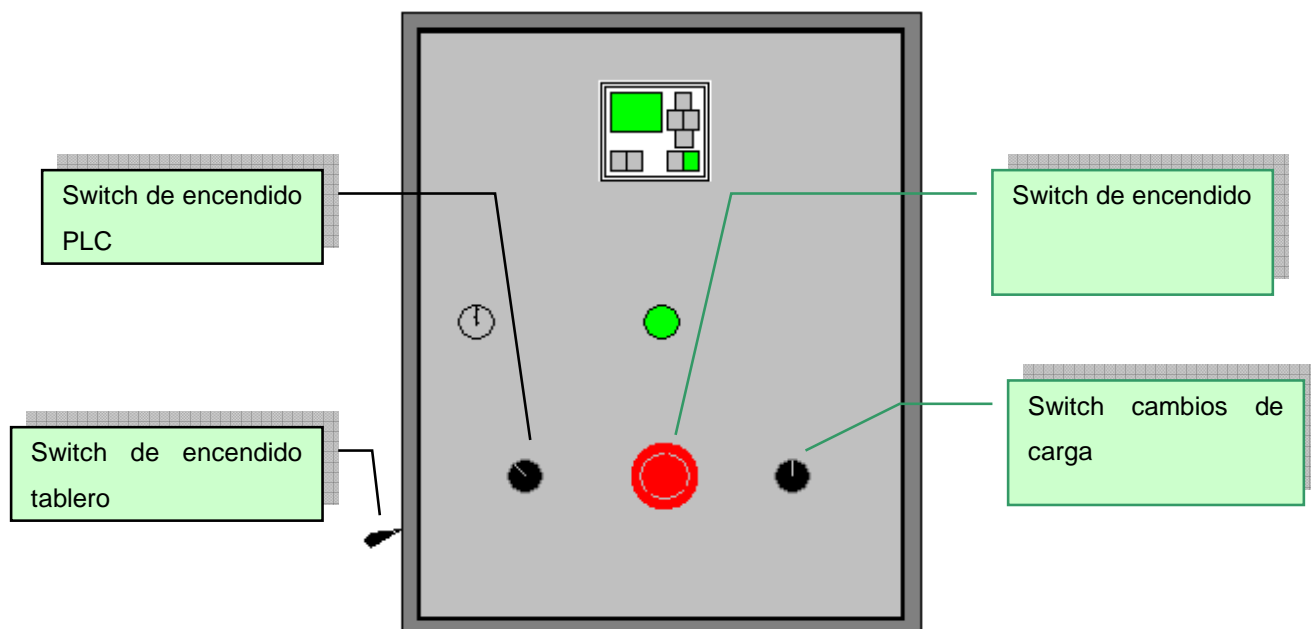
6.3.2 Manipulación del PLC.

Para la manipulación del PLC con anterioridad se deben hacer las conexiones correspondientes, la servoválvula se conecta mediante el conector de tres pines dispuesto en la parte trasera del armario de control y del LVDT cuyo conector se encuentra en la cara izquierda del cofre de control. Después de haberse encendido correctamente la transmisión teniendo la precaución que el motor eléctrico se enciende solamente luego de que se tiene la comunicación con el PLC y el set point está especificado a 0 (cero) RPM, y luego de realizarse las debidas conexiones, el procedimiento a seguir es el encendido del tablero de control el cual es el siguiente:

- Poner en posición “on” el breaker que se encuentra al interior del armario de control y poner en contacto el porta fusible que se encuentra junto al breaker.
- Poner en posición “on” el switch que se encuentra en la cara izquierda del armario de control junto a la toma del LVDT.
- Poner en posición de la derecha el switch de encendido del PLC, situado en la parte inferior izquierda de la cara frontal del tablero de control.

Figura 99. Disposición del tablero de control

Fuente: El autor



Después de realizados estos pasos el PLC se encuentra energizado, el leed verde debe estar encendido, de modo que ahora se opera a través del visualizador de textos TD 100C, y los cambios de velocidad se realizan a través del teclado de este.

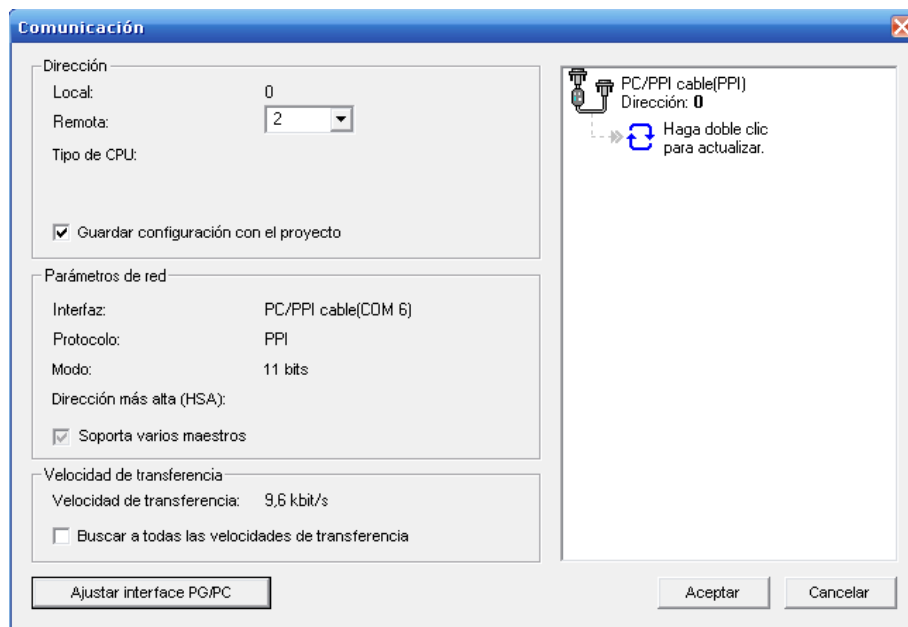
Cuando se requieran hacer modificaciones al programa de control, o cuando se deseen variar los valores establecidos de los lazos de control PID y hacer un seguimiento del sistema mediante el panel de sintonía PID, se debe emplear un computador. Los pasos a seguir son:

En primera instancia se debe realizar la comunicación para esto se utiliza el cable PC/PPI, conecte cada extremo según corresponda a la CPU y el otro al puerto serial del computador a emplear. Seguido a esto inicie el programa STEP 7-MicroWin.

Para establecer la comunicación entre el computador y la CPU luego de estar conectado el cable, debidamente encendida la CPU y el software instalado y abierto, se debe abrir la ventana de comunicación haciendo clic en el botón que se encuentra ubicado en la parte izquierda de la ventana.

Figura 100. Configuración comunicación computador CPU.

Fuente: El autor

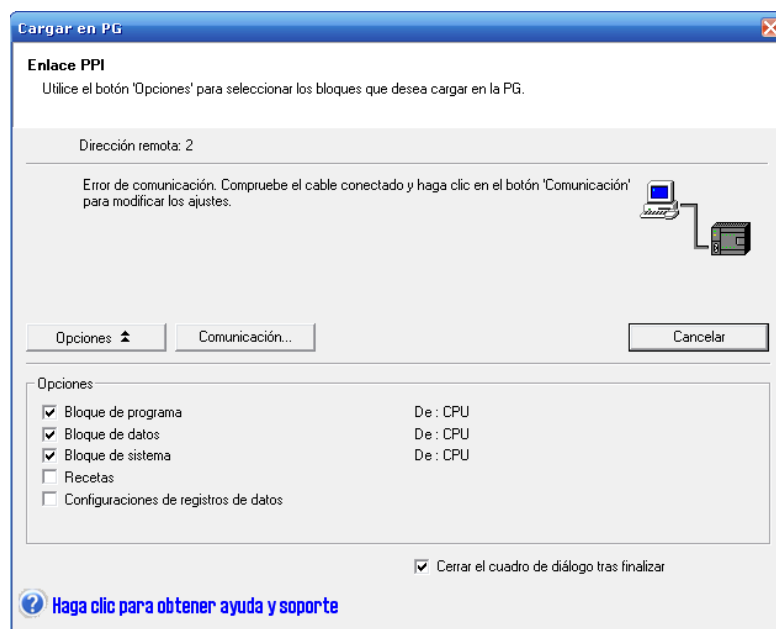


Luego de que se tiene la ventana de comunicación en el botón de ajuste de interfase PG/PC se cambian las propiedades del cable de comunicación las cuales son dirección, velocidad de transferencia, conexión local entre otras. El paso a seguir es actualizar la comunicación, se debe dar doble clic donde lo indica la ventana, seguido a esto se establece la comunicación y se lee el tipo de CPU instalada y finalmente se da aceptar.

En este momento ya se encuentran en comunicación el computador y la CPU, el paso siguiente es descargar el programa que se encuentra almacenado en la memoria de la CPU para poder realizar los cambios sobre el o simplemente para realizar un seguimiento y observación de los lazos de control PID. En la parte superior en la barra de herramientas se encuentra el icono de cargar en PG, el cual abre la ventana de cargar en PG. Para cargar en la PG, la comunicación de la CPU deberá funcionar correctamente. Se debe verificar que el hardware de comunicación y el cable de conexión a la CPU funcionen bien. Se seleccionan los bloques que desea cargar (bloque de programa, bloque de datos o bloque de sistema). Los componentes del programa seleccionados se copian de la CPU en el proyecto abierto actualmente. Entonces será posible guardar el programa cargado pero esta vez en la memoria del computador.

Figura 101. Carga del programa de la CPU al Computador.

Fuente: El autor



En la ventana de cargar en PG se da clic sobre el botón de cargar, este procedimiento toma unos segundos mientras el programa es pasado al computador. Seguido a esto se tiene como nuevo proyecto el programa de control para verificar o modificar los parámetros. Para realizar la tarea de seguimiento a los lazos de control PID, se debe abrir el panel de sintonía PID, mediante la ruta herramientas, panel de sintonía. En seguida en el grafico se comienzan a visualizar las trazas de cada una de las señales, para habilitar el cambio de los valores de los parámetros de los lazos de control se debe se marcar la opción de “manual”. A cada variación de los datos se debe dar clic en el botón de actualizar CPU de modo que sean reconocidos estos nuevos parámetros de lazo.

Luego de finalizada la tarea a de realizados los cambios correspondientes se debe guardar una copia en el computador y seguido a este se carga el nuevo programa en la CPU, esta vez haciendo clic en el botón de carga en CPU para que el nuevo programa sea almacenado en la memoria de la CPU.

6.3.3 Cambios de velocidad y set point.

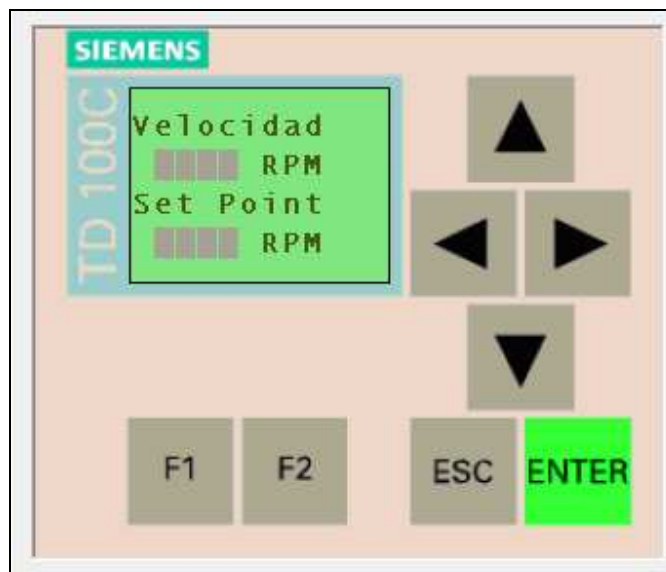
Después de que el sistema es energizado y puesto en marcha la transmisión es controlada por el programa establecido. La pantalla que mostrara el visualizador de textos permitirá al usuario ingresar el valor deseado de velocidad (*set point*) comprendido entre 0 – 600 rpms. Oprimiendo la tecla enter se activa el cursor que puede ser desplazado horizontalmente mediante las flechas izquierda y derecha activando cada uno de los dígitos según corresponda donde se encuentre ubicado el cursor. Con las flechas arriba y abajo se escoge el dígito según se desee entre valores de 0 a 9, cuando ya se tenga establecido el valor desea de velocidad al cual se desea poner a rotar la transmisión hidrostática se presiona nuevamente la tecla “enter”, de esta manera la consigna, valor deseado o set point ingresa al programa, donde se realizan las acciones de control correspondientes enviando la

señal de control a la servo válvula para que desplace al cilindro, y este incline a la placa de la bomba variable a la posición como corresponda el valor de velocidad establecido.

La velocidad a la que gira la transmisión hidrostática se lee mediante el encoder incremental, y es mostrada en la parte baja de la pantalla, este dato no puede ser modificado. Luego de que se alcanza el estado estable los valores de set point y velocidad deben de ser muy similares. Mediante la relación entre estos dos valores podemos determinar el error en estado estable. Las teclas "F1", "F2", no poseen ninguna función establecida.

Figura 102. Ingreso de valores de velocidad

Fuente: El autor



6.3.4 Cambios de Carga.

El circuito de carga instalado a la transmisión se implemento con el fin de someter a la transmisión a cargas resistivas constantes como elementos de perturbación al lazo de control. Para poder tener un correcto funcionamiento debemos conocer el torque al cual estamos sometiendo la transmisión. Los cambios de carga son realizados desde el tablero de control como se muestra en la figura, para el encendido de la transmisión debemos tener en cuenta que el circuito de carga este en venteo, esto se logra posicionando el switch de carga (de tres posiciones) en la posición central. Para las otras dos posiciones se obtienen presión máxima y presión media

Figura 103. Ingreso de valores de carga.

Fuente: El autor

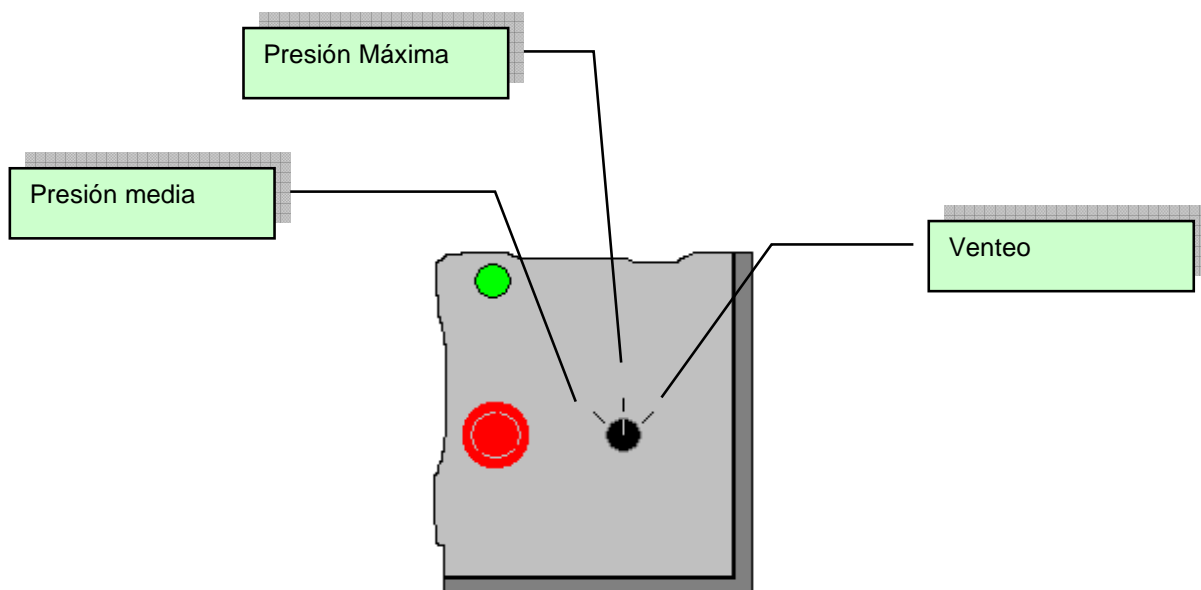
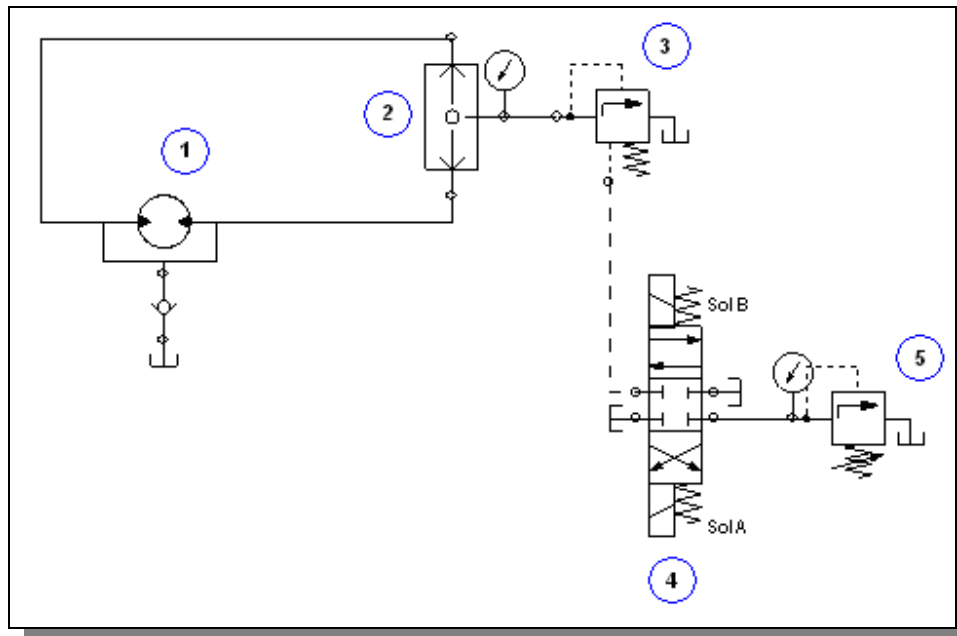


Figura 104. Circuito de carga

Fuente: El autor



El circuito hidráulico de carga esta compuesto por:

- Motor hidráulico (1).
- Válvula direccional selectiva (2).
- Válvula de seguridad pilotada (3).
- Válvula direccional de bajo solenoide (4).
- Válvula de seguridad de acción directa (5).

