

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**

**SARET  
METALMECANICA**

**SARET METALMECANICA**

**Diseño e Implementación del Sistema de Control Automático  
de una Roladora Hidráulica de Láminas de Acero**

**Informe Final de Proyecto de Graduación para optar por el**

**Grado de Licenciado en Ingeniería Electrónica**

**Jonathan Andrés Campos Fernández**

**Cartago, Enero 2005**

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA  
PROYECTO DE GRADUACION

TRIBUNAL EVALUADOR

Ing. Juan Carlos Jiménez Robles  
Profesor Asesor  
Escuela de Ingeniería en Electrónica  
I.T.C.R.

Firma: 

Ing. Danny Chávez Soto  
Asesor por la empresa  
SARET METALMECANICA

Firma: 

Los miembros de este tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por las Instituciones involucradas en la ejecución de este proyecto.

Alajuela, 20 de enero del 2005.

## Resumen

SARET METALMECÁNICA es empresa líder en la construcción y montaje de estructuras de acero, como tanques, silos, recipientes a presión, tolvas y tuberías a presión, entre otros, para lo que se utiliza la roladora hidráulica para dar forma a estas estructuras.

La roladora, es una máquina que se utiliza para moldear láminas de acero, en la que se le da forma circunferencial completa (se les llama virolas) ó cónica, según sea la pieza que se desea fabricar.

Fue traída al país en el año 1990, es de la marca alemana Heausler, modelo VRM 3100x50, fue fabricada en 1971.

Esta roladora presenta el problema que los rodillos no se posicionan donde se desea, sino que uno de los pistones sube mas que otro y esto crea que el rodillo se incline involuntariamente, lo cual representa un problema, pues la calibración de este se debe hacer mediante métodos visuales, lo que conlleva a una inevitable perdida de tiempo.

Este documento muestra como se establece la estabilidad del sistema a través del modelado matemático en variables de estado, obteniendo la función de transferencia, y cerrando el lazo de control con el debido compensador que hace que el sistema entre en estabilidad aún cuando este se encuentre ante una perturbación

Se diseña e implementa un sistema de control automático basado en un controlador Siemens S7 226, sensores ultrasónicos de distancia, sensores de presión y temperatura, con un panel tipo *touch screen*.

Palabras claves: mecatrónica, automatización, roladora laminas acero, modelado sistemas, control.

## **Abstract**

SARET METALMECÁNICA is a leader company in construction and assembly of steel structures, like tanks, silos, pressure recipients, hoppers, pressure pipes, among others, and uses the hydraulic roller machine to give form to those structures.

The roller is a machine that is used to give full circumferential form to the plates, or conic form, depending of the piece whose want to be made.

It was bring to the country in 1990, German mark Heausler, model VRM 3100x50 and made in 1971.

This roller machine presents the problem that cylinders does not get the whished position, one of the piston up more than the other and it makes that the cylinder incline unwittingly, which represents a problem because the calibration must to be done using visual ways, which lost a lot of time.

This document, show the way how the system will get the stability throw the mathematic modeling in state variables, getting the transfer function, and closing control loop with the required compensator that make the system get the stability even when it is perturbed.

The system that will be installed is an automatic control system based in 226 Siemens controller, distance ultrasonic sensors, temperature, pressure sensors, and a touch screen panel.

Keywords: mecatrónica, automation, steel plate roller, system model, control

## **Dedicatoria**

*A mis padres, a quienes les debo todo lo que soy, quienes con su esfuerzo y sacrificio me impulsaron a seguir siempre adelante.*

## **Agradecimiento**

Agradezco a toda mi familia, a mis primos y primas, a mis ex compañeros y ex compañeras del colegio que siempre me acompañaron en este camino.

A todos aquellos que alguna vez fueron mis compañeros de casa por compartir siempre lo bueno y lo malo.

Agradezco a mis amigos, a mis compañeros del tecnológico.

Gracias al ing. Danny Chávez, al ing Juan Carlos Jiménez Robles, al ing. Rainer Mora, al ing. Aníbal Coto, y al personal de mantenimiento de saret metalmecánica.

A Dios y la virgen

## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Descripción de la empresa</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>Definición del problema y su importancia</b>	<b>12</b>
1.2.1	Roladora hidráulica	12
1.2.2	Pérdidas para la empresa.	15
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>16</b>
1.3.1	Objetivo General	16
1.3.2	Objetivos Específicos	17
<b>2</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Estudio del problema a resolver</b>	<b>18</b>
2.1.1	Reducción del tiempo de rolado	18
2.1.2	Fácil manejo de la máquina	19
2.1.3	Almacenamiento de datos	19
<b>2.2</b>	<b>Requerimientos de la empresa</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Solución propuesta</b>	<b>21</b>
2.3.1	Control de Presión	23
2.3.2	Control de Distancia	24
2.3.3	Control de Temperatura	25
<b>3</b>	<b>Procedimiento Metodológico</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Descripción de hardware utilizado</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Sensores</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Panel de control</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Controlador</b>	<b>29</b>
<b>4.4</b>	<b>Interfase</b>	<b>29</b>
<b>4.5</b>	<b>Esquemático</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Descripción del software del sistema</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Diagramas de flujo:</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Análisis y resultados</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Explicación del diseño</b>	<b>36</b>
6.1.1	Señales a controlar	36
6.1.2	Rodillo inferior	37
6.1.3	Ciclo de subida	38
6.1.4	Ciclo de bajada	39
6.1.5	Inclinación hacia arriba	40
6.1.6	Inclinación hacia abajo	40

6.1.7	Rodillos laterales	41
6.1.8	Ciclo de subida	43
6.1.9	Ciclo de bajada	43
6.1.10	Inclinación hacia arriba	44
6.1.11	Inclinación hacia abajo	44
<b>6.2</b>	<b>Diagrama eléctrico de control de electroválvulas</b>	<b>45</b>
<b>6.3</b>	<b>Modelado matemático del sistema</b>	<b>46</b>
6.3.1	Modelo Pistón	46
6.3.2	Diagrama de cuerpo libre	47
6.3.3	Fuerza de gravedad	47
6.3.4	Fuerza viscosidad	48
6.3.5	Fuerza fricción	48
6.3.6	Fuerza hidráulica	49
6.3.7	Fuerza esfuerzo mecánico	50
6.3.8	Desarrollo	51
6.3.9	Modelado real a partir de los datos obtenidos de la máquina	54
6.3.10	Diseño del compensador	57
<b>6.4</b>	<b>Sistema compensado.</b>	<b>59</b>
6.4.1	Distancias rodillo izquierdo	59
6.4.2	Ángulo entre pistones del rodillo izquierdo	61
6.4.3	Presión de los pistones del rodillo Central	68
<b>6.5</b>	<b>Alcances y limitaciones</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>Apéndice</b>	<b>75</b>
<b>11</b>	<b>Anexos</b>	<b>77</b>
<b>11.1</b>	<b>HOJA DE INFORMACIÓN</b>	<b>77</b>
<b>11.2</b>	<b>Hojas de datos técnicos</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.2.1</i>	<i>Diagrama de los rodillos de la máquina roladora de láminas</i>	13
<i>Figura 1.2.2</i>	<i>Diagrama de los rodillos de la máquina roladora de láminas</i>	14
<i>Figura 2.3.1</i>	<i>Diagrama de bloques del funcionamiento anterior de la máquina roladora</i>	21
<i>Figura 2.3.2</i>	<i>Diagrama de bloques de la solución implementada.</i>	22
<i>Figura 2.3.1.1.</i>	<i>Curva característica de los sensores de presión</i>	23
<i>Figura 2.3.2.1.</i>	<i>Curva característica de los sensores de distancia</i>	24
<i>Figura 2.3.3.1.</i>	<i>Curva característica del sensor de temperatura.</i>	25
<i>Figura 4.5</i>	<i>Esquemático de conexión del hardware utilizado.</i>	30
<i>Figura 5.1.1.</i>	<i>Diagrama de flujo para el control de los rodillos laterales</i>	32
<i>Figura 5.1.2</i>	<i>Diagrama de flujo del control de presión en el rodillo inferior</i>	34
<i>Figura 6.1.2</i>	<i>Diagrama hidráulico del rodillo inferior.</i>	37
<i>Figura 6.1.7.1</i>	<i>Diagrama del rodillo lateral I</i>	41
<i>Figura 6.1.7.2</i>	<i>Diagrama del rodillo lateral II</i>	42
<i>Figura 6.2.1</i>	<i>Diagrama eléctrico de control de electroválvulas</i>	45
<i>Figura 6.3.1</i>	<i>Modelo de un pistón</i>	46
<i>Figura 6.3.2</i>	<i>Diagrama cuerpo libre</i>	47
<i>Figura 6.3.8.1</i>	<i>Lugar de las raíces para el sistema modelado</i>	52
<i>Figura 6.3.8.2</i>	<i>Respuesta al escalón del sistema modelado sin compensar.</i>	53
<i>Figura 6.3.9.1</i>	<i>Datos para el modelado real del sistema</i>	54
<i>Figura 6.3.9.2</i>	<i>Lugar de las raíces para el sistema real.</i>	55
<i>Figura 6.3.9.3.</i>	<i>Respuesta al escalón para el sistema real</i>	56
<i>Figura 6.4.1.1.</i>	<i>Elongación de los pistones del rodillo izquierdo sin compensar.</i>	59
<i>Figura 6.4.1.2.</i>	<i>Elongación de los pistones del rodillo izquierdo compensado.</i>	60
<i>Figura 6.4.1.3.</i>	<i>Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo izquierdo sin compensar</i>	61
<i>Figura 6.4.1.4.</i>	<i>Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo izquierdo compensado</i>	62
<i>Figura 6.4.1.5.</i>	<i>Elongación de los pistones del rodillo derecho sin compensar.</i>	63
<i>Figura 6.4.1.6.</i>	<i>Elongación de los pistones del rodillo derecho compensado.</i>	64
<i>Figura 6.4.1.7.</i>	<i>Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo derecho sin compensar</i>	65
<i>Figura 6.4.1.8.</i>	<i>Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo derecho compensado</i>	66
<i>Figura 6.4.3.1.</i>	<i>Presiones en los pistones del rodillo del centro sin compensado</i>	68
<i>Figura 6.4.3.2.</i>	<i>Presiones en los pistones del rodillo del centro compensado</i>	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.2.2</i> Costo de producción de virorals. ....	15
<i>Tabla 10.1</i> Distancia muestreada de la elongación del pistón a presión constante .....	75

## **1 Introducción**

### **1.1 Descripción de la empresa**

La empresa SARET METALMECÁNICA está ubicada en Río Segundo de Alajuela, 1 Km al este del aeropuerto Juan Santamaría, contiguo a la Zona Industrial Saret, inició labores el 10 de octubre de 1985.

Es empresa líder en la construcción y montaje de estructuras de acero, entre las que se cuentan tanques, silos, calderas, tuberías a presión y grúas móviles. Sus trabajos finales se caracterizan por ser de alta calidad, lo que le ha valido gran reconocimiento nacional, contribuyendo grandemente con el desarrollo del país.

Para lograr lo anterior, la empresa posee la planta más grande de la región y con la mayor capacidad productiva del sector metalmecánico nacional, lo que además posibilita el desarrollo de sus proyectos en el menor tiempo posible.

SARET Metalmecánica ha logrado satisfacer las demandas de clientes tales como, ICE, Componentes Intel, BCR, Trimpot, Palma Tica, Texaco, H.B. Fuller de Centroamérica, Sardimar, RECOPE INCSA, Ingenio Taboga, Cempasa, Laica y Coopelesca, entre otros a quienes se les ha diseñado, fabricado, ensamblado o transportado tanques con capacidades de hasta 100,000 barriles, tuberías de presión y de otros usos como lo son tanques elevados, subterráneos o con techo flotante, de diferentes materiales como acero al carbono, inoxidable o aleados.

También, es quien ha logrado el suministro, fabricación, transporte y montaje de la nueva terminal del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría,

El recurso humano de la empresa varía según la cantidad de trabajo por realizar, recurriendo entonces a la contratación de personal por períodos definidos, por lo que la cantidad de empleado puede variar entre las 120 y 400 personas.

La empresa pertenece al GRUPO SARET, dedicado en términos generales a la construcción, sin embargo la división METALMECÁNICA presenta una estructura organizativa totalmente independiente, administrada por el Gerente General, Ing. Ithel Navarro Barahona.

El proyecto a realizar pertenece al Departamento de Mantenimiento, debido a este departamento es el encargado de todo lo que tiene que ver con el equipo de la planta e infraestructura, aunque la mejora, se realiza para un mejor desempeño del departamento de producción.

El departamento se compone del Gerente de Mantenimiento, el ingeniero Danny Chávez Soto y de un grupo de 7 personas, entre las que se cuentan electricistas, mecánicos y electromecánicos, los cuales se encargan del mantenimiento de la planta.

## **1.2 Definición del problema y su importancia**

### **1.2.1 Roladora hidráulica**

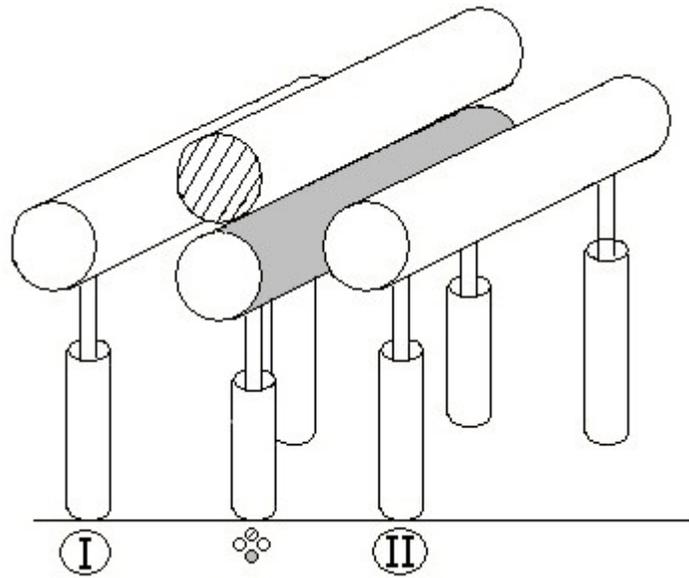
SARET METALMECÁNICA se dedica a la construcción y montaje de estructuras de acero. Todo esto lo lleva a cabo en su planta, en la cual se procesa el material de principio a fin, es decir, se toman las láminas de acero, se cortan, moldean, unen mediante soldadura, se ensamblan y finalmente se pintan.

Para llevar a cabo un proceso es necesario que la pieza de acero pase por diferentes tipos de procesos: corte, formado, armado, soldadura, lijado o limpieza con arena, y pintura

La roladora, es una máquina hidráulica que se utiliza para moldear láminas de acero, en la que se le da forma circunferencial completa (se les llama virolas) ó cónica, según sea la pieza que se desea fabricar.

Tiene capacidad para doblado en ángulo 19 mm (3/4") espesor x 6 metros y rolado 50 mm (2") espesor x 3 metros de ancho, con cuatro rodillos hidráulicos, de los cuales todos ellos son móviles, y son los que le dan forma a las láminas.

Los rodillos de 3100 mm de longitud y diámetro 575 mm, están denotados por: lateral I, lateral II, superior e inferior, de los cuales, el rodillo inferior sirve para presionar la lámina contra el superior, y son los que dan la rotación a la lámina y los rodillos laterales son los que definen la curvatura de la pieza.

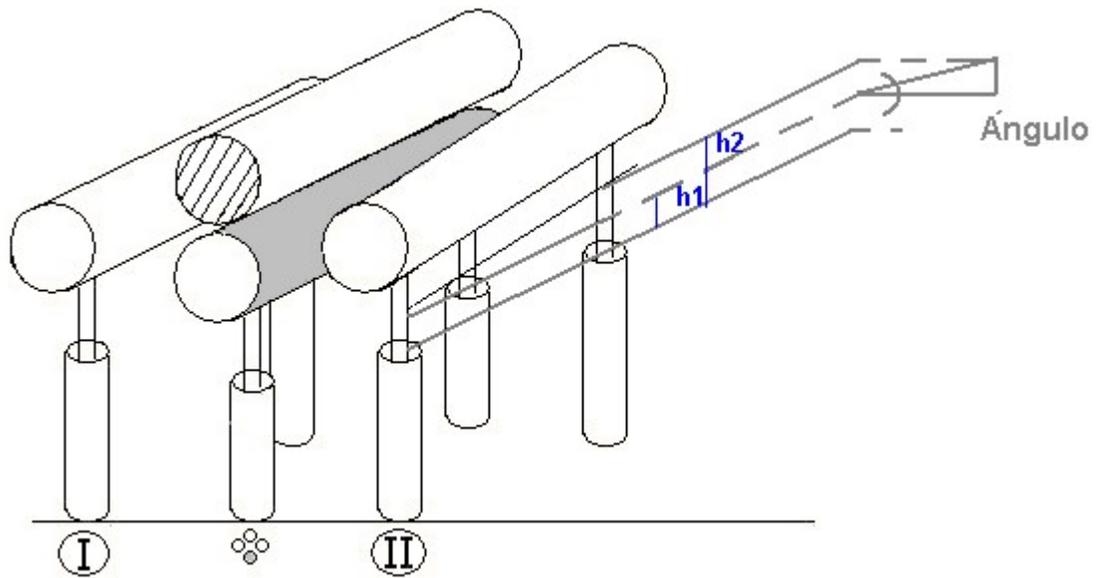


**Figura 1.2.1** Diagrama de los rodillos de la máquina roladora de láminas

Uno de los problemas que presenta esta máquina, es que el rodillo inferior, por condiciones de antigüedad, pierde la presión sobre la lámina y el rodillo superior. Esto ocasiona, que mientras se está rolando la lámina, esta se deslice debido a la rotación de los rodillos, o que la lámina no tome la forma deseada, debido a que el rodillo inferior está por debajo del nivel requerido.

Cuando la pieza cumplió con la curvatura, es necesario que esta se apuntale, o sea, que se unan sus extremos, y esto se hace con la pieza sujeta por los rodillos en la roladora. Este proceso tarda varios minutos, y con el paso de estos, el rodillo inferior pierde la presión que ejerce sobre la pieza, ya que esta no es controlada por ningún dispositivo.

También existe el problema que los rodillos laterales no suben a la misma altura a la vez, y se tiene que estar calibrando o ajustando estos rodillos con la única referencia de un nivel de gota cada vez que se va a rolar una lámina.



**Figura 1.2.2** Diagrama de los rodillos de la máquina roladora de láminas

La calibración de estos rodillos, o más bien, el ajuste de las posiciones de cada uno de los rodillos las realiza el operario, que cuenta con muchos años de experiencia, siguiendo solamente la referencia que le presenta un nivel de gota que coloca su asistente sobre los rodillos, y la experiencia en el trabajo con esta máquina. En este proceso de calibración y ajuste de las alturas y presiones, se pierden por cada lámina o pieza, aproximadamente 15 minutos.

### 1.2.2 Pérdidas para la empresa.

Cada vez que se rola o dobla, una lámina, el operario y su asistente pierden en calibración de los rodillos aproximadamente 15 minutos por cada lámina rolada (virola), y en un día normal de producción en horario diurno, rolan aproximadamente 15 láminas, lo que representa un atraso de casi 4 horas de producción en la planta, ya que el proceso fabricación de la planta es en serie.

**Tabla 1.2.2** Costo de producción de vioralas.

Costo de virola (\$)	Número de virolas roladas por día.	Precio producción por día (\$)	Horas laboradas por día	Costo por hora producción(\$)
80	15	1200	8	150

Esta perdida real de 4 horas diarias en la producción representan un costo de \$1200 por mes, en producción de virolas para la empresa

Además, en el país, solo existen 2 operarios capaces de operar esta máquina, por lo que en ocasiones, cuando el operario en planilla se enferma, o simplemente no se presenta a trabajar, la producción de este tipo de estructuras se detienen por completo en la planta, hasta lograr su retorno u la contratación del otro operario de la roladora, lo cual expone que la producción es dependiente de este operario.

