

**REPONTENCIACIÓN DE LA PRÁCTICA DE SERVOS DE POSICIÓN EN  
CONTROL AUTOMÁTICO (SERVOSISTEMAS DE POTENCIA FLUIDA)**

**JUAN PABLO FUENTES VILLALOBOS  
OSCAR LEANDRO SARMIENTO VILLAMIZAR**

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

**2013**

**REPONTENCIACIÓN DE LA PRÁCTICA DE SERVOS DE POSICIÓN EN  
CONTROL AUTOMÁTICO (SERVOSISTEMAS DE POTENCIA FLUIDA)**

**JUAN PABLO FUENTES VILLALOBOS  
OSCAR LEANDRO SARMIENTO VILLAMIZAR**

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

**Director:  
ABEL ANTONIO PARADA CORRALES  
MSC. Ingeniero Mecánico**

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

**2013**

## AGRADECIMIENTOS

*Al profesor Abel Antonio Parada Corrales, por permitirnos realizar el proyecto en su materia Control Automático, sus enseñanzas y consejos.*

*Al profesor Edgar Vicente Rodríguez del Colegio Tecnológico, quien fue de gran ayuda en la realización del proyecto y quien nunca dudo de realización de este.*

*A Teresa García, quien se ha comportado como una segunda madre y me ha brindado sus consejos y su apoyo.*

*Al ingeniero Electrónico Jhonattan Moreno, quien nos ayudó con las adaptaciones que se realizaron a la placa arduino para que pudiera funcionar en el proyecto.*

*A Henry Cruz, Fredy Vargas y Gonzalo Calderón quienes nos ayudaron con realización de elementos para el proyecto como lo fueron el panel de control del PFC y otras adaptaciones.*

*Sin estas personas no se hubiera podido culminar el proyecto con los resultados satisfactorios que se obtuvieron.*

*JUAN PABLO FUENTES VILLALOBOS*

## **AGRADECIMIENTOS**

*“A mi familia por la paciencia y apoyo en momentos difíciles y a Dios por cuidar de ellas.”*

*Oscar Leandro Sarmiento Villamizar*

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme las facultades, la fortaleza, la perseverancia, el carácter para cumplir esta meta, y la vocación para desempeñarme en la admirable labor de ingeniero mecánico.*

*A mis padres, Ismael Fuentes (Q.F.P.D) y Maria Consuelo Villalobos Berbesi; quienes me enseñaron mis valores, la disciplina y los principios que me permitieron emprender diversos proyectos; proporcionándome la formación con la cual, de forma autónoma logre un sostenimiento económico permanente en el trayecto de mi vida estudiantil, alcanzando mi progreso profesional y personal.*

*A mis hijos Ismael Antonio Fuentes García y Aris Matias Fuentes Bautista, quienes me dieron el impetu y la fuerza que me habilitaron a continuar a pesar de los obstáculos, siendo la inspiración primordial de mi vida y la razón del incesante empeño con el que escale hacia la cúspide de mis aspiraciones.*

*A mi novia Jully Milena Prada Pérez, que durante procesos cruciales, estuvo presente confiando y originando una nueva dirección al estribo de mi vida, ofreciendo colaboración, apoyo, incondicionalidad, ánimo e ilimitada fe en mis capacidades cognitivas y humanas.*

*A mis amigos Cristian Mauricio Vargas, Catalina Rodríguez Acevedo, Raúl García Calderón, Henry Leandro Prada Suarez (Q.F.P.D), Juan Gabriel León Duarte, Diego Roberto Gélvez, Darío Choca Melo, Wilfred Emilio Palacio Verano, Isnardo Arenas, Miguel Ángel Meza Chaparro, y Jorge Mercado; quienes cooperaron aportando conocimientos académicos, defendieron mis ideales como los suyos, animaron en las dificultades, y principalmente fueron quienes me adoptaron en sus familias como un miembro más de esta.*

*A mis compañeros de estudio, a mis profesores, a mis familiares, y en general a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a mi permanencia como estudiante de la UQJ, y aquellas que me apadrinaron en cada etapa de la obtención de mi título como ingeniero mecánico.*

*JUAN PABLO FUENTES VILLALOBOS*

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por bendecirme con una hermosa familia. Por brindarme salud, sabiduría, la esperanza que me mueve cada día, las fuerzas que necesito en momentos difíciles y por cuidar a las personas que amo, porque ellos son mi felicidad y siempre estarán en mis oraciones.*

### ***A mis padres***

*Eurípides Sarmiento Gutiérrez y Martha Cecilia Villamizar, por creer en mis decisiones, mis sueños, y en mis capacidades. De brindarme una educación, y por todos los consejos que me recuerdan que cada día debo seguir adelante con mis sueños sin importar los obstáculos. Los amo con todas las fuerzas de mi corazón.*

### ***A mis hermanos***

*Diego Felipe y Laura Karina Sarmiento Villamizar, por los momentos únicos, y el sentir de un amor puro, sencillo y verdadero y a quienes espero algún día ser un ejemplo de vida. Gracias por sus ánimos y lealtad. Para María José, mi angelito divino, gracias por esos abrazos y risas que mueven mi alma.*

### ***A mi novia***

*Jenny Paola Daza, gracias por tu inmensa luz que me recuerda el coraje y la valentía que debo entregar en cada propósito de mi vida. Recuerda que siempre estarás en mi corazón,*

### ***A la Familia Daza Cuadros***

*Gracias por infundir berraquera, alegría y sencillez en mi vida.*

### ***A mi Tata***

*Gracias por su generosidad y por sus sabias palabras. Por ser la madrina más linda del mundo.*

### ***A mis amigos***

*John Henry Neira y Wilson Salinas por la amistad sincera e incondicional.*

### ***A mi abuelo***

*Isaías Villamizar por ser el mejor hombre que he conocido en mi vida, tu gran nobleza nunca la olvidaré. Siempre sentiré que me cuidas desde el cielo.*

*Oscar Leandro Sarmiento Villamizar.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	22
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	23
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	26
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos .....	28
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	28
2 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE SERVOSISTEMAS DE POSICIÓN.....	33
2.1 ESTRUCTURA .....	33
2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL BANCO.....	41
2.2.1 Conector de la servoválvula.....	41
2.2.2 Tarjetas de adaptación de las señales de entrada y de salida del Arduino .....	43
2.2.3 Resortes.....	50
2.2.4 Tablero de control .....	52
2.3 ELABORACION DEL MODELO MATEMATICO.....	55
2.3.1 Procedimiento para la elaboración de modelos matemáticos (modelado matemático) .....	56
2.3.2 Un sistema en lazo cerrado sujeto a una perturbación .....	57
2.3.3 Modelado dinámico del servosistema de posición .....	59

2.3.3.1 Procedimiento para la elaboración del modelado matemático del servosistema de posición .....	61
3 PRUEBAS Y RESULTADOS .....	73
3.1PRUEBA (1): SERVOSISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 Y PLACA ARDUINO MEGA 2560 (PRUEBA DE ESCALÓN).....	73
3.1.1 Prueba de escalón con PLC S7-200.....	73
3.1.1.1 Prueba escalón a la servoválvula .....	73
3.1.1.2 Prueba escalón a la válvula proporcional .....	76
3.1.2 Prueba de escalón con Arduino MEGA 2560.....	79
3.1.2.1 Prueba escalón a la servoválvula .....	79
3.1.2.2 Prueba escalón a la válvula proporcional .....	82
3.2PRUEBA (2): REPETIBILIDAD DEL SERVOSISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 ADQUIRIENDO LOS DATOS EN UNA MACRO DE EXCEL.. .....	86
3.2.1 Cálculo del porcentaje de error para la servoválvula .....	87
3.2.2 Cálculo del porcentaje de error para la válvula proporcional .....	87
3.3PRUEBA (3): REALIZACIÓN DE EJERCICIOS CON EJES COORDENADOS... .....	88
3.3.1 Prueba Gráfica1. Realización de un círculo con centro en el punto (0,0)	89
3.3.2 Prueba Gráfica 2. Posicionar el sistema en cuatro puntos coordenados.	91
4 MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE SERVOSISTEMAS DE POSICIÓN DE LA MATERIA CONTROL AUTOMATICO .....	94
04.1OBJETIVO GENERAL.....	94
4.2EQUIPOS DE LA PRÁCTICA Y SUS CONEXIONES.....	94
4.3PRÁCTICA (1). SERVOSISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 Y PLACA ARDUINO MEGA 256. ....	104

4.3.1 Objetivos .....	104
4.3.2 Descripción .....	104
4.3.3 Metodología .....	105
4.3.4 Análisis de Resultados.....	114
4.4PRÁCTICA (2). REPETIBILIDAD DEL SERVOSISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 ADQUIRIENDO LOS DATOS EN UNA MACRO DE EXCEL.....	115
4.4.1 Objetivos .....	115
4.4.2 Descripción .....	115
4.4.3 Metodología .....	116
4.4.4 Análisis de resultados .....	126
4.5PRÁCTICA (3). REALIZACIÓN DE EJERCICIOS CON EJES COORDENADOS.....	121
5.5.1 Objetivos .....	121
5.5.2 Metodología .....	121
5.5.3 Análisis de resultados .....	127
5 CONCLUSIONES .....	128
BIBLIOGRAFIA .....	130
ANEXOS .....	132

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Banco anterior de servosistemas de posición .....	29
<b>Figura 2.</b> Servoválvula MOOG 62 .....	30
<b>Figura 3.</b> Estructura antigua y nueva .....	31
<b>Figura 4.</b> Sistema hidráulico del banco de Servosistemas de Posición .....	32
<b>Figura 5.</b> Estructura antigua del laboratorio de servosistemas de posición .....	33
<b>Figura 6.</b> Estructura final del banco de servosistemas de posición .....	34
<b>Figura 7.</b> Estructura simulación 2.2-Estudio 1-Tensiones-Tensiones 1 .....	38
<b>Figura 8.</b> Estructura simulación 2.2-Estudio 1-Desplazamientos-Desplaz. 1 ...	38
<b>Figura 9.</b> Estructura simulación 2.2-Estudio 2-Desplazamientos-Desplaz. 1 ...	39
<b>Figura 10.</b> Estructura simulación 2.2-Estudio 1-Verificación de diseño-Verificación de diseño 1 .....	39
<b>Figura 11.</b> Conector original de la servoválvula MOOG 62 del laboratorio .....	42
<b>Figura 12.</b> Conectores rediseñados de la servoválvula MOOG 62 .....	42
<b>Figura 13.</b> Esquema electrónico de la tarjeta de adaptación para las señales de entradas.....	44
<b>Figura 14.</b> Conexiones de la tarjeta de entrada con la placa Arduino.....	45
<b>Figura 15.</b> Esquema electrónico de la t. adaptadora para las señales salida ..	47
<b>Figura 16.</b> Conexiones de la tarjeta de salida con la placa Arduino.....	48
<b>Figura 17.</b> Circuito impreso de la tarjeta de entrada .....	49
<b>Figura 18.</b> Circuito impreso de la tarjeta de salida .....	49
<b>Figura 19.</b> Tarjetas adaptadoras de las señales ensambladas a la placa Arduino 2560.....	50
<b>Figura 20.</b> Prueba de los resortes.....	50
<b>Figura 21.</b> Gráfica Fuerza aplicada al resorte en función de su deformación...52	
<b>Figura 22.</b> Tablero de control... ..	53
<b>Figura 23.</b> Entradas/salidas analógicas (⑧,⑨,⑩) y puertos de conexión a tierra GND (⑪,⑫,⑬).....	54
<b>Figura 24.</b> Elementos integrados en el tablero de control... ..	54

<b>Figura 25.</b> Sistema de lazo cerrado sujeto a una perturbación.....	58
<b>Figura 26.</b> Diagrama de bloques del banco Servosistema de Posición....	59
<b>Figura 27.</b> Esquema de control de posición del modelado.....	61
<b>Figura 28.</b> Análisis del resorte.....	62
<b>Figura 29.</b> Esquema General del Sistema de Control de Posición.....	63
<b>Figura 30.</b> Diagrama de la corredera principal de la servoválvula.....	65
<b>Figura 31</b> Diagrama de bloques del sistema de control de posición desarrollado en <b>simulink</b> .....	71
<b>Figura 32.</b> Respuesta del sistema.....	72
<b>Figura 33.</b> Escalón a 5 [cm] con la servoválvula.....	73
<b>Figura 34.</b> Escalón a 10 [cm] con la servoválvula.....	74
<b>Figura 35.</b> Escalón a 15 [cm] con la servoválvula.....	74
<b>Figura 36.</b> Escalón a 25 [cm] con la servoválvula.....	75
<b>Figura 37.</b> Escalón a 30 [cm] con la servoválvula.....	75
<b>Figura 38.</b> Escalón a 35 [cm] con la servoválvula.....	76
<b>Figura 39.</b> Escalón a 5 [cm] con la válvula proporcional.....	76
<b>Figura 40.</b> Escalón a 10 [cm] con la válvula proporcional.....	77
<b>Figura 41.</b> Escalón a 15 [cm] con la válvula proporcional.....	77
<b>Figura 42.</b> Escalón a 25 [cm] con la válvula proporcional.....	78
<b>Figura 43.</b> Escalón a 30 [cm] con la válvula proporcional .....	78
<b>Figura 44.</b> Escalón a 35 [cm] con la válvula proporcional... ..	79
<b>Figura 45.</b> Escalón a 5 [cm] con la servoválvula.....	79
<b>Figura 46.</b> Escalón a 10 [cm] con la servoválvula.....	80
<b>Figura 47.</b> Escalón a 15 [cm] con la servoválvula.....	80
<b>Figura 48.</b> Escalón a 25 [cm] con la servoválvula.....	81
<b>Figura 49.</b> Escalón a 30 [cm] con la servoválvula.....	81
<b>Figura 50.</b> Escalón a 35 [cm] con la servoválvula.....	82
<b>Figura 51.</b> Escalón a 5 [cm] con la válvula proporcional.....	82
<b>Figura 52.</b> Escalón a 10 [cm] con la válvula proporcional.....	83
<b>Figura 53.</b> Escalón a 15 [cm] con la válvula proporcional.....	83
<b>Figura 54.</b> Escalón a 25 [cm] con la válvula proporcional.....	84
<b>Figura 55.</b> Escalón a 30 [cm] con la válvula proporcional.....	84

<b>Figura 56.</b> Escalón a 35 [cm] con la válvula proporcional.....	85
<b>Figura 57.</b> Adquisición de datos del PLC S7-200 en la realización de una circunferencia con radio de valor 1000 (escala personalizada).....	89
<b>Figura 58.</b> Adquisición de datos del PLC S7-200 en la realización de una circunferencia con radio de valor 1500 (escala personalizada).....	90
<b>Figura 59.</b> Gráfica del valor ideal de puntos solicitados.....	92
<b>Figura 60.</b> Gráfica del valor real de puntos solicitados.....	92
<b>Figura 61.</b> Panel de control del PLC.....	94
<b>Figura 62.</b> Adaptación Arduino Mega 2560.....	95
<b>Figura 63.</b> Visualizador de sensores.....	96
<b>Figura 64.</b> Sección de conexiones del tablero de control del PLC.....	96
<b>Figura 65.</b> Entradas del PLC.....	97
<b>Figura 66.</b> Salidas del PLC.....	98
<b>Figura 67.</b> Adaptación Microcontrolador.....	98
<b>Figura 68.</b> Conexión LVDT.....	99
<b>Figura 69.</b> Conexiones de los solenoides proporcionales.....	100
<b>Figura 70.</b> Válvula proporcional.....	100
<b>Figura 71.</b> Conexiones parte frontal tarjeta servoamplificadora de la válvula proporcional.....	101
<b>Figura 72.</b> Tarjeta servoamplificadora de la servoválvula.....	102
<b>Figura 73.</b> Interruptores de la sección hidráulica.....	103
<b>Figura 74.</b> PLC S7-200 CPU224.....	105
<b>Figura 75.</b> Ventana Micro/Win 4.0.....	106
<b>Figura 76.</b> Barra de herramientas Micro/Win 4.0.....	106
<b>Figura 77.</b> Tabla de estado de Micro/Win4.0 .....	107
<b>Figura 78.</b> Panel de control del PLC .....	108
<b>Figura 79.</b> Ventana MicroWin4.0 para utilizar el panel de sintonía PID .....	109
<b>Figura 80.</b> Panel de sintonía PID de Micro/Win4.0.....	109
<b>Figura 81.</b> Programa Arduino.....	111
<b>Figura 82.</b> Processing.....	112
<b>Figura 83.</b> Interfaz gráfica Processing.....	113
<b>Figura 84.</b> PLC S7-200 CPU224.....	116

<b>Figura 85.</b> Ventana Micro/Win 4.0.....	117
<b>Figura 86.</b> Barra de herramientas Micro/Win 4.0.....	117
<b>Figura 87.</b> Gráfica MACRO REPET GRAF1 Y 2.....	118
<b>Figura 88.</b> Panel de control del PLC.....	119
<b>Figura 89.</b> Macro en la hoja de repetibilidad.....	120
<b>Figura 90.</b> PLC S7-200 CPU224.....	122
<b>Figura 91.</b> Ventana Micro/Win 4.0.....	122
<b>Figura 92.</b> Barra de herramientas Micro/Win 4.0.....	123
<b>Figura 93.</b> MACRO REPET GRAF1 Y 2.....	122
<b>Figura 94.</b> Hoja Gráfica 1.....	124
<b>Figura 95.</b> Hoja Gráfica 2.....	125
<b>Figura 96.</b> Panel de control del PLC.....	126
<b>Figura 97.</b> Plataforma Arduino Mega 2560.....	133
<b>Figura 98.</b> Conectar la alimentación S7-200.....	152
<b>Figura 99.</b> Elementos de la CPU 224.....	155
<b>Figura 100.</b> Representación de la conexión del PC al PLC por medio del cable multimaestro.....	158
<b>Figura 101.</b> Módulo de ampliación EM-235.....	159
<b>Figura 102.</b> Tarjeta Servoamplificadora Vickers EEA-PAM-533-A-32.....	163
<b>Figura 103.</b> Conexión y panel frontal de la tarjeta servoamplificadora Vickers.....	162
<b>Figura 104.</b> Diagrama de bloques de la tarjeta servoamplificadora.....	165
<b>Figura 105.</b> Circuito externo servoamplificadora MOOG.....	169
<b>Figura 106.</b> Esquema electrónico de la tarjeta servoamplificadora MOOG....	170

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Material de la estructura simulada.....	35
<b>Tabla 2.</b> Restricción de las caras para la simulación de la estructura .....	36
<b>Tabla 3.</b> Cargas aplicadas a la estructura simulada.....	36
<b>Tabla 4.</b> Información de la malla de la estructura simulada.....	36
<b>Tabla 5.</b> Información del solver.....	37
<b>Tabla 6.</b> Resultados predeterminados.....	37
<b>Tabla 7.</b> Material de la estructura final.....	40
<b>Tabla 8.</b> Propiedades Físico-Mecánicas de la estructura .....	40
<b>Tabla 9.</b> Datos de prueba a resortes del banco.....	51
<b>Tabla 10.</b> Parámetros conocidos para el modelo matemático del servo-actuador hidráulico. ....	69
<b>Tabla 11.</b> Adquisición de datos del proceso y setpoint de la servoválvula y la válvula proporcional. ....	86
<b>Tabla 12.</b> Cuatro puntos ejes coordenados.....	91
<b>Tabla 13.</b> Descripción Arduino Mega 2560.....	134
<b>Tabla 14.</b> Referencia de la CPU.....	156
<b>Tabla 15.</b> Datos técnicos generales de las CPU....	157
<b>Tabla 16.</b> Datos técnicos de la CPU 224.....	157
<b>Tabla 17.</b> Características técnicas del Módulo EM-235.....	160
<b>Tabla 18.</b> Cuadro de interruptores de configuración del EM-235 para seleccionar el rango de las entradas analógicas y la resolución.....	161
<b>Tabla 19.</b> Conectores de entrada/salida analógica de la CPU.....	162
<b>Tabla 20.</b> Datos generales del Servoamplificador.....	167
<b>Tabla 21.</b> Suministro de energía (solo para N121-132A).....	168
<b>Tabla 22.</b> Valores PID de Arduino.....	233
<b>Tabla 23.</b> Valores PID'sPLC S7-200.....	233

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Placa Arduino MEGA 2560.....	133
<b>Anexo B.</b> Servoválvula MOOG 62.....	136
<b>Anexo C.</b> Válvula proporcional Vickers KD4V-3-2C13N.....	143
<b>Anexo D.</b> Transductores de posición Temposonic.....	147
<b>Anexo E.</b> Controlador Lógico Programable PLC S7-200.....	151
<b>Anexo F.</b> Tarjeta amplificadora VICKERS EEA-PAM-533-A-32.....	163
<b>Anexo G.</b> Tarjeta servoamplificadora MOOG.....	167
<b>Anexo H.</b> Código de Arduino y Processing.....	171
<b>Anexo I.</b> Código del PLC.....	191
<b>Anexo J.</b> Plano estructura.....	231
<b>Anexo K.</b> Planoconector servoválvula MOOG 62.....	232
<b>Anexo L.</b> Tablas valores PID ARDUINO Y S7-200.....	233

## RESUMEN

**TÍTULO:** REPOTENCIACIÓN DE LA PRÁCTICA DE SERVOS DE POSICIÓN EN CONTROL AUTOMÁTICO (SERVOSISTEMAS DE POTENCIA FLUIDA)\*.

**AUTORES:** FUENTES VILLALOBOS Juan Pablo;  
SARMIENTO VILLAMIZAR Oscar Leandro\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Control posición, hidráulica proporcional, servoválvula, válvula proporcional, PLC S7-200, microcontrolador Arduino ATMEGA 2560, algoritmo PID.

### DESCRIPCIÓN.

La Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con el laboratorio de la asignatura de Control automático, que proporciona elementos y medios para la revisión, aplicación y profundización de las teorías adquiridas en clase de los sistemas de control de posición, velocidad y fuerza, brindando una herramienta al estudiante para su vida profesional. Para el entrenamiento en la hidráulica proporcional y los sistemas de control aplicados en la asignatura, simulando procesos industriales, se utiliza como elementos principales: las servoválvulas y válvulas proporcionales, ya que tienen posiciones infinitas con respuestas rápidas, buena linealidad y mayor exactitud en el manejo de todo tipo de potencias, con el cual se consigue el control de cualquier sistema. En la práctica del banco de servos de posición se realizan dos aplicaciones: (1) Es la comparación entre el funcionamiento de una válvula proporcional y una servoválvula, y la comparación de los controladores utilizados en este proyecto (PLC S7-200 y Arduino Mega 2560); (2) La operación de planos coordenados XY, controlados por medio de un autómatas programable (PLC). Con los requisitos expuestos, el sistema se complementa reactivando el uso del autómatas programable PLC y el microcontrolador Arduino, donde se acoplaron a la planta según condiciones necesarias impuestas por las señales de entradas y salidas por la servoválvula, válvula proporcional, transductores y la máquina en sí, en cuanto a valores de voltaje, velocidad de respuesta y muestreo, que pueden revisarse por medio de la obtención de datos realizados en cada controlador.

El objetivo del proyecto es implementar una herramienta donde se aplique los fundamentos técnicos del control PID a través del software del controlador, insertando el valor de las constantes PID (proporcional, integral, derivativo) por método de tanteo, se analice la respuesta de la variable controlada con respecto al valor de entrada hasta lograr una respuesta estable, precisa y rápida.

---

\* Proyecto de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Msc. ABEL ANTONIO PARADA CORRALES.

## ABSTRACT

**TITLE:** REPOWERING PRACTICE IN POSITION SERVO AUTOMATIC CONTROL (FLUID POWER SERVO SYSTEMS)\*.

**AUTHORS:** FUENTES VILLALOBOS Juan Pablo;  
SARMIENTO VILLAMIZAR Oscar Leandro\*\*.

**KEYWORDS:** Position control, hydraulicproportional, servo valve, proportionalvalve, PLC S7-200, ATMEGA 2560 microcontroller Arduino, PID algorithm.

### DESCRIPTION.

The School of Mechanical Engineering has a laboratory in the subject of Automatic Control, providing the student elements and means for the review, development and deepening of the theories learned in class, about position control systems, speed and strength, giving a tool the students for their professional lives. For training in proportional hydraulics and control systems applied in the subject, simulating industrial processes, using as main elements: the servo valves and proportional valves, considering that they have unlimited positions with rapid response, good linearity and greater accuracy in handling all types of power, getting the control of any system. In practice the servos bank's position performs two applications: 1. It's the comparison between the operation of a proportional valve and a servo valve, and the comparison of the drivers used in this project (S7-200 PLC and Arduino Mega 2560); 2. The XY coordinate planes' operation, controlled by a programmable logic controller (PLC). With these requirements, the system is complemented by reactivating the use of Programmable Logic Controller PLC and Arduino microcontroller, which were coupled to the plant according to conditions imposed by the input and output signals for the servo valve, proportional valve, transducers and machine itself, in terms of voltage values, response speed and sampling, and these values may be checked by the data acquisition performed at each controller.

The objective of the project is to implement a tool applying technical fundamentals of PID control, through the driver software, inserting the value of the constant PID (proportional, integral, derivative) by trial and error method, is analyzed the response of the controlled variable with respect to the input value achieving a stable response, accurate and fast.

---

\*Thesis Project.

\*\*Faculty Physical Mechanical of Engineering.School of Mechanical Engineering. Director: Msc. Abel Antonio Parada Corrales.

## INTRODUCCIÓN

La importancia de la hidráulica proporcional en la industria ha ocasionado la evolución de instrumentos de control aplicados a sistemas hidráulicos basados en elementos, como servoválvulas, válvulas proporcionales de dirección y válvulas proporcionales de presión, con las cuales se puede tener una mayor exactitud, flexibilidad, eficiencia y efectividad en los procesos industriales, manejando todo tipo de potencias como se muestra en este proyecto.

La escuela de ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander en vista de la importancia en el manejo de estos sistemas, tiene en su programa académico las asignaturas de Control Automático (Servosistemas de Potencia Fluida) y Autómatas Programables, con las cuales el estudiante adquiere las habilidades y destrezas para poderse desempeñar en este campo. Estas asignaturas dan a los estudiantes los espacios de aprendizaje y práctica, enriqueciendo la formación en estas áreas del futuro ingeniero.

Es por esto que el laboratorio de Control Automático (Servosistemas de Potencia Fluida), cuenta con prácticas para la profundización en los sistemas de control de posición, velocidad y fuerza. Para el caso de este proyecto se repotenció el banco de servos de posición y se complementó con las últimas tecnologías de controladores, como lo son las tarjetas servoamplificadoras, Autómatas Programables Industriales API y Microcontroladores.

Estas prácticas dan una capacidad crítica y de selección de dichos controladores para los sistemas industriales a los estudiantes que deseen profundizar en estos campos. Brindando un entrenamiento en hidráulica proporcional y sistemas de control, como un valor agregado a la formación de los Ingenieros Mecánicos de la Universidad Industrial de Santander.

# 1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las herramientas de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander para idealizar y ratificar los conceptos teóricos, es la práctica e implementación de éstos por medio de laboratorios, buscando resolver dudas cognitivas y despertar el espíritu investigativo en los estudiantes, demostrando a la vez, una mayor eficiencia en las diferentes metodologías, para desarrollar en paralelo el proceso enseñanza-aprendizaje.

Ahora bien, el laboratorio de Potencia Fluida cumple con dichos objetivos buscando relacionar al estudiante con las diferentes aplicaciones de los sistemas hidráulicos a nivel industrial.

Los sistemas hidráulicos estudiados, manejan la potencia proporcionada por un conjunto motor-bomba, en función del caudal y el diferencial de presión, utilizando válvulas (direccionales, presión y caudal) para regular las condiciones de trabajo en cada sistema específico, transformando la energía hidráulica en energía mecánica útil, por medio de los actuadores mecánicos.

Cabe resaltar que, el mejoramiento de los sistemas hidráulicos en el campo industrial, ha guiado a la tecnología en búsqueda de la automatización. El término automatización hace referencia a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con una mínima intervención del ser humano o sin la mediación del mismo.

De ahí que, un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas: mediación, evaluación y

control.<sup>1</sup> Utilizando un modelo matemático o un algoritmo de control que permita mejorar significativamente la exactitud y la respuesta funcional en las máquinas. En las aplicaciones electrohidráulicas (servoválvulas y válvulas proporcionales asociadas a circuitos electrónicos de control), existen tres (3) tipos principales de sistemas de control:

En primera instancia encontramos el control de posición, seguido del control de velocidad y finalmente el control de fuerza (de presión). Esta investigación, profundizará el control de posición sin dejar de lado el control de fuerza (presión) y el control de velocidad, temas programados en el contenido de la asignatura de Servosistemas de Potencia Fluida (Control Automático).

Ahora bien, la finalidad de un sistema de control de posición es mover una carga hasta cierta posición o serie de posiciones<sup>2</sup> preseleccionadas para cumplir una tarea específica. Puede ser el movimiento lineal efectuado por un cilindro o el movimiento giratorio por un motor. Este tipo de control utiliza como elementos principales las servoválvulas y las válvulas proporcionales, ya que dan tiempos rápidos de respuestas, buena linealidad e histéresis (magnitud de la desviación de la salida ideal según que la señal vaya aumentando o disminuyendo y viene como un porcentaje de la salida nominal máxima)<sup>3</sup> baja.

En el laboratorio de Servosistemas de Potencia Fluida (Control Automático) se utiliza un banco para el control de posición, donde se deben realizar dos (2) prácticas: práctica uno (1), la comparación entre el funcionamiento de una válvula proporcional y una servoválvula; practica dos (2), la aplicación para operaciones en planos coordenados X-Y con dos servoválvulas, controlado por medio de un autómeta programable (PLC).

---

<sup>1</sup> Quiminet.com - [http://www.quiminet.com/ar5/ar\\_vcdadddsaAAAssAAAss-que-es-a-automatizacion.htm](http://www.quiminet.com/ar5/ar_vcdadddsaAAAssAAAss-que-es-a-automatizacion.htm).

<sup>2</sup> VICKERS, Manual para servoválvulas y válvulas proporcionales en cadena cerrada. Página 3

<sup>3</sup> *Ibíd.* Página. 19.

A la fecha solo se realiza la práctica uno (1) - la comparación entre servoválvula y válvula proporcional - , dejando de lado la aplicación de operaciones en planos coordenados X-Y. Lo que se intenta corregir, comprando una Servoválvula Moog 62 y reactivando el uso del autómeta programable (PLC), para que los estudiantes de esta manera comprueben y entiendan la operación, al asociar el funcionamiento del banco con un simulador que viene activo en el software del PLC.

Al llegar aquí y para poder representar las prácticas (procesos industriales), es necesario construir un banco que esté dotado con las condiciones mínimas, como los son: inercia en la estructura, accesibilidad a las piezas (mantenimiento), funcionalidad de los elementos y la capacidad de carga; con lo anterior, buscando que el trabajo en el laboratorio sea el más apto para el aprendizaje, que implica desarrollar habilidades profesionales mediante el proceso de **aprender haciendo**.

Con todo y lo anterior es importante resaltar, que dentro de las competencias que debe adquirir el estudiante de Ingeniería Mecánica en el área de control es analizar, diseñar y realizar automatización, para con ello, proveer soluciones a problemas de ingeniería, en el sector industrial y académico. Para cumplir estas condiciones se instruye al estudiante en las siguientes competencias específicas:

- Conocer la instrumentación necesaria para la implementación de sistemas de control en sistemas reales.
- Conocer los equipos informáticos para la implementación de sistemas de tipos de control.
- Conocer las especificaciones y requerimientos en un sistema de control.

- Analizar el lazo control y acciones básicas de control por realimentación (lazo cerrado).
- Conocer métodos de análisis y síntesis de controladores en sistemas realimentados (lazo cerrado).
- Conocer las herramientas informáticas para la simulación, el análisis y la síntesis de controladores.

Estas competencias son adquiridas en la materia de Servosistemas de Potencia Fluida (Control Automático), donde el estudiante tiene la oportunidad de profundizar y entrenarse con los diferentes tipos de controladores como, PLC y los microprocesadores (Arduino). Un banco flexible donde se visualice y compare el funcionamiento de dos o más tipos de controladores permitirá crear en el estudiante una capacidad crítica para seleccionar, conociendo las ventajas de cada uno en su funcionamiento y aplicabilidad en la industria.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

La idea básica del laboratorio de la asignatura es la revisión y aplicación de los conceptos fundamentales de la Teoría de Servosistemas de Potencia Fluida (Control Automático), intentando resolver problemas lo más parecidos posibles a aquéllos que un ingeniero se puede encontrar en su práctica profesional.

La práctica actual del banco de control de posición está incompleta, ya que no se realizan las operaciones en los planos coordenados X-Y debido al daño de la servoválvula. Para solucionar este inconveniente se debe adquirir una servoválvula (Moog 62) que esté en condiciones óptimas de trabajo.

La necesidad de reconstruir la estructura del banco es notoria; la estructura debe adquirir una mayor inercia soportando una carga mayor para poder representar procesos industriales, todo esto hacia la búsqueda de mejorar la distribución, mantenimiento y acceso del banco.

En el campo de la oleo hidráulica existen diferentes tipos de avances tecnológicos para el control de las máquinas industriales. Los sistemas de control se clasifican en dos tipos de acción de control; los sistemas de lazo abierto, que consiste en la acción de control independiente de la salida<sup>4</sup> y los sistemas de lazo cerrado que compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), de acuerdo a las señales que recibe de los sensores, determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o a un valor pequeño<sup>5</sup>, obteniendo una programación centralizada de las partes del proceso. El sistema de control de lazo cerrado es el utilizado para las aplicaciones de este proyecto, en el cual se utilizarán dos tipos de controladores o procesadores (Controlador Lógico Programable PLC y el microcontrolador “Arduino”), para realizar la comparación de su funcionamiento, permitiendo que el estudiante adquiriera un criterio de selección del tipo de controlador, conociendo las debilidades y ventajas a nivel industrial de cada uno y facilitándole el acceso a esta ciencia tecnológica, que involucra sistemas de computación y electrónica, los cuales deben ser parte de sus conocimientos.

## **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.3.1 Objetivo general**

- ✓ Mejorar el banco de la asignatura Servosistemas De Potencia Fluida (Control Automático) permitiendo que los estudiantes puedan reforzar los conceptos adquiridos al realizar la práctica completa. En servosistemas es importante llevar a la experimentación práctica los servos de posición, velocidad y fuerza.

---

<sup>4</sup> SISTEMAS DE CONTROL. Grupo de Investigación de Control Industrial. Área de Automática. [http://objetos.univalle.edu.co/files/Sistemas\\_de\\_control\\_I.pdf](http://objetos.univalle.edu.co/files/Sistemas_de_control_I.pdf)

<sup>5</sup> OGATTA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 3ª Edición. Prentice Hall 1998. Página 211.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Adquirir una Servoválvula que cumpla con los requerimientos del banco de servosistemas para posición en la materia Servosistemas De Potencia Fluida (Control Automático).
- ✓ Diseñar y construir una nueva estructura con mayor inercia y capacidad de carga para el banco ya mencionado.
- ✓ Realizar comparaciones entre diferentes sistemas de control. (PLC Vs Arduino).
- ✓ Ejecutar pruebas de servosistemas de posición comparando el funcionamiento de una servoválvula y una válvula proporcional en términos de posición.
- ✓ Realizar aplicaciones para operaciones en planos coordenados X-Y controlado por PLC.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

El presente trabajo de grado, busca reconstruir el banco de servosistemas de posición, ubicado en el laboratorio de Servosistemas De Potencia Fluida (Control Automático), para la realización completa de la prueba, con más capacidad de carga y mayor flexibilidad de sistemas de control.

**Figura 1.**Banco anterior de servosistemas de posición.



Una ventaja en los sistemas hidráulicos es su capacidad de controlar potencias muy elevadas con componentes relativamente pequeños. Los componentes básicos del banco de servosistemas de posición son: dos actuadores lineales (cilindros), dos servoválvulas, una válvula proporcional, y dos sensores de posición (temposonic). El uso de las señales electrónicas con la capacidad de los componentes hidráulicos de responder con precisión, ha desarrollado una tecnología de control adecuada idealmente para aplicaciones en cadena cerrada<sup>6</sup>. El sistema de control para la interrelación de los componentes del proyecto tiene el propósito de mover por cada cilindro una carga a una posición o series de posiciones lineales, con mayor precisión, una respuesta rápida y una flexibilidad de programación.

Para que el proyecto sea viable, es necesario adicionar el contenido de la práctica que no es realizable en este momento y lograr que las dos

---

<sup>6</sup>VICKERS, Manual para servoválvulas y válvulas proporcionales en cadena cerrada.

servoválvulas funcionen correctamente. Además al asignar una estructura más estable que soporte el aumento de la carga, lo que da al estudiante una herramienta al representar un sistema real, permitiendo conocer el funcionamiento hidráulico y las opciones de controlarlo, sabiendo que cuando la flexibilidad y/o la precisión requeridas para el sistema aumentan, también aumenta su complejidad y costo.

Para conseguir los objetivos de este proyecto de realizar aplicaciones para operaciones en planos coordenados X-Y controlado por PLC, es necesario el uso de servoválvulas en vez de válvulas proporcionales ya que las condiciones de operación de estas aumentan la precisión y la capacidad de las cargas. Por este motivo se decidió comprar la Servoválvula Moog 62-303B, garantizando su funcionamiento y exactitud.

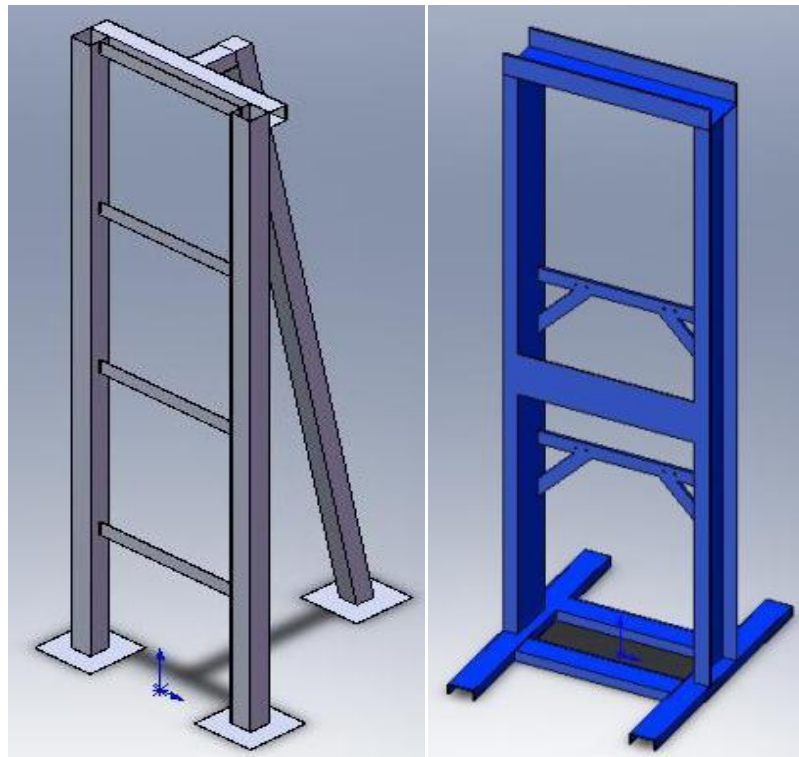
**Figura 2.** Servoválvula Moog 62.



El cambio de la estructura se debe realizar para mejorar su estabilidad al aumentar las cargas. Para cumplir esta necesidad se debe subir su inercia haciendo la nueva estructura con materiales más resistentes y de mayores espesores. El poder facilitar el mantenimiento del banco, se logra al manejar dimensiones más asequibles para evitar accidentes y ubicando los componentes en lugares estratégicos, comenzando por las servoválvulas, ya que para realizar la práctica completa se necesita desconectar una y reemplazarla por la válvula proporcional para ejecutar la comparación entre estos dos componentes. En la actualidad, el banco trabaja con cuatro cilindros,

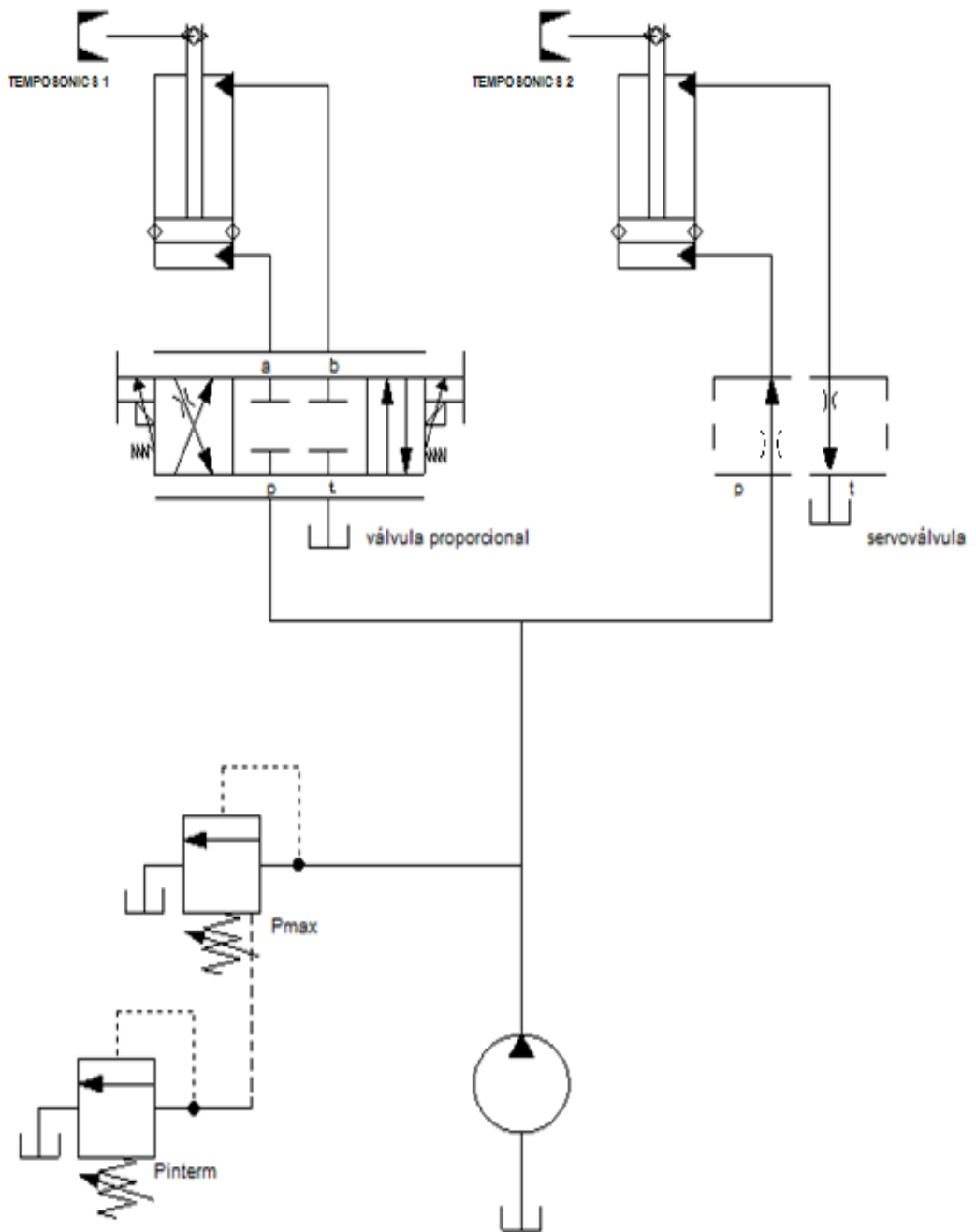
de los cuales dos están funcionando como acoples para poder cumplir con la función principal que es el desplazamiento controlado de las cargas, al remover estos dos componentes, se disminuirán las pérdidas hidráulicas y la altura del banco, y estos pueden ser utilizados en otro banco u otro proyecto para mejorar el aprovechamiento de los recursos.

**Figura 3.** Estructuras antigua y nueva.



De esta forma se deben establecer en el banco cargas de hasta 1500 PSI, proporcionadas por la bomba al sistema hidráulico. El cumplimiento de uno de los objetivos del proyecto está enfocado hacia el mejoramiento o aumento de dichas cargas, el cambiar los bloques por los resortes debido a las condiciones físicas de ellos, otorgará un cambio lineal en ellas logrando simular sistemas industriales, para efecto de cálculo de los resortes se tomará el valor de 1000 PSI para que el trabajo a realizar se efectúe sin inconvenientes o sobrecargas del sistema.

Figura 4. Sistema Hidráulico del banco de Servosistemas de Posición.



## 2 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE SERVOSISTEMAS DE POSICIÓN

### 2.1 ESTRUCTURA

De acuerdo con los objetivos del proyecto, parte importante para el cumplimiento de las metas expuestas, era la repotenciación del **banco Servosistemas de posición**, para realizar prácticas donde permita al estudiante reforzar los conceptos de los servomecanismos de posición en situaciones reales ubicada en el laboratorio **SERVOSISTEMAS DE POTENCIA FLUIDA**, por lo que es conveniente tener una estructura adecuada. Por tal motivo se rediseño la estructura, para que pueda soportar cargas importantes, aumentando su inercia, siendo más accesibles para el manejo de las piezas para un correcto funcionamiento de los elementos. Para su rediseño, fue importante conocer la estructura antigua para poder entender los motivos para su nuevo diseño y construcción.

**FIGURA 5.** Estructura antigua del laboratorio de Servosistemas de Posición.



**FIGURA6.** Estructura final del banco de Servosistemas de Posición.



El desarrollo de este diseño fue la caracterización de una serie de necesidades tanto resistentes como geométricas, puesto que la ubicación de la estructura debía adecuarse a un espacio ya configurado o dispuesto al anterior banco, adicional a esto se retiraron un par de cilindros que funcionaban como extensiones de la estructura antigua, como se ve en la figura 5, y se adicionaron un par de resortes para conseguir cargas variables, lo que fue una recomendación de la fase inicial del proyecto y se adecuaron unas cargas inerciales de mayor peso (54 kg cada una) a las del proyecto anterior, las cuales se ubicaron en la parte inferior de los vástagos de los cilindros hidráulicos, para aumentar la inercia del sistema.

Esta nueva estructura fue diseñada con vigas tipo U, en lámina de acero ASTM A-36 de un espesor 3/16", las cuales se doblaron para disminuir los costos del proyecto. En contraposición con la estructura antigua que estaba hecha de tubo cuadrado el cual tenía un espesor de 1/16. Para la estructura nueva también se tuvo en cuenta que al aumentar las cargas a las que iba a funcionar debería tener una base o soporte que le diera mayor estabilidad y la facilidad de trasladarla en caso de ser necesario, como sucederá con la adecuación de los

nuevos laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica en el presente año (2013), a diferencia de la anterior estructura que estaba empotrada al suelo del laboratorio, con lo cual presenta una mayor dificultad su desplazamiento y montaje.

Todos los criterios tomados para el diseño de la estructura fueron estudiados por medio de una simulación realizada por el método de elementos finitos en la aplicación de CosmosWorks del software Solid Works 2007, con el cual se obtuvo el informe de cargas que muestra a continuación.

## **Análisis de tensiones de ESTRUCTURA SIMULACIÓN 2.2**

### **A. Introducción**

Resuma el análisis mediante el Método de elementos finitos (MEF) de ESTRUCTURA SIMULACION 2.2

**Nota:**No base sus decisiones de diseño solamente en los datos presentados en este informe. Utilice esta información en conjunción con datos experimentales y con la experiencia práctica. Las pruebas de campo son de obligado cumplimiento para validar su diseño definitivo. COSMOSWorks le ayuda a reducir el tiempo de salida al mercado de sus productos, aunque sin llegar a eliminar las pruebas de campo por completo.

**Tabla1.** Material de la estructura simulada.

<b>Nombre de Pieza</b>	<b>Material</b>	<b>Masa</b>	<b>Volumen</b>
Estructura simulación 2	ASTM A-36 ACERO	118,662 Kg	0,0151161 m3

## B. Información de cargas y restricciones

**Tabla 2.** Restricción de las caras para la simulación de la estructura.

<b>Restriccion-1. Estructura simulación 2.2.</b>	Activar <b>3 caras</b> inmóvil (sin traslación)
--	---

**Tabla3.** Cargas aplicadas a la estructura simulada.

<b>Fuerza-1 &lt;ESTRUCTURA SIMULACION 2.2&gt;</b>	Activar 2 Cara(s) aplicar fuerza normal 1000 kgf utilizando distribución uniforme	Carga secuencial
<b>Fuerza-2 &lt;ESTRUCTURA SIMULACION 2.2&gt;</b>	Activar 4 Cara(s) aplicar fuerza 350 kgf normal a plano de referencia con respecto a la referencia seleccionada Arista< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial
<b>Fuerza-3 &lt;ESTRUCTURA SIMULACION 2.2&gt;</b>	Activar 4 Cara(s) aplicar fuerza 150 kgf normal a plano de referencia con respecto a la referencia seleccionada Arista< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial

## C. Propiedad del estudio

**Tabla4.** Información de la malla de la estructura simulada.

<b>Tipo de Malla</b>	Malla
<b>Mallado utilizado</b>	Estándar
<b>Transición automática</b>	Desactivar
<b>Superficie suave</b>	Activar
<b>Verificación jacobiana</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	2,8438 cm
<b>Tolerancia</b>	0,14219 cm
<b>Calidad</b>	Alta

<b>Número de Elementos</b>	20460
<b>Numero de nodos</b>	42688
<b>Tiempo de completar la malla (hh: mm:ss)</b>	00:01:09
<b>Nombre de computadora</b>	PC182295186146

**Tabla 5.** Información del solver.

<b>Calidad</b>	Alta
<b>Tipo de Solver</b>	Solver tipo DirectSparse
<b>Opción</b>	Incluir efectos térmicos
<b>Opción Térmica</b>	Introducir temperatura
<b>Opción Térmica</b>	Temperatura de referencia a deformación unitaria cero 298 Kelvin.

#### D. Contacto

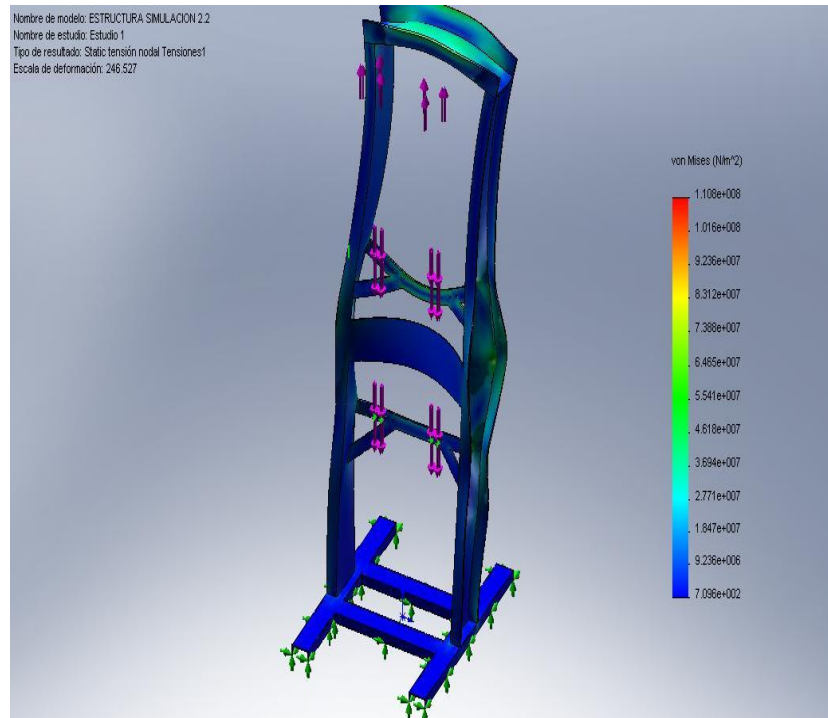
Estado de contacto: Caras en contacto - Unido

#### G-1. Trazados de calidad de malla

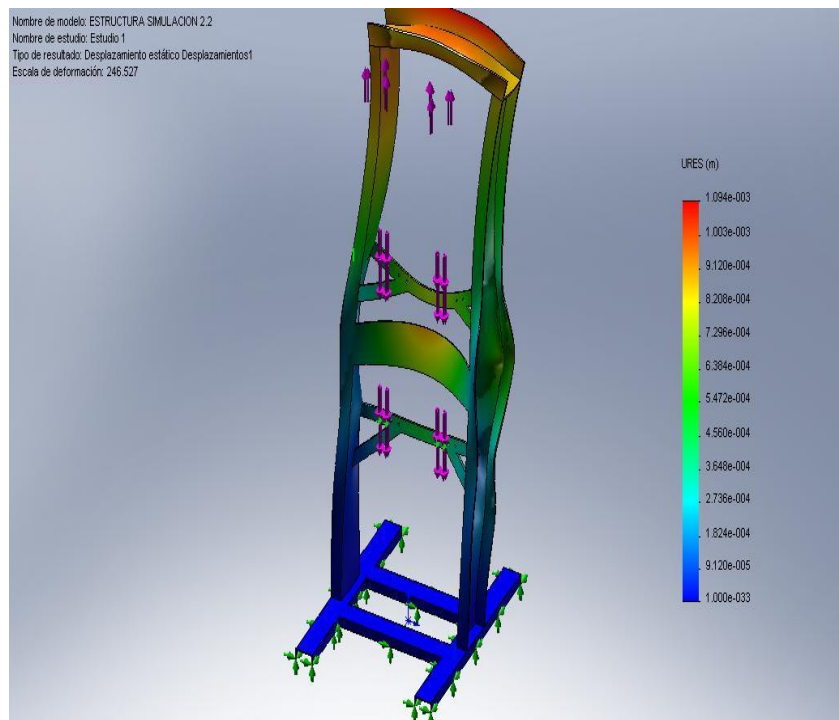
**Tabla 6.** Resultados predeterminados.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Min.</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Max.</b>	<b>Ubicación</b>
<b>Tensiones</b>	VON: Tensión de von Mises.	709,582 N/m <sup>2</sup>	(30 cm, 2.6625 cm, 50 cm)	1,10827e+00 8 N/m <sup>2</sup>	(33.0371 cm, 116.529 cm, -5.12 cm)
		Nodo: 33239		Nodo: 14861	
<b>Desplazamiento S1</b>	URES: Desplazamientos resultantes	0 m	(-30 cm, 0 cm, -10.45 cm)	0,00109435 m	9.64185 cm, 232 cm, - 9.03381 cm)
		Nodo: 938		Nodo: 7123	
<b>Deformaciones Unitarias 1</b>	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,70E-09	(-39.775 cm, 1.83125 cm, 48.6111 cm)	0.000257401	(33.5185 cm, 116.637 cm, -4.485 cm)
		Elemento: 3826		elemento: 10847	

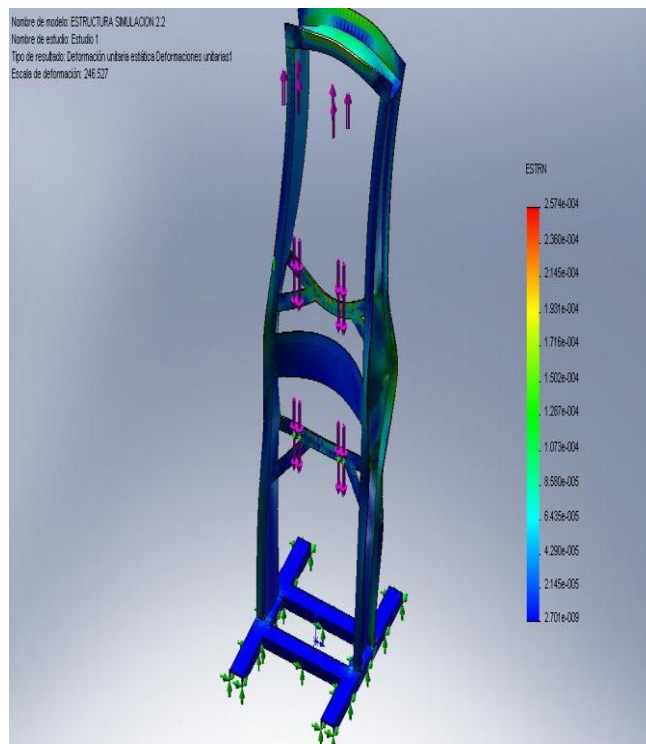
**Figura 7. ESTRUCTURA SIMULACIÓN 2.2-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1.**



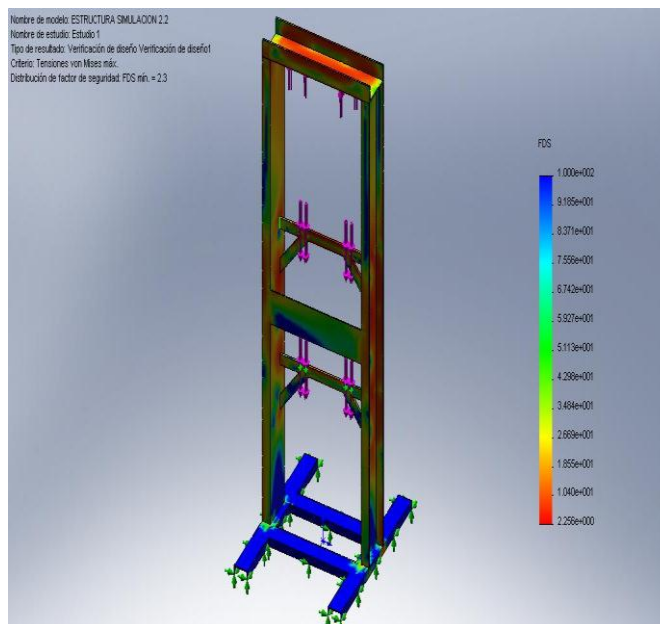
**Figura 8. ESTRUCTURA SIMULACION 2.2-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1.**



**Figura 9.** ESTRUCTURA SIMULACION 2.2-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1.



**Figura 10.** ESTRUCTURA SIMULACION 2.2-Estudio 1-Verificación de diseño-Verificación de diseño1.



## H. Apéndice

**Tabla7.**Material de la estructura final.

<b>Nombre de material</b>	ASTM A36 ACERO
<b>Origen del material</b>	Archivos de biblioteca
<b>Nombre de biblioteca de materiales</b>	cosmos materiales
<b>Tipo de modelo del material</b>	isotrópico elástico lineal

**Tabla8.** Propiedades Físico-Mecánicas de la estructura.

<b>Nombre de propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Tipo de valor</b>
<b>Valor elástico</b>	2,00E+11	N/m <sup>2</sup>	constante
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.26	NA	constante
<b>Modulo cortante</b>	7,93E+10	N/m <sup>2</sup>	constante
<b>Densidad</b>	7850	Kg/m <sup>3</sup>	constante
<b>Límite de tracción</b>	4,00E+08	N/m <sup>2</sup>	constante
<b>Limite elástico</b>	2,50E+08	N/m <sup>2</sup>	constante

Al obtener los resultados en el informe anterior, entre los datos más importantes a tener en cuenta, tenemos el estudio de la verificación de diseño, en donde se obtiene el factor de diseño (factor de seguridad) que es 2.3, valor que parece aceptable y fue consultado con el director de proyecto quién dio el aval para utilizar dicho diseño para la construcción de la estructura. Adicional a esto, para facilitar el estudio de la simulación se obviaron ciertos factores y se consultó con la experiencia de varios técnicos metalmecánicos, quienes coincidieron en asegurar que la estructura podría soportar mayores cargas a las estipuladas para las funciones del Banco de laboratorio.

## 2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL BANCO

El banco tiene la finalidad de proveer al laboratorio de control automático de un sistema completo que sea funcional y útil para el aprendizaje de quienes realizan prácticas en este laboratorio.

El banco consta de:

- 1) Un PLC S7-200 como un microcontrolador ARDUINO ATMEGA (ver **Anexo A**) que se encargan de realizar las diferentes técnicas de control, en diferentes montajes.
- 2) De un actuador principal del sistema: una servoválvula MOOG 62 (ver **Anexo B**) y una válvula proporcional (**Anexo C**), con lo cual se realiza el control de la posición y con sus respectivas tarjetas amplificadoras;
- 3) para medir la posición se utiliza un transductor de posición (**Anexo D**) cuyas señales son enviadas a una caja visualizadora y de ésta al PLC ( **Anexo E**) a través de dos módulos de entradas analógicas EM-235 y a la tarjeta adaptadora de la señal que se dirige a la .tarjeta Arduino Mega 2560.
- 4) De un tablero de control.

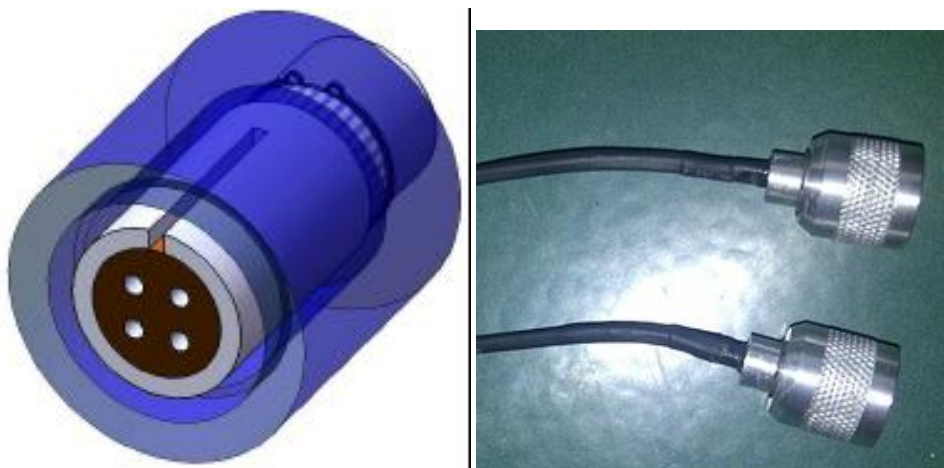
**2.2.1 Conector de la Servoválvula.** Este elemento es necesario para que pueda llegar la señal al motor torsional de la servoválvula. El conector de la servoválvula presentaba fallas en su instalación, por lo cual se rediseñó y construyó dos nuevos conectores a partir del original, para poder utilizar las dos servoválvulas en la práctica de ejes coordenados, sin estar utilizando elementos de otras prácticas del laboratorio de Control Automático

**Figura 11.** Conector original de la servoválvula MOOG 62 del laboratorio.



El diseño de los conectores y sus planos se realizó mediante el software Solid Works 2007, teniendo en cuenta las medidas principales del conector original, los planos de dichos conectores se adjuntarán en los anexos de este libro. Los materiales con los cuales se fabricaron dichos conectores fueron: varillas de aluminio para evitar la corrosión, dar resistencia, disminuir el peso, y una barra de baquelita para evitar cortocircuitos.