Por medio de las válvulas de seguridad y direccional se obtienen tres niveles de presión, un venteo, nivel bajo y alto, como se describió anteriormente en el capítulo 2. Por medio de los manómetros se registra el nivel de presión al cual se encuentra sometida la transmisión, según el nivel de presión se puede determinar el torque resistivo al cual se esta sometiendo la transmisión, ya especificando el valor o taraje de cada una las válvulas de seguridad y empleando las curvas de

funcionamiento del motor o las ecuaciones se puede determinar el valor del torque resistivo, para establecer un rango de valor de torque para las pruebas aceptable, de modo que el sistema pueda realizar la labor de control correctamente sin que ninguno de sus componentes se vean afectados por una incorrecta manipulación de los equipos.

Por lo tanto para operar el circuito de carga, se debe tener control sobre los solenoides independientemente de la velocidad de rotación de la transmisión, se tiene que prever que el arranque se realice con la posición de venteo de la válvula direccional, posición central en el switch de tres posiciones, de modo que se eviten sobre - esfuerzos en el arranque.

$$T_o = \frac{C_m \times \Delta P}{2\pi} = \frac{J \times \Delta \omega}{\Delta t} \qquad T_r = T_o * \eta_{mec} = \frac{C_m \times \Delta P}{2\pi} \times \eta_{mec}$$

Para el control de los solenoides se realizo el cableado eléctrico necesario utilizando una muletilla de tres posiciones, de modo que cuando se encuentra ubicada en el centro la perilla ninguno de los dos solenoides se encuentra energizado estando la válvula en su posición central o de bloqueo absoluto. Por el contrario cuando la perilla de la muletilla se encuentra a la derecha o la izquierda el solenoide A o el solenoide B se encontrará energizado uno solo a la vez, sometiendo a trabajar a la transmisión a un valor bajo de presión o venteo según la ubicación de la perilla. El circuito de carga es independiente de programa de control desarrollado, por lo tanto afecta al lazo de control como una perturbación.

Cuando el control no se realice mediante el PLC, igual el circuito de carga podrá ser operado desde el tablero de control. Entonces para la realización de la practica se deben establecer valores de taraje de las válvulas de presión, determinar la velocidad de rotación de la transmisión sin carga, someter a carga constante la

transmisión y determinar nuevamente la velocidad después de rectificado el error inducido por la carga resistiva.

Para apagar la transmisión y el sistema de control se debe determinar como set point = 0, seguido a esto se apaga el motor eléctrico de la bomba variable, y los demás equipos que conforman la transmisión hidrostática, finalmente se apaga el PLC llevando el switch izquierdo a la posición contraria, y finalmente se pone en posición off los switches de energizado del tablero, el breaker y el fusible, se desconecta la servoválvula y el LVDT. Dejando el sistema totalmente seguro para ser empleado en una próxima ocasión.

7. PRUEBAS

La prueba que se realiza al sistema consiste en determinar el porcentaje de error, la exactitud y precisión del sistema de control empleado para sostener la velocidad a valores constantes, aun cuando estén presentes perturbaciones al lazo de control, provenientes del circuito de carga. En primera instancia para la realización de la prueba se deben determinar el valor del taraje de las válvulas de seguridad tanto la pilotada como la de acción directa, el valor máximo del taraje no puede sobrepasar los 500 psi. Con el valor de taraje de presión de las válvulas se determina el torque resistivo al cual va a estar sometida la transmisión hidrostática, empleando las curvas de funcionamiento del motor (Nichols serie 050) del circuito de carga suministradas por el fabricante las cuales se encuentran en los anexos del presente trabajo, y las fórmulas, se determina la eficiencia mecánica, volumétrica y eficiencia total

$$C_m = 3.6 \text{ in}^3/\text{rev}$$

$$\text{Torque @ 500 psi @ 2 gpm} = 215 \text{ lb-in}$$

$$Tr = T_o * \eta_{mec} = \frac{C_m \times \Delta P}{2\pi} \times \eta_{mec}$$

$$Tr = 215 \text{ lb-in} * \eta_{mec} = \frac{3.6 \text{ in}^3 / \text{rev} \times 500 \text{ psi}}{2\pi} \times \eta_{mec}$$

$$\eta_{mec} = 0.7504$$

$$\eta_{mec} = 75.04\%$$

$$\text{Potencia @ 500 psi @ 2 gmp} = 0.37 \text{ hp}$$

$$HP = \frac{Q_m \times \Delta P}{1714} \times \eta_T$$

$$HP = 0.37 \text{ hp} = \frac{2 \text{ gpm} \times 500 \text{ psi}}{1714} \times \eta_T$$

$$HP = \eta_T = 0.6341$$

$$\eta_T = 63.41\%$$

Los valores de torque a los cuales se somete la transmisión hidrostática según el taraje de las válvulas de seguridad del circuito de carga y empleando la información técnica suministrada por el fabricante se presenta en la siguiente tabla. Se tiene que tener en cuenta que el torque al cual se somete la transmisión no exceda la capacidad de torque del motor hidráulico de la transmisión hidrostática

| ΔP (Psi) | Torque (lb-in) |
|------------------|----------------|
| 50 | 18.17 |
| 75 | 27.25 |
| 100 | 36.33 |
| 125 | 45.41 |
| 150 | 54.50 |
| 175 | 63.58 |
| 200 | 72.66 |
| 225 | 81.75 |
| 250 | 90.83 |
| 275 | 99.91 |
| 300 | 108.99 |
| 325 | 118.08 |
| 350 | 127.16 |
| 375 | 136.24 |
| 400 | 145.33 |
| 425 | 154.41 |
| 450 | 163.49 |
| 475 | 172.57 |
| 500 | 181.66 |
| 525 | 190.74 |
| 550 | 199.82 |
| 575 | 208.90 |
| 600 | 217.99 |

Para determinar la potencia disipada por el motor hidráulico del circuito de resistencia se debe emplear la formula del calculo de potencia, el factor de eficiencia total del motor y la velocidad a la que esta girando la transmisión hidrostática

$$HP = \frac{Q_m \times \Delta P}{1714} \times \eta_T$$

$$HP = \frac{\left(\frac{C_m \times N_m}{\eta_{vm}} \right) \times \Delta P}{1714} \times \eta_m \times \eta_{vm}$$

$$HP = \frac{C_m \times N_m \times \Delta P}{1714} \times \eta_m$$

La realización de las pruebas a la transmisión para la determinación del cumplimiento de los objetivos propuestos para el presente proyecto consisten en asignar un valor de velocidad o set point al programa de control de modo que la transmisión hidrostática alcance este valor y se mantenga constante. Después de alcanzado el estado estable y previamente estipulados los valores de taraje de las dos válvulas de seguridad, la transmisión ya girando a la velocidad deseada entran los cambios de carga, a través del switch. Se registra el valor de la velocidad antes del cambio de carga y luego del sometimiento a carga, esto se realiza a diferentes valores de set point y se determina el porcentaje de error.

- Pruebas de respuesta del sistema sin carga. Se daban valores de comando para la transmisión totalmente detenida un valor de set point y nuevamente a velocidad cero, se registraban los tiempos que tomaba el sistema para estabilizarse una vez dada la señal de comando.

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 0 – 300 rpm | 6,5 |
| 0 – 400 rpm | 5,68 |
| 0 – 500 rpm | 5,7 |
| 300 – 0 rpm | 3,01 |
| 400 – 0 rpm | 3,89 |
| 500 – 0 rpm | 4,32 |

Figura 105. Variación del set point entre 0 – 300 rpm – 0.

Fuente: El autor

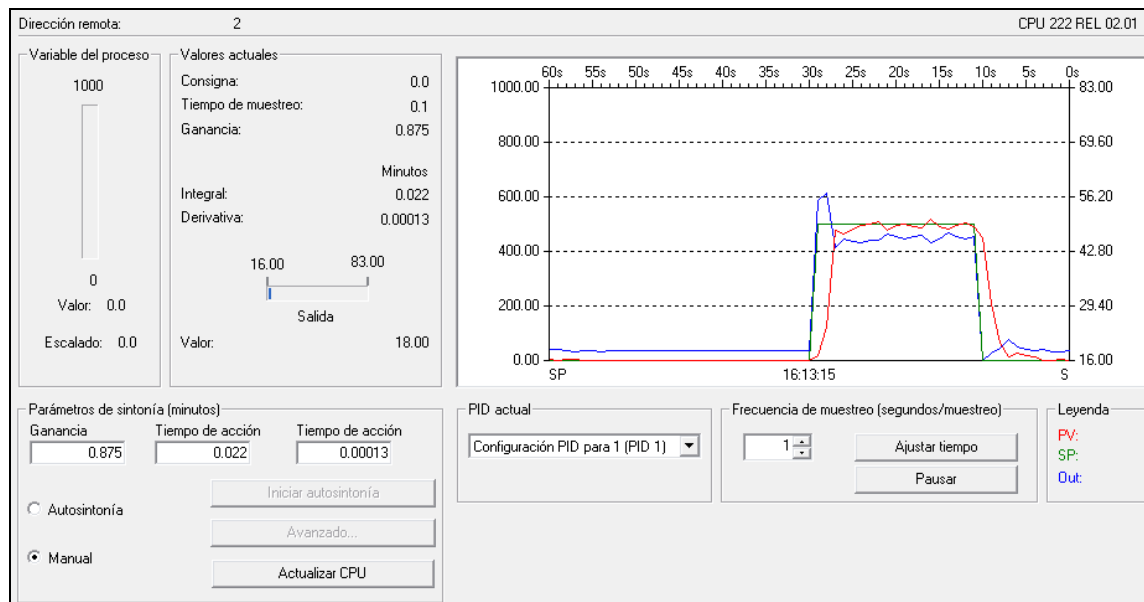


Figura 106. Variación del set point entre 0 – 400 rpm – 0.

Fuente: El autor

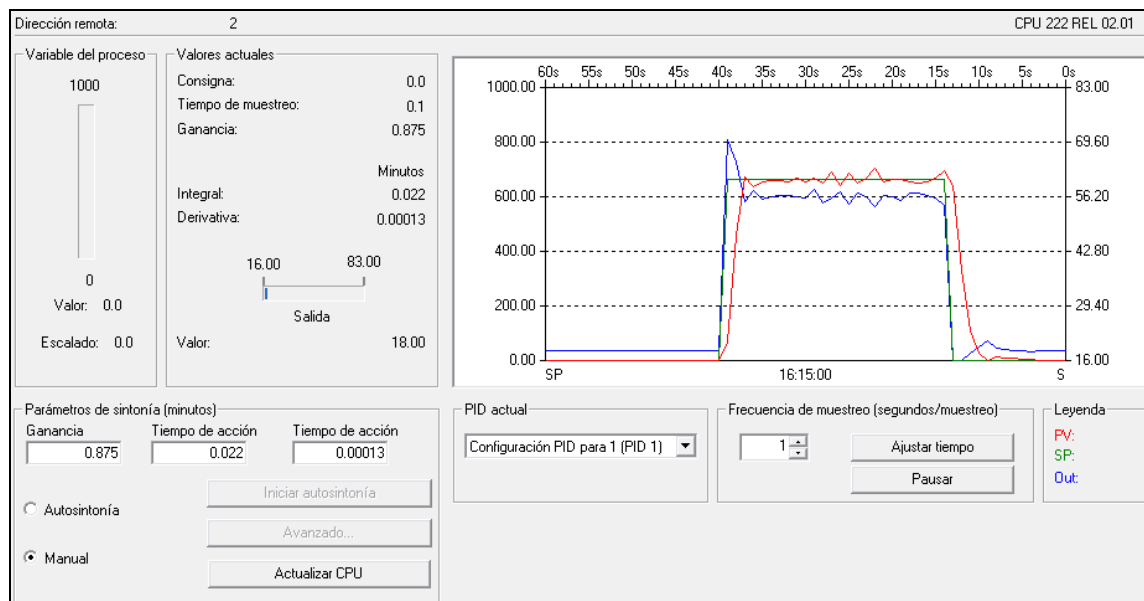
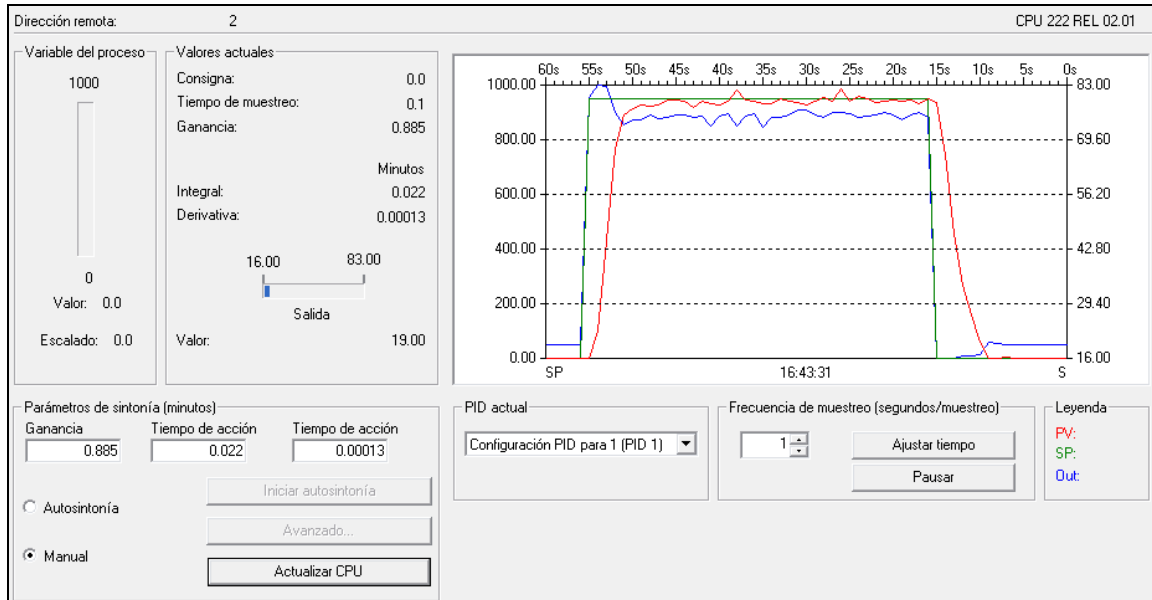


Figura 107. Variación del set point entre 0 – 580 rpm – 0.