En ocasiones la máquina ha estado detenida hasta por una semana, debido a que el operario no se presentó a laborar, lo que, en una ruta crítica de producción representaría una perdida de hasta \$6000 para la empresa, en una semana.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de control automático para la roladora hidráulica de láminas de acero con el fin de reducir los costos en la producción de virolas, y eliminar la dependencia de la máquina con el operario especializado.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar el funcionamiento de la máquina.
2. Determinar las variables que afectan la inestabilidad de la máquina.
3. Determinar las señales que se deben controlar para lograr la estabilidad de las partes mecánicas.
4. Determinar los sensores que se deben utilizar para lograr cerrar el lazo e control del sistema.
5. Seleccionar el controlador que se ajusta mejor a la aplicación mecatrónica a automatizar.
6. Determinar los modelos de control de lazo cerrado para compensar la inestabilidad del sistema mecatrónico de la máquina.
7. Instalar y realizar prueba de los sensores adquiridos.
8. Analizar el funcionamiento del controlador seleccionado.
9. Realizar la programación al controlador para comprobar el funcionamiento de los sensores.
10. Programar el controlador para que realice las funciones de control automático de lazo cerrado para los diferentes sistemas, así como los requerimientos e monitoreo y registro.
11. Probar el sistema completo, verificando por separado de cada una de las etapas.
12. Realizar pruebas del sistema para confirmar su correcto funcionamiento.

## **2 Antecedentes**

### **2.1 Estudio del problema a resolver**

La automatización del control de la roladora, es un proyecto de gran utilidad para la empresa, ya que generara un mejor aprovechamiento del tiempo de la máquina y también elimina la dependencia de un operario especializado para el manejo de ésta.

También permite colaborar con la estandarización de los procesos de producción ya que los parámetros de elaboración de cada una de las piezas quedan registrados y se puede extraer de esta información los valores acertados para generar estos estándares de proceso.

#### **2.1.1 Reducción del tiempo de rolado**

La reducción del tiempo de rolado se logra cuando las posiciones de los rodillos y las presiones no tienen que ser chequeadas por el operario, si no mas bien, estas se ajusten de manera automática según sean los parámetros que le ingrese el operario.

También se reduce el tiempo total de elaboración de las piezas, ya que durante el proceso, las perturbaciones que afectan naturalmente la máquina, no tienen que detener el proceso para reajustar los parámetros, sino que más bien, éstos parámetros se auto ajustaran gracias al sistema de control automático que se implementa.

### **2.1.2 Fácil manejo de la máquina**

El nuevo control automático, cuenta con una pantalla táctil que permite el despliegue de la información, el ingreso de los parámetros, así como los estados actuales de estos parámetros.

Esta facilidad que nos ofrece la electrónica moderna, permite que el accionar las funciones de la máquina sea muy fácil de entender para el operario, ya que presenta opciones gráficas en pantalla que permiten un mejor entendimiento, reduciendo al mínimo el despliegue de texto, el cual se torna a veces difícil de comprender, y presenta mayores posibilidades de cometer errores pues se puede dar una mala interpretación de la lectura.

### **2.1.3 Almacenamiento de datos**

El almacenamiento de los datos es otro punto importante en el desarrollo de este proyecto, ya que, este almacenamiento de datos permite en primera instancia copiar los movimientos o parámetros que generaron la conclusión de una pieza con éxito, y consecuentemente, retroalimentarlos para agilizar aún más la elaboración de piezas en serie, lo cual es común en esta máquina.

## **2.2 Requerimientos de la empresa**

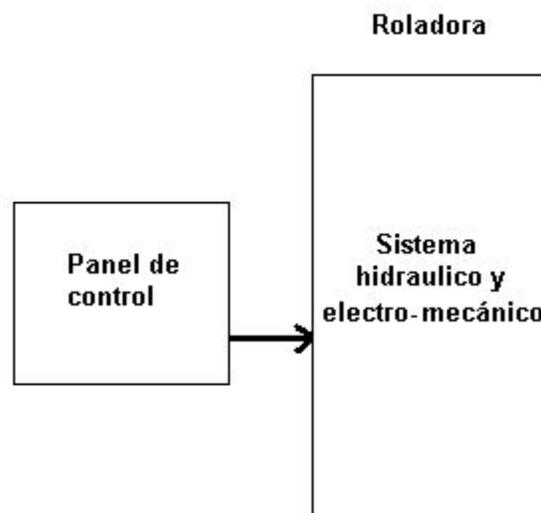
El proyecto nació por la necesidad de la empresa de ahorrar tiempo y dinero debido al atraso que se da por el ajuste empírico de los rodillos de la máquina, tanto como para poder liberarse de la dependencia de un operario especializado.

La producción de este tipo de estructuras es una parte fundamental en la producción total de esta empresa, por lo que la mejora en el rendimiento de esta máquina en particular, va a generar una mejora en general en la producción total de la empresa.

### 2.3 Solución propuesta

La solución propuesta consiste en diseñar e implementar un sistema de control automático para controlar los diferentes procesos que ejecuta la máquina.

La figura 2.1 muestra el funcionamiento anterior de la roladora



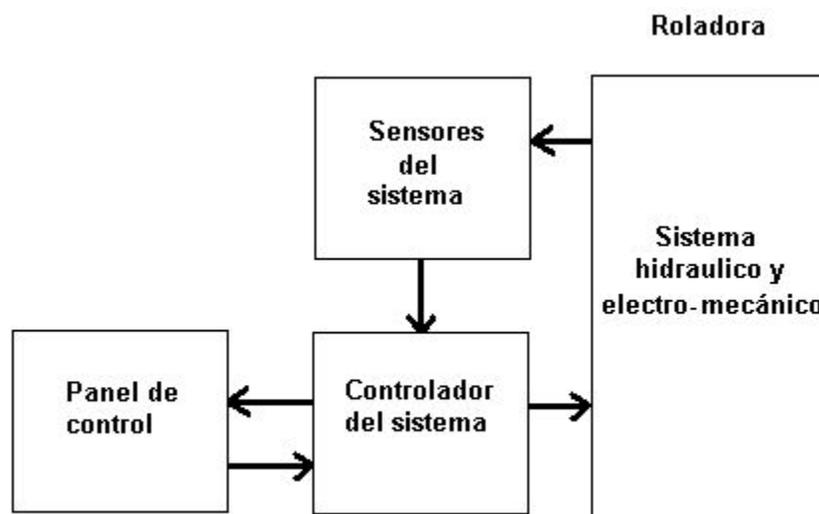
**Figura 2.3.1** Diagrama de bloques del funcionamiento anterior de la máquina roladora

La solución proyectada incorpora al sistema sensores para determinar el estado actual de las partes mecánicas de la máquina.

El panel de operador se convierte también en un sistema de monitoreo, teniendo esta comunicación bilateral con el sistema, con una pantalla tipo touch screen para el manejo de los datos

La presión y las posiciones de los rodillos en ningún momento es retroalimentada para asegurar que se encuentren a las presiones y distancias recorridas, por lo que es importante, como primer paso, cerrar este lazo para lograr la estabilidad, y luego diseñar e implementar el sistema de control automático.

El estado de los sensores será procesado por la unidad de control del sistema, o PLC, quien se encarga de actuar sobre las partes móviles de la máquina.

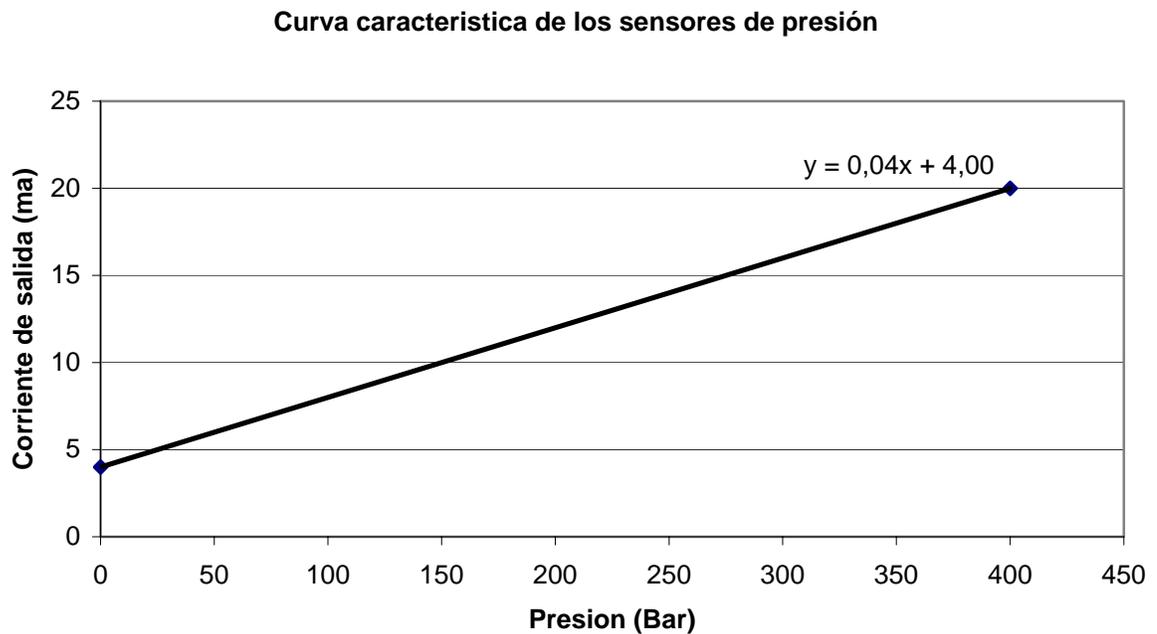


**Figura 2.3.2** Diagrama de bloques de la solución implementada.

### 2.3.1 Control de Presión

Para cumplir este objetivo se instalaron sensores de presión en los pistones que sujetan el rodillo inferior, los cuales deben tener la capacidad de medir entre los 0 y los 400 bares de presión, lo que es en términos físicos una presión bastante alta, considerando que 400 bares son equivalentes 407.888 atmósferas, o 40,000,000 N/m<sup>2</sup>. Tienen un porcentaje de error de 0.5%, e incremento lineal.

La salida del sensor es de 4 a 20 mA

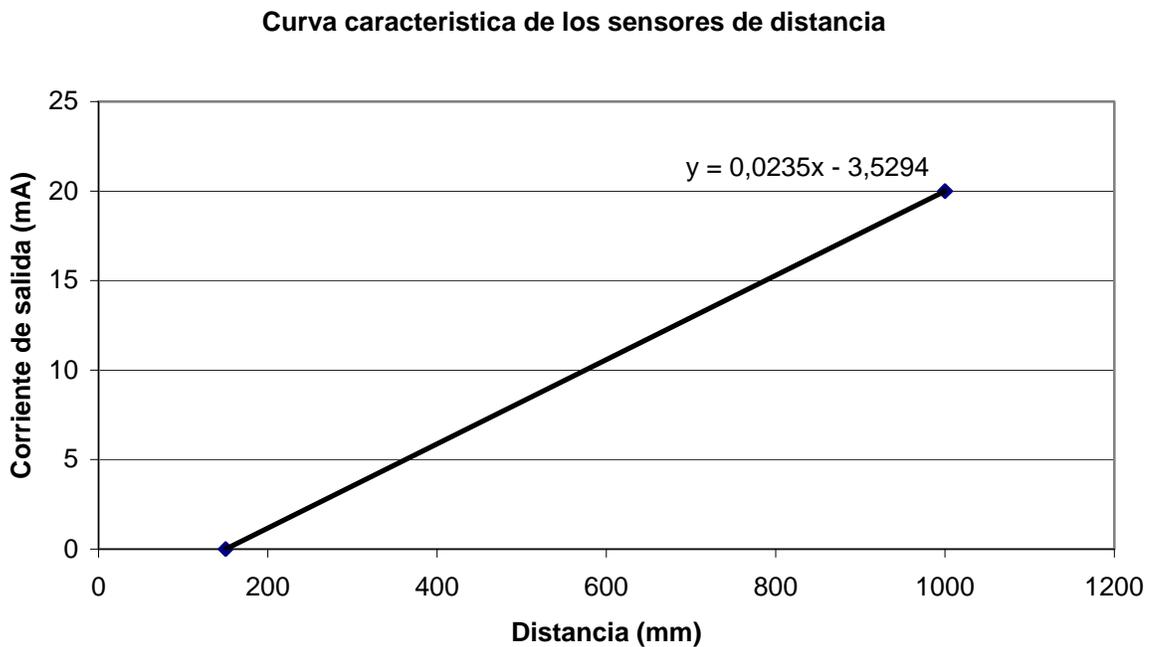


**Figura 2.3.1.1.** Curva característica de los sensores de presión

### 2.3.2 Control de Distancia

Los sensores de distancia, por su naturaleza, por la función a cumplir, y por la posición que ocuparan en la máquina, se eligieron ultrasónicos. Estos sensores ultrasónicos pueden medir distancias de 150 a 1000 milímetros y tienen una incertidumbre de 1 milímetro. Operan a una frecuencia ultrasónica de 200 KHz, y en un rango de temperatura entre  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $+70^{\circ}\text{C}$ , no son influenciados por el color o por la intensidad luminosa, ni se interfieren mutuamente.

La salida del sensor es de a 20 mA



**Figura 2.3.2.1.** Curva característica de los sensores de distancia

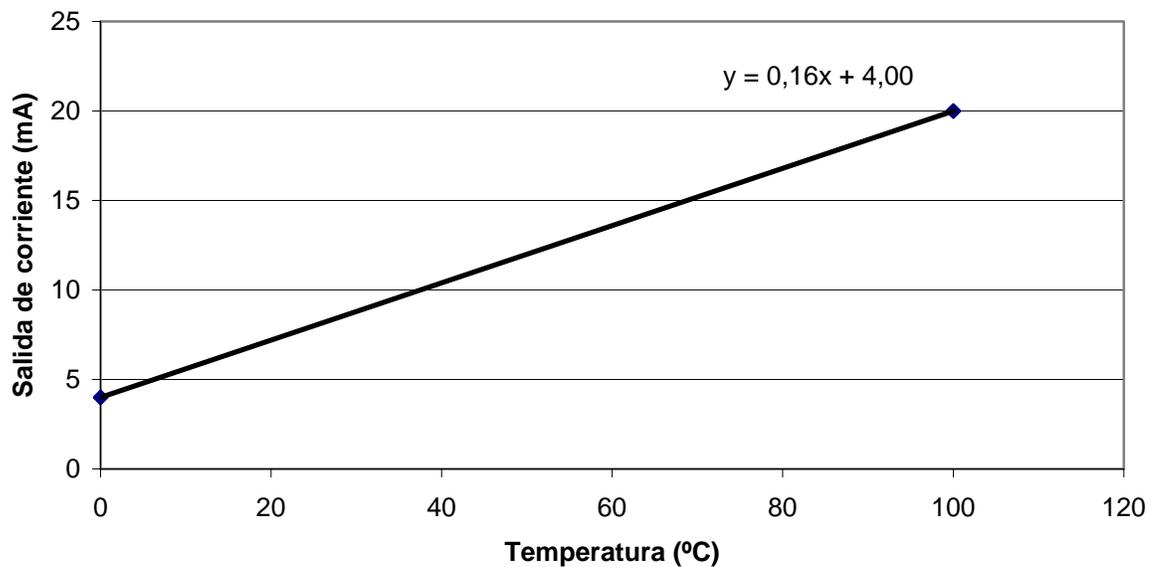
### 2.3.3 Control de Temperatura

El sensado de la temperatura es otro parámetro importante en el diseño de este control, ya que este parámetro medido en el aceite hidráulico, junto con la presión, determinan el rendimiento y la vida útil del aceite y el grado de trabajo de la máquina.

El sensor de temperatura seleccionado presenta características de sensado de temperatura de  $-60$  hasta  $600$  °C y está colocado en el tanque de aceite hidráulico.

La salida del sensor es de 4 a 20 mA

**Curva característica del sensor de temperatura**



**Figura 2.3.3.1.** Curva característica del sensor de temperatura.

### **3 Procedimiento Metodológico**

Para conocer el funcionamiento completo de la máquina, se observó el proceso de fabricación de virolas (láminas en forma circunferencial), y se le formularon al operario las dudas sobre el proceso.

Se revisó el manual de la máquina, y se le consultaron al ingeniero de mantenimiento cuales son las variables que afectan la estabilidad del sistema mecánico del la roladora.

Se determinó que aparte de que la máquina presenta algunas fugas en algunos de los pistones, la inestabilidad de la máquina se debe a que los parámetros del proceso no son retroalimentados, y el ajuste se hacia unilateralmente desde el panel de control y hacia los actuadores del sistema solamente. El estado real de las variables solo era verificado visualmente por el operario y su ayudante.

Para el completo funcionamiento de la máquina, se estudiaron y dibujaron los diagramas hidráulicos y eléctricos que intervienen en los procesos que se deben automatizar, y se establecieron cuales electroválvulas requieren ser controladas.

Crear lazos de retroalimentación, fue uno de los puntos más importantes para lograr la estabilidad, para esto se estudiaron los diferentes tipos de sensores existentes en el mercado, realizando una comparación entre las características que presenta cada uno de los fabricantes.

Se determinó cuales debían ser las características que debe tener un controlador para cumplir con la función de realizar los lazos de control así como las operaciones matemáticas y lógicas para cumplir con el objetivo principal de lograr estabilidad en los parámetros deseados, ya sea, distancia o presión.

Para la estabilidad de los sistemas, es necesario colocar en el lazo de retroalimentación un compensador que lleve el sistema a la estabilidad, y para lograr el cálculo de éste compensador, se requiere el modelo del sistema que se desea controlar, por lo que se procedió a modelar el sistema en variables de estado para obtener de aquí la función de transferencia del sistema.

## **4 Descripción de hardware utilizado**

### **4.1 Sensores**

Los sensores que se utilizan para el desarrollo de este proyecto, tanto como el controlador y la interfase o control de operador, son de la marca Siemens.

Tanto los de presión, distancia y temperatura, cumplen con las características industriales, o sea, deben poder soportar polvo, aceite, humedad, calor, etc, por lo que se seleccionaron sensores que cumplan con las normas IP 65, las cuales indican que los dispositivos van a resistir: 6: protección total contra cuerpos sólidos y polvo, y protección de acceso a las personas de dedos hasta cables, y 5: protección contra aceite, agua, lluvia y cualquier tipo de líquido.

### **4.2 Panel de control**

El panel de control de la máquina era una clásica botonera, en donde para cada función de la maquina existía un botón asignado.

El nuevo control cuenta con una interfase hombre máquina la cual presenta una pantalla de cristal líquido sensible al tacto, ya que esta pantalla cumple con los requerimientos de despliegue e información, así como de ingreso e los datos.

El panel tipo *touch screen* TP 070 de Siemens, tiene un tamaño de 5.7", resolución 320x240 en 4 tonos de azul, pantalla táctil, con grado de protección IP65 también.

Tiene capacidad de 20 imágenes de proceso, mapa de bits, íconos, imágenes de fondo, texto y barras de progreso.

Estas características de modo gráfico en pantalla y acceso al tacto hacen que el acceso e ingreso de la información sea simple sencilla y muy entendible para los futuros operarios de la máquina, uno de los requisitos fundamentales del proyecto.

### **4.3 Controlador**

El controlador utilizado es el S7 226 de Siemens, presenta características de 24 entradas y 16 salidas lógicas, 8 entradas y 8 salidas analógicas en 2 módulos de este tipo, memoria de 8KB de programa y 5KB de información.

Tiene 2 puertos que utilizan el protocolo RS-485 PPI (point to point interface), de los cuales uno de ellos se utilizará para la interfase con el operario y el otro queda libre.

Tiene capacidad de 8 lazos de control PID, y reloj de tiempo real incorporado.

### **4.4 Interfase**

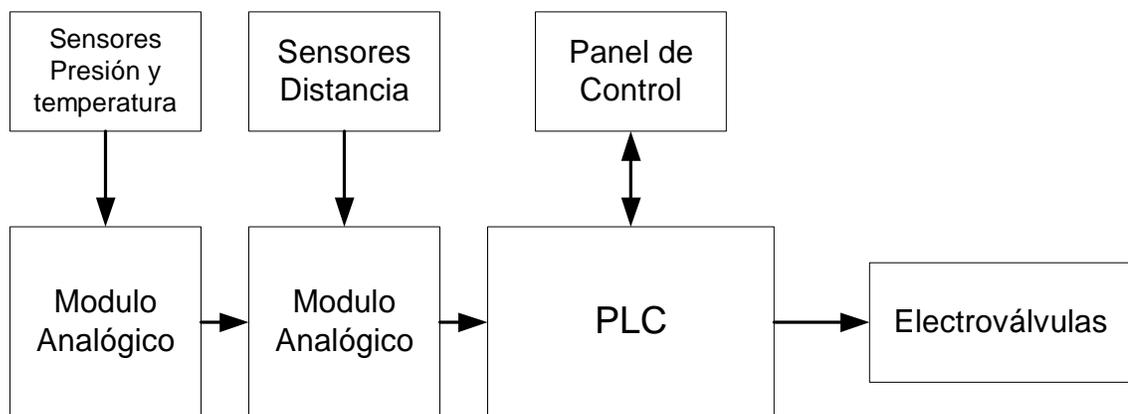
Un elemento adicional al proyecto, es la interfase entre el PLC y una computadora, para almacenar y visualizar los datos que arroje el proceso de rolado.