**Figura 12.** Conectores rediseñados de la servoválvula MOOG 62



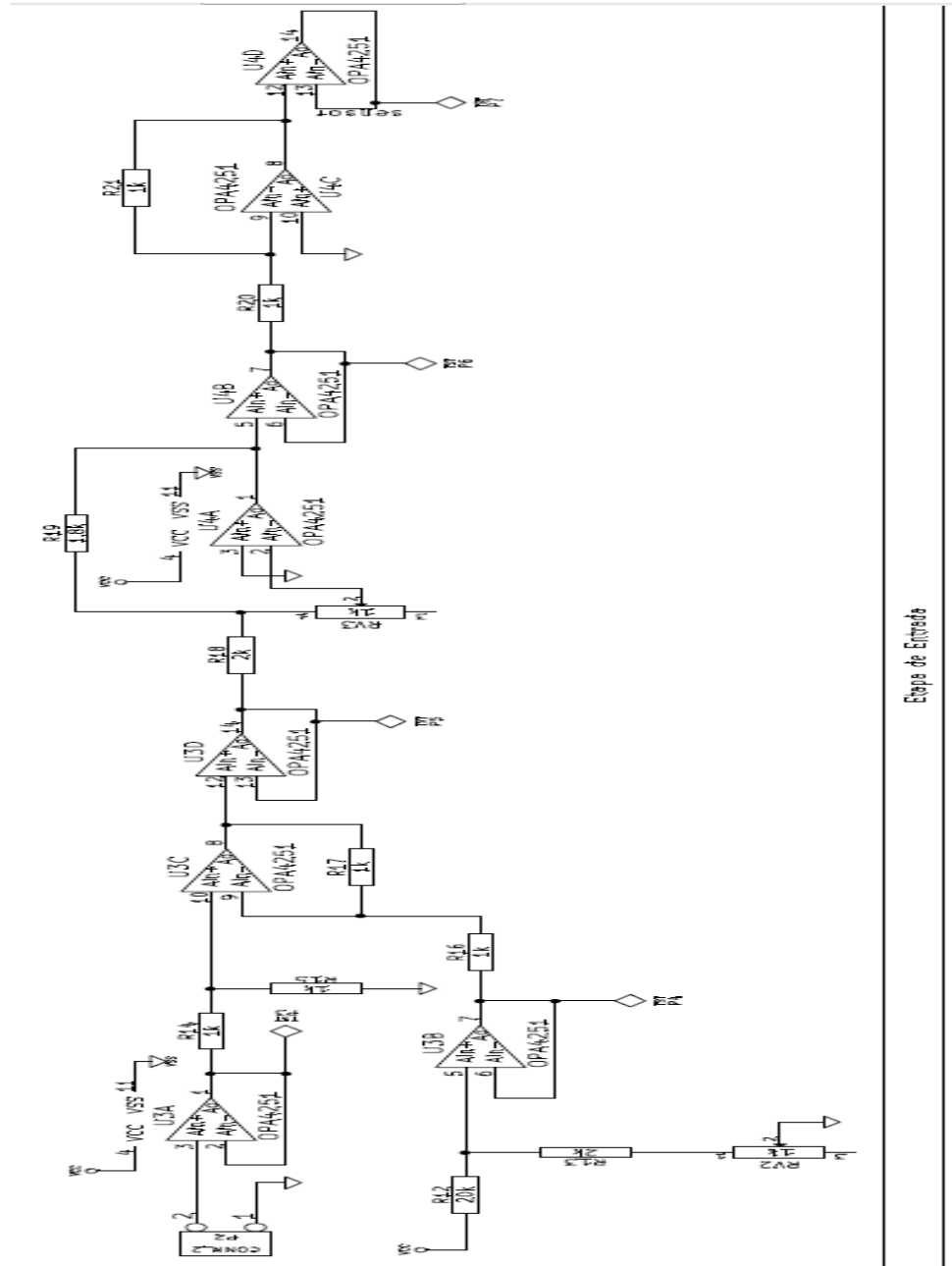
**2.2.2 Tarjetas de adaptación de las señales de entrada y de salida del Arduino.** Al iniciar el proyecto aparecieron ciertos inconvenientes, relacionados con las señales de entrada y salida de la plataforma Arduino, los cuales fueron:

1. El Voltaje de salida de los sensores Temposonic, entrega un voltaje de 1,5 a 8 VDC, lo cual sobrepasa a la capacidad de voltaje de la plataforma y dañaría la placa Arduino Mega 2560.
2. El tipo de señal de salida de la placa Arduino 2560, es PWM y solo envía pulsos de 0 a 5 VDC, dicha señal deber ser de tipo analógica y tener un rango de -10 a 10 VDC para ingresar a la tarjeta servoamplificadora, para una operación correcta del sistema.

Para solucionar dichos inconvenientes, se contrató un Ingeniero Electrónico, quien diseño una tarjeta de entrada y una tarjeta de salida para solucionar dichos inconvenientes que se presentaban para la realización de este proyecto, y estas tarjetas se explicará a grandes rasgos en esta sección.

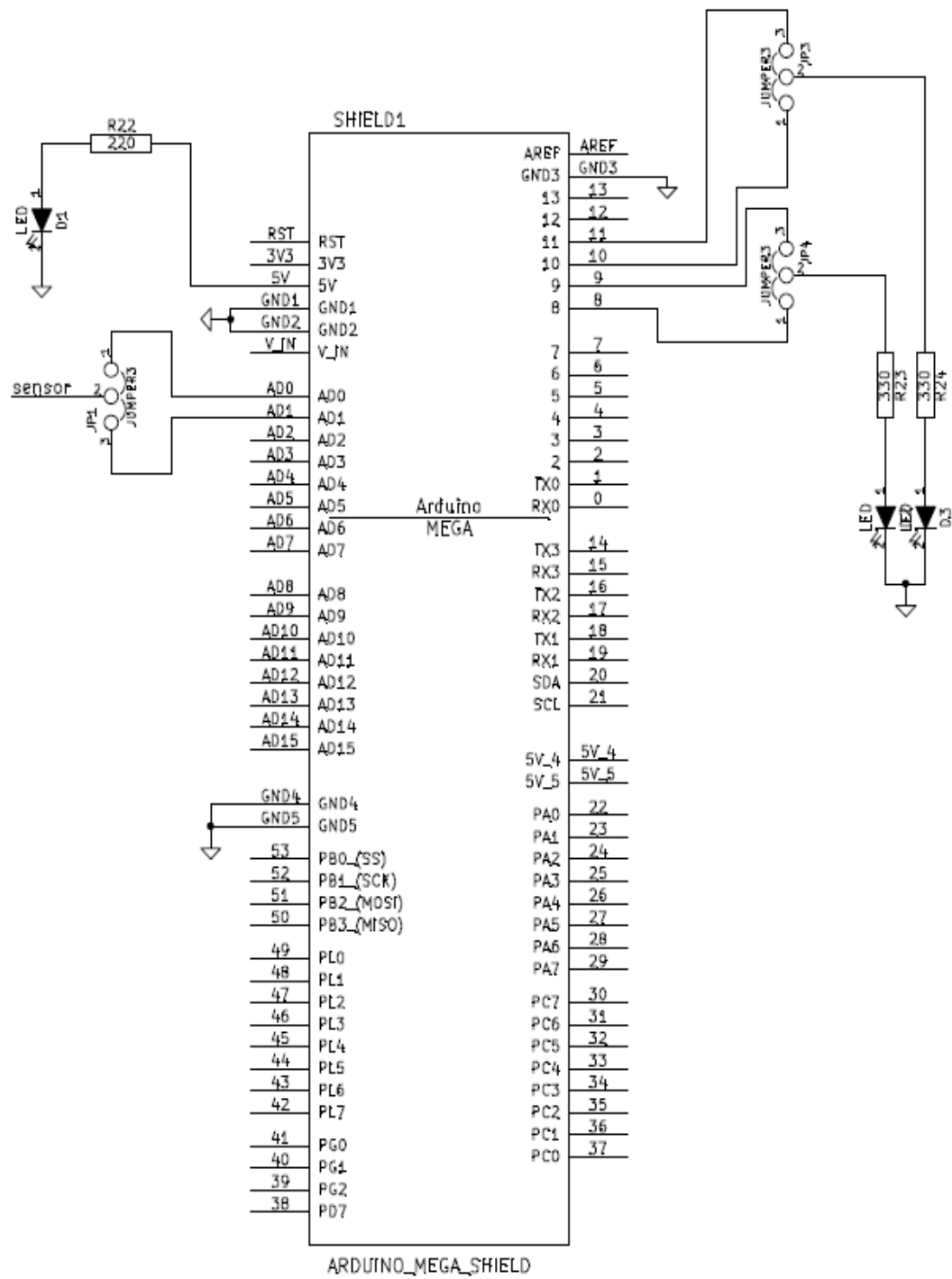
- Tarjeta de la señal de Entrada

Figura 13. Esquema electrónico de la Tarjeta de adaptación para las señales de entradas.



Etapa de Entrada

Figura 14. Conexiones de la tarjeta de entrada con la placa Arduino.



Modulo de entrada

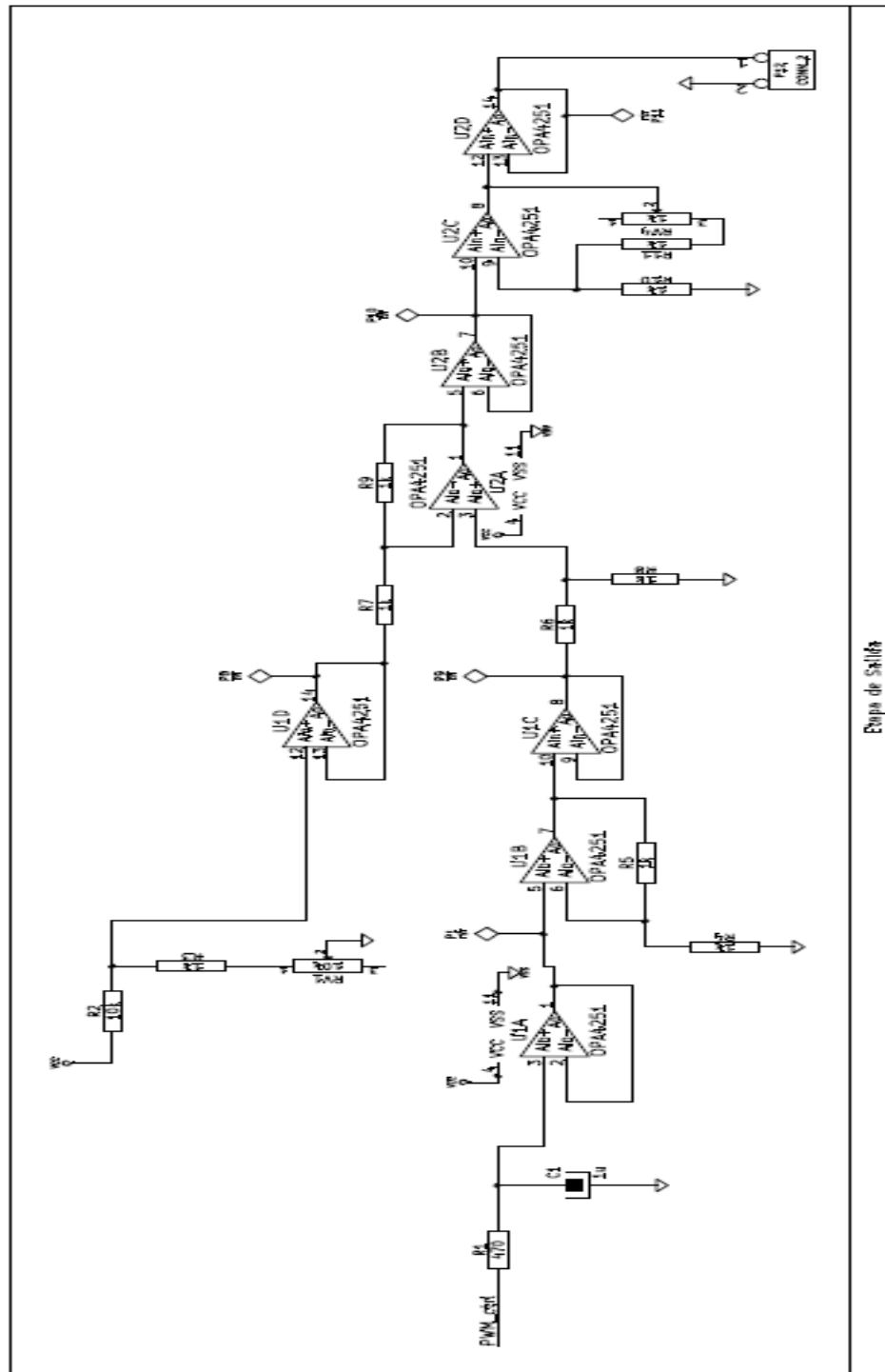
La etapa de entrada simplemente se encarga de convertir el voltaje proveniente del sensor de posición, en un voltaje que pueda ser leído de forma segura por el controlador; además, esta etapa se encarga de eliminar niveles de 'off-set' y puntos muertos del sensor, para que el control sea más adecuado.

- **Tarjeta de la señal de salida.**

La etapa de salida está diseñada para convertir una señal de PWM, la cual corresponde proporcionalmente a la señal de control en una señal adaptada al tipo de señal requerida por la planta para ejecutar las acciones de control.

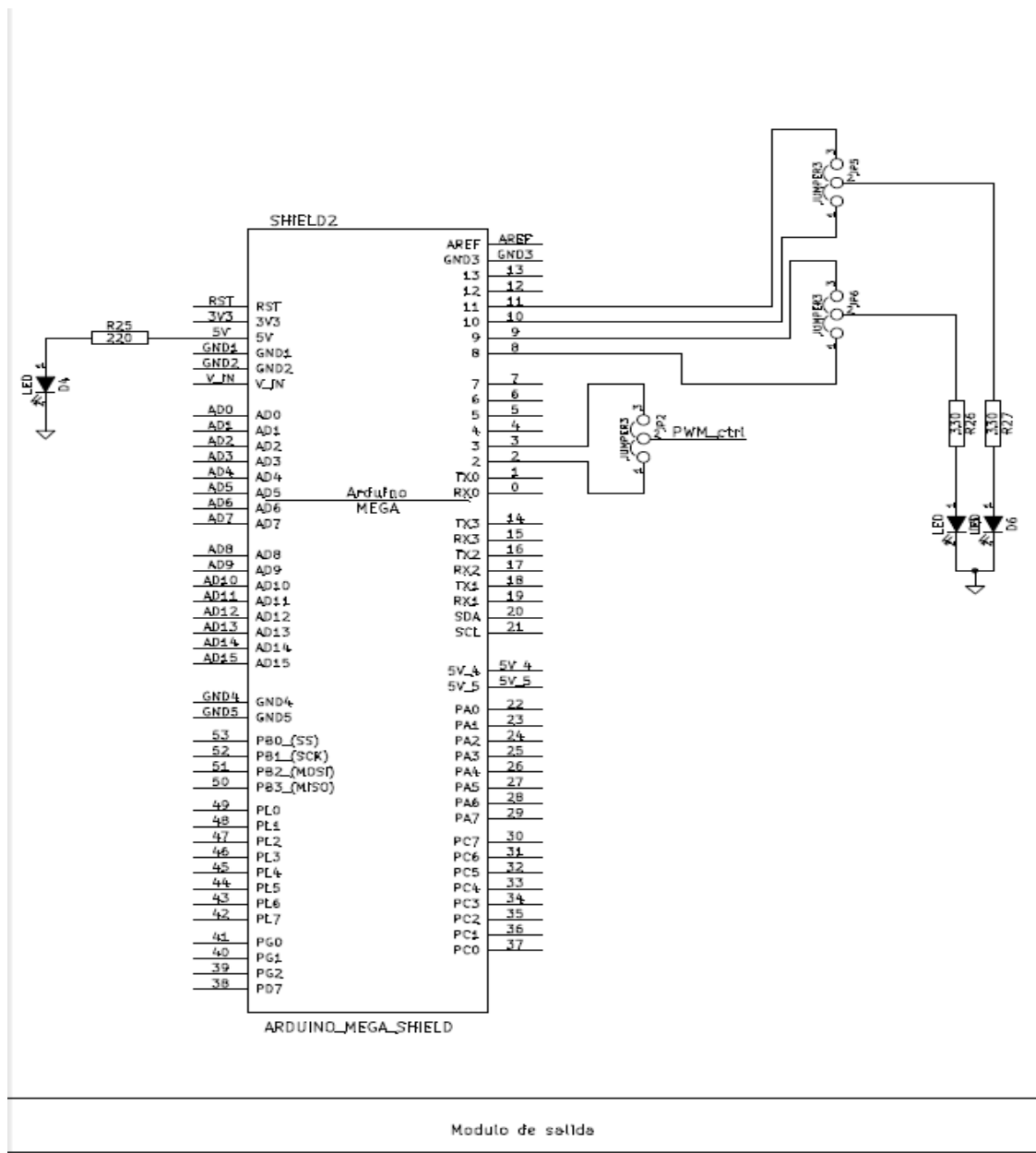
Esta etapa está dividida en dos secciones, de las cuales la primera consiste en un filtro pasivo para convertir la señal de PWM en una señal analógica y proporcional al ciclo útil del PWM en cuestión; la segunda etapa se encarga de cambiar el rango de la señal obtenida desde el filtro (señal analógica entre 0 y 5 V dc) de tal forma que coincida con la señal requerida por las válvulas para su accionamiento (una señal analógica entre -10 y 10 VDC), de esta forma se garantiza que la señal requerida para el accionamiento de las válvulas, sea directamente proporcional a los comandos del controlador.

Figura 15. Esquema electrónico de la Tarjeta adaptadora para las señales salida.



Etapa de Salida

Figura 16. Conexiones de la tarjeta de salida con la placa Arduino.



Dentro del diseño de las tarjetas, se tuvo en cuenta realizar los circuitos impresos de forma modular, de esta forma se ve menos desordenado y es más fácil de ensamblar, se evitan errores de conexión por los estudiantes y su presentación es más llamativa.

**Figura 17.** Circuito impreso de la tarjeta de entrada.

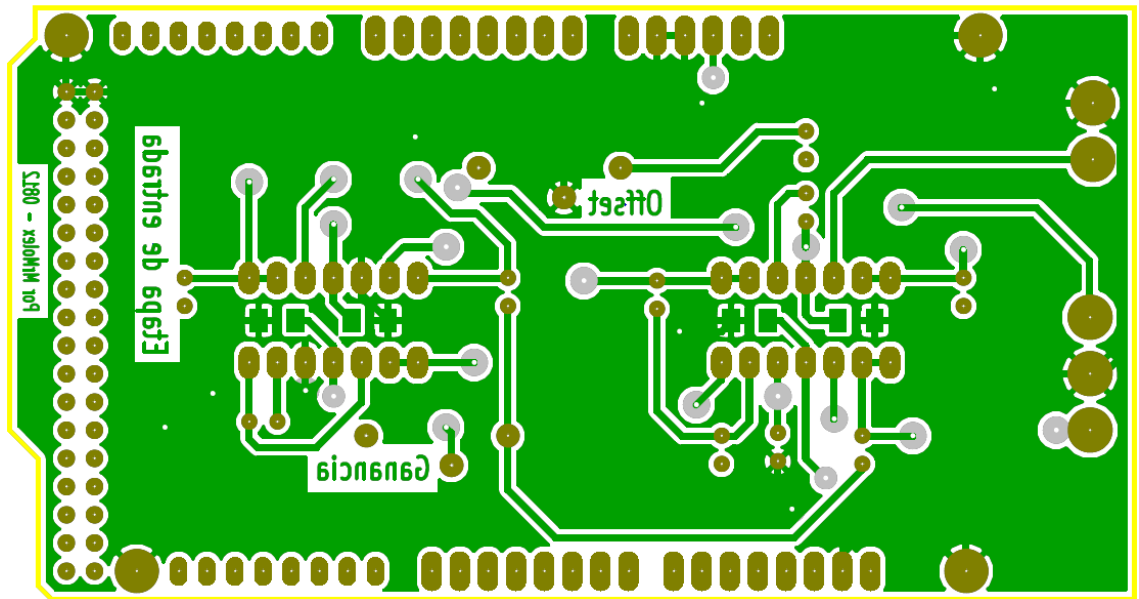
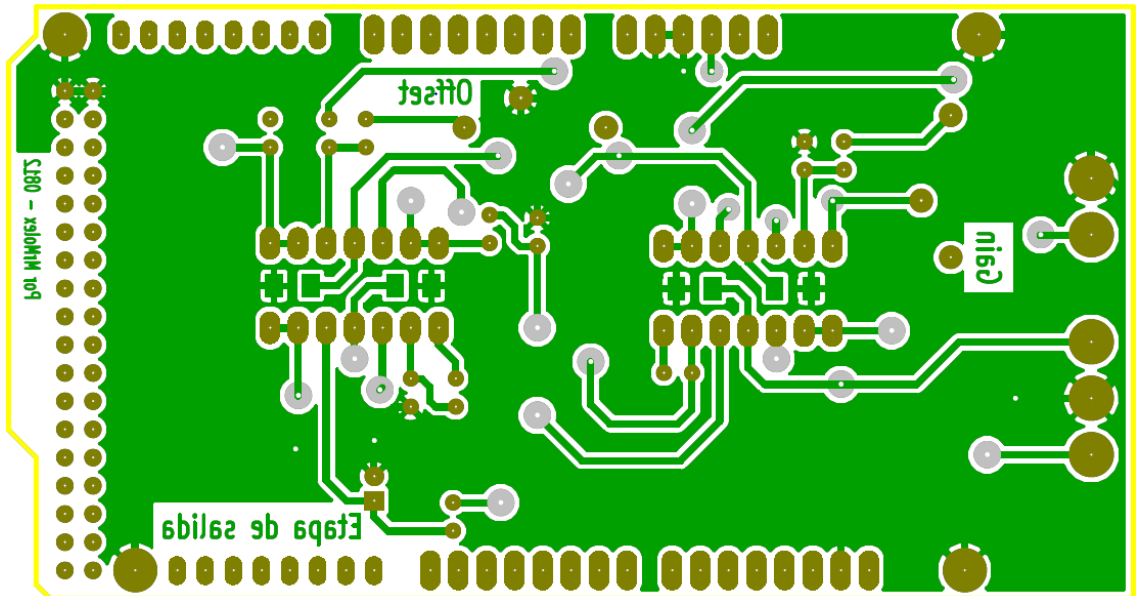
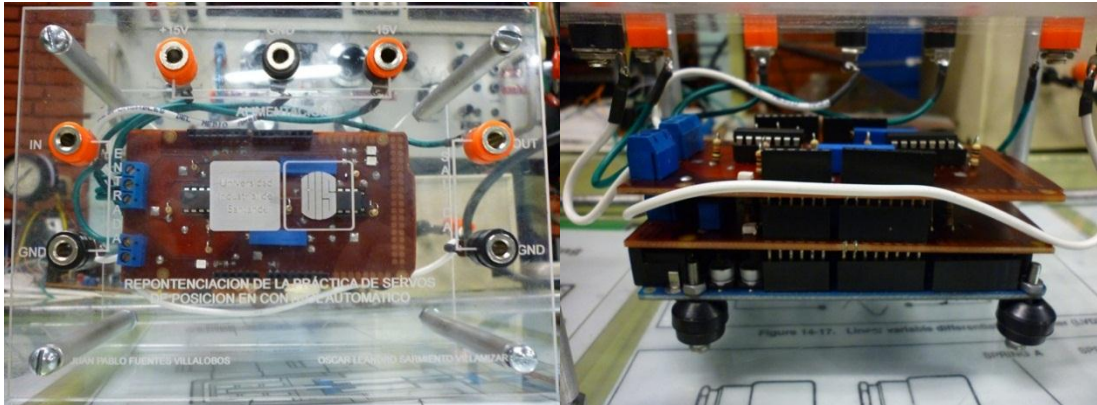


Figura 18. Circuito impreso de la tarjeta de salida.



**Figura 19.** Tarjetas adaptadoras de las señales ensambladas a la placa Arduino 2560.



### 2.2.3 Resortes

**Figura 20.** Prueba de los resortes.



Revisando la primera etapa del proyecto, se encontraron ciertas recomendaciones entre las cuales implicaba la aplicación de cargas o fuerzas variables, la cual se decidió incluir en proyecto por medio de un par de resortes, con lo cuales se cumpliría la carga expuesta en los objetivos del proyecto. En busca de la disminución de costos, se adquirieron un par de resortes delanteros de la suspensión de un Renault 18 usados, con los cuales se realizaron las respectivas pruebas en laboratorio de potencia fluida, para

conocer las cargas a las que trabajan y su respectiva posición en la estructura, en las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Como no había una prensa para estudiar cada resorte por separado se realizó un DCL, en el cual las dos fuerzas aplicadas por los resortes eran equivalentes a la fuerza realizada por la prensa y al ser los dos resortes el juego del sistema de suspensión de un vehículo se asumió que deben tener la misma constante de resorte. Los valores obtenidos en las mediciones para la presión (P) del cilindro de la prensa hidráulica están dados en PSI, el diámetro (D) del cilindro en pulgadas (” o in), la fuerza del cilindro hidráulico (Fh) en libras (Lb) y la longitud (L) comprimida en los resortes en centímetros (cm).

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

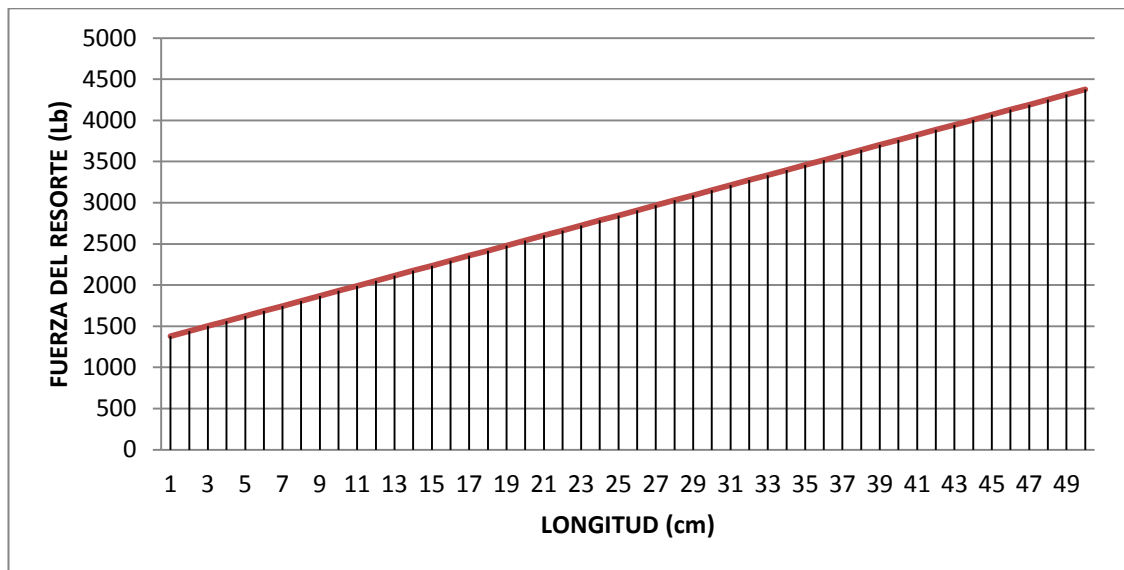
Donde es D=5in y este valor es constante en el sistema por consiguiente A =19,64in<sup>2</sup>.

**Tabla 9.** Datos de prueba a resortes del banco.

L (cm)	P (PSI)	Fh (Lb)
15	220	4319,69
25	290	5694,14
19	250	4908,74
21	275	5399,61
22	280	5497,79
28	300	5890,48

Al tener los datos de la fuerzas realizadas se procede a hacer un regresión lineal para obtener la función en la cual varía la fuera hidráulica en función de la longitud comprimida.

**Figura 21.** Gráfica Fuerza aplicada al resorte en función de su deformación.



$$Fh = 2636,44 + 122,24L = 2 * Fr$$

Donde  $Fr$  es la fuerza de cada resorte y de la cual se obtiene la Ecuación que describe el funcionamiento de cada cilindro.

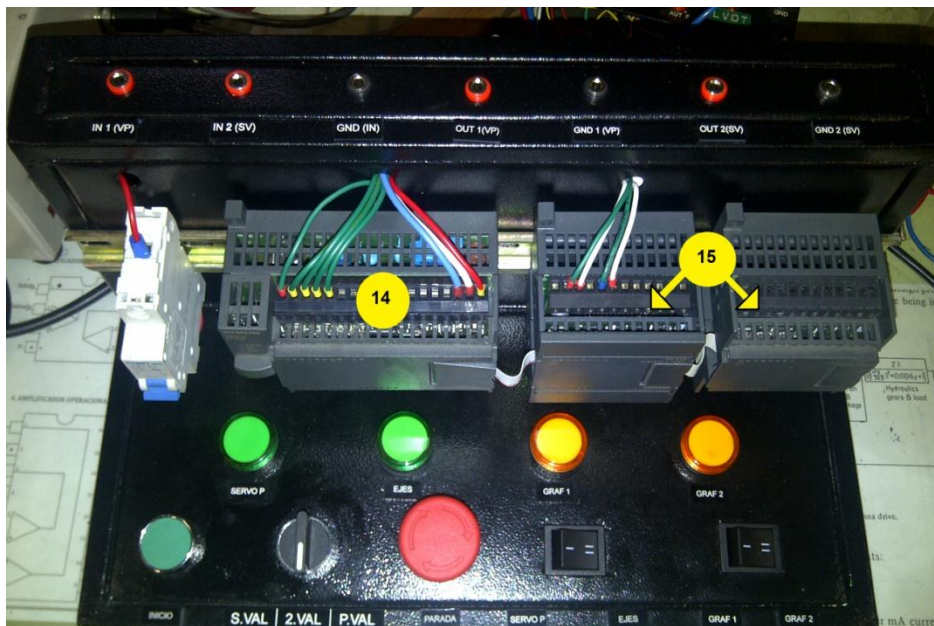
$$Fr = 61,12 \left[ \frac{Lb}{cm} \right] * L [cm] + 1318,22 [Lb]$$

Por medio de esta ecuación se ratifica el cumplimiento de los resortes y de los objetivos

### 3.2.8 Tablero de Control

El tablero de control es el interfaz mediante el cual el operador puede controlar la planta de manera local. Este además le permite tener información visual de las principales variables que se manipulan en el controlador.

Figura22. Tablero de control.

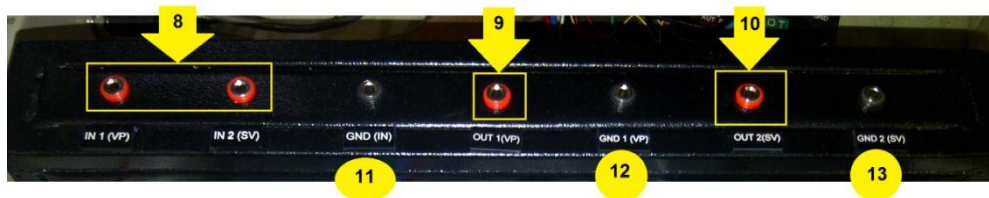


El panel está compuesto de los siguientes elementos y están señalados en la figura 2:

- Pulsador de Inicio (①). Habilita el sistema para que pueda ser manipulado por el operador.
- Selector tipo perilla (②). En el tablero sirve para conmutar entre los 3 diferentes modos de operación disponibles: 1. Operación con el solo uso de la servoválvula; 2. operando con la servoválvula y la válvula proporcional, y 3. operando únicamente con la válvula proporcional.
- Accionador de Parada tipo hongo (③). Sirve para tomar una decisión inmediata ante una emergencia, la cual puede ser provocada por una falla del controlador principal y/o cuando se desea deshabilitar el sistema para futuros cambios en el.
- Selector tipo interruptor. Me conmuta dos diferentes tipos de operación:
  - El selector④→Cambia deservoválvula- v. proporcional a operaciones en coordenadas x-y (ejes).
  - El selector ⑤→Cambia de Gráfica 1 a Gráfica 2.
- Luces indicadoras (⑥). Sirven para visualizar el estado de control (marcha/paro) y para observar las demás operaciones ya nombradas.

- Breaker de protección (⑦). Protege a todo el controlador en caso de alguna falla de cortocircuito.

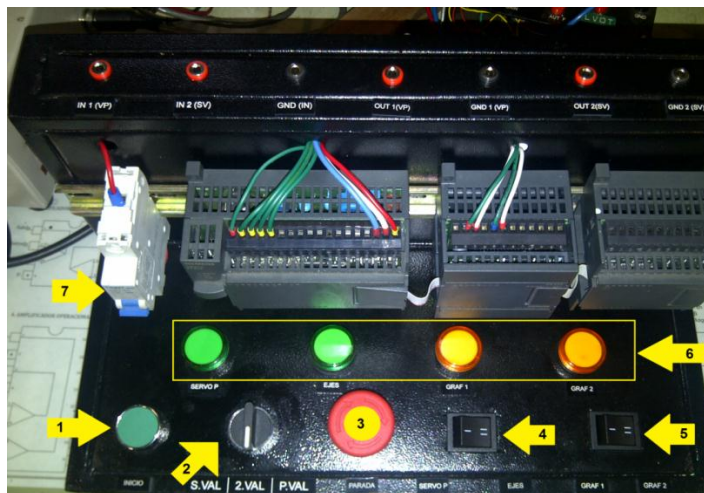
**Figura23.** Entradas/salidas analógicas (⑧, ⑨, ⑩) y puertos de conexión a tierra GND (⑪, ⑫, ⑬).



\*Para la conexión de cada elemento recordar que se tiene sus propios GND.

- CPU 224 (⑭). Ver figura 1.
- Dos Módulos EM-235 (⑮). El controlador principal del módulo es un PLC SIMATIC S7-200 (N° de Referencia 6ES7 214-1AD23-0XB0), el cual se complementó con dos módulos de entradas y salidas analógicas como se muestra en la figura 1.

**Figura24.** Elementos integrados en el tablero de control.



## 2.3 ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

El objetivo de este capítulo es desarrollar y obtener un modelo matemático lineal que represente la dinámica del banco del servo de posición, teniendo en cuenta que el modelo específico de la planta debe producir respuestas similares a las de la salida de la planta real.

Cualquier intención de diseño de algún sistema debe empezar a partir de la predicción de su funcionamiento antes de que este sea diseñado o construido totalmente. Este pronóstico se basa en la descripción matemática de las características dinámicas del sistema. A esta representación matemática se llama **modelo matemático**<sup>7</sup>.

Esta herramienta fundamental para el análisis y diseño de los sistemas de control es la capacidad de describir la planta (conjunto de elementos del mecanismo), dispositivos de potencia y controlador. Teniendo este modelo desarrollado sabemos **cómo se va a comportar el sistema ante alguna excitación o perturbación**.

La dinámica de muchos sistemas, ya sean mecánicos, eléctricos, térmicos, económicos, biológicos, etc., se describe en términos de **ecuaciones diferenciales**. Dichas ecuaciones diferenciales se obtienen a partir de leyes físicas que gobiernan un sistema determinado, como las **leyes de Newton** para sistemas mecánicos y las leyes de Kirchhoff para sistemas eléctricos. Debemos siempre recordar que obtener un modelo matemático razonable es la parte más importante de todo el análisis.

Al aplicar las leyes físicas a un sistema específico, es posible desarrollar un modelo matemático que describa al sistema. Tal sistema puede incluir **parámetros desconocidos**, los cuales deben evaluarse mediante pruebas

---

<sup>7</sup>Conjunto de ecuaciones que representan la dinámica del sistema con precisión o, al menos, bastante bien. Fuente: KATSUHIKO, Ogata. Ingeniería de Control Moderna. 3ª edición. 1998. Página 57.

reales. Sin embargo, algunas veces las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de un sistema están completamente definidas, y la formulación de un modelo matemático puede resultar imposible. De ser así, se puede utilizar un procedimiento de modelado experimental. En este procedimiento, se somete al sistema a un conjunto de entradas conocidas y se miden sus salidas. A partir de las relaciones de entrada y salida se deriva entonces el modelo matemático.

Cuando se intenta construir un modelo, **debe establecerse un equilibrio entre la simplicidad del modelo y la exactitud de los resultados del análisis**. Es importante notar que los resultados obtenidos en el análisis son válidos en la medida en que el modelo se aproxime al sistema físico dado.

Para determinar un modelo razonablemente simplificado, se necesita decidir cuáles de las variables y relaciones físicas pueden ignorarse y cuáles son cruciales en la exactitud del modelo. Con objeto de obtener un modelo en la forma de ecuaciones diferenciales lineales, **se deben despreciar cualesquiera parámetros distribuidos y las no linealidades** que pueden estar presentes en el sistema físico. Si las consecuencias que estas propiedades despreciadas tienen en la respuesta son pequeñas, entonces los resultados del análisis del modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico serán satisfactorios. El que cualquiera de las características particulares sea importante puede no ser obvio en algunos casos, y en otros, puede requerir de penetración física e intuición. En relación con lo mencionado, la experiencia es un factor importante. Cuando se resuelve un problema nuevo, usualmente conviene construir primero un modelo simplificado para obtener una idea general en torno a la solución. Finalmente, puede construirse un modelo matemático más detallado y usarlo para un análisis más completo.

Ningún modelo matemático puede describir cualquier componente o sistema físico con exactitud. Siempre se involucran aproximaciones y

suposiciones. Tales aproximaciones e hipótesis restringen el nivel de validez del modelo matemático. (El grado de semejanza puede determinarse solamente mediante experimentos).

Así pues, al hacer una predicción acerca del funcionamiento del sistema, debe tenerse presente cualquier aproximación o suposición involucrada en el modelo.

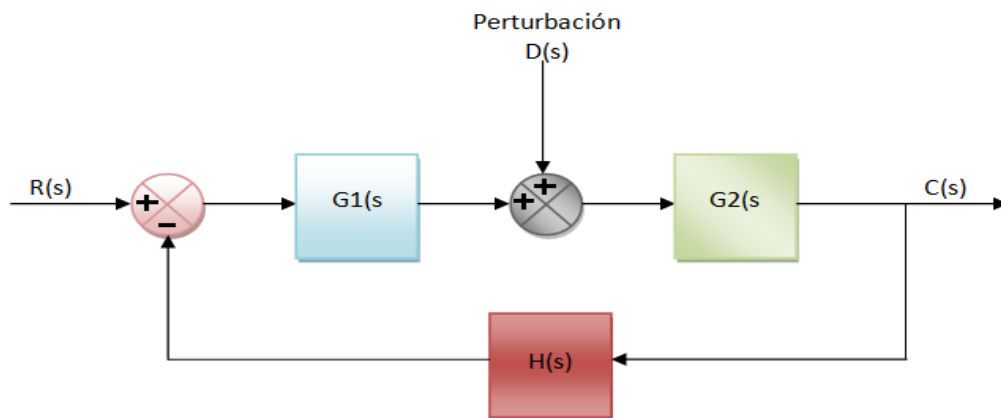
### **2.3.1 Procedimiento para la elaboración de Modelos Matemáticos (Modelado Matemático).**

- 1) Dibujar esquema del sistema dinámico y definir las variables.
- 2) Utilizando leyes físicas, escribir ecuaciones para cada componente, combinándolos de acuerdo con el diagrama del sistema y obtener un modelo matemático.
- 3) Para verificar la validez del modelo, la predicción acerca del funcionamiento obtenida al resolver las ecuaciones del modelo, se compara con resultados experimentales.

La pregunta **sobre la validez de cualquier modelo matemático** puede contestarse solamente mediante **experimento**. Si los resultados experimentales se alejan de la predicción en forma considerable, debe modificarse el modelo. Entonces se obtiene un nuevo modelo y las nuevas predicciones se comparan con los resultados experimentales. El proceso se repite hasta que se obtiene una concordancia satisfactoria entre la predicción y los resultados experimentales.

**2.3.2 Un sistema en lazo cerrado sujeto a una perturbación<sup>8</sup>.** Cuando se presentan dos entradas (la entrada de referencia y la perturbación) en un sistema lineal, cada una de ellas puede tratarse en forma independiente; y las salidas correspondientes a cada entrada pueden sumarse para obtener la salida completa.

**Figura 25.** Sistema de lazo cerrado sujeto a una perturbación.



Fuente: KATSUHIKO, Ogata. Ingeniería de Control Moderna. Capítulo 3: Modelado matemático de sistemas dinámicos. 3ª edición., editorial Prentice Hall. Página 66.

Al examinar el efecto de la perturbación  $D(s)$ , podemos suponer que el sistema está inicialmente relajado, con un error cero ( $R(s) = 0$ ); después podemos calcular la respuesta  $C_D(s)$  sólo para la perturbación. Esta respuesta se encuentra a partir de

$$\frac{C_D(s)}{D(s)} = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s) * G_2(s) * H(s)}$$

Por otra parte, si consideramos la respuesta a la entrada de referencia  $R(s)$ , podemos suponer que la perturbación es cero ( $D(s) = 0$ ). Entonces, la respuesta  $C_R(s)$  a la entrada de referencia  $R(s)$  se obtiene a partir de

<sup>8</sup>Una perturbación es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se llama **interno**; una **perturbación externa** se genera fuera del sistema y es una entrada.

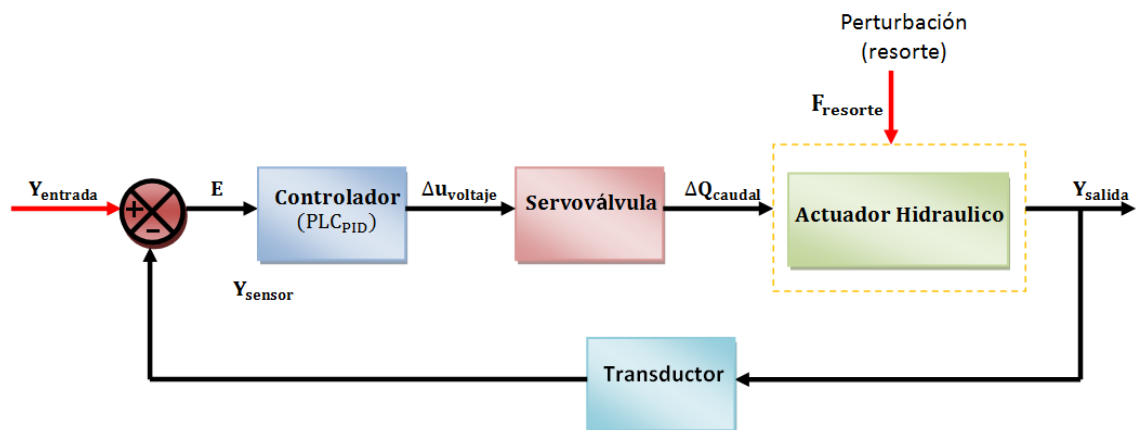
$$\frac{C_R(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s) * G_2(s)}{1 + G_1(s) * G_2(s) * H(s)}$$

La respuesta a la aplicación simultánea de la entrada de referencia y la perturbación se obtiene sumando las dos respuestas individuales. En otras palabras, la respuesta  $C(s)$  producida por la aplicación simultánea de la entrada de referencia  $R(s)$  y la perturbación  $D(s)$  se obtiene mediante

$$C(s) = C_R(s) + C_D(s) = \frac{G_2(s)}{1 + G_1(s) * G_s(s) * H(s)} * [G_1(s) * R(s) + D(s)]$$

**2.3.3 Modelado dinámico del servosistema de posición.** Para realizar el análisis dinámico del servosistema nos debemos enfocar en examinar cada uno de los componentes importantes, es decir se debe realizar el modelo matemático de la **servoválvula**, del **actuador** y el sistema mecánico que simulará la carga sobre el servosistema (resortes), ver **figura 26**.

**Figura 26.** Diagrama de bloques del banco Servosistema de Posición.



La carga que será movida por el actuador es simplemente un sistema mecánico: masa-resorte, el cual es un sistema que solo representa un solo grado de libertad, ya que el movimiento del actuador de doble efecto y del

sistema mecánico será solo movimiento vertical, por lo tanto se simplifica su estudio.

Para poder realizar el análisis matemático del servosistema hidráulico de control de posición debemos tener en cuenta algunas consideraciones que simplificarán notablemente el modelo matemático pero que no son muy relevantes por lo tanto no incidirán notablemente en los resultados, hay que recordar que la base para la realización del modelo matemático en sistemas dinámicos es plantear un sistema físico idealizado pero guardando un equilibrio entre la simplicidad y la precisión del sistema.

Por lo tanto se harán las siguientes hipótesis:

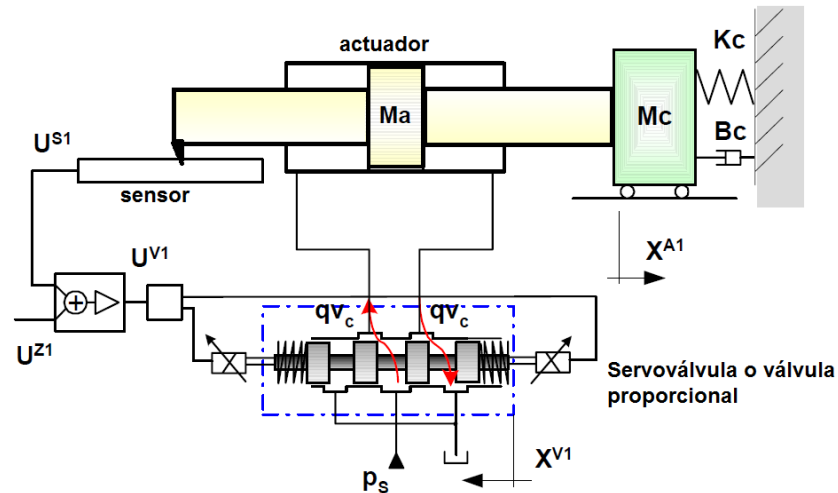
- La carga es una fuerza de inercia. Por el principio de D'alembert las fuerzas de inercia son iguales a la masa por su aceleración y en sentido contrario a la aceleración.
- No existe resbalamiento ni elasticidad en las uniones ni anclajes del actuador, ni en las uniones de la masa con el actuador.
- La servoválvula no tiene zona muerta y la ganancia es constante sin importar la frecuencia.
- Se desprecian las fugas que puedan existir tanto en el actuador como en el sistema.

No existen fuerzas de fricción en los componentes del sistema mecánico (pasadores, masa, soportes) y las que existen en el actuador en el pistón con la camisa se incluye en el análisis de este sistema.

### 2.3.3.1 Procedimiento para la elaboración del modelado matemático del Servosistema de Posición.

#### A) Sistema de Control de posición electrohidráulico.

Figura 27. Esquema de control de posición del modelado.



Fuente: NEGRI, Víctor Juliano De. Sistemas Hidráulicos e Neumáticos para Automatización y control. Universidad Federal de Santa Catarina. Laboratorios de sistemas hidráulicos e neumáticos. Florianópolis, Marzo de 2001. Página 48.

#### MODELADO

##### Ecuación de salida de control.

$$qv_c = K_{q0} * x^{v1} - K_{c0} * \Delta p_c^9$$

##### Ecuación del Movimiento

$$F = M * \frac{d^2x^{v1}}{dt^2} + B * \frac{dx^{v1}}{dt} + K_c * x^{v1} + Fa^{10}$$

<sup>9</sup>NEGRI, Víctor Juliano De. Sistemas Hidráulicos e Neumáticos para Automatización y control. Universidad Federal de Santa Catarina. Laboratorios de sistemas hidráulicos e neumáticos. Florianópolis, Marzo de 2001. Página 43.

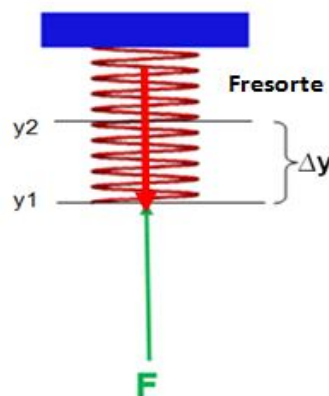
<sup>10</sup> Ibíd. Página 44.

**b) Análisis de cada componente.** Observando la **gráfica 26**, se observa que se necesita conocer las ganancias del actuador, válvula de control, transductor, controlador, y el valor de la perturbación  $R(s)$  para calcular el valor de salida de la posición  $Y_{salida}(s)$ . Entonces se utilizará las leyes físicas, para escribir las ecuaciones para cada componente de acuerdo con el diagrama del sistema y se obtendrá un modelo matemático de cada uno, respectivamente.

- ✓ **Sistema mecánico: Resorte.** Un resorte lineal es un elemento mecánico que puede ser deformado por una fuerza externa tal que la deformación sea directamente proporcional a la fuerza o par que se le aplique.

$$F = k * \Delta y$$

**Figura 28.** Análisis del resorte.



$$F_{\text{resorte}} = K_{\text{resorte}} * \Delta Y_{\text{deformación}}$$

$$F_{\text{resorte}} = K_{\text{resorte}} * (Y_{\text{salida}} - Y_1)$$

Aplicando función de transferencia y el resorte representa la perturbación del sistema,  $F_{\text{resorte}} \equiv R(s)$ , así:

$$R(s) = K_{\text{resorte}} * Y_{\text{salida}}(s) - \frac{K_{\text{resorte}} * Y_1}{s} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde se debe tener en cuenta, que para un valor de salida  $Y_{salida} \leq Y1$  no existe ninguna perturbación, y se debe tener en cuenta en los cálculos y en la toma de valores.

✓ **Sistema Hidráulico: análisis del cilindro.** En esta parte del proceso se considera la compresibilidad del fluido y las pérdidas de flujo (fugas) en la servoválvula. El módulo de Bulk es una constante que representa el cambio de volumen cuando el fluido es presurizado y obedece la siguiente expresión:

$$\beta = V * \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_t$$

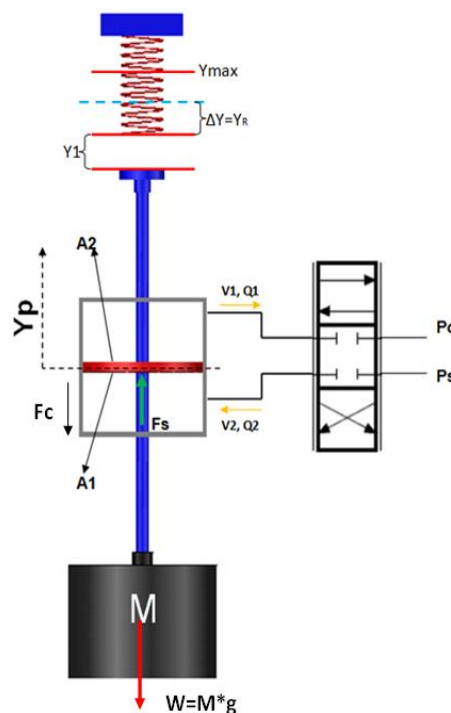
Se reacomoda la ecuación para vincularla al modelo:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{V}{\beta} * \frac{\partial P}{\partial t}$$

Se analiza el flujo de aceite en cada una de las cámaras del actuador (ver **figura 29**) y se obtiene,

$$\boxed{\phantom{Q_{c1}}} = \frac{V_1}{\beta} * \dot{P}_1 + \dot{V}_1 \text{ Ecuación 2}$$

**Figura 29.** Esquema General del Sistema de Control de Posición.



Definiendo  $V_1$  como el volumen confinado en la cámara 1 del cilindro  $V_{c1}$ , más el volumen desplazado por el pistón:

$$\boxed{V_1} = V_{c1} + A_p * Y_p \text{ Ecuación 3}$$

Consecuentemente:

$$\dot{V}_1 = A_p * \dot{Y}_p$$

Si el volumen desplazado por el cilindro es bastante menor que el volumen en la cámara del cilindro, la **ecuación 3** se reduce a:

$$V_1 \cong V_{c1}$$

El volumen de cada una de las cámaras es el mismo, y el volumen total  $V_t$  es el doble de cualquiera de las cámaras. Reemplazando en la **ecuación 3**:

$$Q_{c1} = \frac{V_t}{2 * \beta} * \dot{P}_1 + A_p * \dot{Y}_p$$

Se desarrolla del mismo modo para la otra cámara del cilindro pero teniendo en cuenta el signo por el desplazamiento del spool:

$$Q_{c2} = \frac{V_t}{2 * \beta} * \dot{P}_2 + A_p * \dot{Y}_p$$

El caudal de carga se define como la suma del caudal de pérdidas más el promedio de los caudales en las cámaras del cilindro:

$$Q_L = C_f * P_L + \frac{Q_{c1} + Q_{c2}}{2}$$

En el que  $C_f$  el coeficiente total de fugas. El efecto:

$$\boxed{Q_L = C_f * P_L + A_p * \dot{Y}_p + \frac{V_t}{4 * \beta} * \dot{P}_L} \text{ Ecuación 4}$$

- ✓ **Sistema Hidráulico: análisis de la válvula de Control.** La válvula se supone subtraslapada y simétrica, suponemos que la inercia y la fricción de la carga son pequeñas comparadas con la gran fuerza hidráulica:

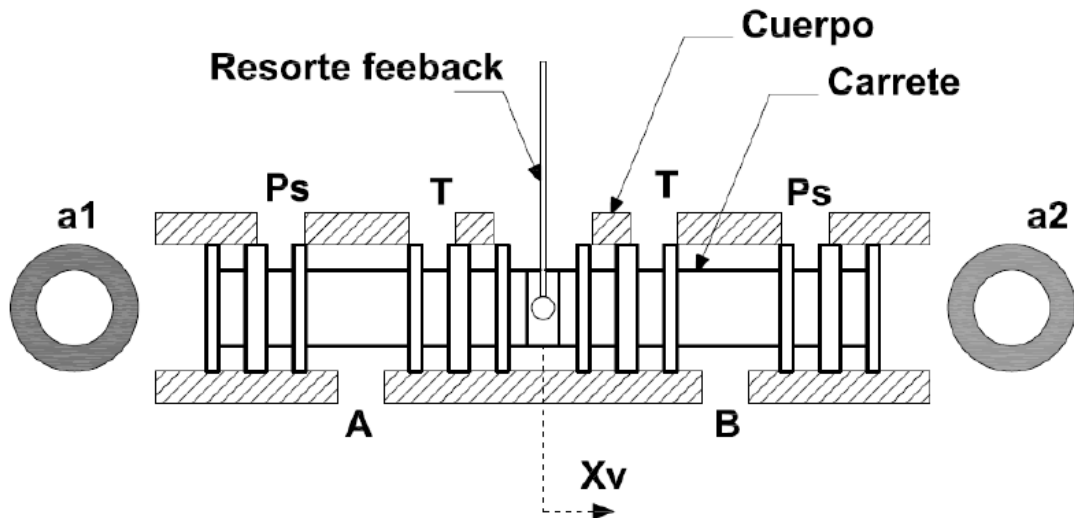
$$F_{\text{fricción}} = 0$$

$$F_{\text{inercia}} = 0$$

También se supondrá que el fluido hidráulico es incomprensible y la fuerza de inercia del actuador de potencia despreciable. Suponemos igualmente que el área del orificio (el ancho de la ranura en la manga de la válvula) en cada puerto es proporcional al desplazamiento del spool  $X_v$ :

$$\text{área} \propto X_{\text{válvula}}$$

**Figura 30.** Diagrama de la corredera principal de la servoválvula.



**Fuente.** CHAVARRO Johan y MARIÑO Carlos. Modelado y caracterización dinámica de un servoactuador hidráulico. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2010. Página 106

El flujo a través de los orificios de la servoválvula se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q_1 = C_d * a_1 * \sqrt{\frac{2}{\rho} * (P_s - P_1)}$$

$$Q_2 = C_d * a_2 * \sqrt{\frac{2}{\rho} * (P_2 - P_0)}$$

$C_d$  es el coeficiente de descarga, que es un factor de corrección por las pérdidas de energía de fluido a través de un orificio.

El diferencial de presión es obtenido:

$$P_0 = 0$$

$$P_s = P_1 + P_2$$

Además se supone que la presión de retorno  $P_0$  en la línea de retorno es pequeña, por lo tanto puede despreciarse. Por lo tanto se define el diferencial de presión entre las cámaras del cilindro como:

$$\Delta P_L = P_1 - P_2$$

$$P_1 = \frac{P_s - P_L}{2}$$

$$P_2 = \frac{P_s - P_L}{2}$$

Si se considera que la válvula es simétrica y se asume en esta parte que el fluido es incomprensible para simplificar el modelo, se puede decir que los caudales de cada una de las vías de la servoválvula son iguales. Para que la ecuación de caudal quede en función del desplazamiento del spool (carrete) se

interpreta el área de orificio proporcional a este, y se da la igualdad aplicando una constante de proporcionalidad:

$$a = k * x_v$$

La constante k está en función de los parámetros geométricos de la servoválvula. Reemplazando obtenemos:

$$Q_1 = Q_2 = C_d * k * x_v * \sqrt{\frac{1}{g} * (P_s - P_L)}$$

Como el caudal es el mismo cuando la corredera principal se desplaza hacia la izquierda o derecha del centro, debido a la simetría de cada una de las vías en la servoválvula:

$$Q_1 = Q_2 = Q_L = C_d * k * |x_v| * \sqrt{\frac{1}{g} * (P_s - |P_L|)}$$

Se usa el teorema de Taylor para linealizar el caudal. El teorema expresa que si una función es infinitamente derivable en un intervalo dado, puede representarse como una serie de potencias. En cierto modo se trata de una especie de polinomio con infinitos términos pero como queremos obtener una expresión lineal que converja en  $Q_L = Q_{L0}$  y  $P_L = P_{L0}$  que se refiere a la posición central del spool por ser el punto de operación. Se evalúa la serie para el primer término y considerando una pequeña perturbación alrededor de la posición de trabajo:

$$Q_L = \left( \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right)_{x_{v0}, P_{L0}} * x_v + \left( \frac{\partial Q_L}{\partial P_L} \right)_{x_{v0}, P_{L0}} * P_L$$

Abreviando un poco:

$$Q_L = k_q * x_v + k_c * P_L \text{ Ecuación 5}$$

$$k_q = \left( \frac{\partial Q_L}{\partial x_v} \right)_{x_{v0}, P_{L0}} = C_d * k * \sqrt{\frac{1}{g} * (P_s - P_{L0})}$$

$$k_c = \left( \frac{\partial Q_L}{\partial P_L} \right)_{x_{v0}, P_{L0}} = \frac{C_d * k * x_{v0} * \sqrt{\frac{1}{\rho}}}{2 * \sqrt{P_s - P_{L0}}}$$

Los coeficientes  $k_c$  y  $k_q$  se llaman coeficientes de la válvula y varían con el punto de operación del sistema.

Ya que el efecto predominante en la respuesta del sistema está dado por el cilindro, se desprecian los efectos de amortiguación viscosa, fricción e inercia para el modelo de la dinámica del spool.

$$x_v = K_i * K_u * u$$

Ecuación 6

Donde  $x_v$  es el desplazamiento del spool de la servoválvula,  $K_i$  es la ganancia de carrera del spool para una entrada de corriente  $i$ , y  $K_u$  es la ganancia de la entrada de corriente  $i$  sobre la entrada de voltaje  $u$ .

Reemplazando la ecuación 6 en la ecuación 5, se tiene:

$$Q_L = k_q * K_i * K_u * u + k_c * P_L$$

Ecuación 7

Igualando la ecuación 7 y la ecuación 4, se tiene que:

$$\dot{P}_L = \frac{4 * \beta}{V_t} * \left( (K_c - C_f) * P_L - A_p * \dot{Y}_p + k_q * k_i * k_u * u \right)$$

Ecuación 8

#### ✓ **Análisis Matemático del sistema.**

Se aplica ley de Newton (ver **figura 32**):

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{m} * \mathbf{a}$$

$$F_{\text{hidráulica-actua}} - F_{\text{resorte}} - W_{\text{masa}} - F_{\text{C amortiguadora}} = M * a \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

$$W = \text{Peso de la masa a levantar} = M * g \quad \text{Ecuación 10}$$

De la ecuación 9, tenemos:

$$F_L = M * \frac{d^2Y}{dt^2} - k_R * (Y_{\text{ENTRADA}} - Y_1) + C * \frac{dY}{dt} + M * g$$

$Y_{\text{entrada}} \leq Y_1$ , no existe perturbación y se debe tener en cuenta en el proceso de cálculo.

Aplicando Laplace ambos lados, se tiene:

$$\frac{Y(s)}{F_L(s)} = \frac{s^2 - M * g + k_R * Y_1}{M * s^3 + k_R * s^2 + k_R * s} \quad \text{Ecuación 11}$$

En la siguiente **tabla 10**, se resumen las constantes del modelo y se encuentra el valor de aquellas propiedades físicas que pueden ser calculadas:

**Tabla 10.** Parámetros conocidos para el modelo matemático del servo-actuador hidráulico.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Módulo de Bulk	$\beta$	4.6e8	N/m <sup>2</sup>
Presión de Suministro	Ps	3000	Psi
Gravedad	g	9.81	m/s <sup>2</sup>
Área efectiva del cilindro	Ap	1.5201e-3	m <sup>2</sup>
Masa de prueba	M	50	Kg
Volumen total	Vt	5.7915e-4	m <sup>3</sup>
Densidad del fluido	$\rho$	858	Kg/m <sup>3</sup>
Distancia libre sin resorte	Y1	19.3	cm

- ✓ **Análisis de la Ganancia del CONTROL PID.** En modo estacionario, el PID del PLC varía y regula el valor de su salida,  $\Delta u$ , para llevar a cero el error  $E(s)$ . El principio de una regulación PID se basa en la ecuación que se indica a continuación, donde la salida  $M(t)$  es una función de un término proporcional, uno integral y uno derivativo:

$$PID_{PLC} \rightarrow M(t) = K_C * e + K_C * \int_0^t e * dt + M_{inicial} + K_C * \frac{dy}{dx}$$

Dónde:

$M(t)$  es la salida del lazo en función del tiempo

$K_C$  es la ganancia del lazo

$e$  es el error de regulación (diferencia entre el setpoint y la variable del proceso)

Minicial es el valor inicial de la salida del lazo

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

$$M_n = K_C * e_n + K_I * \sum_1^n e_x + M_{inicial} + K_D * (e_n - e_{n-1})$$

Salida = término proporcional + término integral + término derivativo

Dónde:

$M_n$  Es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-ésimo

$K_C$  es la ganancia del lazo

$e_n$  Es el valor del error del lazo en el muestreo n-ésimo

$e_{n-1}$  Es el valor previo del error de regulación ( en el muestreo (n-1)-ésimo)

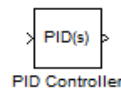
$e_n$  Es el valor del error de regulación en el muestreo x

$K_I$  Es la constante proporcional del término integral

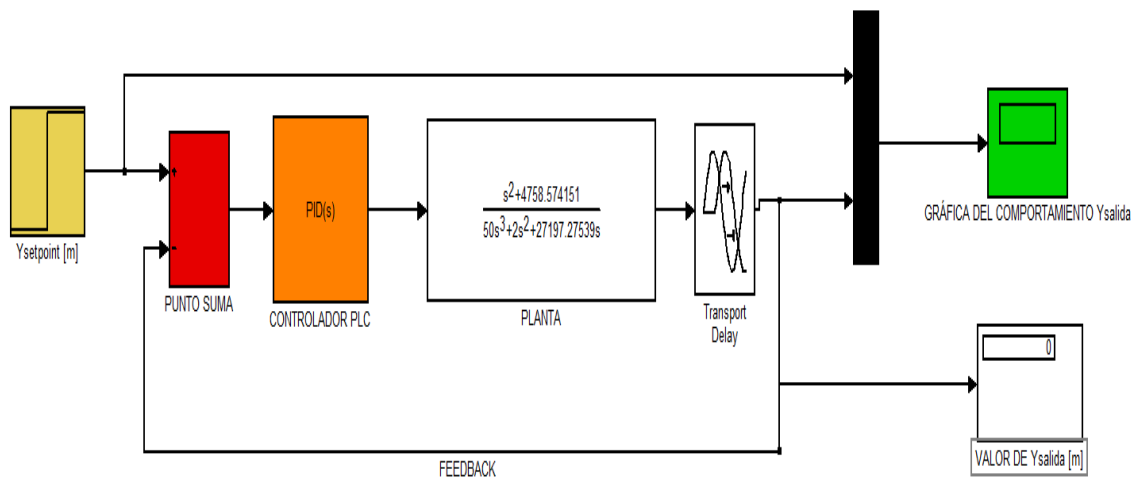
$K_D$  Es la constante proporcional del término derivativo

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

Al trabajar con la herramienta de simulink de Matlab, se facilita el cálculo y el análisis del comportamiento de la planta, del manejo de las constantes del controlador PID por medio de la herramienta de la librería de simulink:



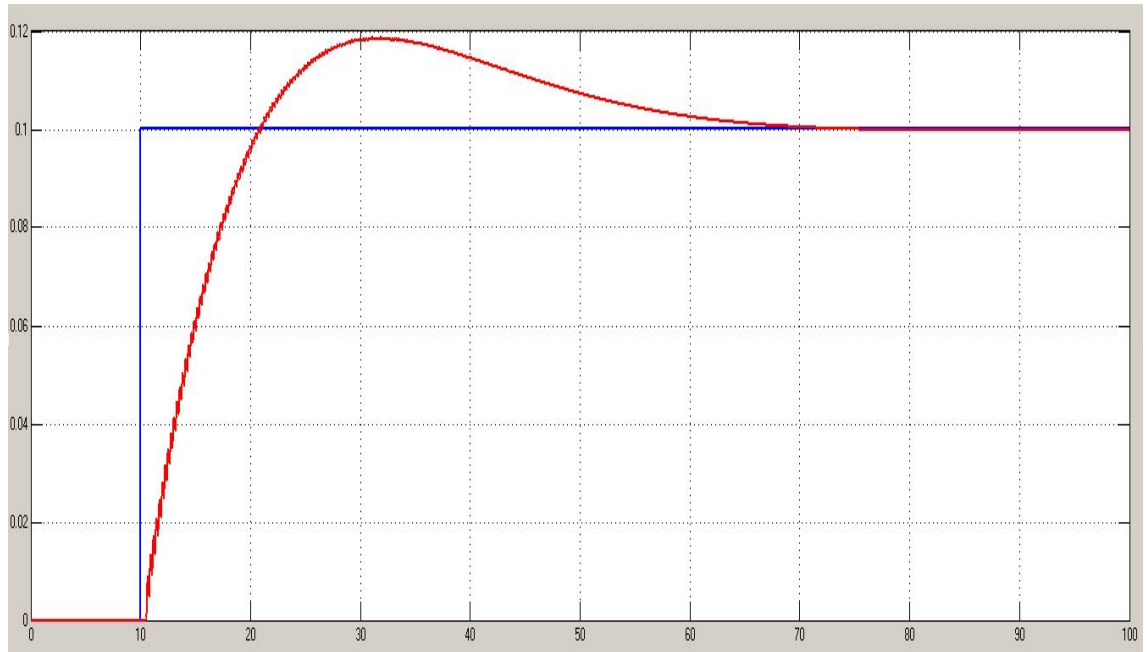
**Figura31.** Diagrama de bloques del sistema de control de posición desarrollado en **simulink**.