Fuente: El autor



En la grafica 107 se observa que el tiempo que toma el sistema para estabilizarse es de aproximadamente 5 segundos para ambos cambios de consigna. También se observa una señal estable en la lectura de la velocidad del encoder. Donde no se presentan sobre picos considerables. Para las demas curvas observamos que los tiempos de estabilización son aproximadamente iguales entre si tanto para valores ascendentes como para valores en descenso. Para cuando se alcanza el estado estable en los tres casos el porcentaje de error no supera el 5% tal y como se propuso entre los objetivos propuestos para el presente proyecto. Estas graficas se obtuvieron trabajando la transmisión sin someterla a carga resistiva.

- Pruebas con variaciones de carga máxima de 300 Psi y media de 200 Psi.

En esta prueba la transmisión esta girando a un valor establecido de set point, por medio del circuito de carga se somete la transmisión a valores de torque resistivos de modo que son perturbaciones al lazo de control. El programa de control detecta estas variaciones de velocidad y corrige el error para mantener la transmisión a la velocidad constante prefijada.

| | |
|----------------|---|
| Venteo | Carga igual a 0 PSI |
| Cmax | Carga Máxima = 300 PSI |
| Cmed | Carga media = 200 PSI |
| Vmax | Velocidad Máxima (rpm) |
| Vmin | Velocidad Mínima (rpm) |
| T | Tiempo de estabilización (segundos) |
| % error | Porcentaje de Error de la Velocidad del sistema |
| Vinm | Velocidad inmediata al cambio de carga (rpm) |

Set point 300 RPM.

| Set Point 300 rpm | Vinm (rpm) | Vmax (rpm) | Vmin (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------|------------|------------|------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 301 | 297 | No aplica | 1% |
| Venteo – Cmax | 282 | 302 | 298 | 2,1 | 1% |
| Cmax – Venteo | 315 | 301 | 298 | 2,6 | 1% |
| Venteo – Cmed | 290 | 300 | 298 | 2,7 | 1% |
| Cmed – Venteo | 305 | 301 | 298 | 2,3 | 1% |
| Cmed – Cmax | 284 | 302 | 298 | 2,9 | 1% |
| Cmax – Cmed | 307 | 300 | 298 | 2,4 | 1% |

Set Point 400 RPM

| Set Point 400 rpm | V _{inm} (rpm) | V _{max} (rpm) | V _{min} (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 406 | 398 | No aplica | 3% |
| Venteo – C _{max} | 390 | 403 | 399 | 2,9 | 1% |
| C _{max} – Venteo | 413 | 406 | 399 | 3,5 | 2% |
| Venteo – C _{med} | 397 | 405 | 399 | 2,4 | 2% |
| C _{med} – Venteo | 409 | 405 | 400 | 2,6 | 2% |
| C _{med} – C _{max} | 394 | 403 | 399 | 3,05 | 1% |
| C _{max} – C _{med} | 411 | 405 | 399 | 2,86 | 2% |

Set Point 500 RPM

| Set Point 500 rpm | V _{inm} (rpm) | V _{max} (rpm) | V _{min} (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 508 | 498 | No aplica | 3% |
| Venteo – C _{max} | 489 | 506 | 499 | 4,6 | 2% |
| C _{max} – Venteo | 520 | 505 | 500 | 4,3 | 2% |
| Venteo – C _{med} | 495 | 505 | 499 | 4,2 | 2% |
| C _{med} – Venteo | 509 | 506 | 500 | 4,01 | 2% |
| C _{med} – C _{max} | 492 | 504 | 498 | 3,9 | 2% |
| C _{max} – C _{med} | 512 | 503 | 500 | 4,16 | 1% |

- Pruebas con variaciones de carga máxima de 500 Psi y media de 300 Psi.

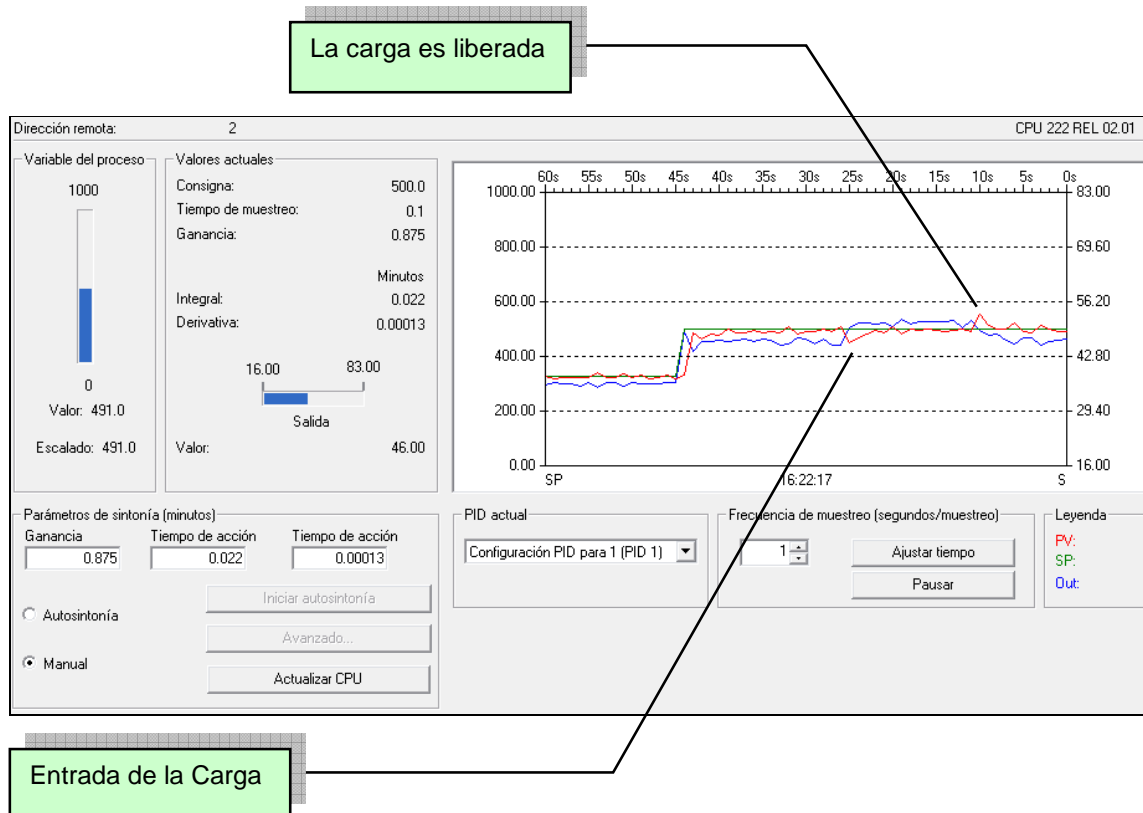
| | |
|------------------------|---|
| Venteo | Carga igual a 0 PSI |
| C_{max} | Carga Máxima = 500 PSI |
| C_{med} | Carga media = 300 PSI |
| V_{max} | Velocidad Máxima (rpm) |
| V_{min} | Velocidad Mínima (rpm) |
| T | Tiempo de estabilización (segundos) |
| % error | Porcentaje de Error de la Velocidad del sistema |
| V_{inm} | Velocidad inmediata al cambio de carga (rpm) |

Set point 300 RPM.

| Set Point 300 rpm | Vinm (rpm) | Vmax (rpm) | Vmin (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------|------------|------------|------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 302 | 297 | No aplica | 2% |
| Venteo – Cmax | 270 | 305 | 298 | 4,4 | 2% |
| Cmax – Venteo | 327 | 302 | 297 | 4,8 | 2% |
| Venteo – Cmed | 287 | 302 | 297 | 5,05 | 2% |
| Cmed – Venteo | 310 | 301 | 298 | 4,07 | 1% |
| Cmed – Cmax | 285 | 305 | 298 | 4,9 | 2% |
| Cmax – Cmed | 314 | 302 | 297 | 3,8 | 2% |

Figura 108. Set point 300 RPM y carga máxima de 500 Psi.

Fuente: El autor

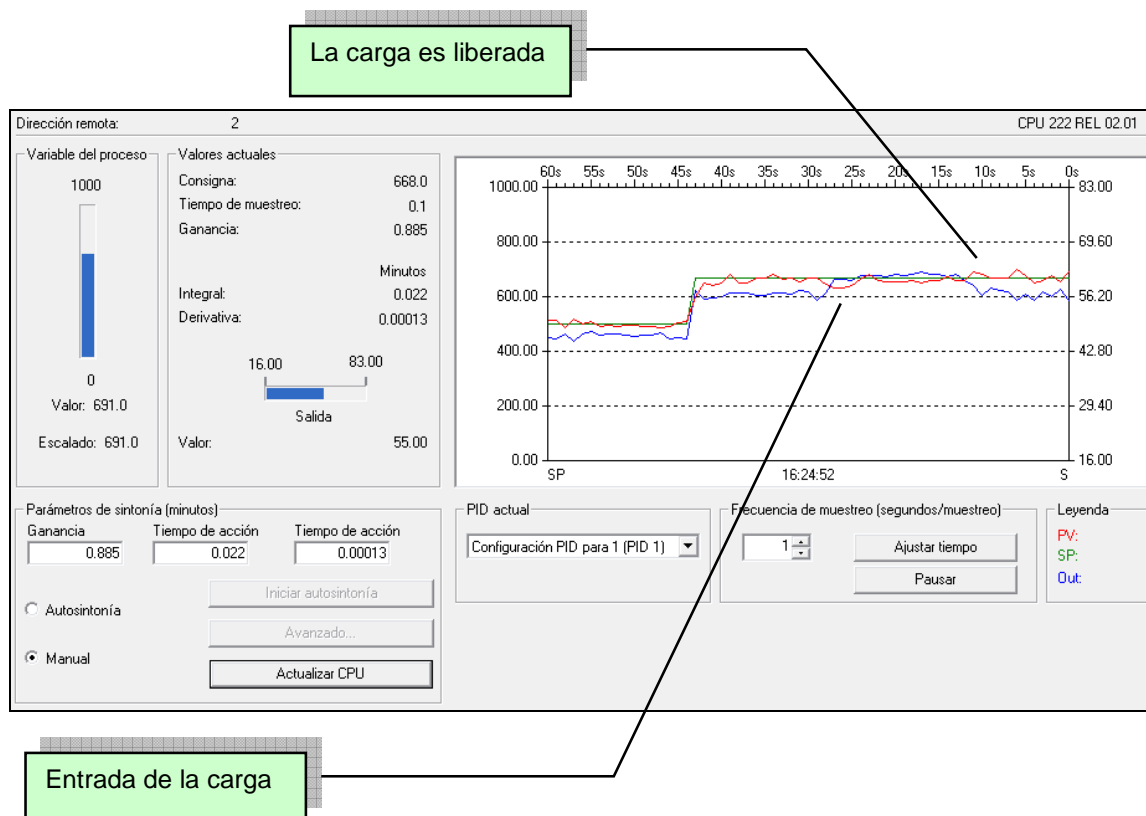


Set Point 400 RPM

| Set Point 400 rpm | Vinm (rpm) | Vmax (rpm) | Vmin (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------|------------|------------|------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 403 | 399 | No aplica | 1% |
| Venteo - Cmax | 376 | 403 | 398 | 5,64 | 2% |
| Cmax - Venteo | 431 | 403 | 398 | 6 | 2% |
| Venteo - Cmed | 382 | 403 | 399 | 3,97 | 1% |
| Cmed - Venteo | 416 | 403 | 398 | 4,73 | 2% |
| Cmed - Cmax | 386 | 403 | 397 | 4,9 | 2% |
| Cmax - Cmed | 416 | 403 | 397 | 4,8 | 2% |

Figura 109. Set point de 400 RPM y carga máxima de 500 Psi.

Fuente: El autor

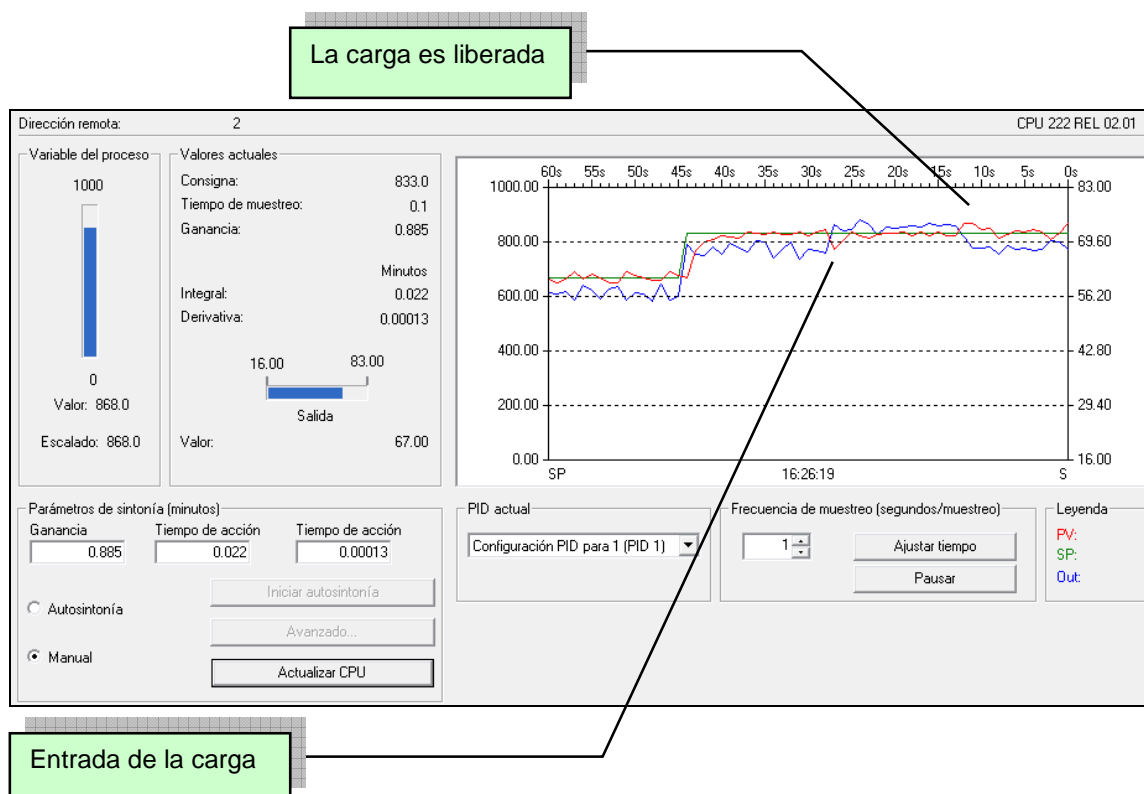


Set Point 500 RPM

| Set Point 500 rpm | Vinm (rpm) | Vmax (rpm) | Vmin (rpm) | T (S) | % error |
|-------------------|------------|------------|------------|-----------|---------|
| Venteo | No aplica | 506 | 499 | No aplica | 2% |
| Venteo - Cmax | 477 | 505 | 499 | 6,4 | 2% |
| Cmax - Venteo | 530 | 506 | 499 | 5,8 | 2% |
| Venteo - Cmed | 490 | 505 | 498 | 4,15 | 2% |
| Cmed - Venteo | 514 | 504 | 499 | 5,21 | 2% |
| Cmed - Cmax | 483 | 504 | 498 | 5,8 | 2% |
| Cmax - Cmed | 519 | 503 | 499 | 5,9 | 1% |

Figura 110. Visualización set point de 500 RPM y carga máxima de 500 Psi.

Fuente: El autor



Las graficas anterior permiten observar la respuesta del sistema cuando es sometido a los cambios de carga mediante el circuito resistivo, en las graficas los puntos señalados de entrada de carga se refiere al momento en que se da la orden por medio del switch y es activado es solenoide de manera que la transmisión hidrostática se encuentra sometida en ese instante a la carga máxima tarada, se observa que la señal de retroalimentación del encoder (señal roja) tiene una pequeña caída o en otras palabras disminución de la velocidad que es aproximadamente hasta una variación del 7% respecto al set point.

Inmediatamente el sistema detecta el error entre la señal de consigna y la retroalimentación el controlador envía una señal de corrección de modo que el error sea eliminado, de manera pues que la servo válvula quien recibe esta señal de corrección, debe desplazar al cilindro de mando de la placa de la bomba variable a la posición correspondiente para que la bomba envíe mayor cantidad de flujo de aceite. La acción de control se observa en las graficas, pues seguido de la disminución de la velocidad la señal de retroalimentación nuevamente se empalma con la línea de set point (señal verde), alcanzando nuevamente la velocidad prefijada anteriormente a costa de un mayor consumo de potencia y un mayor flujo de aceite.