Este es un elemento nuevo en el proyecto, y tiene la finalidad de poder monitorear en tiempo real las variables, presiones, posiciones, temperaturas, tiempos y conteos, con el fin de estandarizar los procesos.

Por ejemplo, si se va a realizar una serie consecutiva de piezas iguales, entonces, se laborará una de ellas, se revisaran las variables y datos que generó el sistema, se tomarán estos datos y se retroalimentaran al ingeniero de corte y formado y luego, al mismo operador para que ingrese los valores que arrojaron un proceso conforme y estos datos sean un parámetro de estandarización para la programación y elaboración en serie de las piezas.

Para la transmisión de los datos almacenados en el PLC, se utiliza el puerto libre con el que cuenta el Controlador Seleccionado, la información se encuentra actualmente disponible en el puerto, sin embargo no se ha diseñado todavía la interfase, pues no forma parte de los objetivos del proyecto.

#### 4.5 Esquemático



**Figura 4.5** Esquemático de conexión del hardware utilizado.

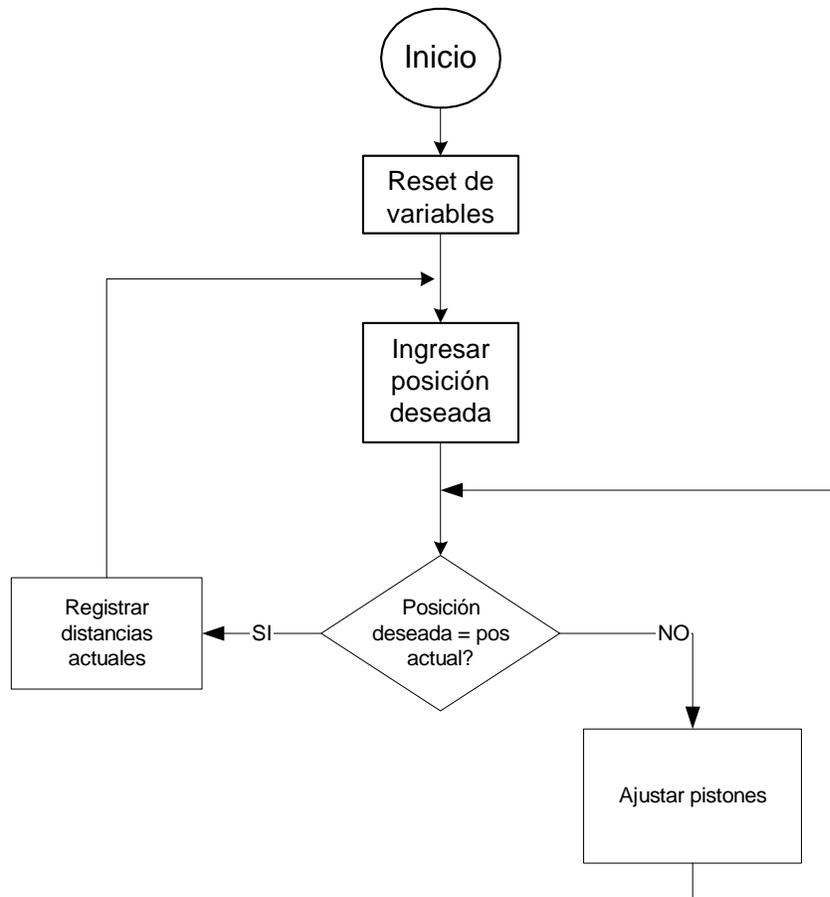
## **5 Descripción del software del sistema**

El software que se utiliza para el desarrollo del proyecto, es el que brinda la empresa fabricante del Hardware, Siemens, y es el Step 7.

Con él se programan en diagramas de escalera las operaciones que cumplen con los requerimientos indicados anteriormente.

La programación Step-7, conforme a la norma IEC-1131, permite combinar distintos lenguajes como: lista de instrucciones, contactos, texto estructurado, Grafcet, Higraph y lenguajes de alto nivel en una misma aplicación.

## 5.1 Diagramas de flujo:

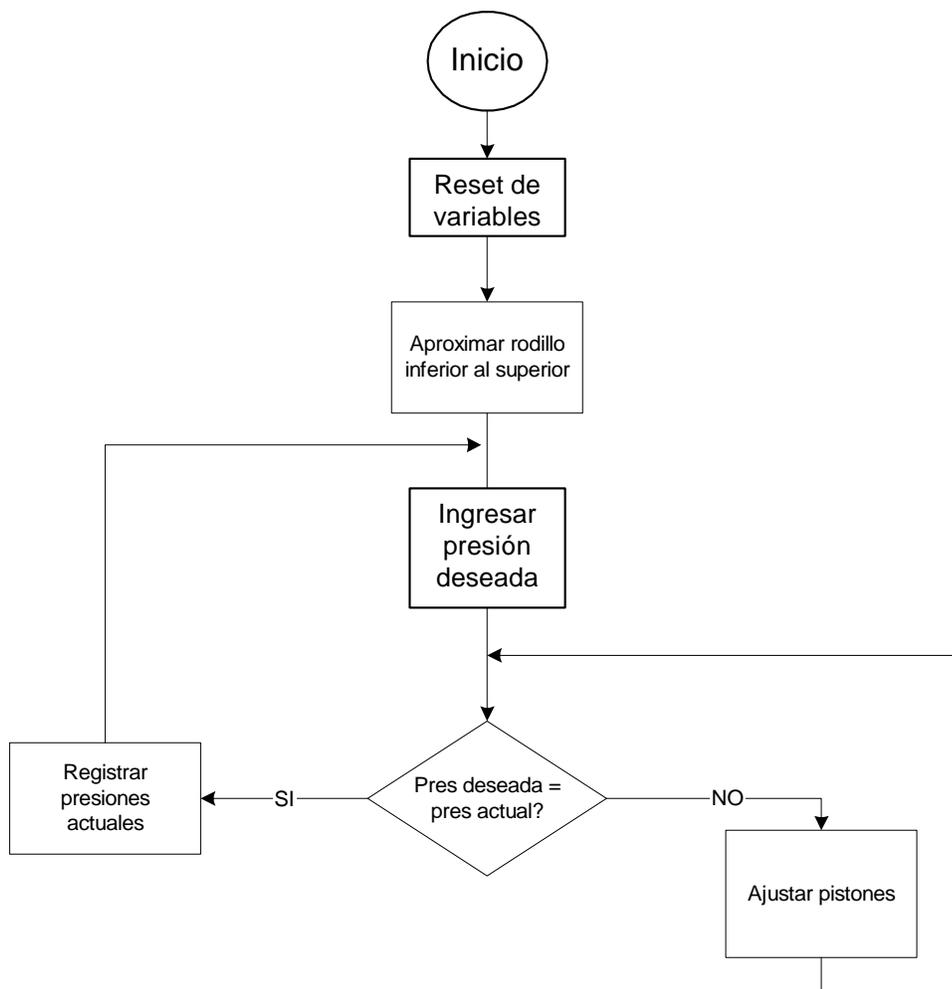


**Figura 5.1.1.** Diagrama de flujo para el control de los rodillos laterales

El diagrama de flujo muestra de forma general la forma de establecer las distancias en los rodillos laterales, como se puede ver en la sección 6.1.7 ambos rodillos laterales son iguales en su forma de funcionamiento.

En la pantalla de control de distancias, se establecen dos recuadros para ingresar distancias, se ingresa la distancia deseada en el recuadro izquierdo y el sistema automáticamente le asigna a ambos pistones la misma distancia a alcanzar, pero si se presiona el botón de cónica, el sistema asigna a cada pistón la distancia respectiva,

El sistema, por su diseño mecánico ajusta siempre ambos pistones a la distancia 1, y luego está en la capacidad de controlar la distancia individual del pistón 2, por lo que para cualquier distancia que se desee establecer en cualquier rodillo, primero se debe establecer todo el rodillo a una cierta distancia y luego manipular la distancia del pistón 2.



**Figura 5.1.2** Diagrama de flujo del control de presión en el rodillo inferior

El diagrama de flujo de la figura anterior muestra forma en la que se programó en el controlador para que el rodillo inferior alcanzara la presión indicada en el panel, sobre el rodillo superior.

Según requerido por el operador de la máquina, cada una de estas presiones en cada pistón del rodillo inferior, se pueden establecer individualmente. Se debe aproximar el rodillo de forma normal ya que el espesor a rolar puede variar, y luego asignarle a cada pistón la presión que debe ejercer sobre el rodillo superior.

Dentro de las recomendaciones se incluirá instalar dos sensores ultrasónicos mas en los pistones del rodillo del centro para que el sistema quede aún mas automatizado, recibiendo como parámetro el espesor de la lámina que se desee rolar, y se elimine esta aproximación de forma manual.

Tanto en la pantalla de presiones como en la de distancias, se encuentra un botón de paro, el cual fue incluido en el caso exclusivo de que se deba detener el sistema en casos de un dato mal ingresado o una situación de emergencia.

## **6 Análisis y resultados**

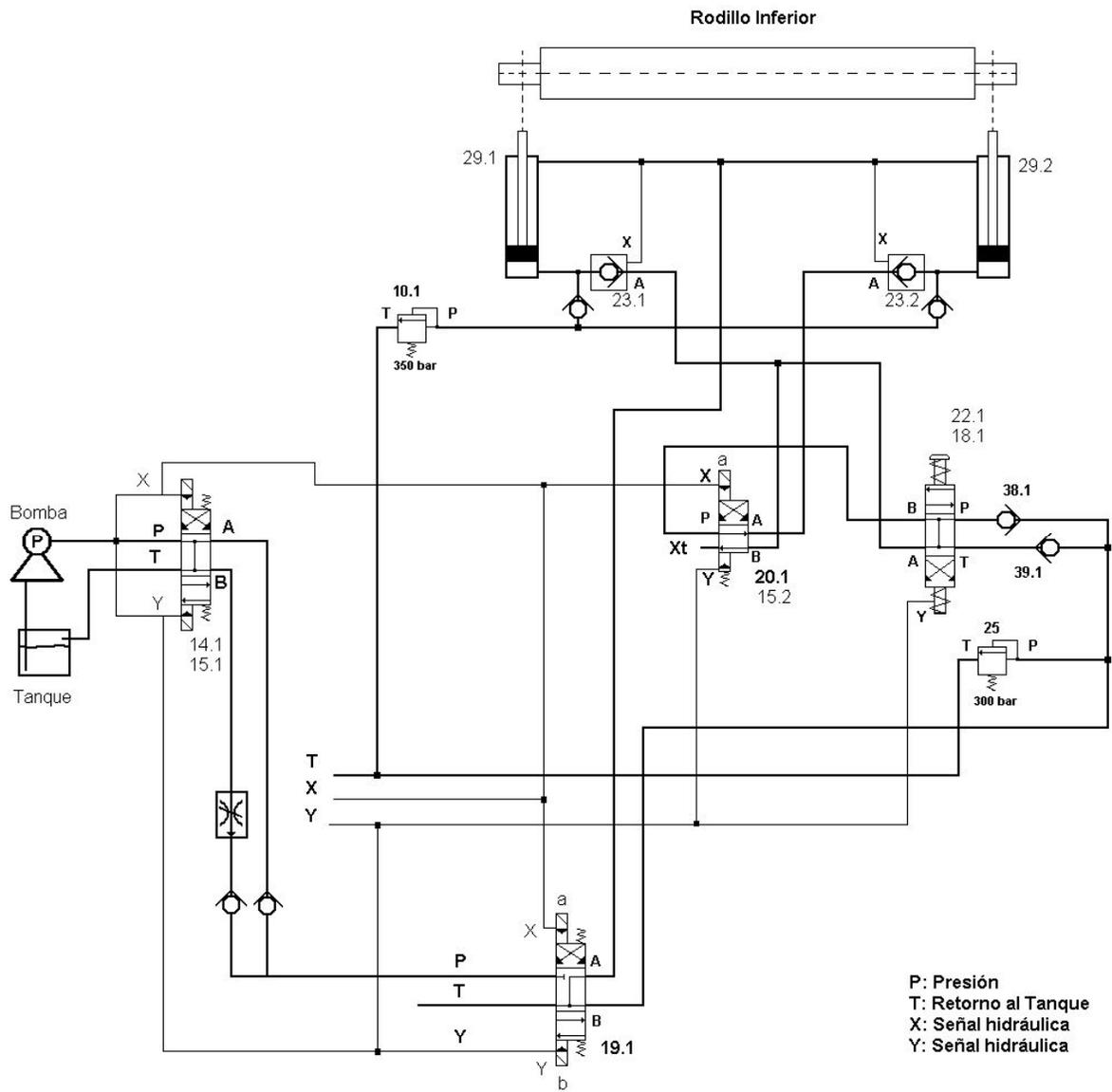
### **6.1 Explicación del diseño**

#### **6.1.1 Señales a controlar**

Una vez establecido los requerimientos que debe tener el equipo para el diseño del control automático, es fundamental conocer los dispositivos sobre los que se debe actuar para poder manejar la máquina.

Para esto se revisaron los planos de la máquina y se procedió a dibujar el plano hidráulico para cada uno de los rodillos, para así, además de comprender el funcionamiento de la máquina, cuales elementos se deben controlar para poder ejecutar las funciones deseadas.

## 6.1.2 Rodillo inferior



**Figura 6.1.2** Diagrama hidráulico del rodillo inferior.

### 6.1.3 Ciclo de subida

El ciclo de subida ó proceso para subir los pistones, debe de inyectar aceite a los dos pistones a la vez por medio del camino que le definan el estado de las electroválvulas.

Cada electroválvula tiene 4 señales hidráulicas: x, y, P y T, además de 2 eléctricas, a y b.

La línea P, es la presión que viene de la bomba hidráulica, y T es la línea de retorno para el aceite en ruta nuevamente al tanque, mientras que las señales x y y, son señales hidráulicas secundarias, las cuales manejan una presión menor a la de las líneas principal y retorno, y que ayudan a la electroválvulas a cambiar de estado, pues estas manejan presiones muy altas, y por sí sola la señal eléctrica no sería capaz de poderla hacer cambiar de estado.

La presión de la bomba pasa primero por la electroválvula 14.1 y llega a la electroválvula 19.1, la cual es una de las más importantes, pues es quien da paso a las consecuentes electroválvulas, pero define el sentido de fluido del aceite hidráulico, y por consecuente, define si los pistones suben o bajan.

La electroválvula 19.1 es del tipo normalmente cerrada, pero tiene 2 estados a los que puede pasar: a, que se activa y empuja la bobina y hace que la electroválvula, cruce el sentido de P y T. Este movimiento hace fluir el aceite hasta la electroválvula 22.1, que es del tipo *bypass*, que deja pasar el aceite hacia las 2 líneas de salida, y estas, una de ellas va directo a la parte inferior del pistón izquierdo, y la otra línea hidráulica va a la electroválvula 20.1, la cual es de 2 estados, y normalmente abierta, y deja pasar la presión a la parte inferior el pistón derecho.

Este trayecto establecido por las electroválvulas 19.1 y 20.1 principalmente, va a generar en el caso ideal, que los pistones se prolonguen y suba el rodillo en forma uniforme, pero como se anotó en la descripción del problema, esta función ya no se realiza a conformidad.

El aceite almacenado en los pistones, sale por la parte superior, y viaja a través de la línea A hasta la electroválvula 19.1, que en a, cruzada, le da paso a la línea de retorno.

#### **6.1.4 Ciclo de bajada**

En el ciclo de bajada igualmente es controlado por 19.1 y 20.1 activando en 19.1 el estado b, deja fluir el aceite en forma directa, conectando P con A y T con B, mientras que 20.1 no se excita.

La presión de la bomba, llega, directamente hasta la parte superior de los pistones, y hace que el aceite desaloje los pistones. El pistón izquierdo desaloja hacia T a través de 22.1, mientras que el aceite del pistón derecho, se desaloja, primero por 20.1, normalmente abierta, y luego también por 22.1 y de aquí hasta 19.1 y la línea de retorno.

### **6.1.5 Inclinación hacia arriba**

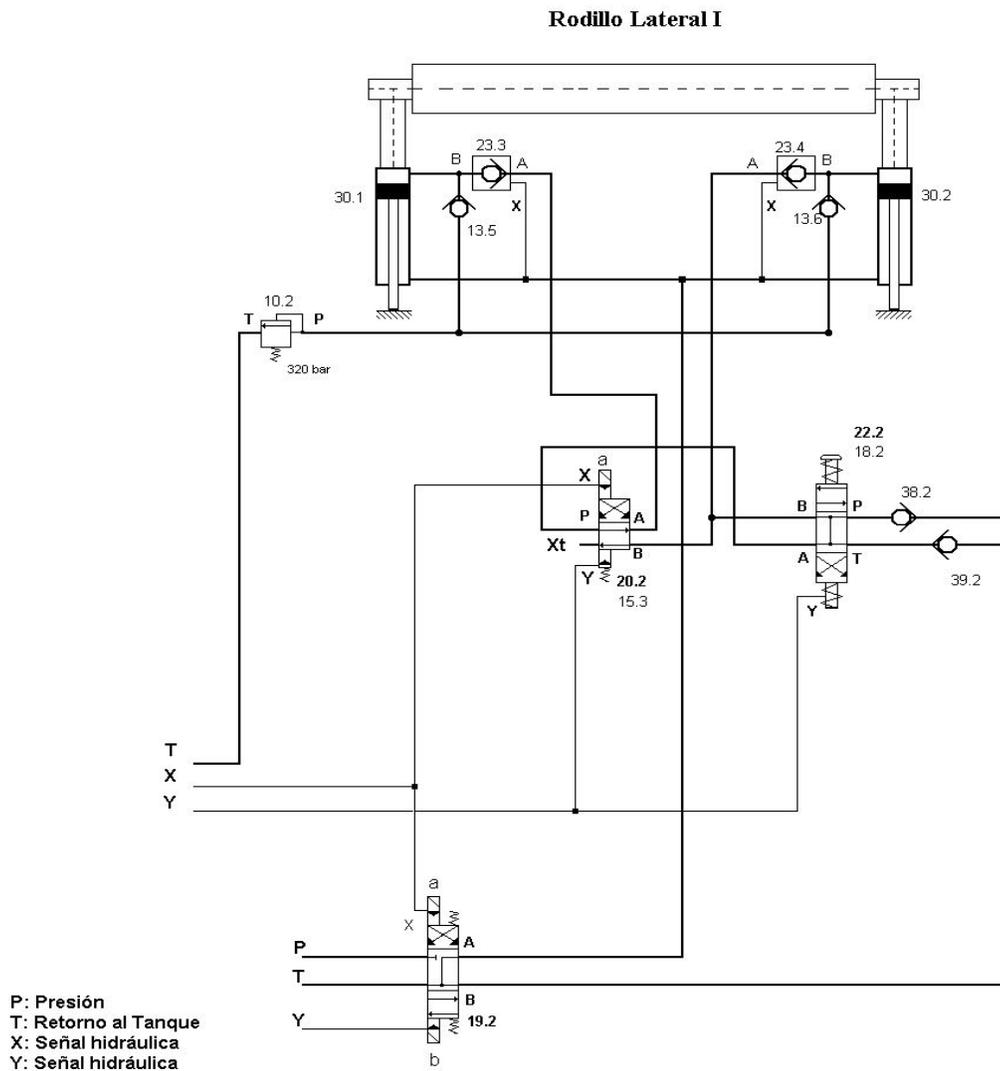
El proceso de angulación es el que coloca los rodillos en alturas diferentes para poder realizar los conos, o superficies cónicas. Este proceso levanta el rodillo del lado izquierdo, ya que el proceso es similar al del ciclo de bajada, pero con 20.1 activada, realiza el cruce de las líneas, y la línea de retorno del pistón derecho, termina en una “línea ciega” que no permite el retorno del aceite de éste pistón, por lo que queda exactamente igual al estado anterior, mientras que el otro pistón, si es levantado

### **6.1.6 Inclinación hacia abajo**

En otro sentido de ángulo, o sea, hacia abajo, es similar al proceso descrito anterior, pero se activa 19.1 en b, y 20.1, esto hace que la presión llegue a la parte superior de los pistones, pero la línea de retorno del pistón derecho termina en la línea ciega de la electroválvula 20.1, y no tiene flujo de aceite, por lo que se mantiene en la posición que estaba, mientras que el pistón izquierdo si tiene flujo hacia el retorno de líquido hidráulico y desciende.