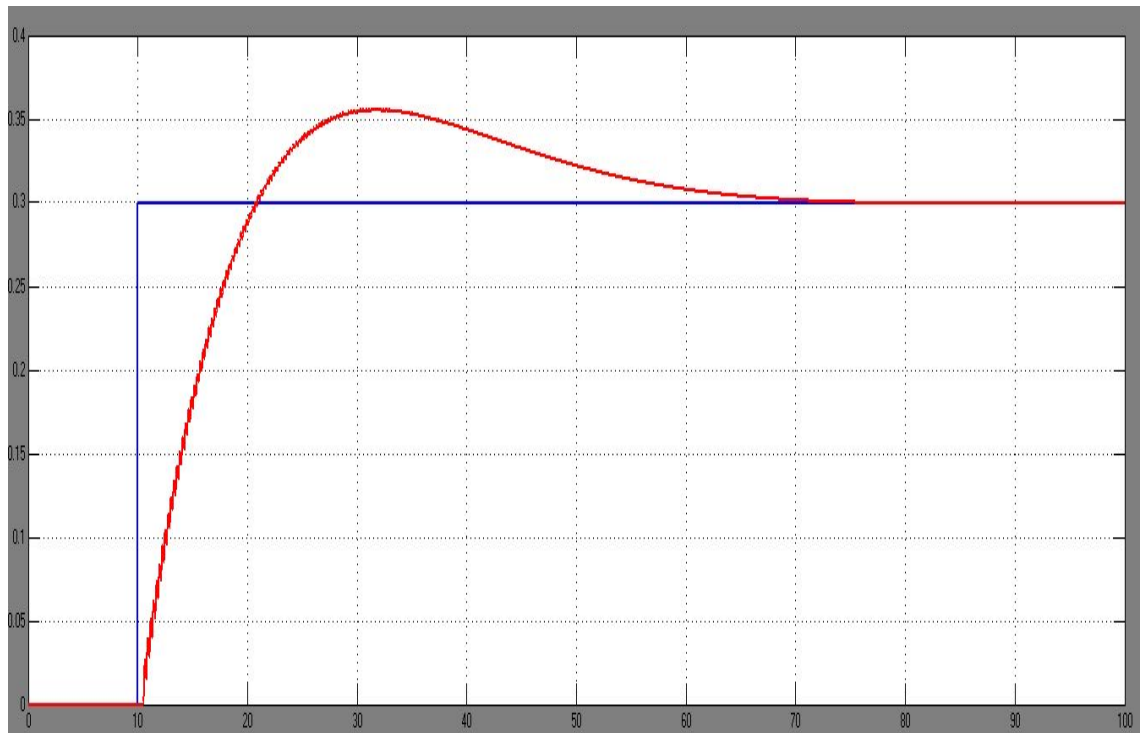
Ahora, se comprueba el comportamiento del sistema introduciendo un valor escalon, como:

**Figura 32.** Respuesta del sistema

a)  $Y_{\text{setpoint}} = 0.1 \text{ [m]}$



b)  $Y_{\text{setpoint}} = 0.3 \text{ [m]}$ .



### 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para verificar el buen funcionamiento del laboratorio y el cumplimiento de los objetivos del proyecto, se colocó este espacio para mostrar las capacidades y poder solucionar o tomar las medidas pertinentes para la corrección de cualquier falencia que pueda suceder en el transcurso de estas.

#### 3.1 PRUEBA (1) SERVO SISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 Y PLACA ARDUINO MEGA 2560 (PRUEBA DE ESCALÓN).

El laboratorio de servosistemas de potencia fluida (Control Automático), con el fin de mostrar el funcionamiento de una servoválvula y una válvula proporcional realiza la prueba de escalón, con la cual se ve el comportamiento de cada elemento de hidráulica y proporcional. Adicional se realiza la práctica con un PLC S7-200 y una tarjeta Arduino Mega 2560, con la cual se puede observar y comparar el comportamiento entre dos elementos de control diferentes.

##### 3.1.1 Prueba de escalón con PLC S7-200

##### 3.1.1.1 Prueba escalón a la Servoválvula-PLC.

Figura 33. Escalón a 5 [cm] con la servoválvula.

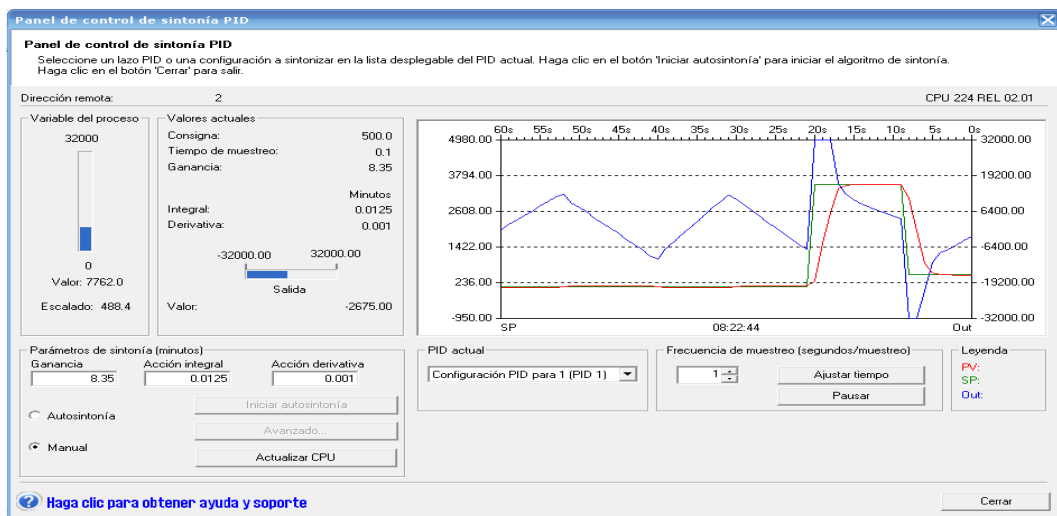


Figura 34. Escalón a 10 [cm] con la servoválvula.

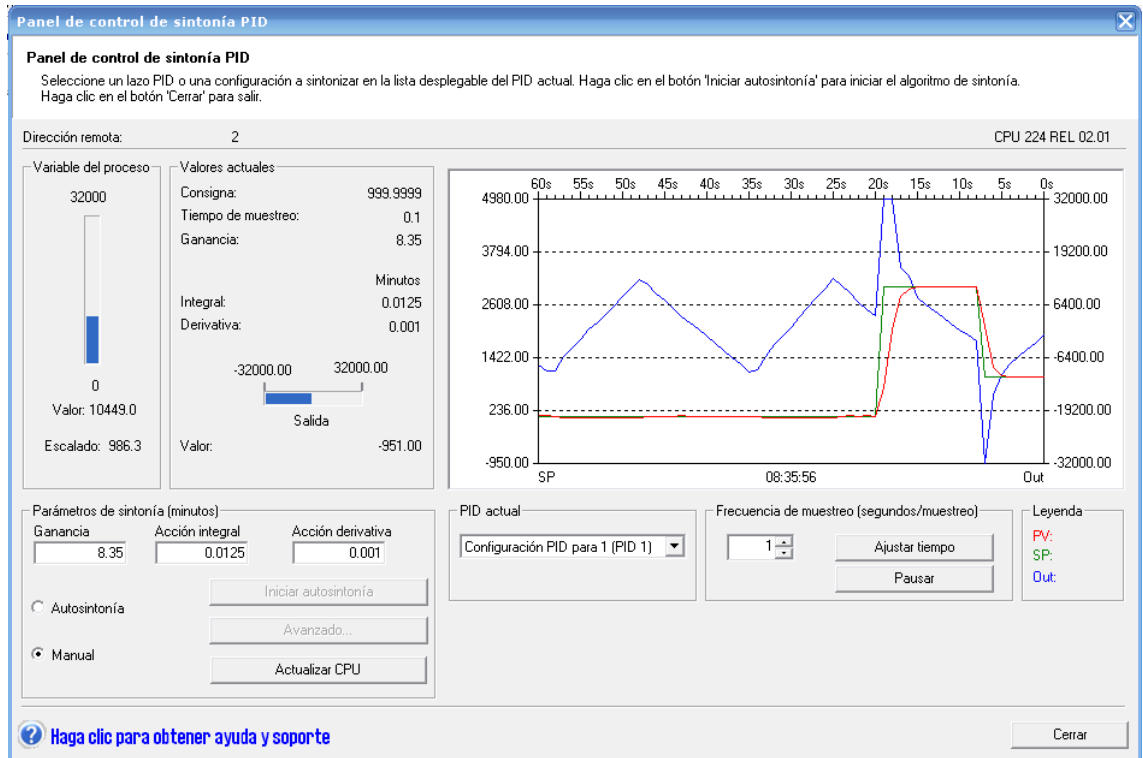


Figura 35. Escalón a 15 [cm] con la servoválvula.

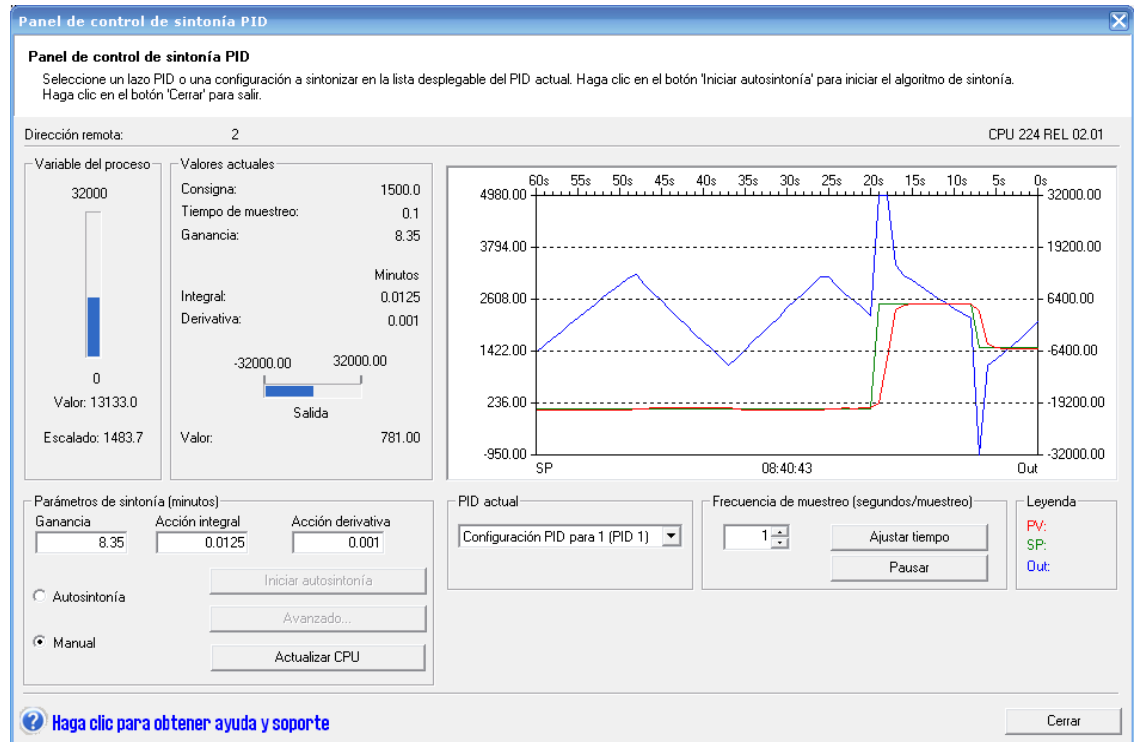


Figura 36. Escalón a 25 [cm] con la servoválvula.

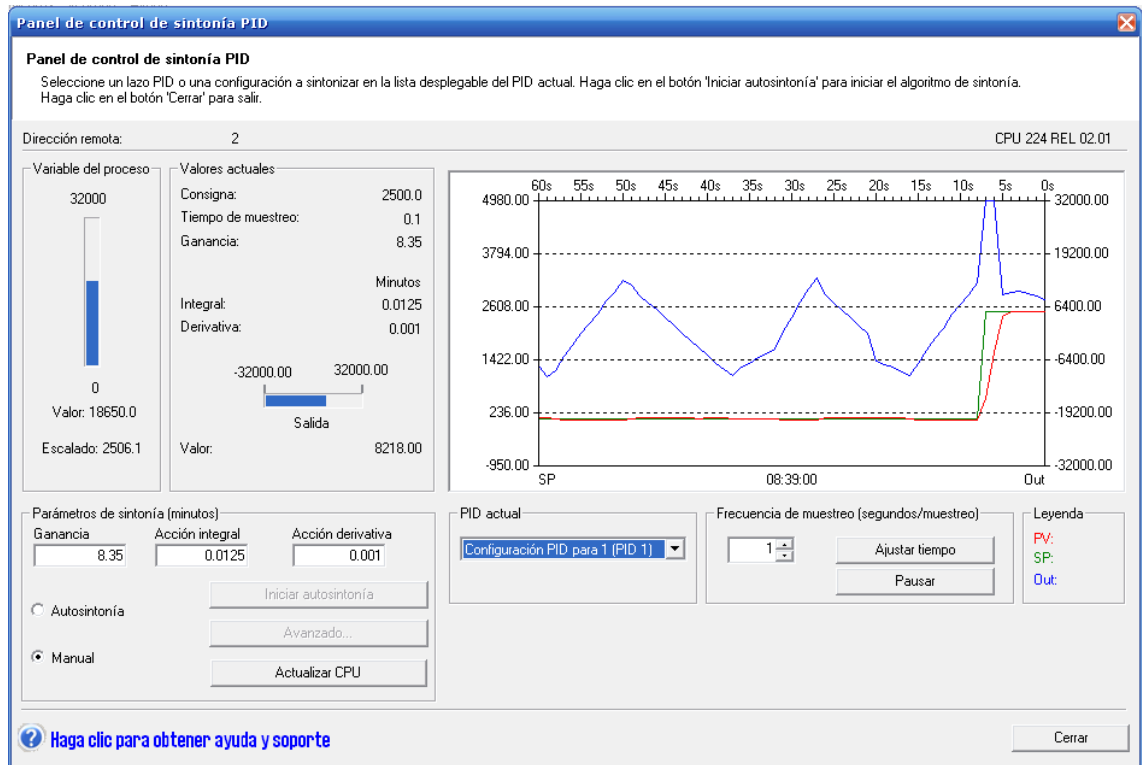
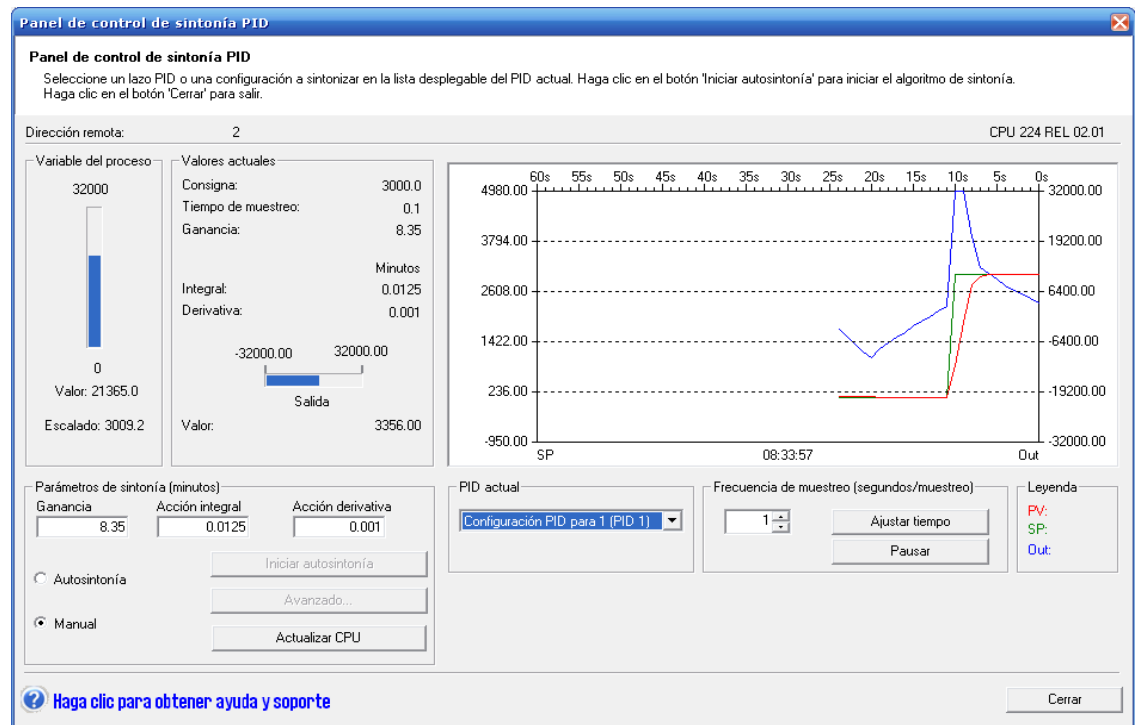
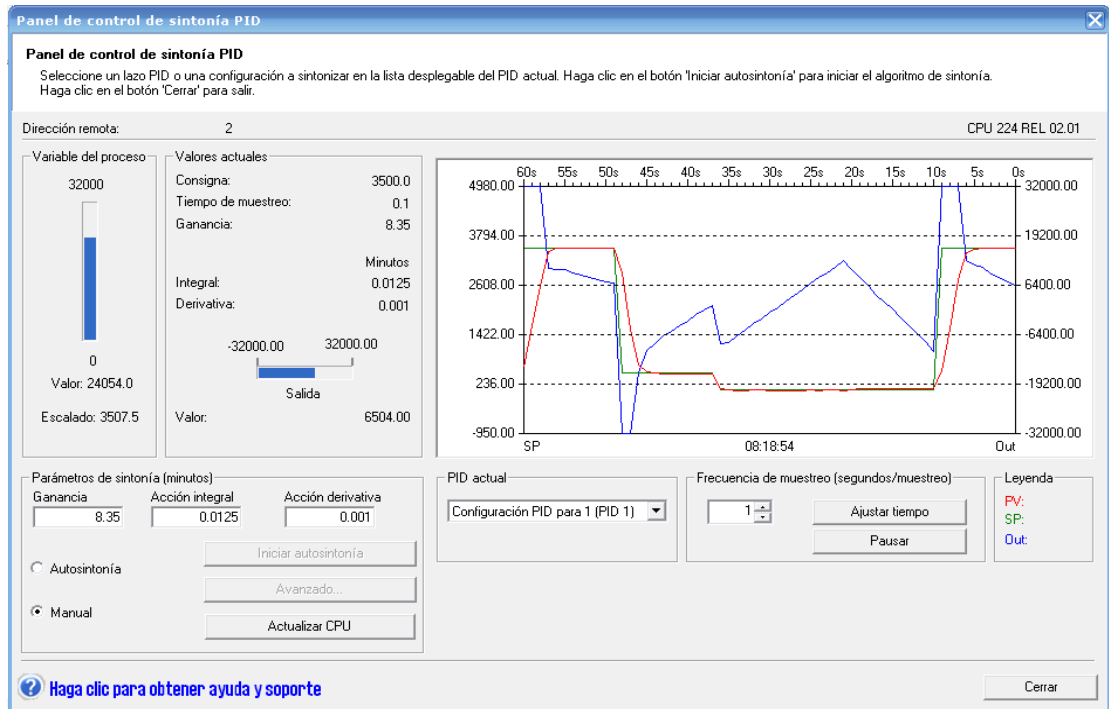


Figura 37. Escalón a 30 [cm] con la servoválvula.



**Figura 38. Escalón a 35 [cm] con la servoválvula.**



### 3.1.1.2 Prueba escalón a la Válvula Proporcional-PLC.

**Figura 39. Escalón a 5 [cm] con la válvula proporcional.**

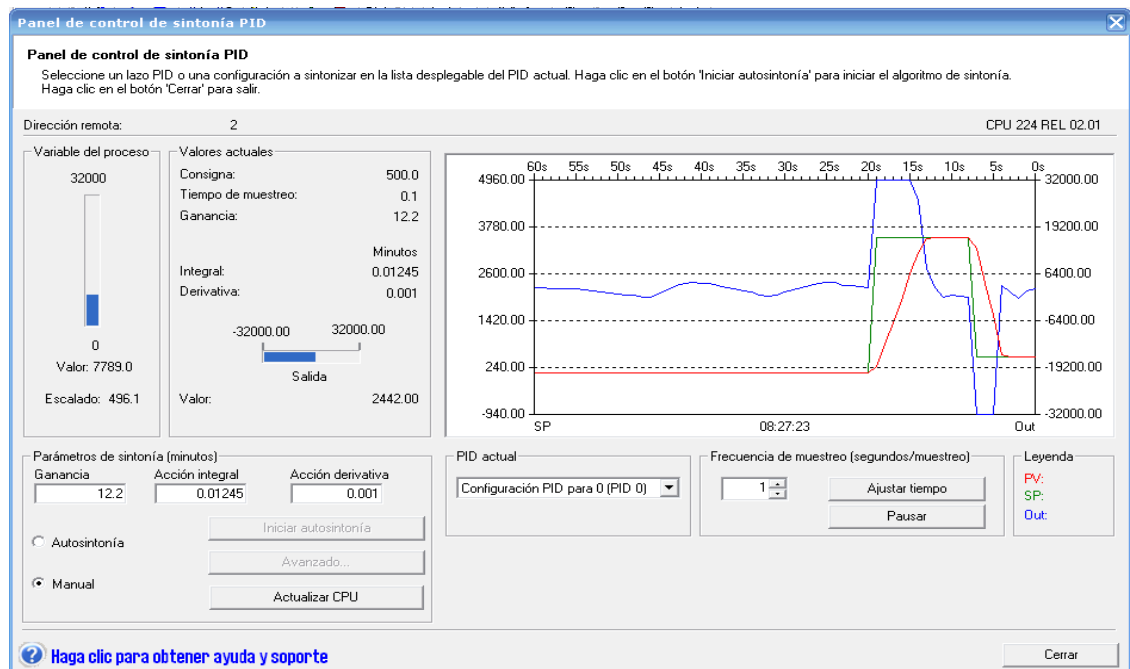


Figura 40. Escalón a 10 [cm] con la válvula proporcional.

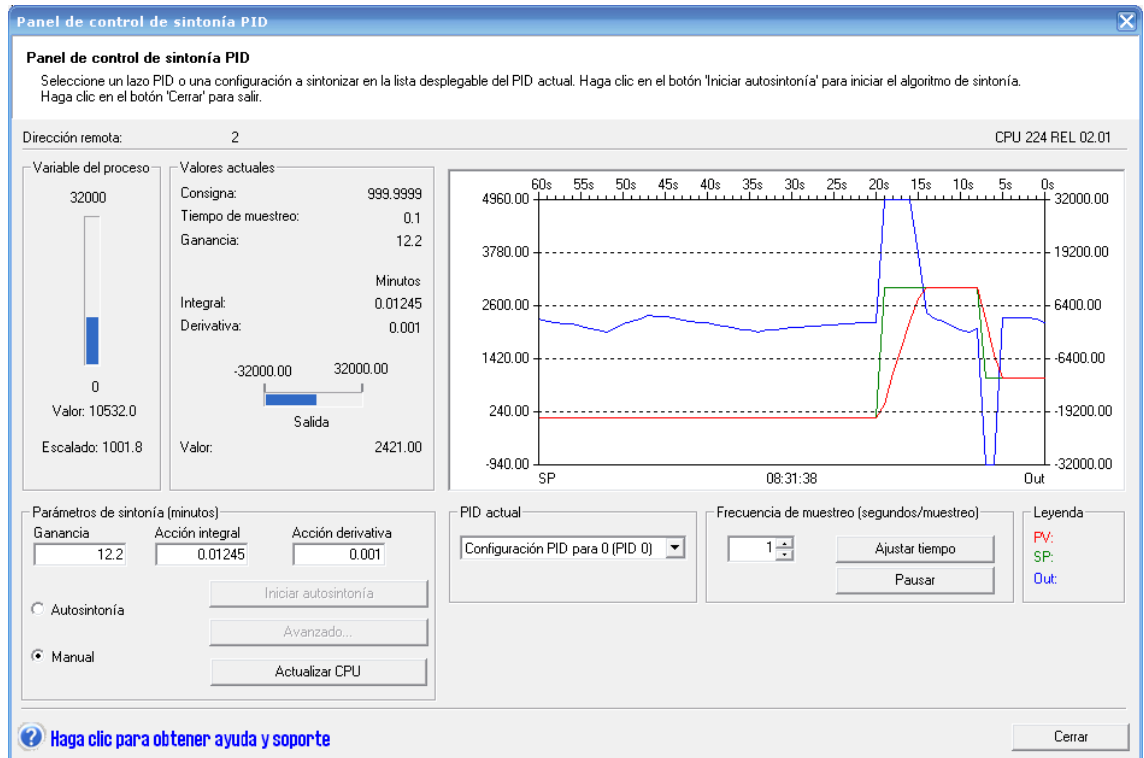


Figura 41. Escalón a 15 [cm] con la válvula proporcional.

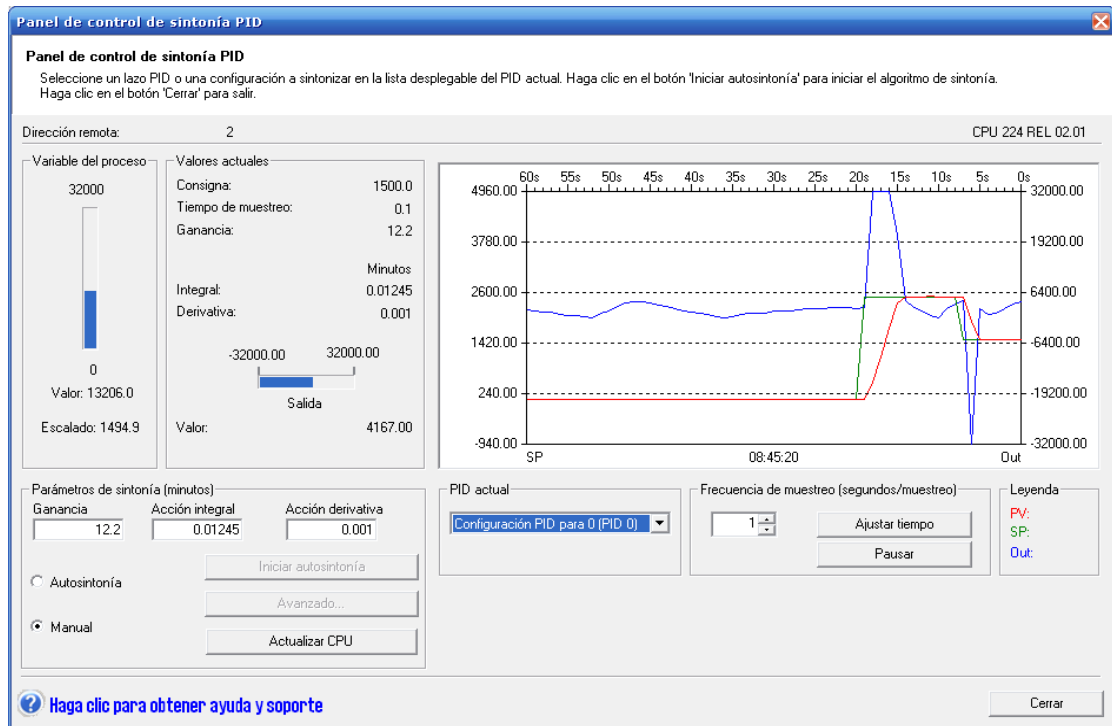


Figura 42. Escalón a 25 [cm] con la válvula proporcional.

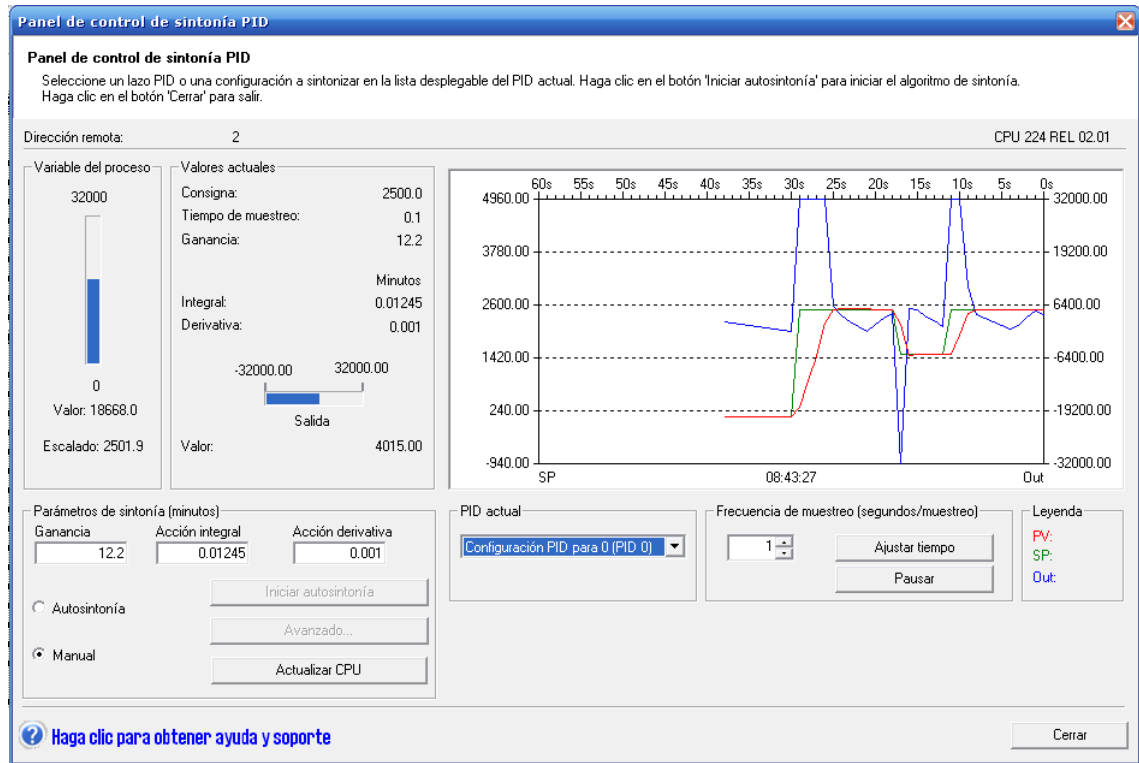
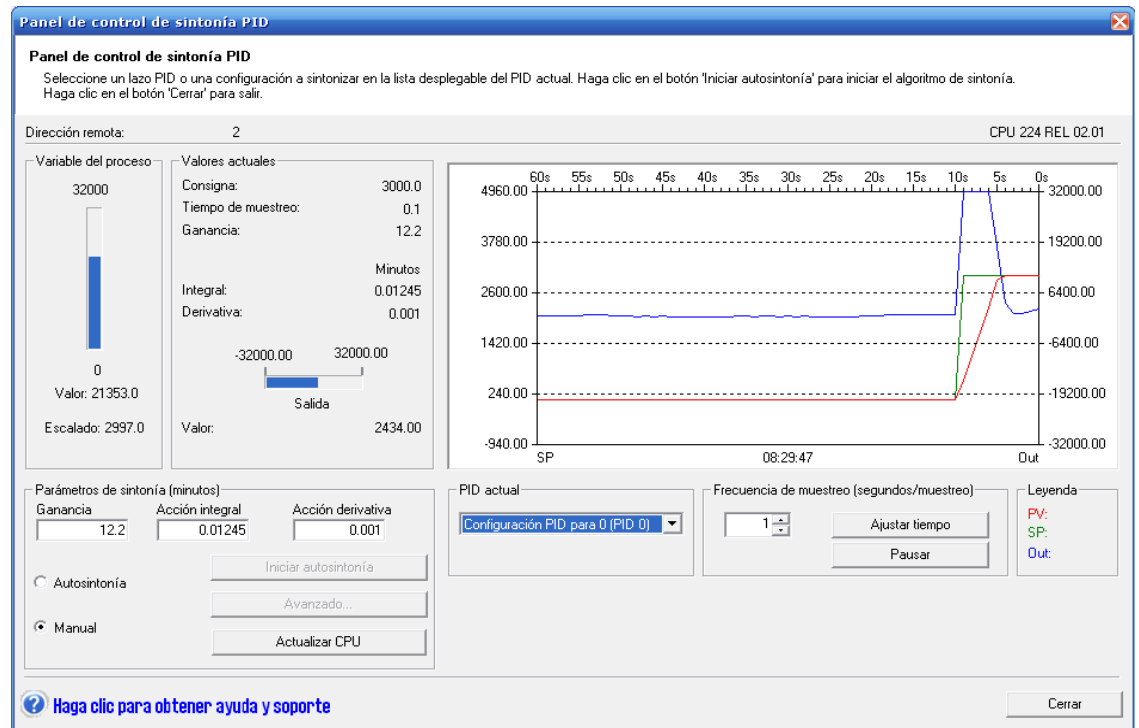
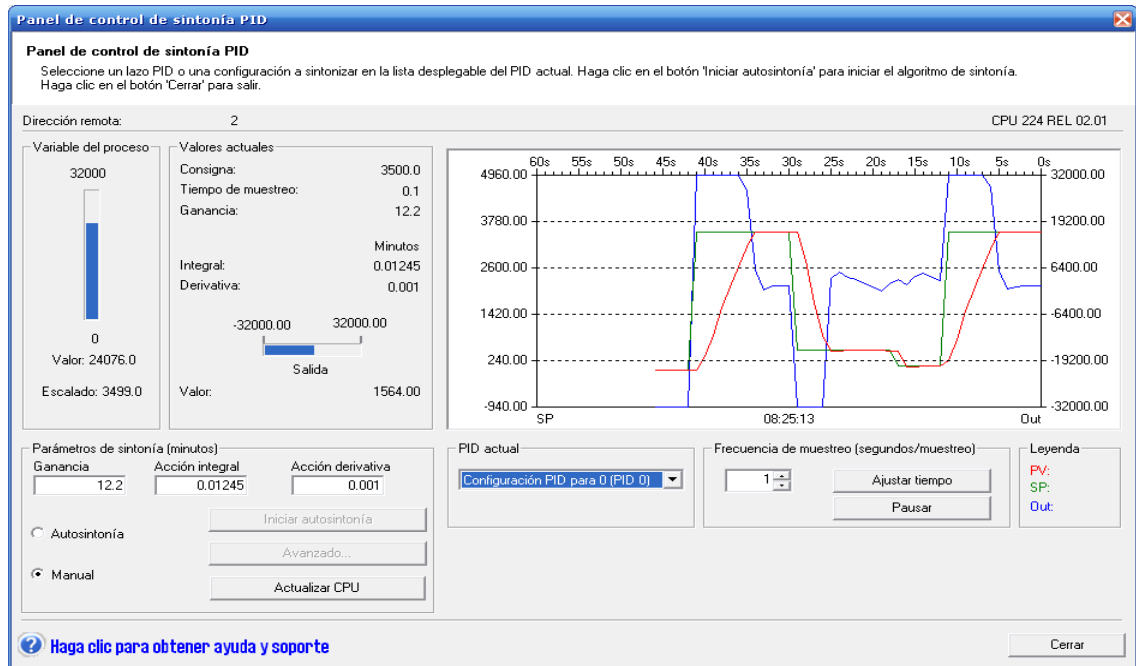


Figura 43. Escalón a 30 [cm] con la válvula proporcional.



**Figura 44.** Escalón a 35 [cm] con la válvula proporcional.



### 3.1.2 PRUEBA DE ESCALÓN CON ARDUINO MEGA 2560.

#### 3.1.2.1 Prueba a la Servoválvula-ARDUINO MEGA 2560.

**Figura 45.** Escalón a 5 [cm] con la servoválvula.



Figura 46. Escalón a 10 [cm] con la servoválvula.

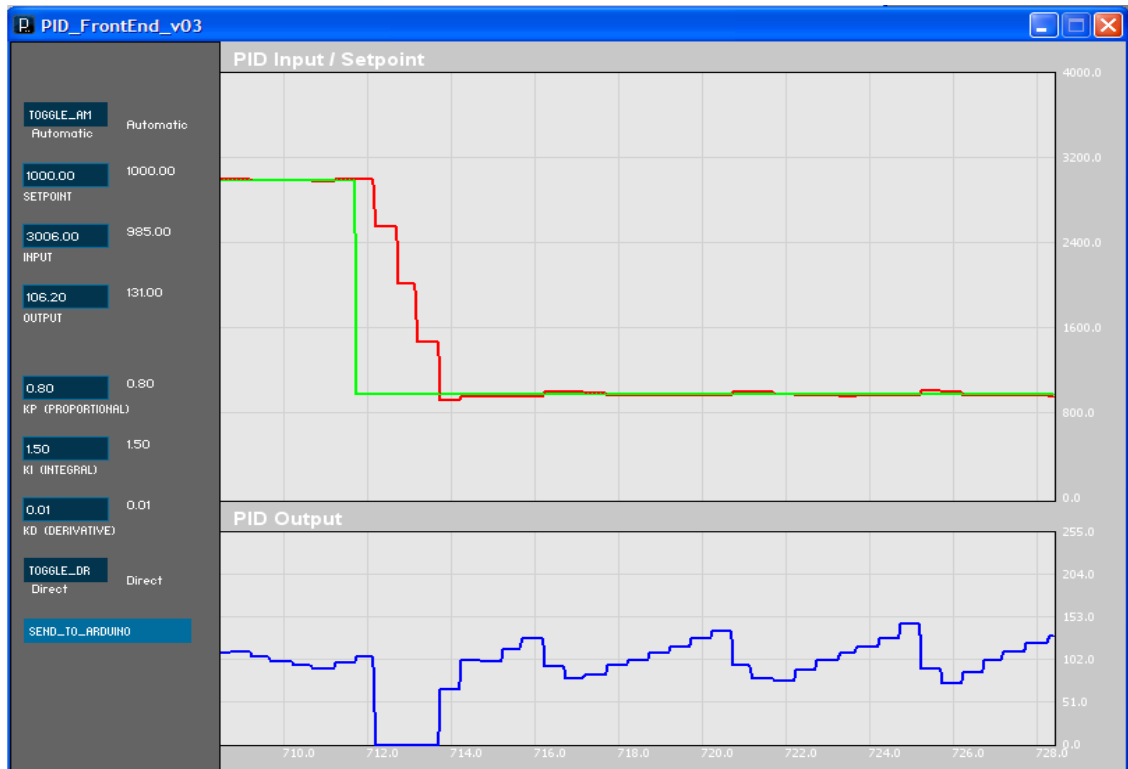


Figura 47. Escalón a 15 [cm] con la servoválvula.

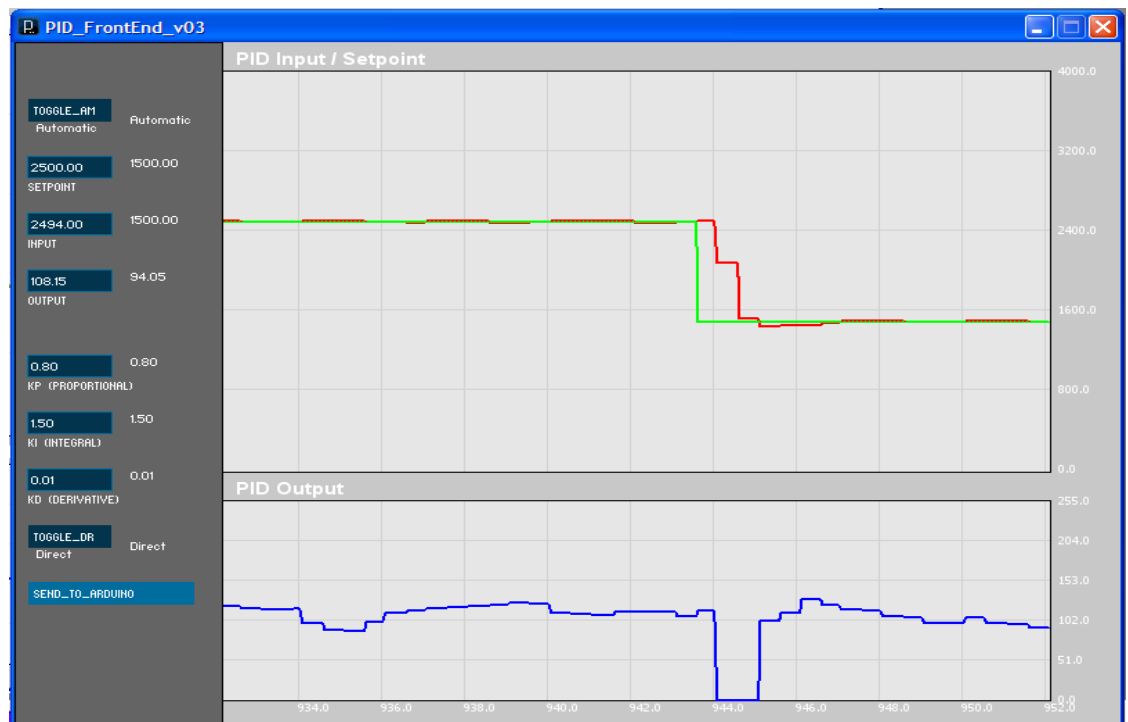


Figura 48. Escalón a 25 [cm] con la servoválvula.

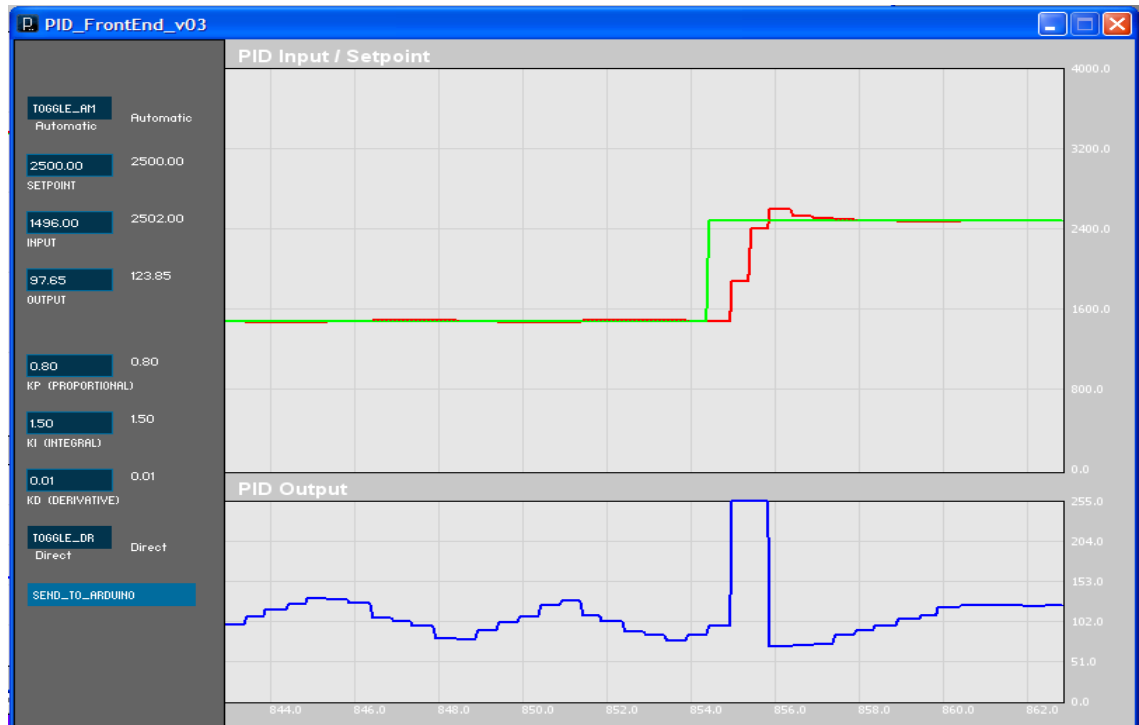
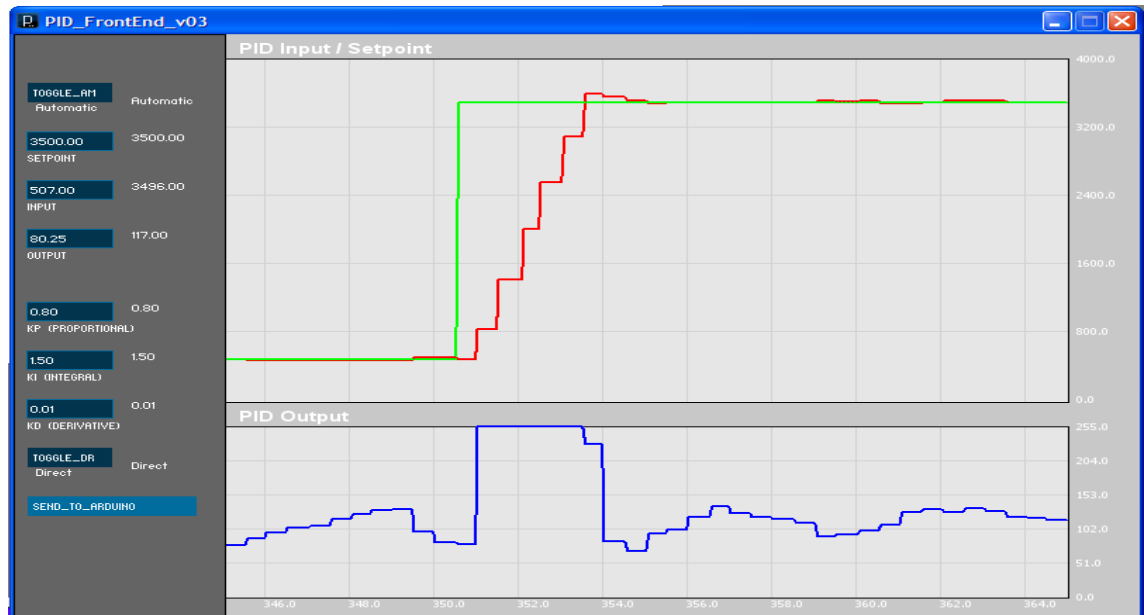


Figura 49. Escalón a 30 [cm] con la servoválvula.



Figura 50. Escalón a 35 [cm] con la servoválvula.



### 3.1.2.2 Prueba escalón a la Válvula Proporcional

Figura 51. Escalón a 5 [cm] con la válvula proporcional.

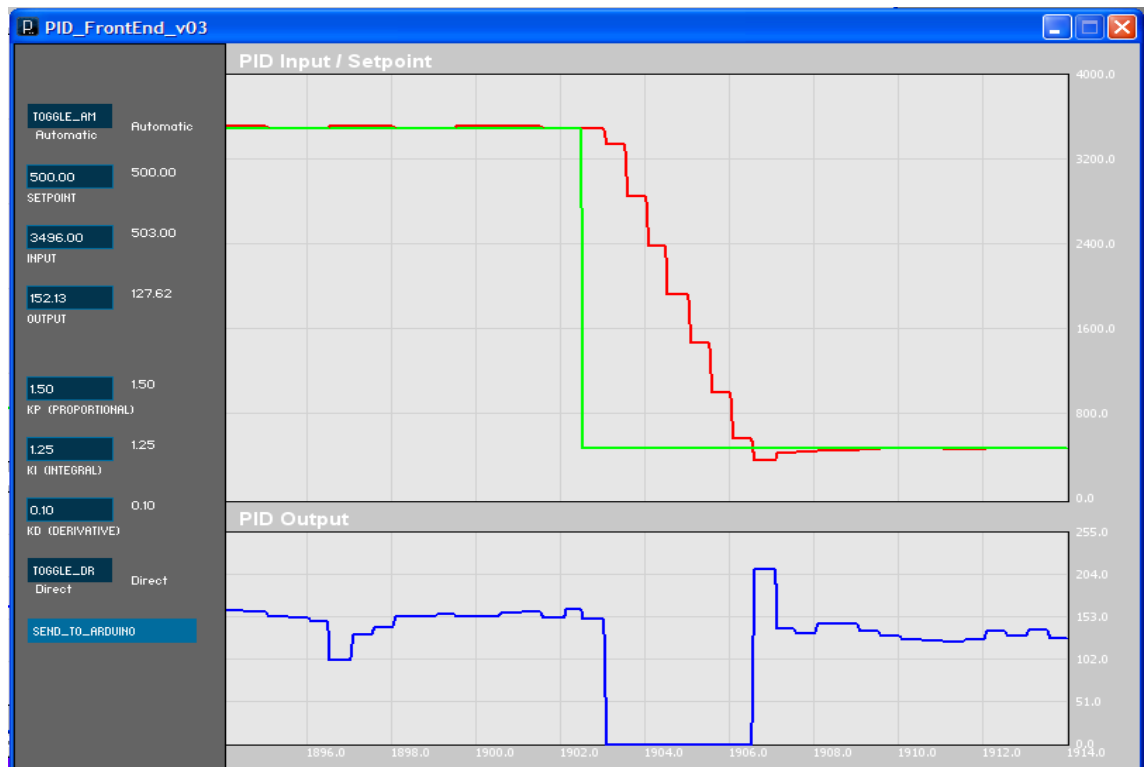


Figura 52. Escalón a 10 [cm] con la válvula proporcional.



Figura 53. Escalón a 15 [cm] con la válvula proporcional.

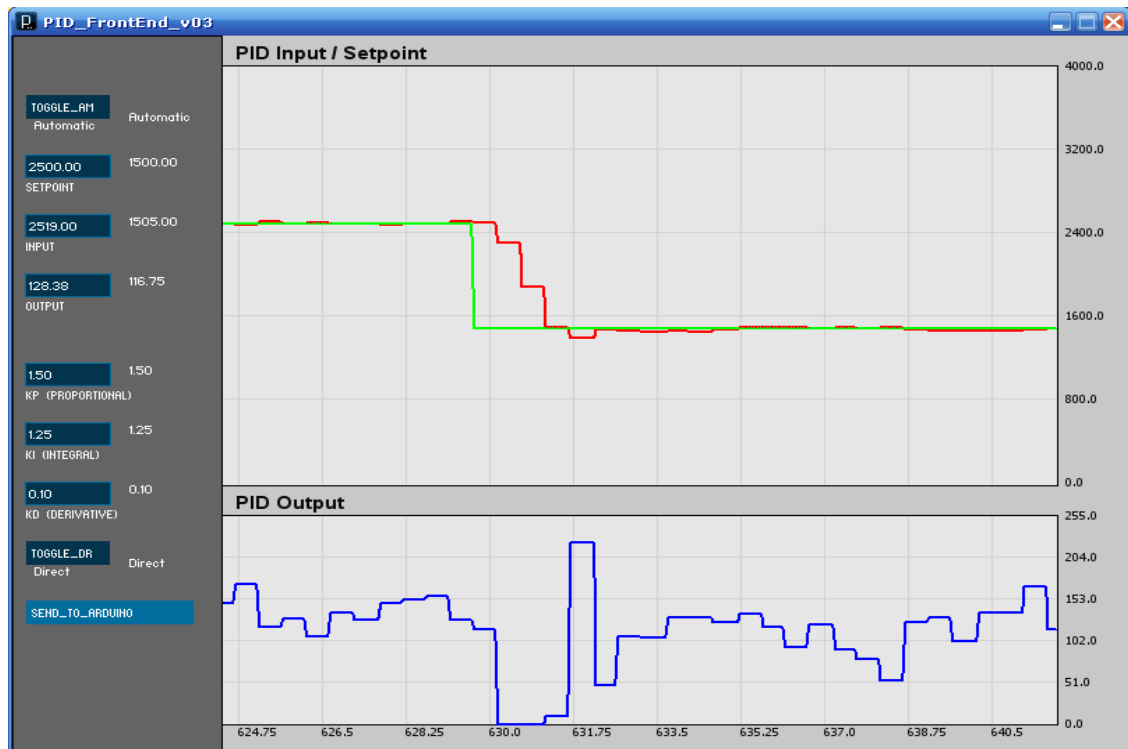


Figura 54. Escalón a 25 [cm] con la válvula proporcional.

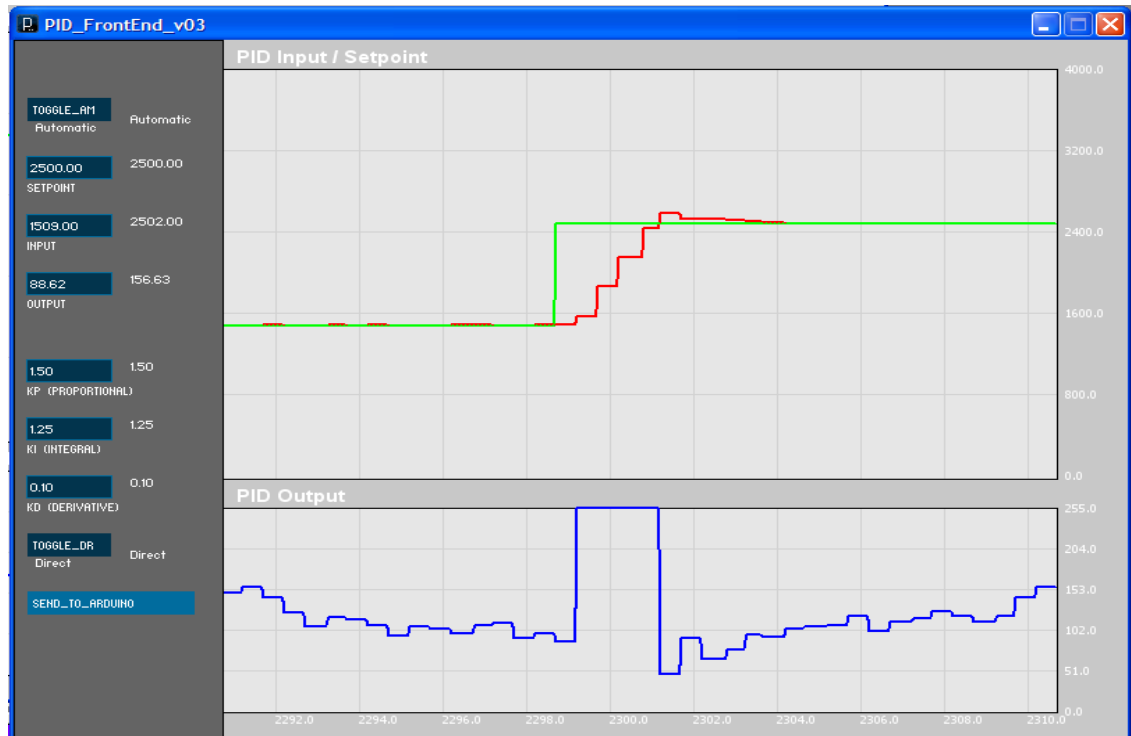


Figura 55. Escalón a 30 [cm] con la válvula proporcional.



Figura 56. Escalón a 35 [cm] con la válvula proporcional.



En general los dos controladores cumplen la función, pero es evidente que el funcionamiento del PLC supera al Arduino Mega, en exactitud y respuesta del sistema. Es importante saber que las adaptaciones realizadas en Arduino, muestran una mejora en la salida del sistema, pero la proveniencia de la señal (PWM), se refleja en el recuadro, "PID Output", donde la onda maneja partes cuadradas y no es totalmente análoga.

Observando el funcionamiento y la respuesta de cada válvula, la servoválvula es mucho más rápida, pero en cuanto a la exactitud las dos muestran comportamientos similares. Dicho funcionamiento cumple con las necesidades para implementar la práctica 1, a los estudiantes de servosistemas de potencia fluida (Control Automático).

### 3.2. PRUEBA (2) REPETIBILIDAD DEL SERVISISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 ADQUIRIENDO LOS DATOS EN UNA MACRO DE EXCEL.

En esta práctica se va a realizar la repetibilidad, para verificar el funcionamiento de las válvulas de hidráulica proporcional, midiendo la exactitud del PLC S7-200, es necesaria la utilización de un libro de Excel con unas Macros habilitadas para adquisición de datos y poder realizar los cálculos estipulados.

**Tabla 11.** Adquisición de datos del proceso y setpoint de la servoválvula y la válvula proporcional.

VP_VALP	SP_VALP	VP_SV	SP_SV
101,72	100	3509,92	3500
96,00	100	483,58	500
105,96	100	3509,36	3500
104,30	100	495,07	500
98,58	100	2587,62	3500
103,56	100	484,32	500
101,17	100	3504,17	3500
97,11	100	487,84	500
100,98	100	3508,80	3500
95,63	100	490,84	500
3507,31	3500	85,16	100
500,34	500	97,20	100
3485,55	3500	131,85	100
500,44	500	90,34	100
1207,78	3500	90,34	100
3493,30	3500	115,92	100
502,00	500	82,19	100
3502,15	3500	123,14	100
503,47	500	81,63	100
464,20	3500	86,08	100
3495,33	3500	85,34	100
499,05	500	111,66	100
102,83	100	77,74	100

### 3.2.1. Cálculo del porcentaje de error para la servoválvula.

$$\%e = \frac{|SP_{SV} - \text{Prom VP}_{SV}|}{SP_{SV}} * 100$$

Hallamos el valor promedio del valor del proceso de la servoválvula (Prom VP<sub>SV</sub>), para poder realizar el cálculo del error.

$$\text{Prom VP}_{SV} = \frac{\sum VP_{SV}}{N}$$

Donde N es el número de repeticiones, como estamos tomando la medida de dos puntos específicos, vamos a realizar el cálculo para los dos valores, en este caso particular es de 3500 y 500.

Prom VP<sub>SV</sub> = 3494,683 para 3500

Prom VP<sub>SV</sub> = 488,3296 para 500

$$\%e = 0,1519\%, \text{ para } 3500 = 35\text{cm}$$

$$\%e = 2,33\%, \text{ para } 500 = 5\text{cm}$$

Para concluir esta parte de la prueba, el valor en cm del error que muestra la servoválvula es de 0,053cm cuando repite la posición de 35cm y 0,116cm para la posición de 5cm, con cinco (5) repeticiones de cada posición analizada.

### 3.2.2. Cálculo del porcentaje de error para la válvula proporcional.

$$\%e = \frac{|SP_{VALP} - \text{Prom VP}_{VALP}|}{SP_{VALP}} * 100$$

Hallamos el valor promedio del valor del proceso de la válvula proporcional (Prom VP<sub>VALP</sub>), para poder realizar el cálculo del error.

$$\text{Prom VP}_{SV} = \frac{\sum VP_{VALP}}{N}$$

Donde N es el número de repeticiones, como estamos tomando la medida de dos puntos específicos, vamos a realizar el cálculo para los dos valores, en este caso particular es de 3500 y 500.

Prom VP\_VALP = 3496,728, para 3500

Prom VP\_VALP = 501,06, para 500

$$\%E = 0,094\%, \text{ para } 3500 = 35\text{cm}$$

$$\%E = 0,212\%, \text{ para } 500 = 5\text{cm}$$

Los datos obtenidos en esta parte de la prueba muestran que el valor en cm de error que muestra la válvula proporcional es de 0,033 [cm] cuando repite la posición de 35 [cm] y 0,0106 [cm] para la posición de 5 [cm], con cinco (5) repeticiones de cada posición analizada.

Para concluir en general sobre esta prueba, es evidente el buen comportamiento del sistema de control efectuado con el PLC, además de las excelentes condiciones de los elemento de hidráulica proporcional estudiados en el banco de pruebas.