En el momento en que la transmisión hidrostática es liberada de la carga, es decir se retira el torque resistivo, el volante sufre una aceleración debido a que el exceso de flujo de aceite que era requerido para vencer el torque resistivo ya no es necesario por lo tanto ahora la servo válvula debe de contraer el cilindro para que la placa de la bomba variable disminuya el flujo de aceite enviado al motor hidráulico y la velocidad nuevamente retorne al valor pre establecido con anterioridad. Los cambios de velocidad también se pueden realizar están la transmisión la transmisión sometida a carga ya sea máxima o carga media, y para valores ascendentes de velocidad o cambios en descenso de la velocidad. También los tiempos de respuesta y estabilización del sistema son aceptables.

Figura 111. Transmisión con carga máxima y cambios de velocidad en ascenso.

Fuente: El autor

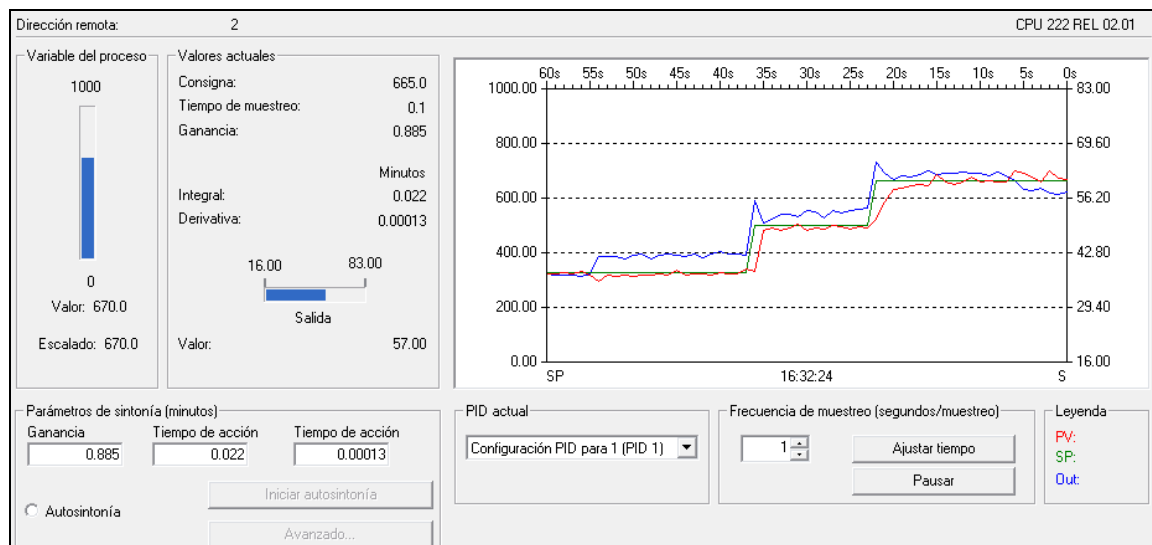
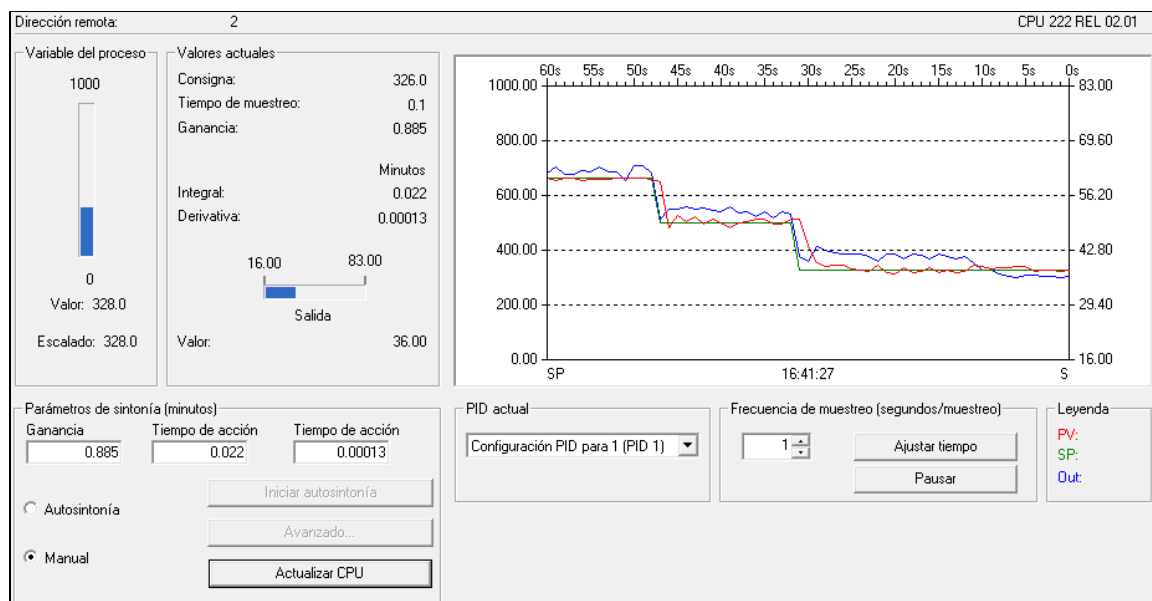


Figura 112. Transmisión con carga máxima y cambios de velocidad en descenso.

Fuente: El autor



Finalmente se tomaron los tiempos de respuesta del sistema variando el tiempo de acción integral obteniendo respuestas más rápidas en la transmisión.

Tiempo de acción integral = 0.022

Carga = 0 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 0 - 300 | 6,5 |
| 0 - 400 | 5,68 |
| 0 - 500 | 5,7 |
| 300 - 0 | 3,01 |
| 400 - 0 | 3,89 |
| 500 - 0 | 4,32 |

Tiempo de acción integral = 0.02

Carga = 0 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 0 - 300 | 4,54 |
| 0 - 400 | 3,86 |
| 0 - 500 | 3,74 |
| 300 - 0 | 2,8 |
| 400 - 0 | 3,62 |
| 500 - 0 | 3,99 |

Tiempo de acción integral = 0.022

Carga = 300 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 300 - 400 | 7,4 |
| 300 - 500 | 8,4 |
| 400 - 300 | 5,77 |
| 500 - 300 | 7,8 |

Tiempo de acción integral = 0.018

Carga = 300 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 300 - 400 | 4,4 |
| 300 - 500 | 4,95 |
| 400 - 300 | 2,8 |
| 500 - 300 | 3,72 |

Tiempo de acción integral = 0.022

Carga = 500 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 300 - 400 | 6,96 |
| 300 - 500 | 8,73 |
| 400 - 300 | 6,8 |
| 500 - 300 | 7,92 |

Tiempo de acción integral = 0.018

Carga = 500 Psi

| Cambio de velocidad | Tiempo |
|---------------------|--------|
| 300 - 400 | 5,7 |
| 300 - 500 | 6,3 |
| 400 - 300 | 4,5 |
| 500 - 300 | 5,5 |

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Por medio de la elaboración de este trabajo de grado se contribuyó al cumplimiento de la misión de la Universidad Industrial de Santander; en éste aportamos un avance tecnológico al realizar la automatización del banco de la transmisión hidrostática del laboratorio de potencia fluida de la escuela de ingeniería mecánica, implementando una herramienta didáctica para el estudio e integración de las asignaturas control automático, autómatas programables, sistemas oleoneumáticos y automatización industrial , y así mismo demostrar la interacción e importancia de los PLC's en las diversas aplicaciones industriales.
- Se logró controlar la transmisión hidrostática a velocidad constante mediante la implementación del autómata programable en el rango de operación de 0 rpm a 600 rpm, controlando la transmisión a velocidad constante a pesar de las variaciones del toque resistivo constante suministrado por el circuito de carga cuyo rango de variación esta entre 18 lb-pul y 180 lb-pul, el cual fue instalado durante el desarrollo del presente trabajo de grado y se encuentra explicado en el capítulo 2. El margen de error de la velocidad obtenido en las pruebas realizadas fue aproximadamente del 4%, independientemente del comando de velocidad deseada y del torque resistivo aplicado.
- Los algoritmos PID (posición y velocidad) fueron aplicados, de manera satisfactoria en el controlador lógico programable Siemens CPU S7-222, en el sistema de control realimentado. Utilizando el módulo de entradas/salidas analógicas, fue posible que el PLC obtuviera información del proceso (velocidad de rotación del volante y posición del cilindro accionador de la

placa de la bomba variable) y enviara la señal de control al actuador (servoválvula). Un PLC puede ser utilizado en un sistema de control de lazo cerrado siempre que cuente con señales de retroalimentación del proceso. Un aspecto interesante es, que es posible utilizar varios bloques de función PID en un mismo programa, por lo que un PLC es capaz de controlar tantas variables como canales entrada/salida posean sus módulos.

- El método de autosintonía de los bloques de función PID que posee el software MicroWin Step7, proporcionó valores cercanos a los parámetros adecuados para que el sistema funcionara satisfactoriamente. Sin embargo los valores de sintonía pueden ser muchos para una misma aplicación dependiendo de la respuesta deseada. En este caso los valores finales del PID del lazo de control de posición y velocidad, fueron aquellos en los cuales se presentó una respuesta rápida a los cambios de la señal de comando (velocidad) y carga, proporcionando una respuesta de velocidad constante con un margen de error inferior al 5%. Los valores finales de sintonía para cada PID fueron obtenidos partiendo de los valores logrados en la autosintonía, variándolos y acercándolos a la mejor respuesta observada en la gráfica del panel de sintonía donde se muestran las variables monitoreadas del proceso. Es muy importante tener en cuenta los tiempos de muestreo de cada uno de los lazos de control PID debido a que se requiere que cualquier variación presente a la salida de estos sea detectada y corregida en el menor tiempo posible; razón por la cual, se empleó el menor tiempo de muestreo disponible para la configuración de los PID el cual es de 0,1 segundos.

Cabe resaltar que los equipos escogidos, CPU gama 200 de Siemens y encoder incremental, fueron seleccionados basándonos en las necesidades y parámetros del proyecto, eligiendo así los equipos que

respondieran a dichas necesidades y a su vez se acomodaran a los recursos propios de los autores. Para mejorar la respuesta del sistema se podría emplear un PLC de mayor desempeño con mejores tiempos de muestreo y por ende de respuesta, así como también un encoder incremental con una mayor resolución.

- La manipulación del panel de sintonía del software de programación utilizado (Step7) permite al estudiante afianzar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del programa de la materia de control automático, ya que en este se puede monitorear las variables del proceso y así mismo variar los valores de sintonía del PID de los lazos de control de posición y velocidad, observando como influye cada uno de estos parámetros (ganancia, tiempo derivativo, tiempo integral) en la señal de respuesta y de esta manera mejorar la sintonía para obtener una mejor respuesta del sistema.

- Con la implementación de la interfaz hombre máquina, visualizador de textos Siemens TD 100C, se facilita la manipulación de la transmisión ya que por medio de esta se introducen los valores de comando de velocidad y se hace lectura del valor de velocidad actual. Permitiendo así que estudiante controle la máquina sin necesidad del empleo del computador.

- Los resultados del proyecto son muy importantes, pues extienden la amplia gama de aplicaciones de los PLC tradicionalmente utilizados en el control secuencial. Se concluye que son igualmente efectivos en el control realimentado, extendiendo todas sus capacidades y ventajas a esta rama del control automático, así mismo este trabajo de grado nos permite

evidenciar un campo laboral para el desempeño de los actuales y futuros ingenieros mecánicos.

- Se recomienda como futura mejora la implementación de un sistema de enfriamiento para el aceite que fluye a través del circuito de torque resistivo. También se recomienda que la rutina de encendido de la transmisión hidrostática sea llevada a cabo completamente mediante el empleo del PLC, o permitiendo al operador por medio de swtiches o botones que pueden ser ubicados en el tablero de control, realizar el encendido de cada uno de los motores eléctricos, válvulas direccionales, bombas de precarga, y demás elementos que comprenden el sistema de la transmisión hidrostática. Para la realización de esta nueva etapa se deben de poseer los mandos independientes del encendido de los equipos que conforman la transmisión que permitan que se incorpore este proceso al programa de control.

9. BIBLIOGRAFIA

AMADO FLOREZ, Adalberto y PICON MORALES, Tulia Inés. Servomecanismo electro hidráulico de control de posición y velocidad en actuadores lineales. Bucaramanga (Colombia). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

AMAYA SUAREZ, Carlos y LONDOÑO GOMEZ, Fernando. Servomecanismo electro hidráulico de posición y velocidad. 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.

NORVELLE, F. D. Electrohydraulic Control Systems. 1 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 285 p.

CISTERNA, MARCOS. (2001); Tutorial Instalación y Programación en PLC S7-200.

A. ROLDAN (2000). Apuntes S7-200.Siemens.

L. A. BRYAN (1997); Programable Controllers. Industrial text company Publication.

ALFARO, VÍCTOR (2003); métodos de sintonización de controladores PID que operan como servomecanismos. Universidad de Costa Rica.

El S7-200 en una hora (1999). Siemens

El S7-200 en dos horas (2000). Siemens.

Manual de formación para soluciones generales en automatización (2002). Siemens.

Martínez Torres, José (1999); Step 7 programación avanzada. Valencia.

Manual de usuarios del visualizador de textos (TD) (2005). Siemens.

EATON HYDRAULICS. Product Literature Library [on line]. s./. Eaton Corporation, 5 March 2007 [cited 15 August 2007]. Available from Internet: <http://www.eatonhydraulics.com/products/menu_main.htm>.

PARKER HYDRAULICS. Product literaute [on line}. Avaliable from internet.
<http://www.parker.co>

ANEXOS

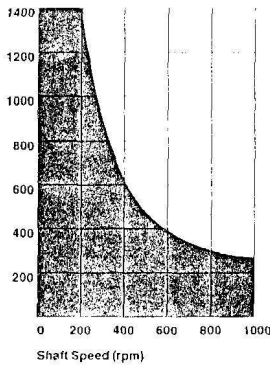
050 Series

Nichols 050 Series LSHT hydraulic motor is the most compact motor on the market.

The powerful, economical 050 Series delivers up to 3500 lbs. in. of torque in an extremely compact package. Its IGR™ power element delivers superior performance, providing high volumetric efficiency throughout a longer motor life. The motor shaft is free turning, typically rotating at less than 10 psi.

The Nichols 050 Series is available in SAE and 4-bolt mounts, and all common 1" shafts.

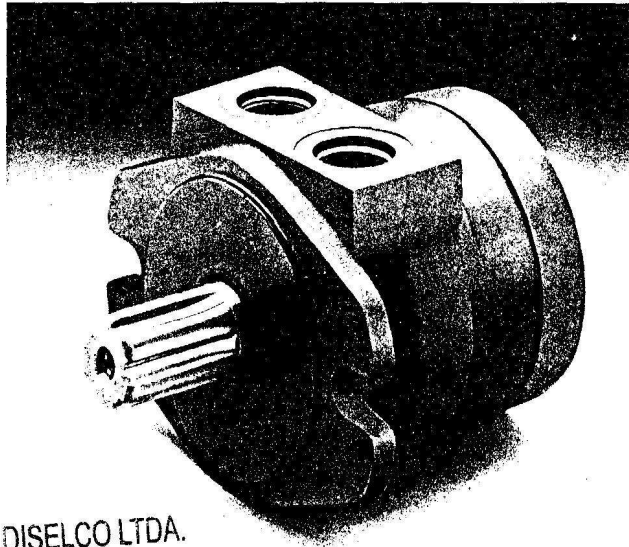
Maximum Side Load Capacity



Example

This chart is based on loads applied at a distance of 1.18" from the flange of the motor. Side load capacity decreases when load is applied at greater distances.

The hydrodynamic sleeve bearing has infinite life when the chart load ratings are not exceeded.