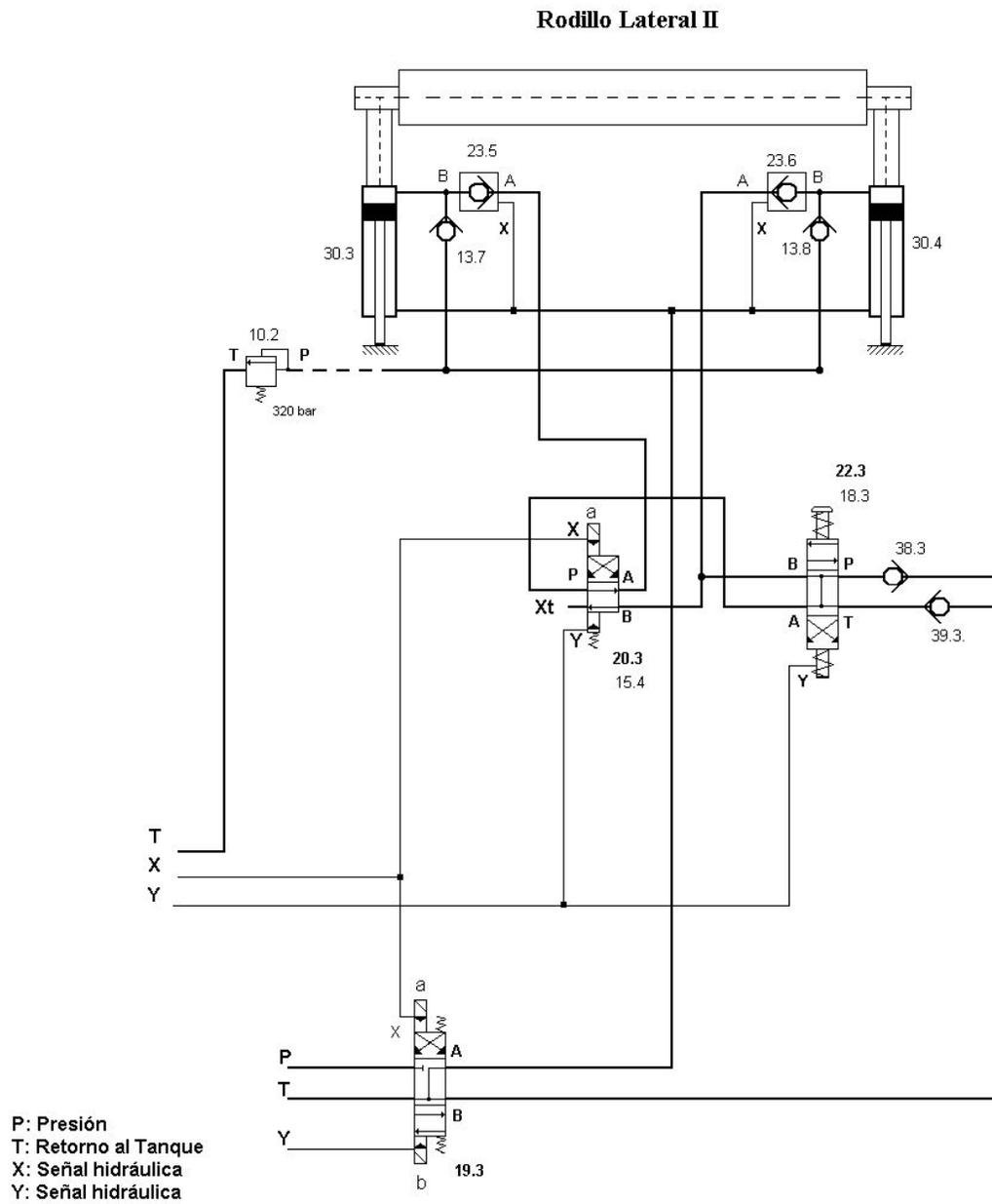
### 6.1.7 Rodillos laterales

Los rodillos laterales en su funcionamiento y diagrama hidráulico son idénticos entre si, pero levemente diferentes al rodillo inferior, por lo que la explicación de su funcionamiento se dará para uno, y no para ambos con el fin de no ser repetitivos.



**Figura 6.1.7.1** Diagrama del rodillo lateral I

Como se puede notar el rodillo 2, en su diagrama y forma de uso es igual al del rodillo 1



**Figura 6.1.7.2** Diagrama del rodillo lateral II

### **6.1.8 Ciclo de subida**

El ciclo de subida se da cuando se activa la electroválvula 19.2 en a, y cruza las líneas P y T con A y B, esto lleva la presión de la bomba de líquido hidráulico hasta la electroválvula 22.2, del tipo bypass, y una de estas líneas va a la parte superior del pistón derecho, y a otra pasa a través de 20.2 y llega también a la parte superior, pero del rodillo izquierdo.

Esta presión aplicada en la parte superior, inyecta el aceite y este retorna al tanque a través T, lo que genera que el rodillo suba. La electroválvula 20.2 es del tipo de 2 estados y normalmente abierta.

### **6.1.9 Ciclo de bajada**

El ciclo de subida se da mediante el accionamiento de la electroválvula 19.2 en el estado b, ésta es del tipo *bypass* de 3 estados. En el estado b, da línea directa a las líneas y la presión de la bomba llega hasta la parte inferior de los pistones, lo cuales están posición opuesta a los pistones del rodillo central, por lo que al ejercer presión en la parte inferior bajan, mientras que los pistones del centro, el efecto es inverso.

El aceite retorna a través una línea de la electroválvula 20.2, y la otra a través de 22.2, en ruta hacia el tanque de almacenamiento.

### **6.1.10 Inclinación hacia arriba**

La inclinación hacia arriba de los rodillos laterales se da, accionando la electroválvula 19.2, y la 20.2. Esto lleva el aceite hasta la parte superior de los pistones, pero, al estar accionada 20.2 hace que una de las líneas de, la del pistón izquierdo, termine en la terminal ciega de la electroválvula 20.2 y no llegue hasta el pistón, por lo que solamente el pistón derecho sube, y logra la inclinación.

### **6.1.11 Inclinación hacia abajo**

El proceso para inclinar hacia abajo, es similar, solamente que el retorno de pistón izquierdo termina en la línea ciega de 20.2, y esto genera que éste no se mueva, mientras que el derecho si lo hace, y esto produce la inclinación hacia abajo.

## 6.2 Diagrama eléctrico de control de electroválvulas

El siguiente diagrama, muestra el diagrama eléctrico que controla las electroválvulas para los procesos descritos anteriormente.

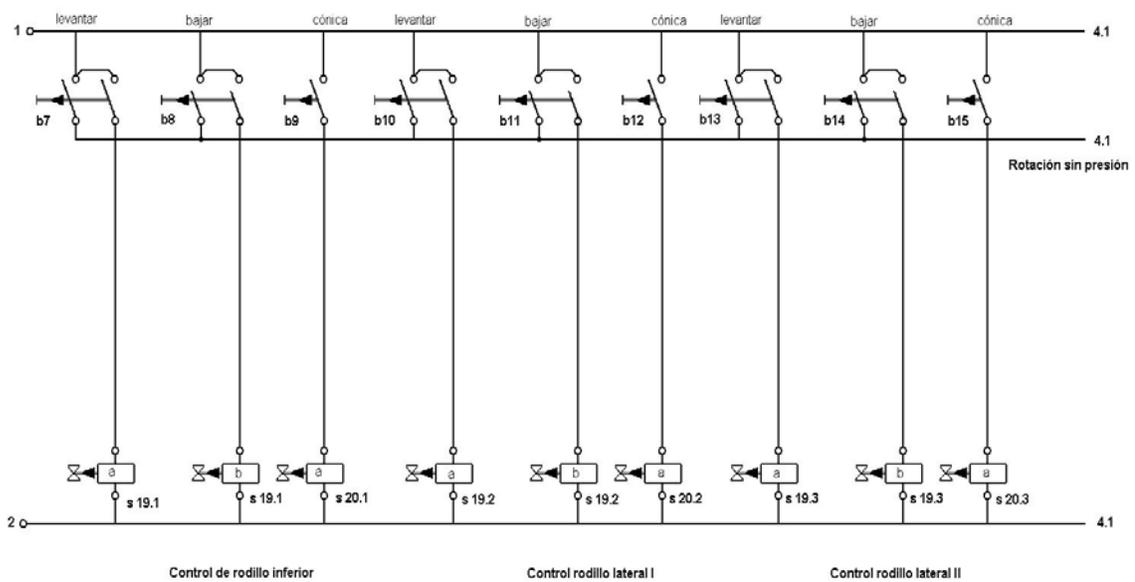


Figura 6.2.1 Diagrama eléctrico de control de electroválvulas

### 6.3 Modelado matemático del sistema

El modelado matemático de los sistemas reales, es una herramienta muy útil para ver, simular y comprobar el funcionamiento de un proceso determinado, ante diferentes circunstancias o eventos.

En el caso de la roladora, además de poder observar el comportamiento matemático de la máquina, es necesario el modelado para poder obtener el compensador que haga que el sistema entre en estabilidad.

#### 6.3.1 Modelo Pistón

El modelo matemático para un pistón hidráulico, considera el peso de las partes mecánicas del pistón, las fuerza de rozamiento entre las piezas, la fuerza de viscosidad del aceite, la fuerza de presión del aceite hidráulico, y la fuerza de esfuerzo de doblado de las láminas.

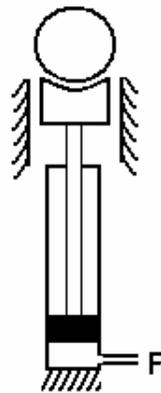


Figura 6.3.1 Modelo de un pistón

### 6.3.2 Diagrama de cuerpo libre

Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que interactúan en cada pistón

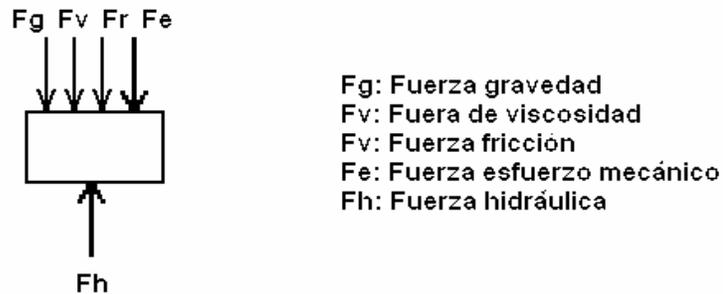


Figura 6.3.2 Diagrama cuerpo libre

### 6.3.3 Fuerza de gravedad

La gravedad es una de las fuerzas que intervienen en diagrama de cuerpo libre que representa matemáticamente el pistón, y es el resultado de la fuerza que ejercen las masas sobre el punto de análisis.

$$F_g = ma \quad (1)$$

$$F = M \frac{dy^2(t)}{dt^2} \quad (2)$$

Masas

$M_R$ : masa del rodillo  $M_R = 7134 \text{ Kg.}$

$M_P$ : masa del pistón  $M_P = 85 \text{ Kg.}$

$M_C$ : masa de conectores  $M_C = 59 \text{ Kg.}$

$$F = 7278 \frac{dy^2(t)}{dt^2} \quad (3)$$

### 6.3.4 Fuerza viscosidad

La fricción viscosa representa una fuerza que es una relación lineal entre la fuerza aplicada y la velocidad.

$$f(t) = B \cdot \frac{dy(t)}{dt} \quad (4)$$

La fricción viscosa está presente en la amortiguación que puede presentar la presión sobre el aceite hidráulico, y es una relación que existe entre la presión aplicada al pistón y el desplazamiento de éste.

Según el ingeniero, la constante de fricción para esta máquina es de 0.01

### 6.3.5 Fuerza fricción

Esta fuerza normalmente es de naturaleza no lineal. Las características de fricción entre dos superficies que se encuentran en contacto, dependen de factores como la composición de las superficies, la presión entre las mismas, su velocidad relativa.

La fuerza de fricción se opone al movimiento de las piezas, esta fuerza es la que ejerce las piezas al friccionarse una contra otra a través de la grasa multipropósito que se usa en las piezas que se desplazan con el movimiento de los pistones.

$$F_r = Ky(t) \quad (5)$$

Según el ingeniero, la constante de elongación que puede presentar para esta máquina es de 0.1

### 6.3.6 Fuerza hidráulica

La función de entrada a la función de transferencia es la fuerza aplicada por la presión de la bomba hidráulica:

$$f(t) \quad (6)$$

La máxima presión que genera la bomba hidráulica es de 400 Bares

$$400\text{Bar} \times \frac{100000\text{N}}{\text{Bar} \cdot \text{m}^2} = 4000 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \quad (7)$$

Área efectiva de presión en el pistón:

diámetro = 340 mm

$$A_p = \frac{0.340^2}{2} \cdot \pi = 0,09078935 \text{ m}^2 \quad (8)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$F_h = 4000 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \times 0,09078935 \text{ m}^2 = 363,1574 \text{ KN} \quad (9)$$

### 6.3.7 Fuerza esfuerzo mecánico

Esta fuerza definida en contra de la fuerza hidráulica, es la que presenta la lámina de acero al doblarse, y es la que se considera como la perturbación del sistema.

El esfuerzo del doblado del acero depende de muchas variables como el espesor de la lámina, el ancho, el tipo de acero etc.

### 6.3.8 Desarrollo

$$f(t) = F = M \frac{dy^2(t)}{dt^2} + B \cdot \frac{dy(t)}{dt} + Ky(t) \quad (10)$$

$$\frac{dy^2(t)}{dt^2} = \frac{f(t)}{M} - \frac{Bdy(y)}{dt} - \frac{Ky(t)}{M} \quad (11)$$

$$y(t) = \iint \frac{f(t)}{M} - \iint \frac{Bdy(y)}{dt} - \iint \frac{Ky(t)}{M} \quad (12)$$

Aplicando transformada de laplace:

$$Y(S) = \frac{F(S)}{s^2 M} - \frac{BY(S)}{sM} - \frac{KY(S)}{s^2 M} \quad (13)$$

Resolviendo para Y(S)

$$Y(S) = \frac{F(S)}{Ms^2 + Bs + K} \quad (14)$$

De aquí se obtiene la función de transferencia

$$G(s) = \frac{Y(S)}{F(S)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K} \quad (15)$$

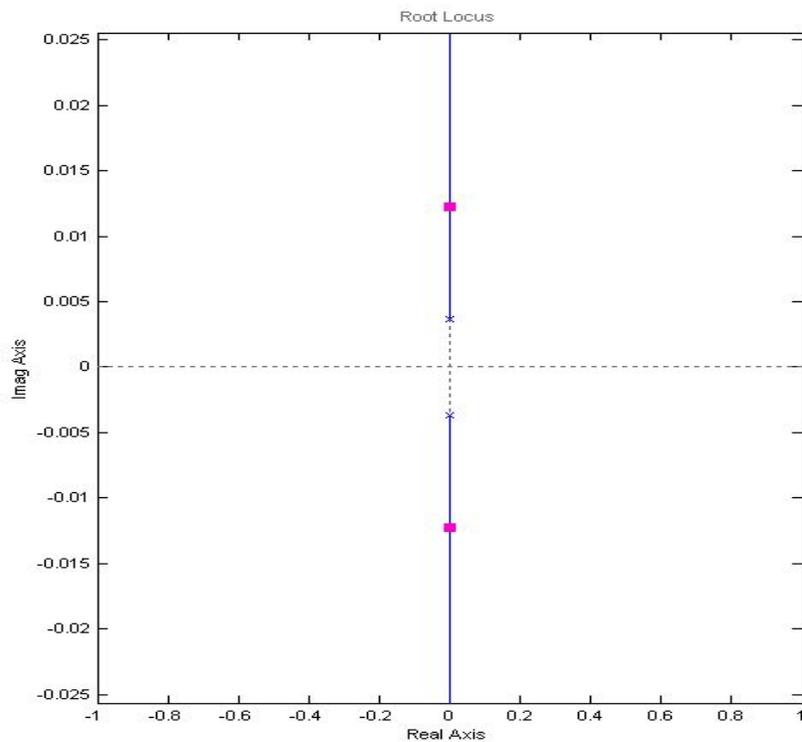
Sustituyendo los valores:

$$G(S) = \frac{1}{7278s^2 + 0.01s + 0.1} \quad (16)$$

normalizando para  $s^2$

$$G(S) = \frac{0.0001374}{s^2 + 1.374e-6 s + 1.374e-5} \quad (17)$$

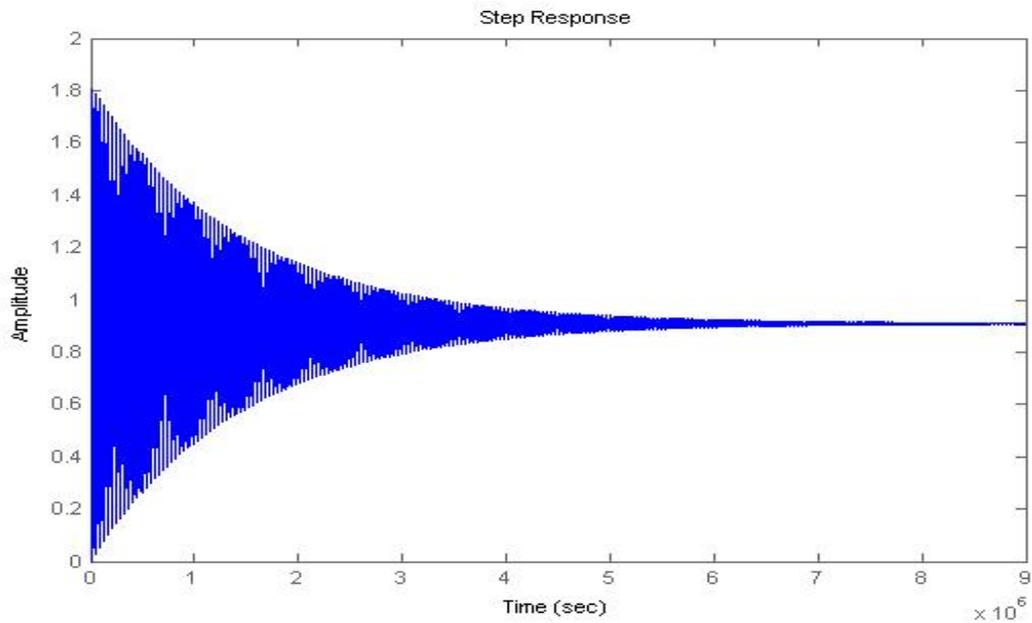
Graficando el lugar de las raíces en MatLab



**Figura 6.3.8.1** Lugar de las raíces para el sistema modelado

En el lugar de las raíces se nota la complejidad del modelo, ya que los polos del sistema se encuentran sobre el eje imaginario, el sistema modelado no presenta ceros reales ni complejos.