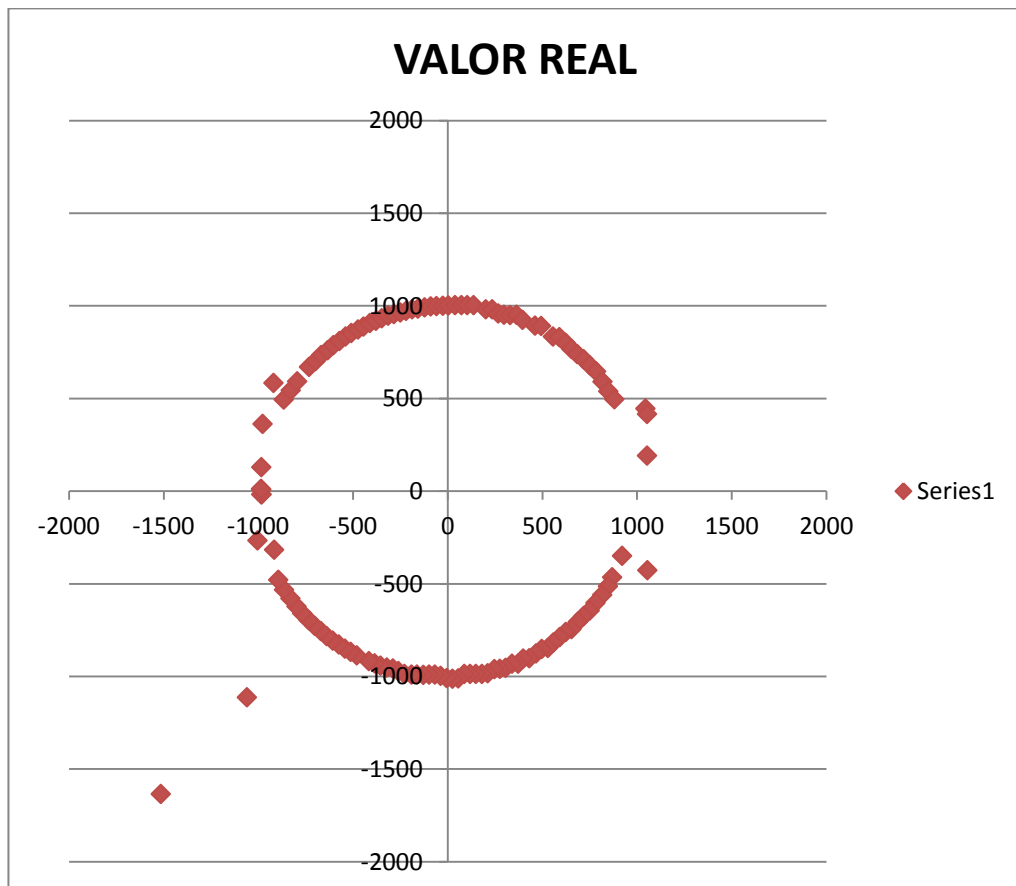
### **3.3 PRUEBA (3). REALIZACIÓN DE EJERCICIOS CON EJES COORDENADOS.**

Una aplicación a los servosistemas de posición son los ejes coordenados, los cuales tienen su principal aplicación en las máquinas de mecanizado CNC, la creación de este tipo de programas muestra las capacidades y los puntos a los cuales se puede llegar con el control, al poder realizar tareas con menor esfuerzo, mayor agilidad y en casos que exigen mucha destreza para un operario que no tiene estas herramientas. Por este motivo es importante que los estudiantes conozcan cómo funciona, como se realiza y como se puede mejorar. En este caso, al tener un autómatas gama baja los logros obtenidos

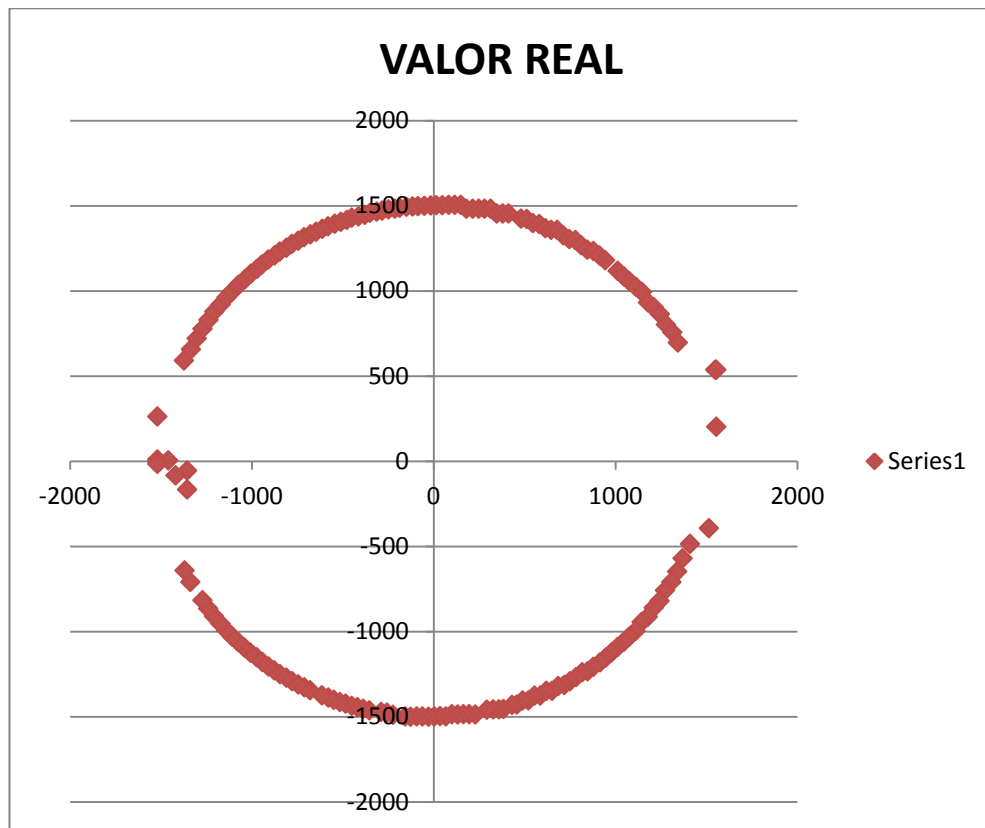
son netamente académicos y se trabajaron dos tipos de ejercicios para que se observen en la práctica.

### 3.3.1 Prueba Gráfica 1. Realización un círculo con centro en el punto (0,0).

**Figura 57.** Adquisición de datos del PLC S7-200 en la realización de una circunferencia con radio de valor 1000 (escala personalizada).



**Figura 58.** Adquisición de datos del PLC S7-200 en la realización de una circunferencia con radio de valor 1500 (escala personalizada).



Uno de los principales elementos geométricos utilizados en las máquinas de mecanizado son las circunferencias, para el caso en particular de este proyecto no se obtiene la misma exactitud que con las máquinas de mecanizado, pero el principal objetivo es el de mostrar que dicho proceso se puede realizar sin inconvenientes, para alcanzar la exactitud de las máquinas de los grandes talleres de mecanizado, es necesaria una inversión muy alta en automatización, la cual no es, precisamente la que se tiene en este caso, con el micro PLC S7-200, el cual es de las gamas más bajas de la empresa Siemens, y con el que se obtiene el gran beneficio de aprender, al adaptarlo para realizar procesos que benefician a la escuela de Ingeniería Mecánica de Universidad Industrial de Santander, en aplicaciones educativas.

Un aspecto importante en esta aplicación en particular, es que debido al cambio excesivamente rápido del setpoint (0,2/10ms), genera un error en la adquisición de los valores del setpoint en la hoja de Excel, al parecer se genera

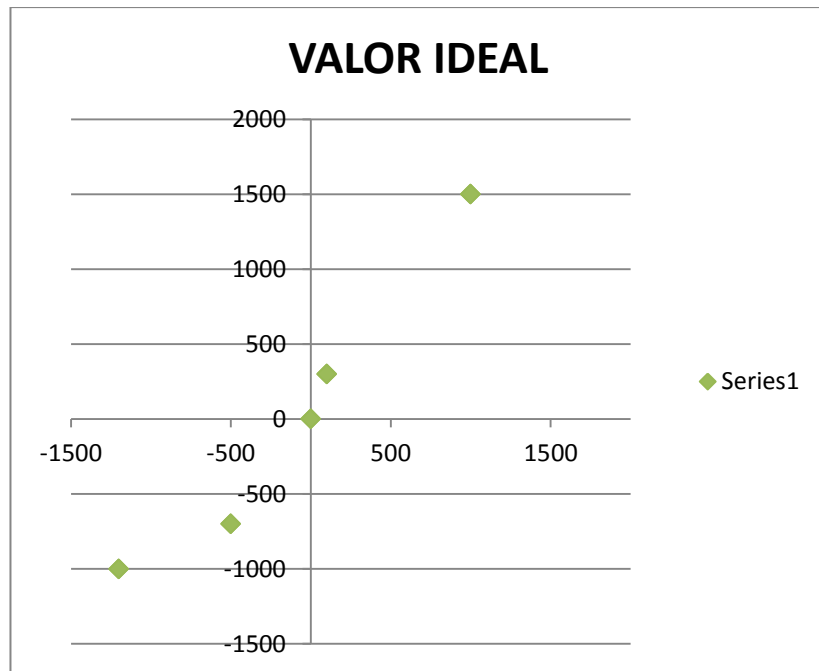
un error entre el PLC, la OPC y la macro que escribe valores sin sentido para esta gráfica y al cual no se le encontró solución, dicho error sólo se produce en esta gráfica y al ser la del valor ideal y no del valor del proceso, se encontró que se puede obviar, para los procesos educativos ya que la mayor importancia está en el valor real del proceso.

### 3.3.2. Prueba Gráfica 2. Posicionar el sistema en cuatro puntos coordenados.

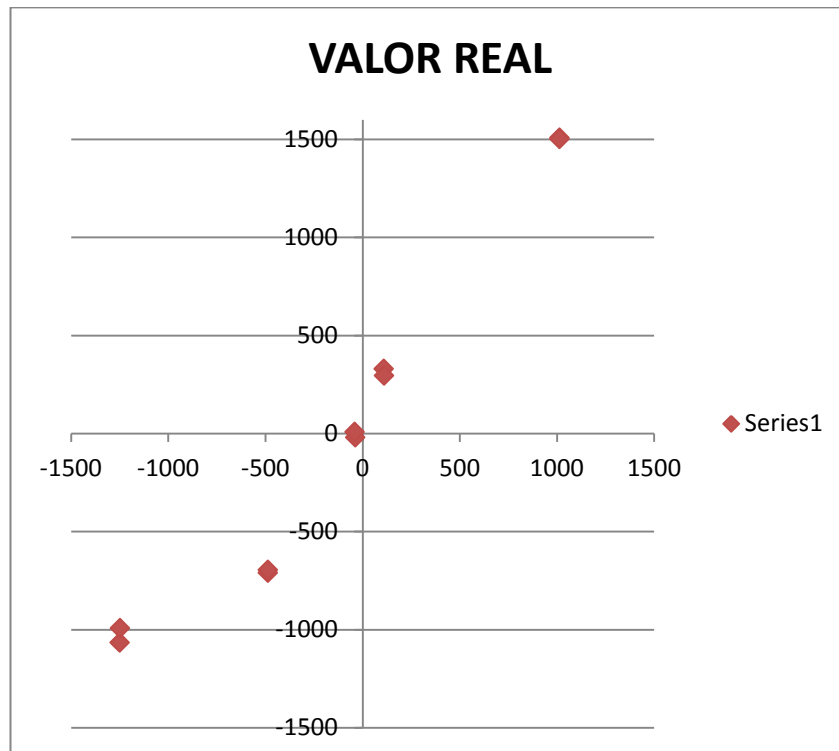
**Tabla 12.** Cuatro puntos ejes coordenados.

Date/Time	VALOR IDEAL		VALOR REAL	
	SP X	SP Y	VP X	VP Y
06/05/2013 16:46	0	0	-36,93125	-20,4828125
06/05/2013 16:47	0	0	-39,51875	7,2925
06/05/2013 16:47	-1200	-1000	-1248,3125	-1066,25563
06/05/2013 16:47	-1200	-1000	-1247,66563	-992,61875
06/05/2013 16:47	-500	-700	-485,8625	-710,99
06/05/2013 16:47	-500	-700	-485,43125	-695,4875
06/05/2013 16:47	100	300	110,9875	328,969375
06/05/2013 16:47	100	300	112,28125	293,873438
06/05/2013 16:47	1000	1500	1014,45625	1508,02063
06/05/2013 16:47	1000	1500	1013,80938	1500,48469

**Figura 59.** Gráfica del valor ideal de puntos solicitados.



**Figura 60.** Gráfica del valor real de puntos solicitados.



Cuando se necesita una máquina para ubicarse en puntos específicos para realizar ciertas tareas, y estas tareas son repetitivas, pero los puntos o coordenadas donde se van a realizar las acciones pueden variar, como por ejemplo una máquina para abrir agujeros a platinas. Es necesario tener una máquina flexible, en la cual se pueda colocar los valores indicados y realizar esta acción las veces que sea necesaria; este tipo de programación cumple con las necesidades.

Como se dijo en la gráfica 1 de la circunferencia, para poder realizar acciones en la industria se necesitaría una mayor inversión en el autómata, pero como es con fines académicos, este ejercicio muestra un comportamiento aceptable, el cual se verifica en la tabla y las gráficas obtenidas en la adquisición de datos y desarrolla o despierta un interés en los estudiantes que desean desenvolverse profesionalmente en este campo.

## 4.MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE SERVO SISTEMAS DE POSICIÓN DE LA MATERIA CONTROL AUTOMATICO

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar la práctica de servosistemas de posición de la materia Control Automático, disponiendo de la utilización de herramientas industriales como los PLC y microcontroladores, permitiendo al estudiante tener un contacto directo con dichos elementos que hacen parte del auge de la Automatización Industrial, al incluir y retomar los conceptos en las clases teóricas para la aplicación física de los servosistemas.

### 4.2 EQUIPOS DE LA PRÁCTICA Y SUS CONEXIONES

1. Verificar las conexiones hidráulicas.
2. Conocer y organizar los elementos que se utilizarán en las prácticas, ubicándolos en el laboratorio.

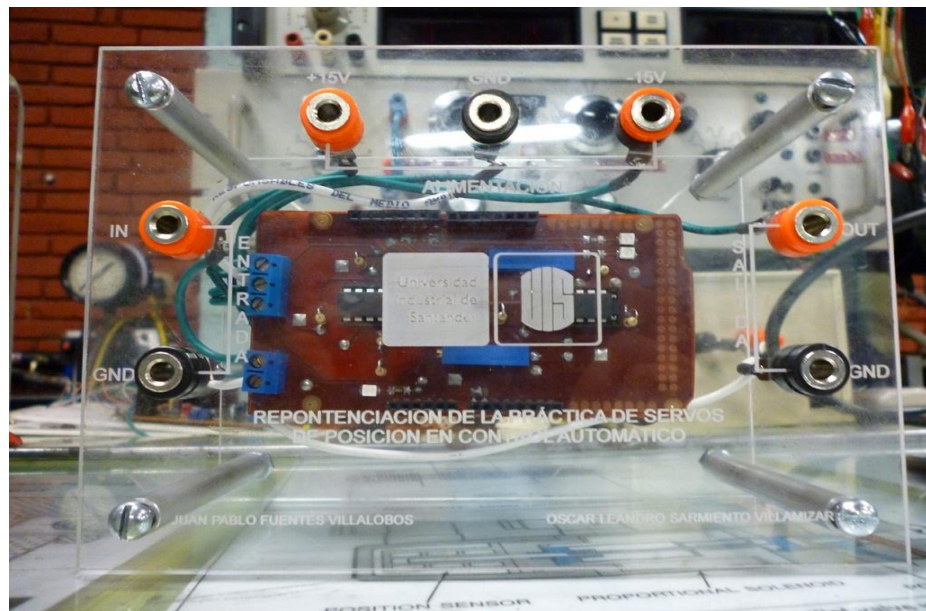
**Panel de control del PLC:** Permite realizar las conexiones entre el PLC y los demás elementos del servosistema, adicional a esto tiene los comandos de operación y ajuste del programa, permitiendo configurar las condiciones de cada práctica con el PLC.

**Figura61.** Panel de control del PLC.



**Adaptación Arduino Mega 2560:** Por medio de una serie de adaptaciones, se pudo utilizar la placa Arduino Mega 2560, adicionando dos placas que permiten el paso y conversión de las señales de entrada y de salida, para que se pueda realizar el control de posición en el servosistema. Esta adaptación quedo con unas conexiones identificadas y ubicadas estratégicamente, para una fácil utilización por parte del auxiliar del laboratorio o cualquier estudiante de la materia.

**Figura 62.** Adaptación Arduino Mega 2560.



**Visualizador de sensores:** Por medio de esta caja observamos los valores de las posiciones de los sensores Temposonic, en centímetros con tres cifras significativas. Desde esta caja se envía la señal del proceso a los controladores (PLC S7-200 o Arduino Mega 2560), dichas señales son conocidas como señales de entrada de la realimentación en el control de posición en lazo cerrado, las cuales permiten corregir el error en el controlador.

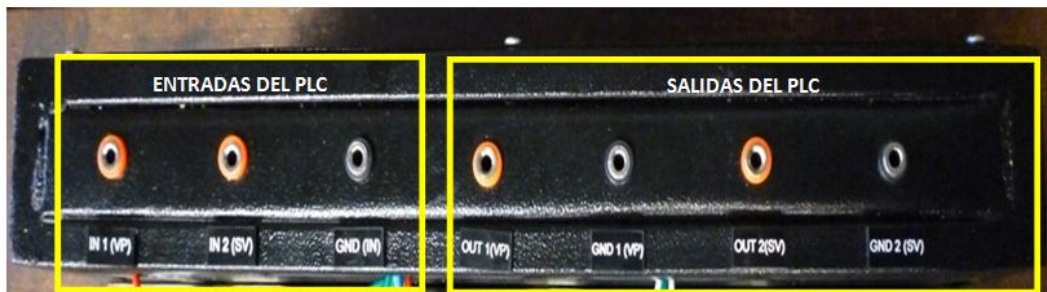
**Figura 63.** Visualizador de sensores.



### 3. Conexiones del panel de control del PLC

En la parte superior del panel de control del PLC se encuentran todas las conexiones tipo hembra, para la adaptación con los demás elementos del servosistema de posición, los cuales se dividen en entradas del PLC y salidas del PLC.

**Figura 64.** Sección de conexiones del tablero de control del PLC.



Las entradas del PLC son las señales provenientes de los sensores, las cuales indican el valor del proceso o la realimentación en el controlador y por medio de las cuales se corrige el error del sistema. Para este servosistema las señales provienen del visualizador de los sensores. Estas conexiones están marcadas de la siguiente manera:

- IN (VP) = Entrada válvula proporcional.
- IN (SV) = Entrada servoválvula.
- GND (IN) = Tierra de las entradas

De esta forma no existirán errores en las conexiones.

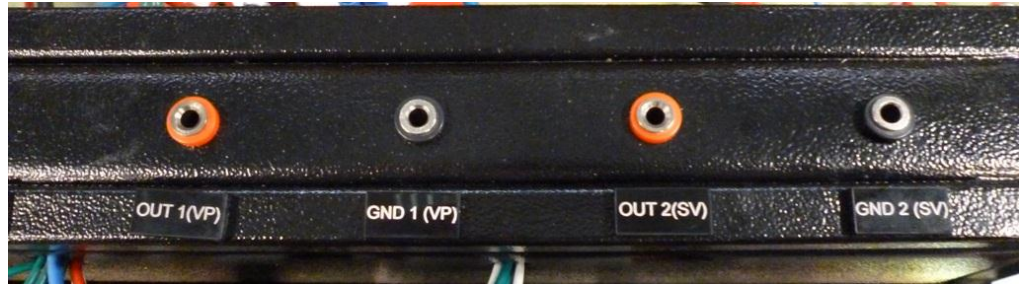
**Figura 65.** Entradas del PLC.



Las salidas del PLC, se dirigirán hacia las tarjetas servoamplificadoras de cada válvula, estas señales son las señales de salida de los PID configurados en el programa de utilización del PLC. Estas conexiones están marcadas de la siguiente manera para evitar errores en el funcionamiento del servosistema de posición.

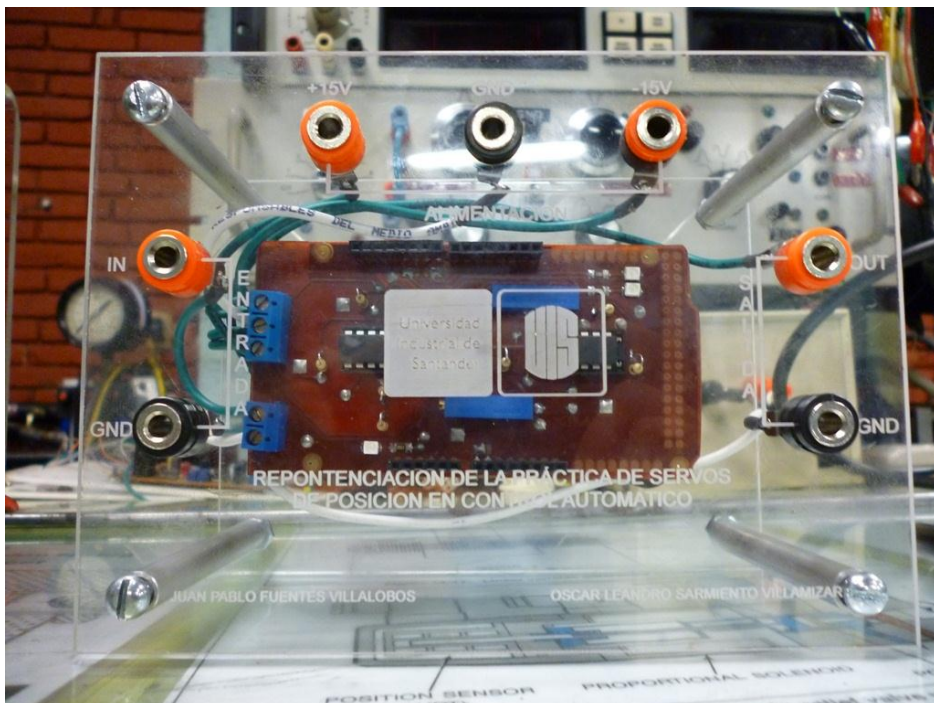
- OUT 1 (VP) = Salida a la tarjeta servoamplificadora de la Válvula Proporcional.
- GND 1 (VP) = Puesta a tierra de la tarjeta servoamplificadora de la Válvula Proporcional.
- OUT 2 (SV) = Salida a la tarjeta servoamplificadora de la Servoválvula.
- ND 2 (SV) = Puesta a tierra de la tarjeta servoamplificadora de la servoválvula.

**Figura 66.** Salidas del PLC.



4. Conexiones en la Placa Arduino Mega 2560. Al trabajar con la tarjeta Arduino Mega 2560, solo se puede utilizar una entrada y una salida por lo cual se debe trabajar cada válvula por separado a diferencia del PLC. Esto se debe a que los voltajes de funcionamiento de la placa no coinciden para la entrada, ni la salida del controlador y la señal de salida de la placa no es análoga, motivo por el cual tocó montar unas placas que adaptaran las señales tanto de entrada como de salida.

**Figura 67.** Adaptación Microcontrolador.



La conexión de esta es bastante simple y esta demarcada en la placa donde se encuentran las conexiones hembra, entrada que es la señal del sensor de la

válvula que se esté utilizando y la salida que se dirige a la tarjeta servoamplificadora de la válvula que se esté utilizando, adicional a esto se debe energizar con +15V, -15V y GND (puesta a tierra).

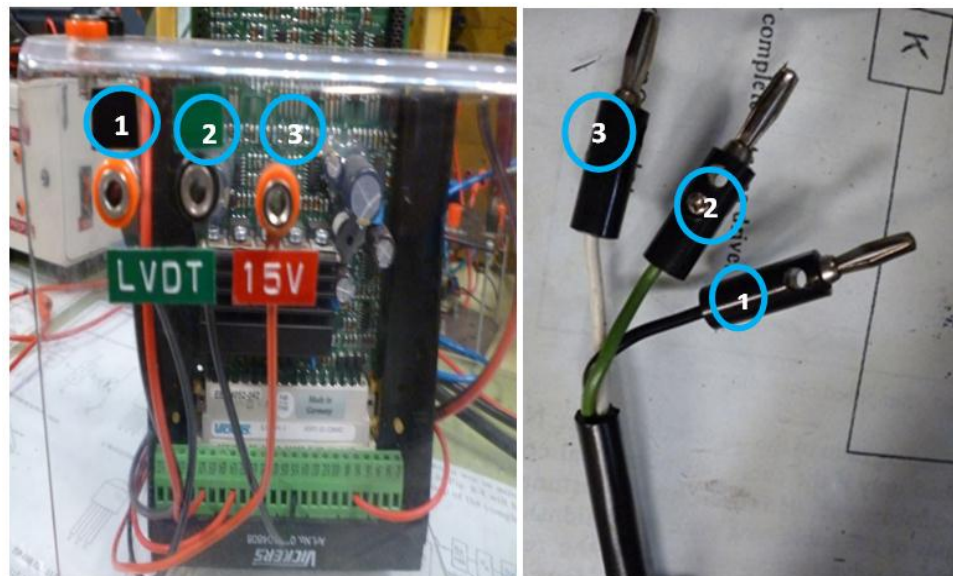
**Nota:** Es importante recordar que los controladores no funcionan al tiempo, es decir si se hace la prueba del PLC no debe estar conectada la tarjeta Arduino y viceversa.

##### 5. Conexión tarjeta servo amplificadora válvula proporcional.

La tarjeta servoamplificadora de la válvula proporcional, fue adaptada a un marco acrílico en cual tiene los conectores tipo hembra dispuestos para cualquier adaptación en las necesidades del laboratorio. Estas conexiones son:

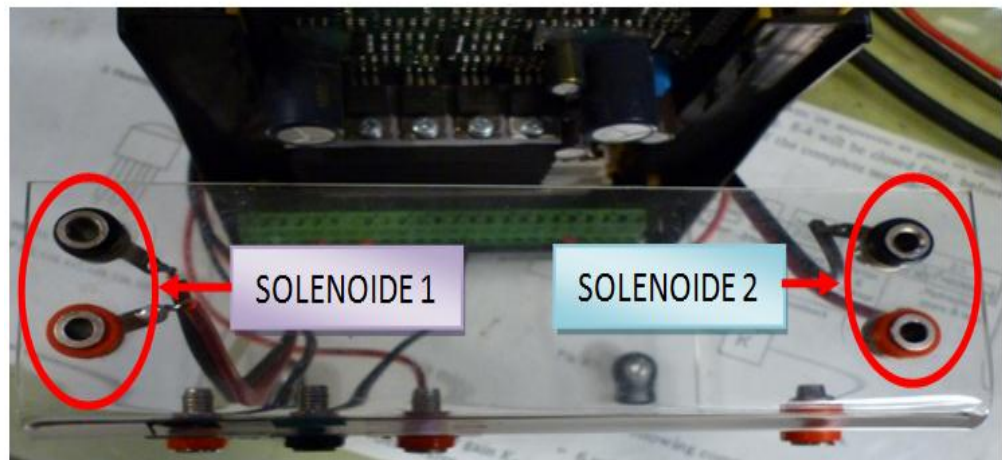
- Conexiones LVDT: Esta conexión viene guiada por los colores de los cables del sensor.

**Figura 68.** Conexión LVDT.



- **Conexiones solenoides proporcionales:** La entrada del solenoide que se encuentra arriba de las entradas del LVDT, es el del solenoide que se encuentra más cercano al LVDT en la válvula.

**Figura 69.** Conexiones de los solenoides proporcionales.

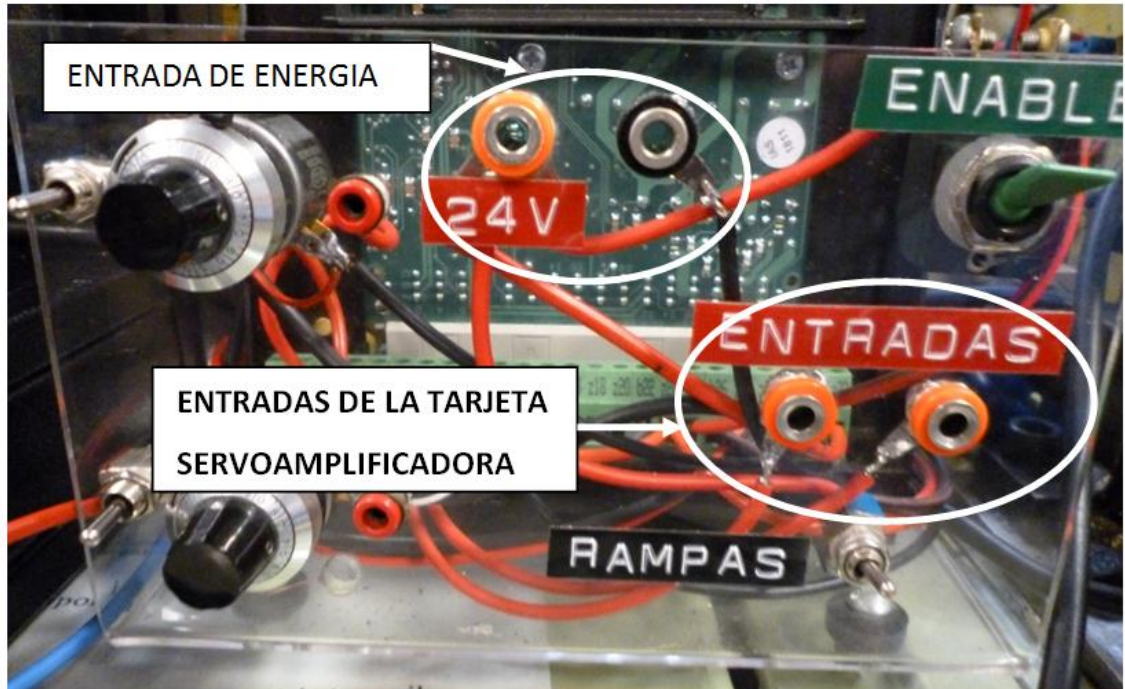


**Figura 70.** Válvula proporcional.



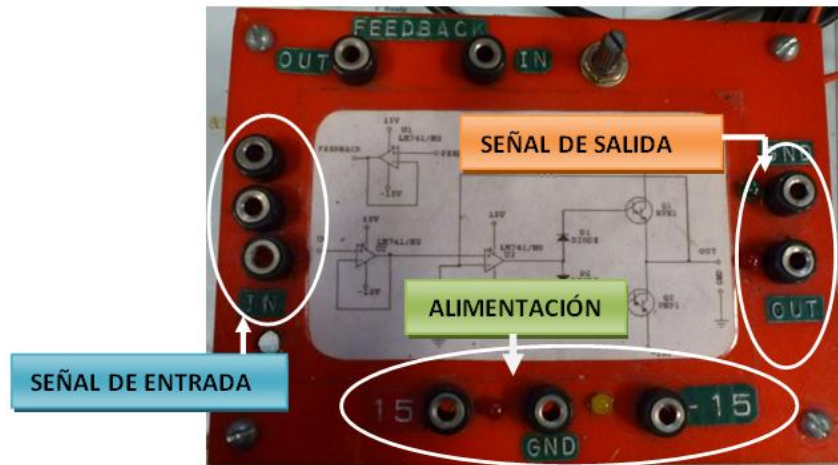
- **Entradas para las señales del controlador:**En la parte frontal de la tarjeta existen dos conectores hembra que indican la entrada de la señal del controlador que se esté utilizando, para ello debemos tener en cuenta que los voltajes manejados son de -10V a +10V analógicos.
- **Energizar la tarjeta para su funcionamiento.**Conexión con la fuente de alimentación de 24VCD, para el funcionamiento de la tarjeta servoamplificadora.

**Figura 71.** Conexiones parte frontal tarjeta servoamplificadora válvula proporcional.



6. **Conexión tarjeta servoamplificadora servoválvula.** Para la amplificación de la señal de la servoválvula, se tiene una tarjeta hecha en el laboratorio que permite cambiar el valor de la ganancia con un potenciómetro, ya que al colocar valores de ganancia muy altos, los controladores se vuelven oscilantes y no funcionaría el sistema de la mejor manera.

**Figura 72.** Tarjeta servoamplificadora de la servoválvula.



La conexión de esta tarjeta es muy fácil, solo se debe energizar como ella lo indica, colocar la señal de la salida del controlador en el conector de entrada y conectar la servoválvula a la salida de la señal.

**Nota:** El conector macho rojo de la servoválvula se coloca en el conector hembra de la tarjeta servoamplificadora que tiene la marquilla (OUT) y el conector macho negro de la servoválvula se coloca en el conector hembra de la tarjeta servoamplificadora que tiene la marquilla (GND).

7. Encendido y apagado de la parte hidráulica. Para el uso de la parte hidráulica se utiliza un seguimiento de tres interruptores:

- Oprimir el pulsador Inicio que enciende el motor de la Bomba.
- Interruptor de la torre de enfriamiento.
- Activar el interruptor de venteo de la Bomba.

**Figura 73.** Interruptores de la sección hidráulica.



**Apagado de la parte hidráulica.** Para el apagado se debe realizar el orden inverso de las acciones de encendido

- Desactivar el interruptor de venteo de la Bomba.
- Desactivar el interruptor de la torre de enfriamiento.
- Oprimir el pulsador de apagado del motor de la Bomba.

Es importante señalar que se deben respetar tanto el orden de encendido como el orden de apagado para evitar daños y alargar el tiempo de vida útil de los elementos del sistema hidráulico (Bomba, Motor, Válvula de seguridad, etc.).

## **4.3 PRÁCTICA (1). SERVO SISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 Y PLACA ARDUINO MEGA 2560**

### **INTRODUCCIÓN**

Con esta práctica se pretende acercar al estudiante con los elementos de control utilizados en la industria, para que conozca su funcionamiento, su programación y aplicaciones. También es importante que los estudiantes conozcan la adaptación con los elementos de hidráulica proporcional, como lo son las servoválvulas y válvulas proporcionales, para lograr fines industriales y educativos.

#### **4.3.1 Objetivos**

- Verificar el comportamiento de un PLC S7-200 contra el comportamiento de una placa Arduino Mega 2560 en el servocontrol de posición simple.
- Con los conceptos obtenidos de los tipos de controladores en la clase teórica, modificar los valores, proporcional, integrar y derivativo, observando como se ve afectado el sistema en el servo de posición simple con el PLC S7-200 y con el Arduino Mega 2560.
- Identificar las diferencias entre un PLC y un Microcontrolador.
- Comparar el funcionamiento de una válvula proporcional contra el de una servoválvula.

**4.3.2 Descripción.** Esta práctica realiza la aplicación de un servosistema de control de posición con una válvula proporcional Vickers y una servoválvula MOOG 62, para que los estudiantes observen el comportamiento y diferencias, evaluando los pros y contras de cada elemento, y de esta forma aprendiendo criterios de selección de los mismos. Otra parte importante es el observar el comportamiento, adaptación y facilidad de manipulación de los elementos de control (PLC S7-200 y tarjeta Arduino Mega 2560) al adaptarlos a un sistema para la realización de ciertos procesos.

### 4.3.3 Metodología

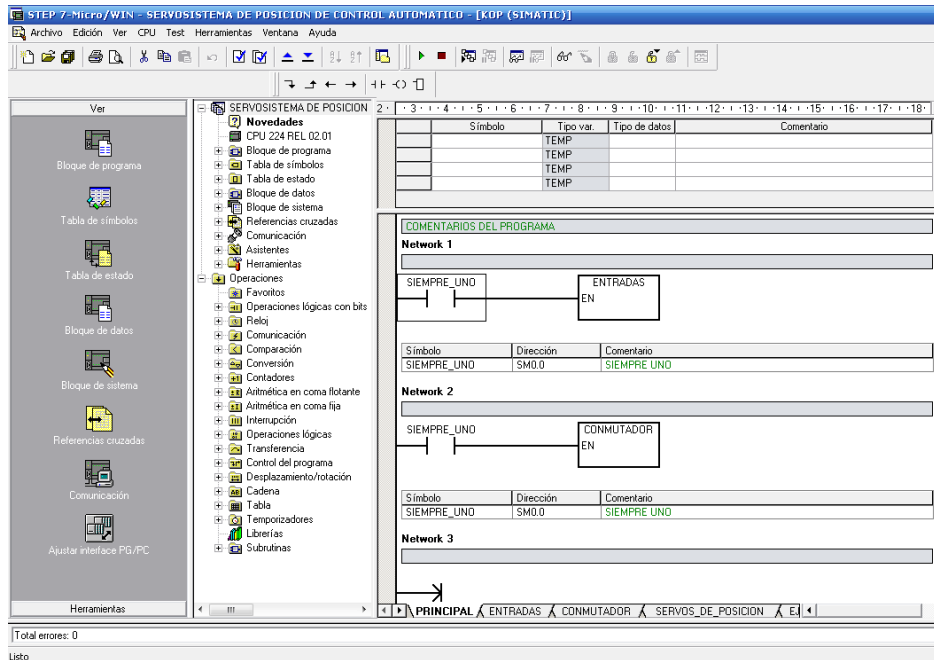
- 1) Ubicar todos los elementos y realizar las conexiones como se indica en la primera parte del manual de prácticas para el panel de control del PLC.
- 2) Conectar el cable RS-485 al PLC S7-200 y a la computadora.
- 3) Conectar el tablero de control del PLC a una fuente de corriente alterna de 110V, y encender el breaker de seguridad.
- 4) Verificar que el PLC S7-200 se encuentre en modo RUN, para poder tener conexión con la computadora.

**Figura 74.** PLC S7-200 CPU224.



- 5) Abrir el Programa Micro/Win 4.0 instalado previamente y abrir el programa que ejecuta las órdenes del PLC (SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO).

Figura 75. Ventana Micro/Win 4.0




- 6) Cargar el programa en la CPU del PLC por medio del botón en la barra de herramientas que se muestra en la siguiente figura, para poder realizar esta acción la CPU debe estar en modo STOP, pero esta operación se puede realizar desde la barra de herramientas, al igual que se puede colocar en modo RUN.

Figura 76. Barra de herramientas Micro/Win 4.0

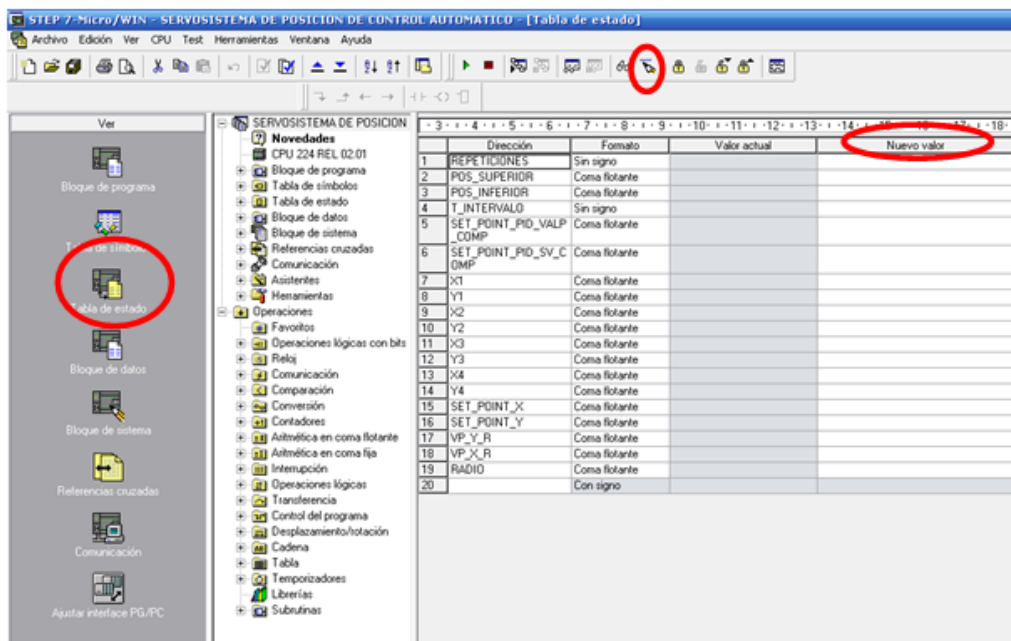


- 7) Al finalizar la carga del programa en la CPU se debe colocar de nuevo en modo RUN, para comenzar a realizar las acciones propuestas en el programa.


8) Ingresar los valores en la tabla de estado, la cual se encuentra en la barra vertical en la parte izquierda de la ventana . Para realizar el off-set, lo valores a ingresar para esta práctica son:

- Repeticiones: cantidad de ciclo que debe realizar el servo de posición, para este caso solo se realizara una (1) vez.
- Pos\_superior: es la posición más alta o con mayor valor del ciclo (de 0.0 a 3800).
- Pos\_inferior: es la posición más baja o con menor valor del ciclo (de 0.0 a 3800).
- T\_intervalo: es el tiempo que dura el servo en cada una de las posiciones nombradas anteriormente, este valor que se ingresa se multiplica por 100ms, es decir si se desean 12s se debe ingresar un valor de 120.

Figura 77. Tabla de estado de Micro/Win4.0.



Para escribir estos valores en la CPU del PLC, debe mantenerse conectado el cable de datos RS 485 entre el PLC y la computadora, se deben colocar los

valores deseados en la columna “Nuevo Valor” de la tabla de estado y se debe oprimir el lápiz  , de la barra de herramientas.

9) En este punto se encienden todos los elemento tanto hidráulicos, como eléctricos y electrónicos.

10) Se procede a verificar que los botones en el panel de control del PLC se encuentren las posiciones indicadas para esta práctica.

**Figura 78.** Panel de control del PLC.



Esta práctica debe colocar el interruptor en “SERVO P”, el cual debe encender solo la primer luz verde, la cual tiene este mismo nombre y se debe seleccionar la válvula que se desea poner a funcionar o si desean colocar a funcionar las dos válvulas

11) En este paso vamos a colocar el sintonizador del PID de MicroWin4.0, para esto nos ubicaremos en la parte superior de la ventana en la cinta de opciones y se dará click en “herramientas”, después seleccionaremos la opción “Panel de sintonía PID”, con lo cual se podrá ver el funcionamiento del sistema en tiempo real.

Dependiendo de la válvula que se desee utilizar se debe seleccionar el PID que se observará, de esta forma si colocamos a funcionar la servoválvula seleccionaremos el PID 1 y si se coloca a funcionar la válvula proporcional seleccionaremos el PID 0. Cuando se colocan a funcionar las dos válvulas éstas funcionan secuencialmente es decir una detrás de la otra y empieza con la servoválvula.

Figura 79. Ventana MicroWin4.0 para utilizar el panel de sintonía PID.

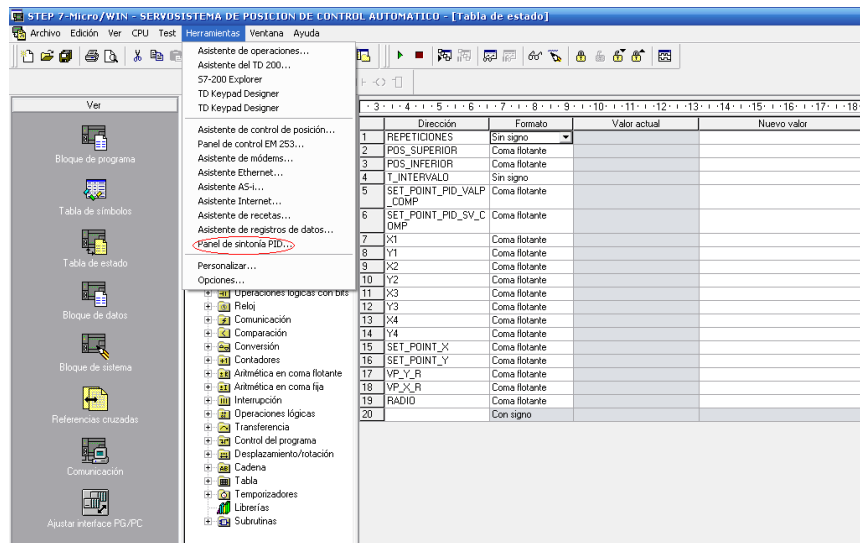
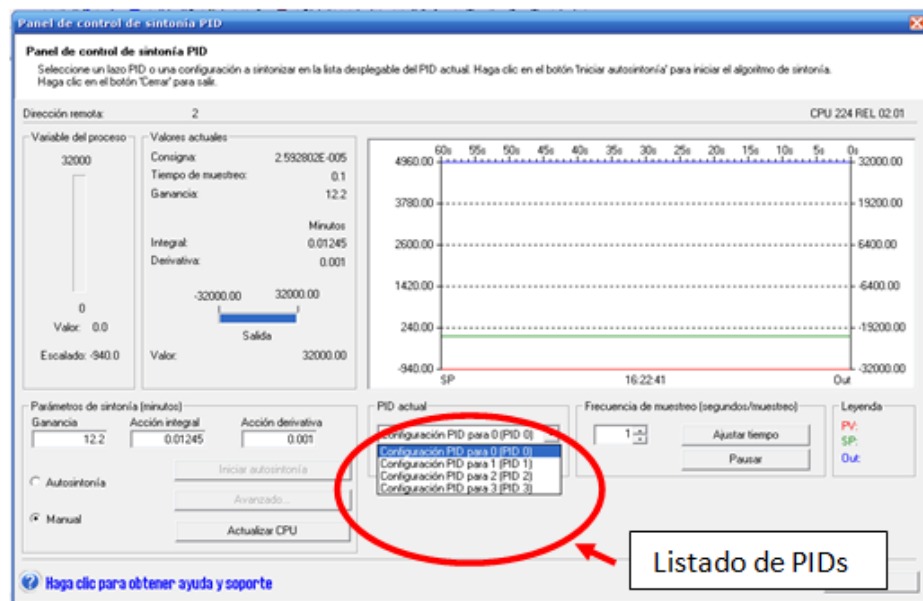
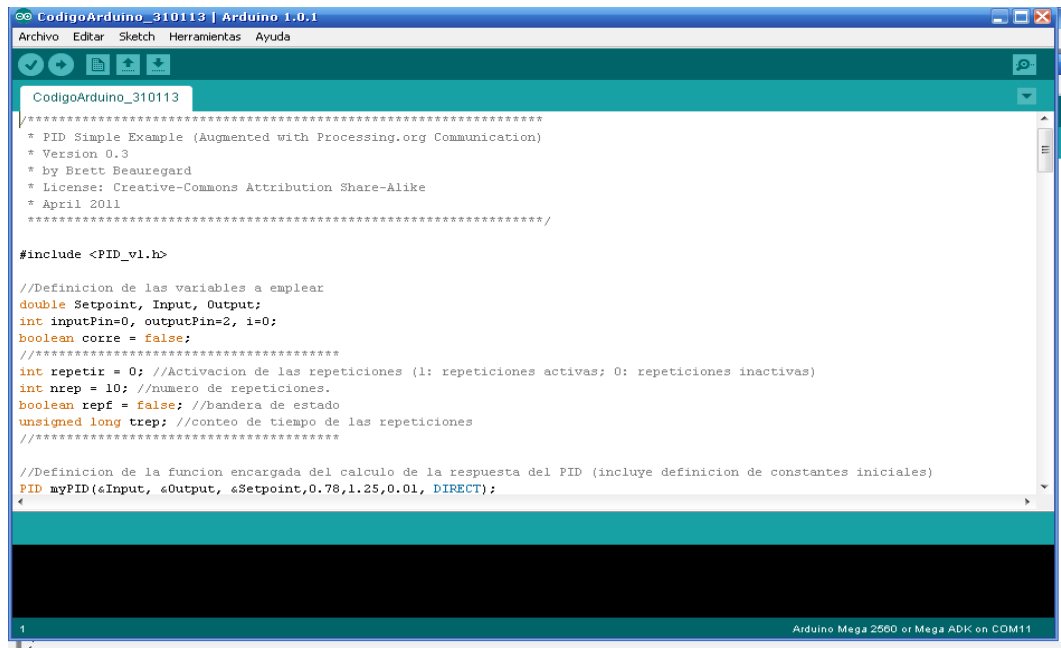


Figura 80. Panel de sintonía PID de Micro/Win4.0.



- 12) Se procede a dar inicio en el panel de control del PLC y se observa el comportamiento del sistema en el panel de sintonía de PID de MicroWin4.0, notando el comportamiento con las constantes proporcional, integral, y derivativa del sistema, las cuales se obtuvieron en las pruebas y ensayos realizados a lo largo del proyecto.
- 13) A continuación se colocará a funcionar de nuevo el servo pero, se cambiarán los valores con antelación de las constantes PID, observando los cambios en el funcionamiento del sistema y como afecta cada constante, para esto se recomiendan dos cosas:
- Cambiar las constantes de una en una, para poder ver la forma en que se ve afectado el sistema y como lo altera.
  - No aumentar en gran proporción las constantes ya que esto genera un sistema oscilante, sobre todo al cambiar la constante derivativa.
- 14) En este punto se terminan las pruebas realizadas con el PLC para esta primer práctica, por tal motivo se procede a desconectar y guardar el panel de control del PLC y se coloca la placa Arduino con sus adaptaciones y procede a hacer las conexiones.
- 15) A continuación se abre el programa de Arduino y se procede a compilar dentro de la tarjeta por medio del cable de datos.

Figura 81. Programa Arduino.




```
CodigoArduino_310113
/*****
 * PID Simple Example (Augmented with Processing.org Communication)
 * Version 0.3
 * by Brett Beauregard
 * License: Creative-Commons Attribution Share-Alike
 * April 2011
 *****/

#include <PID_v1.h>

//Definicion de las variables a emplear
double Setpoint, Input, Output;
int inputPin=0, outputPin=2, i=0;
boolean corre = false;
/*****
int repetir = 0; //Activacion de las repeticiones (1: repeticiones activas; 0: repeticiones inactivas)
int nrep = 10; //numero de repeticiones.
boolean repF = false; //bandera de estado
unsigned long trep; //conteo de tiempo de las repeticiones
/*****

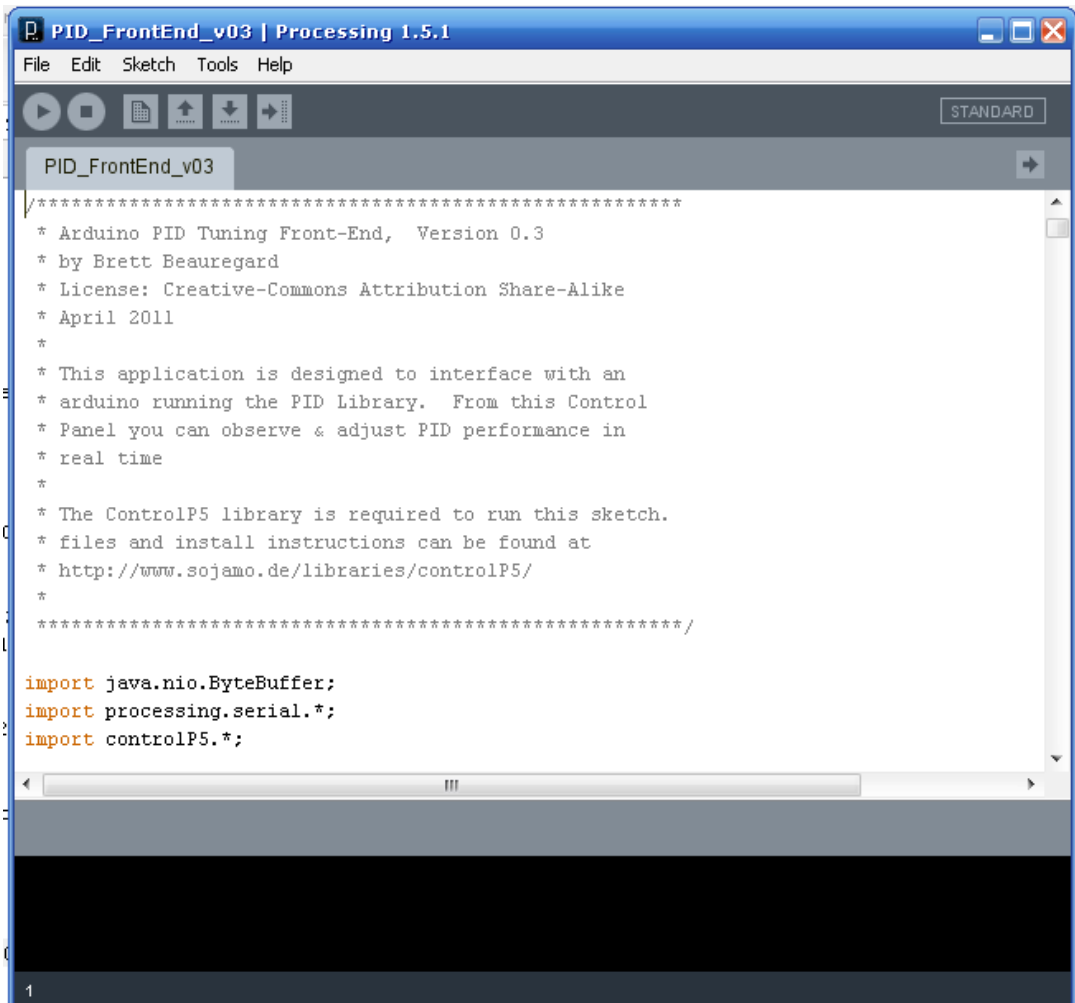
//Definicion de la funcion encargada del calculo de la respuesta del PID (incluye definicion de constantes iniciales)
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,0.78,1.25,0.01, DIRECT);
```


16) En la cinta de opciones se selecciona “sketch” y a continuación se oprime en verificar/compilar, en donde se revisa el algoritmo y lo ingresa en la placa Arduino.

Otra forma de compilarlo es oprimiendo el símbolo  que está en la parte superior izquierda de la ventana.

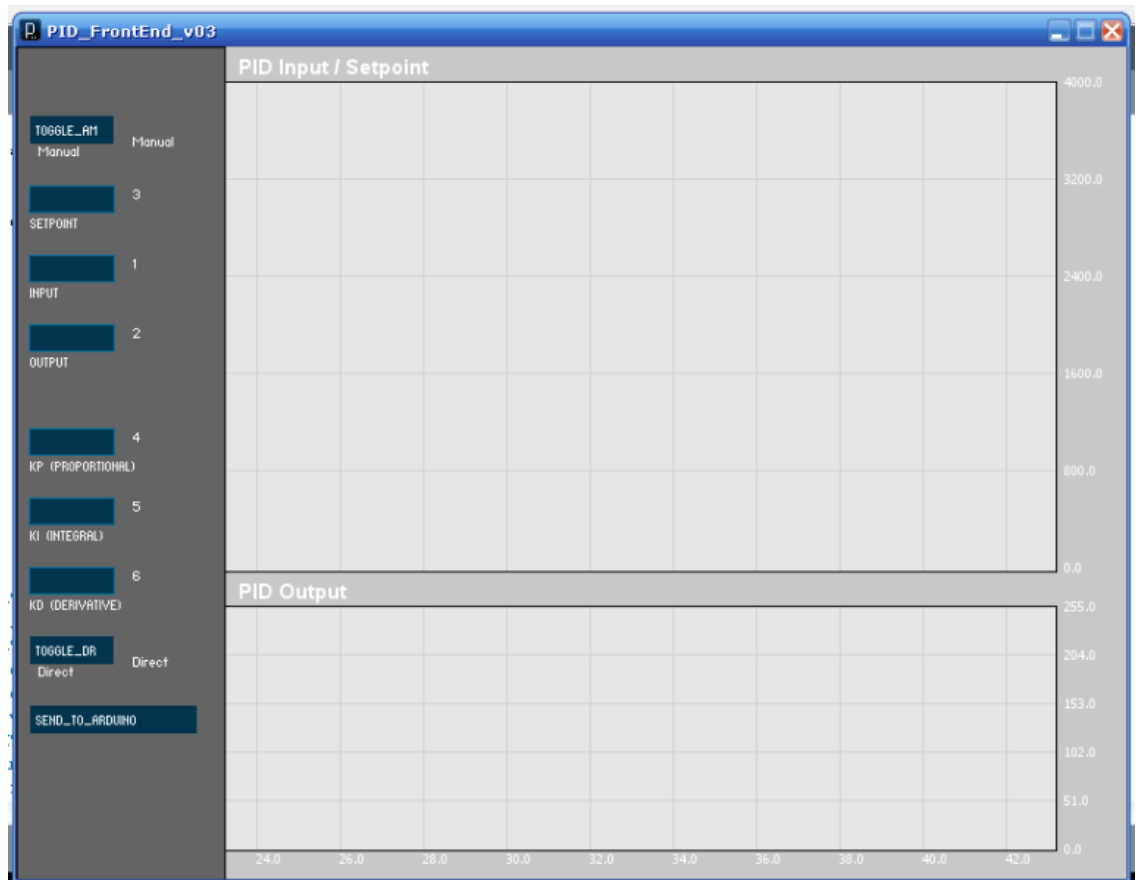
17) Después de realizar esta acción se procede a abrir el programa llamado processing, que otorga la parte gráfica y muestra el comportamiento del sistema en la gráfica del PID.

Figura 82. Processing.



- 18) Este programa se ejecuta con la tecla , la cual se encuentra en la parte superior izquierda de la ventana la cual hace que aparezca la siguiente interfaz gráfica, en la cual se pueden variar los valores de constantes del PID, cambia el setpoint en tiempo real y muestra los valores del proceso y la salida del PID.

**Figura 83.** Interfaz gráfica Processing.



19) Para poder realizar los cambios antes nombrados, se escriben los nuevos valores deseados y se oprime el botón “send\_to\_arduino”, el cual se encuentra en la parte inferior izquierda.

20) Para este caso solo se debe ingresar el valor al que se desee llegar en el espacio del setpoint y oprimir la tecla “send\_to\_arduino”, la cual como su nombre lo indica enviara el nuevo valor al microcontrolador y realizar la acción que se le está indicando.

21) Al haber realizado las pruebas con los valores encontrados para el controlador PID, se procede a hacer los cambios en las constantes de para observar como se ve afectado el sistema por dicho cambio, de igual forma se hacen las mismas recomendaciones que con el PLC.

- Cambiar las constantes de una en una, para poder ver la forma en que se ve afectado el sistema y como lo altera.
- No aumentar en gran proporción las constantes ya que esto genera un sistema oscilante, sobre todo al cambiar la constante derivativa.

22) Como se explicó en las conexiones con arduino, solo se puede utilizar una válvula al tiempo, debido a las tarjetas que se hicieron para la adaptación de las señales, por este motivo se debe repetir la conexión con la otra válvula para verificar el comportamiento de esta, se cambia la entrada que es la señal del sensor y se cambia la salida que es la tarjeta servoamplificadora y se realizan las pruebas como se hizo con la primer válvula.

23) Para finalizar esta práctica, el estudiante debe realizar un informe en el cual debe explicar la diferencia en el comportamiento de los controladores (PLC y Arduino) y diferencia de comportamiento entre las válvulas. Colocar las conclusiones de la práctica.

#### **4.3.4 Análisis de resultados**

Explicar el comportamiento que realiza la servoválvula Moog 62 al ser operada por el PLC y Arduino, y explicar las diferencias existentes y la razón de estas.

Explicar el comportamiento que realiza la válvula proporcional KD4V-3 Vickers, al ser operada por el PLC y Arduino, y explicar las diferencias existentes y la razón de estas.

Comparar el comportamiento de las válvulas de hidráulica proporcional MOOG 62 y Vickers KD4V-3, cuando se usan con el PLC S7-200.

## **4.4. PRÁCTICA 2. REPETIBILIDAD DEL SERVO SISTEMA DE POSICIÓN SIMPLE IMPLEMENTANDO UN PLC S7-200 ADQUIRIENDO LOS DATOS EN UNA MACRO DE EXCEL.**

### **INTRODUCCIÓN**

En la industria siempre se están realizando los procesos una repetitivos, para esto se debe verificar la exactitud y rapidez de un sistema para poder hacerlos lo más eficiente y eficaz posible. Para poder simular estos procesos en el laboratorio se realizó la práctica de repetibilidad en la cual se indican los valores del proceso en un tiempo asignado, la cantidad de veces que se desea realizar. Estos datos se van a copiar en tiempo real en una macro dispuesta a guardar dichos valores y con los cuales se puede calcular el valor de la histéresis de las válvulas trabajadas en el laboratorio.

#### **4.4.1 Objetivos**

- Realizar la práctica de repetibilidad utilizando el PLC S7-200.
- Comparar el comportamiento de una Servoválvula MOOG 62 contra una válvula proporcional Vickers KD4V-3.
- Calcular el porcentaje de error en la repetibilidad de válvulas de hidráulica proporcional MOOG 62 y Vickers KD4V-3.
- Observar los tiempos de respuesta que tienes las válvulas MOOG 62 y Vickers KD4V-3, clasificando cuál de las válvulas es más rápida y comprendiendo el motivo por el que sucede esto (su funcionamiento).

**4.4.2 Descripción.** Esta práctica permite la simulación de ejercicios que exigen exactitud, rapidez y versatilidad de los servosistemas, adicionando la repetibilidad que necesitan los procesos industriales, para ello, este servosistema de posición permite adaptar las necesidades, en este caso la posición inicial, la posición final y el tiempo que va a durar en cada una estas y también la cantidad de veces que se necesita realizar dicho proceso. Con este

tipo de prueba se busca verificar el comportamiento de los elementos de hidráulica proporcional y ver las diferencias existentes entre ellos, además calcular la histéresis de los elementos para poder cuantificar el error existente y poder comprender a que se debe dicho error.

#### 4.4.3 Metodología

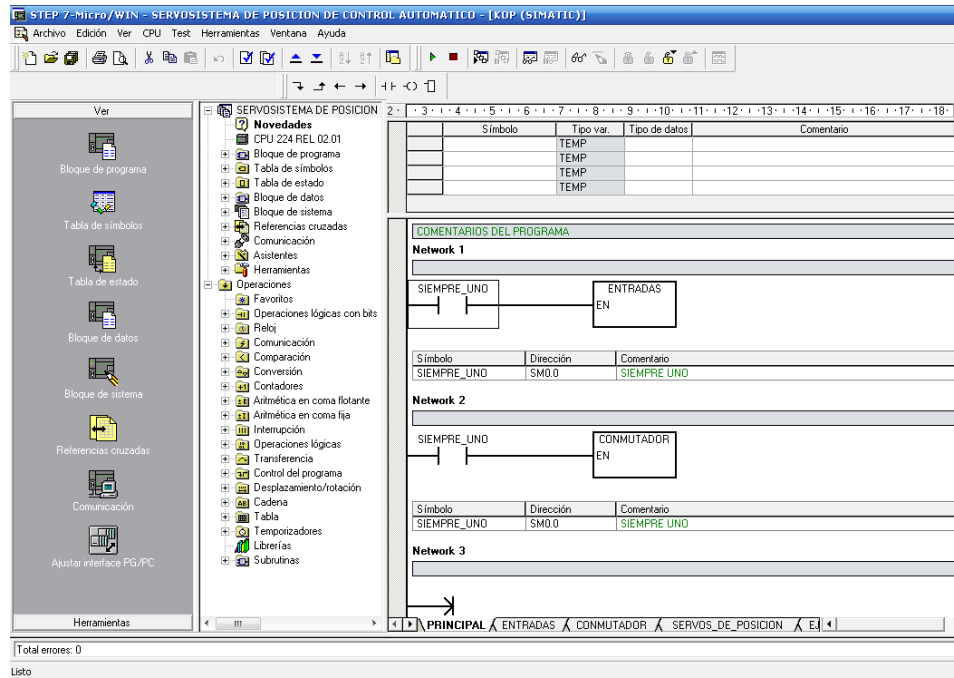
1. Ubicar todos los elementos y realizar las conexiones como se indica en la primera parte del manual de prácticas para el panel de control del PLC.
2. Conectar el cable RS-485 al PLC S7-200 y a la computadora.
3. Conectar el tablero de control del PLC a una fuente de corriente alterna de 110V, y encender el breaker de seguridad.
4. Verificar que el PLC S7-200 se encuentre en modo RUN, para poder tener conexión con la computadora.