DISELCO LTDA.
NIT. 860.515.091-1

Specifications

| | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | -7 | -8 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Displacement (in ³ /rev.) | 3.6 | 5.4 | 7.1 | 8.8 | 10.6 | 12.9 | 16.4 | 22.0 |
| Length "L" (Inches) | 3.48 | 3.67 | 3.85 | 4.04 | 4.24 | 4.49 | 4.87 | 5.48 |
| Weight (lbs.) | 7.91 | 8.41 | 8.90 | 9.40 | 9.90 | 10.56 | 11.56 | 13.87 |
| Max. speed (RPM) @ 15 GPM | 945 | 643 | 487 | 390 | 326 | 272 | 211 | 154 |
| Speed (RPM) per GPM | 63 | 43 | 32 | 26 | 22 | 18 | 14 | 10 |
| Pressure differential (psi) | | | | | | | | |
| Max. continuous | 1600 | 1600 | 1500 | 1400 | 1300 | 1200 | 1100 | 900 |
| Max. intermittent | 2250 | 2250 | 2200 | 2200 | 2200 | 2000 | 1700 | 1300 |
| Max. torque (lbs. in.) | | | | | | | | |
| @ max. continuous psi | 715 | 1073 | 1322 | 1529 | 1711 | 1922 | 2240 | 2458 |
| @ max. intermittent psi | 1006 | 1508 | 1939 | 2403 | 2895 | 3203 | 3461 | 3550 |
| *Max. back pressure (psi) | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |

*Consult factory if continuous back pressure exceeds 1000 psi.

Notes:

1. Intermittent operation is defined as less than 10% of each minute.
2. Maximum peak pressure, defined as less than 1% of each minute, is not to exceed 3000 psi.
3. (25) micron filtration, β ratio of 2, is recommended.
4. Maximum permitted oil inlet temperature — 180°F.
5. Oil viscosity — minimum 50 SUS.
6. Maximum shaft thrust load capacity is 1000 lbs.
7. 1" 6B spined shaft is recommended for torques over 3000 lbs. in.
8. For optimum performance and life, motor should run-in for approx. 15 minutes

DISELCO LTDA.
NIT. 860.515.091-1

DISELCO LTDA.
NIT. 860.515.091-1

Performance Data 050 Series

Max Torque (lbs. in.) (2180)
Speed (RPM) (27)
Model ON D1E 26 @ 120°F

3.6 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2250 |
| 2 | 215 | 348 | 516 | 688 | 967 |
| | 119 | 118 | 112 | 101 | 71 |
| 5 | 218 | 358 | 536 | 715 | 1006 |
| | 308 | 302 | 298 | 289 | 253 |
| 8 | 206 | 330 | 523 | 697 | 967 |
| | 498 | 488 | 488 | 477 | 462 |
| 10 | 160 | 307 | 502 | 678 | 967 |
| | 140 | 298 | 616 | 603 | 578 |
| 15 | 140 | 298 | 488 | 660 | 928 |
| | 943 | 924 | 924 | 914 | 876 |

Flow (GPM)

5.4 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2250 |
| 2 | 322 | 523 | 773 | 1031 | 1450 |
| | 80 | 79 | 74 | 68 | 47 |
| 5 | 327 | 536 | 804 | 1073 | 1508 |
| | 205 | 201 | 199 | 193 | 169 |
| 8 | 309 | 495 | 784 | 1045 | 1450 |
| | 332 | 325 | 325 | 318 | 308 |
| 10 | 241 | 461 | 753 | 1018 | 1450 |
| | 419 | 411 | 411 | 402 | 385 |
| 15 | 211 | 447 | 732 | 990 | 1392 |
| | 629 | 616 | 616 | 610 | 584 |

Flow (GPM)

7.1 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1200 | 1500 | 2200 |
| 2 | 424 | 687 | 1017 | 1271 | 1865 |
| | 61 | 60 | 57 | 53 | 40 |
| 5 | 429 | 705 | 1058 | 1322 | 1939 |
| | 156 | 153 | 151 | 148 | 130 |
| 8 | 407 | 651 | 1031 | 1288 | 1865 |
| | 252 | 247 | 247 | 245 | 234 |
| 10 | 316 | 606 | 990 | 1254 | 1840 |
| | 319 | 312 | 312 | 306 | 293 |
| 15 | 277 | 588 | 963 | 1220 | 1790 |
| | 478 | 469 | 469 | 464 | 444 |

Flow (GPM)

8.8 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 800 | 1100 | 1400 | 2200 |
| 2 | 525 | 852 | 1155 | 1471 | 2311 |
| | 49 | 48 | 46 | 44 | 32 |
| 5 | 532 | 874 | 1202 | 1529 | 2403 |
| | 126 | 123 | 122 | 121 | 105 |
| 8 | 504 | 807 | 1155 | 1490 | 2311 |
| | 204 | 199 | 199 | 197 | 189 |
| 10 | 392 | 751 | 1109 | 1451 | 2280 |
| | 257 | 252 | 249 | 247 | 236 |
| 15 | 343 | 728 | 1078 | 1392 | 2218 |
| | 386 | 378 | 374 | 374 | 358 |

Flow (GPM)

10.6 In.³/Rev.

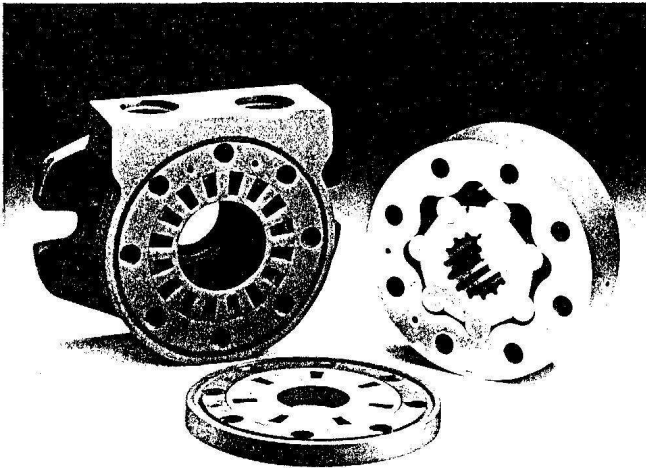
| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|-----|------|------|------|
| | 500 | 700 | 1000 | 1300 | 2200 |
| 2 | 633 | 898 | 1282 | 1645 | 2784 |
| | 41 | 40 | 39 | 37 | 27 |
| 5 | 641 | 909 | 1316 | 1711 | 2895 |
| | 105 | 104 | 102 | 101 | 87 |
| 8 | 607 | 850 | 1248 | 1667 | 2784 |
| | 169 | 167 | 166 | 166 | 157 |
| 10 | 472 | 744 | 1181 | 1623 | 2747 |
| | 214 | 211 | 207 | 207 | 196 |
| 15 | 413 | 709 | 1147 | 1557 | 2672 |
| | 320 | 317 | 311 | 311 | 297 |

Flow (GPM)

12.9 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|------|------|------|------|
| | 500 | 700 | 1000 | 1200 | 2000 |
| 2 | 770 | 1092 | 1560 | 1848 | 3080 |
| | 33 | 33 | 32 | 31 | 24 |
| 5 | 780 | 1107 | 1601 | 1922 | 3203 |
| | 86 | 85 | 84 | 83 | 74 |
| 8 | 739 | 1035 | 1519 | 1872 | 3121 |
| | 139 | 138 | 136 | 136 | 130 |
| 10 | 575 | 905 | 1437 | 1799 | 3039 |
| | 175 | 174 | 170 | 172 | 165 |
| 15 | 503 | 862 | 1396 | 1749 | 2956 |
| | 263 | 261 | 255 | 258 | 250 |

Flow (GPM)



DISELCO LTDA.
NIT. 860.515.091-1

Note: Charted shaded areas indicate intermittent ratings.

16.4 In.³/Rev.

| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|------|------|------|------|
| | 500 | 700 | 900 | 1100 | 1700 |
| 2 | 979 | 1389 | 1785 | 2153 | 3328 |
| | 26 | 26 | 26 | 25 | 21 |
| 5 | 992 | 1407 | 1832 | 2240 | 3481 |
| | 68 | 67 | 66 | 65 | 62 |
| 8 | 940 | 1316 | 1715 | 2153 | 3372 |
| | 109 | 108 | 107 | 107 | 104 |
| 10 | 731 | 1151 | 1597 | 2067 | 3284 |
| | 138 | 137 | 134 | 134 | 131 |
| 15 | 639 | 1096 | 1550 | 2010 | 3195 |
| | 207 | 205 | 203 | 201 | 196 |

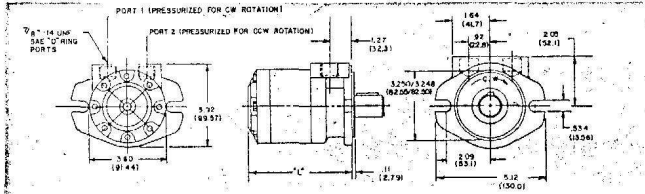
Flow (GPM)

22.0 In.³/Rev.

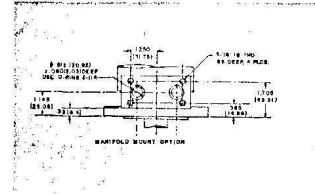
| | Pressure (Δ PSI) | | | | |
|----|------------------|------|------|------|------|
| | 500 | 700 | 900 | 1100 | 1300 |
| 2 | 1313 | 1863 | 2395 | 2889 | 3414 |
| | 20 | 19 | 19 | 18 | 18 |
| 5 | 1331 | 1887 | 2458 | 3004 | 3550 |
| | 50 | 50 | 49 | 49 | 49 |
| 8 | 1261 | 1765 | 2300 | 2889 | 3459 |
| | 81 | 81 | 80 | 80 | 80 |
| 10 | 980 | 1544 | 2143 | 2773 | 3368 |
| | 103 | 102 | 100 | 100 | 100 |
| 15 | 858 | 1471 | 2080 | 2696 | 3232 |
| | 154 | 153 | 151 | 150 | 150 |

Flow (GPM)

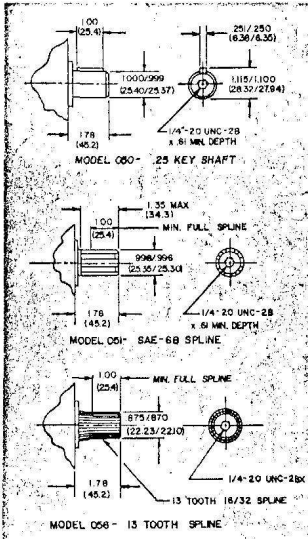
050 Series



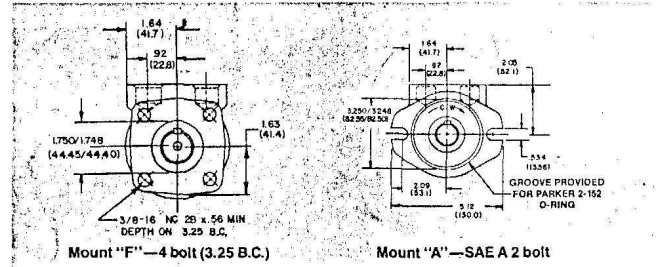
Manifold Port Option



Shaft Options



Mounting Options



DISELCO LTDA
NIT. 860.515.091-1

Ordering Information

05 0-8-A S

Motor Series

Port Option
S = 7/16" UNF
SAE O-Ring ports
M = manifold ports
P = 1/2" 14 NPT pipe
thread ports

Shaft Option
0 = 1" str. key
1 = 1" 6B spline
6 = 7/16" 13-T
1 1/32 spline

Mounting Option
A = SAE A 2 bolt
F = 4-bolt (3.25" B.C.)

Displacement Option

-1 = 3.6 in.³/rev. -2 = 5.4 in.³/rev. -3 = 7.1 in.³/rev.
-4 = 8.8 in.³/rev. -5 = 10.6 in.³/rev. -6 = 12.9 in.³/rev.
-7 = 16.4 in.³/rev. -8 = 22.0 in.³/rev.

Nichols Gray

Parker Hannifin Corporation
Nichols Gray Division

Box 900, Gray, ME 04039 (207) 657-3343
Telex: 9102407421 FAX: (207) 657-2498

DISELCO LTDA
NIT 860.515.091-1



E50S8

Diameter ϕ 50mm shaft type INCREMENTAL Rotary encoder

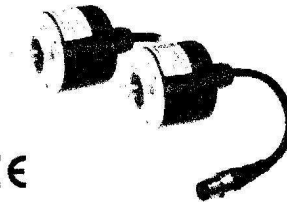
■ Features

- Suitable for Angle, Position, Revolution, Speed, Acceleration, Distance detection
- Power supply: 5VDC, 12~24VDC (P&G)
- Cost effective

■ Applications

- Various tooling machinery, packing machine and general industrial machinery etc.

⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



■ Ordering information (Former name : ENB)

| | | | | | | |
|--|----------------|-------------------|---|--|---|--|
| E50S | 8 | 5000 | 3 | 2 | 24 | |
| Series | Shaft diameter | Output resolution | Output phase | Output | Power supply | Cable |
| Diameter: ϕ 50mm, shaft type | 8mm | See resolution | 1: A, B 2: A, B, Z 3: A, B, Z 4: A, B, Z | 1: Open collector 2: NPN open collector 3: Voltage output 4: Line driver output (P&G) | 5: 5VDC \pm 5% 24: 12~24VDC \pm 5% | No max./Normal cable 10m 10: Custom outgoing connector (out) |
| Ⓢ Represents E50S8 (P&G) Ⓢ 5000 represents 5000 Ⓢ 3 represents A, B, Z Ⓢ 2 The power of Line driver is only for 5VDC Ⓢ Cable length: 100mm | | | | | | |

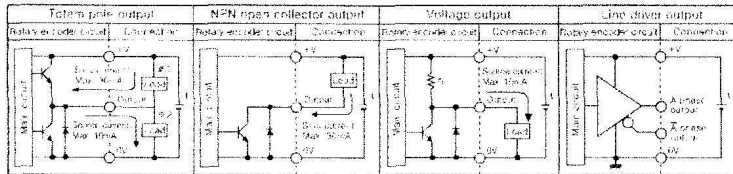
■ Specifications

| | | | |
|--------------------------------|--|---|--|
| Item | | Parameter: ϕ 50mm shaft type incremental Rotary encoder | |
| Resolution (PPR) | | 10, 20, 25, 30, 36, 45, 50, 60, 72, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 240, 288, 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900, 1080, 1260, 1500, 1800, 2000, 2400, 2880, 3600, 4500 (*Note1) PPR is not available for 10, 20, 25, 30, 36, 45, 50, 60, 72, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 240, 288, 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900, 1080, 1260, 1500, 1800, 2000, 2400, 2880, 3600, 4500. | |
| Output phase | | A, B, Z (P&G) A, B, Z (P&G) | |
| Pulse difference of pulse | | Pulse difference: 1 pulse (P&G) | |
| Output | Max. pulse output frequency | Max. 10kHz (P&G) | |
| | Load current | Max. 30mA (Residual voltage: Max. 14VDC) | |
| | Low level current | Max. 10mA (Residual voltage: Max. 5VDC) | |
| | High level current | Max. 20mA (Output voltage: Min. 2.0V) | |
| Response time (rise/fall) | Max. rise time | Max. 100ns | |
| | Max. fall time | Max. 100ns | |
| | Max. delay time | Max. 100ns | |
| Max. Resonance frequency | 80kHz | | |
| Current consumption (no. load) | Max. 50mA (at the output of the load), Line driver output: Max. 50mA (at the output of the load) | | |
| Operating voltage | Min. 5VDC (at the output of the load), Line driver output: Min. 5VDC (at the output of the load) | | |
| Operating temperature | -20~+70°C (at the output of the load), Line driver output: -20~+70°C (at the output of the load) | | |
| Storage temperature | -30~+85°C (at the output of the load), Line driver output: -30~+85°C (at the output of the load) | | |
| Shock | Max. 100g (at the output of the load), Line driver output: Max. 100g (at the output of the load) | | |
| Weight | Max. 100g (at the output of the load), Line driver output: Max. 100g (at the output of the load) | | |
| Dimensions | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Material | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Shaft diameter | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Shaft length | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Installation of shaft diameter | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Max. allowable torque | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Version | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Series | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Approx. dimensions | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Approx. weight | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Protection | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Cable | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Accessories | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Weight | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |
| Approval | Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load) | | |

(*Note1) 10, 20, 25, 30, 36, 45, 50, 60, 72, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 240, 288, 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900, 1080, 1260, 1500, 1800, 2000, 2400, 2880, 3600, 4500 (P&G)
 (*Note2) Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load)
 (*Note3) Max. 100mm (at the output of the load), Line driver output: Max. 100mm (at the output of the load)

φ 50 Medium Duty Standard Shaft Type

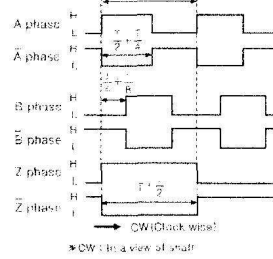
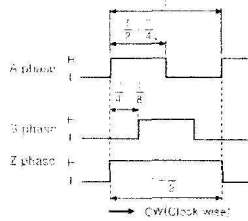
Control output diagram



● Totem pole output type can be used for NPN open collector output (used for 1) or Voltage output (used for 2).
 ● All outputs operate at the same A, B, Z phase(s) in drive output (A, A', B, B', Z, Z').