El sistema en respuesta al escalón tiene la siguiente forma:



**Figura 6.3.8.2** Respuesta al escalón del sistema modelado sin compensar.

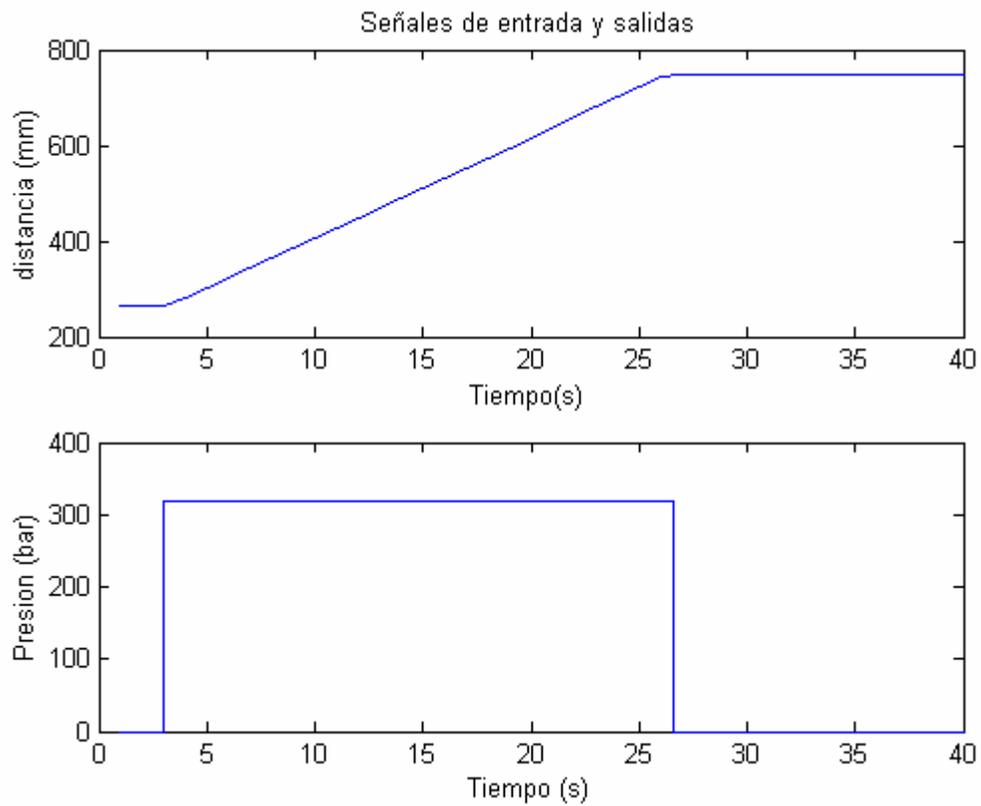
Esta es la forma de la respuesta del sistema modelado a lazo cerrado con una entrada de escalón unitario

El sistema modelado se muestra subamortiguado debido a que los polos son complejos y no presenta ceros. El sistema modelado entra en estabilidad luego de varios minutos, presenta gran sobreimpulso y mucha oscilación.

### 6.3.9 Modelado real a partir de los datos obtenidos de la máquina

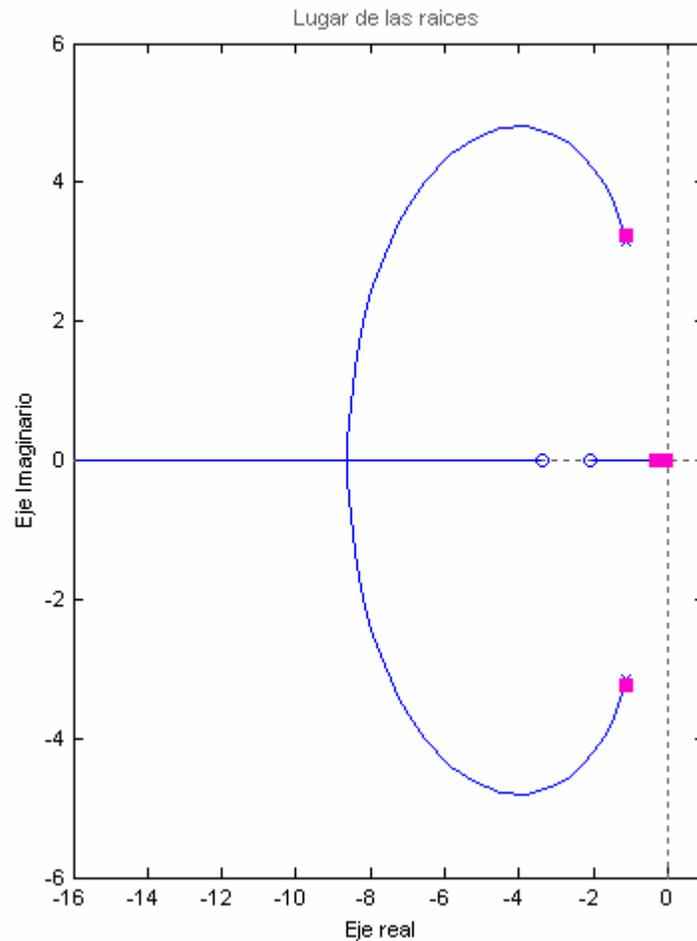
Para el modelado del sistema real, se realizó una muestra de 40 datos de uno de los pistones y se procesó la información con el software matlab

En la tabla 10.1 del apéndice se muestran los datos con los cuales se realizó el análisis.



**Figura 6.3.9.1** Datos para el modelado real del sistema

En el apéndice se pueden observar los pasos que guiaron a la obtención del siguiente lugar de las raíces para el sistema real.



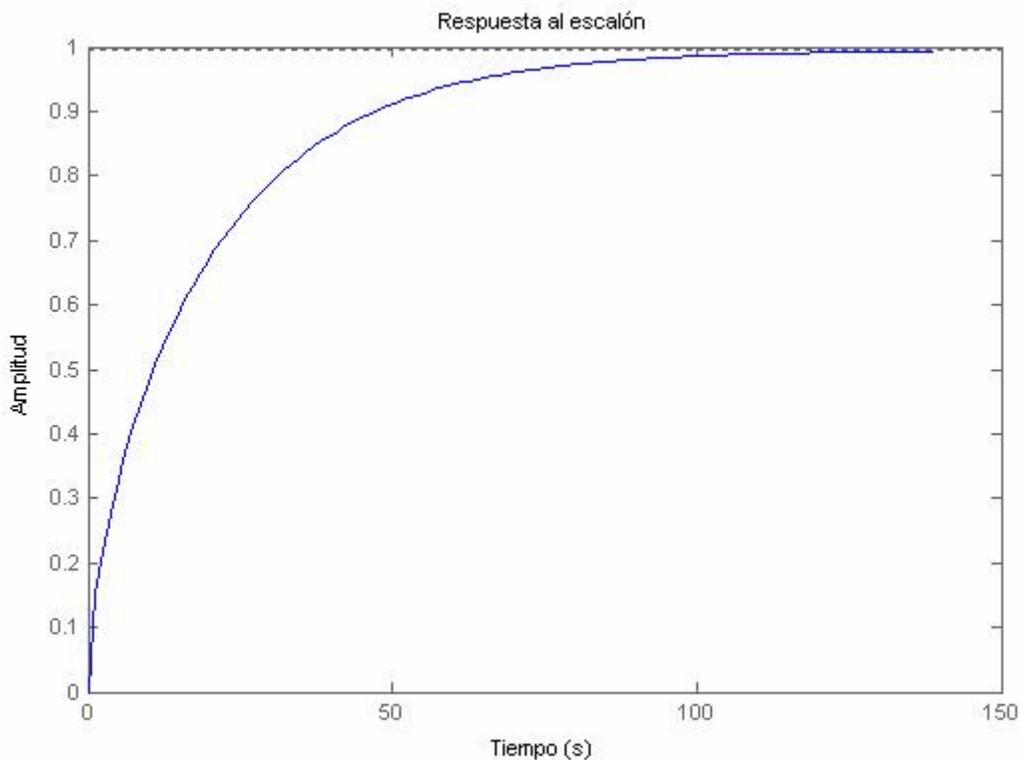
**Figura 6.3.9.2** Lugar de las raíces para el sistema real.

En el grafico anteriores muestran varios polos cerca del origen, los ceros del sistema son complejos, un par de polos complejos hacen que el sistema viaje a hacia ellos y no hacia infinito, los que justifica la inestabilidad

La función de transferencia para el sistema real modelado es:

$$G(s) = \frac{0.1552s^3 + 0.8719s^2 + 1.219s + 0.1623}{s^4 + 2.484s^3 + 11.69s^2 + 2.976s + 0.000881} \quad (18)$$

La respuesta al escalón para el sistema real modelado es la siguiente:



**Figura 6.3.9.3.** Respuesta al escalón para el sistema real

Esta respuesta al escalón obtenida, demuestra que el sistema es por si solo es estable ante una entrada tipo escalón unitario, el diseño del compensador por lo tanto radica ahora en lograr la estabilidad ante una perturbación.

### 6.3.10 Diseño del compensador

El compensador se diseña para lograr que el sistema entre en estabilidad a la hora de perturbarse con un escalón en la entrada de la función de transferencia.

Los parámetros principales con los que debe cumplir el sistema es un tiempo de estabilización no mayor a los 60 segundos que es el tiempo que los rodillos cumplen con todo el desplazamiento, un sobre impulso menor al 5%, pero sobre todo, el parámetro más importante y relevante en el desarrollo del compensador, es que tenga un error de estado estacionario de cero.

$$t_s = 60$$

$$e_{ss} = 0$$

$$M \leq 5\%$$

Para lograr un error de estado estacionario se debe considerar un compensador tipo PID, el cual tiene un polo en el origen, y hace que el error de estado estacionario sea cero.

El compensador PID tiene la forma:

$$K(s) = K \frac{(s + z_1)(s + z_0)}{s(s + p_0)} \quad (17)$$

El sistema, incluye dentro de sus polos y ceros, un polo muy cerca al origen, por lo que la respuesta del sistema ya incorpora un error de estado estacionario de cero.

Se puede notar que existe una gran diferencia entre el sistema modelado ideal, y el obtenido real de la máquina. Esta diferencia se debe a que el modelo ideal del sistema, incluye valores estimados por el ingeniero, los cuales no corresponden a la realidad de la máquina.

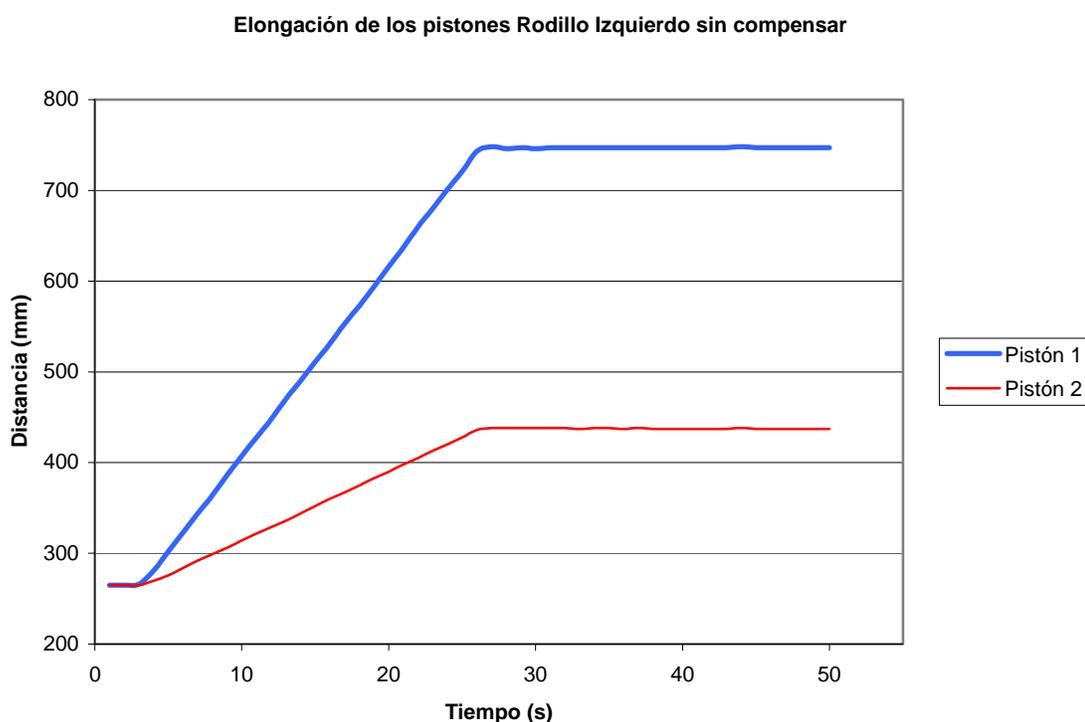
El compensador a utilizar en los lazos de control de distancia entonces se basa en una ganancia que hace que el sistema responda lo más rápido posible para alcanzar las distancias requeridas.

Para el caso del control de presión, ya era conocido desde un inicio que el compensador que cumple con la estabilidad de la máquina es una ganancia, ya que se utilizan las mismas unidades métricas tanto en la entrada del modelo, como en la salida, por lo que el lazo de control se torna un lazo de regulación.

## 6.4 Sistema compensado.

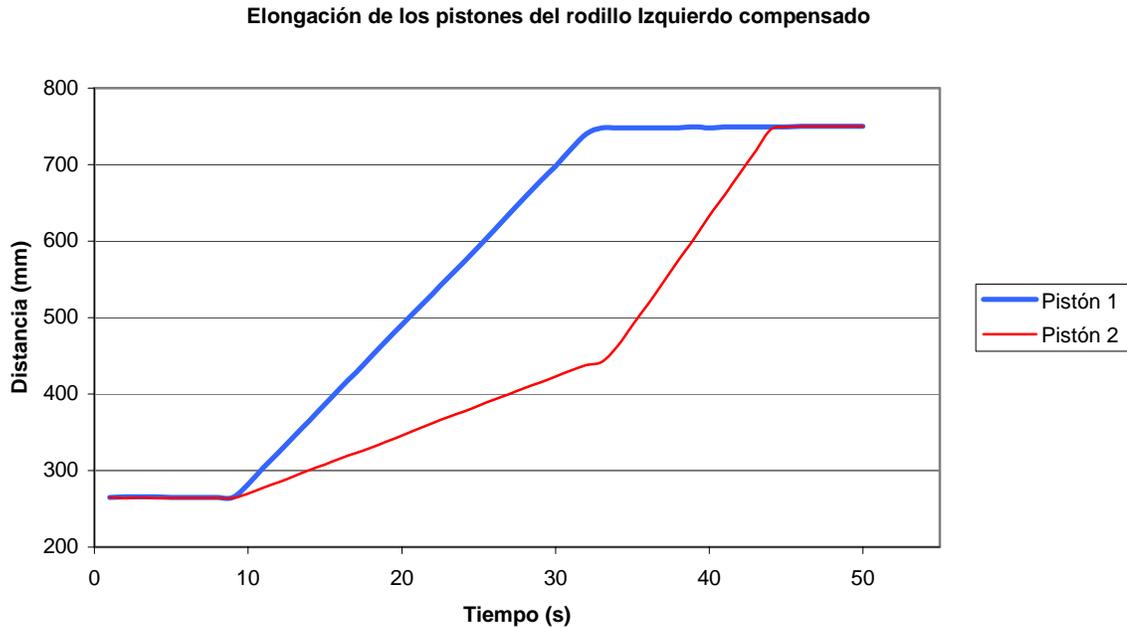
A continuación se muestran las formas de onda del sistema antes y después de haberse implementado el sistema de control automático.

### 6.4.1 Distancias rodillo izquierdo



**Figura 6.4.1.1.** Elongación de los pistones del rodillo izquierdo sin compensar.

Se puede notar en la figura que el sistema sin compensar presenta una gran inestabilidad en alcanzar las distancias idénticas requeridas para poder realizar las piezas. Existe una diferencia de alrededor de 400 mm entre un pistón y otro.

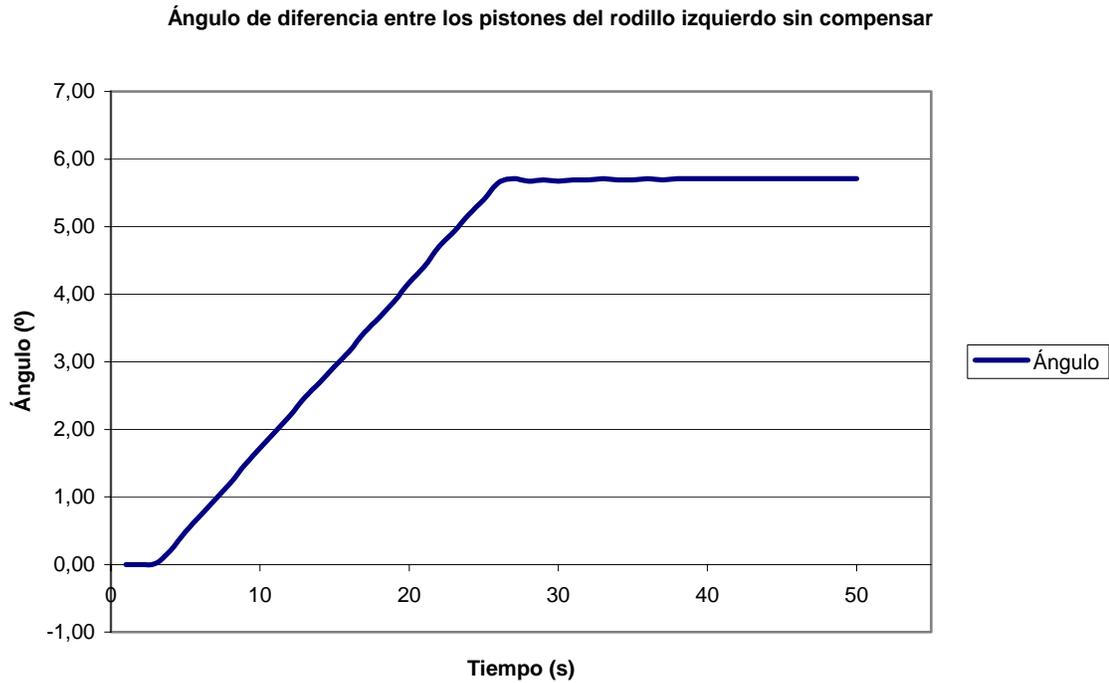


**Figura 6.4.1.2.** Elongación de los pistones del rodillo izquierdo compensado.

En la figura se muestra que los dos pistones alcanzan la estabilidad luego de que el pistón 1 adelanta al pistón 2, una vez que el pistón 1 alcanza la distancia deseada, el pistón 2 por medio del control automático y el mecanismo electromecánico, también logra llegar a la distancia deseada y el sistema se vuelve estable.

Aquí radica el cumplimiento del objetivo principal, ya que en aproximadamente 10 segundos se logra la igualdad de distancia en los pistones y nivel del rodillo, que antes tomaba unos 5 minutos al operario y su ayudante, mas toda la pericia y experiencia para lograr el movimiento exacto de las partes para lograr las distancias deseadas.

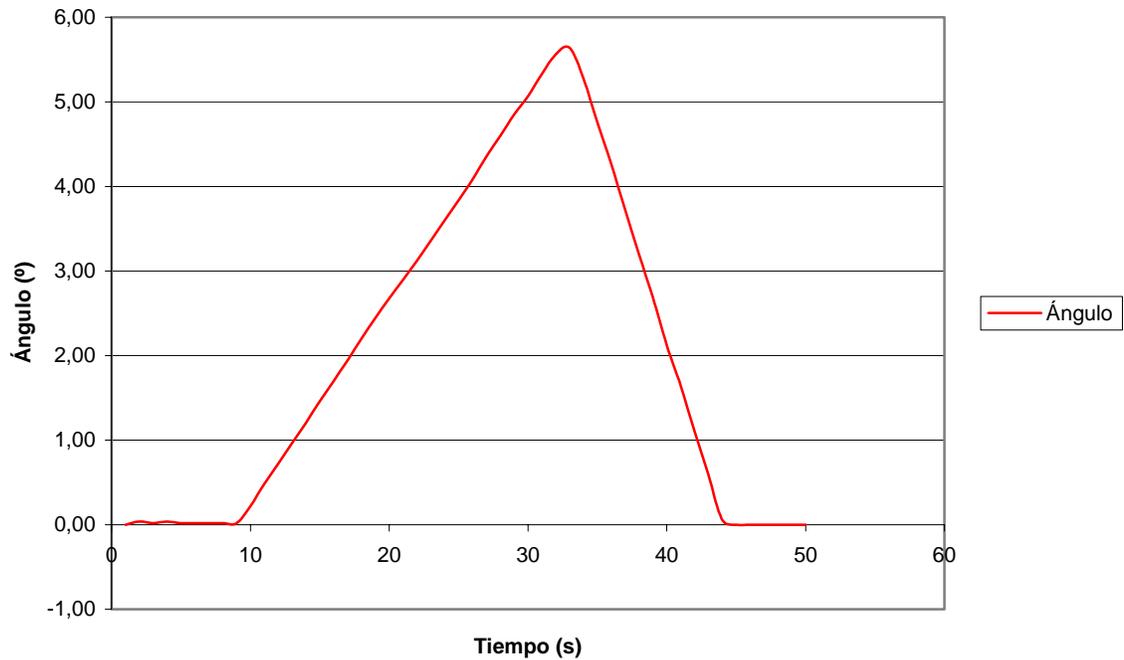
## 6.4.2 Ángulo entre pistones del rodillo izquierdo



**Figura 6.4.1.3.** Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo izquierdo sin compensar

En la figura anterior se muestra que conforme avanza el tiempo el pistón 1 adelanta al pistón 2 formando entre ellos un ángulo de inclinación de hasta casi 5 grados, que no es deseable en el caso de la elaboración de virolas, pues para realizar estas, la distancia entre los pistones debe ser idéntica y por lo tanto el ángulo de inclinación entre estos debe ser 0.

Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo izquierdo compensado.

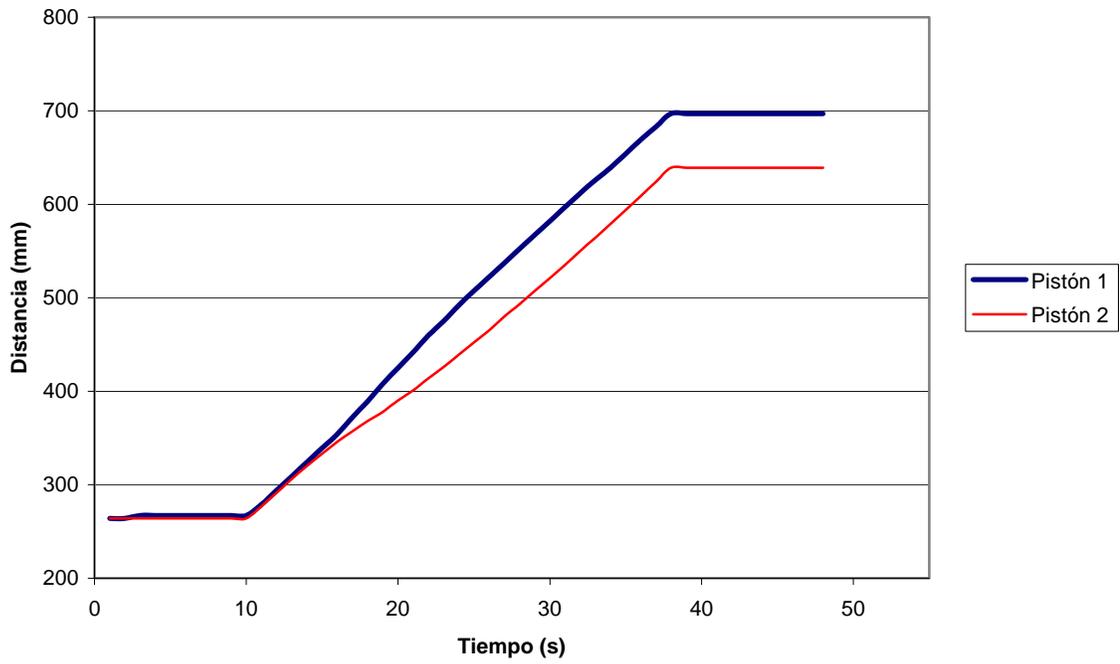


**Figura 6.4.1.4.** Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo izquierdo compensado

En esta figura se ve la variación del ángulo con respecto al tiempo transcurrido

En la posición de reposo, el ángulo de inclinación del rodillo es 0, pero conforme se va subiendo el rodillo, éste va tomando un grado de inclinación, pero una vez que el sistema establece la distancia del pistón 1, el sistema de forma automática, nivela el pistón 2 para que el rodillo alcance el ángulo deseado de 0 grados.

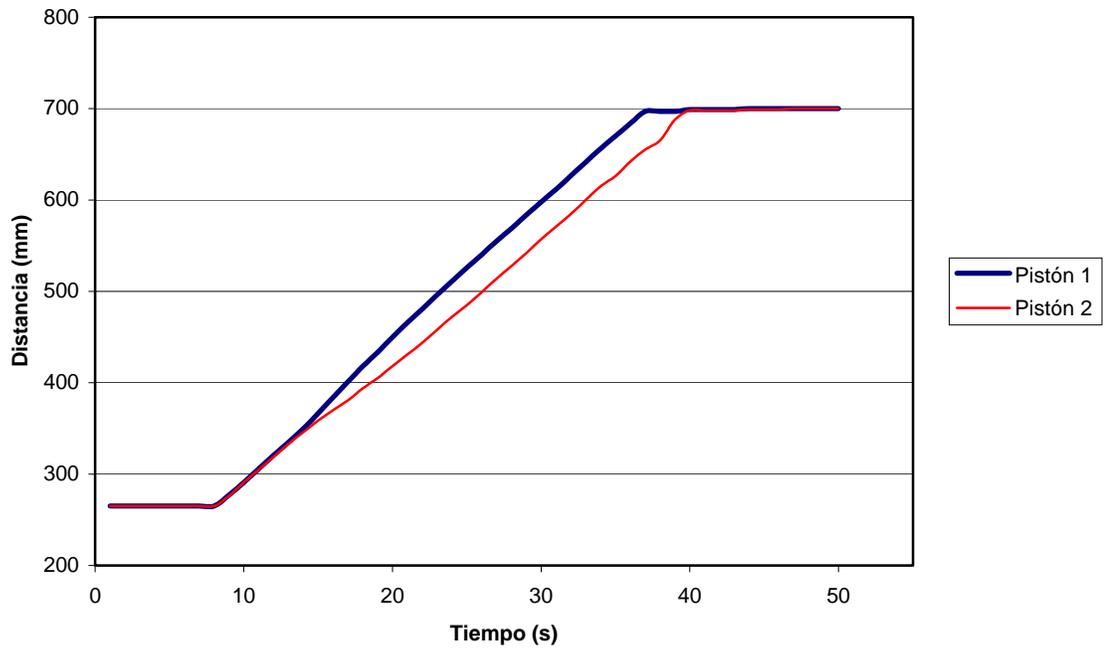
Elongación de los pistones del rodillo Derecho sin compensar



**Figura 6.4.1.5.** Elongación de los pistones del rodillo derecho sin compensar.

Para el caso del rodillo derecho, la inestabilidad es menos crítica, pero aún es significativa, pues una diferencia de alrededor de 60 mm entre cada pistón.

Elongación de los pistones del rodillo Derecho compensado



**Figura 6.4.1.6.** Elongación de los pistones del rodillo derecho compensado.

Nuevamente, el sistema de control, automáticamente ajusta la distancia del pistón 2 para que sea idéntica a la del pistón 1, y el sistema alcanza la estabilidad en aproximadamente 3 segundos.

Ángulo entre pistones del rodillo derecho sin compensar

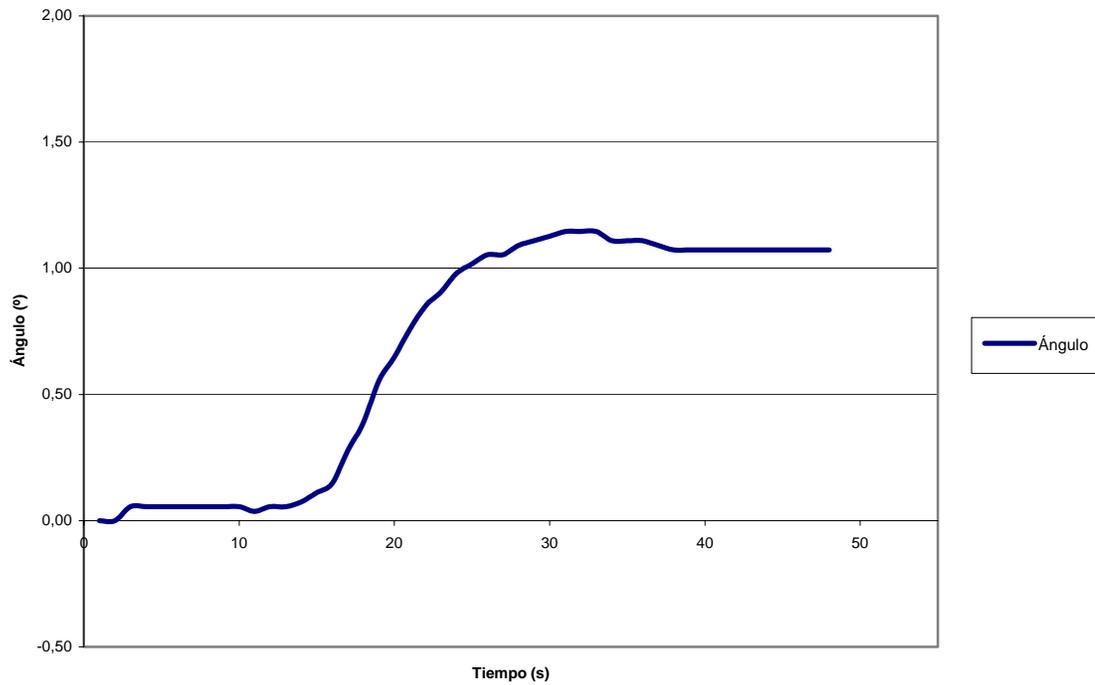
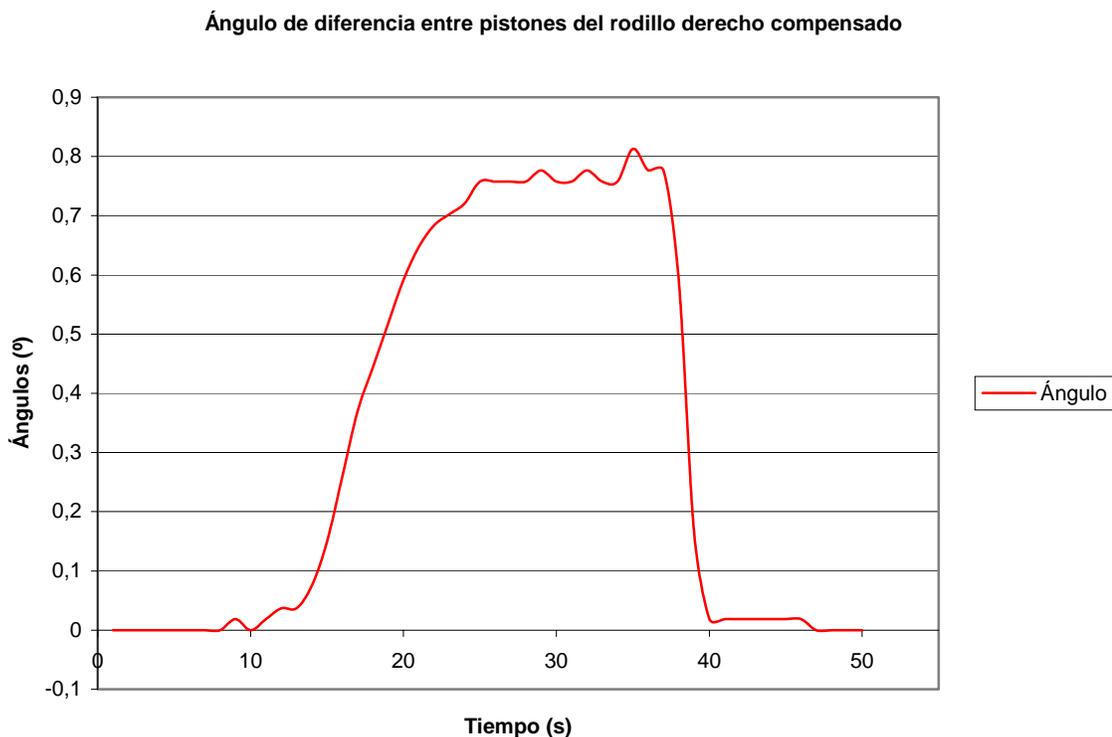


Figura 6.4.1.7. Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo derecho sin compensar

La diferencia entre los pistones forma el ángulo de inclinación del rodillo, ésta inclinación para el caso del rodillo derecho llega a ser mayor de 1 grado.



**Figura 6.4.1.8.** Ángulo de diferencia entre los pistones del rodillo derecho compensado

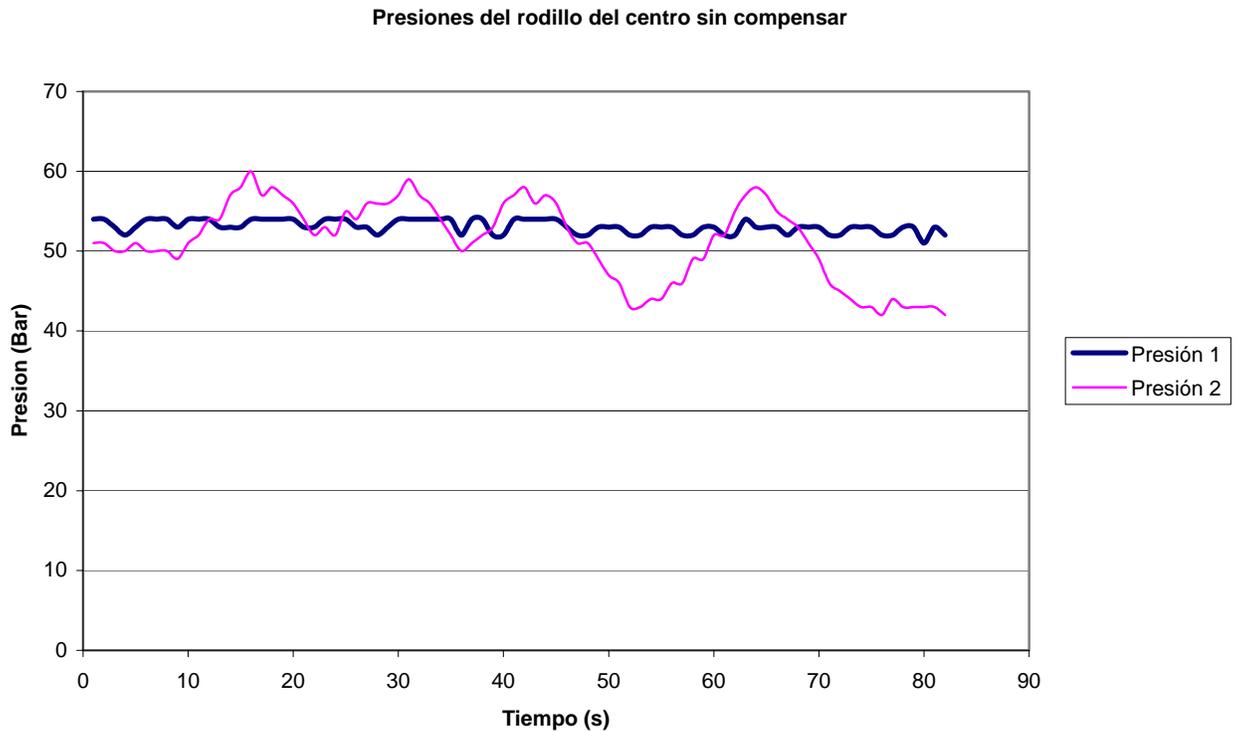
Nuevamente, luego del desplazamiento de los pistones el sistema logra obtener una diferencia de 0 grados de inclinación. En este caso, tal como en el caso del rodillo izquierdo, se nota que el ajuste se hace bastante rápido, pues toda la presión del aceite está siendo aplicada solamente al rodillo desajustado, mientras que en el proceso de subida, la presión se reparte entre cada uno de los pistones del rodillo lateral en cuestión.

Este procedimiento además de hacer mucho más rápido el proceso de rolado pues se elimina la calibración manual con el nivel de gota, hace que, si el sistema es perturbado por el esfuerzo del rolado de las láminas, por una fuga en los pistones o cualquier otra de las variables que afectan la estabilidad de la máquina, vuelva a su estado de estabilidad, debido a que el error que se presenta entre la diferencia del valor actual y el valor deseado, es retroalimentado al sistema a través de los sensores, y compensado.

Otra gran ventaja que presenta el sistema compensado, es que se establecen parámetros para la elaboración de piezas en serie, los cuales hacen que la fabricación de estas piezas sea más ágil y a la vez permite una estandarización de los procesos de rolado de las piezas, lo cual es sumamente importante para lograr luego una certificación ISO.

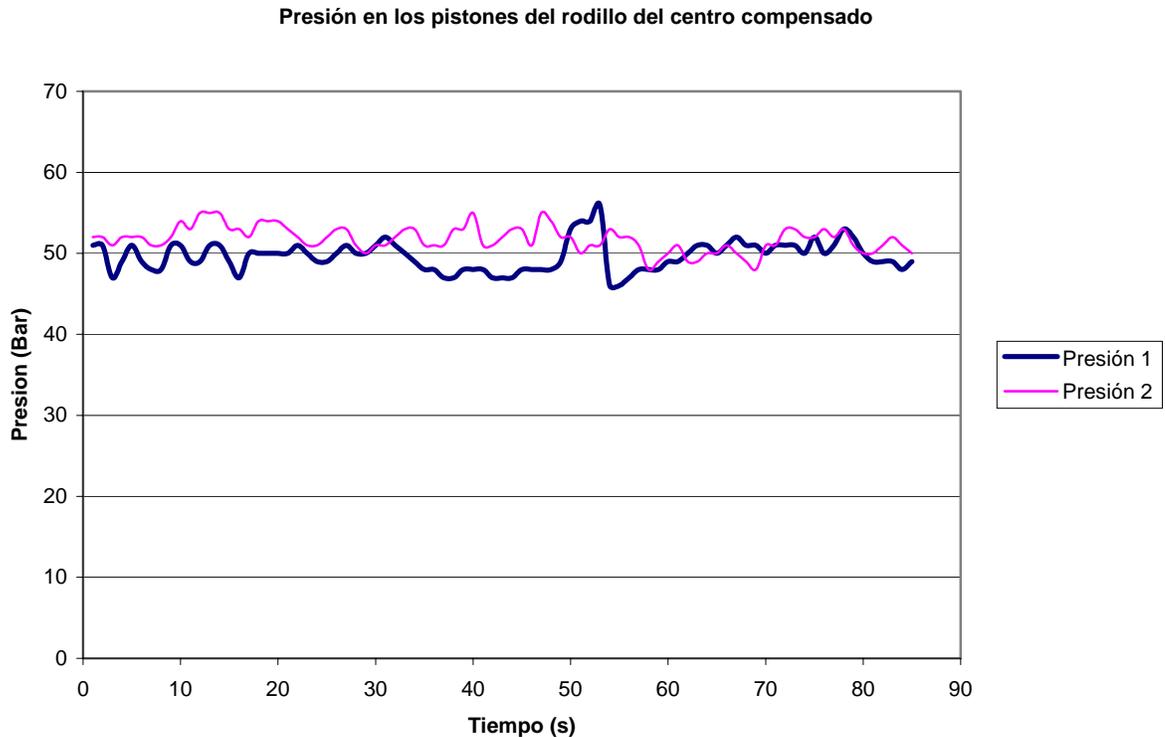
### 6.4.3 Presión de los pistones del rodillo Central

A continuación se muestran las gráficas de las presiones ejercidas en los pistones del rodillo antes y después de haber compensado el sistema



**Figura 6.4.3.1.** Presiones en los pistones del rodillo del centro sin compensado

Antes de compensar el sistema, se puede notar según los datos obtenidos que la presión en uno de los pistones es muy variable y tiene una notable tendencia a disminuir la presión. Esta variación en la presión 2, se debe a que los rodillos ya no presentan una circunferencia perfecta, de hecho existe un desgaste significativo en uno de los extremos del rodillo inferior, y forma más bien ovalada en lugar de redonda.



**Figura 6.4.3.2.** Presiones en los pistones del rodillo del centro compensado

Luego de haberse compensado el sistema, nos encontramos con el comportamiento descrito por la gráfica anterior.

Se puede observar que aún existe la variación oscilante debido a la deformación de los pistones, pero que la tendencia de presión en ambos pistones es hacia una constante, y no descendiente como antes de compensar.

Esto se traduce como una mejora, ya que la presión promedio sobre la lámina tiende a constante y no a una disminución, ya que el sistema compensa la pérdida de presión presentada.

## 6.5 Alcances y limitaciones

La incertidumbre en la distancia de los pistones del sistema actual, es de 2 milímetros, esta incertidumbre se establece de la suma de la incertidumbre de los sensores de distancia junto con la incertidumbre que se produce por inercia de estructuras tan pesadas como 7 toneladas, lo que responde a no lograr un error de estado estacionario de 0. Sin embargo dentro de los parámetros establecidos para la elaboración de estas piezas esta incertidumbre lograda cumple completamente con los requisitos, aún más contando con que la incertidumbre en la medida anterior era completamente establecida por el paralelaje, e incierta durante el proceso

La incertidumbre que presenta actualmente la presión en los pistones es de 5 bares, anteriormente el sistema presentaba una incertidumbre de 10 bares para cada pistón a la hora de calibrar, pero durante el proceso esta incertidumbre se volvía incierta. El instrumento de medición utilizado era analógico y la mínima incertidumbre que presentaba era de 10 bares, por lo que se puede asegurar que el sistema en presión compensado presenta una incertidumbre menor a la anterior.