**Figura 84.** PLC S7-200 CPU224.



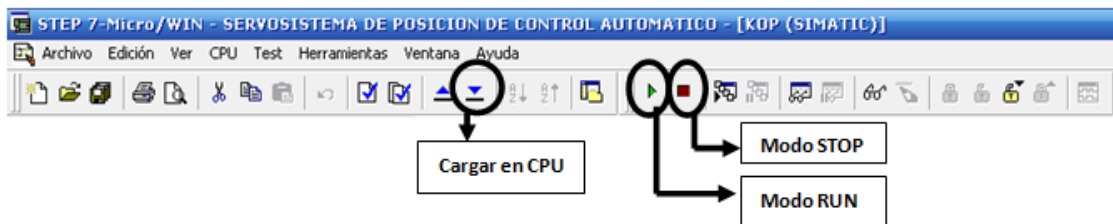
5. Abrir el Programa Micro/Win 4.0 instalado previamente y abrir el programa que ejecuta las órdenes del PLC (SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO).

**Figura 85.** Ventana Micro/Win 4.0



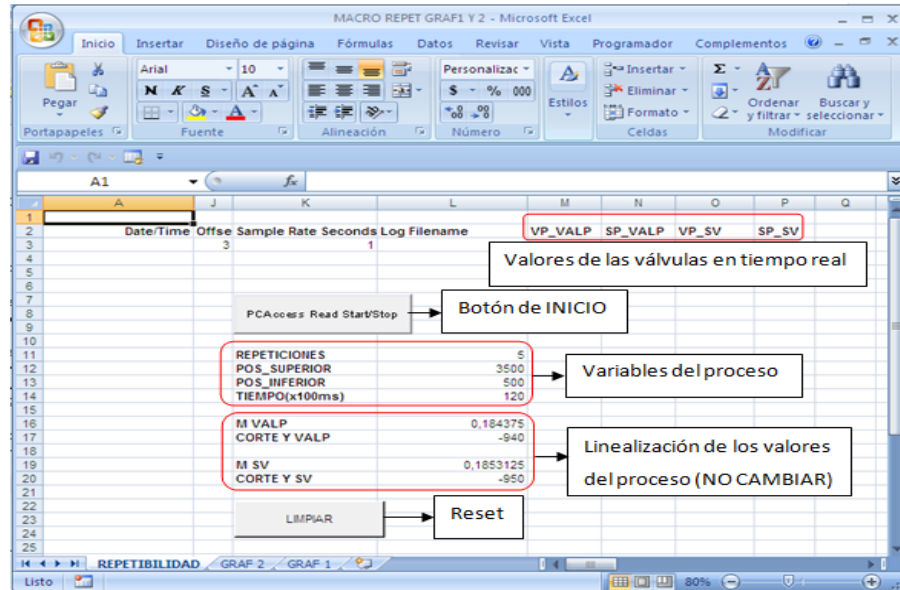
6. Cargar el programa en la CPU del PLC por medio del botón en la barra de herramientas que se muestra en la siguiente figura, para poder realizar esta acción la CPU debe estar en modo STOP, pero esta operación se puede realizar desde la barra de herramientas, al igual que se puede colocar en modo RUN.

**Figura 86.** Barra de herramientas Micro/Win 4.0



7. Al finalizar la carga del programa en la CPU se debe colocar de nuevo en modo RUN, para comenzar a realizar las acciones propuestas en el programa.
8. Abrir el archivo de Excel "MACRO REPET GRAF1 Y 2", el cual está habilitado para trabajar con macros.

**Figura 87.** Gráfica MACRO REPET GRAF1 Y 2.



Este libro de Excel tiene dispuestas tres hojas para realizar las diferentes prácticas, para este caso usaremos la hoja de repetibilidad que se muestra en la **figura 91**, desde la cual se pueden escribir los valores del proceso en el PLC y se tienen los botones para iniciar la macro, detenerla y limpiar la hoja de cálculo.

9. En este punto se encienden todos los elemento tanto hidráulicos, como eléctricos y electrónicos.
10. Se procede a verificar que los botones en el panel de control del PLC se encuentren las posiciones indicadas para esta práctica.

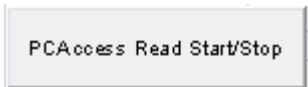
**Figura 88.** Panel de control del PLC.



Esta práctica debe colocar el interruptor en “SERVO P”, el cual debe encender solo la primer luz verde, la cual tiene este mismo nombre y se debe seleccionar la válvula que se desea poner a funcionar o si desean colocar a funcionar las dos válvulas.

11. Se ingresan los valores de las variables del proceso, estos valores serán enviados por medio de la macro a una OPC, la cual dirigirá la información a Micro/Win 4.0 y por ultimo al PLC. Es importante saber que los únicos datos que se deben ingresar son estos (repeticiones, pos\_superior, pos\_inferior y tiempo).

12. Se debe iniciar la macro para que escriba los valores del proceso antes de iniciar la secuencia de órdenes del programa, para que funcione de la manera esperada, ya que sin estos valores en el PLC las órdenes son inconclusas.

13. Inmediatamente después de iniciar la macro  se procede a dar inicio en el panel de control del PLC.

14. Se espera a que finalice el proceso y después de esto se oprime la tecla espacio en la macro para finalizar el proceso de la adquisición de datos.

15. Los datos obtenidos se guardan como una hoja de cálculo normal de Excel para entregársela a los estudiantes para realicen los respectivos cálculos de los porcentajes de error para cada una de las posiciones.

**Figura 89.** Macro en la hoja de repetibilidad.

	Date/Time	Offse	Sample Rate	Seconds	Log Filename	VP_VALP	SP_VALP	VP_SV	SP_SV
3	4/26/2013 15:13:19	338			1 C:\Documents and Seti	-940,00		-950,00	100
4	4/26/2013 15:13:21						100	938,52	3500
5	4/26/2013 15:13:23						100	2189,19	3500
6	4/26/2013 15:13:25						100	3307,74	3500
7	4/26/2013 15:13:27						100	3491,94	3500
8	4/26/2013 15:13:29				PCAccess Read Start/Stop		100	3502,32	3500
9	4/26/2013 15:13:32						100	3502,32	3500
10	4/26/2013 15:13:34						100	3501,95	3500
11	4/26/2013 15:13:36				REPETICIONES		100	3501,95	3500
12	4/26/2013 15:13:38				POS_SUPERIOR	3500	99,32	100	3499,17
13	4/26/2013 15:13:40				POS_INFERIOR	500	99,88	100	2756,25
14	4/26/2013 15:13:42				TIEMPO	200	99,14	100	629,97
15	4/26/2013 15:13:44						100,06	100	503,04
16	4/26/2013 15:13:46				M VALP	0,184375	102,64	100	494,88
17	4/26/2013 15:13:48				CORTE Y VALP	-940	101,53	100	495,07
18	4/26/2013 15:13:49						93,05	100	495,44
19	4/26/2013 15:13:50				M SV	0,1853125	100,98	100	494,51
20	4/26/2013 15:13:52				CORTE Y SV	-950	103,56	100	496,36
21	4/26/2013 15:13:53						103,56	100	495,81
22	4/26/2013 15:13:54						92,32	100	496,55
23	4/26/2013 15:13:55						101,17	100	495,81
24	4/26/2013 15:13:56						103,01	100	495,44

#### 4.4.4 Análisis de resultados

- Calcular el porcentaje de error de los procesos para cada válvula, calculando los valores promedio de tabla, recuerde que no se deben tener en cuenta los valores obtenidos en el retardo, ya que dichos valores se tomaron cuando el sistema llegaba al valor del setpoint. Todos los valores del PLC que van a la macro están escalados en 100:1, esto quiere decir que 100 en la tabla de Excel es equivalente a 1 cm en la realidad del proceso, por lo tanto para obtener el valor en centímetros los valores se deben dividir en 100.

## **4.5 PRÁCTICA (3). REALIZACIÓN DE EJERCICIOS CON EJES COORDENADOS**

### **INTRODUCCIÓN**

En esta práctica se busca mostrar a los estudiantes uno de las aplicación en la industrial del Control Automático, este caso en particular simula los ejes coordenados que se pueden utilizar para máquinas herramientas en donde se pueden realizar cortes con figuras deseadas, en este caso en lugar de realizar el proceso, solo se descargarán los datos a la macro de Excel en tiempo real para observa el funcionamiento del PLC en conjunto de dos servoválvulas o una servoválvula y una válvula proporcional. Se puede utilizar en cualquiera de las dos formas ya que es con fines académicos.

#### **4.5.1 Objetivos**

- ✓ Observar el comportamiento de los servosistemas de posición en la industria, utilizando el programa del PLC S7-200 que realiza la práctica de ejes coordenados.
- ✓ Trabajar dos aplicaciones directas de la industria con ejes coordenados.
- ✓ Investigar más aplicaciones de la industria para los servosistemas de posición.

#### **4.5.2 Metodología**

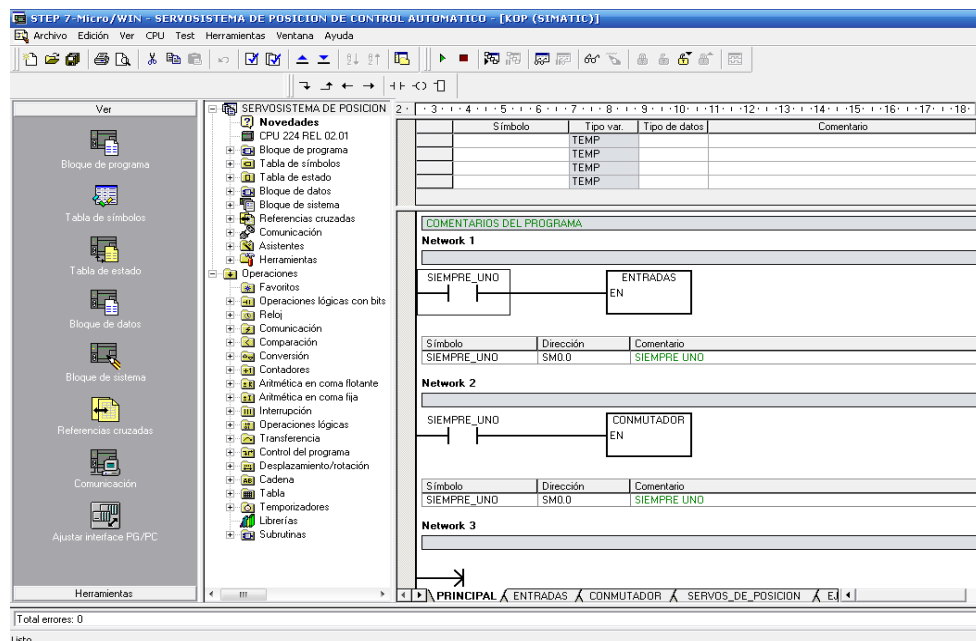
1. Ubicar todos los elementos y realizar las conexiones como se indica en la primera parte del manual de prácticas para el panel de control del PLC.
2. Conectar el cable RS-485 al PLC S7-200 y a la computadora.
3. Conectar el tablero de control del PLC a una fuente de corriente alterna de 110V, y encender el breaker de seguridad.
4. Verificar que el PLC S7-200 se encuentre en modo RUN, para poder tener conexión con la computadora.

Figura 90. PLC S7-200 CPU224.



5. Abrir el Programa Micro/Win 4.0 instalado previamente y abrir el programa que ejecuta las órdenes del PLC (SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO).

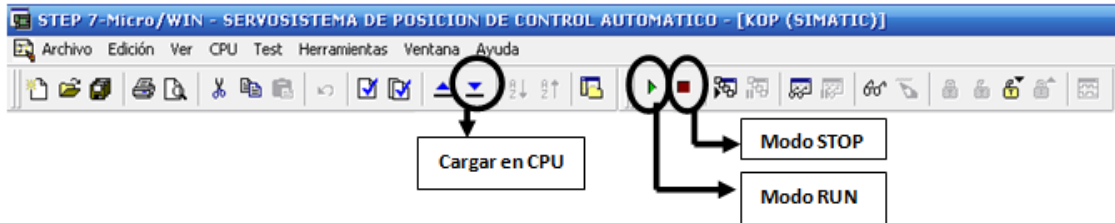
Figura 91. Ventana Micro/Win 4.0.



6. Cargar el programa en la CPU del PLC por medio del botón en la barra de herramientas que se muestra en la siguiente figura, para poder realizar esta acción la CPU debe estar en modo STOP, pero esta operación se puede

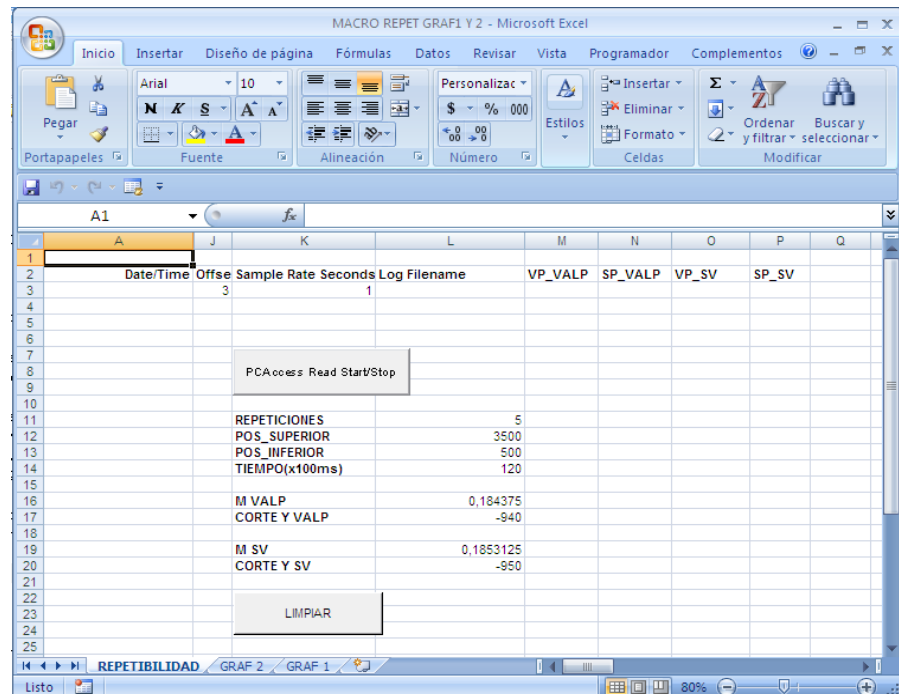
realizar desde la barra de herramientas, al igual que se puede colocar en modo RUN.

**Figura 92.** Barra de herramientas Micro/Win 4.0.



7. Al finalizar la carga del programa en la CPU se debe colocar de nuevo en modo RUN, para comenzar a realizar las acciones propuestas en el programa.
8. Abrir el archivo de Excel “MACRO REPET GRAF1 Y 2”, el cual está habilitado para trabajar con macros.

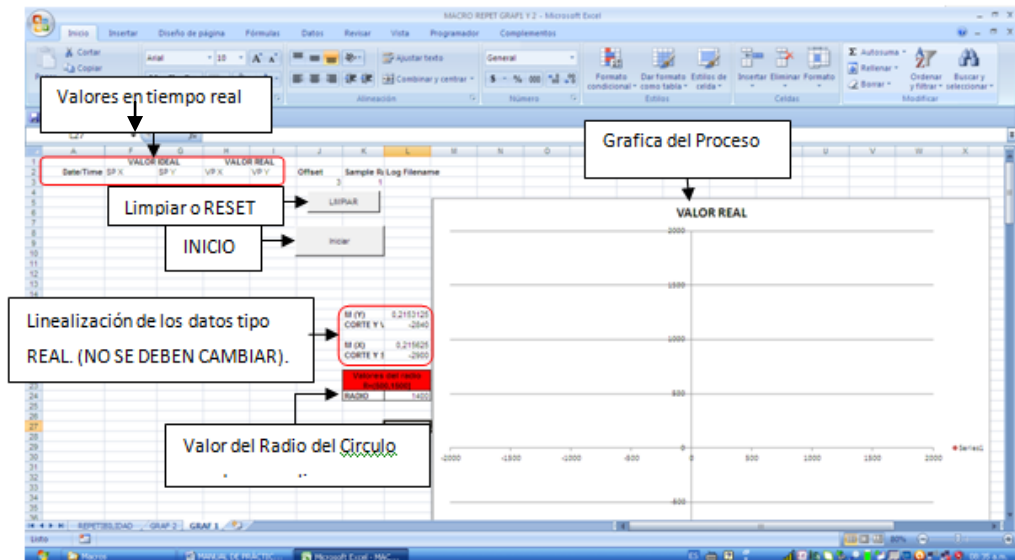
**Figura 93.** MACRO REPET GRAF1 Y 2



Este libro de excel tiene dispuestas tres hojas para realizar las diferentes prácticas, para este caso usaremos dos hojas, la de GRF 1 y GRAF 2 que

se muestra en las siguientes figuras, desde las cual se pueden escribir los valores de cada proceso en el PLC y se tienen los botones para iniciar la macro, detenerla y limpiar la hoja de cálculo.

**Figura 94.** Hoja Gráfica 1.

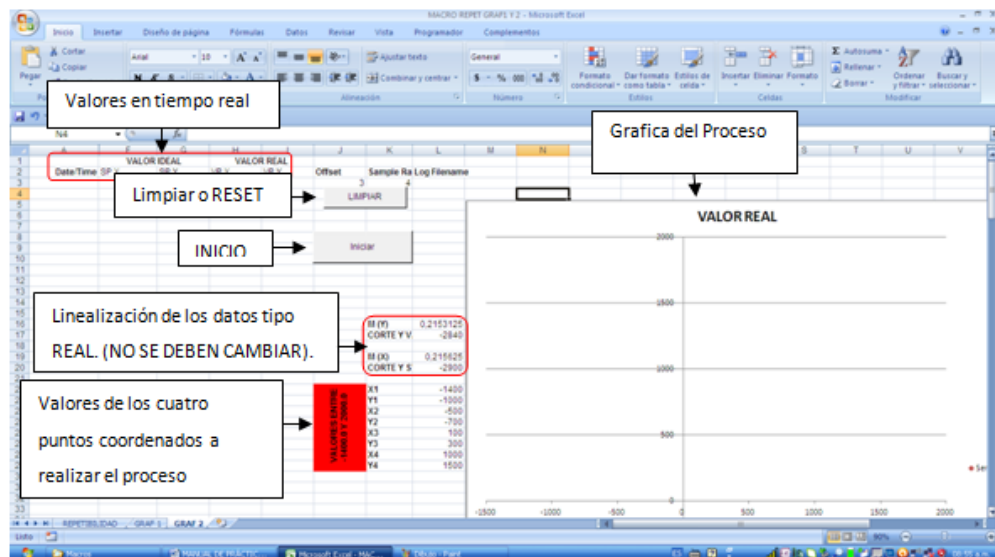


En la Gráfica 1, se realiza el trazado de un círculo, en cual indicaremos el valor en la hoja de cálculo, el cual esta parametrizado y escalado en el PLC. De igual forma que en la hoja de repetibilidad están los valores en tiempo real del proceso, los cuales van a ser graficados en la parte derecha de la hoja de cálculo. Se debe recordar que para poder enviar los datos al PLC, en este caso el valor del Radio de la circunferencia a realizar, se debe dar inicio primero a la MACRO de la hoja de cálculo y seguido dar la orden de inicio desde el panel de control del PLC. Para que se realice el ejercicio como está dispuesto y evitar errores en el proceso. (Esto realiza segundos antes de dar inicio).

En la Gráfica 2, se desea llegar a cuatro puntos específicos simulando la realización de un trabajo repetitivo que puede variar para diferentes medidas, es decir, como el taladrar cuatro agujeros en una platina o una lámina, en estos casos de la industria la ubicación de los agujeros puede

cambiar según el pedido, el cliente o la producción, por este motivo es importante poder introducir dichos valor para que el sistema sea más flexible. Se debe recordar que para poder enviar los datos al PLC, en este caso el valor de los cuatro puntos coordenados, se debe dar inicio primero a la MACRO de la hoja de cálculo y seguido dar la orden de inicio desde el panel de control del PLC. Para que se realice el ejercicio como está dispuesto y evitar errores en el proceso. (Esto realiza segundos antes de dar inicio al proceso).

**Figura 95.** Hoja Gráfica 2.



9. En este punto se encienden todos los elemento tanto hidráulicos, como eléctricos y electrónicos.

10. Se procede a verificar que los botones en el panel de control del PLC se encuentren las posiciones indicadas para esta práctica.

Esta práctica debe colocar el interruptor en “EJES”, el cual debe encender la segunda luz verde la cual tiene este mismo nombre, y una de las luces amarillas la cual indicara la gráfica a realizar, esta luz se selecciona con el ultimo interruptor o para ser más específicos el que se encuentra en la esquina derecha del panel de control del PLC. El selector del tipo de

válvula NO afecta esta práctica por lo cual no es necesario realizar ningún cambio en él.

**Figura 96.** Panel de control del PLC.



11. Seleccionar la Grafica que se desea realizar, tanto en el panel de control de PLC como en el libro de cálculo donde se encuentran las MACROS pertinentes, para realizar una práctica organizada se recomienda hacerlo en orden.
12. Ingresar los valores de inicio de la gráfica seleccionada en la Macro de la hoja de cálculo de la gráfica a realizar.
13. Dar inicio a la macro para que escriba los valores de inicio en el PLC.
14. Dar inicio en el panel de control del PLC y observar el proceso.
15. Detener la MACRO de la hoja de cálculo con la barra espaciadora del teclado de la computadora.

16. Es muy importante entre cada gráfica oprimir el botón “PARADA”, que se encuentra en el panel de control del PLC, ya que el botón inicio es una orden en común para las subrutinas con las ordenes de la practicas anteriores y las dos gráficas, si este no se detiene al cambiar el interruptor de la gráfica iniciaría el proceso sin esperar la orden.

17. Repetir los numerales del 11 al 16 con la siguiente gráfica.

18. Guardar los datos obtenidos en un nuevo libro de Excel para que los estudiantes realicen el análisis de resultados.

#### **4.5.3. ANALISIS DE RESULTADOS**

- Dar un concepto personal del funcionamiento de los ejes coordenados e investigar otras aplicaciones que son usadas tanto a nivel industrial como académico.
- Con los datos obtenidos en la práctica, calcular el error e investigar otras formas y elementos de control que permitan procesos más precisos.
- Explicar los motivos que producen este porcentaje de error y dar las recomendaciones pertinentes para mejorar la práctica.

## 5 CONCLUSIONES

La utilización de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y la ingeniería asistida por computadora (CAE), permitieron agilizar el diseño de la nueva estructura re-potenciada para el banco de servosistemas de posición, permitiendo tener un punto de referencia al simular las cargas a las cuales se iba a someter el banco ya mencionado. Para este caso en particular se utilizó el software SolidWorks 2007 con su complemento para la simulación Cosmos Works, el cual disminuyó el tiempo de diseño y permitió corregir errores antes de iniciar la construcción de la estructura.

La implementación del controlador PLC S7-200, que a pesar de ser de una línea gama baja de la empresa Siemens, cumplió con los objetivos propuestos al realizar por medio de control PID, el funcionamiento de las pruebas de escalón, repetibilidad y ejes coordinados, con buenos resultados hablando académicamente, donde el estudiante puede interactuar con estos procesos para tener una experiencia con equipos de la industria antes de enfrentarse a la vida laboral.

La adaptación de la placa Arduino Mega 2560, mostro un desempeño menor al del PLC, situación que se había pronosticado desde el inicio del proyecto, al ser los microcontroladores elementos utilizados para controlar sistemas de menor capacidad y presentando inconvenientes como la adaptación de las señales de salida y entrada, adicional el comportamiento normal de los microcontroladores presenta problemas de ruido y otros inconvenientes que afectan el buen funcionamiento del servosistema de posición. Pero introduce un segmento muy importante en la práctica, la comparación y sentido crítico del ingeniero hacia los elementos de control, bases que permiten tener mejores criterios de selección de estos elementos.

El diseño y adecuación de los elementos, permiten la fácil manipulación y la adaptación para la práctica, lo cual invita a los estudiantes a realizar las

conexiones y tener contacto directo con los controladores y elementos básicos de la hidráulica proporcional.

Para mejorar la práctica se recomienda adquirir un controlador de mejores cualidades, para poder tener un mejor comportamiento del sistema y obtener una mejor adquisición de datos, ya que la parte inicial (grafica 1) de los ejes coordinado, presenta inconvenientes en la adquisición de datos del valor ideal (setpoint), al realizarse cambios rápidos para poder realizar una circunferencia con el servosistema de posición.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE Rogger y MACAS Walter. Título de Ingeniero en Electrónica y Control. Trabajo de grado (Diseño y construcción de un módulo didáctico para medir y controlar caudal y nivel). Quito: Enero del 2010. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

BOLTON, William. Sistemas de control electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 4ed. México: AlfaOmega, 2010.

CHAVARRO, Johan y MARIÑO, Carlos. Modelado y caracterización dinámica de un servo actuador hidráulico. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2010.

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE CONTROL, TIPOS DE SEÑALES Y SISTEMAS. Edición UPC, 1998.

Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200.

MENDIBURU DIAZ, Henry Antonio. Sistemas de Control. Lima, Perú: Indecopi, 2003.

MUÑOZ Freddy y RINCÓN. Arquitecturas PID Tutorial de prácticas para el autómeta programable S7-314 IFM. Tesis de grado (pregrado), Universidad Industrial de Santander 2001.

NEGRI, Víctor Juliano De. Sistemas Hidráulicos e Neumáticos para Automatización y control. Universidad Federal de Santa Catarina. Laboratorios de sistemas hidráulicos e neumáticos. Florianópolis, Marzo de 2001.

OGATTA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 3ed. México: Prentice-Hall 1998.

QUIMINET. COM. En línea: [http://www.quiminet.com/ar\\_vcdadddsaAAssAAss-que-es-automatizacion.htm](http://www.quiminet.com/ar_vcdadddsaAAssAAss-que-es-automatizacion.htm).

SISTEMAS DE CONTROL. Grupo de Investigación de Control Industrial. Área de Automática. En línea: [http://objetos.univalle.edu.co/files/Sistemas\\_de\\_contro\\_l.pdf](http://objetos.univalle.edu.co/files/Sistemas_de_contro_l.pdf).

[SMITH, Carlos y CORRIPIO, Armando B.](#) Control Automático de Procesos, Teoría y Práctica. 1ed. México: Limusa, 1997.

VICKERS, Manual para servoválvulas y válvulas proporcionales en cadena cerrada.

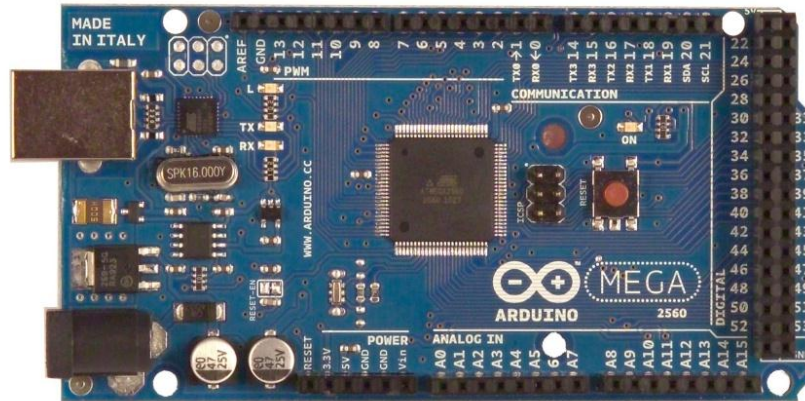
VICKERS, Manual Válvulas Proporcionales.

VILLAJULCA, José Carlos. Conceptos y Teoría de Control. Disponible en: <http://www.instrumentacionycontrol.net/politica-privacidad-y-reembolso/item/21-22-servosistemas.html>.

## **ANEXOS**

## ANEXO A.PLACA ARDUINO MEGA 2560<sup>11</sup>

**Figura97.** Plataforma Arduino Mega 2560.



Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega2560. Cuenta con 54 entradas/salidas digitales pines (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, vasca conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA a CC o batería para empezar.

### Arduino

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador. Su software consiste en un entorno de desarrollo sencillo que implementa el lenguaje de programación Processing. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino, como: java, C, C++, matlab, visual basic.

---

<sup>11</sup> <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Arduino está diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Es de código abierto brindando la facilidad de desarrollar elementos interactivos y la posibilidad de comenzar a utilizar Arduino sin conocimientos previos sobre electrónica. Nos permite crear programas para manejar motores, encender y apagar luces, actuar sobre sensores, etc.

La **placa** es de muy fácil montaje, con pocos componentes periféricos al microcontrolador. Si hemos comprado el kit para armar, será muy sencillo seguir los pasos de guía de los múltiples tutoriales que se encuentran en la red para ponerlo a funcionar. Bastará un pequeño soldador, algo de estaño y los materiales del kit para empezar a trabajar.

Una vez armada la placa con sus componentes, resta colocar en ella el microcontrolador y programarla. Pero si creemos que no estamos preparados para armarla nosotros mismos, o si queremos ahorrar tiempo, podemos comprarla ya hecha.

### **Selección Arduino**

Una de las cuestiones principales a la hora de elegir un modelo específico es el tipo de microcontrolador a utilizar y el modo de comunicación que poseerá la placa Arduino con el ordenador.

La diferencia de los tipos de controladores es la capacidad de memoria interna que poseerán para almacenar el programa que se diseñe e introduzca en él.

**Tabla 13.** Descripción Arduino Mega 2560.

<b>voltaje de operación</b>	5 V
<b>voltaje entrada (recomendado)</b>	7-12 V
<b>voltaje entrada (límites)</b>	6-20 V
<b>corriente máxima por pin</b>	40 m.A
<b>corriente máxima para el pin 3.3 V</b>	50 m.A
<b>Pines digitales I/O</b>	54 (14 PWM)
<b>Pines analógicos</b>	16
<b>memoria flash</b>	256 KB
<b>memoria RAM</b>	8 KB
<b>Eeprom</b>	4 KB
<b>velocidad de reloj</b>	16 MHz
<b>convertidor D/A</b>	16 bits

Fuente: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

## ANEXO B.SERVOVÁLVULA MOOG 62

# MOOG

62 Series  
Servovalves



## 62 SERIES TWO STAGE SERVOVALVES

### 62 SERIES SERVOVALVES

The 62 Series flow control servovalves are throttle valves for 3- and preferably 4-way applications. They are a standard performance, two-stage design that covers the range of rated flows from 2.5 to 20 gpm at 1000 psi valve drop. The output stage is a closed center, four-way sliding spool. The pilot stage is a symmetrical double-nozzle and flapper, driven by a double air gap, dry torque motor. Mechanical feedback of spool position is provided by a cantilever spring. The valve

design is simple and rugged for dependable, long life operation. These valves are suitable for electrohydraulic position, speed, pressure or force control systems with high dynamic response requirements.

#### Principle of operation

An electrical command signal (flow rate set point) is applied to the torque motor coils, and creates a magnetic force which acts on the ends of the pilot stage armature. This causes a deflection of the armature/flap-

per assembly within the flexure tube. Deflection of the flapper restricts fluid flow through one nozzle which is carried through to one spool end, displacing the spool.

Movement of the spool opens the supply pressure port (P) to one control port, while simultaneously opening the tank port (T) to the other control port. The spool motion also applies a force to the cantilever spring, creating a restoring torque on the armature/flapper assembly.

Once the restoring torque becomes equal to the torque from the magnetic forces, the armature/flapper assembly moves back to the neutral position, and the spool is held open in a state of equilibrium until the command signal changes to a new level.

In summary, the spool position is proportional to the input current and with constant pressure drop across the valve, flow to the load is proportional to the spool position.

### VALVE FEATURES

- 2-stage design with dry torque motor
- Low friction double nozzle pilot stage
- High spool control forces
- High dynamics
- Low cost design
- Rugged, long-life design
- High resolution, low hysteresis
- Completely set-up at the factory

The actual flow is dependent upon electrical command signal and valve pressure drop. The flow for a given valve pressure drop can be calculated using the square root function for sharp edge orifices:

$$Q = Q_N \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_N}}$$

Q [gpm] = calculated flow

Q<sub>N</sub> [gpm] = rated flow

Δp [psi] = actual valve pressure drop

Δp<sub>N</sub> [psi] = rated valve pressure drop

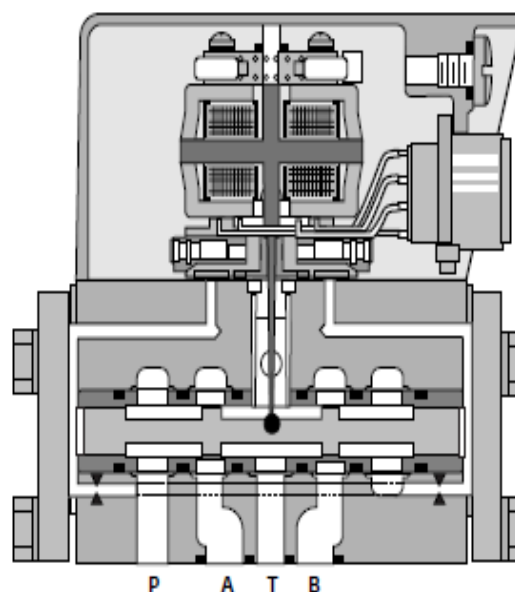
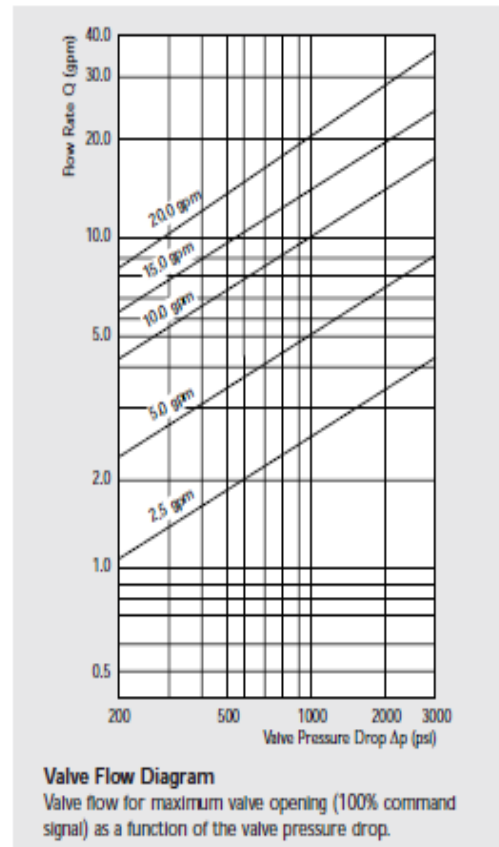


This catalog is for users with technical knowledge. To ensure that all necessary characteristics for function and safety of the system are given, the user has

to check the suitability of the products described here. In case of doubt, please contact Moog Inc.

62 SERIES  
GENERAL TECHNICAL DATA

<b>Operating Pressure</b>	ports P, A and B	up to 3,000 psi
	port T	up to 2,000 psi
<b>Temperature Range</b>	Fluid	0°F to 200°F
	Ambient	0°F to 200°F
<b>Seal Material</b>		Viton, others on request
<b>Operating Fluid</b>		Compatible with common hydraulic fluids, other fluids on request.
	Recommended viscosity	60-450 SJS @ 100°F
<b>System Filtration:</b> High pressure filter (without bypass, but with dirt alarm) mounted in the main flow and if possible, directly upstream of the valve.		
<b>Class of Cleanliness:</b> The cleanliness of the hydraulic fluid greatly effects the performance (spool positioning, high resolution) and wear (metering edges, pressure gain, leakage) of the servovalve.		
<b>Recommended Cleanliness Class</b>		
	For normal operation	ISO 4406 < 14/11
	For longer life	ISO 4406 < 13/10
<b>Filter Rating Recommended</b>		
	For normal operation	$B_{10} \geq 75$ (10 $\mu\text{m}$ absolute)
	For longer life	$B_5 \geq 75$ (5 $\mu\text{m}$ absolute)
<b>Installation Operations</b>		Any position, fixed or moveable.
<b>Vibration</b>		30 g, 3 axes
<b>Weight</b>		2.7 lb. (1.2 kg)
<b>Shipping Plate</b>		Delivered with an oil sealed shipping plate.



62 SERIES  
TECHNICAL DATA

Model ... Type

Mounting Pattern  
Valve Body Version

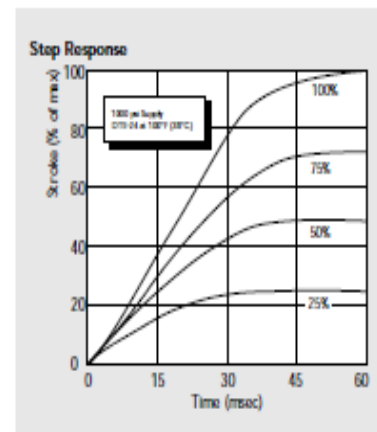
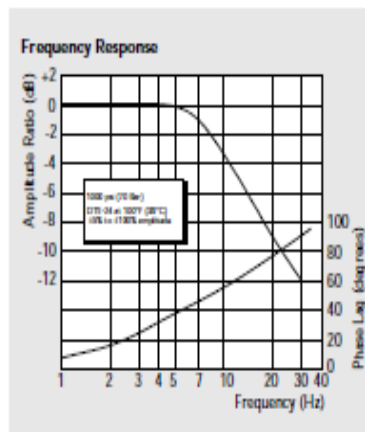
Pilot Stage

Pilot Connection

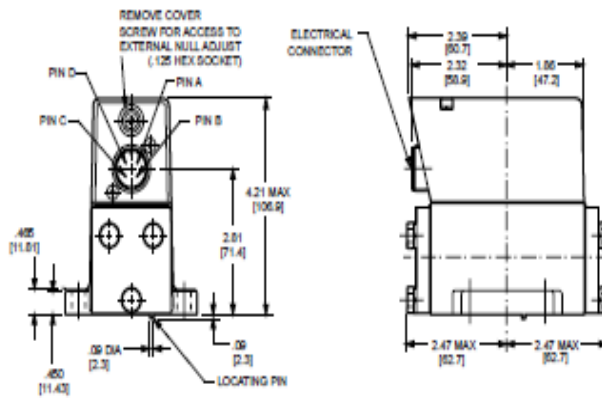
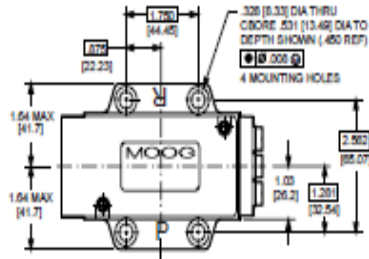
		62 .....					
		ISO 10372 - 04 - 04 - 0 - 92					
		4-way					
		2-stage with spool bushing design					
		Nozzle/Flapper, High flow					
		Internal only					
Rated Flow	(±10%) at $\Delta p_w = 1,000$ psi	[gpm]	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0
Response Time*		[ms]	60	60	60	60	60
Threshold*		[%]			< 1%		
Hysteresis*		[%]			< 5%		
Null Shift	at $\Delta T = 100^\circ F$	[%]			< 5%		
Null Leakage Flow*	max.	[gpm]			0.35 to 0.55		

\* Measured at 1,000 psi operating pressure

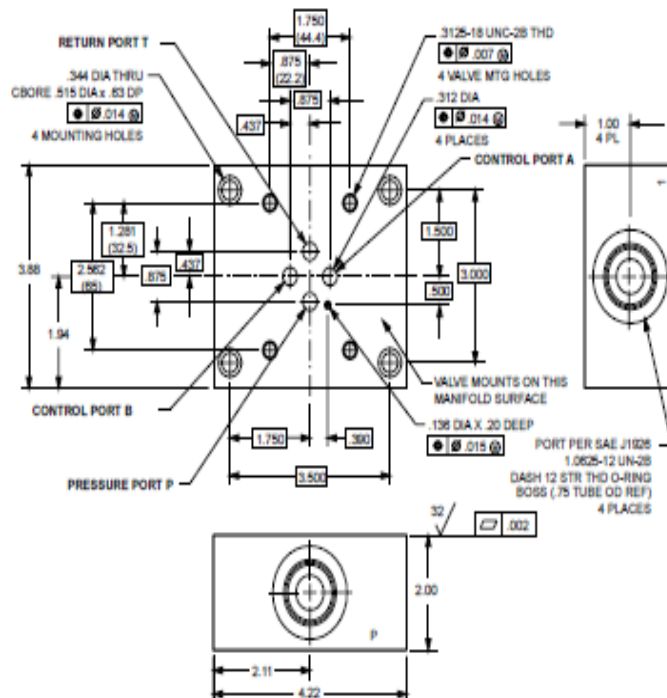
Typical characteristic curves with ±5% to ±100% input signal, measured at 1,000 psi operating pressure.



62 SERIES  
INSTALLATION DRAWINGS



TYPICAL SUBPLATE MANIFOLD



**Null Adjust:** Flow out of Control Port B will increase with clockwise rotation of null adjust screw (1/8 hex key).

The mounting manifold must conform to ISO 10372-04-04-0-92. Surface to which valve is mounted requires a  $\sqrt{.002}$  finish, flat within 0.002 [0.05] TIR.

## 62 SERIES ELECTRICAL CONNECTIONS

### Rated current and coil resistance

Two different coil designs are available for 62 Series Servovalves. See Table 1.

### Coil connections

A four-pin electrical connector (that mates with an MS3106R14S-2S) is standard. All four torque motor leads are available at the connector so external connections can be made for series, parallel or differential operation.

### Servoamplifier

The servovalve responds to input current, therefore a servoamplifier that has high internal impedance (as obtained with current feedback) should be used. This will reduce the effects of coil inductance and will minimize changes due to coil resistance variations.

### ELECTRICAL CONNECTIONS

(Example with typical 62 series coils)

	Parallel	Series	Single
Coil Resistance	[Ω] 14	56	28
Rated Current	[mA] ±100	±50	±100
Electrical Power	[W] .14	.14	.28
Connections for Valve Opening	A and C (+) B and D (-)	A (+), D (-) B and C connected	A (+), B (-) or C (+), D (-)

Note: Before applying electrical signals, the pilot stage has to be pressurized.

TABLE 1

Nominal Resistance Per Coil at 77°F (25°C) Ω	Recommended Rated Current-mA		Approximate Coil Inductance*-Henrys		
	Parallel, Differential or Single Coil Operation	Series Coils	Single Coils	Series Coils	Parallel Coils
28	100	50	0.2	0.8	0.2
300	30	15	2	7	2

\* Measured at 50 Hz.

62 SERIES  
**ORDERING INFORMATION**  
**SPARE PARTS AND ACCESSORIES**

Model Number		Type Designation	
62	• • • • •	• • • • •	• • • • •
<b>Optional Feature</b>		<b>Signals for 100% Spool Stroke</b>	
	Series specification	<b>Q</b>	±15 mA Series (±30 mA parallel)
<b>K</b>	Intrinsically safe	<b>R</b>	±50 mA Series (±100 mA parallel)
		<b>Y</b>	Special signal (see spec sheet)*
<b>Model Designation</b>		<b>Valve Connector</b>	
	Assigned at the factory	<b>A</b>	Connector C1 (A) – side (RH)
		<b>B</b>	Connector C2 (B) – side (LH)
<b>Factory Identification (Revision Level)</b>		<b>Seal Material</b>	
		<b>V</b>	Viton
		<b>N</b>	NBR (Buna)
			Others on request*
<b>Value Version</b>		<b>Pilot Connection and Pressure</b>	
<b>S</b>	Standard response	Pressure [psi]	Supply
		<b>A</b>	250 to 3,000 Internal
<b>Rated Flow</b>		<b>Spool Position without Electrical Signal</b>	
	$Q_N$ [gpm] at $\Delta p_N = 1,000$ psi	<b>M</b>	Mid position
<b>10</b>	2.5	<b>Pilot Stage</b>	
<b>20</b>	5.0	<b>F</b>	Standard dynamics
<b>40</b>	10.0		
<b>60</b>	15.0		
<b>75</b>	20.0		
<b>Maximum Operating Pressure <math>P_T</math> and Body Material</b>			
<b>F</b>	3,000 psi aluminum		
<b>Main Spool Type</b>			
<b>O</b>	4-way / axis cut / linear		
<b>D</b>	4-way / +/-10% overlap / linear		
<b>X</b>	Special*		

Preferred configurations highlighted.  
 All combinations may not be available.  
 Options may increase price and delivery.  
 Technical changes are reserved.

\* Optional designs are available with intrinsically safe coils (FM approved), and/or special spool bushing lap configuration. Available seal materials: VITON (Std.), BUNA or EPR.

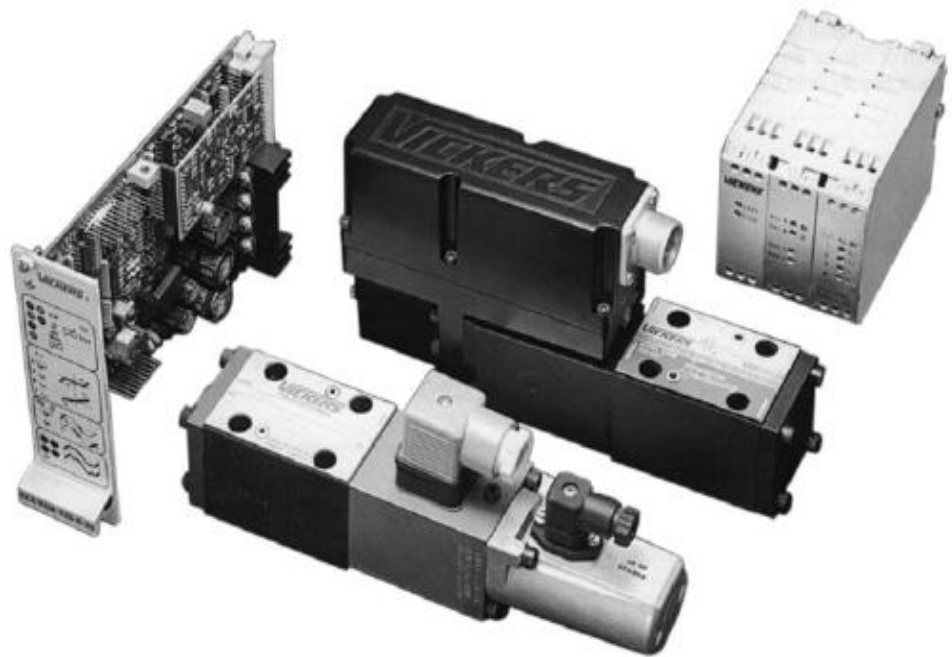
**SPARE PARTS AND ACCESSORIES**

O-Rings (Included in delivery) for P,T,A and B	FPM 85 Shore 1D 0.426 x .070	Moog P/N 42082-022
Mating Connector, waterproof IP 65 (not included in delivery)		49054F14S2S (MS3106F14S-2S)
Flushing Block		23718-1K1
Mounting Bolts (not included in delivery) 5/16 - 18 NC x 1.0 long (4 pieces)		A31324-216B
Orifice Assembly with Filter (2 required)		70714
Filter Replacement Kit		B52555RK36K1

# ANEXO C. VÁLVULA PROPORCIONAL VICKERSKD4V-3-2C13N-Z-U1-H7 -20

Vickers® Proportional Valves  
Proportional Directional Valves with Feedback

K1B1FD/TG4V-3, 1 1/2" Series  
Pressures to 350 bar (5000 psi)



Eaton's Vickers® K(B)FD/TG4V proportional valves are designed to provide a controlled oil flow in direct proportion to a command signal. They are available in two types; a double solenoid version that will provide reversible flow to an actuator and a single solenoid throttle version that provides a single direction of flow. Hydrostats are available for load compensation and parallel flow path modules are available that will boost the flow capacity of single solenoid throttle versions to nearly twice that of the standard valve.

Additionally, both of these valve types can be supplied with or without an integral amplifier built directly onto the valve.

#### KFD/TG4V-3

This version is supplied **without** the integral amplifier.

#### Features and Benefits

- Wide range of spool and flow rate options
- Electronic feedback LVDT ensures accurate spool position control
- Vibration and shock tested
- Supported by a broad range of amplifiers and auxiliary function modules
- Full CE electromagnetic compatibility

#### KBFD/TG4V-3

A range of proportional directional and throttle valves **with** integral control electronics. Factory-set adjustments of gain, spool deadband compensation and offset ensure consistent repeatability valve-to-valve.

The only electrical inputs required are power supply (24V) and a voltage command signal of  $\pm 10V$  or 4-20 mA. The amplifier is housed in a robust metal enclosure, sealed against ingress of water and other fluids. Electrical connections are via a standard 7-pin plug.

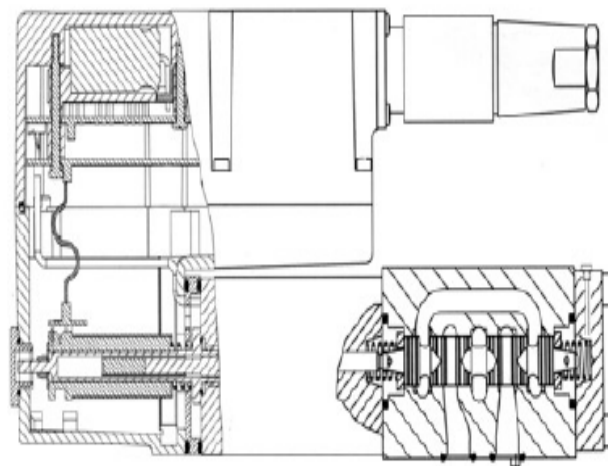
A spool position monitor pin allows the function of the valve to be electrically monitored. Ramp functions, if required, can be generated externally.

#### Features and Benefits

- Factory-sealed adjustments ensure valve-to-valve reproducibility

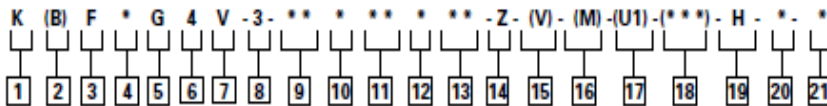
- Installation wiring reduced and simplified
- Standard 7-pin connector
- Standard 24V DC supply with wide tolerance band
- Optional  $\pm 10V$  DC or 4-20 mA command signals
- Valve with integrated amplifier selected, ordered, delivered and installed as one performance-tested package
- Spool position monitor pin to help with troubleshooting
- Simple valve removal and replacement for service (plug and play)
- Vibration and shock tested
- Auxiliary DIN rail mounted electronic function modules available
- Full CE electromagnetic compatibility
- IP65 and IP67 valve environmental protection rating
- Optional valve enable function

#### Typical Section View



KBFD/TG4V-3-PE7, 1\* Design

# Model Codes



<p><b>1 Valve Type</b>  <b>K</b> Proportional valve</p>	<p><b>10 Spool/Spring Arrangement</b>  <b>B</b> Spring centered single solenoid valve (solenoid "B" only) Solenoid "A" for "V" version, Throttle valve  <b>C</b> Spring centered, dual solenoid, Direction valve</p>	<p><b>14 Manual Overrides</b>  <b>Z</b> No manual overrides</p>	<p><b>18 Electrical Connection (KBF valves only)</b>  <b>PC7</b> 7-pin connector without plug  <b>PE7</b> 7-pin electrical plug with mating half  <b>PH7</b> As PE7 but with pin "C" used for enable signal  <b>PR7</b> As PC7 but with pin "C" used for enable signal</p>
<p><b>2 Integral Amplifier</b>  <b>B</b> Integral amplifier "B" series. Omit for models without integral amplifier</p>	<p><b>11 Spool Flow Rating</b>  <math>\Delta p = 5 \text{ bar (75 psi)}</math> per metering flow path, e.g. B to T. (For actual maximum flow refer to power capacity envelope curves.  <b>03</b> 3 L/min (0.79 USgpm) <math>\Delta</math>  <b>07</b> 7 L/min (1.85 USgpm) <math>\blacktriangle</math>  <b>13</b> 13 L/min (3.43 USgpm) <math>\blacktriangle</math>  <b>20</b> 20 L/min (5.28 USgpm) <math>\blacktriangle</math>  <b>28</b> 28 L/min (7.40 USgpm) <math>\square</math>  <b>30</b> 30 L/min (7.92 USgpm) <math>\blacksquare</math>  <math>\blacktriangle</math> Meter-in/meter-out  <math>\square</math> Meter-out only; type 2 spool only  <math>\Delta</math> Fine meter-in/meter-out  <math>\blacksquare</math> 5C Spool only</p>	<p><b>15 Solenoids Energization Identity</b>  (non-integral amplifier types KF only, omit for valves with integral amplifier)  <b>V</b> Solenoid "A" is at port "A" end and Solenoid "B" is at port "B" end independent of spool type  <b>Blank</b> US ANSI B93.9 standard (energize solenoid "A", flow symbol is (P→A))</p>	<p><b>19 Coil Rating</b>  <b>H</b> 24 VDC amplifier supply</p>
<p><b>3 Feedback Arrangement</b>  <b>F</b> Spool position</p>	<p><b>12 Spool Metering Type</b>  <b>N</b> Meter-in and meter-out  <b>F</b> Fine meter-in and meter-out (only 03 spool)  <b>S</b> Meter-out only</p>	<p><b>16 Command Input</b>  <b>M</b> Electrical feature flag (KF only)  <b>M1</b> <math>\pm 10\text{VDC}</math> (KBF only)  <b>M2</b> 4-20 mA (KBF only)</p>	<p><b>20 Port T Pressure Limit Code</b>  <b>6</b> For 2C**S spools  <b>7</b> For all other spools</p>
<p><b>4 Control Type</b>  <b>D</b> Directional valve  <b>T</b> Throttle valve</p>	<p><b>13 Flow Rating ("B" port flow for asymmetric spools) K(B)FDG Valves only</b>  <b>10</b> 10 L/min (2.64 USgpm) (20N10 only)  Omit for symmetrical spools</p>	<p><b>17 Solenoid Connector</b>  Omit for valves with integral amplifier KBF  <b>U1</b> ISO 4400/DIN 43650, non-integral amplifier type KF only (mating plug supplied)</p>	<p><b>21 Design Number</b>  <b>1* &amp; 2* Series</b>  Subject to change</p>
<p><b>5 Mounting</b>  <b>G</b> Subplate mounted</p>	<p><b>7 Pressure Rating</b>  <b>V</b> 350 bar (5000 psi) on ports P, A &amp; B</p>	<p><b>8 Interface</b>  <b>3</b> ISO 4401, size 03-02-0-94 ANSI/B93.7M-D03</p>	<p><b>WARNING</b>  Valves with integral amplifier are supplied with or without the metal 7-pin plug. The Eaton plug, part no. 934939, must be correctly fitted to ensure that the EMC rating and IP67 rating are achieved. The plug retaining nut must be tightened with a torque of 2-2,5 Nm (1.5-2.0 lbf ft) to effect a proper seal</p>
<p><b>6 Operation</b>  <b>4</b> Solenoid operation</p>	<p><b>9 Spool Type (center condition) (see spool data, page 5)</b>  <b>2</b> All ports closed  <b>5</b> All ports closed (zero lap)  <b>33</b> P port closed, bleed A &amp; B to T</p>		

# Spool Data

## Spool Symbols

### Available Spools for K(B)FDG4V-3

Spool type 2C\*\*N, meter-in/meter-out



Spool type 5C\*\*N, meter-in/meter-out (zero lap)



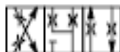
Spool type 2C20N10, asymmetric flow



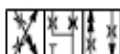
Spool type 2C28S, meter-out only



Spool 33C\*\*N, meter-in/meter-out

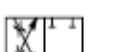


Spool type 33C20N10, asymmetric flow



### Available Spools for K(B)FTG4V-3

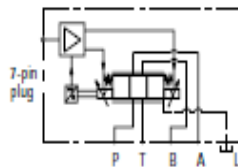
Spool type 2B\*\*N, meter-in/meter-out



## Functional Symbols

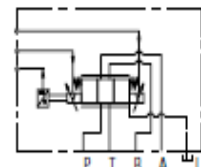
### Model Types Kbfdg4V-3

proportional directional valve (with integrated electronics)



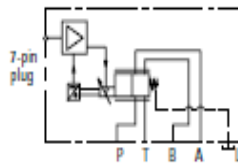
### Model Types Kfdg4V-3

proportional directional valve (requires amplifier card)



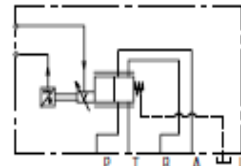
### Model Types KbfTg4V-3

proportional throttle valve (with integrated electronics)



### Model Types Kftg4V-3

proportional throttle valve (requires amplifier card)



## Spool Type and Flow Rating

### Symmetric Spools

Base line starting at  $\Delta p = 5$  bar (75 psi) per metering flow pat, e.g. B to T. For actual maximum flow refer to power capacity envelope curves.

#### For K(B)FDG4V-3 Valves

Spool Code	Spool Symbol	Flow Rating
2C03F	2C	3 L/min (0.79 USgpm)
2C07N	2C	7 L/min (1.85 USgpm)
2C13N	2C	13 L/min (3.43 USgpm)
2C20N	2C	20 L/min (5.28 USgpm)
2C30N	2C	30 L/min (7.92 USgpm)
2C28S	2C	28 L/min (7.40 USgpm)
33C03F	33C	3 L/min (0.79 USgpm)
33C07N	33C	7 L/min (1.85 USgpm)
33C13N	33C	13 L/min (3.43 USgpm)
33C20N	33C	20 L/min (5.28 USgpm)
5C30N	5C	30 L/min (7.92 USgpm)

#### For K(B)FTG4V-3 Valves

Spool Code	Spool Symbol	Flow Rating
2B03F	2B	03 L/min (0.79 USgpm)
2B07N	2B	07 L/min (1.85 USgpm)
2B13N	2B	13 L/min (3.43 USgpm)
2B20N	2B	20 L/min (5.28 USgpm)

### Asymmetric Spools

Figure preceding metering type designator, "N" (e.g. 2C\*\*N) is flow rating P-A, or A-T ("A" port flow); figure after "N" (N\*\*) is flow rating P-B, or B-T ("B" port flow).

#### For K(B)FDG4V-3 Valves

Spool Code	Spool Symbol	Flow Rating
2C20N10	2C	20 L/min (5.28 USgpm), "A" port flow 10 L/min (2.64 USgpm), "B" port flow
33C20N10	33C	20 L/min (5.28 USgpm), "A" port flow 10 L/min (2.64 USgpm), "B" port flow

## ANEXO D. Transductores de posición Temposonic

TEMPOSONICS® L SERIES

LP

### Product Specifications

#### FEATURES

- 2-year warranty
- Modular, non-contacting design
- Excellent resolution and repeatability
- Analog outputs (Voltage or Current)
- Digital output (Start/Stop or PWM)
- Easy to install
- Shock and vibration resistant
- Mounting flexibility
- Drip, dust, rust resistant
- 24-hour emergency technical support
- CE Certified (Model dependent)



Temposonic® L Series LP profile-style position sensors are available with analog outputs (voltage or current) or digital outputs (Start/Stop or PWM). All outputs are absolute rather than incremental so that power-down situations do not require re-homing.

Mechanically, the LP sensors mount and function similar to linear potentiometers and DDTs, however, they offer several advantages: high precision, increased durability, and cost effectiveness. In addition, Temposonic LP position sensors use non-contacting magnetostriuctive technology.

Three easy-to-install magnet configurations are available to meet your specific application requirements: floating magnet, captive sliding magnet, and rod & cylinder. Stroke lengths are available up to 144 inches, output dependent. (Note: rod & cylinder versions are limited to a maximum stroke length of 48 inches.)

PARAMETER	SPECIFICATION
<b>Measured Variable:</b>	Displacement
<b>Resolution:</b>	<i>Analog:</i> Infinite <i>Digital:</i> 1 - (gradient x crystal freq. (MHz) x circulation); maximum resolution: 0.006 mm or 0.00025 in.
<b>Non-Linearity*:</b>	<i>Captive Slide:</i> ± 0.02% or ± 0.127 mm (0.006 in), whichever is greater <i>Rod &amp; Cylinder and Floating Magnet:</i> ± 0.02% or ± 0.152 mm (0.006 in), whichever is greater
<b>Repeatability:</b>	Equal to resolution
<b>Hysteresis:</b>	< 0.02 mm (0.0008 inches)
<b>Outputs:</b>	<i>Analog:</i> Voltage or Current <i>Digital:</i> Start/Stop or PWM
<b>Measuring Range:</b>	<i>Analog:</i> 25 to 2000 mm (1 to 78 in.) <i>Digital:</i> 25 to 2050 mm (1 to 144 in.) <i>[Rod &amp; Cylinder version: max length = 1270 mm (48 in.)]</i>
<b>Operating Voltage:</b>	+ 13.5 to 26.4 Vdc (± 0%) Strokes ≤ 1525 mm (60 in.) + 24 Vdc (± 10%) Strokes > 1525 mm (60 in.)
<b>Power Consumption:</b>	100 mA
<b>Operating Temperature:</b>	<i>Head/Electronics:</i> - 40 to 85°C (- 40 to 185°F) <i>Sensing Element:</i> - 40 to 105°C (- 40 to 221°F)
<b>EMC Test:</b>	DIN IEC 801-4, Type 4, CE Qualified; DIN EN 50081-1 <i>(G' style connector only)</i> (Emissions); DIN EN 50082-2 (Immunity)
<b>Shock Rating:</b>	100 g (single hit) IEC standard 68-2-27 (survivability)
<b>Vibration Rating:</b>	5 g <sup>1/3</sup> 10-150 Hz/IEC standard 68-2-6
<b>Update Time:</b>	<i>Analog:</i> < 1 ms <i>Digital:</i> Minimum = (Stroke (specified in inches) + 3) x 9.1 μs
<b>Housing Style/Enclosure:</b>	Aluminum profile, drip, dust, and rust resistant <i>G'</i> style connection meets IP 67 rating
<b>Magnet Type:</b>	Floating magnet, captive sliding magnet, rod & cylinder

\* Non-Linearity increases with multiple resolutions.

The above specifications are assuming the output type (averaged by the measuring device) as with any typical analog device. Specifications are subject to change without notice. Contact MTS to confirm specifications that are critical to your application.

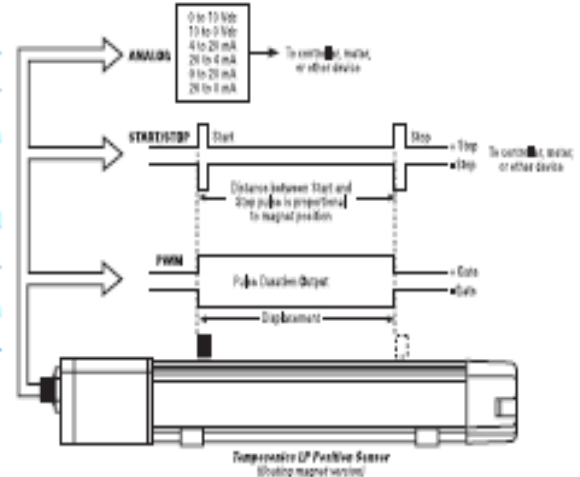
# OUTPUTS

## ANALOG & DIGITAL OUTPUTS

The Tempsonics L Series IP position sensors provide direct analog or digital outputs. The Start/Stop output requires a customer-supplied 1µs interrogation signal.

Analog outputs include: voltage (0 to 10 Vdc; forward & reverse acting) and current (4 - 20 mA or 0 - 20 mA, forward or reverse acting).