Output waveform

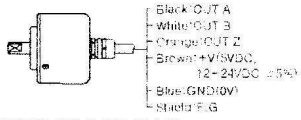
- Totem pole output / NPN open collector output / Voltage output
- Line driver output



Connections

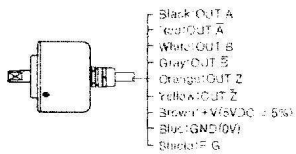
Normal type

- Totem pole output / NPN open collector output / Voltage output



● Unless wires must be insulated:
 ● The shield wire and metal case of encoder must be grounded (F.G.)

- Line driver output



Cable outgoing connector type



| Pin No. | Cable color | Rotary encoder output / Voltage output | Line driver output |
|---------|-------------|--|--------------------|
| 1 | Black | OUT A | OUT A |
| 2 | Red | N.C. | Zett A |
| 3 | Brown | -V | -V |
| 4 | Blue | GND | GND |
| 5 | White | OUT B | OUT B |
| 6 | Gray | N.C. | OUT B |
| 7 | Orange | OUT Z | OUT Z |
| 8 | Yellow | N.C. | OUT Z |
| 9 | Shield | F.G. | F.G. |
| 10 | Purple | N.C. | N.C. |

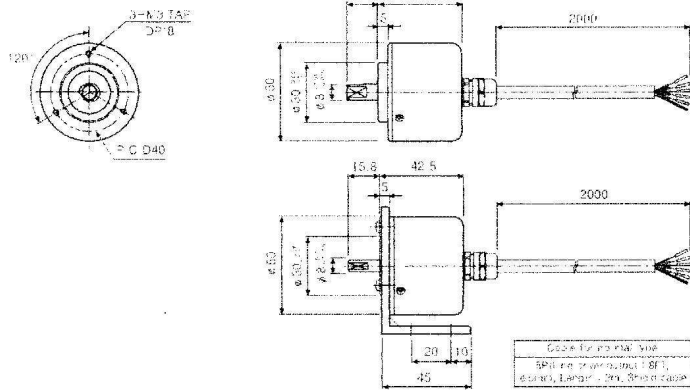
● N.C. (Not Connected)
 ● F.G. (Frame Ground)

1) Rotary encoder

E50S8

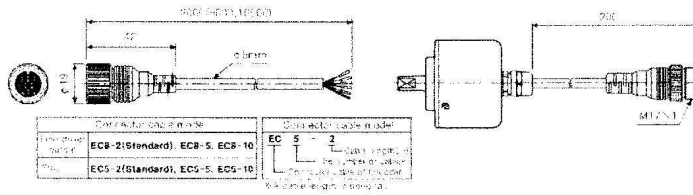
Dimensions

Normal type

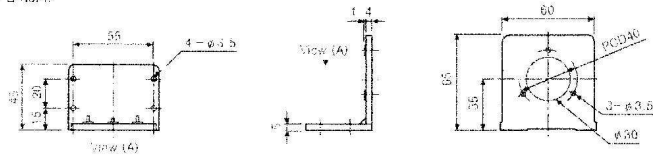


Cable outgoing connector type

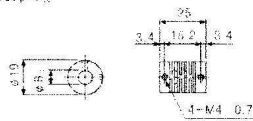
- Connector cable (As assembly)



- Bracket



- Coupler



©Autonics

SIMATIC S7-200 Generalidades

S7-200, SIPLUS S7-200

3

Sinopsis



SIMATIC S7-200

- El micro-PLC para el máximo efecto de automatización al mínimo coste.
- Montaje, programación y uso particularmente fáciles.
- De alta escala de integración, requiere poco espacio, potente.
- Aplicable tanto para los controles más simples como también para tareas complejas de automatización.
- Aplicable aislado, interconectado en red o en configuraciones descentralizadas.
- El PLC también para campos donde, por motivos económicos, no se aplicaban hasta ahora autómatas programables.
- Con destacadas prestaciones de tiempo real y potentes posibilidades de comunicación (PPI, PROFIBUS-DP, AS-Interface).
- Certificados de las sociedades de clasificación naval
 - American Bureau of Shipping (ABS)
 - Bureau Veritas (BV)
 - Det Norske Veritas (DNV)
 - Germanischer Lloyd (GL)
 - Lloyds Register of Shipping (LRS)
 - Registro Italiano Navale (RINA)
 - Nippon Kaiji Kyokai (NK)

SIPLUS S7-200

- El mando para trabajar en las más duras condiciones ambientales
- Con margen de temperatura ampliado de -25 a +70 °C
- Aplicación bajo carga medial (atmósfera de gas de polución)
- Admite condensación esporádica de corta duración y mayor sollicitación mecánica
- Con la probada tecnología PLC del S7-200
- Confortable en el manejo, la programación, el mantenimiento y el servicio técnico
- Ideal para sectores como la fabricación de vehículos, el medio ambiente, la minería, industrias químicas, sistemas de transporte de mercancías, industria alimenticia, etc.
- Sustituye a las caras soluciones específicas

Para obtener más informaciones visítenos en:

<http://www.siemens.com/siplus>

Aquí encontrará folletos que sirven como guía de selección de productos SIMATIC:

<http://www.siemens.com/simatic/printmaterial>

SIMATIC S7-200

Generalidades

S7-200, SIPLUS S7-200

3

Datos técnicos

| Datos técnicos generales SIMATIC S7-200 | |
|---|---|
| Grado de protección | IP20 según IEC 529 |
| Temperatura ambiente | |
| • Servicio (humedad ambiental 95%) | |
| - con montaje horizontal | 0 a 55 °C |
| - con montaje vertical | 0 a 45 °C |
| • Transporte y almacenam. | -40 a +70 °C |
| - humedad ambiental de un 95% | 25 a 55 °C |
| Aislamiento | |
| • Circuitos 5/24 V DC | Tensión de prueba 500 V AC |
| • Circuitos 115/230 V AC con tierra | Tensión de prueba 1500 V AC |
| • Circuitos 115/230 V AC con circuitos 115/230 V AC | Tensión de prueba 1500 V AC |
| • Circuitos 230 V AC con circuitos 5/24 V DC | Tensión de prueba 1500 V AC |
| • Circuitos 115 V AC con circuitos 5/24 V DC | Tensión de prueba 1500 V AC |
| Compatibilidad electromagnética | Requisitos de la Ley de CEM |
| • Inmunidad a las perturbaciones según EN 50082-2 | Ensayada según: IEC 801-2, IEC 801-3, IEC 801-4, EN 50141, EN 50204, IEC 801-5, VDE 0160 |
| • Emisión de perturbaciones según EN 50081-1 y EN 50081-2 | Ensayada según EN 55011, clase A, grupo 1 y EN 55011, clase B, grupo 1 |
| Solicitación mecánica | |
| • Vibraciones, ensayadas según / comprobado con | IEC 68, partes 2-6: 10 a 57 Hz; amplitud constante 0,3 mm; 58 a 150 Hz; aceleración constante 1 g (montaje en perfil) o 2 g (montaje en panel); modo de vibración: barridos de frecuencia con una velocidad de cambio de 1 octava/minuto; duración de la vibración: 10 barridos de frecuencia por eje en dirección a cada uno de los tres ejes perpendiculares entre sí |
| • Choques ensayados según/con | IEC 68, Parte 2-27/semisinusoidal: intensidad del choque 15 g (valor cresta), duración 11 ms, 6 choques en cada uno de los tres ejes perpendiculares entre sí |

| Datos técnicos generales SIPLUS S7-200 | |
|---|---|
| Condiciones ambientales climáticas | |
| Temperatura | Montaje horizontal: -25 °C a 70 °C Montaje vertical: -25 °C a 50 °C |
| Humedad relativa del aire | 5 a 95%; se admite una condensación de corta duración, equivale a una humedad relativa del aire (RH), grado de severidad 2 según IEC 1131-2 y IEC 721 3-3 clase 3K5 |
| Formación breve de hielo | -25 °C a 0 °C IEC 721 3-3 clase 3K5 |
| Presión atmosférica | 1080 a 795 hPa equivale a una altura de -1000 a 2000 m |
| Concentración de sustancias tóxicas | SO ₂ : < 0,5 ppm; humedad relativa del aire <60%, prueba: 10 ppm, 4 días H ₂ S: < 0,1 ppm; humedad relativa del aire <60%, prueba: 1 ppm, 4 días (según IEC 721 3-3, clase 3C3) |
| Condiciones ambientales mecánicas | |
| Vibraciones | Tipo de vibraciones: barridos de frecuencia con una velocidad de cambio de 1 octava/minuto, 2 Hz ≤ f ≤ 9 Hz, amplitud constante 3,0 mm, 9 Hz ≤ f ≤ 150 Hz, aceleración constante 1 g, duración de la vibración: 10 barridos de frecuencia por eje en los tres ejes perpendiculares Ensayos de vibraciones según IEC 68 parte 2-6 (seno) y IEC 721 3-3, clase 3M4 |
| Choque | Tipo de choque: semisenso, intensidad del choque: 15 g de valor de cresta, 11 ms de duración, sentido del choque: 3 choques en sentido +/- respectivamente en los tres ejes perpendiculares Ensayo de choque según IEC 68 parte 2-27 |
| Conformidad con la norma para equipamientos electrónicos en vehículos sobre carriles (EN 50155, temperatura T1, categoría 1). | S ¹⁾ |

1) No aplicable a:
6AG1 214-2AD23-2XB0, 6AG1 214-2BD23-2XB0,
6AG1 232-0HB22-2XB0, 6AG1 235-0KD22-2XB0,
6AG1 231-7PB22-2XA0, 6AG1 901-3CB30-2XA0

SIMATIC S7-200 Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Síntesis CPU 221



- La solución compacta inteligente
- Con 10 entradas/salidas a bordo
- No ampliables

Síntesis CPU 224



- La CPU compacta de alto rendimiento
- Con 24 entradas/salidas a bordo
- Expandible con hasta un máx de 7 módulos de ampliación

Síntesis CPU 222



- La solución compacta más elegante
- Con 14 entradas/salidas a bordo
- Ampliable hasta un máx de 2 módulos de ampliación

Síntesis CPU 224 XP



- La CPU de alta potencia
- Con 24 entradas/salidas digitales y 3 analógicas integradas
- Expandible con hasta un máx. de 7 módulos de ampliación

SIMATIC S7-200 Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

Sinopsis CPU 226



- El más potente para ejecutar tareas técnicas de mayor envergadura
- Con puerto PPI adicional que proporciona más flexibilidad y posibilidades de comunicación
- Con 40 entradas/salidas a bordo
- Expandible con máx. 7 módulos de ampliación