Otro detalle importante es que se descubrió con la medición electrónica de las presiones, es que uno de los manómetros analógicos con los que se calibraba la máquina presenta una diferencia de alrededor de 5 bar con respecto a la medición electrónica, por lo que, aunque ya no es necesario éste manómetro y se recomienda cambiarlo.

Cada vez que el sistema se detiene, es muestra de una posible medida correcta para la pieza que se está elaborando, por lo que esta medida queda registrada en una tabla almacenada en el PLC, en la cual se guardan los últimos 100 movimientos de cada pistón, realizados por el operador de la máquina.

Todos estos registros junto con los registros de presión y temperatura de la bomba, se encuentran disponibles a través del puerto libre del PLC, para ser accedidos mediante una interfase.

En la pantalla de control se puede monitorear la presión disponible en la bomba, mientras que antes, se debía leer de un manómetro al otro extremo de la máquina, por lo que el operador puede revisar si la presión a disminuido debido al aumento en la temperatura.

Uno de los desaciertos en el desarrollo de este proyecto, es que la temperatura del aceite hidráulico no se está monitoreando, aunque el sensor ya se encuentra debidamente instalado dentro del tanque de aceite, el módulo analógico que proporcionó el vendedor del equipo, no es compatible con el sensor de temperatura y los sensores de presión a la vez.

El modulo cuenta con capacidad para 4 entradas analógicas, de las cuales 3 son de presión y una de temperatura, pero se debe configurar para que realice una de las 2 lecturas a la vez, por lo que se decidió que era más importante realizar las lecturas de presión mientras que se adquiere del proveedor un modulo analógico adicional, el cual debió proveer desde un inicio.

## 7 Conclusiones

1. La variable que más afectaba la estabilidad de la máquina roladora, era la falta de retroalimentación de las variables, ya que la retroalimentación era visual
2. Para controlar los movimientos de cada rodillo, es necesario controlar 2 electroválvulas por cada rodillo.
3. Se puede modelar matemáticamente el comportamiento de un pistón hidráulico, obteniendo su función de transferencia
4. No se puede establecer un error de estado estacionario de 0 mm en rodillos de 4 toneladas con actuadores on-off
5. No se puede establecer un error de estado estacionario de 0 Bar en rodillos de 7 toneladas con actuadores on-off.
6. Se puede realizar un registro de cada una de las distancias válidas para la elaboración de una pieza determinada.
7. Se puede lograr una estandarización de los procesos de fabricación de virolas y conos con un control automático.
8. Se puede lograr disminuir el tiempo de fabricación de virolas con un sistema de control automático
9. Se puede eliminar la dependencia de un operario especializado realizando una automatización del control de la roladora hidráulica.

## **8 Recomendaciones**

Se debe adquirir un módulo analógico adicional para lograr obtener la lectura de la temperatura del aceite hidráulico

Se pueden instalar dos sensores de distancia en los pistones del rodillo del centro para obtener un mejor desempeño de la máquina, ya que así se elimina la aproximación visual de este rodillo y la máquina quedaría con la capacidad de actuar mucho mas rápido de lo que lo hace ahora, recibiendo como parámetro el espesor de la lámina a rolar, o las distancias requeridas para realizar un cono.

Se debe colocar un sistema de enfriamiento del aceite hidráulico, ya que debido a que la máquina trabaja más ahora, el aceite se calienta y pierde su viscosidad lo que hace que los pistones respondan mas lento.

Se debe incluir dentro del mantenimiento preventivo de la máquina, el mantenimiento de los sensores, panel del PLC, y pantalla de control

Se debe generar la interfase entre el sistema y una PC para guardar los datos que registra el sistema y lograr un análisis probabilístico y estadístico de los movimientos válidos, y así tener una base de datos de los parámetros que se deben usar para dar forma a las diferentes piezas.

## 9 Bibliografía

- Haeusler. Manual de referencia de la roladora VRM 3100x50. Versión en alemán.
- Kuo, Benjamín. Sistemas de control automático. Prentice Hall 7ta Edición 1996.
- Interiano, Eduardo. Apuntes de clase del curso control automático. 2003
- Siemens. Manual del sistema de automatización S7-200. Edición 2003.

## 10 Apéndice

**Tabla 10.1** Distancia muestreada de la elongación del pistón a presión constante

Tiempo (s)	Presión (bar)	Distancia (mm)
1	0	265
2	0	265
3	320	266
4	320	281
5	320	302
6	320	323
7	320	344
8	320	364
9	320	386
10	320	407
11	320	428
12	320	448
13	320	470
14	320	490
15	320	511
16	320	531
17	320	553
18	320	573
19	320	594
20	320	616
21	320	637
22	320	660
23	320	680
24	320	701
25	320	721
26	320	743
27	320	748
28	320	746
29	320	747
30	320	746
31	320	747
32	320	747
33	0	747
34	0	747
35	0	747
36	0	747
37	0	747
38	0	747
39	0	747
40	0	747

### Cálculo 1

Utilizando la función ident del software matlab y estimando usando N4SID de la información establecida por la tabla 9.1 se obtiene

$$x(t + Ts) = A x(t) + B u(t) + K e(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t) \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0.99986 & 0.0040326 & 0.00088402 \\ -0.0082673 & 0.78508 & -0.038887 \\ 0.012795 & 0.58022 & -0.35042 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.00013491 \\ 0.006868 \\ 0.20972 \end{bmatrix}$$

$$C = [ 2994.5 \quad -16.431 \quad 3.2435]$$

$$D = 0$$

Utilizando la función ss y tf obtenemos la función de transferencia en tiempo discreto:

$$G(z) = \frac{0.1634 z^2 - 0.1803 z + 0.03394}{z^3 - 1.435 z^2 + 0.1821 z + 0.2525} \quad (3)$$

Trasladando la función discreta a tiempo continuo se tiene:

$$G(s) = \frac{0.1552 s^3 + 0.8719 s^2 + 1.219 s + 0.1623}{s^4 + 2.484 s^3 + 11.69 s^2 + 2.976 s + 0.000881} \quad (4)$$

## 11 Anexos

### 11.1 HOJA DE INFORMACIÓN

#### Información del estudiante:

**Nombre:** Jonathan A. Campos Fernández.

**Cédula:** 6-0293-0596      **Carné ITCR:** 9624622

**Dirección de residencia en época lectiva:** Alajuela, 25 m Este y 50 norte de la estación de servicio la tropicana.

**Dirección de residencia en época no lectiva:** Tilarán, 100 m norte y 75 Oeste del mercado

**Teléfono en época lectiva:** 351-3036

**Teléfono en época no lectiva:** 695-5307

**Email:** [chonta3@costarricense.cr](mailto:chonta3@costarricense.cr)

#### Información del proyecto:

**Nombre del proyecto:** Diseño e implementación del control automático de una roladora hidráulica de láminas de acero.

**Área del proyecto:** Automatización y mecatrónica.

#### Información de la empresa:

**Nombre:** SARET METALMECÁNICA

**Zona:** Alajuela, Río Segundo

**Dirección:** 1 Km al este del aeropuerto Juan Santamaría, 100 mts sur y 25 mts este, pasando por del antiguo cementerio de Río Segundo de Alajuela.

**Teléfono:** 443-0001

**Fax:** 443-9202

**Apartado:** 03-4002 Alajuela

**Actividad Principal:** Construcción y Montaje de Estructuras de Acero.

#### Información del encargado en la empresa:

**Nombre:** Danny Chávez Soto

**Puesto que ocupa:** Jefe de Mantenimiento

**Departamento:** Mantenimiento

**Profesión:** Ingeniero en Mantenimiento Industrial      **Grado Académico:** Bachiller

**Teléfono:** 443-0001

**Ext.:** 312

**Email:** [dchaves@gruposaret.com](mailto:dchaves@gruposaret.com)

## 11.2 Hojas de datos técnicos

### Touch Panel TP 070

#### Parametrización rápida y de alto rendimiento, todo facilidad

Los textos, pulsadores y figuras en el TP 070 se configuran con el software basado en Windows TP Designer, que tiene el mismo aspecto y forma de uso que el software de programación de S7-200, STEP<sup>®</sup> 7-Micro/WIN.

TP Designer puede abrirse también directamente desde Micro/WIN. Forma parte del CD-ROM Toolbox de STEP 7 Micro/WIN.

Se dispone de funciones para pulsadores (lámparas de señalización), imágenes, gráficos de barras, campos de entrada y salida así como textos fijos para manejar y supervisar máquinas así como para tareas de visualización dinámicas.

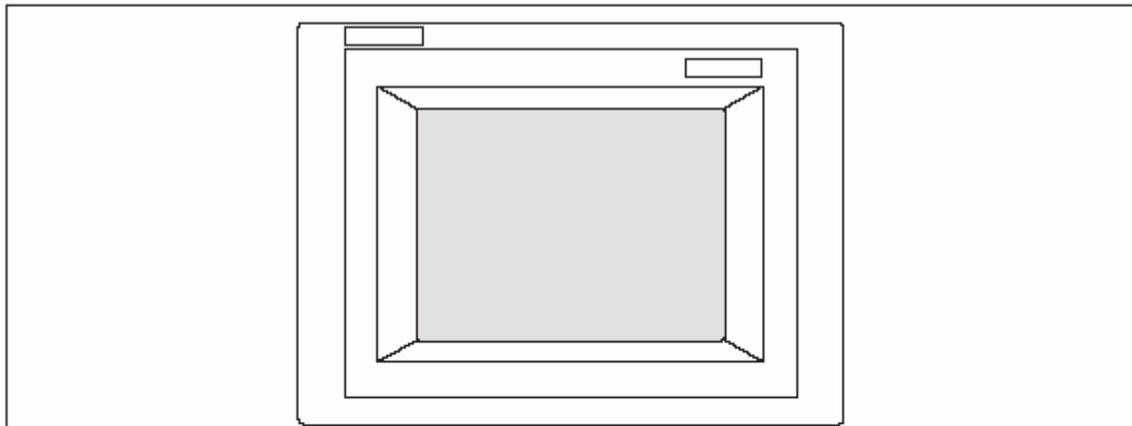
#### Características destacadas

- Equipo de entrada de gama de precio favorable y con las funciones básicas requeridas
- Mínimos tiempos de configuración y puesta en servicio
- Conectable a SIMATIC S7-200
- Económico en la explotación gracias a construcción libre de mantenimiento y alta vida útil de la retroiluminación, 50.000 h (equivalente a 6 años funcionando las 24 horas)
- Bus en lugar de cableado paralelo
- 1 idioma online y 5 idiomas offline (al/es/fr/in/it)
- La configuración en el equipo de programación (PC/PG) se puede realizar en varios idiomas. No obstante, en el TP 070 siempre se carga sólo un idioma
- Proyección de futuro gracias al sistema operativo estándar innovador Windows CE
- Está disponible una caperuzas de protección para obtener grado de protección NEMA 4 o como protección adicional contra ensuciamiento y rayado.

### Datos técnicos

	TP 070
<b>Pantalla</b>	Pantalla de cristal líquido (LCD) STN
• Resolución (pixel)	320 x 240
• Tamaño	5,7"
• Colores	4 niveles de azul
• Pantalla MTBF y retroiluminación	aprox. 50.000 horas a 25 °C
<b>Elementos de mando</b>	Pantalla táctil
• Entrada numérica/alfabética	sí/-
<b>Procesador</b>	RISC 66 MHz
<b>Memoria</b>	Flash
• Memoria útil para datos de usuario	128 Kbytes
<b>Interfaces (velocidad de transmisión)</b>	1 x RS 485 (0,0192 MBit/s)
<b>Tensión de alimentación</b>	DC 24 V (+18 a +30 V)
• Consumo de corriente, tip.	0,24 A
<b>Reloj</b>	Reloj software
<b>Grado de protección</b>	
• Frontal	IP 65 (en estado montado)
• Lado posterior	IP 20
<b>Certificaciones</b>	FM, UL, CSA, CE
<b>Dimensiones (en mm)</b>	
• Placa frontal (A x A)	212 x 156
• Recorte/profundidad de montaje (A x A x P)	198 x 142 x 45
<b>Peso</b>	0,7 kg
<b>Condiciones ambiente</b>	
Temperatura	35 °
• servicio (montaje vertical)	de 0 a +50 °C
• servicio (máx ángulo inclinación)	de 0 a +40 °C
• en transporte y almacenamiento	de -20 a +60 °C
Humedad relativa del aire (max.)	85 %, sin condensación
<b>Funcionalidad</b>	
Imágenes de proceso	20
• Objetos gráficos	Mapas de bits, iconos, imágenes de fondo
• Objetos de texto	200
• Variables por imagen	10
• Objetos dinámicos	Barras
Variables	50
Juego de caracteres	Tahoma (libremente escalable)
<b>Configuración</b>	Micro/WIN TP-Designer versión 3.1 ó superior, ejecutable bajo el sistema operativo Windows 98/SE/ME/NT/2000
• Transferencia de la configuración	Serie
<b>Referencia base</b>	6AV6545-0AA15-2...

## Overview of the TP 070



Overview: Model TP 070

<b>Processor</b>	Type	32 bit RISC
	Clock frequency	66 MHz
<b>Configuration memory</b>	Capacity	128 kB
<b>Software</b>	Operating system	Microsoft® Windows® CE
<b>Interfaces</b>	Serial interface to connect PLC, PC/PU	1 × RS485
<b>Display</b>	Type	STN LCD/Blue mode
	Active screen area (B × H) in mm	116 × 87 (5.7")
	Resolution (pixels)	320 × 240
	Monochrome	4-level
	Back-lighting	CCFL tube
	Half Brightness Life <sup>1)</sup> approx. (h)	50,000

## 9.2 Connection Elements

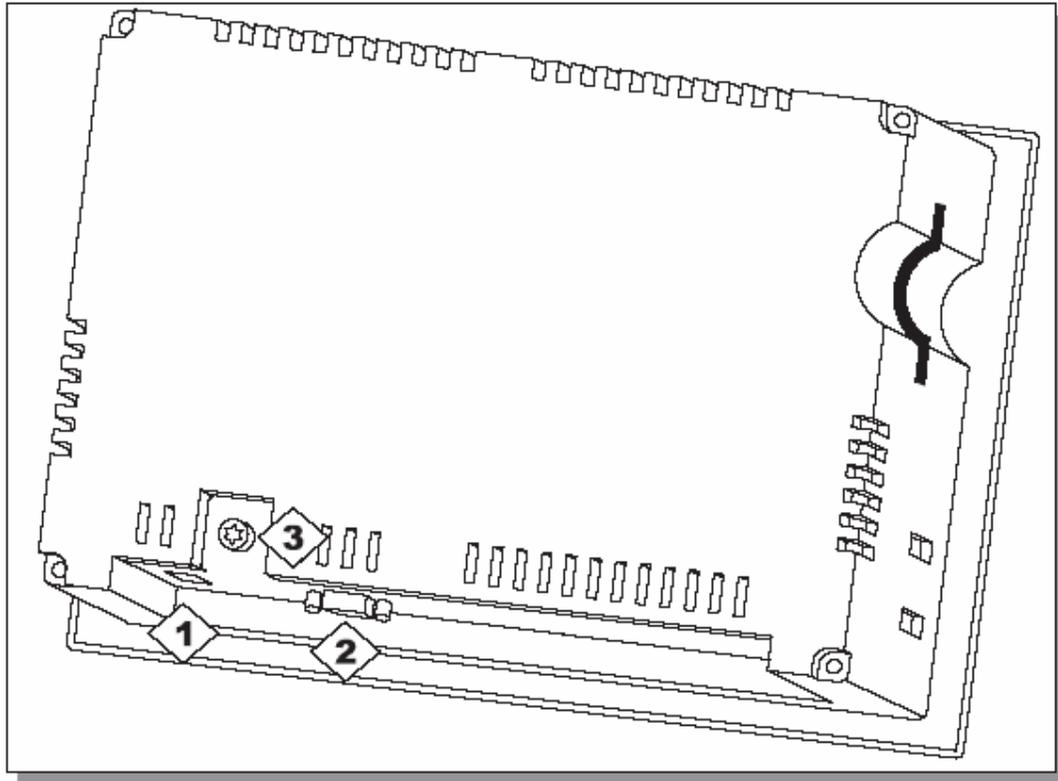


Figure 9-2 Arrangement of connection elements

No.	Name	Description/Use	
2	Interfaces <sup>1)</sup> : • IF1B	Level: RS485	Usage: PLC, PC, PU
3	Grounding connection	For connection to cabinet ground	
1	Power supply <sup>2)</sup>	Connection for power supply (+24 V DC)	

1) Connection pin assignment, see appendix B.  
2) Connection pin assignment, see page 8-5.

# SIEMENS

## SIMATIC S7-200 Data Sheet for EM231, EM232, and EM235

Description Order Number	EM231 Analog Input AI 4 x 12 Bits 6ES7 231-0HC20-0XA0	EM232 Analog Output AQ 2 x 12 Bits 6ES7 232-0HB20-0XA0	EM235 Analog Combo AI 4/AQ 1 x 12 Bits 6ES7 236-0KD20-0XA0	
	Input Specifications	Output Specifications	Input Specifications	Output Specifications
<b>General Specifications</b>				
Dimensions (W x H x D)	71.2 mm x 80 mm x 62 mm	46 mm x 80 mm x 62 mm	71.2 mm x 80 mm x 62 mm	
Weight	183 g	148 g	186 g	
Power loss (dissipation)	2 W	2 W	2 W	
Number of points reserved for this module	4 analog input points	2 analog output points	4 analog input points, 2 analog output points (actual physical points: 4 input, 1 output)	
Power Consumption From +5 VDC (from I/O bus) From L+ L+ voltage range, Class 2 or DC sensor supply	10 mA 60 mA 20.4 to 28.8	10 mA 70 mA (with both outputs at 20 mA) 20.4 to 28.8	10 mA 60 mA (with output at 20 mA) 20.4 to 28.8	
LED indicator	24 VDC Power Supply Good, ON = no fault, OFF = no 24 VDC power	24 VDC Power Supply Good, ON = no fault, OFF = no 24 VDC power	24 VDC Power Supply Good, ON = no fault, OFF = no 24 VDC power	
<b>Analog Input Specifications</b>				
No. of Analog Input Points	4		4	
Isolation (Field side to logic circuit)	None		None	
Input type	Differential		Differential	
Input ranges Voltage (unipolar) Voltage (bipolar) Current	0 to 10 V, 0 to 5 V  ±5 V, ±2.5 V  0 to 20 mA		0 to 10 V, 0 to 5 V, 0 to 1 V, 0 to 500 mV, 0 to 100 mV, 0 to 50 mV  ±10 V, ±5 V, ±2.5 V, ±1 V, ±500 mV, ±250 mV, ±100 mV, ±50 mV, ±25 mV  0 to 20 mA	
Input Resolution Voltage (unipolar) Voltage (bipolar) Current	see Table 1		see Table 1	
Analog to digital conversion time	< 250 µs		< 250 µs	
Analog input step response	1.5 ms to 95%		1.5 ms to 95%	
Common mode rejection	40 dB, DC to 60 Hz		40 dB, DC to 60 Hz	
Common mode voltage	Signal voltage plus common mode voltage (must be ≤ 12 V)		Signal voltage plus common mode voltage (must be ≤ 12 V)	
Data word format Bipolar, full-scale range Unipolar, full-scale range	(see Table 2) -32000 to +32000 0 to 32000		(see Table 4) -32000 to +32000 0 to 32000	
Input impedance	≥10 MΩ		≥10 MΩ	
Input filter attenuation	-3 db @ 3.1 KHz		-3 db @ 3.1 KHz	
Maximum input voltage	30 VDC		30 VDC	
Maximum input current	32 mA		32 mA	
Resolution	12 bit A/D converter		12 bit A/D converter	

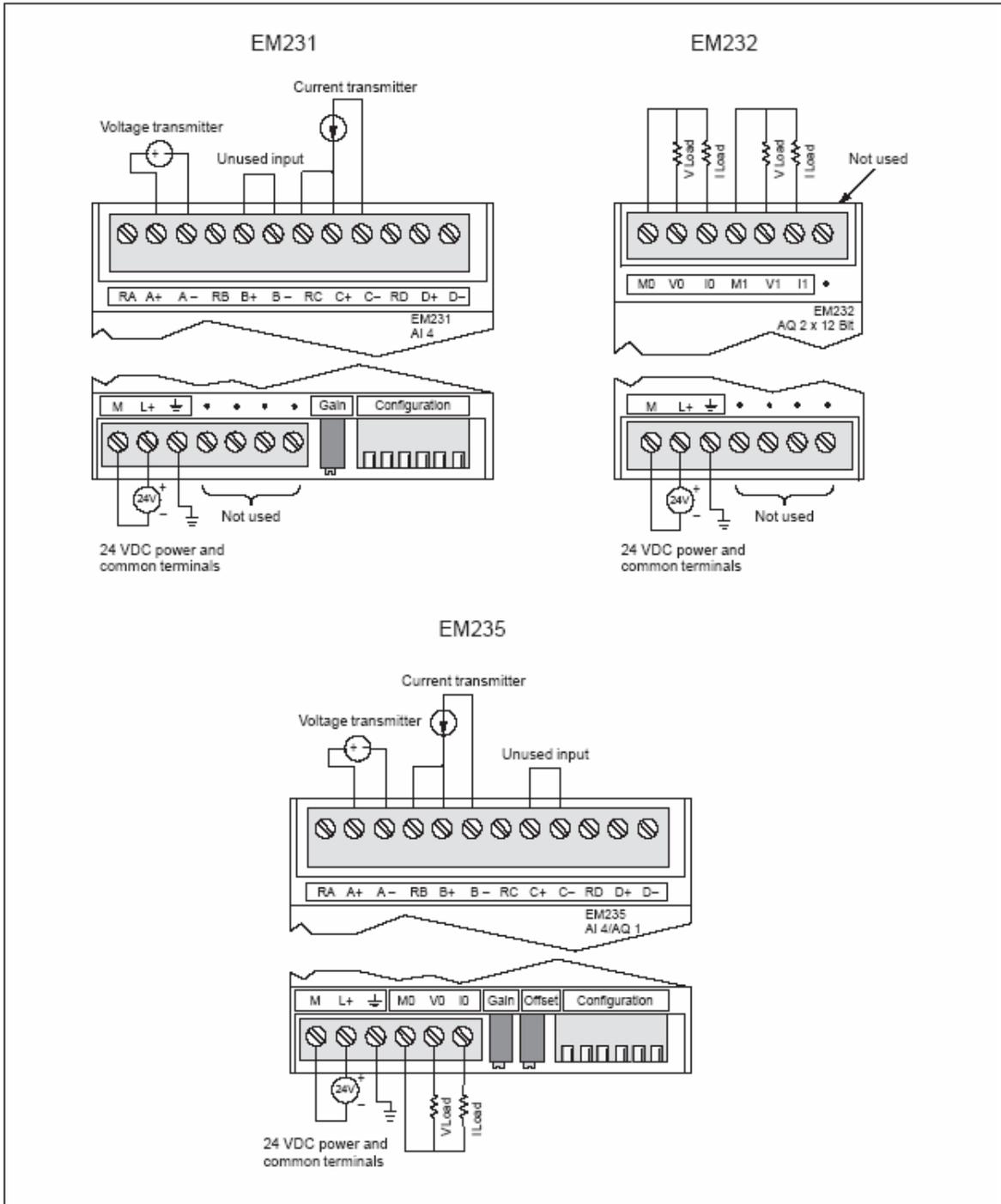


Figure 1 Connector Terminal Identification for Expansion Modules EM231, EM232, and EM235

## Input Calibration

The calibration affects all four input channels, and there may be a difference in the readings between the channels after calibration.