If a digital format is required, Start/Stop or Pulse-width Modulated (PWM) outputs are also available. Since both the analog and digital outputs are direct, no signal-conditioning electronics are needed when interfacing with controllers or meters.

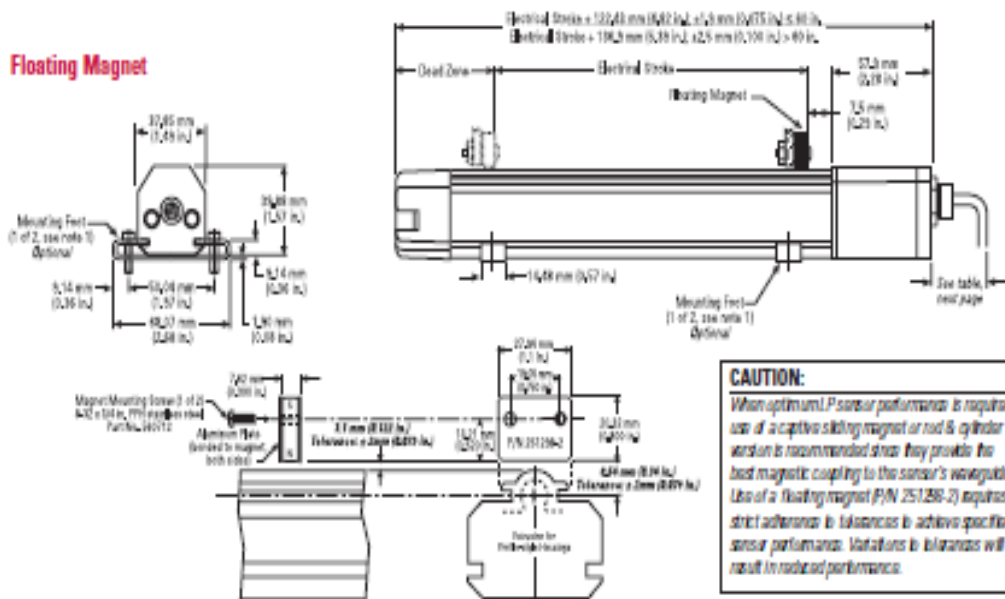


## FEATURES

- Outputs Include:
  - Start/Stop
  - Pulse-width modulated (PWM)
  - Voltage
  - Current
- Rugged Construction
- Direct Outputs—No Signal-conditioning Required
- High Resolution
- Drip, Dust, Rust Resistant

## MAGNET CONFIGURATIONS

### Floating Magnet





# WIRING

## CONNECTIONS

### Analog Output: Voltage Output:

Pin No.	Wire Color	Function
1	Blue	0 to 10 Vdc (Note 1)
2	Green	Return for Pin 1
3	Yellow	10 to 0 Vdc (Note 2)
4	Orange	Return for Pin 3
5	Red	Customer Supplied Power (+ Vdc)*
6	Black	DC Ground
7	Drain Wire	Shield Drain Wire (Note 3)
8	N/C	N/C

### Analog Output: Current Output:

Pin No.	Wire Color	Function
1	Blue	4 to 20 mA, 0 to 20 mA 20 to 4 mA, or 20 to 0 mA
2	Green	Return for Pin 1
3	Yellow	N/C
4	Orange	N/C
5	Red	Customer Supplied Power (+ Vdc)*
6	Black	DC Ground
7	Drain Wire	Shield Drain Wire (Note 3)
8	N/C	N/C

### Digital Output: (PWM or Start/Stop)

Pin No.	Wire Color	Function PWM
1	Blue	(-) Gate for PWM, (-) Stop for Start/Stop
2	Green	(+) Gate for PWM, (+) Stop for Start/Stop
3	Yellow	(-) Interrogation for PWM, (-) Start for Start/Stop
4	Orange	(+) Interrogation for PWM, (+) Start for Start/Stop
5	Red	Customer Supplied Power (+ Vdc)*
6	Black	DC Ground
7	Drain Wire	Shield Drain Wire (Note 3)
8	N/C	N/C



**7 Pin Integral or Hanging Connector (male profile)**  
**Connection Type:** C, M, or J  
**Mating Accessories:**  
 • BN 251135 Field Installable Connector  
 • Extension Cable

\* Power requirements are stroke length dependent:  
 • 135 to 254 Wc (+ 0%): Stroke length < 1525 mm (50 in.)  
 • 24 Wc (+ 0%): Stroke length > 1525 mm (50 in.)

#### NOTES:

- Output = 0 Vdc when reference magnet is positioned at the electronic housing end of the sensor.
- Output = 0 Vdc when reference magnet is positioned at the tip of the sensor.
- Shield drain wire should be isolated from DC ground (black wire) at the controller end of the cable.

## CONNECTIONS FOR 'G' STYLE MATING CABLES

### RG Connector: (PWM or Start/Stop)

Pin No.	Wire Color	Function
1	Gray	(-) Gate for PWM, (-) Stop for Start/Stop
2	Pink	(+) Gate for PWM, (+) Stop for Start/Stop
3	Yellow	(-) Interrogation for PWM, (-) Start for Start/Stop
4	Green	(+) Interrogation for PWM, (+) Start for Start/Stop
5	Red or Brown	Customer Supplied Power (+ Vdc)*
6	White	DC Ground
7	-	No Connection

### RG Connector: (Voltage or Current Output)

Pin No.	Wire Color	Function
1	Gray	0 to 10 Vdc 4 to 20 mA or 0 to 20 mA
2	Pink	Return for Pin 1
3	Yellow	10 to 0 Vdc 20 to 4 mA or 20 to 0 mA
4	Green	Return for Pin 3
5	Red or Brown	Customer Supplied Power (+ Vdc)*
6	White	DC Ground
7	-	No Connection



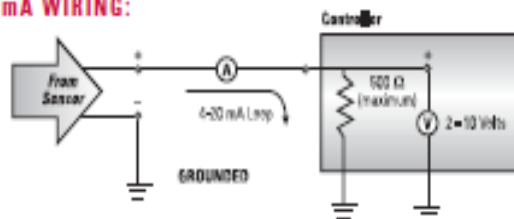
**'G' Connector  
(Mated Mating  
Extension Cable Required)**

#### NOTES:

- When wiring Temperature I Series IP sensors equipped with a 'G' style connector, **do not** connect DC ground to the cable shield or drain wire.
- For single-ended interrogation, the unused interrogation lead must be connected to DC ground.
- When using PWM with internal interrogation, both interrogation leads must be connected to DC ground.

\* Power requirements are stroke length dependent:  
 • 135 to 254 Wc (+ 0%): Stroke length < 1525 mm (50 in.)  
 • 24 Wc (+ 0%): Stroke length > 1525 mm (50 in.)

## TYPICAL 4-20 mA WIRING:



**NOTE:**  
 Minimum load impedance for voltage outputs is 5K  $\Omega$ .

## ANEXO E. CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC S7-200.

La estructura del laboratorio Servomecanismo de posición se determina como un sistema automatizado, el cual se encuentra dividido en **Parte de Control** y **parte operativa**. Para este capítulo se busca soportar paso a paso los objetivos que se plantearon para el desarrollo del proyecto con el autómata programable PLC S7-200, y de esta manera brindar la mayor organización en la información, general y técnica, para el reconocimiento de los aspectos de instalación, ejecución, y manipulación sólida del equipo de trabajo (del PLC y de sus elementos de operación).

### MATERIAL Y EQUIPO

- ✓ Computadora.
- ✓ Cable PC/PPI y cable RS-485 para conectar a la CPU S7-200.
- ✓ CPU 224-S7-200.
- ✓ Cable y fuente de alimentación.
- ✓ Programa STEP 7-Micro/Win.

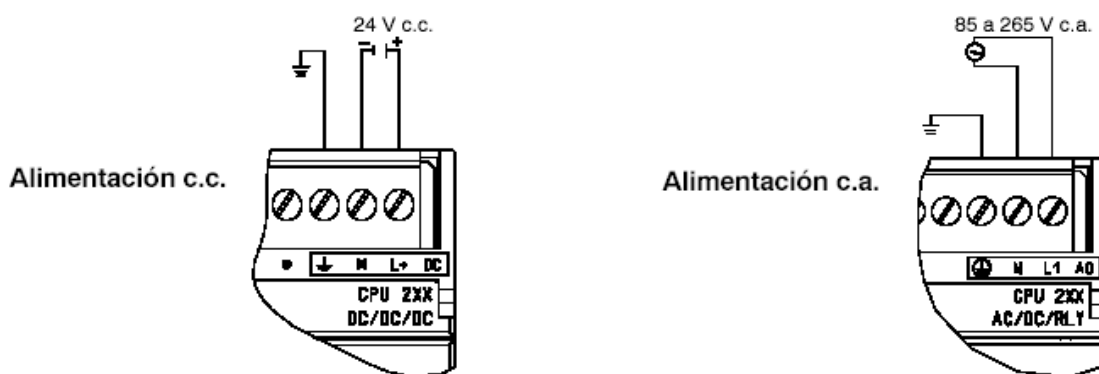
### INSTALACIÓN, ADECUACIÓN Y MONTAJE DEL S7-200.

**Conectar el S7-200.** Es muy fácil conectar el S7-200. Basta con conectar la alimentación del S7-200 y utilizar el cable de comunicación para unir la unidad de programación y el S7-200.

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

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

**Figura 98.** Conectar la alimentación S7-200.



Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 8.

**Reglas para Montar el S7-200.** El S7-200 puede montarse en un panel o en rail normalizado (DIN), bien sea horizontal o verticalmente. Alejar los equipos S7-200 de fuentes de calor, alta tensión e interferencias, como regla general para la disposición de los equipos que conforman el sistema, aleje siempre los aparatos de alta tensión que generan interferencias de los equipos de baja tensión y de tipo lógico, tales como el S7-200.

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

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

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

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

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

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

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

es necesario respetar todos los reglamentos, códigos y normas eléctricas vinculantes.

La mejor forma de poner a tierra la aplicación es garantizar que todos los conductores neutros y de masa del S7-200 y de los equipos conectados se pongan a tierra en un mismo punto. Este punto se debería conectar directamente a la toma de tierra del sistema. Para incrementar la protección contra interferencias es recomendable que todos los conductores de retorno c.c. neutros se conecten a un mismo punto de puesta a tierra. Conecte a tierra el conductor neutro (M) de la alimentación para sensores de 24 V c.c. Todos los cables de puesta a tierra deberían tener la menor longitud posible y una sección grande, por ejemplo 2 mm<sup>2</sup> (14 AWG).

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

**Reglas de cableado del S7-200.** Al diseñar el cableado del sistema de automatización S7-200, incorpore un interruptor unipolar para cortar simultáneamente la alimentación de la CPU S7-200, de todos los circuitos de entrada y de todos los circuitos de salida. Prevea dispositivos de protección contra sobreintensidad (por ejemplo, fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Para mayor protección es posible instalar un fusible u otro limitador de sobreintensidad en todos los circuitos de salida. Utilice el cable más corto posible y vigile que tenga una sección suficiente para conducir la corriente necesaria. El conector acepta cables con sección de 2 mm<sup>2</sup> a 30 mm<sup>2</sup> (14 AWG a 22 AWG).

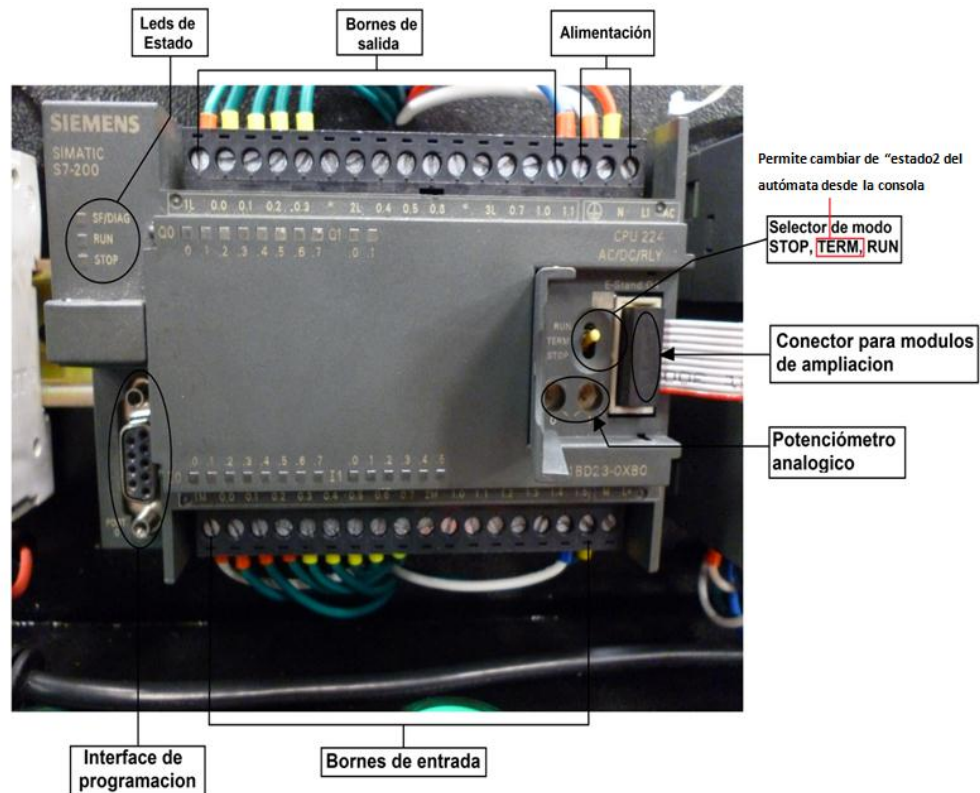
## **CPU 224**

### **Las funciones integradas CPU 224**

- 4 encoders incrementales con reconocimiento de dirección.
- Hasta 2 salidas de impulsos de hasta 20 kHz. Con función de rampa integrada.

- Potenciómetros analógicos integrados. Para ajuste fino in-situ. Resolución 8 bits para todas las CPUs 22X.
- Reloj en tiempo real integrado u opcional.
- Entradas de alarma o interrupción- para tiempos de reacción cortos.
- Sencilla regulación PID, por ejemplo, para control de posición.
- Fuente de alimentación integrada (DC 24 V).
- Funciones de comunicación de datos CPUs: intercambio de datos entre CPUs, comunicaciones serie en modo Freeport y, comunicación con módems, accionamientos, impresoras, etc.
- Perfecta seguridad gracias a un control de acceso. Tres posibles niveles de protección mediante contraseña: 1. Acceso a lectura y escritura del programa sin contraseña, 2. Acceso a escritura sólo mediante contraseña, 3. Acceso a lectura y escritura del programa sólo posible con contraseña.

**Figura 100.** Elementos de la CPU 224.



La CPU seleccionada fue la CPU 224 AC/DC/Relé, dado que esta CPU cumple con la mayoría de los requerimientos del sistema a automatizar, el número de entradas/salidas digitales integradas, aunque no cuenta con la cantidad requerida de entradas y salidas analógicas, presenta una alternativa económica, ya que estaba disponible en el laboratorio de Servosistemas de Potencia Fluida (Control Automático), y dada la posibilidad de la ampliación con dos módulos adicionales; la memoria y la memoria de usuario dado su tamaño permite la elaboración de un programa de control bastante estructurado y con una longitud considerable. A continuación se presentan las características técnicas más representativas de esta CPU:

**Tabla 14.** Referencia de la CPU.

Nº de referencia	Modelo de CPU	Alimentación (nominal)	Entradas digitales	Salidas digitales	Puertos COM	Entradas analógicas	Salidas analógicas	Conector extraíble
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221	24 VDC	6 x 24 VDC	4 x 24 VDC	1	No	No	No
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221	120 a 240 VAC	6 x 24 VDC	4 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222	24 VDC	8 x 24 VDC	6 x 24 VDC	1	No	No	No
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222	120 a 240 VAC	8 x 24 VDC	6 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	1	No	No	Sí
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224	120 a 240 VAC	14 x 24 VDC	10 salidas de relé	1	No	No	Sí
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	2	2	1	Sí
6ES7 214-2AS23-0XB0	CPU 224XPsi	24 VDC	14 x 24 VDC	10 x 24 VDC	2	2	1	Sí
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP	120 a 240 VAC	14 x 24 VDC	10 salidas de relé	2	2	1	Sí
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226	24 VDC	24 x 24 VDC	16 x 24 VDC	2	No	No	Sí
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226	120 a 240 VAC	24 x 24 VDC	16 salidas de relé	2	No	No	Sí

Fuente: Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 418.

**Tabla 15.** Datos técnicos generales de las CPU.

Nº de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	VDC disponible	
					+5 VDC	+24 VDC <sup>1</sup>
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221 DC/DC/DC 6 entradas/4 salidas	90 x 80 x 62	270 g	3 W	0 mA	180 mA
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221 AC/DC/relé 6 entradas/4 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	6 W	0 mA	180 mA
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222 DC/DC/DC 8 entradas/6 salidas	90 x 80 x 62	270 g	5 W	340 mA	180 mA
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222 AC/DC/relé 8 entradas/6 salidas de relé	90 x 80 x 62	310 g	7 W	340 mA	180 mA
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224 DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	120,5 x 80 x 62	360 g	7 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224 AC/DC/relé 14 entradas/10 salidas de relé	120,5 x 80 x 62	410 g	10 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	140 x 80 x 62	390 g	8 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2AS23-0XB0	CPU 224XPsi DC/DC/DC 14 entradas/10 salidas	140 x 80 x 62	390 g	8 W	660 mA	280 mA
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP AC/DC/relé 14 entradas/10 salidas de relé	140 x 80 x 62	440 g	11 W	660 mA	280 mA
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226 DC/DC/DC 24 entradas/16 salidas	196 x 80 x 62	550 g	11 W	1000 mA	400 mA
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226 AC/DC/relé 24 entradas/16 salidas de relé	196 x 80 x 62	660 g	17 W	1000 mA	400 mA

Fuente: Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 418.

**Tabla 16.** Datos técnicos de la CPU 224.

<b>FUNCION</b>	<b>CPU 224</b>
<b>Tamaño físico</b>	120,5 mm x 80 mm x 62 mm
<b>Memoria:</b>	
Programa	4096 palabras
Datos de usuario	2560 palabras
Memoria para el programa de usuario	EEPROM
Respaldo (condensador de alto rend.)	190 Horas (tip.)
<b>E/S Físicas*:</b>	
E/S Físicas	14E/10S
Nº de módulos de ampliación**	7 módulos
<b>Contadores/temporizadores</b>	256/256
<b>Relés internos</b>	256
<b>Potenciómetros analógicos</b>	2
<b>Entradas de interrupción de Hardware</b>	4 filtros de entrada
<b>Puertos de Comunicación</b>	1: RS-485

Fuente: Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200.

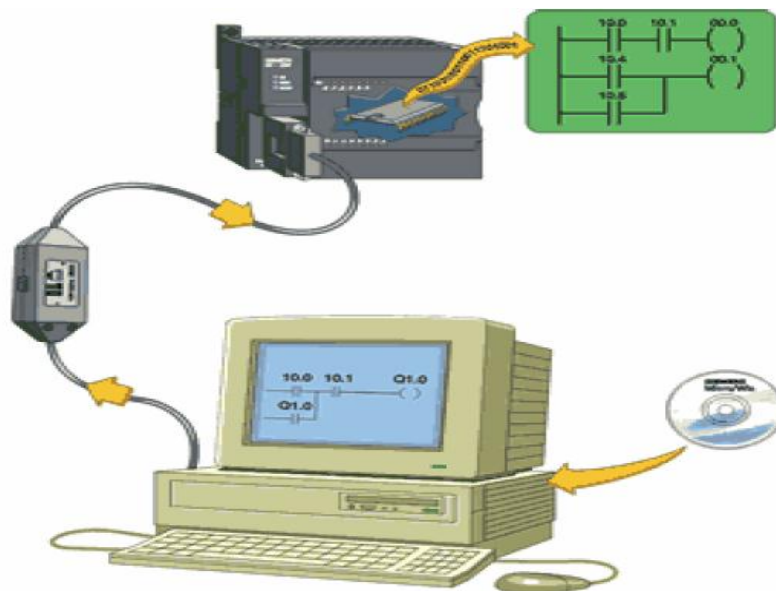
- **Interfaz de Comunicación.**

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

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

**El presente proyecto requiere un Cable RS-485 para programar al PLC.** Este cable llamado PC/PPI (USB/RS-485), permite que la interface serie del PLC se comuniquen con el puerto serie de la PC.

**Figura 100.** Representación de la conexión del PC al PLC por medio del cable multimaestro.



Fuente: Catálogo Siemens S7-200.

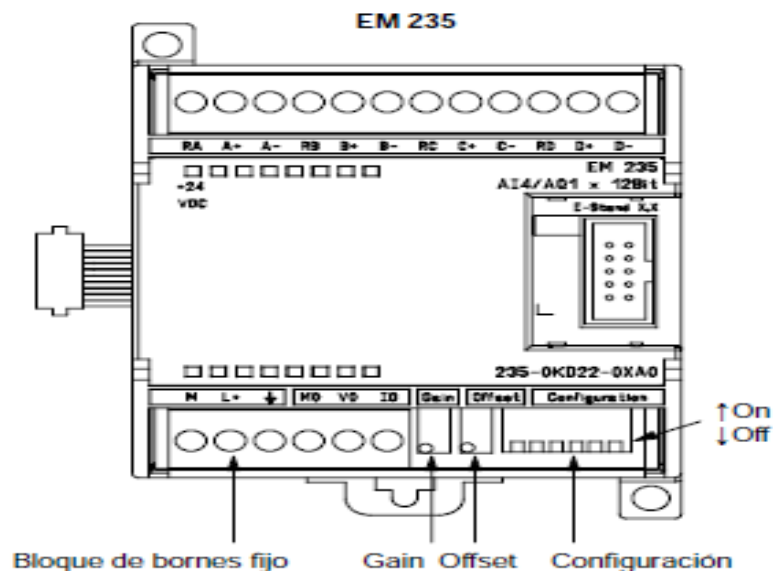
## Conectar el cable de comunicación.

1. En el PC, utilice un conector de periféricos USB (Universal Serial Bus) estándar.
2. Conecte la tensión de alimentación del PLC.
3. El led STOP o RUN se deberá encender.

## MÓDULO DE AMPLIACION EM-235

Dado que la CPU 224 no cuenta con entradas analógicas y salidas analógicas, se requiere de módulos de entradas adicionales, para este caso se seleccionó el módulo de entradas analógicas EM235; a continuación se presentan algunas de las características técnicas de este módulo.

**Figura 101.** Módulo de ampliación EM-235.



Fuente: Fuente: Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 438.

**Tabla 17.** Características técnicas del Módulo EM-235.

Características	EM 235
Referencia	6ES7 235- 0KD22-0XA0
Entradas Análogas	4
Salidas Análogas	1
Dimensiones en mm (L x A x P)	71,2 x 80 x 62
Peso	186 gr
Tensión DC disponible	
(+) 5 V	30 m A
(+) 24 V	60 m A (salida 20 m A)
Bipolar	(-)32000 a (+)32000
Resolución Bipolar	11 bits más 1 bit de signo
Unipolar	0 a 32000
Resolución unipolar	12 bits
Rango de Señales	
Salida de tensión	±10 V
Salida de intensidad	0 a 20 m A
Impedancia de entrada DC	10 MΩ
Atenuación de entrada DC	(-)3 d B a 3,1 kHz
Tensión de entrada máxima	30 V c.c
Intensidad de entrada máxima	32 m A
Aislamiento	ninguno

Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 434.

Dado que en este proyecto sólo se utilizará el modo bipolar, es necesario comprobar que en el módulo EM-235 esté configurado adecuadamente los

switches accesibles en la parte inferior del módulo deben tener la siguiente combinación de valores:

**OFF/OFF/ON/OFF/OFF/OFF** (Sólo el tercer switch activado).

**Tabla 18.** Cuadro de interruptores de configuración del EM-235 para seleccionar el rango de las entradas analógicas y la resolución.

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 m V	12,5 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	0 a 100 m V	25 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	0 a 500 m V	125 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	0 a 1 V	250 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 5 V	1,25 m V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 20 m A	5 $\mu$ A
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0 a 10 V	2,5 m V
Bipolar						Rango máx.	Resolución
Int. 1	Int. 2	Int. 3	Int. 4	Int. 5	Int. 6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	$\pm$ 25 m V	12,5 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	$\pm$ 50 m V	25 $\mu$ V
OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	$\pm$ 100 m V	50 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	$\pm$ 250 m V	125 $\mu$ V
OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	$\pm$ 500 m V	250 $\mu$ V
OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	$\pm$ 1 V	500 $\mu$ V
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	$\pm$ 2,5 V	1,25 m V
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	$\pm$ 5 V	2,5 m V
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	$\pm$ 10 V	5 m V

Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200.

Página 440.

\*El interruptor 1 permite la selección de la polaridad: ON para unipolar, OFF para bipolar. Conexión de la CPU ala red necesaria al conmutar entre formato unipolar y formato bipolar. Los interruptores 3, 5, 7, 9 y 11 permitenseleccionar el margen de tensión.

- Para acceder a las entradas/salidas analógicas, se pueden utilizar los borneros presentes en el entrenador o bien utilizar directamente las regletas de conexiones de los propios autómatas (hileras inferior y superior). La forma de acceder a cada entrada/salida analógicas se muestra en la tabla siguiente:

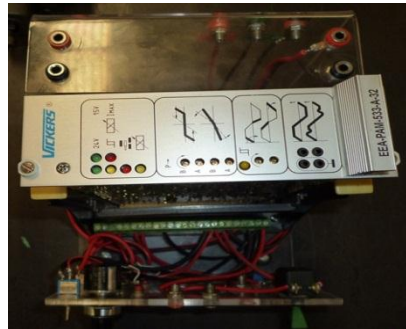
**Tabla 19.** Conectores de entrada/salida analógica de la CPU.

SEÑAL	CONECTORES EN EL ENTRENADOR (+/-)	CONECTORES EN LA REGLETA DEL AUTOMATA (+/-)
Entrada 0	AIW0 + / AIW0 -	A + / A -
Entrada 1	AIW2 + / AIW2 -	B + / B -
Entrada 2	AIW4 + / AIW4 -	C + / C -
Entrada 3	AIW6 + / AIW6 -	D + / D -
Salida	AQW0 + / AQW0 -	V0 / M0

Fuente: Manual SIEMENS SIMATIC del Sistema de Automatización S7-200. Página 440.

## ANEXO F. TARJETA AMPLIFICADORA VICKERS EEA-PAM-533-A-32

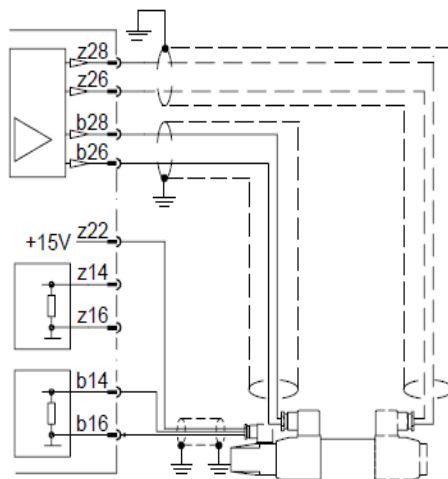
**Figura 102.** Tarjeta Servoamplificadora Vickers EEA-PAM-533-A-32.



Esta tarjeta es utilizada para controlar válvulas direccionales proporcionales operadas directamente o por piloto de solenoide de carrera controlada. Además, la tarjeta permite conectar solenoides de fuerza controlada, haciendo una pequeña variación en su conexión.

**Figura103.** Conexión y panel frontal de la tarjeta servoamplificadora Vickers.

Amplifier Models: 533, 535



Model

523, 525, 533, 535, 561, 568 and 581

LEDs

- [1] 24V supply voltage, green
- [2] 15V control voltage, green
- [3] Solenoid output enabled, yellow
- [4] Solenoid output overload, red
- [5] LVDT failure, red
- [6] Drive to solenoid, yellow

Potentiometers

- [7] Deadband compensation, flow from P to B
- [8] Deadband compensation, flow from P to A
- [9] Gain, flow from P to B
- [10] Gain, flow from P to A

LED

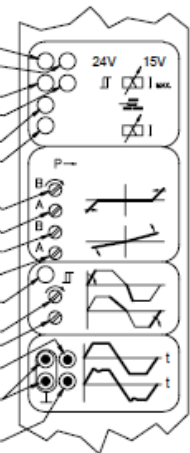
- [11] Ramps enabled, yellow

Potentiometers

- [12] Acceleration ramp
- [13] Deceleration ramp

Monitor points ▲

- [14] Conditioned command signal MP1
- [15] Common ground 0V
- [16] Spool position MP2  
(except for 523/525: solenoid current)



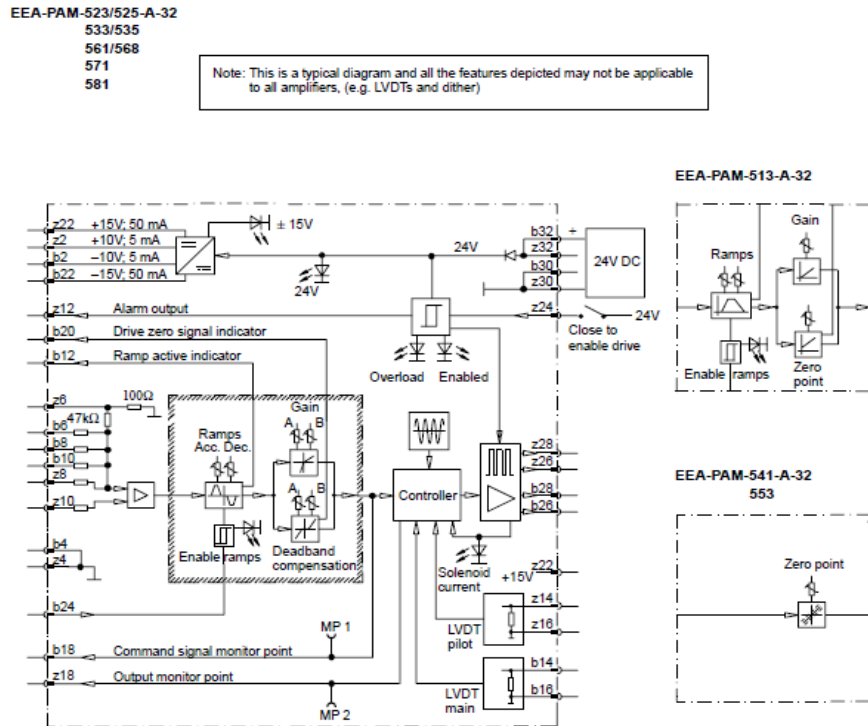
Fuente: VickersAccesoriesPowerAmplifierEEA-PAM-5\*\*-A-32 forProportional Control Valves. Páginas 2 y 6.

## **Circuito interno**

La alimentación principal de 24V se hace por cualquiera de los terminales ZBD32. La referencia de 0V o tierra se realiza conectándola por ZBD30. Los conectores Z2 y B2 corresponden a salidas de Voltajes propias de la tarjeta con valores de +10 y -10V a 5mA. Además de este rango de voltaje, la tarjeta también proporciona un nivel más alto y es el que está disponible en los terminales Z22 y B22 que corresponden a voltajes de +15 y -15V a 50mA. Estos niveles de potencial eléctrico están referenciados a tierra (0V), disponible con los conectores B4 y Z4, y permiten la conexión de un potenciómetro o de interruptores que proporcionan la señal de comando.

Las señales de entrada a la tarjeta se conectan a los puntos B6, B8, B10, Z8, Z10 y Z6. Los cuatro primeros conectores son entradas directas a un amplificador operacional (1) que realiza la tarea de sumador no inversor, pero si se desea tomar el conector Z10 el amplificador operacional trabajará como inversor de voltaje. La entrada Z6 es un puerto para trabajar la tarjeta con señales de corriente cuando el sistema lo requiera.

**Figura124.**Diagrama de bloques de la tarjeta servoamplificadora.



Fuente: VickersAccesoriosPowerAmplifierEEA-PAM-5\*\*-A-32 forProportional Control Valves. Página 3.

La siguiente etapa (2) corresponde al ajuste de la ganancia y por medio de los potenciómetros A y B se ajustan los valores para mejorar la respuesta de la válvula con respecto a la señal de comando, la ganancia A corresponde a la ganancia que afecta el comportamiento de un solenoide proporcional y la ganancia B es la que afecta el comportamiento del otro solenoide.

La señal proveniente de la etapa (2) entra a la etapa de rampa (3). Para activar esta etapa se debe energizar primero el terminal B24 con +24V. Las condiciones de comportamiento con rampa se modifican por medio de los potenciómetros Acc y Dec que corresponden a la rampa en sentido ascendente de la señal de comando y sentido descendente de la misma respectivamente. El terminal B12 facilita la inspección de la activación de la rampa, por medio de un LED que se encuentra en el panel frontal de la tarjeta.

La última etapa de control (4) es la compensación de la banda muerta, la cual se ajusta con los potenciómetros A y B que corresponden a cada uno de los solenoides proporcionales.

La etapa Dither (5) mejora la respuesta del carretel de la válvula proporcional introduciendo altas frecuencias con fines de disminuir el error de histéresis de la válvula. La tarjeta Vickers no presenta la opción de ajuste de la frecuencia de esta vibración.

A continuación se encuentra la etapa de modulación de ancho de pulso (6), que tampoco presenta la opción de ajuste y la etapa de potencia (7) que se encarga de proporcionar la corriente necesaria a los solenoides proporcionales, hay dos etapas de potencia que corresponden a los dos solenoides, una para cada uno. Uno de los solenoides de la válvula debe conectarse a los terminales Z28 y Z26 y el otro solenoide a los terminales B28 y B26.

Los Terminales Z22, B14, B16, Z14, Z16 permiten conectar los sensores de posición de los carretes de la válvula, cuando se trata de solenoides de carrera controlada, para realizar la retroalimentación en la etapa (8). Cuando se conectan solenoides de fuerza controlada (válvulas sin LVDT) a esta tarjeta, es necesario conectar los terminales Z22 y B14 a través de una resistencia de 1,2 K $\Omega$ .

Todas las variables de control pueden ser monitoreadas por medio del conector B18 mientras que la señal del LVDT de la válvula se monitorea desde el Z18.

## ANEXO G. TARJETA SERVOAMPLIFICADORA MOOG

**N121-132A Servocontrolador.**

**N122-142<sup>a</sup> Servoamplificador.**

### Servoamplificador

**Tabla 20.** Datos generales del Servoamplificador.

<b>Ganancia Proporcional</b>	10 a 210 mA/V
<b>Ganancia Integral</b>	10 a 5000 mA/V-s
<b>Ganancia Derivativa</b>	0,01 a 3 mA-s/V
<b>Amplificador de nivel de entrada</b>	≤± 15 Vdc (± 10 Vdc nominal) en el terminal 1,2,6,7
	≤± 120 Vdc en el terminal 3.
<b>Variación de Voltaje a la válvula</b>	≤± 10 Vdc nominal
<b>Variación de corriente a la válvula</b>	± 120 mA dc máxima *
<b>Desviación</b>	≤ 0.15 Mv/ °C with: 100 kΩ entradas, ganancia ≥5 mA/V.
<b>Rango de temperatura</b>	.-20 °C a 50 °C (-4 °F a 122 ° F)
<b>Respuesta a la frecuencia</b>	± 0 db, 45 ° fase de retraso @ 1250 Hz con una carga de 0,4 Henries.
<b>Linealidad</b>	± 3 % escala completa
<b>Relé</b>	consumo: 15 m A @ 24 Vdc

Fuente: Catálogo Moog. Página 1.

\*Dependiente de la resistencia de la bobina de la servoválvula, Rbobina.

$$I_{\text{máx}} = 11 \text{ V} / [(R_{27} + 20) + R_{\text{bobina}}]$$

$$R_{28,29} = 4 \text{ V} / I_{\text{nominal}} \text{ ( Q1, Q2 alimentación)}$$

El complemento de la tarjeta N121-132A contiene un amplificador de DC junto con una fuente de alimentación DC que consiste en un rectificador de CA a CC y un regulador de voltaje. El servoamplificador está diseñado para accionar una servoválvula con corriente continua que tiene una respuesta alta y su desviación es insignificante.

El complemento del servocontrolador N121-132A contiene todas las características del servocontrolador N122-142A, con la adición de una fuente de alimentación incorporada. Es un reemplazo para la 121A132 y 121B132.

El complemento del servoamplificador N122-142A está diseñado para accionar servoválvulas o válvulas proporcionales en los sistemas de lazo abierto o de lazo cerrado. Este proporciona una combinación del control proporcional, integral y derivativo (PID) y requiere una fuente externa de alimentación regulada. La N122-142A es un reemplazo compatible para la 122A142 y 122B142.

**Tabla 21.** Suministro de energía (solo para N121-132A)

<b>Entrada de voltaje:</b>	105 Vac a 130 Vac, 50 Hz a 60 Hz ó
	210 Vac a 250 Vac, 50 Hz a 60 Hz.
<b>Consumo de Energía:</b>	≤ 50 VA
<b>Potencia disponible:</b>	±E : ±550 mA @ ± 15 Vdc regulada.
	±Er : ±100 mA @ ± 10 Vdc regulada.
	±E : ±500 mA @ ± 15 a ± 22 Vdcirregulada.
<b>Regulación:</b>	<b>carga regulada: ± E</b>
	≤ ± 5 mV, 0 a 150 mA.
	<b>carga regulada: ± Er</b>
	≤ ± 50 mV, 0 a carga total.
	<b>regulación de línea</b>
	≤ ± 3 mV, 105 a 130 Vac.
	<b>ondulación</b>
	≤ ± 3 mV pico a pico.
<b>estabilidad de la temperatura</b>	
≤ ± 130 ppm/°C	
<b>Rango de ajuste</b>	+ E (R59) + 14 a + 16 volts
	- E (R60) - 14 a - 16 volts
	+ Er (R61) + 9.5 a + 10.5 volts
	- Er (R62) - 9.5 a - 10.5 volts

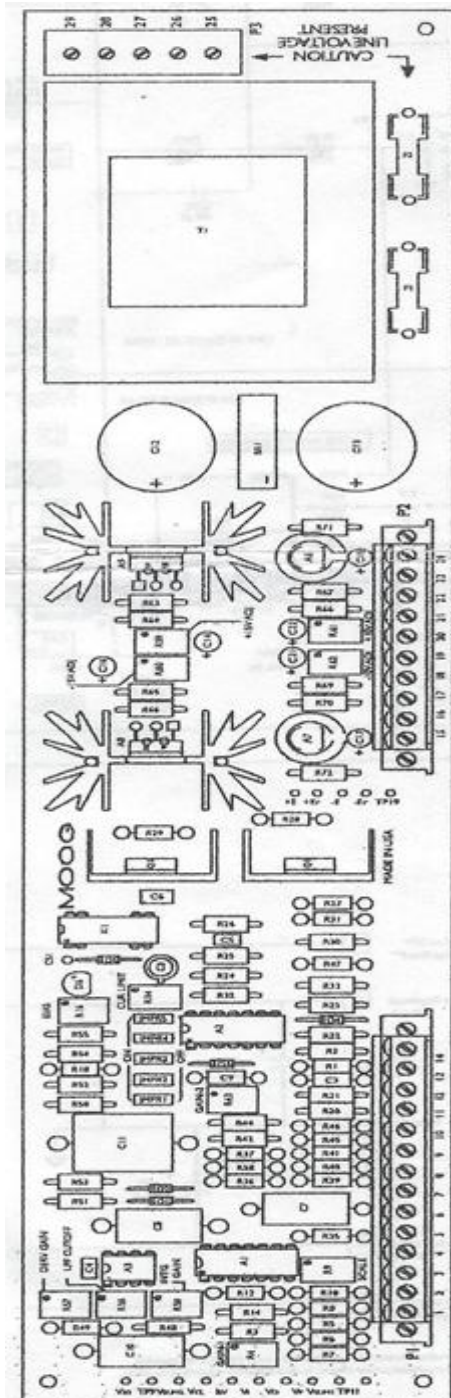
Fuente: Catálogo Moog. Página 1.

**Modelo N122-142A:** 3.25 in x 7.50 in

**Modelo N121-132A:** 3.25 in x 14.00 in

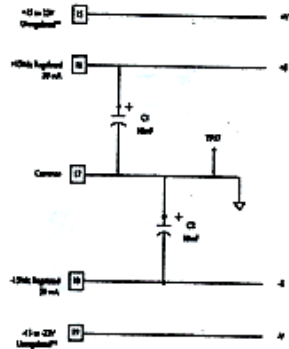
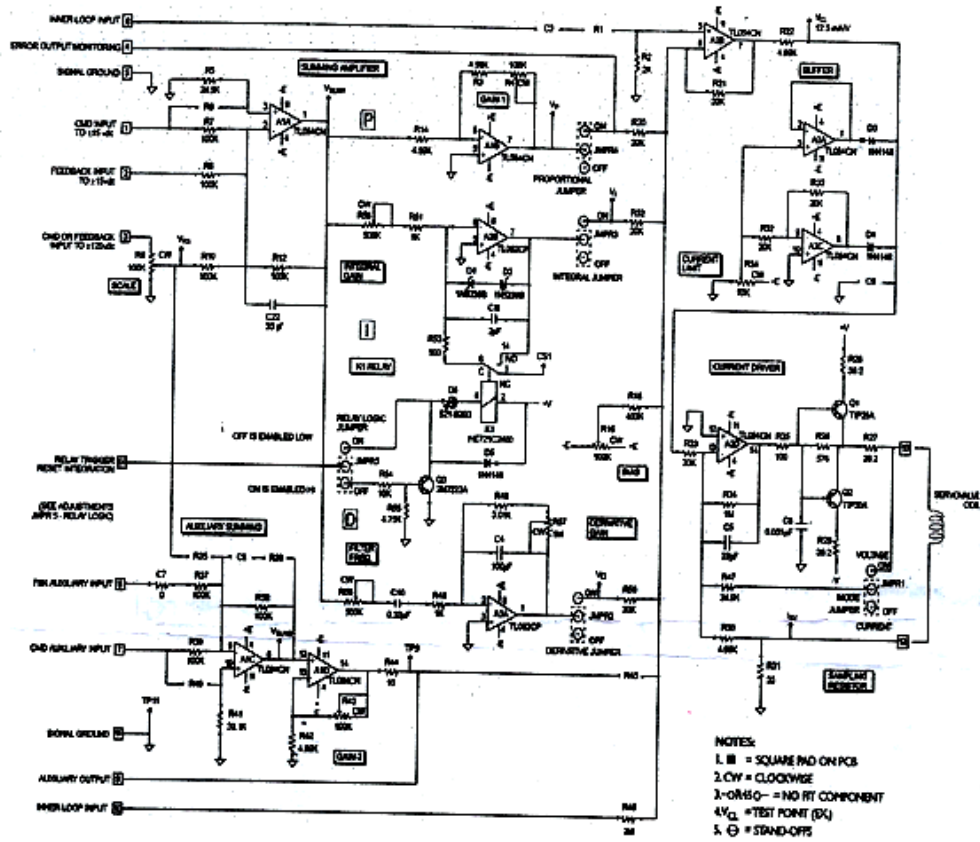
**Altura máxima del componente:** 2.42 in (para ambas)

**Figura 105.** Circuito externo servoamplificadora MOOG.

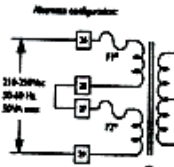
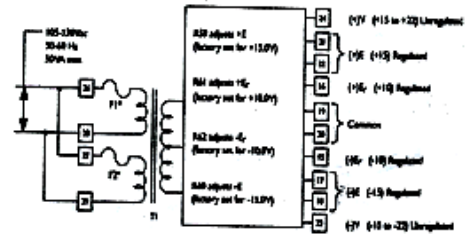


**Fuente:** Catálogo Tarjeta servoamplificadora Moog. Página 1.

Figura 106. Esquema electrónico de la tarjeta servoamplificadora MOOG.



\* @ need refer current. The unregulated primary (250V) can be supplied from the regulated power source (0-250V) if sufficient capacity is available.



\* F1 and F2 are 50A slow-blow type.

Fuente: Catálogo Tarjeta servoamplificadora Moog. Página 2.

## ANEXO H. CÓDIGO DE ARDUINO Y PROCESSING.

### CODIGO ARDUINO

```
/*
*****
* PID Simple Example (Augmented with Processing.org Communication)
* Version 0.3
* by Brett Beauregard
* License: Creative-Commons Attribution Share-Alike
* April 2011
*****/

#include <PID_v1.h>

//Definición de las variables a emplear
double Setpoint, Input, Output;
int inputPin=0, outputPin=2, i=0;
boolean corre = false;
//*****
int repetir = 0; //Activación de las repeticiones (1: repeticiones activas; 0:
repeticiones inactivas)
int nrep = 10; //número de repeticiones.
boolean repf = false; //bandera de estado
unsigned long trep; //conteo de tiempo de las repeticiones
//*****

//Definición de la función encargada del cálculo de la respuesta del PID
(incluye definición de constantes iniciales)
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,0.78,1.25,0.01, DIRECT);
```

```

unsigned long serialTime; //Variable de sincronía de comunicación

void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
  //Inicialización de la comunicación serial
  Serial.begin(9600);

  //inicialización de variables
  Input = analogRead(inputPin);
  Input = map(Input,0,1023,0,4150);//Re-escalado de la entrada a los
valores correspondientes del sensor
  Setpoint = 1000; //Setpoint inicial

  //Activación del PID
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{
  corre = !corre;
  digitalWrite(13, corre);
  //Proceso del PID
  Input = analogRead(inputPin);
  Input = map(Input,0,1023,0,4150);//Re-escalado de la entrada a los valores
correspondientes del sensor
  myPID.Compute();//Cálculo del PID según las variables actuales
  analogWrite(outputPin,Output);//Asignación de la operación PID a la salida
PWM
  delay(25);//retardo del muestreo, relacionado con la frecuencia de
muestreo: F=1/delay(25). 40Hz (aprox.) para este ejemplo.
  //Sincronización de la comunicación con Processing

```

```

if(millis()>serialTime)
{
SerialReceive();
SerialSend();
serialTime+=500;//Casa 500ms se intercambian datos con la interfaz
/* serialTime+=500; */
}
//Esta sección se encarga de realizar las repeticiones, siempre y cuando
se activen
if(repetir == 1 && nrep != 0)
{
if(millis()>trep)
{
trep+=20000;
repf = !repf;
nrep = nrep-1;
}
if(rep)
{
Setpoint = 500;
}
else
{
Setpoint = 3500;
}
}
}

/*****
* Complementos para comunicación serial
*****/

```

```

union {          // Estructuración de datos
  byte asBytes[24]; // enlace entre los bytes y los arreglos
  float asFloat[6]; // enviados desde processing
}              //
foo;          //

```

**// Los bytes provenientes del Arduino vienen así:**

**// 0: 0=Manual, 1=Auto, else = ? error ?**

**// 1: 0=Direct, 1=Reverse, else = ? error ?**

**// 2-5: float setpoint**

**// 6-9: float input**

**// 10-13: float output**

**// 14-17: float P\_Param**

**// 18-21: float I\_Param**

**// 22-245: float D\_Param**

void SerialReceive()

{

**// Lectura de los bytes enviados desde processing**

int index=0;

byte Auto\_Man = -1;

byte Direct\_Reverse = -1;

while(Serial.available() && index < 26)

{

if(index==0) Auto\_Man = Serial.read();

else if(index==1) Direct\_Reverse = Serial.read();

else foo.asBytes[index-2] = Serial.read();

index++;

}

**// Si la información llega de forma correcta**

**// Se asigna al proceso del PID**

```

if(index==26  && (Auto_Man==0 || Auto_Man==1)&& (Direct_Reverse==0 ||
Direct_Reverse==1))
{
Setpoint=double(foo.asFloat[0]);
  if(Auto_Man==0          //
{          //
  Output=double(foo.asFloat[2]);  //
}          //

double p, i, d;          //
  p = double(foo.asFloat[3]);    //
  i = double(foo.asFloat[4]);    //
  d = double(foo.asFloat[5]);    //
  myPID.SetTunings(p, i, d);    //

  if(Auto_Man==0) myPID.SetMode(MANUAL);//
  else myPID.SetMode(AUTOMATIC);    //

  if(Direct_Reverse==0) myPID.SetControllerDirection(DIRECT);//
else myPID.SetControllerDirection(REVERSE);    //
}
  Serial.flush();          //Limpia el buffer de datos.
}
//*****
//Envió de datos hacia Processing
void SerialSend()
{
Serial.print("PID ");
  Serial.print(Setpoint);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(Input);
  Serial.print(" ");
}

```

```
Serial.print(Output);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(myPID.GetKp());  
Serial.print(" ");  
Serial.print(myPID.GetKi());  
Serial.print(" ");  
Serial.print(myPID.GetKd());  
Serial.print(" ");  
if(myPID.GetMode()==AUTOMATIC) Serial.print("Automatic");  
else Serial.print("Manual");  
Serial.print(" ");  
if(myPID.GetDirection()==DIRECT) Serial.println("Direct");  
else Serial.println("Reverse");  
}
```

## CODIGO PROCESING

```
/******  
* Arduino PID Tuning Front-End, Version 0.3  
* by Brett Beauregard  
* License: Creative-Commons Attribution Share-Alike  
* April 2011  
*  
* This application is designed to interface with an  
* arduino running the PID Library. From this Control  
* Panel you can observe & adjust PID performance in  
* real time  
*  
* The ControlP5 library is required to run this sketch.  
* files and install instructions can be found at  
* http://www.sojamo.de/libraries/controlP5/  
*  
*****/  
  
import java.nio.ByteBuffer;  
import processing.serial.*;  
import controlP5.*;  
  
/******  
* Especificaciones de usuario  
*****/  
  
int windowHeight = 800; // Ancho de ventana en pixeles  
int windowHeight = 600; // Alto de ventana en pixeles  
  
float InScaleMin = 0; // Valor mínimo en Y  
float InScaleMax = 4000; // valor máximo en Y  
float OutScaleMin = 0; // Valor mínimo Salida del microcontrolador
```

```

float OutScaleMax = 255; // Valor máximo Salida del microcontrolador

int windowSpan = 20000; // Tamaño del histórico en milisegundos
int refreshRate = 50; // Rata de refresco de pantalla

//float displayFactor = 1; //mostrar tiempo como milisegundos
float displayFactor = 1000; //mostrar tiempo como segundos
//float displayFactor = 60000; //mostrar tiempo como minutos

String outputFileName = "datos.txt"; // Nombre del archivo de
almacenamiento de datos

/*****
*****/

int nextRefresh;
int arrayLength = windowSpan / refreshRate+1;
int[] InputData = new int[arrayLength];
int[] SetpointData = new int[arrayLength];
int[] OutputData = new int[arrayLength];

float inputTop = 25;
float inputHeight = (windowHeight-70)*2/3;
float outputTop = inputHeight+50;
float outputHeight = (windowHeight-70)*1/3;

float ioLeft = 150, ioWidth = windowHeight-ioLeft-50;
float ioRight = ioLeft+ioWidth;
float pointWidth= (ioWidth)/float(arrayLength-1);

int vertCount = 10;

```

```

int nPoints = 0;

float Input, Setpoint, Output;

boolean madeContact =false;
boolean justSent = true;

Serial myPort;

ControlP5 controlP5;
controlP5.Button AMButton, DRButton;
controlP5.Textlabel AMLabel, AMCurrent, InLabel,
OutLabel, SPLabel, PLabel,
ILabel, DLabel,DRLabel, DRCurrent;
controlP5.Textfield SPField, InField, OutField,
PField, IField, DField;

PrintWriter output;
PFont AxisFont, TitleFont;

void setup()
{
  frameRate(30);
  size(windowWidth , windowHeight);

  println(Serial.list());                                // * Inicialización de la
  myPort = new Serial(this, Serial.list()[1], 9600);      // Comunicación
con
  myPort.bufferUntil(10);                                // Arduino

```

```

controlP5 = new ControlP5(this); // * Configuración de
campos de texto
SPField= controlP5.addTextfield("Setpoint",10,100,60,20); // Botones e
identificadoresButtons
InField = controlP5.addTextfield("Input",10,150,60,20); //
OutField = controlP5.addTextfield("Output",10,200,60,20); //
PField = controlP5.addTextfield("Kp (Proportional)",10,275,60,20); //
IField = controlP5.addTextfield("Ki (Integral)",10,325,60,20); //
DField = controlP5.addTextfield("Kd (Derivative)",10,375,60,20); //
AMButton = controlP5.addButton("Toggle_AM",0.0,10,50,60,20); //
AMLabel = controlP5.addTextlabel("AM", "Manual",12,72); //
AMCurrent = controlP5.addTextlabel("AMCurrent", "Manual",80,65); //
controlP5.addButton("Send_To_Arduino",0.0,10,475,120,20); //
SPLabel=controlP5.addTextlabel("SP", "3",80,103); //
InLabel=controlP5.addTextlabel("In", "1",80,153); //
OutLabel=controlP5.addTextlabel("Out", "2",80,203); //
PLabel=controlP5.addTextlabel("P", "4",80,278); //
ILabel=controlP5.addTextlabel("I", "5",80,328); //
DLabel=controlP5.addTextlabel("D", "6",80,378); //
DRButton = controlP5.addButton("Toggle_DR",0.0,10,425,60,20); //
DRLabel = controlP5.addTextlabel("DR", "Direct",12,447); //
DRCurrent = controlP5.addTextlabel("DRCurrent", "Direct",80,440); //

AxisFont = loadFont("axis.vlw");
TitleFont = loadFont("Titles.vlw");

nextRefresh=millis();
//if (outputFileName!="") output = createWriter(outputFileName);
output = createWriter(outputFileName);
}

void draw()

```

```

{
  background(200);
  drawGraph();
  drawButtonArea();
}

void drawGraph()
{
  //Base líneas divisorias (malla inferior)
  stroke(0);
  fill(230);
  rect(ioLeft, inputTop,ioWidth-1 , inputHeight);
  rect(ioLeft, outputTop, ioWidth-1, outputHeight);
  stroke(210);

  //Títulos
  textFont(TitleFont);
  fill(255);
  text("PID Input / Setpoint", (int)ioLeft+10, (int)inputTop-5);
  text("PID Output", (int)ioLeft+10, (int)outputTop-5);

  //Malla y títulos
  textFont(AxisFont);

  //Malla horizontal
  int interval = (int)inputHeight/5;
  for(int i=0;i<6;i++)
  {
    if(i>0&& i<5) line(ioLeft+1, inputTop+i*interval, ioRight-2, inputTop+i*interval);
    text(str((lnScaleMax-lnScaleMin)/5*(float)(5-
i)+lnScaleMin), ioRight+5, inputTop+i*interval+4);
  }
}

```

```

}
interval = (int)outputHeight/5;
  for(int i=0;i<6;i++)
  {
if(i>0&& i<5) line(ioLeft+1,outputTop+i*interval,ioRight-2,outputTop+i*interval);
    text(str((OutScaleMax-OutScaleMin)/5*(float)(5-
i)+OutScaleMin),ioRight+5,outputTop+i*interval+4);
  }

```

### **//Líneas de malla vertical y pasos de tiempo**

```

int elapsedTime = millis();
  interval = (int)ioWidth/vertCount;
  int shift = elapsedTime*(int)ioWidth / windowSpan;
  shift %=interval;

  int iTimeInterval = windowSpan/vertCount;
  float          firstDisplay          =
(float)(iTimeInterval*(elapsedTime/iTimeInterval))/displayFactor;
  float timeInterval = (float)(iTimeInterval)/displayFactor;
  for(int i=0;i<vertCount;i++)
  {
int x = (int)ioRight-shift-2-i*interval;

    line(x,inputTop+1,x,inputTop+inputHeight-1);
    line(x,outputTop+1,x,outputTop+outputHeight-1);

    float t = firstDisplay-(float)i*timeInterval;
    if(t>=0) text(str(t),x,outputTop+outputHeight+10);
  }
  if(millis() > nextRefresh && madeContact)
  {
nextRefresh += refreshRate;

```

```

    for(int i=nPoints-1;i>0;i--)
    {
    InputData[i]=InputData[i-1];
        SetpointData[i]=SetpointData[i-1];
    OutputData[i]=OutputData[i-1];
    }
    if (nPoints < arrayLength) nPoints++;

    InputData[0]          =          int(inputHeight)-int(inputHeight*(Input-
    InScaleMin)/(InScaleMax-InScaleMin));
    SetpointData[0]       =int(          inputHeight)-int(inputHeight*(Setpoint-
    InScaleMin)/(InScaleMax-InScaleMin));
    OutputData[0]         =          int(outputHeight)-int(outputHeight*(Output-
    OutScaleMin)/(OutScaleMax-OutScaleMin));
    }
    //Dibuja la gráfica para la entrada, salida y setpoint
    strokeWeight(2);
    for(int i=0; i<nPoints-2; i++)
    {
    int X1 = int(ioRight-2-float(i)*pointWidth);
        int X2 = int(ioRight-2-float(i+1)*pointWidth);
        boolean y1Above, y1Below, y2Above, y2Below;

//Traza la entrada
    booleandrawLine=true;
    stroke(255,0,0);
        int Y1 = InputData[i];
        int Y2 = InputData[i+1];

        y1Above = (Y1>inputHeight);          //
        y1Below = (Y1<0);                    //

```

```

    y2Above = (Y2>inputHeight);          //
y2Below = (Y2<0);                        //
    if(y1Above)                          //
    {                                     //
if(y2Above) drawLine=false;             //
        else if(y2Below) {              //
            Y1 = (int)inputHeight;      //
            Y2 = 0;                      //
        }                                //
        else Y1 = (int)inputHeight;     //
    }                                     //
else if(y1Below)                         //
    {                                     //
if(y2Below) drawLine=false;             //
        else if(y2Above) {              //
            Y1 = 0;                      //
            Y2 = (int)inputHeight;      //
        }                                //
        else Y1 = 0;                    //
    }                                     //
else                                     //
    {                                     //
if(y2Below) Y2 = 0;                      //
        else if(y2Above) Y2 = (int)inputHeight; //
    }                                     //

    if(drawLine)
    {
line(X1,Y1+inputTop, X2, Y2+inputTop);
    }

```

**//Trazado del Setpoint**

```

drawLine=true;
stroke(0,255,0);
Y1 = SetpointData[i];
Y2 = SetpointData[i+1];

y1Above = (Y1>(int)inputHeight);      //
y1Below = (Y1<0);                      //
y2Above = (Y2>(int)inputHeight);      //
y2Below = (Y2<0);                      //
if(y1Above)                             //
{                                         //
if(y2Above) drawLine=false;             //
else if(y2Below) {                      //
Y1 = (int)(inputHeight);                //
Y2 = 0;                                  //
}                                         //
else Y1 = (int)(inputHeight);           //
}                                         //
else if(y1Below)                         //
{                                         //
if(y2Below) drawLine=false;             //
else if(y2Above) {                      //
Y1 = 0;                                  //
Y2 = (int)(inputHeight);                //
}                                         //
else Y1 = 0;                             //
}                                         //
else                                     //
{                                         //
if(y2Below) Y2 = 0;                      //
else if(y2Above) Y2 = (int)(inputHeight); //
}                                         //
}

```

```

    if(drawLine)
    {
line(X1, Y1+inputTop, X2, Y2+inputTop);
    }

```

**//Traza la Salida**

```

drawLine=true;
stroke(0,0,255);
Y1 = OutputData[i];
Y2 = OutputData[i+1];

y1Above = (Y1>outputHeight);           //
y1Below = (Y1<0);                       //
y2Above = (Y2>outputHeight);           //
y2Below = (Y2<0);                       //
if(y1Above)                             //
{                                         //
if(y2Above) drawLine=false;             //
else if(y2Below) {                       //
Y1 = (int)outputHeight;                 //
Y2 = 0;                                 //
}                                         //
else Y1 = (int)outputHeight;            //
}                                         //
else if(y1Below)                         //
{                                         //
if(y2Below) drawLine=false;             //
else if(y2Above) {                       //
Y1 = 0;                                 //
Y2 = (int)outputHeight;                 //
}                                         //
}

```

```

        else Y1 = 0;                //
    }                               //
else                               //
{                                   //
if(y2Below) Y2 = 0;                //
    else if(y2Above) Y2 = (int)outputHeight; //
}                                   //

```

```

    if(drawLine)
    {
line(X1, outputTop + Y1, X2, outputTop + Y2);
    }
}
strokeWeight(1);
}

```

```

void drawButtonArea()
{
stroke(0);
fill(100);
rect(0, 0, ioLeft, windowHeight);
}

```

```

void Toggle_AM() {
    if(AMLabel.valueLabel().getText()=="Manual")
    {
        AMLabel.setValue("Automatic");
    }
    else
    {
        AMLabel.setValue("Manual");
    }
}

```

```

}

void Toggle_DR() {
  if(DRLabel.valueLabel().getText()=="Direct")
  {
    DRLabel.setValue("Reverse");
  }
  else
  {
    DRLabel.setValue("Direct");
  }
}
}

```

**// Envió de datos (en coma flotante a Arduino)**

// - Toma 6 'floats\*' en un arreglo compuesto por estos 6 'floats'

// - Usar JAVA para pasar el arreglo anterior a un arreglo de 24 bytes

**// - Envió de dichos bytes al Arduino**

```

void Send_To_Arduino()
{
float[] toSend = new float[6];

  toSend[0] = float(SPField.getText());
  toSend[1] = float(InField.getText());
  toSend[2] = float(OutField.getText());
  toSend[3] = float(PField.getText());
  toSend[4] = float(IField.getText());
  toSend[5] = float(DField.getText());

  Byte a = (AMLabel.valueLabel().getText()=="Manual")?(byte)0:(byte)1;
  Byte d = (DRLabel.valueLabel().getText()=="Direct")?(byte)0:(byte)1;
myPort.write(a);
myPort.write(d);
  myPort.write(floatArrayToByteArray(toSend));
}

```

```

    justSent=true;
}

byte[] floatArrayToByteArray(float[] input)
{
    int len = 4*input.length;
    int index=0;
    byte[] b = new byte[4];
    byte[] out = new byte[len];
    ByteBuffer buf = ByteBuffer.wrap(b);
    for(int i=0;i<input.length;i++)
    {
        buf.position(0);
        buf.putFloat(input[i]);
        for(int j=0;j<4;j++) out[j+i*4]=b[3-j];
    }
    return out;
}

```

**//tomar el arreglo proveniente desde Arduino y particional**

```

void serialEvent(Serial myPort)
{
    String read = myPort.readStringUntil(10);
    output.print(str(millis())+ " " +read);
    //*****
    output.flush(); // Escribe el resto de datos en memoria a el archivo de salida
    //*****
    String[] s = split(read, " ");

    if (s.length ==9)
    {

```

```

Setpoint = float(s[1]);      // * Extracción de la información
Input = float(s[2]);        // Proveniente del Arduino
Output = float(s[3]);       // particionando el arreglo entrante
SPLabel.setValue(s[1]);     //
InLabel.setValue(s[2]);     //
OutLabel.setValue(trim(s[3])); //
PLabel.setValue(trim(s[4])); //
ILabel.setValue(trim(s[5])); //
DLabel.setValue(trim(s[6])); //
AMCurrent.setValue(trim(s[7])); //
DRCurrent.setValue(trim(s[8]));

if(justSent)                //
{                             //
SPField.setText(trim(s[1])); //
    InField.setText(trim(s[2])); //
    OutField.setText(trim(s[3])); //
    PField.setText(trim(s[4])); //
    IField.setText(trim(s[5])); //
    DField.setText(trim(s[6])); //
    // mode = trim(s[7]);        //
    AMLabel.setValue(trim(s[7])); //
    //dr = trim(s[8]);          //
    DRCurrent.setValue(trim(s[8])); //
    justSent=false;           //
}                             //

if(!madeContact) madeContact=true;
}
}

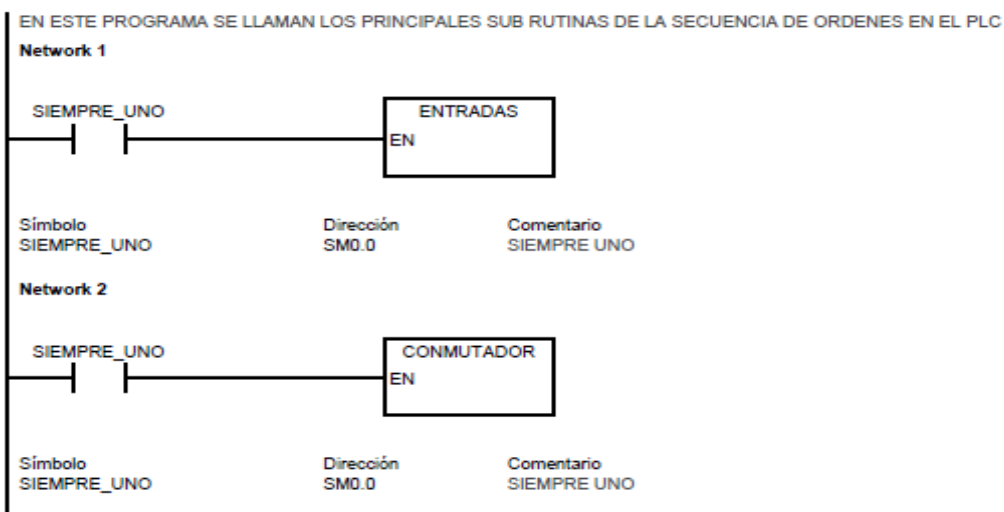
```

# ANEXO I. CÓDIGO DEL PLC

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PRINCIPAL (OB1)

Bloque: PRINCIPAL  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.10.2012 11:14:58  
 Fecha de modificación: 07.05.2013 15:00:21

Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		

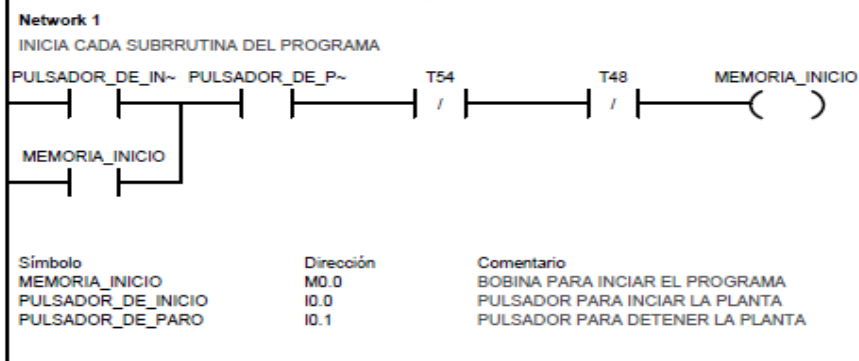


SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)

Bloque: ENTRADAS  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.10.2012 11:14:58  
 Fecha de modificación: 30.04.2013 9:14:21

Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
EN	IN	BOOL	
	IN		
	IN_OUT		
	OUT		
L00 RADIO_NEG	TEMP	REAL	RADIO NEGATIVO
	TEMP		

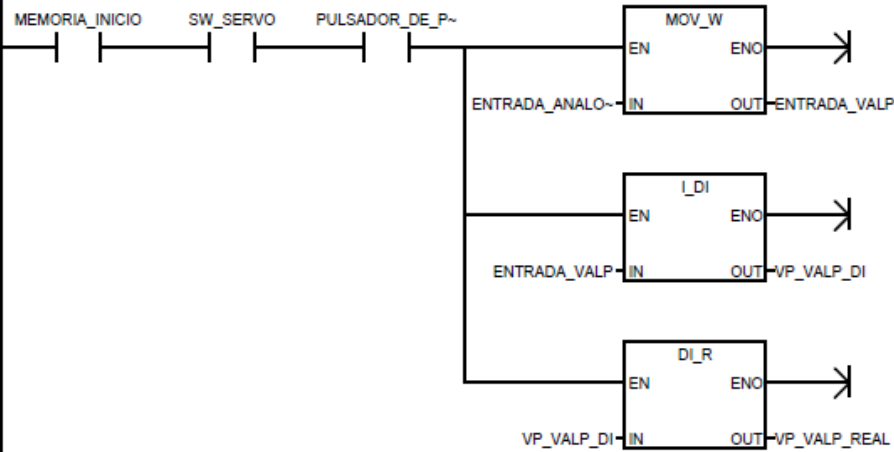
SE DA INICIO A LAS SUBRUTINAS SELECCIONADAS EN LAS ENTRADAS, TAMBIEN SE TRANSFIEREN O SE RECIBEN LOS VALORES DE LAS SUBRUTINAS QUE SE DESEAN TRABAJAR.



SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)

**Network 2**

TRASLADA ENTRADA ANALOGICA DE LA VALVULA PROPORCIONAL QUE SE DIRIGE AL PID 0, TAMBIEN LA CONVIERTE UN TIPO DE DATOS REALES PARA PODERLA LEER MEJOR EN OPC PARA ADQUISICIÓN DE DATOS.

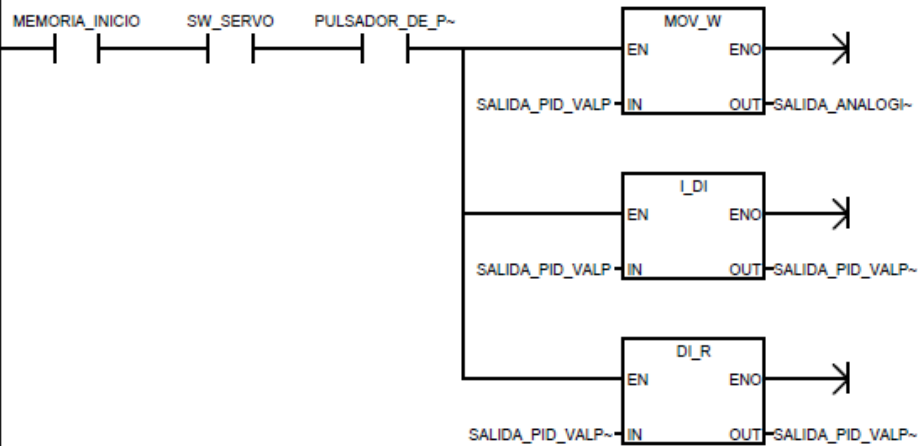


Símbolo	Dirección	Comentario
ENTRADA_ANALOGICA_VALVP	AIW0	ENTRADA DEL SENSOR
ENTRADA_VALP	VW10	VALOR DEL PROCESO VALVP
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION
VP_VALP_DI	VD70	VALOR DEL PROCESO VALP DI
VP_VALP_REAL	VD74	VALOR DEL PROCESO VALP REAL

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)

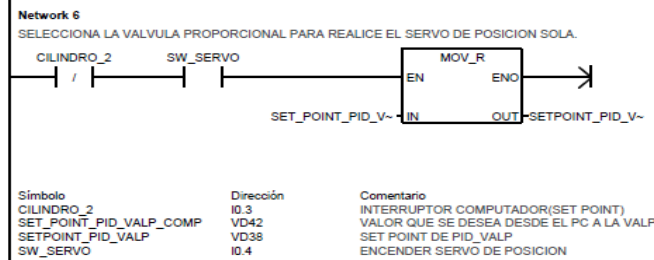
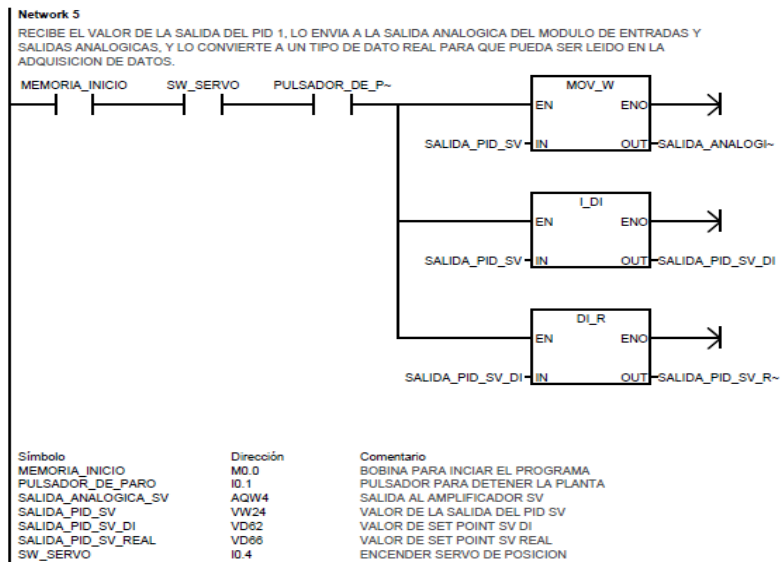
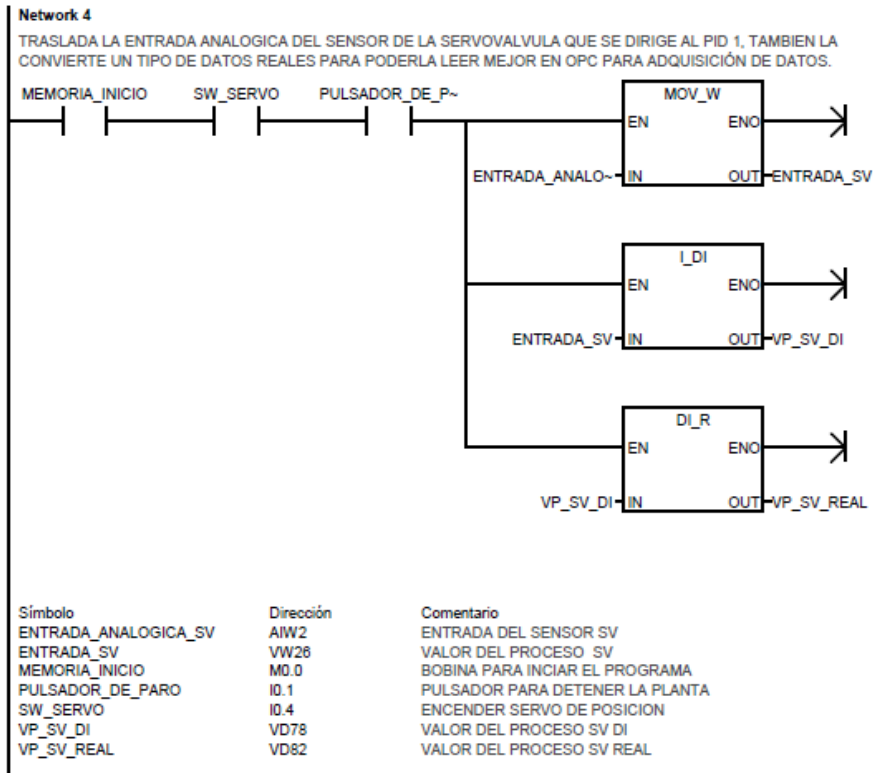
**Network 3**

RECIBE EL VALOR DE LA SALIDA DEL PID 0 , LO ENVIA A LA SALIDA DEL MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALOGICAS, Y LO CONVIERTE A UN TIPO DE DATO REAL PARA QUE PUEDA SER LEIDO POR LA OPC EN LA ADQUISICION DE DATOS.



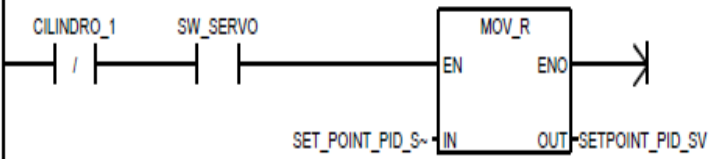
Símbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SALIDA_ANALOGICA_VALVP	AQW0	SALIDA AL AMPLIF VALP
SALIDA_PID_VALP	VW12	VALOR DE LA SALIDA DEL PID VALP
SALIDA_PID_VALP_DI	VD54	VALOR DE SET POINT VALP DI
SALIDA_PID_VALP_REAL	VD58	VALOR DE SET POINT VALP REAL
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)



**Network 7**

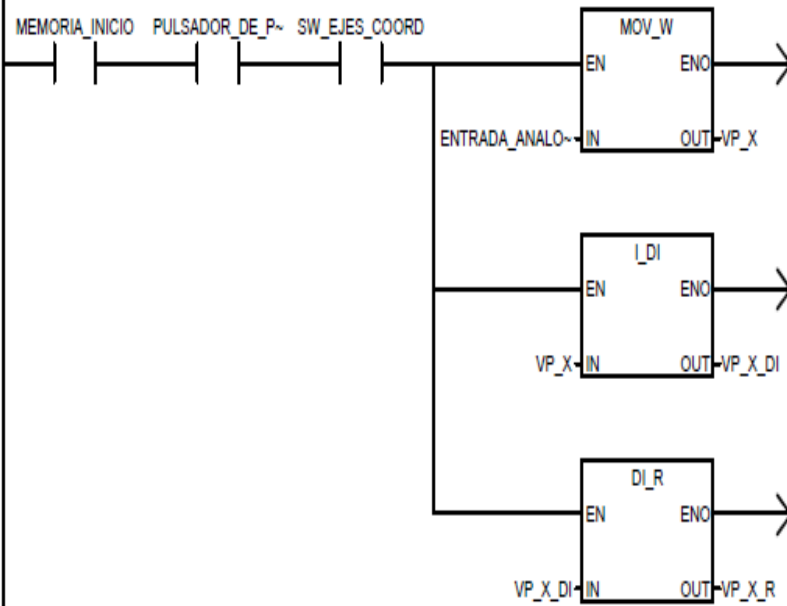
SELECCIONA LA SERVOVALVULA PARA REALICE EL SERVO DE POSICION SOLA.



Símbolo	Dirección	Comentario
CILINDRO_1	I0.2	INTERRUPTOR POTENCIOMETRO(SET POINT)
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD50	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV
SETPOINT_PID_SV	VD48	SET POINT DE PID_SV
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION

**Network 8**

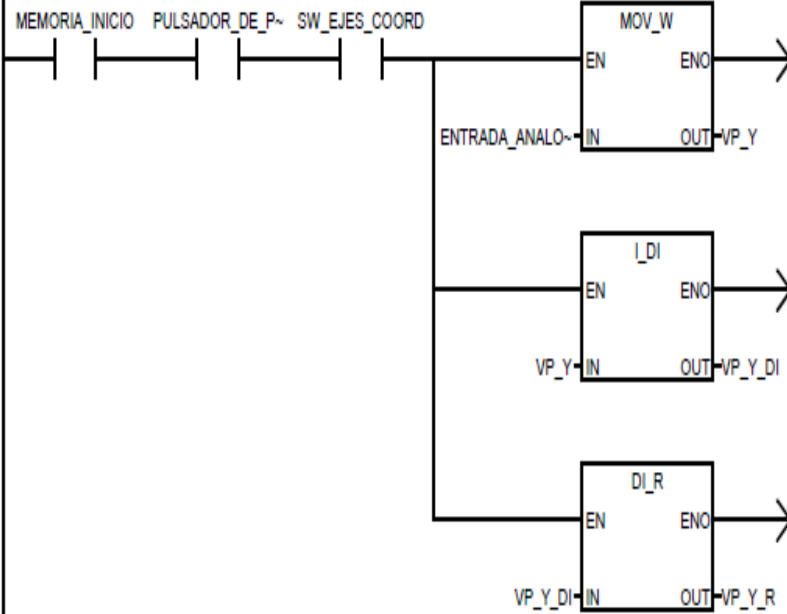
RECIBE EL VALOR DEL PROCESO PARA EL EJE COORDENADA X (SERVOVALVULA), Y LO CONVIERTE A REAL PARA QUE SE PUEDA LEER EN LA ADQUISICION DE DATOS.



Símbolo	Dirección	Comentario
ENTRADA_ANALOGICA_SV	AIW2	ENTRADA DEL SENSOR SV
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
VP_X	VW98	VALOR DEL PROCESO EN EL EJE X
VP_X_DI	VD122	VALOR DEL PROCESO EN X EN DI
VP_X_R	VD128	VALOR DEL PROCESO EN X REAL

**Network 9**

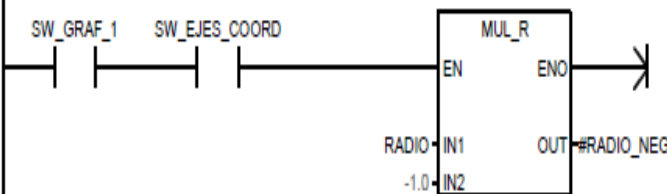
RECIBE EL VALOR DEL PROCESO PARA EL EJE COORDENADA Y (VALVULA PROPORCIONAL), Y LO CONVIERTE A REAL PARA QUE SE PUEDA LEER EN LA ADQUISICION DE DATOS.



Símbolo	Dirección	Comentario
ENTRADA_ANALOGICA_VALVP	AIW0	ENTRADA DEL SENSOR
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
VP_Y	VW114	VALOR DEL PROCESO EN EL EJE Y
VP_Y_DI	VD130	VALOR DEL PROCESO EN Y EN DI
VP_Y_R	VD134	VALOR DEL PROCESO EN Y REAL

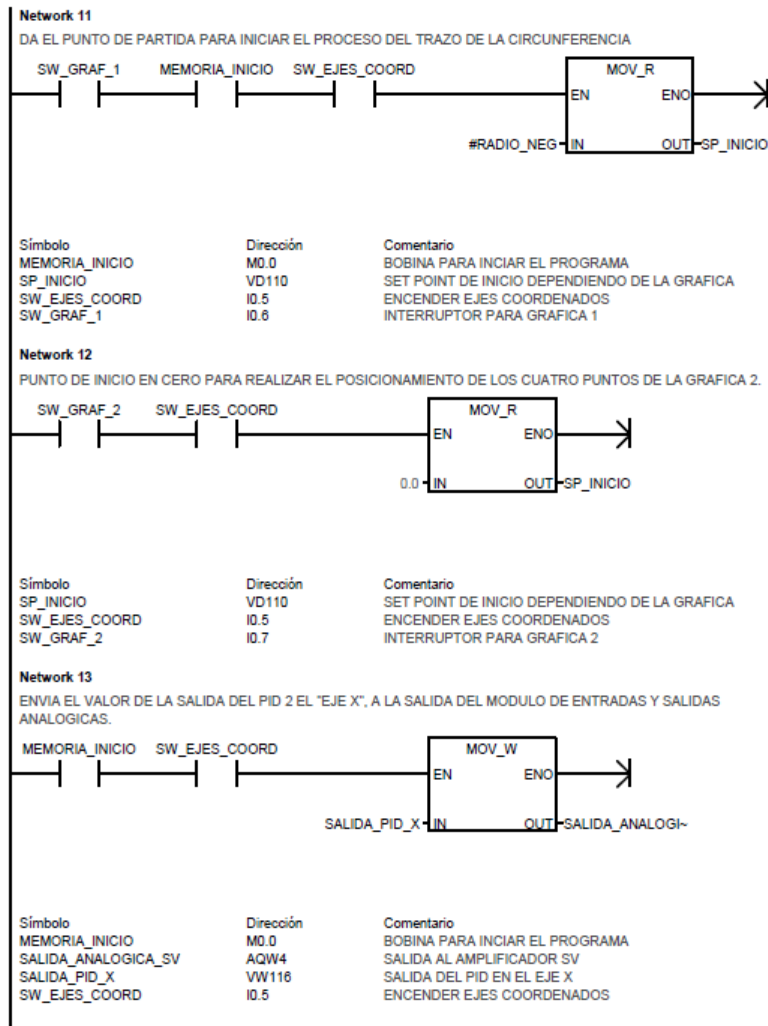
**Network 10**

CONVIERT EL VALOR DEL RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA DE LA GRAFICA 1, PARA INICIAR EL PROCESO EN EL MENOR VALOR.

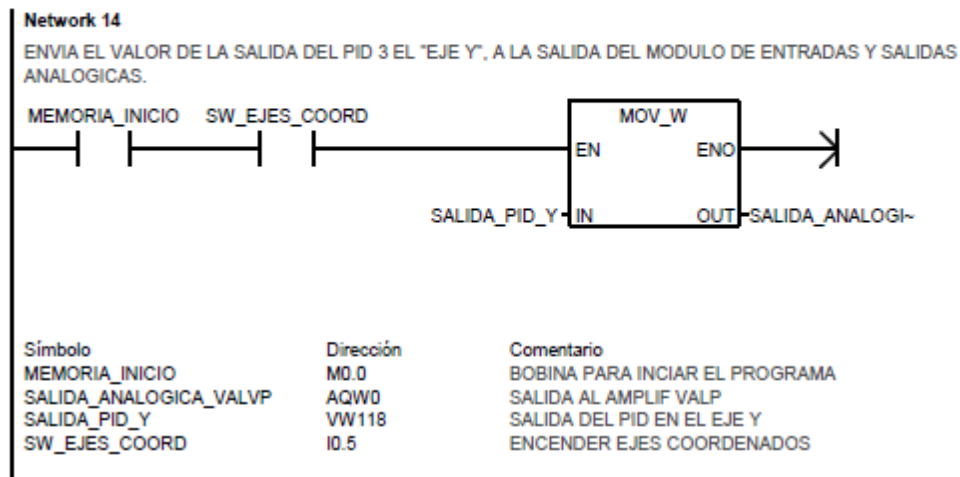


Símbolo	Dirección	Comentario
RADIO	VD170	VALOR DEL RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)



SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / ENTRADAS (SBR0)



SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / CONMUTADOR (SBR1)

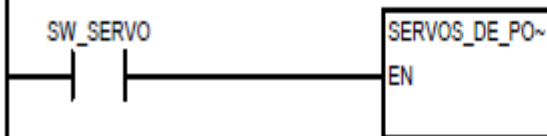
Bloque: CONMUTADOR  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.10.2012 11:23:22  
 Fecha de modificación: 16.04.2013 20:05:49

Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
EN	IN	BOOL	
	IN		
	IN_OUT		
	OUT		
	TEMP		

SELECCIONA LA SUBRUTINA QUE SE DESEA REALIZAR CON LAS ENTRADAS DIGITALES DEL PLC, TAMBIEN ENCIENDE LAS LUCES QUE INFORMAN QUE SUBRUTINA ESTA EN FUNCIONAMIENTO EN LAS SALIDAS DIGITALES DEL PLC

**Network 1**

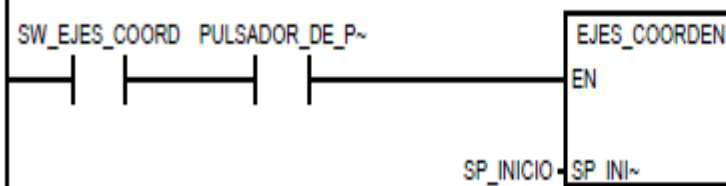
SUBRUTINA DEL SERVO DE POSICION, SEA OFF-SET O REPETIBILIDAD.



Símbolo	Dirección	Comentario
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION

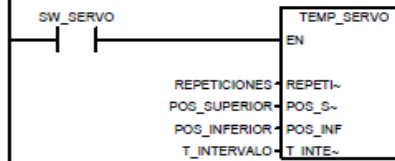
**Network 2**

SELECCIONA LA SUBRRUTINA DE EJES CORDENADOS EN LA CUAL INCLUYE LOS DOS GRAFICOS



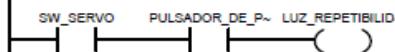
Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SP_INICIO	VD110	SET POINT DE INICIO DEPENDIENDO DE LA GRAFICA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS

**Network 3**  
 ACTIVA LA SUBROUTINA QUE REALIZA LAS TEMPORIZACIONES POR IMPULSOS, PARA PODER REALIZAR LA REPETIBILIDAD.



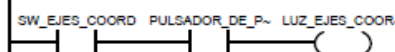
Símbolo	Dirección	Comentario
POS_INFERIOR	VD92	POSICION INFERIOR
POS_SUPERIOR	VD88	POSICION SUPERIOR
REPETICIONES	VW86	CANTIDAD DE REPETICIONES EN LOS CILINDROS
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION
T_INTERVALO	VW96	TIEMPO SE DEBE MULTIPLICAR EN 100ms

**Network 4**  
 SALIDA DIGITAL QUE INDICA EL FUNCIONAMIENTO DEL SERVO DE POSICION



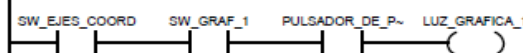
Símbolo	Dirección	Comentario
LUZ_REPETIBILIDAD	Q0.0	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN REPETIBILIDAD
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION

**Network 5**  
 SALIDA DIGITAL QUE INDICA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS EJES COORDENADOS



Símbolo	Dirección	Comentario
LUZ_EJES_COORDENADOS	Q0.1	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN EJES COORDENADOS
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS

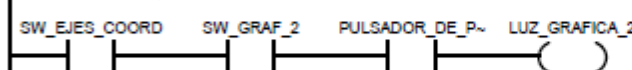
**Network 6**  
 SALIDA DIGITAL QUE INDICA EL FUNCIONAMIENTO DE LA GRAFICA 1 CIRCUNFERENCIA



Símbolo	Dirección	Comentario
LUZ_GRAFICA_1	Q0.2	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROG EN EJES COORDENADOS GRAFICA 1
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / CONMUTADOR (SBR1)

**Network 7**  
 SALIDA DIGITAL QUE INDICA EL FUNCIONAMIENTO DE LA GRAFICA 2 4 PUNTOS DE EJES COORDENADOS

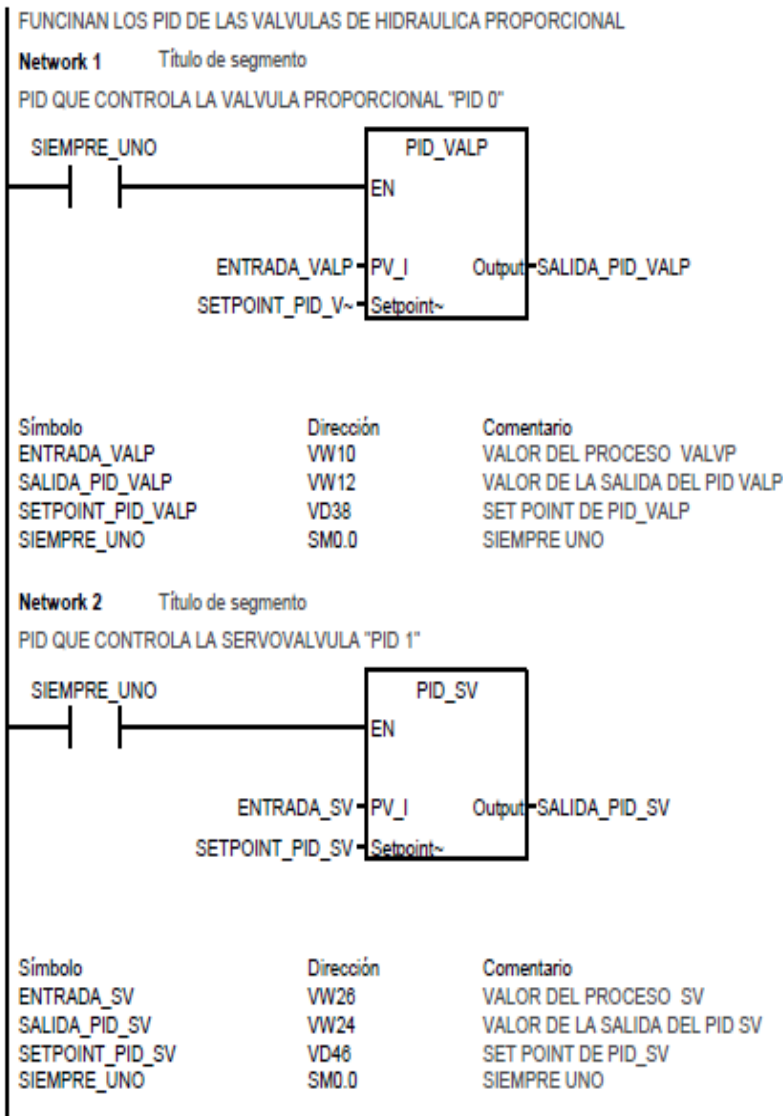


Símbolo	Dirección	Comentario
LUZ_GRAFICA_2	Q0.3	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROG EN EJES COORDENADOS GRAFICA 2
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
SW_GRAF_2	I0.7	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 2

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / SERVO\_DE\_POSICION (SBR4)

Bloque: SERVO\_DE\_POSICION  
 Autor:  
 Fecha de creación: 11.10.2012 18:13:44  
 Fecha de modificación: 18.04.2013 19:59:57

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
		IN		
		IN_OUT		
		OUT		
LD0	POT_CERO_POR_M	TEMP	REAL	PENDIENTE POR SEÑAL EN VALP
LD4	POT_UNO_POR_M	TEMP	REAL	PENDIENTE POR LA SEÑAL EN SV
		TEMP		



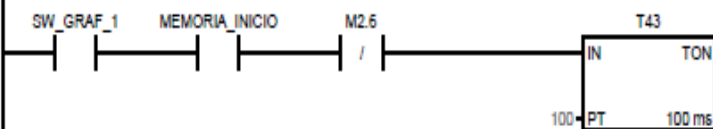
Bloque: EJES\_COORDEN  
 Autor:  
 Fecha de creación: 12.10.2012 8:02:58  
 Fecha de modificación: 07.05.2013 15:00:21

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LD0	SP_INICIAL	IN	REAL	VALOR INICIAL EN EL SP X
		IN		
		IN		
		IN_OUT		
		OUT		
LD4	SP_MAS_DX	TEMP	REAL	
LD8	SP_Y_GRAF_1	TEMP	REAL	SP EN Y DE LA GRAFICA LINEAL O GRAFICA 1
LD12	SP_Y_GRAF_2	TEMP	REAL	SP EN Y DE LA GRAFICA 2
LD16	SP_X_GRAF_2	TEMP	REAL	SP EN X DE LA GRAFICA 2
LD20	SP_MENOS_DX	TEMP	REAL	
LD24	RADIO_NEG	TEMP	REAL	RADIO NEGATIVO
LD28	RADIO_MENOR	TEMP	REAL	RADIO MENOS 50
		TEMP		

CON ESTA SUBROUTINA SE SELECCIONA LA GRAFICA QUE SE DESEA REALIZAR EN LA PRACTICA DE EJES COORDENADOS

**Network 1** Título de segmento

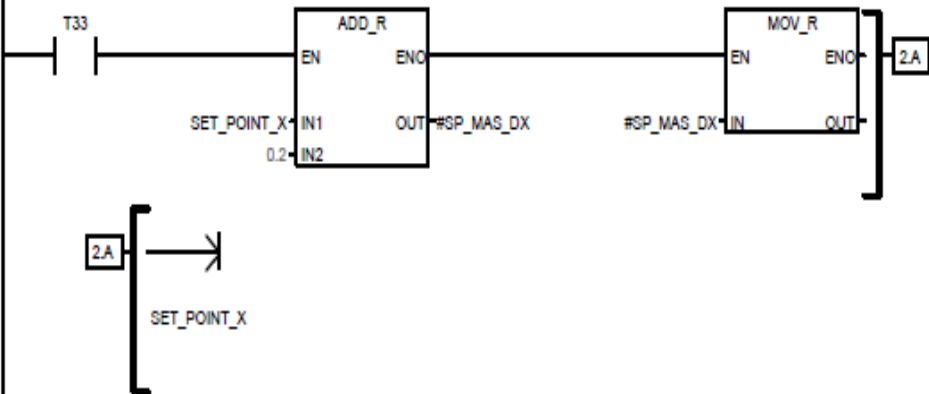
TEMPORIZADOR PARA COLOCAR EN EL PUNTO DE PARTIDA DE LA GRAFICA 1



Símbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

**Network 2**

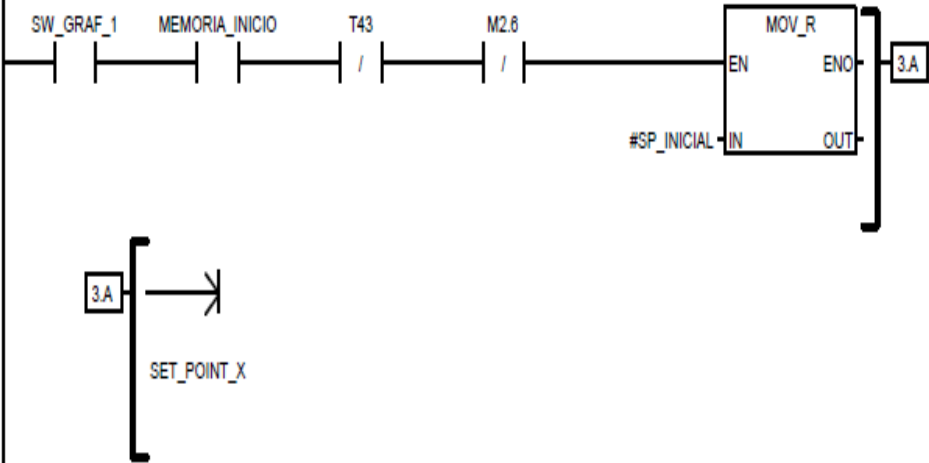
AUMENTA EL SET POINT EN 0.2 CADA 10 ms, ESTO HACE QUE VARIE AUTOMATICAMENTE HASTA TERMINAR MEDIA CIRCUNFERENCIA



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_X	VD102	

**Network 3**

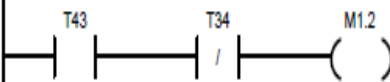
ENVIA A EL PUNTO INICIAL DE LA GRAFICA EN EL EJE X "PID2"



Símbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
SET_POINT_X	VD102	
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

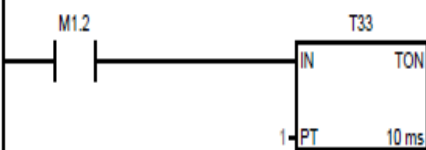
**Network 4**

AYUDA A TEMPORIZAR POR CICLOS O IMPULSOS LOS CAMBIOS QUE SE VAN A REALIZAR EN EL SET POINT DEL PID DEL EJE X "PID2"



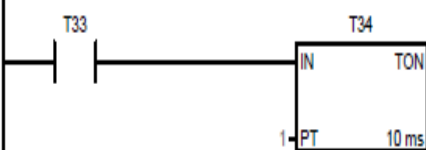
**Network 5**

PARTE UNO DEL TEMPORIZADOR POR CILOS DE MEDIA CIRCUNFERENCIA



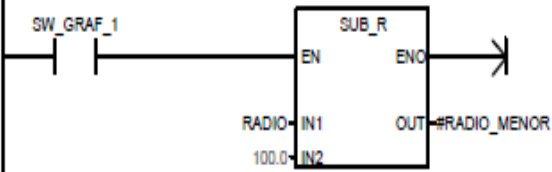
**Network 6**

PARTE UNO DEL TEMPORIZADOR POR CILOS DE MEDIA CIRCUNFERENCIA



**Network 7**

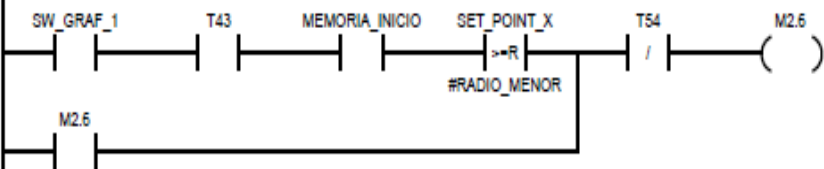
PERMITE QUE FUNCIONE LA SUBROUTINA DE LA GRAFICA 1



Simbolo	Dirección	Comentario
RADIO	VD170	VALOR DEL RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

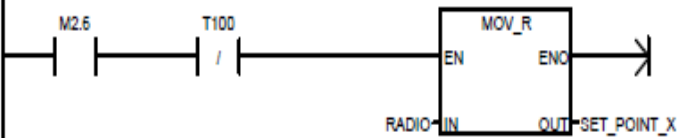
**Network 8**

AL TERMINAR MEDIA CIRCUNFERENCIA ACTIVA EL CAMBIO DEL VALOR PARA DISMINUIR EL SET POINT DEL PID DEL EJE X: "PID2"



Simbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
SET_POINT_X	VD102	
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

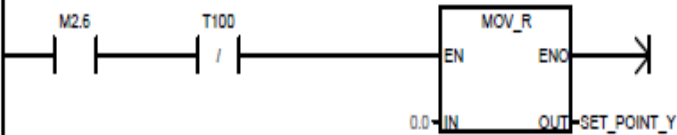
**Network 9**



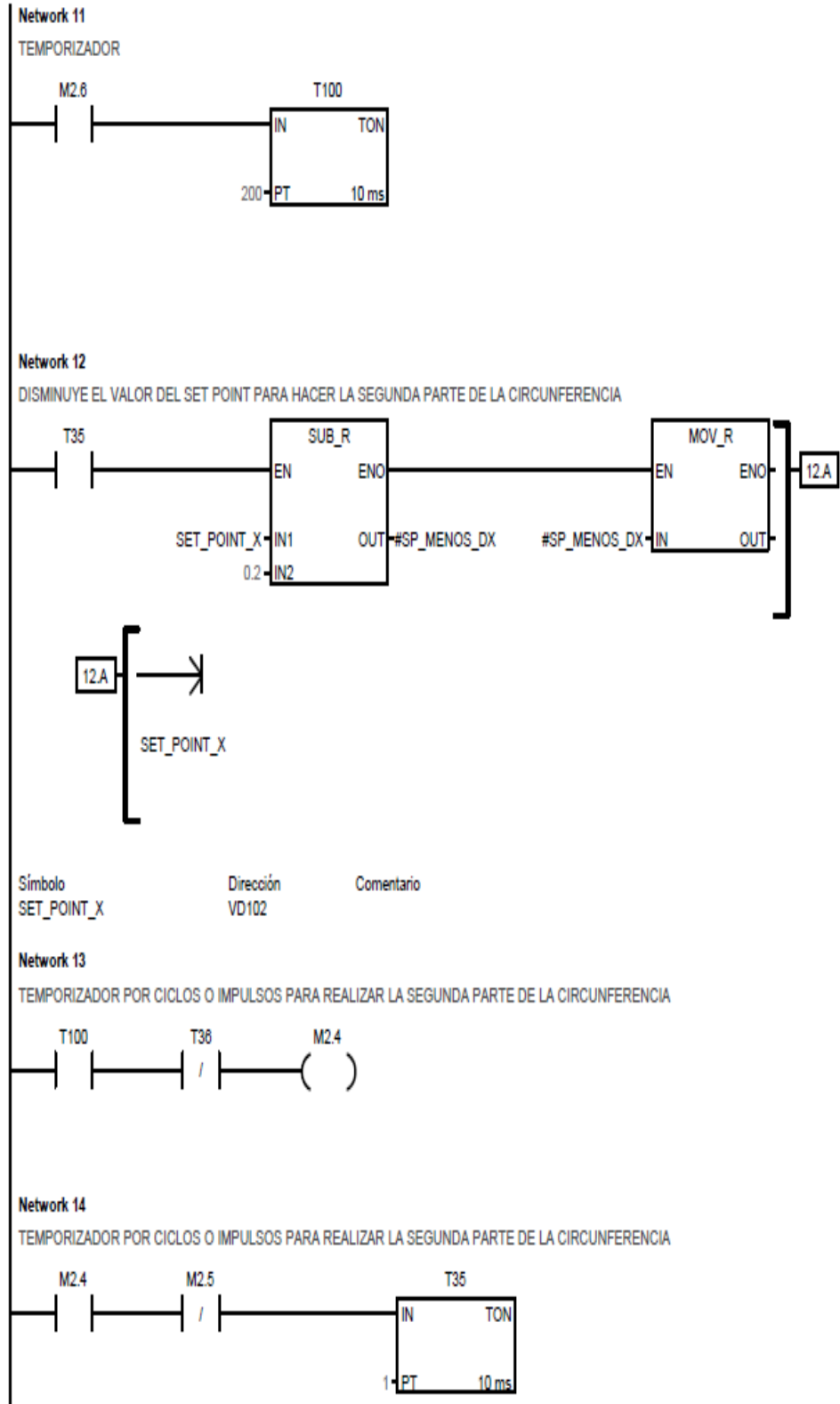
Simbolo	Dirección	Comentario
RADIO	VD170	VALOR DEL RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA
SET_POINT_X	VD102	

**Network 10**

PASO PARA LA SEGUNDA PARTE DE LA CIRCUNFERENCIA NEGATIVA

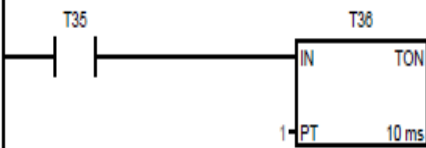


Simbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_Y	VD106	



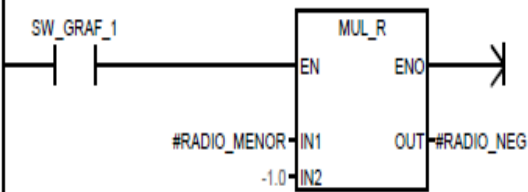
**Network 15**

TEMPORIZADOR POR CICLOS O IMPULSOS PARA REALIZAR LA SEGUNDA PARTE DE LA CIRCUNFERENCIA



**Network 16**

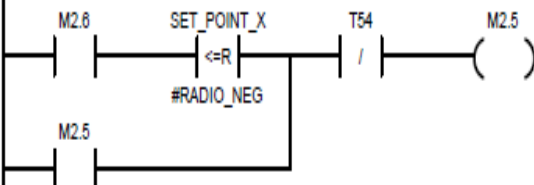
COLOCA EL VARO DEL RADIO COMO NEGATIVO, PARA SABER CUANDO DEBE DESACTIVARSE O ACTIVARSE, ES DECIR DA UNA ORDEN INTERNA.



Símbolo	Dirección	Comentario
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1

**Network 17**

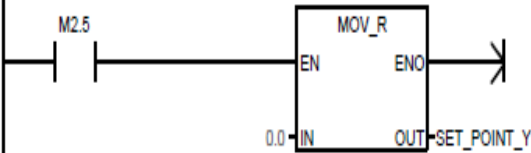
MENOS EL RADIO DEL CIRCULO



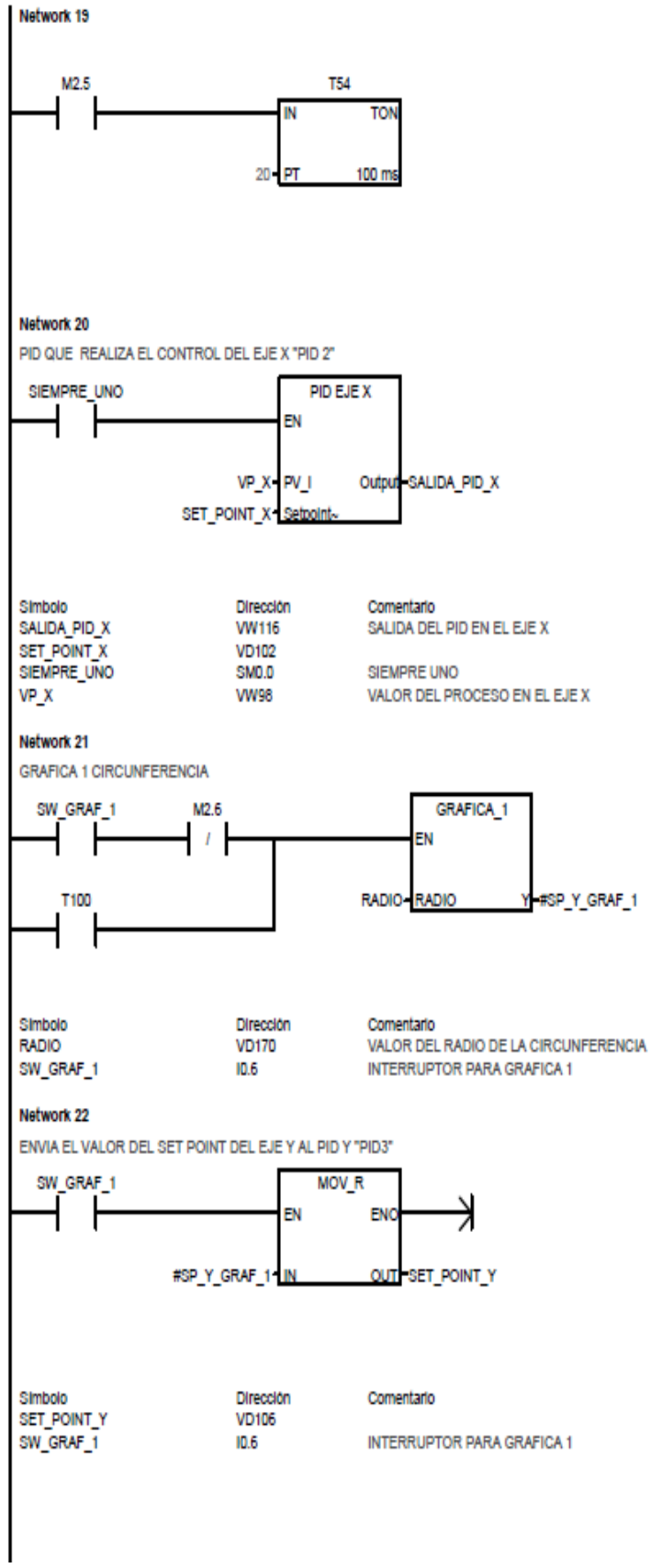
Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_X	VD102	

**Network 18**

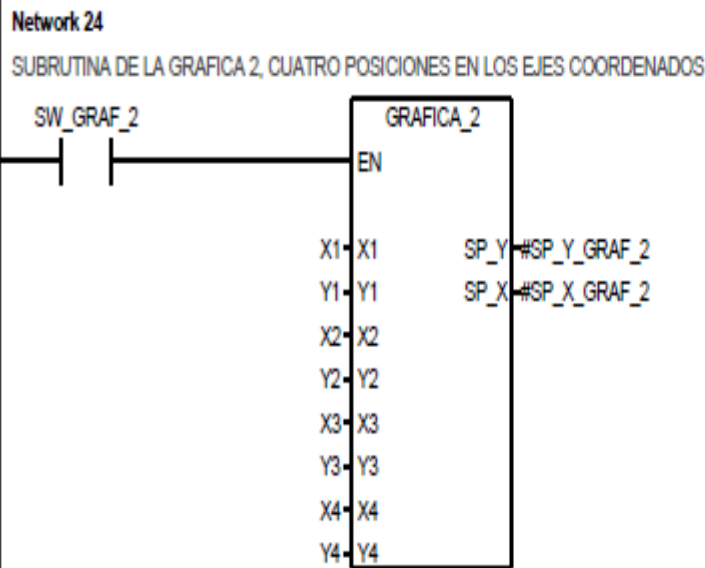
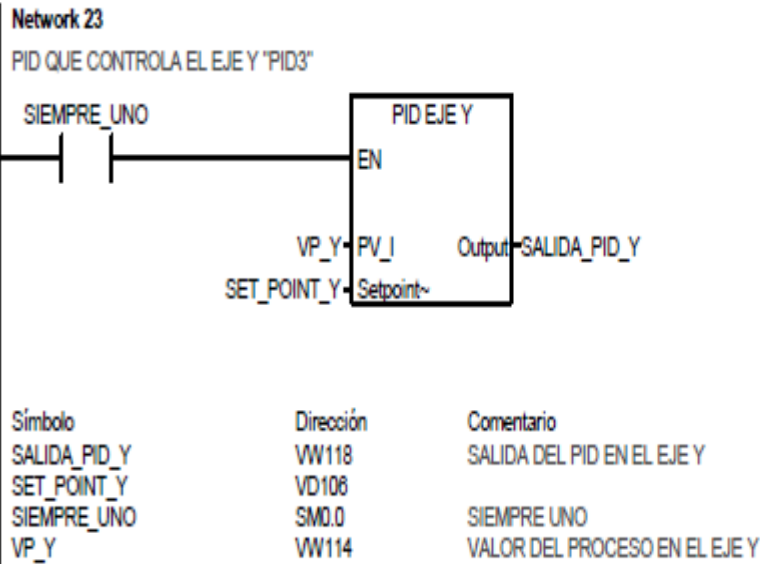
FINALIZA LA GRAFICA EN EL PUNTO X=0 Y Y=0



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_Y	VD106	

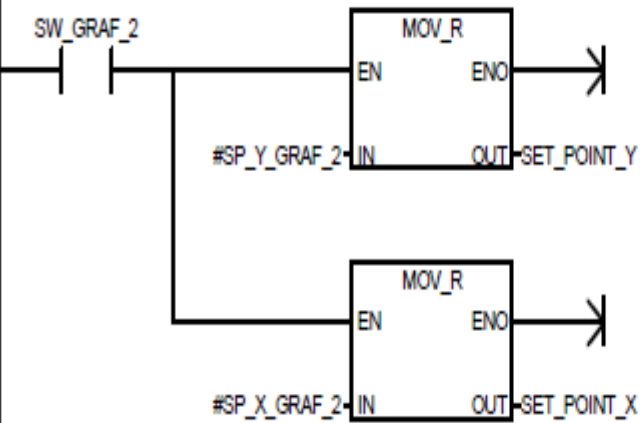


SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / EJES\_COORDEN (SBR5)



**Network 25**

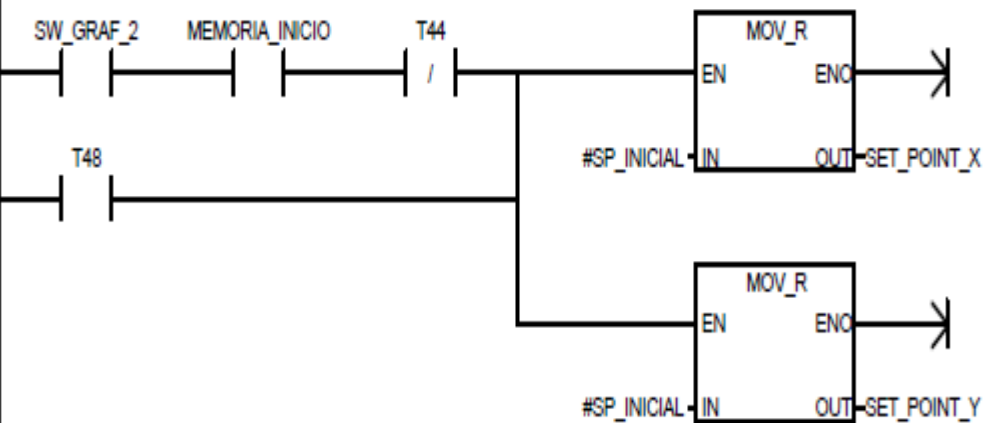
ENVIA LOS VALORES DESEADOS EN SU MOMENTO AL PID DE CADA EJE



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_X	VD102	
SET_POINT_Y	VD108	
SW_GRAF_2	I0.7	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 2

**Network 26**

DA EL VALOR INICIAL EN ESTE CASO CERO, PARA COMENZAR A REALIZAR LOS 4 PUNTOS DE LOS EJES COORDENADOS.



Símbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INCIAR EL PROGRAMA
SET_POINT_X	VD102	
SET_POINT_Y	VD108	
SW_GRAF_2	I0.7	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 2

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / TEMP\_SERVO (SBR8)

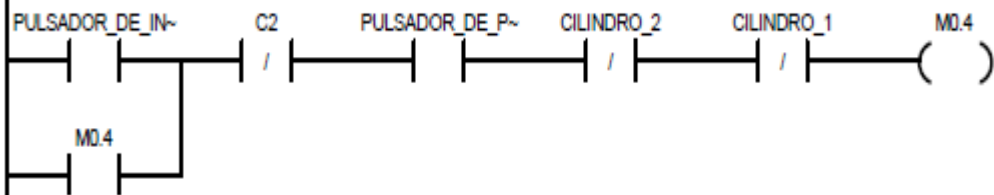
Bloque: TEMP\_SERVO  
 Autor:  
 Fecha de creación: 14.10.2012 11:23:33  
 Fecha de modificación: 18.04.2013 10:42:27

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LW0	REPETICIONES	IN	WORD	NUMERO DE REPETICIONES DEL CILINDRO
LD2	POS_SUP	IN	REAL	POSICION SUPERIOR
LD6	POS_INF	IN	REAL	POSICIN INFERIOR
LW10	T_INTERVALO	IN	INT	TIEMPO DE DURACION DE LA CONSIGNA
		IN		
		IN_OUT		
		OUT		
		TEMP		

ES EL TEMPORIZADOR CICLICO O POR IMPULSOS PARA REALIZAR LA REPETIBILIDAD.

**Network 1**

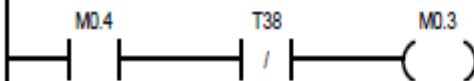
INICIA EL TEMPORIZADOR DE IMPULSOS PARA LOS DOS CILINDROS AL TIEMPO



Símbolo	Dirección	Comentario
CILINDRO_1	I0.2	INTERRUPTOR POTENCIOMETRO(SET POINT)
CILINDRO_2	I0.3	INTERRUPTOR COMPUTADOR(SET POINT)
PULSADOR_DE_INICIO	I0.0	PULSADOR PARA INICIAR LA PLANTA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA

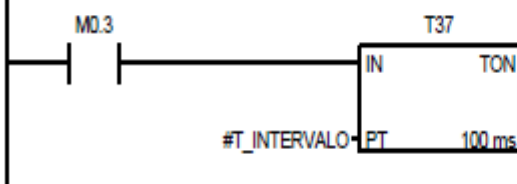
**Network 2**

INICIA EL TIEMPO DEL PUNTO SUPERIOR CILINDRO 1



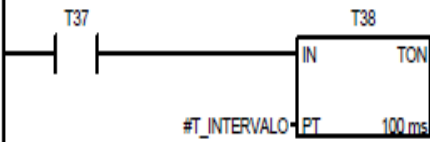
**Network 3**

CUENTA EL TIEMPO DE LA POSICION SUPERIOR CILINDRO 1



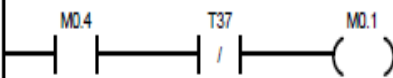
**Network 4**

TIEMPO EN LA POSIION INFERIOR CILINDRO 1



**Network 5**

ACTIVA EL ENVIO DE LOS VALORES DEL SET POINT AL CILINDRO 1 "PID1"

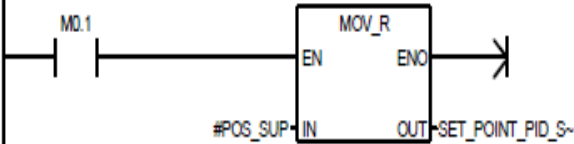


**Network 6**



**Network 7**

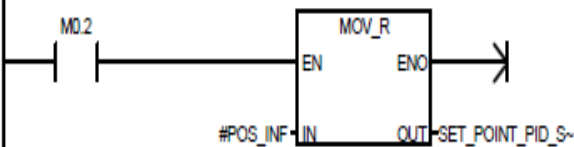
ENVIA POSICION SUPERIOR EN EL PID



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD60	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV

**Network 8**

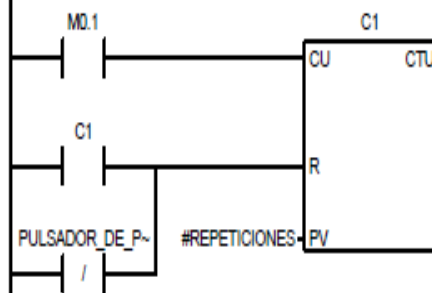
ENVIA POSICION INFERIOR AL PID 1



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD60	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV

**Network 9**

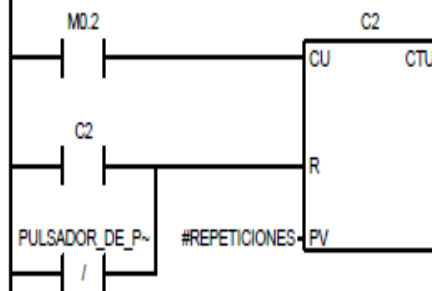
CUENTA LOS IMPULSOS O CICLOS DEL PID 1 POS SUPERIOR



Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA

**Network 10**

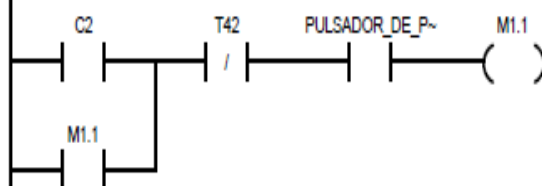
CUENTA LOS IMPULSOS DEL PID 1 POSICION INFERIOR



Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA

**Network 11**

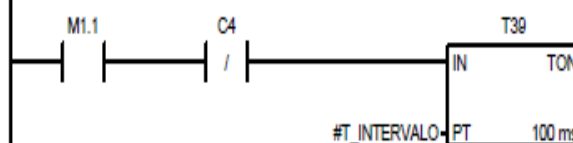
ACTIVA EL FUNCIONAMIENTO SECUENCIAL DEL CILINDRO 2



Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA

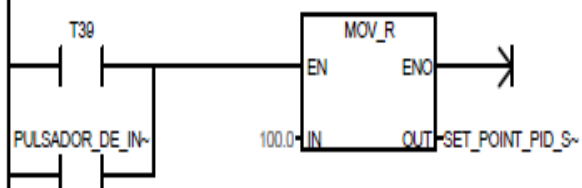
**Network 12**

INGRESA EL VALOR QUE SE DESEA PARA EL TIEMPO ENTRE CADA POSICION



**Network 13**

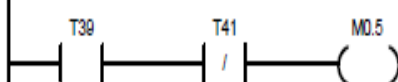
DA UNA POSICION AL CILINDRO UNO MIENTRAS FUNCIONA EL CILINDRO 2



Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_INICIO	I0.0	PULSADOR PARA INICIAR LA PLANTA
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD50	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV

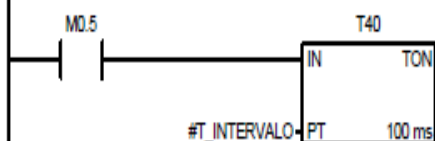
**Network 14**

ACTIVA EL TIEMPO DEL CILINDRO 2



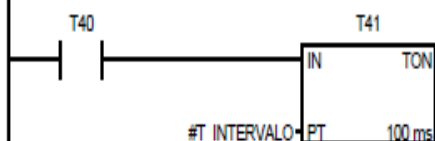
**Network 15**

COLOCA EL TIEMPO QUE SE COLOCO PARA CADA POSICION. TEMPORIZA LA SUBIDA



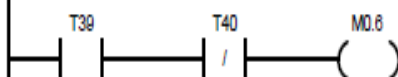
**Network 16**

TEMPORIZADOR DE IMPULSOS EN LA PARTE INFERIOR.