3

Datos técnicos

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Tensiones de alimentación | | | | |
| Valor nominal | | | | |
| • 24 V DC | Si | | Si | |
| • Rango admisible, límite inferior (DC) | 20,4 V | | 20,4 V | |
| • Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V | | 28,8 V | |
| • 120 V AC | | Si | | Si |
| • 230 V AC | | Si | | Si |
| • Rango admisible, límite inferior (AC) | | 85 V | | 85 V |
| • Rango admisible, límite superior (AC) | | 264 V | | 264 V |
| • Rango admisible de frecuencia, límite inferior | | 47 Hz | | 47 Hz |
| • Rango admisible de frecuencia, límite superior | | 63 Hz | | 63 Hz |
| Tensiones e intensidades | | | | |
| Tensión de carga L+ | | | | |
| • Valor nominal (DC) | 24 V | 24 V | 24 V | 24 V |
| • Rango admisible, límite inferior (DC) | 20,4 V | 5 V | 20,4 V | 5 V |
| • Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V | 30 V | 28,8 V | 30 V |
| Tensión de carga L1 | | | | |
| • Valor nominal (AC) | | 100 V; 100 a 230 V AC | | 100 V; 100 a 230 V AC |
| • Rango admisible, límite inferior (AC) | | 5 V | | 5 V |
| • Rango admisible, límite superior (AC) | | 250 V | | 250 V |
| • Rango admisible de frecuencia, límite inferior | | 47 Hz | | 47 Hz |
| • Rango admisible de frecuencia, límite superior | | 63 Hz | | 63 Hz |
| Consumo | | | | |
| Intensidad de cierre, máx. | 10 A; con 28,8 V | 20 A; con 264 V | 10 A; con 28,8 V | 20 A; con 264 V |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|--|--|--|--|--|
| De la tensión de alimentación L+, máx. | 450 mA; 80 a 450 mA | | 500 mA; 85 a 500 mA, corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA | |
| De la tensión de alimentación L1, máx. | | 120 mA; 15 a 60 mA (240 V); 30 a 120 mA (120 V); corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA | | 140 mA; 20 a 70 mA (240 V); 40 a 140 mA (120 V); corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA |
| Pila de respaldo | | | | |
| • Tiempo de respaldo, máx. | 50 h; (mín. 8 h a 40 °C); 200 días (tip.) con módulo de batería opcional | | | |
| Memoria | | | | |
| Memoria | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | | | |
| • Nº de módulos de memoria (opcional) | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | | | |
| • Memoria de datos y programa | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | | | |
| - Memoria de datos, máx. | 2 kbytes | 2 kbytes | 2 kbytes | 2 kbytes |
| - Memoria de programs, máx. | 4 kbytes | 4 kbytes | 4 kbytes | 4 kbytes |
| Respaldo | | | | |
| • existente | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración |
| CPU/tiempos de ejecución para operaciones de bits, máx. | 0,22 µs | 0,22 µs | 0,22 µs | 0,22 µs |
| Temporizadores/contadores y su remanencia | | | | |
| Contadores S7 | | | | |
| • Cantidad | 256 | 256 | 256 | 256 |
| • de ellos, remanentes | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | | | |
| - configurable | 1 | 1 | 1 | 1 |
| - Límite inferior | 256 | 256 | 256 | 256 |
| - Límite superior | 0 | 0 | 0 | 0 |
| • Rango de conteo | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | | | |
| - Límite inferior | 32.767 | 32.767 | 32.767 | 32.767 |
| - Límite superior | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temporizadores S7 | | | | |
| • Cantidad | 256 | 256 | 256 | 256 |
| • de ellos, remanentes | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | | | |
| - configurable | 64 | 64 | 64 | 64 |
| - Límite superior | 0 | 0 | 0 | 0 |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Temporizadores S7 | | | | |
| • Rango de tiempo | | | | |
| - Límite inferior | 1 ms | | | |
| - Límite superior | 54 min; 4 tiempos, 1 ms a 30 s; 16 tiempos, 10 ms a 5 min; 236 tiempos, 100 ms a 54 min | | | |
| Áreas de datos y su remanencia | | | | |
| Marcas | | | | |
| • Cantidad, máx. | 32 byte(s) | 32 byte(s) | 32 byte(s) | 32 byte(s) |
| • Remanencia disponible | Sí; M0.0 a M31.7 | Sí; M0.0 a M31.7 | Sí; M0.0 a M31.7 | Sí; M0.0 a M31.7 |
| • de ellos, remanentes | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable |
| • de ellos, remanentes sin pila | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable |
| Configuración del hardware | | | | |
| Programadoras (PGs)/PCs conectables | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar |
| Aparatos de ampliación, máx. | | | 2: Solamente pueden utilizarse tarjetas de ampliación de la serie S7-22x. A consecuencia de la corriente de salida limitada, la utilización de tarjetas de ampliación puede estar sujeta a limitaciones. | 2: Solamente pueden utilizarse tarjetas de ampliación de la serie S7-22x (a consecuencia de la corriente de salida limitada, la utilización de tarjetas de ampliación puede estar sujeta a limitaciones.) |
| Ampliación de la periferia | | | | |
| • Entradas/salidas analógicas, máx. | | | 10; máx. 8 entradas y 2 salidas (EM) o máx. 0 entradas y 4 salidas (EM) | 10; máx. 8 entradas y 2 salidas (EM) o máx. 0 entradas y 4 salidas (EM) |
| • Entradas/salidas digitales, máx. | | | 78; máx. 40 entradas y 38 salidas (CPU+EM) | 78; máx. 40 entradas y 38 salidas (CPU+EM) |
| • Entradas/salidas AS-Interface, máx. | | | 62; Esclavos A/B AS-Interface (CP 243-2) | 62; Esclavos A/B AS-Interface (CP 243-2) |
| Sistema de conexión | | | | |
| Bornes de E/S enchufables | No | No | No | No |
| 1. Interfaz | | | | |
| Tipo de interfaz | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada |
| Norma física | RS485 | RS485 | RS485 | RS485 |
| Funcionalidad | | | | |
| • MPI | Sí; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Sí; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Sí; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Sí; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s |
| • PPI | Sí; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Sí; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Sí; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Sí; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|--|--|--|--|--|
| De la tensión de alimentación L+, máx. | 450 mA; 80 a 450 mA | | 500 mA; 85 a 500 mA, corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA | |
| De la tensión de alimentación L1, máx. | | 120 mA; 15 a 60 mA (240 V), 30 a 120 mA (120 V); corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA | | 140 mA; 20 a 70 mA (240 V), 40 a 140 mA (120 V); corriente de salida para tarjetas de ampliación (5 V DC) 340 mA |
| Pila de respaldo | | | | |
| • Tiempo de respaldo, máx. | 50 h; (mín. 8 h a 40 °C); 200 días (tip.) con módulo de batería opcional | | | |
| Memoria | | | | |
| Memoria | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | | | |
| • Nº de módulos de memoria (opcional) | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. | 1; Módulo de memoria enchufable, contenido idéntico a EEPROM integrada, además se pueden guardar recetas, registros de datos y otros archivos. |
| • Memoria de datos y programa | | | | |
| - Memoria de datos, máx. | 2 kbytes | 2 kbytes | 2 kbytes | 2 kbytes |
| - Memoria de programa, máx. | 4 kbytes | 4 kbytes | 4 kbytes | 4 kbytes |
| Respaldo | | | | |
| • existente | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración | Si; Programa: todo el programa sin mantenimiento en EEPROM integrada, programable a través de CPU; datos: todo el DB1 cargado por PG/PC sin mantenimiento en EEPROM integrada, valores actuales de DB 1 en RAM, marcas remanentes, tiempos, contadores, etc., sin mantenimiento a través del condensador de alta capacidad; batería opcional para respaldo de larga duración |
| CPU/tiempos de ejecución para operaciones de bits, máx. | 0,22 µs | 0,22 µs | 0,22 µs | 0,22 µs |
| Temporizadores/contadores y su remanencia | | | | |
| Contadores S7 | | | | |
| • Cantidad | 256 | 256 | 256 | 256 |
| • de ellos, remanentes | | | | |
| - configurable | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería |
| - Limite inferior | 1 | 1 | 1 | 1 |
| - Limite superior | 256 | 256 | 256 | 256 |
| • Rango de contaje | | | | |
| - Limite inferior | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - Limite superior | 32.767 | 32.767 | 32.767 | 32.767 |
| Temporizadores S7 | | | | |
| • Cantidad | 256 | 256 | 256 | 256 |
| • de ellos, remanentes | | | | |
| - configurable | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería | Si; a través de condensador de alta capacidad o batería |
| - Limite superior | 64 | 64 | 64 | 64 |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Temporizadores S7 | | | | |
| • Rango de tiempo | | | | |
| - Limite inferior | 1 ms | | | |
| - Limite superior | 54 min; 4 tiempos, 1 ms a 30 s; 16 tiempos, 10 ms a 5 min; 236 tiempos, 100 ms a 54 min | | | |
| Áreas de datos y su remanencia | | | | |
| Marcas | | | | |
| • Cantidad, máx. | 32 byte(s) | 32 byte(s) | 32 byte(s) | 32 byte(s) |
| • Remanencia disponible | Si; M0.0 a M31.7 | Si; M0.0 a M31.7 | Si; M0.0 a M31.7 | Si; M0.0 a M31.7 |
| • de ellos, remanentes | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable | 0 a 255, a través de condensador de alta capacidad o batería, ajustable |
| • de ellos, remanentes sin pila | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable | 0 a 112 en EEPROM, ajustable |
| Configuración del hardware | | | | |
| Programadoras (PGs)/PCs conectables | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar | SIMATIC PG/PC, PC estándar |
| Aparatos de ampliación, máx. | | | 2; Solamente pueden utilizarse tarjetas de ampliación de la serie S7-22x. A consecuencia de la corriente de salida limitada, la utilización de tarjetas de ampliación puede estar sujeta a limitaciones. | 2; Solamente pueden utilizarse tarjetas de ampliación de la serie S7-22x (a consecuencia de la corriente de salida limitada, la utilización de tarjetas de ampliación puede estar sujeta a limitaciones.) |
| Ampliación de la periferia | | | | |
| • Entradas/salidas analógicas, máx. | | | 10; máx. 8 entradas y 2 salidas (EM) o máx. 0 entradas y 4 salidas (EM) | 10; máx. 8 entradas y 2 salidas (EM) o máx. 0 entradas y 4 salidas (EM) |
| • Entradas/salidas digitales, máx. | | | 78; máx. 40 entradas y 38 salidas (CPU+EM) | 78; máx. 40 entradas y 38 salidas (CPU+EM) |
| • Entradas/salidas AS-Interface, máx. | | | 62; Esclavos A/B AS-Interface (CP 243-2) | 62; Esclavos A/B AS-Interface (CP 243-2) |
| Sistema de conexión | | | | |
| Bornes de E/S enchufables | No | No | No | No |
| 1. Interfaz | | | | |
| Tipo de interfaz | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada | Interfaz RS485 integrada |
| Norma física | RS485 | RS485 | RS485 | RS485 |
| Funcionalidad | | | | |
| • MPI | Si; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Si; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Si; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s | Si; como esclavo MPI para el intercambio de datos con maestros MPI (CPU S7-300/S7-400, OP, TD, Push Button Panels); posibilidad de comunicación CPU/CPU interna a S7-200 limitada en la red MPI; velocidades de transmisión de 19,2/187,5 Kbits/s |
| • PPI | Si; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Si; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Si; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s | Si; con protocolo PPI para funciones de programación, funciones HMI (TD 200, OP), comunicación CPU/CPU interna de S7-200; velocidades de transmisión 9,6/19,2/187,5 Kbits/s |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|---|---|--|--|--|
| Funcionalidad | | | | |
| • Intercambio serie de datos | Si; como interfaz libremente programable con posibilidad de interrupciones para intercambio de datos en serie con equipos no Siemens con velocidades de transferencia y protocolo ASCII de 1,2/2,4/4,8/9,6/19,2/38,4/57,6/115,2 kbits/s; el cable PC/PPI puede usarse también como convertidor RS232/RS485 | Si; como interfaz libremente programable con posibilidad de interrupciones para intercambio de datos en serie con equipos no Siemens con velocidades de transferencia y protocolo ASCII de 1,2/2,4/4,8/9,6/19,2/38,4/57,6/115,2 kbits/s; el cable PC/PPI puede usarse también como convertidor RS232/RS485 | Si; como interfaz libremente programable con posibilidad de interrupciones para intercambio de datos en serie con equipos no Siemens con velocidades de transferencia y protocolo ASCII de 1,2/2,4/4,8/9,6/19,2/38,4/57,6/115,2 kbits/s; el cable PC/PPI puede usarse también como convertidor RS232/RS485 | Si; como interfaz libremente programable con posibilidad de interrupciones para intercambio de datos en serie con equipos no Siemens con velocidades de transferencia y protocolo ASCII de 1,2/2,4/4,8/9,6/19,2/38,4/57,6/115,2 kbits/s; el cable PC/PPI puede usarse también como convertidor RS232/RS485 |
| MPI | | | | |
| • Velocidades de transmisión, máx. | 187,5 kbits/s | 187,5 kbits/s | 187,5 kbits/s | 187,5 kbits/s |
| • Velocidades de transferencia, mín. | 19,2 kbits/s | 19,2 kbits/s | 19,2 kbits/s | 19,2 kbits/s |
| CPU/programación | | | | |
| Lenguaje de programación | | | | |
| • KOP | Si | Si | Si | Si |
| • FUP | Si | Si | Si | Si |
| • AWL | Si | Si | Si | Si |
| Juego de operaciones | Operaciones lógicas con bits, operaciones de comparación, operaciones de tiempo, operaciones de conteo, operaciones de reloj, operaciones de transferencia, operaciones de tablas, operaciones de vinculaciones, operaciones de desplazamiento y rotación, operaciones de conversión, operaciones de control del programa, operaciones de interrupción y comunicación, operaciones lógicas de pilas, operaciones de interrupción y comunicación, operaciones con pilas, aritmética en coma fija, aritmética en coma flotante, funciones numéricas | | | |
| Protección de programas de usuario/Protección por contraseña | Si; Protección por contraseña con 3 niveles | Si; Protección por contraseña con 3 niveles | Si; Protección por contraseña con 3 niveles | Si; Protección por contraseña con 3 niveles |
| Tratamiento del programa | Ciclo libre (OB 1), controlado por alarmas, controlado por tiempo (1 a 255 ms) | Ciclo libre (OB 1), controlado por alarmas, controlado por tiempo (1 a 255 ms) | Ciclo libre (OB 1), controlado por alarmas, controlado por tiempo (1 a 255 ms) | Ciclo libre (OB 1), controlado por alarmas, controlado por tiempo (1 a 255 ms) |
| Organización del programa | 1 OB, 1 DB, 1 SDB subprogramas con/sin transferencia de parámetros | 1 OB, 1 DB, 1 SDB subprogramas con/sin transferencia de parámetros | 1 OB, 1 DB, 1 SDB subprogramas con/sin transferencia de parámetros | 1 OB, 1 DB, 1 SDB subprogramas con/sin transferencia de parámetros |
| Nº de subprogramas, máx. | 64 | 64 | 64 | 64 |
| Módulos de E digitales | | | | |
| Nº de entradas digitales | 6; integrado | 6; integrado | 8 | 8 |
| Longitud del cable | | | | |
| • Longitud del cable apantallado, máx. | 500 m; Entrada estándar: 500 m, contador rápido: 50 m | 500 m; Entrada estándar: 500 m, contador rápido: 50 m | 500 m; Entrada estándar: 500 m, contador rápido: 50 m | 500 m; Entrada estándar: 500 m, contador rápido: 50 m |
| • Longitud de cable no apantallado, máx. | 300 m; no para señales de alta velocidad | 300 m; no para señales de alta velocidad | 300 m; no para señales de alta velocidad | 300 m; no para señales de alta velocidad |
| de tipo M | Si; seleccionable, por grupo | Si; seleccionable, por grupo | Si; seleccionable, por grupo | Si; seleccionable, por grupo |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|--|--|---------------------------|--|---------------------------|
| Tensión de entrada | | | | |
| • Valor nominal, DC | 24 V | 24 V | 24 V | 24 V |
| • para señal '0' | 0 a 5 V | 0 a 5 V | 0 a 5 V | 0 a 5 V |
| • para señal '1' | min. 15 V | min. 15 V | min. 15 V | min. 15 V |
| Intensidad de entrada | | | | |
| • para señal '1', tip. | 2,5 mA | 2,5 mA | 2,5 mA | 2,5 mA |
| Retardo de entrada (a tensión nominal de entrada) | | | | |
| • para entradas estándar | | | | |
| - parametrizable | Si; todos | Si; todos | Si; todos | Si; todos |
| - en transición '0' a '1', máx. | 0,2 ms | 0,2 ms | 0,2 ms | 0,2 ms |
| - en transición '0' a '1', máx. | 12,8 ms | 12,8 ms | 12,8 ms | 12,8 ms |
| • para entrada de alarmas | | | | |
| - parametrizable | Si; E0.0 a E0.3 | Si; E0.0 a E0.3 | Si; E0.0 a E0.3 | Si; E0.0 a E0.3 |
| • para contadores/funciones tecnológicas: | | | | |
| - parametrizable | Si; (E0.0 a E0.5) | Si; (E0.0 a E0.5) | Si; (E0.0 a E0.5) | Si; (E0.0 a E0.5) |
| | 30 kHz | 30 kHz | 30 kHz | 30 kHz |
| Módulos de S digitales | | | | |
| Número de salidas digitales | 4; Transistor | 4; Relé | 6; Transistor | 6; Relé |
| Longitud del cable apantallado, máx. | 500 m | 500 m | 500 m | 500 m |
| Longitud del cable no apantallado, máx. | 150 m | 150 m | 150 m | 150 m |
| Protección contra cortocircuitos en salida | No; a prever externamente | No; a prever externamente | No; a prever externamente | No; a prever externamente |
| Limitación de la sobretensión inductiva de corte a | 1 W | | 1 W | |
| Poder de corte de las salidas | | | | |
| • con carga resistiva, máx. | 0,75 A | 2 A | 0,75 A | 2 A |
| • con carga tipo lámpara, máx. | 5 W | | 5 W | |
| Tensión de salida | | | | |
| • para señal '1', min. | 20 V DC | L+/L1 | 20 V DC | L+/L1 |
| Intensidad de salida | | | | |
| • para señal '1', valor nominal | 750 mA | 2 A | 750 mA | 2 A |
| • para señal '0', intensidad residual, máx. | 0,1 mA | 0 mA | 10 µA | 0 mA |
| Retardo a la salida con carga resistiva | | | | |
| • '0' a '1', máx. | 15 µs; de salidas estándar, máx. (A0.2 a A0.3) 15 µs; de salidas de impulsos, máx. (A0.0 a A0.1) 2 µs | 10 ms; todas las salidas | 15 µs; de salidas estándar, máx. (A0.2 a A0.5) 15 µs; de salidas de impulsos, máx. (A0.0 a A0.1) 2 µs | 10 ms; todas las salidas |
| • '1' a '0', máx. | 130 µs; de salidas estándar, máx. (A0.2 a A0.3) 100 µs; de salidas de impulsos, máx. (A0.0 a A0.1) 10 µs | 10 ms; todas las salidas | 130 µs; de salidas estándar, máx. (A0.2 a A0.5) 100 µs; de salidas de impulsos, máx. (A0.0 a A0.1) 10 µs | 10 ms; todas las salidas |
| Conexión en paralelo de 2 salidas | | | | |
| • para aumentar la potencia | Si | No | Si | No |
| Frecuencia de conmutación | | | | |
| • de las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx. | 20 kHz; A0.0 a A0.1 | | 20 kHz; A0.0 a A0.1 | |
| Intensidad suma de las salidas (por grupo) | | | | |
| • Posición de montaje horizontal - hasta 55 °C, máx. | 3 A | 6 A | 4,5 A | 6 A |
| • hasta 40 °C, máx. | 3 A | 6 A | 4,5 A | 6 A |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|---|---|---|---|---|
| Salidas de relé | | | | |
| Nº de ciclos de manobra | | 10.000.000; mecánico: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100000 | | 10.000.000; mecánico: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100000 |
| Entradas analógicas | | | | |
| Nº de potenciómetros analógicos | 1; Potenciómetro analógico; resolución 8 bits | 1; Potenciómetro analógico; resolución 8 bits | 1; Potenciómetro analógico; resolución 8 bits | 1; Potenciómetro analógico; resolución 8 bits |
| Alimentación de sensores | | | | |
| Alimentación de sensores 24 V | | | | |
| • 24 V | Si; Rango admisible: 15,4 a 28,8 V | Si; Rango admisible: 20,4 a 28,8 V | Si; Rango admisible: 15,4 a 28,8 V | Si; Rango admisible: 20,4 a 28,8 V |
| • Protección contra cortocircuito | Si; electrónica a 600 mA | Si; electrónica a 600 mA | Si; electrónica a 600 mA | Si; electrónica a 600 mA |
| • Intensidad de salida, máx. | 180 mA | 180 mA | 180 mA | 180 mA |
| Sensor | | | | |
| Sensores compatibles | | | | |
| • BERO a 2 hilos | Si | Si | Si | Si |
| • Intensidad permitida en reposo (BERO a 2 hilos), máx. | 1 mA | 1 mA | 1 mA | 1 mA |
| Funciones integradas | | | | |
| Nº de contadores | 4; Contadores rápidos (cada 30 kHz), 32 bits (signo incl.), utilizables como contadores ascendente-descendente o para la conexión de 2 encoders incrementales con 2 trenes de impulsos desplazados 90° (máx. 20 kHz (contador A/B)); entrada de habilitación y reset parametrizable; posibilidades de interrupción (incl. llamada de un subprograma de contenido libre) al alcanzar la consigna; inversión del sentido de contaje, etc. | 4; Contadores rápidos (cada 30 kHz), 32 bits (signo incl.), utilizables como contadores ascendente-descendente o para la conexión de 2 encoders incrementales con 2 trenes de impulsos desplazados 90° (máx. 20 kHz (contador A/B)); entrada de habilitación y reset parametrizable; posibilidades de interrupción (incl. llamada de un subprograma de contenido libre) al alcanzar la consigna; inversión del sentido de contaje, etc. | 4; Contadores rápidos (cada 30 kHz), 32 bits (signo incl.), utilizables como contadores ascendente-descendente o para la conexión de 2 encoders incrementales con 2 trenes de impulsos desplazados 90° (máx. 20 kHz (contador A/B)); entrada de habilitación y reset parametrizable; posibilidades de interrupción (incl. llamada de un subprograma de contenido libre) al alcanzar la consigna; inversión del sentido de contaje, etc. | 4; Contadores rápidos (cada 30 kHz), 32 bits (signo incl.), utilizables como contadores ascendente-descendente o para la conexión de 2 encoders incrementales con 2 trenes de impulsos desplazados 90° (máx. 20 kHz (contador A/B)); entrada de habilitación y reset parametrizable; posibilidades de interrupción (incl. llamada de un subprograma de contenido libre) al alcanzar la consigna; inversión del sentido de contaje, etc. |
| Frecuencia de contaje (contadores), máx. | 30 kHz | 30 kHz | 30 kHz | 30 kHz |
| Nº de entradas de alarma | 4; 4 flancos de subida y/o 4 flancos de bajada | 4; 4 flancos de subida y/o 4 flancos de bajada | 4; 4 flancos de subida y/o 4 flancos de bajada | 4; 4 flancos de subida y/o 4 flancos de bajada |
| Nº de salidas de impulsos | 2; Salidas rápidas, 20 kHz, con posibilidad de interrupción; con modulación de ancho de impulso y por frecuencia | | 2; Salidas rápidas, 20 kHz, con posibilidad de interrupción; con modulación de ancho de impulso y por frecuencia | |
| Frecuencia límite (impulsos) | 20 kHz | | 20 kHz | |
| Aislamiento galvánico | | | | |
| Aislamiento galvánico módulos de S digitales | | | | |
| • entre los canales | Si; Optoacoplador | Si; Relé | Si; Optoacoplador | Si; Relé |
| • entre los canales, en grupos de | 4 | | 6 | 3 |
| Aislamiento galvánico módulos de E digitales | | | | |
| • entre los canales | Si | Si | Si | Si |
| • entre los canales, en grupos de | | | 4 | 4 |