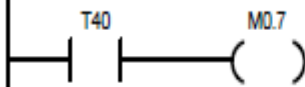
**Network 17**

MEMORIDA QUE DA LA ORDEN DE LA POSICION SUPERIOR CILINDRO 2



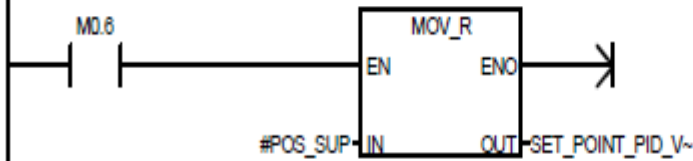
**Network 18**

MEMORIA QUE DA LA ORDEN DE LA POSICION INFERIOR CILINDRO 2



**Network 19**

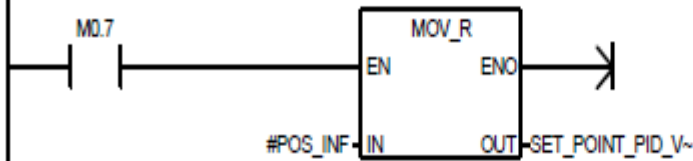
DA LA POSICION SUPERIOR DEL CILINDRO 2 VALVULA PROPORCIONAL



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_VALP_COMP	VD42	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA VALP

**Network 20**

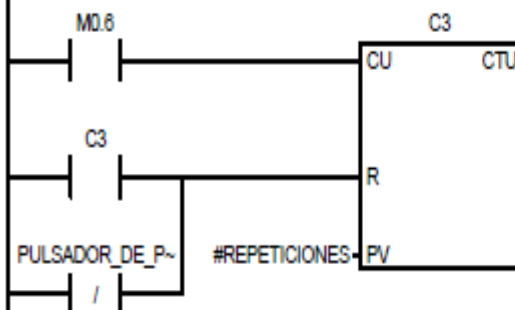
ENVIA LA POSICION INFERIOR DEL CILINDRO 2



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_VALP_COMP	VD42	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA VALP

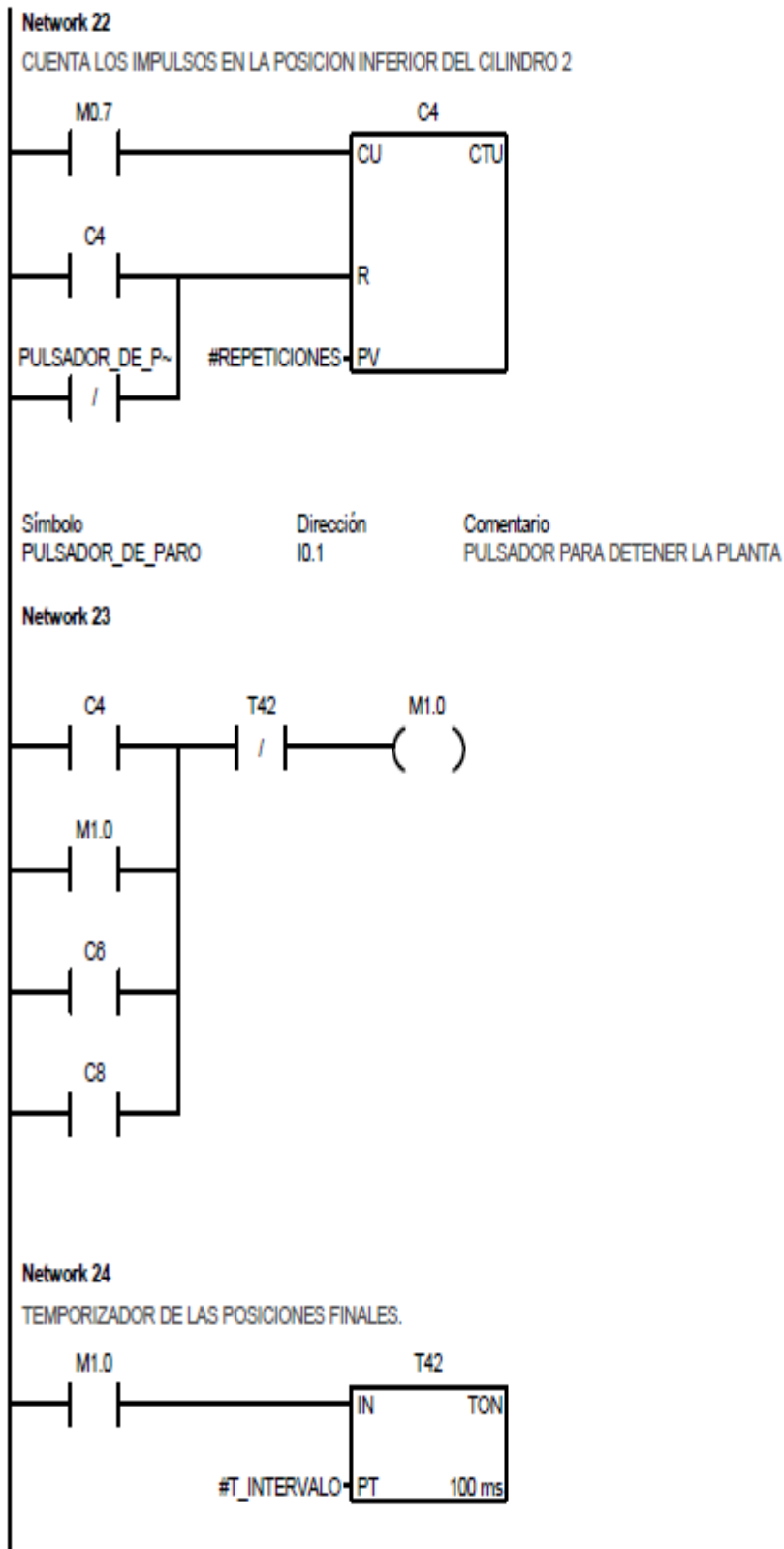
**Network 21**

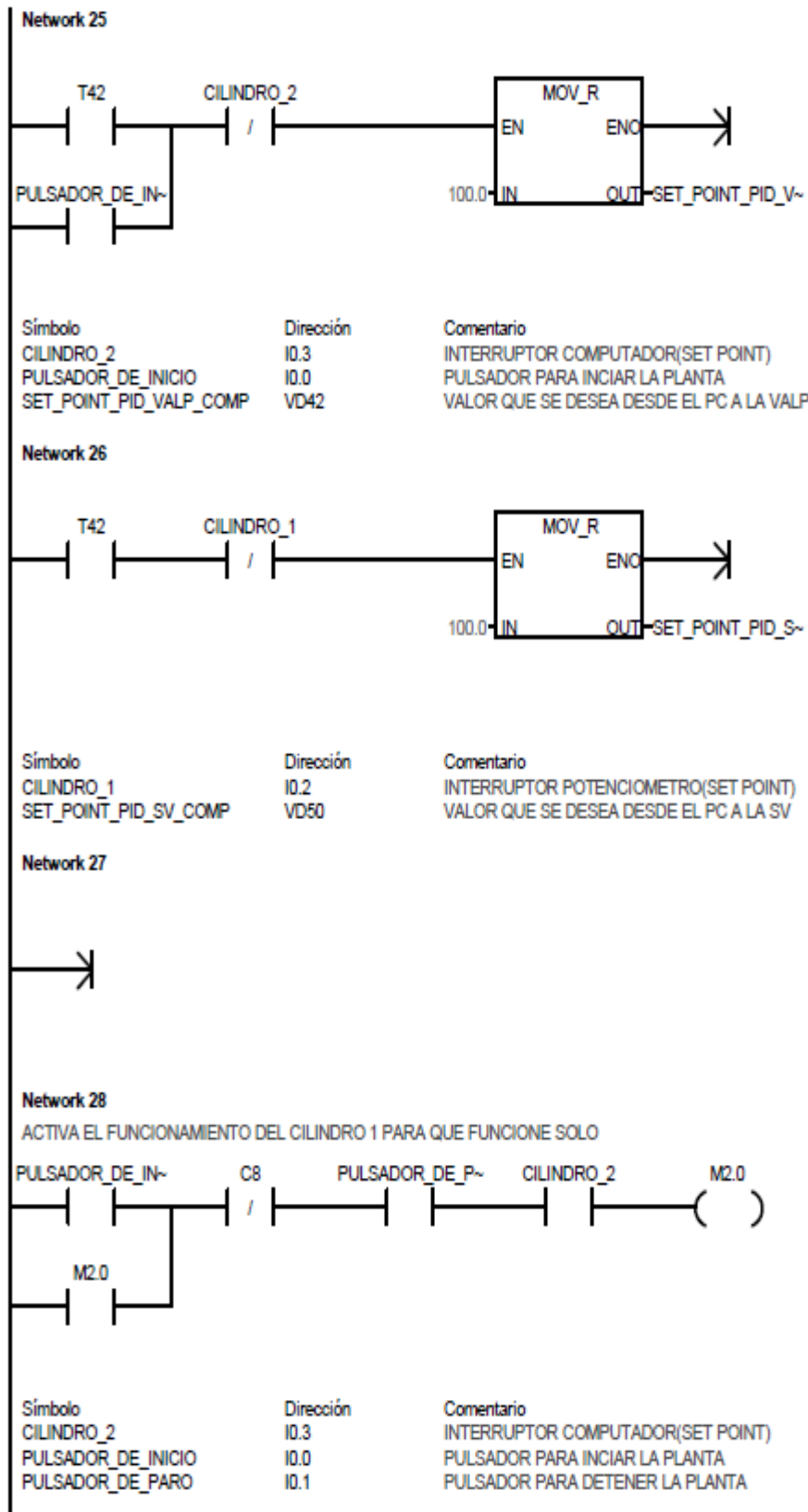
CUENTA LOS IMPULSOS EN LA POSICION SUPERIOR DEL CILINDRO 2



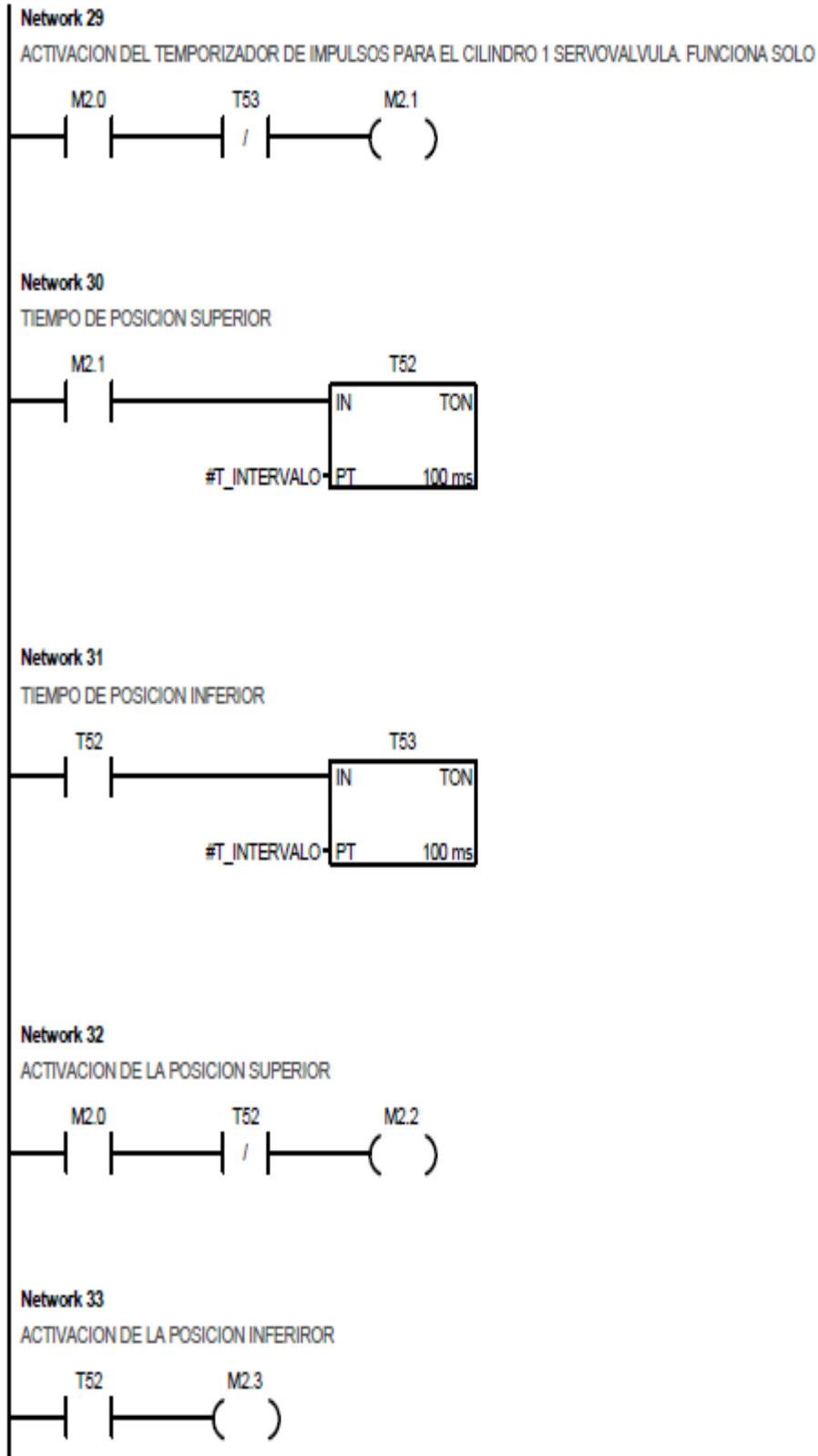
Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / TEMP\_SERVO (SBR8)



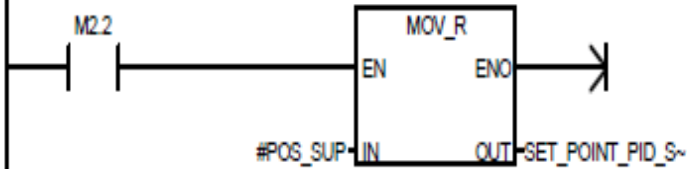


SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / TEMP\_SERVO (SBR8)



**Network 34**

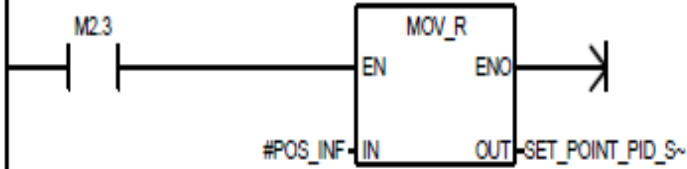
TRASLADO DEL VALOR DE LA POSICION SUPERIOR



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD50	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV

**Network 35**

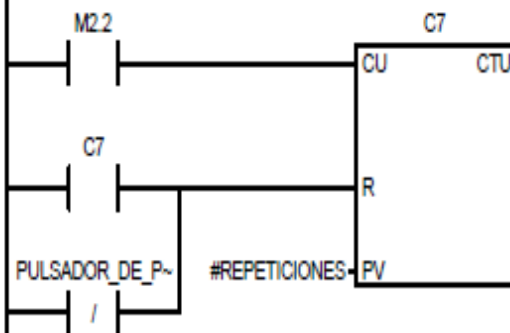
TRASLADO DE LA POSICION INFERIOR



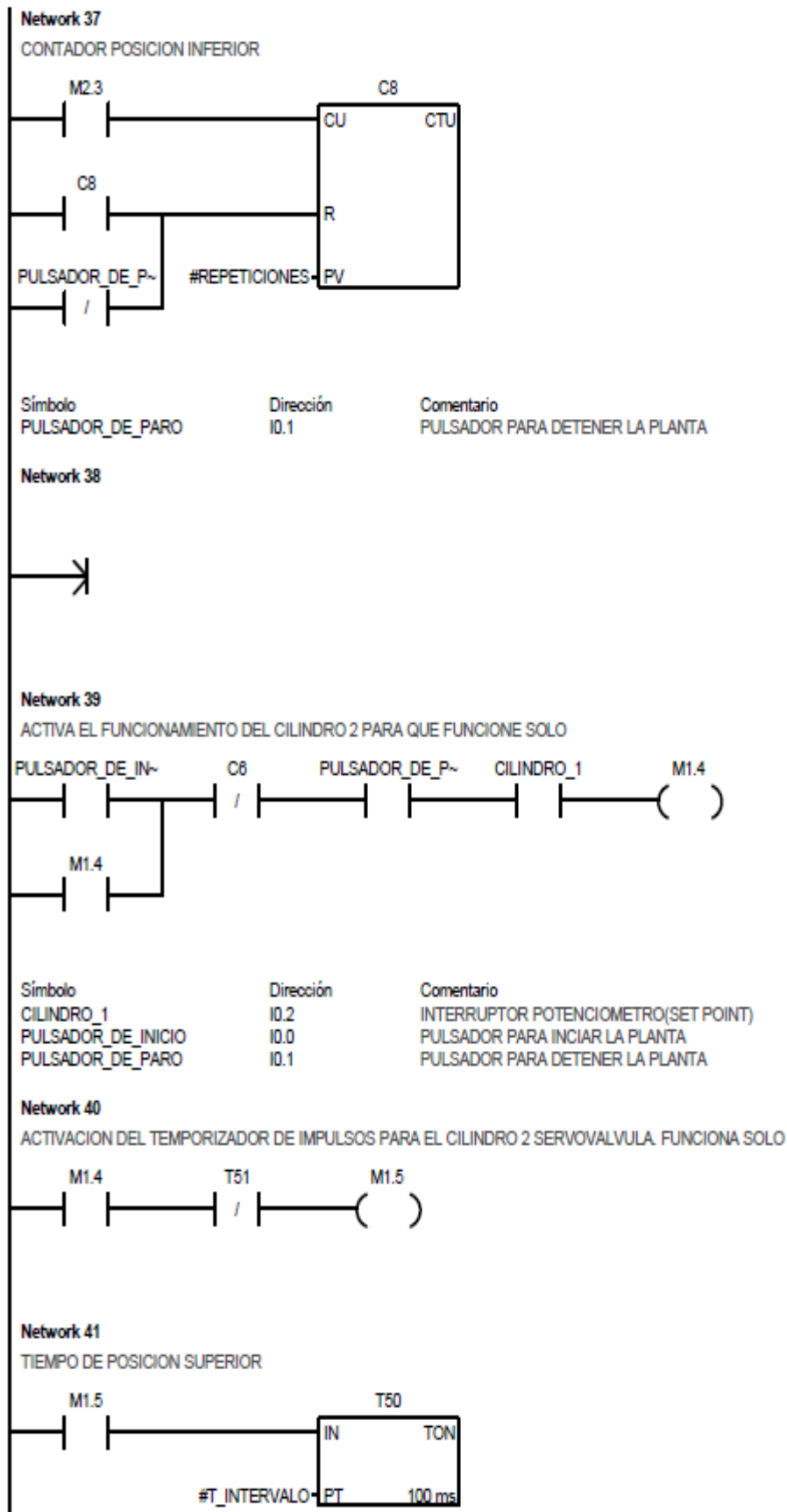
Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD50	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV

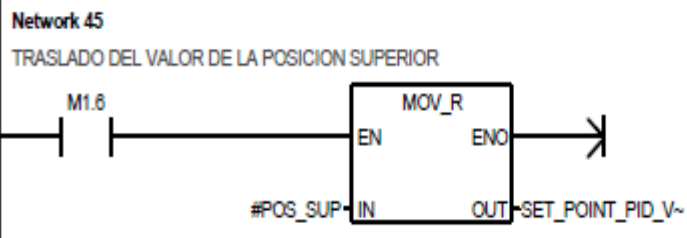
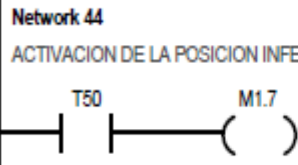
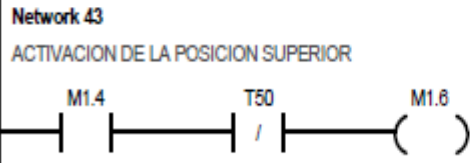
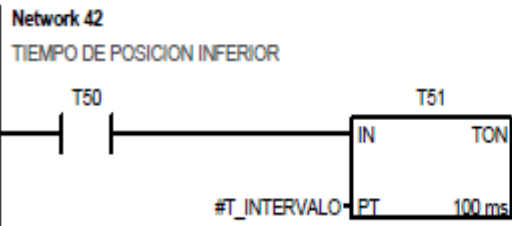
**Network 36**

CONTADOR POSICION SUPERIOR

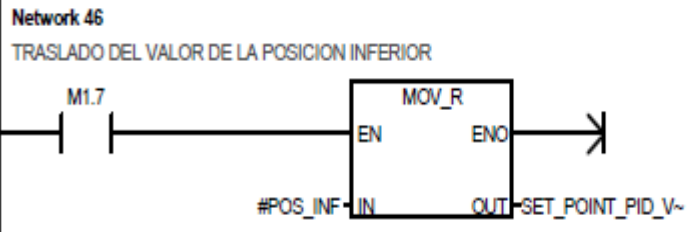


Símbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA



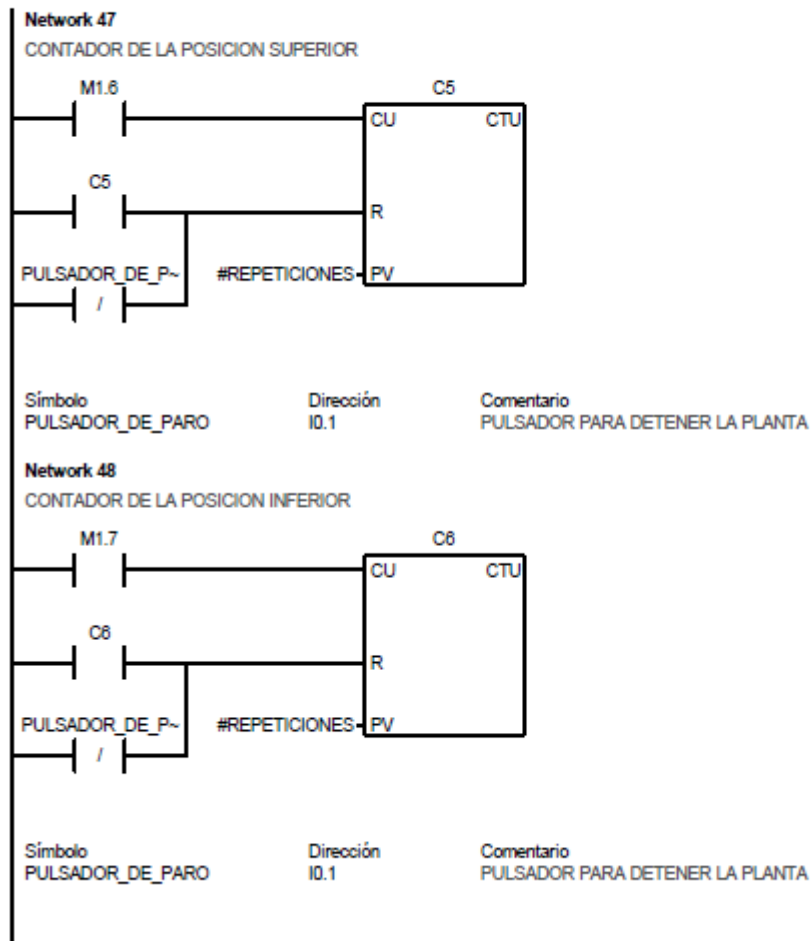


Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_VALP_COMP	VD42	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA VALP



Símbolo	Dirección	Comentario
SET_POINT_PID_VALP_COMP	VD42	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA VALP

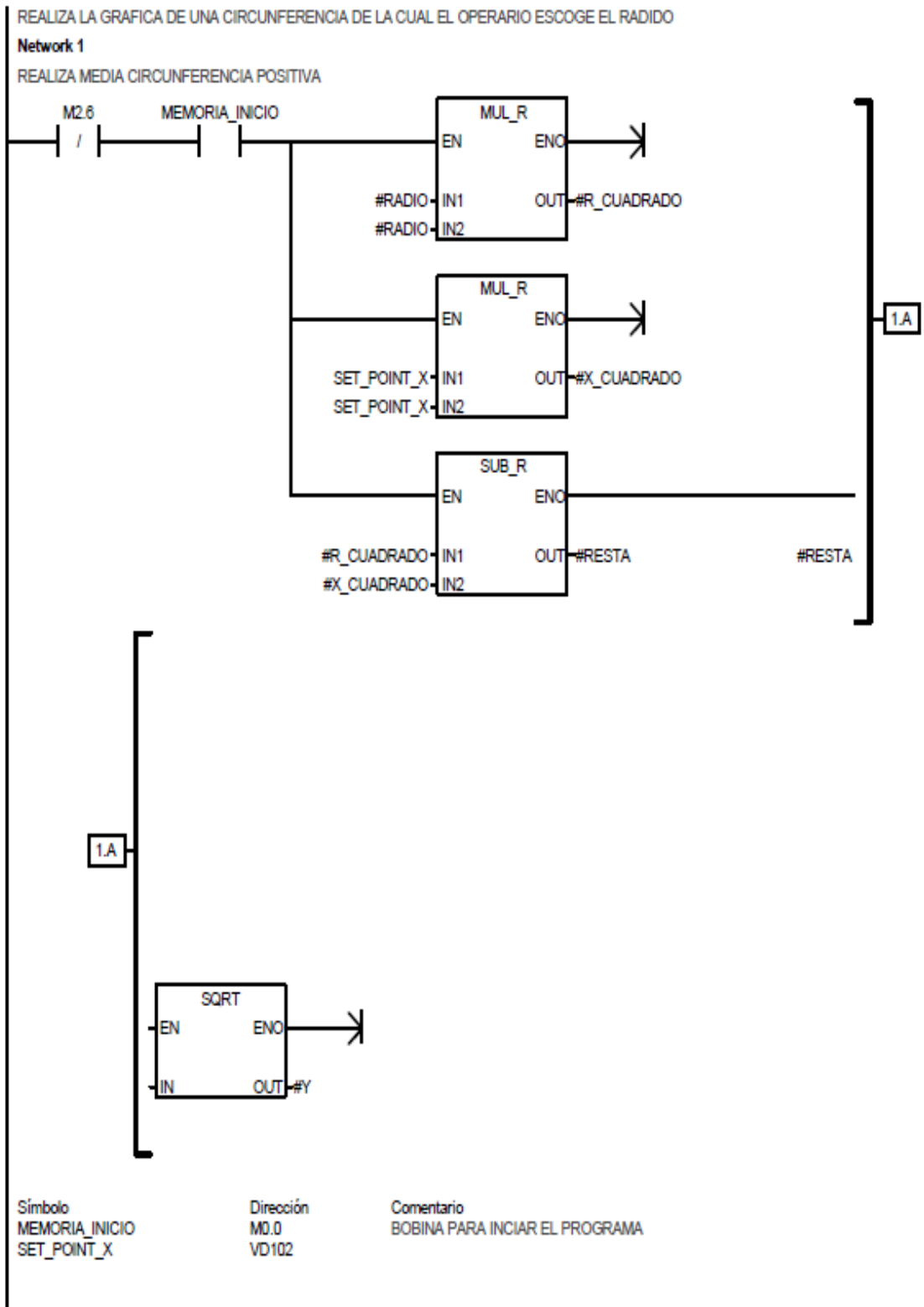
SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / TEMP\_SERVO (SBR8)

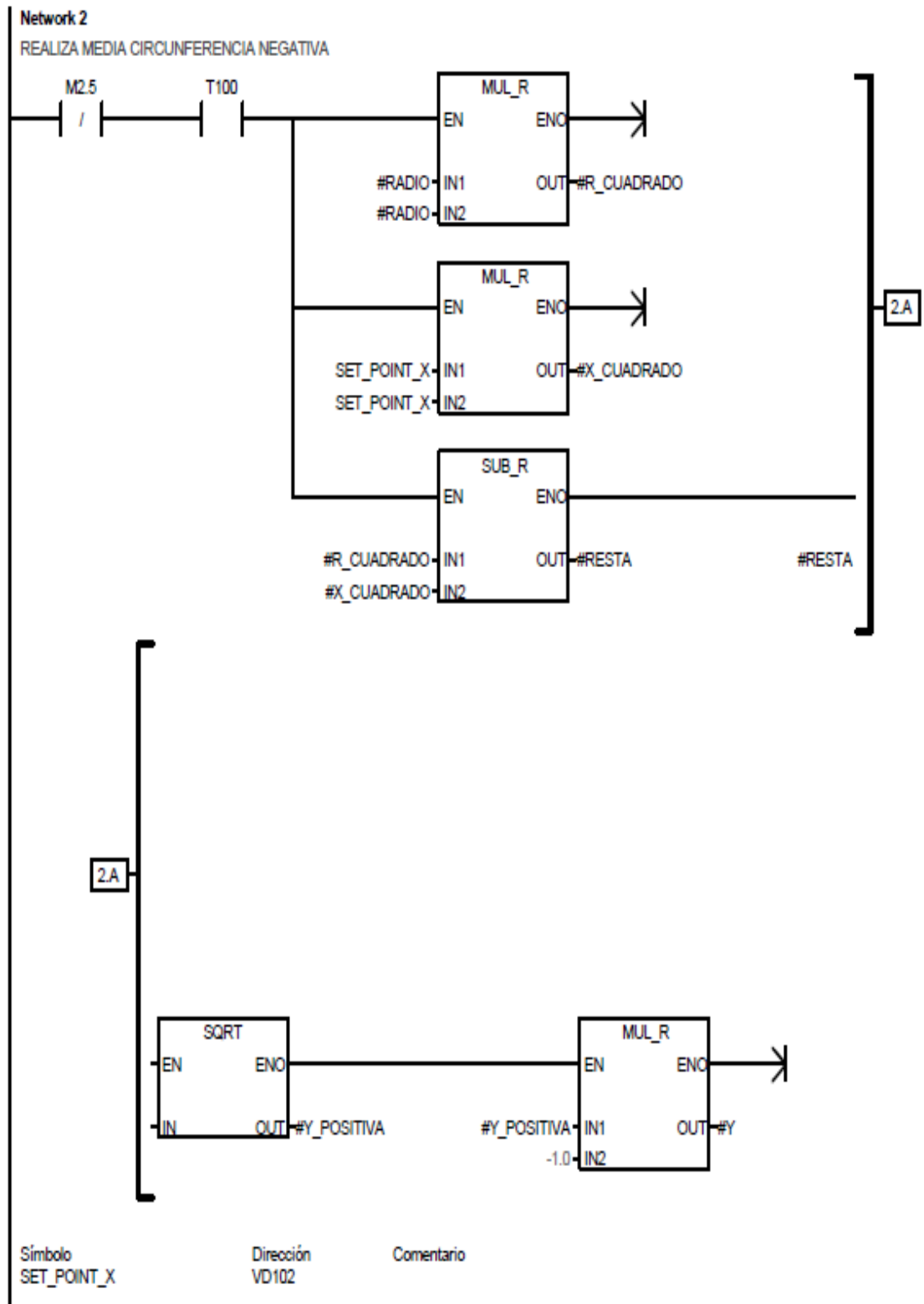


SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / GRAFICA\_1 (SBR9)

Bloque: GRAFICA\_1  
 Autor:  
 Fecha de creación: 12.11.2012 9:17:08  
 Fecha de modificación: 22.04.2013 9:17:00

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LD0	RADIO	IN	REAL	RADIO CIRCUNFERENCIA
		IN		
		IN		
		IN		
		IN_OUT		
LD4	Y	OUT	REAL	VALOR DE Y
		OUT		
LD8	R_CUADRADO	TEMP	REAL	RADIO AL CUADRADO
LD12	X_CUADRADO	TEMP	REAL	X CUADRADO
LD16	RESTA	TEMP	REAL	RESTA DE LOS CUADRADOS
LD20	Y_POSITIVA	TEMP	REAL	
		TEMP		





SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / GRAFICA\_2 (SBR10)

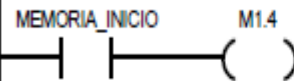
Bloque: GRAFICA\_2  
 Autor:  
 Fecha de creación: 12.11.2012 21:15:17  
 Fecha de modificación: 25.04.2013 8:43:03

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LD0	X1	IN	REAL	
LD4	Y1	IN	REAL	
LD8	X2	IN	REAL	
LD12	Y2	IN	REAL	
LD16	X3	IN	REAL	
LD20	Y3	IN	REAL	
LD24	X4	IN	REAL	
LD28	Y4	IN	REAL	
		IN		
		IN_OUT		
LD32	SP_Y	OUT	REAL	SET POINT Y
LD36	SP_X	OUT	REAL	SET POINT X
		OUT		
		TEMP		
		TEMP		
		TEMP		
		TEMP		
		TEMP		

CUATRO PUNTOS ESPECIFICOS DE LOS EJES COORDENADOS, LE PERMITE REALIZAR EN ORDEN LAS POSICIONES INDICADAS POR EL OPERARIO, SIEMPRE INICIARA EN EL CERO DE LOS EJES.

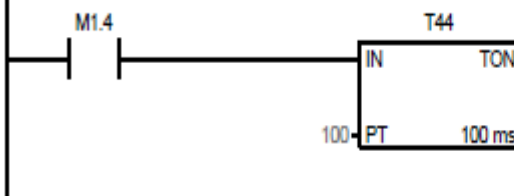
**Network 1** Título de segmento

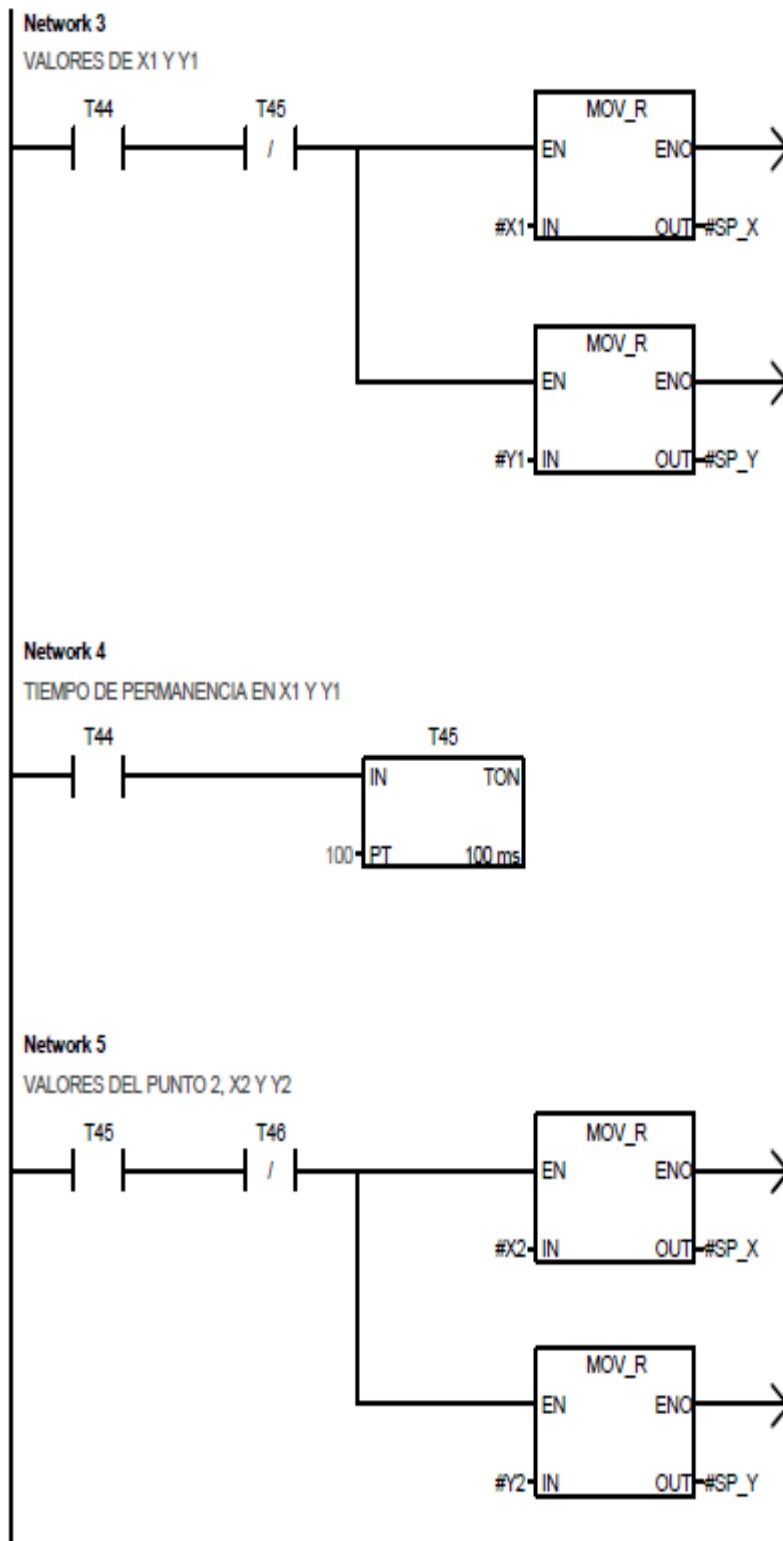
Comentario de segmento

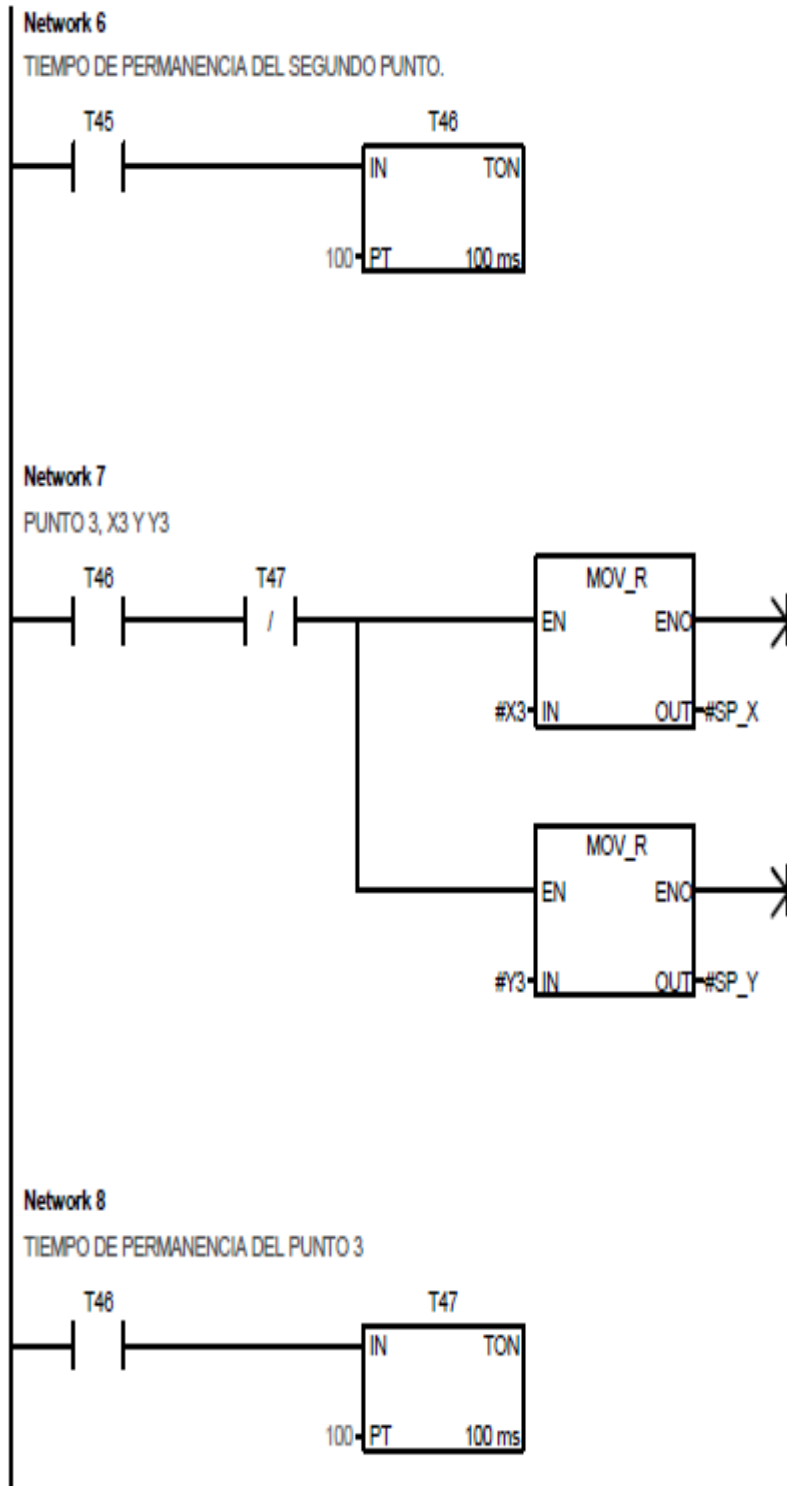


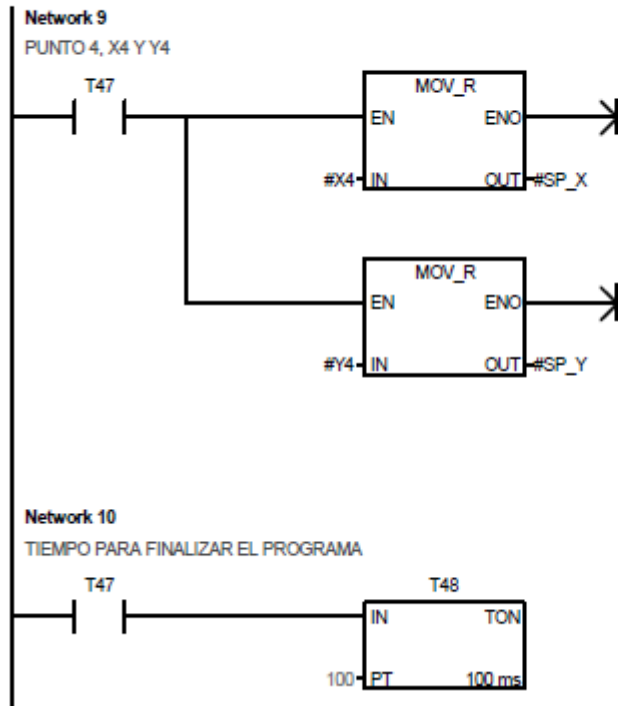
Símbolo	Dirección	Comentario
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA

**Network 2**









SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / INT\_0 (INT0)

Bloque: INT\_0  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.10.2012 11:14:58  
 Fecha de modificación: 02.10.2012 11:14:58

Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		

COMENTARIOS DE LA RUTINA DE INTERRUPCIÓN

**Network 1** Título de segmento  
 Comentario de segmento



## SERVISISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID\_VALP (SBR2)

Bloque: PID\_VALP  
 Autor:  
 Fecha de creación: 24.04.2013 16:27:56  
 Fecha de modificación: 24.04.2013 16:27:56

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LW0	PV_I	IN	INT	Entrada de la variable del proceso: rango 0 a 32000
LD2	Setpoint_R	IN	REAL	Entrada de la consigna: rango -940.0 a 4960.0
		IN		
		IN_OUT		
LW6	Output	OUT	INT	Salida PID: rango -32000 a 32000
		OUT		
LD8	Tmp_DI	TEMP	DWORD	
LD12	Tmp_R	TEMP	REAL	
		TEMP		



Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200. Para habilitar esta configuración, utilice SM0.0 con objeto de llamar a esta subrutina en cada ciclo desde el programa PRINCIPAL. Este código configura a PID 0. Consulte el DB1 para visualizar la tabla de variables del lazo PID que comienza en VB100. Esta subrutina inicializa las variables que utiliza la lógica de control PID e inicia la rutina de interrupción PID "PID\_EXE". Conforme al tiempo de muestro PID se llama cíclicamente a la rutina de interrupción PID. La operación PID se describe detalladamente en el Manual del sistema S7-200. Nota: Si el PID está en modo manual, la salida se deberá regular escribiendo un valor normalizado (comprendido entre 0.00 y 1.00) en el parámetro de salida manual, en vez de cambiar la salida directamente. Así se evitan choques en la transición cuando el PID vuelva a cambiar a modo automático.

## SERVISISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID\_SV (SBR3)

Bloque: PID\_SV  
 Autor:  
 Fecha de creación: 18.04.2013 20:58:39  
 Fecha de modificación: 18.04.2013 20:58:39

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LW0	PV_I	IN	INT	Entrada de la variable del proceso: rango 0 a 32000
LD2	Setpoint_R	IN	REAL	Entrada de la consigna: rango -950.0 a 4960.0
		IN		
		IN_OUT		
LW6	Output	OUT	INT	Salida PID: rango -32000 a 32000
		OUT		
LD8	Tmp_DI	TEMP	DWORD	
LD12	Tmp_R	TEMP	REAL	
		TEMP		



Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200. Para habilitar esta configuración, utilice SM0.0 con objeto de llamar a esta subrutina en cada ciclo desde el programa PRINCIPAL. Este código configura a PID 1. Consulte el DB1 para visualizar la tabla de variables del lazo PID que comienza en VB220. Esta subrutina inicializa las variables que utiliza la lógica de control PID e inicia la rutina de interrupción PID "PID\_EXE". Conforme al tiempo de muestro PID se llama cíclicamente a la rutina de interrupción PID. La operación PID se describe detalladamente en el Manual del sistema S7-200. Nota: Si el PID está en modo manual, la salida se deberá regular escribiendo un valor normalizado (comprendido entre 0.00 y 1.00) en el parámetro de salida manual, en vez de cambiar la salida directamente. Así se evitan choques en la transición cuando el PID vuelva a cambiar a modo automático.

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID EJE X (SBR7)

Bloque: PID EJE X  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.05.2013 21:09:39  
 Fecha de modificación: 02.05.2013 21:09:39

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LW0	PV_I	IN	INT	Entrada de la variable del proceso: rango 0 a 32000
LD2	Setpoint_R	IN	REAL	Entrada de la consigna: rango -2900.0 a 4000.0
		IN		
		IN_OUT		
LW6	Output	OUT	INT	Salida PID: rango -32000 a 32000
		OUT		
LD8	Tmp_DI	TEMP	DWORD	
LD12	Tmp_R	TEMP	REAL	
		TEMP		



Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200. Para habilitar esta configuración, utilice SM0.0 con objeto de llamar a esta subrutina en cada ciclo desde el programa PRINCIPAL. Este código configura a PID 2. Consulte el DB1 para visualizar la tabla de variables del lazo PID que comienza en VB340. Esta subrutina inicializa las variables que utiliza la lógica de control PID e inicia la rutina de interrupción PID "PID\_EXE". Conforme al tiempo de muestro PID se llama cíclicamente a la rutina de interrupción PID. La operación PID se describe detalladamente en el Manual del sistema S7-200. Nota: Si el PID está en modo manual, la salida se deberá regular escribiendo un valor normalizado (comprendido entre 0.00 y 1.00) en el parámetro de salida manual, en vez de cambiar la salida directamente. Así se evitan choques en la transición cuando el PID vuelva a cambiar a modo automático.

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID EJE Y (SBR8)

Bloque: PID EJE Y  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.05.2013 21:09:24  
 Fecha de modificación: 02.05.2013 21:09:24

	Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	EN	IN	BOOL	
LW0	PV_I	IN	INT	Entrada de la variable del proceso: rango 0 a 32000
LD2	Setpoint_R	IN	REAL	Entrada de la consigna: rango -2840.0 a 4050.0
		IN		
		IN_OUT		
LW6	Output	OUT	INT	Salida PID: rango -32000 a 32000
		OUT		
LD8	Tmp_DI	TEMP	DWORD	
LD12	Tmp_R	TEMP	REAL	
		TEMP		



Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200. Para habilitar esta configuración, utilice SM0.0 con objeto de llamar a esta subrutina en cada ciclo desde el programa PRINCIPAL. Este código configura a PID 3. Consulte el DB1 para visualizar la tabla de variables del lazo PID que comienza en VB460. Esta subrutina inicializa las variables que utiliza la lógica de control PID e inicia la rutina de interrupción PID "PID\_EXE". Conforme al tiempo de muestro PID se llama cíclicamente a la rutina de interrupción PID. La operación PID se describe detalladamente en el Manual del sistema S7-200. Nota: Si el PID está en modo manual, la salida se deberá regular escribiendo un valor normalizado (comprendido entre 0.00 y 1.00) en el parámetro de salida manual, en vez de cambiar la salida directamente. Así se evitan choques en la transición cuando el PID vuelva a cambiar a modo automático.

SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID\_EXE (INT1)

Bloque: PID\_EXE  
 Autor:  
 Fecha de creación: 02.05.2013 21:09:39  
 Fecha de modificación: 02.05.2013 21:09:39


Símbolo	Tipo var.	Tipo de datos	Comentario
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		




Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200. Esta rutina de interrupción implementa Interrupción temporizada para la ejecución de PID. Esta rutina de interrupción se asoció en la subrutina "PID EJE X".


SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / USUARIO1

Simbolo	Dirección	Comentario
PULSADOR_DE_INICIO	I0.0	PULSADOR PARA INICIAR LA PLANTA
PULSADOR_DE_PARO	I0.1	PULSADOR PARA DETENER LA PLANTA
MEMORIA_INICIO	M0.0	BOBINA PARA INICIAR EL PROGRAMA
SIEMPRE_UNO	SM0.0	SIEMPRE UNO
ENTRADA_ANALOGICA_VALVP	AIW0	ENTRADA DEL SENSOR
SALIDA_ANALOGICA_VALVP	AQW0	SALIDA AL AMPLIF VALP
ENTRADA_VALP	VW10	VALOR DEL PROCESO VALVP
SALIDA_PID_VALP	VW12	VALOR DE LA SALIDA DEL PID VALP
SALIDA_PID_SV	VW24	VALOR DE LA SALIDA DEL PID SV
SALIDA_ANALOGICA_SV	AQW4	SALIDA AL AMPLIFICADOR SV
ENTRADA_ANALOGICA_SV	AIW2	ENTRADA DEL SENSOR SV
ENTRADA_SV	VW26	VALOR DEL PROCESO SV
SETPOINT_PID_VALP	VD38	SET POINT DE PID_VALP
SET_POINT_PID_VALP_COMP	VD42	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA VALP
SETPOINT_PID_SV	VD46	SET POINT DE PID_SV
SET_POINT_PID_SV_COMP	VD50	VALOR QUE SE DESEA DESDE EL PC A LA SV
SALIDA_PID_VALP_DI	VD54	VALOR DE SET POINT VALP DI
SALIDA_PID_VALP_REAL	VD58	VALOR DE SET POINT VALP REAL
SALIDA_PID_SV_DI	VD62	VALOR DE SET POINT SV DI
SALIDA_PID_SV_REAL	VD66	VALOR DE SET POINT SV REAL
VP_VALP_DI	VD70	VALOR DEL PROCESO VALP DI
VP_VALP_REAL	VD74	VALOR DEL PROCESO VALP REAL
VP_SV_DI	VD78	VALOR DEL PROCESO SV DI
VP_SV_REAL	VD82	VALOR DEL PROCESO SV REAL
CILINDRO_1	I0.2	INTERRUPTOR POTENCIOMETRO(SET POINT)
CILINDRO_2	I0.3	INTERRUPTOR COMPUTADOR(SET POINT)
SW_SERVO	I0.4	ENCENDER SERVO DE POSICION
SW_EJES_COORD	I0.5	ENCENDER EJES COORDENADOS
REPETICIONES	VW96	CANTIDAD DE REPETICIONES EN LOS CILINDROS
POS_SUPERIOR	VD88	POSICION SUPERIOR
POS_INFERIOR	VD92	POSICION INFERIOR
T_INTERVALO	VW98	TIEMPO SE DEBE MULTIPLICAR EN 100ms
VP_X	VW98	VALOR DEL PROCESO EN EL EJE X
VP_Y	VW114	VALOR DEL PROCESO EN EL EJE Y
SET_POINT_X	VD102	
SET_POINT_Y	VD106	
SP_INICIO	VD110	SET POINT DE INICIO DEPENDIENDO DE LA GRAFICA
SW_GRAF_1	I0.6	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 1
SW_GRAF_2	I0.7	INTERRUPTOR PARA GRAFICA 2
SALIDA_PID_X	VW116	SALIDA DEL PID EN EL EJE X
SALIDA_PID_Y	VW118	SALIDA DEL PID EN EL EJE Y
LUZ_REPETIBILIDAD	Q0.0	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN REPETIBILIDAD
LUZ_EJES_COORDENADOS	Q0.1	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN EJES COORDENADOS
LUZ_GRAFICA_1	Q0.2	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROG EN EJES COORDENADOS GRAFICA 1
LUZ_GRAFICA_2	Q0.3	BOMBILLO QUE INFORMA DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROG EN EJES COORDENADOS GRAFICA 2
VP_X_DI	VD122	VALOR DEL PROCESO EN X EN DI
VP_X_R	VD126	VALOR DEL PROCESO EN X REAL
VP_Y_DI	VD130	VALOR DEL PROCESO EN Y EN DI
VP_Y_R	VD134	VALOR DEL PROCESO EN Y REAL
X1	VD138	VALOR DE X1 PARA LA GRAFICA 2
Y1	VD142	VALOR DE Y1 PARA LA GRAFICA 2
X2	VD146	VALOR DE X2 PARA LA GRAFICA 2
Y2	VD150	VALOR DE Y2 PARA LA GRAFICA 2
X3	VD154	VALOR DE X3 PARA LA GRAFICA 2
Y3	VD158	VALOR DE Y3 PARA LA GRAFICA 2
X4	VD162	VALOR DE X4 PARA LA GRAFICA 2
Y4	VD166	VALOR DE Y4 PARA LA GRAFICA 2
RADIO	VD170	VALOR DEL RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA











 Símbolo	Dirección	Comentario
ENTRADAS	SBR0	SE DA INICIO A LAS SUBRUTINAS SELECCIONADAS EN LAS ENTRADAS, TAMBIEN SE TRANSFIEREN O SE RECIBEN LOS VALORES DE LAS SUBRUTINAS QUE SE DESEAN TRABAJAR.
CONMUTADOR	SBR1	SELECCIONA LA SUBRUTINA QUE SE DESEA REALIZAR CON LAS ENTRADAS DIGITALES DEL PLC, TAMBIEN ENCIENDE LAS LUCES QUE INFORMAN QUE SUBRUTINA ESTA EN FUNCIONAMIENTO EN LAS SALIDAS DIGITALES DEL PLC
PID_VALP	SBR2	Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200.
PID_SV	SBR3	Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200.
SERVOS_DE_POSICION	SBR4	FUNCINAN LOS PID DE LAS VALVULAS DE HIDRAULICA PROPORCIONAL
EJES_COORDEN	SBR5	CON ESTA SUBRUTINA SE SELECCIONA LA GRAFICA QUE SE DESEA RALIZAR EN LA PRACTICA DE EJES COORDENADOS
TEMP_SERVO	SBR6	ES EL TEMPORIZADOR CICLICO O POR IMPULSOS PARA REALIZAR LA REPETIBILIDAD.
PID EJE X	SBR7	Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200.
PID EJE Y	SBR8	Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200.
GRAFICA_1	SBR9	REALIZA LA GRAFICA DE UNA CIRCUNFERENCIA DE LA CUAL EL OPERARIO ESCOGE EL RADIDO
GRAFICA_2	SBR10	CUATRO PUNTOS ESPECIFICOS DE LOS EJES COORDENADOS, LE PERMITE REALIZAR EN ORDEN LAS POSICIONES INDICADAS POR EL OPERARIO, SIEMPRE INICIARA EN EL CERO DE LOS EJES.
INT_0	INT0	COMENTARIOS DE LA RUTINA DE INTERRUPTIÓN
PID_EXE	INT1	Esta unidad de organización del programa (UOP) fue creada con la función PID del asistente de operaciones S7-200.
PRINCIPAL	OB1	EN ESTE PROGRAMA SE LLAMAN LOS PRINCIPALES SUB RUTINAS DE LA SECUENCIA DE ORDENES EN EL PLC

 Símbolo	Dirección	Comentario
PID0_D_Counter	VW180	
PID0_D_Time	VD124	Tiempo de acción derivativa
PID0_I_Time	VD120	Tiempo de acción integral
PID0_SampleTime	VD116	Tiempo de muestreo (para modificarlo, ejecute de nuevo el asistente PID)
PID0_Gain	VD112	Ganancia del lazo
PID0_Output	VD108	Salida del lazo normalizada y calculada
PID0_SP	VD104	Consigna de proceso normalizada
PID0_PV	VD100	Variable del proceso normalizada
PID0_Table	VB100	Dirección inicial de la tabla del lazo PID 0











#### SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID1\_SYM

 Símbolo	Dirección	Comentario
PID1_D_Counter	VW300	
PID1_D_Time	VD244	Tiempo de acción derivativa
PID1_I_Time	VD240	Tiempo de acción integral
PID1_SampleTime	VD236	Tiempo de muestreo (para modificarlo, ejecute de nuevo el asistente PID)
PID1_Gain	VD232	Ganancia del lazo
PID1_Output	VD228	Salida del lazo normalizada y calculada
PID1_SP	VD224	Consigna de proceso normalizada
PID1_PV	VD220	Variable del proceso normalizada
PID1_Table	VB220	Dirección inicial de la tabla del lazo PID 1

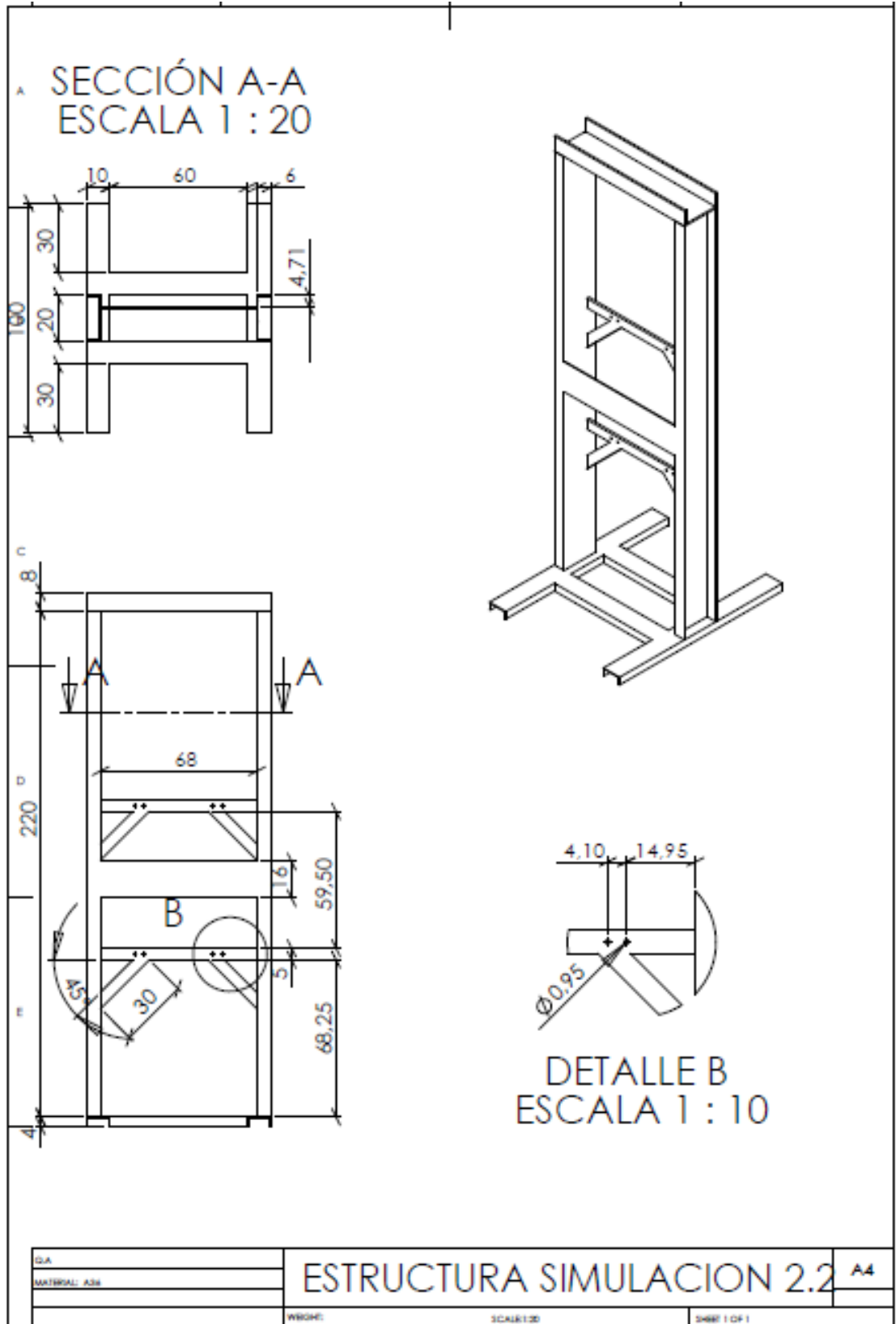
SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID2\_SYM

 Símbolo	Dirección	Comentario
 PID2_D_Counter	VW420	
 PID2_D_Time	VD364	Tiempo de acción derivativa
 PID2_I_Time	VD360	Tiempo de acción integral
 PID2_SampleTime	VD356	Tiempo de muestreo (para modificarlo, ejecute de nuevo el asistente PID)
 PID2_Gain	VD352	Ganancia del lazo
 PID2_Output	VD348	Salida del lazo normalizada y calculada
 PID2_SP	VD344	Consigna de proceso normalizada
 PID2_PV	VD340	Variable del proceso normalizada
 PID2_Table	VB340	Dirección inicial de la tabla del lazo PID 2

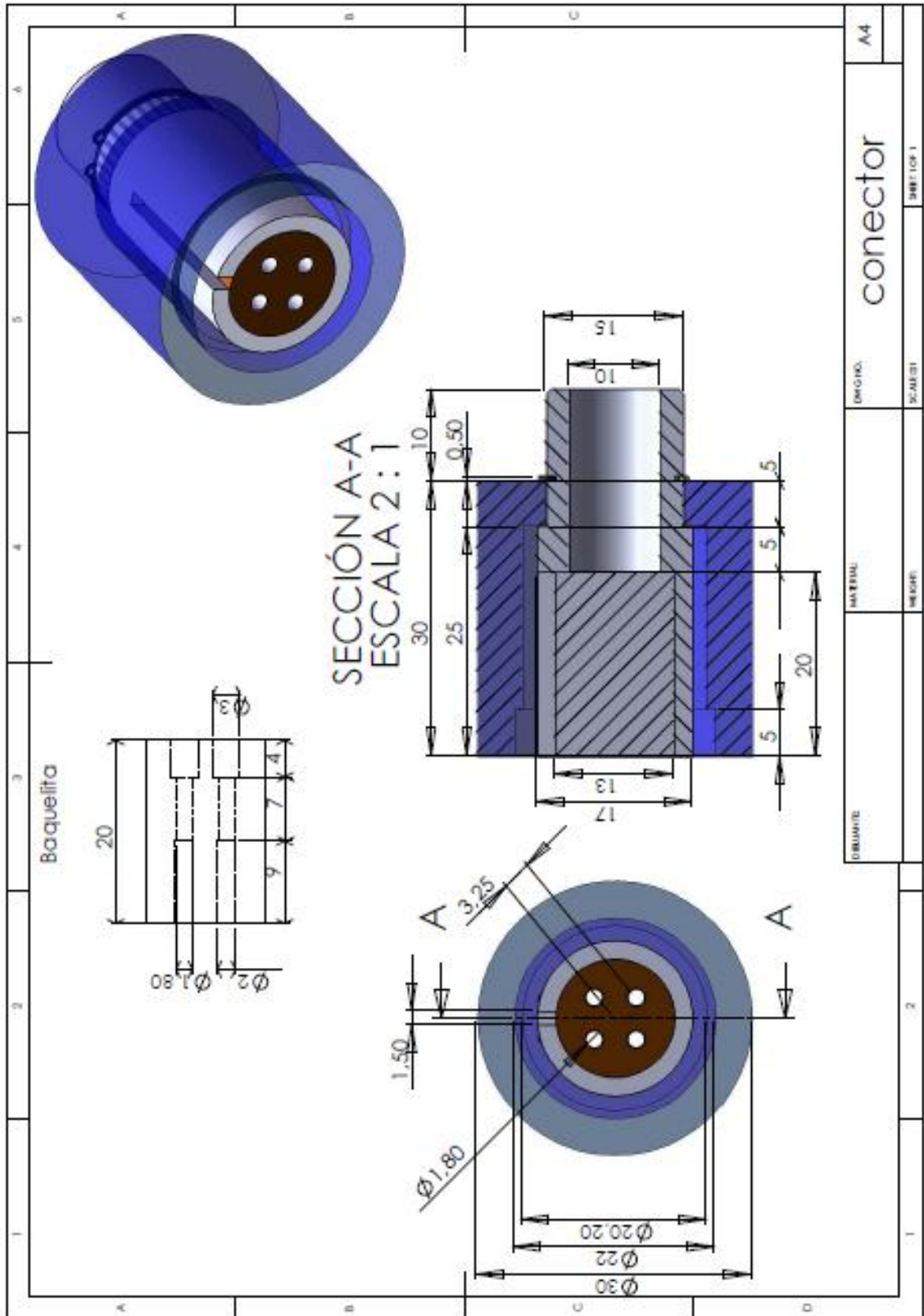
SERVOSISTEMA DE POSICION DE CONTROL AUTOMATICO / PID3\_SYM

 Símbolo	Dirección	Comentario
 PID3_D_Counter	VW540	
 PID3_D_Time	VD484	Tiempo de acción derivativa
 PID3_I_Time	VD480	Tiempo de acción integral
 PID3_SampleTime	VD476	Tiempo de muestreo (para modificarlo, ejecute de nuevo el asistente PID)
 PID3_Gain	VD472	Ganancia del lazo
 PID3_Output	VD468	Salida del lazo normalizada y calculada
 PID3_SP	VD464	Consigna de proceso normalizada
 PID3_PV	VD460	Variable del proceso normalizada
 PID3_Table	VB460	Dirección inicial de la tabla del lazo PID 3

## ANEXO J. PLANO ESTRUCTURA



ANEXO K. PLANO CONECTOR SERVOVÁLVULA MOOG 62



DESIGNO.	conector	HOJA	A4
SCABRIT		SCABRIT	SCABRIT
MATERIAL		WEIGHT	
QUANTIDADE			

## ANEXO L. TABLAS VALORES PID ARDUINO Y S7-200

**Tabla 22.**Valores PID de Arduino.

<b>SERVOVÁLVULA</b>	PROPORCIONAL (P)	0.8
	INTEGRAL (I)	1.5
	DERIVATIVO (D)	0.1
<b>VÁLVULA PROPORCIONAL</b>	PROPORCIONAL (P)	1.5
	INTEGRAL (I)	1.25
	DERIVATIVO (D)	0.1

Fuente: Autores.

**Tabla 23.**Valores PID's PLC S7-200.

<b>PID 0</b>	PROPORCIONAL (P)	12.2
	INTEGRAL (I)	0.01245
	DERIVATIVO (D)	0.001
<b>PID 1</b>	PROPORCIONAL (P)	8.25
	INTEGRAL (I)	0.0125
	DERIVATIVO (D)	0.001
<b>PID 2</b>	PROPORCIONAL (P)	6.7
	INTEGRAL (I)	0.01
	DERIVATIVO (D)	0.001
<b>PID 3</b>	PROPORCIONAL (P)	9.5
	INTEGRAL (I)	0.01
	DERIVATIVO (D)	0.001

Fuente: Autores.