SIMATIC S7-200

Módulos centrales

CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224 XP, CPU 226

3

Datos técnicos (continuación)

| | 6ES7 211-0AA23-0XB0 | 6ES7 211-0BA23-0XB0 | 6ES7 212-1AB23-0XB0 | 6ES7 212-1BB23-0XB0 |
|--|---|---|---|---|
| Diferencia de potencial admisible entre diferentes circuitos | 500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC | 500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC; 1500 V AC entre 24 V DC y 230 V AC | 500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC | 500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC; 1500 V AC entre 24 V DC y 230 V AC |
| Requisitos medioambientales Condiciones ambientales | Otras condiciones ambientales: ver "Sistema de automatización S7-200, manual del sistema" | | | |
| Temperatura de empleo | | | | |
| • Montaje vertical, mín. | 0 °C | 0 °C | 0 °C | 0 °C |
| • Montaje vertical, máx. | 45 °C | 45 °C | 45 °C | 45 °C |
| • Montaje horizontal, mín. | 0 °C | 0 °C | 0 °C | 0 °C |
| • Montaje horizontal, máx. | 55 °C | 55 °C | 55 °C | 55 °C |
| Presión atmosférica | | | | |
| • Rango permitido, mín. | 860 hPa | 860 hPa | 860 hPa | 860 hPa |
| • Rango permitido, máx. | 1.080 hPa | 1.080 hPa | 1.080 hPa | 1.080 hPa |
| Humedad relativa | | | | |
| • En servicio mín. | 5% | 5% | 5% | 5% |
| • En servicio máx. | 95%; Grado de severidad RH 2 según IEC 1131-2 | 95%; Grado de severidad RH 2 según IEC 1131-2 | 95%; Grado de severidad RH 2 según IEC 1131-2 | 95%; Grado de severidad RH 2 según IEC 1131-2 |
| Grado de protección y clase de protección | | | | |
| • IP 20 | SI | SI | SI | SI |
| Dimensiones y peso | | | | |
| Ancho | 90 mm | 90 mm | 90 mm | 90 mm |
| Alto | 80 mm | 80 mm | 80 mm | 80 mm |
| Profundidad | 62 mm | 62 mm | 62 mm | 62 mm |
| Pesos | | | | |
| Peso, aprox. | 270 g | 310 g | 270 g | 310 g |

| | 6ES7 214-1AD23-0XB0 | 6ES7 214-1BD23-0XB0 | 6ES7 214-2AD23-0XB0 | 6ES7 214-2BD23-0XB0 | 6ES7 216-2AD23-0XB0 | 6ES7 216-2BD23-0XB0 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Tensiones de alimentación | | | | | | |
| Valor nominal | | | | | | |
| • 24 V DC | SI | | SI | | SI | |
| • Rango admisible, límite inferior (DC) | 20,4 V | | 20,4 V | | 20,4 V | |
| • Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V | | 28,8 V | | 28,8 V | |
| • 120 V AC | | SI | | SI | | SI |
| • 230 V AC | | SI | | SI | | SI |
| • Rango admisible, límite inferior (AC) | | 85 V | | 85 V | | 85 V |
| • Rango admisible, límite superior (AC) | | 264 V | | 264 V | | 264 V |
| • Rango admisible de frecuencia, límite inferior | | 47 Hz | | 47 Hz | | 47 Hz |
| • Rango admisible de frecuencia, límite superior | | 63 Hz | | 63 Hz | | 63 Hz |
| Tensiones e intensidades | | | | | | |
| Tensión de carga L+ | | | | | | |
| • Valor nominal (DC) | 24 V | 24 V | 24 V | 24 V | 24 V | 24 V |
| • Rango admisible, límite inferior (DC) | 20,4 V | 5 V | 20,4 V | 5 V | 20,4 V | 5 V |
| • Rango admisible, límite superior (DC) | 28,8 V | 30 V | 28,8 V | 30 V | 28,8 V | 30 V |

SIMATIC S7-200

Módulos analógicos

Módulos analógicos

3

Datos técnicos EM 232

| 6ES7 232-0HB22-0XA0 | | 6ES7 232-0HB22-0XA0 | |
|---|----------------------|---|-------------------|
| Consumo | | Rango de valores convertidos representable | |
| de bus de fondo 5 V DC, máx. | 20 mA | • Señales bipolares | -32.000 a +32.000 |
| de alimentación de sensores o de alimentación externa (24 V DC), máx. | 70 mA | • Señales unipolares | 0 a 32.000 |
| Pérdidas, tip. | 2 W | Error/precisiones | |
| Sistema de conexión | | Límite de error práctico en todo el rango de temperatura | |
| Bornas de E/S enchufables | No | • Tensión, referida al rango de salida | +/- 2 % |
| Salidas analógicas | | • Intensidad, referida al rango de salida | +/- 2 % |
| Nº de salidas analógicas | 2 | Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C) | |
| Rangos de salida, tensión | | • Tensión, referida al rango de salida | +/- 0.5 % |
| • -10 a +10 V | Sr | • Intensidad, referida al rango de salida | +/- 0.5 % |
| Rangos de salida, intensidad | | Aislamiento galvánico | |
| • 4 a 20 mA | Sr | Aislamiento galvánico módulos de S digitales | |
| Resistencia de carga (en rango nominal de la salida) | | • Aislamiento galvánico módulos de S digitales | No |
| • con salidas de tensión, min. | 5 kΩ | Dimensiones y peso | |
| • con salidas de intensidad, máx. | 0,5 kΩ | Ancho | 46 mm |
| Formación de valores analógicos | | Alto | 80 mm |
| Tiempo de integración y conversión/resolución por canal | | Profundidad | 62 mm |
| • Resolución (incl. rango de rebase) | U/12 bits, I/11 bits | Pesos | |
| Tiempo de estabilización | | Peso, aprox. | 148 g |
| • para salida de tensión | 100 µs | | |
| • para salida de intensidad | 2 ms | | |

Datos técnicos EM 235

| 6ES7 235-0KD22-0XA0 | | 6ES7 235-0KD22-0XA0 | |
|---|----------------|---|----|
| Consumo | | • 0 a +5 V | Sr |
| de bus de fondo 5 V DC, máx. | 30 mA | • 0 a +10 V | Sr |
| de alimentación de sensores o de alimentación externa (24 V DC), máx. | 60 mA | • -1 V a +1 V | Sr |
| Pérdidas, tip. | 2 W | • -10 V a +10 V | Sr |
| Sistema de conexión | | • -100 mV a +100 mV | Sr |
| Bornas de E/S enchufables | No | • -2,5 V a +2,5 V | Sr |
| Entradas analógicas | | • -25 mV a +25 mV | Sr |
| Nº de entradas analógicas | 4; Diferencial | • -250 mV a +250 mV | Sr |
| Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx. | 30 V | • -5 V a +5 V | Sr |
| Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción), máx. | 32 mA | • -50 mV a +50 mV | Sr |
| Rangos de entrada (valores nominales), tensiones | | • -500 mV a +500 mV | Sr |
| • Tensión | Sr | Rangos de entrada (valores nominales), intensidades | |
| • 0 a +50 mV | Sr | • Intensidad | Sr |
| • 0 a +100 mV | Sr | • 0 a 20 mA | Sr |
| • 0 a +500 mV | Sr | Linealización de característica | |
| • 0 a +1 V | Sr | • para medida de tensión | No |
| | | • para medida de intensidad | No |
| | | Compensación de temperatura | |
| | | • parametrizable | No |

SIMATIC S7-200

Módulos analógicos

Módulos analógicos

3

| Datos técnicos EM 235 (continuación) | | Datos de pedido | Referencia |
|--|---|---|---------------------|
| | 6ES7 235-0KD22-0XA0 | Módulo de entradas analógicas A) EM 231 para CPU 222/224/224 XP/226; 4 entradas, 0-10 V, resolución 12 bits | 6ES7 231-0HC22-0XA0 |
| Formación de valores analógicos | | Módulo de salidas analógicas A) EM 232 para CPU 222/224/224 XP/226; 2 salidas, ± 10 V, resolución 12 bits | 6ES7 232-0HB22-0XA0 |
| Tiempo de integración y conversión/resolución por canal | | Módulo de entradas y salidas analógicas EM 235 para CPU 222/224/224 XP/226; 4 entradas, 1 salida, ± 10 V DC, resolución 12 bits | 6ES7 235-0KD22-0XA0 |
| • Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), max. | 12 bit(s); 11 bits para salida de corriente | Borne de puesta a tierra | 6ES5 728-8MA11 |
| • Tiempo básico de conversión, ms | < 0,25 ms | 10 unidades | |
| • Supresión de perturbaciones de tensión para frecuencia perturbadora f1 en Hz | 40 dB, DC a 60 Hz | Juego de tapas frontales | |
| Tiempo de estabilización | | contiene distintas tapas para CPU y EM; repuesto | 6ES7 291-3AX20-0XA0 |
| • para salida de tensión | 100 µs | Sistema de automatización S7-200, Manual del sistema | |
| • para salidad de intensidad | 2 ms | para CPU 221/222/224/224 XP/226 y STEP 7-Micro/Win V4 | |
| Rango de valores convertidos representable | | alemán | 6ES7 298-8FA24-8AH0 |
| • Señales bipolares | -32.000 a +32.000 | inglés | 6ES7 298-8FA24-8BH0 |
| • Señales unipolares | 0 a 32.000 | francés | 6ES7 298-8FA24-8CH0 |
| Error/precisiones | | español | 6ES7 298-8FA24-8DH0 |
| Límite de error práctico en todo el rango de temperatura | | italiano | 6ES7 298-8FA24-8EH0 |
| • Tensión, referida al rango de salida | +/- 2 % | chino | 6ES7 298-8FA24-8FH0 |
| • Intensidad, referida al rango de salida | +/- 2 % | | |
| Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C) | | A) Sujeto a los reglamentos de exportación: AL: N y ECCN: EAR99H | |
| • Tensión, referida al rango de salida | +/- 0,5 % | | |
| • Intensidad, referida al rango de salida | +/- 0,5 % | | |
| Supresión de frecuencias perturbadoras para f = n x (fl +/- 1 %), fl = frecuencia perturbadora | | | |
| • Tensión en modo común, máx. | 12 V | | |
| Aislamiento galvánico | | | |
| Aislamiento galvánico módulos de S digitales | No | | |
| • Aislamiento galvánico módulos de S digitales | No | | |
| Aislamiento galvánico módulos E analóg. | No | | |
| • Aislamiento galvánico módulos E analóg. | No | | |
| Dimensiones y peso | | | |
| Ancho | 71,2 mm | | |
| Alto | 80 mm | | |
| Profundidad | 62 mm | | |
| Pesos | | | |
| Peso, aprox. | 186 g | | |

SIMATIC S7-200

Manejo y visualización

Visualizador de textos TD 100C

Sinopsis



- El económico visualizador de textos para el S7-200 con lámina frontal de mando personalizable
- Para funciones de manejo y visualización: permite presentar textos de mensajes, intervenir en el programa de control y forzar entradas y salidas
- Conexión directa a la interfaz de la CPU
- No precisa alimentación separada
- No precisa software de parametrización especial
- Diseño del frontal personalizable
- Ajuste de dirección y contraste mediante menú adjunto

Datos técnicos

| 6ES7 272-1BA10-0YA0 | |
|--|---|
| Alimentación | |
| Tensión de entrada | |
| • Valor nominal (DC) | 24 V; Alimentación a través de la interfaz de comunicación S7-200 |
| Intensidad de entrada | |
| • Valor nominal con 24 V DC | 25 mA |
| MPI | |
| Velocidad de transferencia (PPI), máx. | 187,5 kbits/s |
| 1. Interfaz | |
| Norma física | RS 485 |
| Funcionalidad | |
| • PPI | Sí |
| PPI | |
| • Nº de estaciones, máx. | 126; S7-200, OP, TP, TBP, PG/PC |

| 6ES7 272-1BA10-0YA0 | |
|--|---|
| Manejo y visualización | |
| Display | |
| • Tipo | Cristal líquido (LC) (reflectante) |
| • Número de líneas | 4 |
| • Nº caracteres por línea | 12; Caracteres/línea: 12 ó 16 caracteres/línea: chino 8 |
| • Altura de caracteres | 3,34 mm |
| Requisitos medioambientales | |
| Temperatura de empleo | |
| • mín. | 0 °C |
| • máx. | 60 °C |
| Temperatura de almacenaje/transporte | |
| • mín. | -20 °C |
| • máx. | 70 °C |
| Grado de protección y clase de protección | |
| • IP 65 | Sí |
| Dimensiones y peso | |
| Ancho | 90 mm |
| Alto | 76 mm |
| Profundidad | 36 mm; máx. 44 mm con fijación |
| Recorte para montaje, ancho | 82 mm |
| Recorte para montaje, alto | 69,5 mm |
| Espesor de armario/panel | 1,5 mm |
| Pesos | |
| Peso, aprox. | 120 g |

| Datos de pedido | Referencia |
|--|----------------------|
| Visualizador de textos TD 100C con elementos de mando personalizables en la lámina frontal del equipo; para conectar a SIMATIC S7-200; aplicable con STEP 7-Micro/WIN V4 o superior, se necesita cable de conexión | 6ES7 272-1BA10-0YA0 |
| Cable de conexión para conectar un TD 100C ó TD 200C a S7-200 | 6ES7 901-3EB10-0XA0 |
| Láminas virgenes Para imprimir los diseños de teclado en frontal personalizados; 6 láminas perforadas por pliego; paquete con 10 pliegos | 6ES7 272-1BF00-7AA0 |
| Accesorios para pedidos posteriores | |
| Cables de conexión | véase catálogo ST 90 |
| Conectores | véase catálogo ST 90 |

3