To meet the specifications contained in this data sheet, you should enable analog input filters for all inputs of the module. Select 64 or more samples in calculating the average value. For more information about analog input filters, see the *S7-200 Programmable Controller System Manual*.

To calibrate the input, use the following steps.

1. Turn off the power to the module. Select the desired input range.
2. Turn on the power to the CPU and module. Allow the module to stabilize for 15 minutes.
3. Using a transmitter, a voltage source, or a current source, apply a zero value signal to one of the input terminals.
4. Read the value reported to the CPU by the appropriate input channel.
5. Adjust the OFFSET potentiometer until the reading is zero, or the desired digital data value.
6. Connect a full-scale value signal to one of the input terminals. Read the value reported to the CPU.
7. Adjust the GAIN potentiometer until the reading is 32000, or the desired digital data value.
8. Repeat OFFSET and GAIN calibration as required.

## Calibration and Configuration Location for EM231 and EM235

The calibration potentiometer and configuration DIP switches are located on the right of the bottom terminal block of the module, as shown in Figure 2.

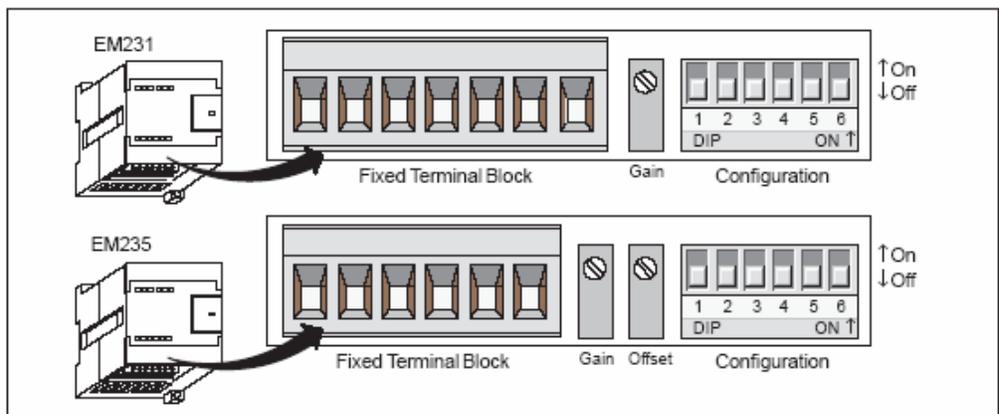


Figure 2 Calibration Potentiometer and Configuration DIP Switches for EM231 and EM235

## Configuration for EM231

Table 2 shows how to configure the EM231 module using the configuration DIP switches. Switches 1, 2, and 3 select the analog input range. All inputs are set to the same analog input range. In this table, ON is closed, and OFF is open.

Table 2 EM231 Configuration Switch Table to Select Analog Input Range

Unipolar			Full-Scale Input	Resolution
SW1	SW2	SW3		
ON	OFF	ON	0 to 10 V	2.5 mV
	ON	OFF	0 to 5 V	1.25 mV
			0 to 20 mA	5 $\mu$ A
Bipolar			Full-Scale Input	Resolution
SW1	SW2	SW3		
OFF	OFF	ON	$\pm$ 5 V	2.5 mV
	ON	OFF	$\pm$ 2.5 V	1.25 mV

## Sonar-BERO Kompaktreihe M18

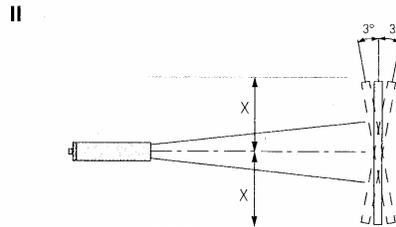
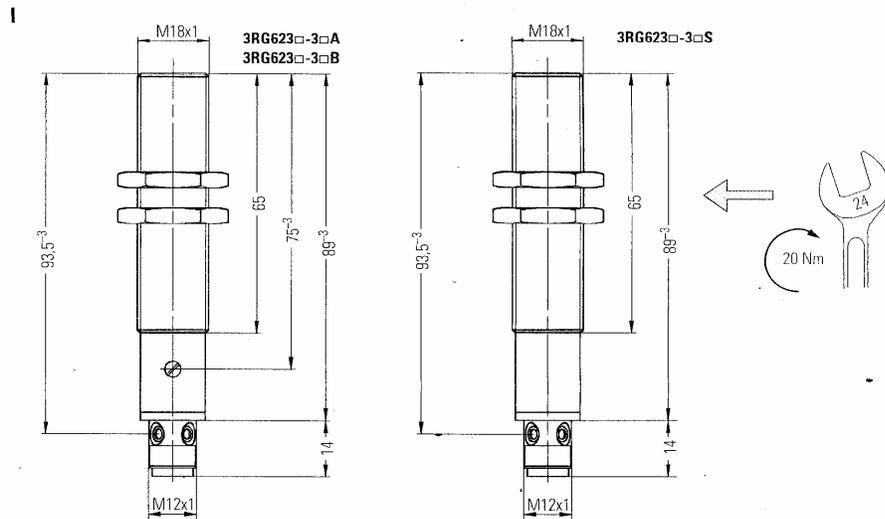
Sonar-BERO Compact Range M18  
 Sonar-BERO Série compacte M18  
 Sonar-BERO Serie compacta M18  
 Sonar-BERO Serie compatta M18  
 Ultraljudsgivare BERO M18

3RG623

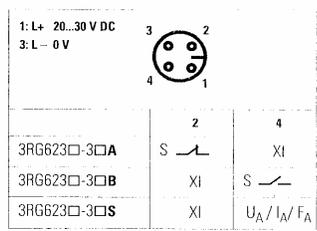
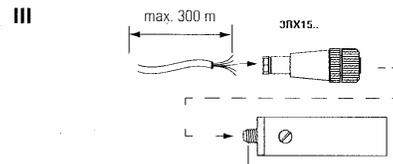
CE  
 IEC 60947-5-2

Betriebsanleitung/Operating instructions

Bestell-Nr./Order No.: 3ZX1012-0RG62-2AA1

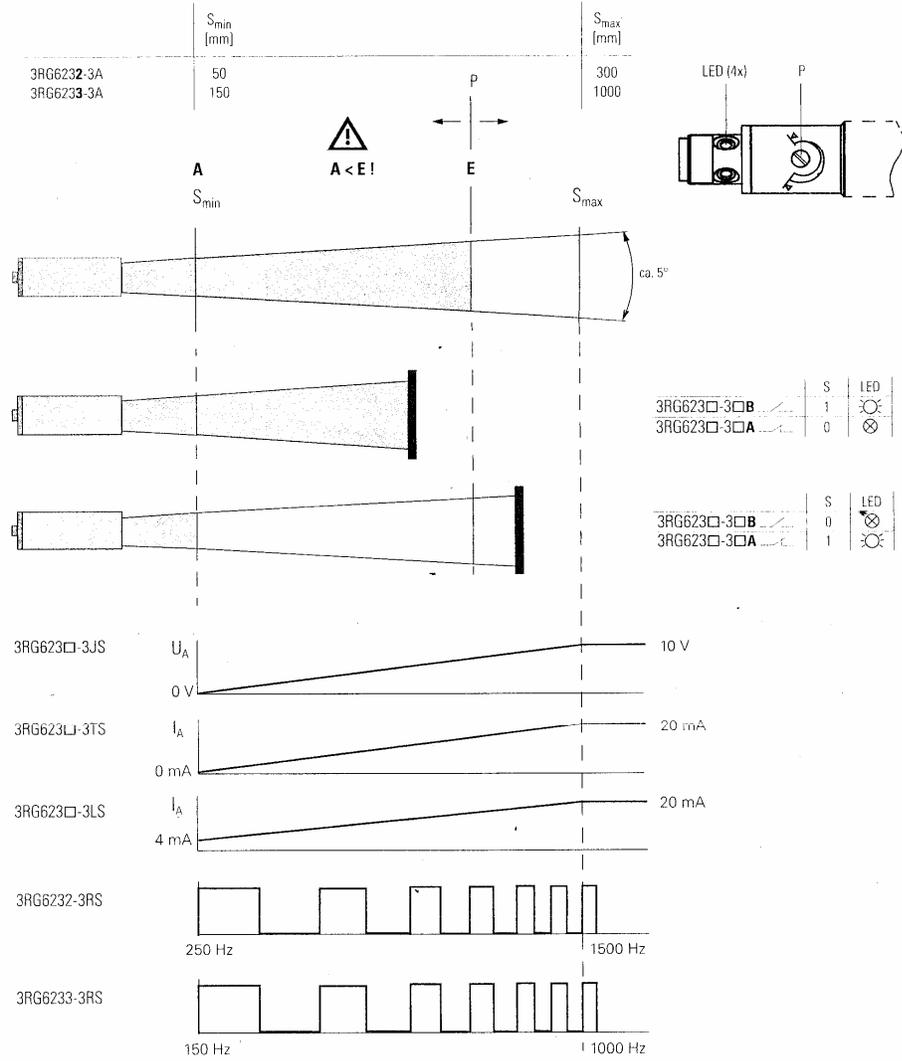


	x [mm]
3RG6232-	60
3RG6233-	300

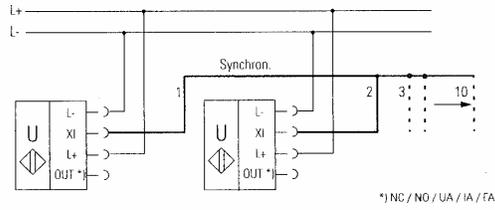


XI : Enable /sync      S : Output  
 U<sub>A</sub> / I<sub>A</sub> : Analog output      F<sub>A</sub> : Frequency output

IV



V



**Technical Assistance:** Telephone: +49 (0) 9131-7-43833 (8° - 17° MEZ) Fax: +49 (0) 9131-7-42899  
 E-mail: [nst.technical-assistance@siemens.com](mailto:nst.technical-assistance@siemens.com)  
 Internet: [www.siemens.de/lowvoltage/technical-assistance](http://www.siemens.de/lowvoltage/technical-assistance)

**Technical Support:** Telephone: +49 (0) 180 50 50 222

Technische Änderungen vorbehalten.  
 Subject to change without prior notice.  
 © Siemens AG 2001

**Bestell-Nr./Order No.:** 3ZX1012-0RG62-ZAA1  
 Printed in the Federal Republic of Germany

## Instrucciones



¡Debido a condicionantes físicos, los SONAR-BERO no deben utilizarse para la protección de personas o para funciones de parada de emergencia!

**Fig. I:** Para dimensiones (en mm).

**Fig. II:** Mantener libre de objetos perturbadores la distancia "x" alrededor del eje del cono de radiación. La desviación angular de 3° nige para superficies lisas.

**Fig. III:** Conexión. Las conexiones están protegidas contra la permutación de polos y son resistentes a los cortocircuitos y a las sobrecargas. Se recomienda emplear cables apantallados si hay fuertes perturbaciones eléctricas.

**Fig. IV:** Zona operativa

A: Inicio zona operativa (programable)

E: Final zona operativa

**Fig. V:** Sincronización: Uniendo los pines XI máx. 10 BERO.

**Desbloqueo (XI: Enable / sync)**

Mientras no está aplicada la señal de desbloqueo (XI), permanece memorizado el último estado de conmutación. Cuando se aplica nuevamente la señal de desbloqueo, la salida se actualiza.

**Datos técnicos**

Grado de protección	IP 67
Peso	máx. 67 g
Temperatura ambiente	-25 ... 70°C
Error en punto de conmutación	± 2,5 % (-25 ... 70°C)

Tensión asignada de servicio	$U_e$	24 V DC
Margen de tensión de servicio	$U_B$	20...30 V DC (con 12...20 V DC, sensibilidad reducida en hasta un 20 %)

Ondulación residual admisible

Corriente en vacío

**Salida de conmutación (NC/NO) / Salida de frecuencia (FA):**

Intensidad asignada de servicio

Caída de tensión

**Salida analógica (UA / IA):**

Margen de corriente

Carga

Spannungsbereich

Carga

Precisión

**Entrada de desbloqueo**

Detector activo

Tensión asignada de servicio ó alto valor óhmico

Corriente de entrada  $I_e$  máx. 16 mA

0...3 V Corriente de entrada

$I_e$  máx. -11 mA

**Para más detalles sobre programación y accesorios, véase el catálogo NSK y el folleto E20001-P285-A528.**

## Istruzioni d'uso



A causa delle loro caratteristiche fisiche, i SONAR-BERO non devono essere utilizzati per la protezione di persone oppure per funzioni di EMERGENZA!

**Fig. I:** Disegno quotato (dimens. in mm).

**Fig. II:** Lo spazio "x" intorno all'asse del cono ultrasonoro va tenuto libero da oggetti in grado di provocare falsi allarmi. La deviazione dall'angolo di 3° si riferisce a superfici lisce.

**Fig. III:** Collegamento. Gli allacciamenti sono protetti contro le inversioni di polarità, i corti circuiti e i sovraccarichi. In presenza di interferenze elettriche si raccomanda l'impiego di cavi schermati.

**Fig. IV:** Campo d'intervento

A: inizio del campo d'intervento (programmabile)

E: fine del campo d'intervento

**Fig. V:** Sincronizzazione: collegando i pin XI/max. 10 BERO.

**Abilitazione (XI: Enable / sync)**

Se l'abilitazione è inibita (XI), rimane memorizzato lo stato di commutazione presente al momento dell'ultima misurazione effettuata. Alla riabilitazione, l'uscita viene aggiornata.

**Dati tecnici**

Grado di protezione	IP 67
Peso	67 g max.
Temperatura ambiente	-25 ... 70°C
Differenza punto di commutazione	± 2,5 % (-25 bis 70°C)

Tensione nominale d'impiego	$U_e$	24 V DC
Campo di tensione d'esercizio	$U_B$	20...30 V DC (con 12...20 V DC la sensibilità si riduce fino al 20%)

Ondulazione residua consentita

Corrente a vuoto

**Uscita di commutazione (NC/NO) / Uscita de la frequenza (FA):**

Corrente nominale d'impiego

Caduta di tensione

**Uscita analogica (UA / IA):**

Campo di corrente

Carico

Campo di tensione

Carico

Precisione

**Interconnessione di abilitazione**

Sensore attivo

Tens. di esercizio o di alto valore

ohmico.

Corrente d'ingresso  $I_e$  16 mA max.

0...3 V Corrente d'ingresso

$I_e$  -11 mA max.

**Per ulteriori informazioni relative alla programmazione e agli accessori ved. catalogo NSK e Informazioni sul prodotto E20001-P285-A528.**

## Driftsinstruktion



Av fysikaliska skäl får SONAR-BERO inte användas för personskydd och NÖDSTOPP-funktioner!

**Fig. I:** Måttskiss (mått i mm).

**Fig. II:** Ett friområde motsvarande sträckan "x" kring ljudkägans axel skall hållas fritt från störande föremål. Vinkelavvikelsen 3° gäller för släta ytor.

**Fig. III:** Anslutning. Anslutningarna är säkrade mot polföväxling, kortslutning och överbelastning. Vid starka elektriska störningar rekommenderas skärmade ledningar.

**Fig. IV:** Kopplingsområde

A: Början av arbetsområdet (programmerbar)

E: Slutet av arbetsområdet

**Fig. V:** Synchronisering: Genom hopkoppling av stiften XI

max. 10 BERO-enheter

**Frigrivning (XI: Enable / sync)**

Medan frigrivningen (XI) är spärrad förblir kopplingstillståndet lagrat enligt den sista mätningen. Vid förnyad frigrivning aktualiseras utgången.

**Tekniska data**

Kapslingsklass	IP 67
Vikt	max. 67 g
Omgivningstemperatur	-25 ... 70°C
Temperaturinställningens felfaktor	± 2,5 % (-25 ... 70°C)

Dimensioneringsdriftspänning	$U_e$	DC 24 V
Driftspänningsområde	$U_B$	DC 20...30 V (vid DC 12...20 V 20% reducerad känslighet)

Tillåten växelströmskomponent

Strömförbrukning utan belastning

**Utgång (NC/NO) / Frekvensutgång (FA):**

Dimensioneringsdriftström

Spänningsfall

**Analogutgång (UA / IA):**

Strömområde

Skenbar belastning

Spänningsområde

Bürde

Skenbar belastning

**Frigrivningsanslutning**

Sensorn aktiv

driftspänning eller höghög

ingångsström  $I_e$  max. 16 mA

0...3 V Ingångsström  $I_e$  máx. -11 mA

**Ytterligare uppgifter över programmering och tillbehör se katalog NSK och produktskriften E20001-P285-A528.**

## Measuring instruments for pressure SITRANS P transmitters for pressure and absolute pressure

Z series



Fig. 1/1 Pressure transmitters 7MF1562 and 7MF1563

### Application

The transmitter 7MF1562 is used to measure the relative pressure of gases, liquids and steam, the transmitter 7MF1563 to measure the absolute and relative pressures or the level of liquids and gases.

They are used in the chemical, pharmaceutical and food industries, in mechanical engineering, shipbuilding, water supply and conservation etc.

An application example for the 7MF1562 is the measurement of compressed air containing oil in compressors or compressor stations.

### Design

#### Transmitter 7MF1563 (< 1 bar (< 14.5 psi))

- The transmitter 7MF1563 (< 1 bar (< 14.5 psi)) consists of a piezo-resistive measuring cell with stainless steel diaphragm and an electronics board, fitted together in a stainless steel housing.
- The transmitter has a process connection G $\frac{1}{2}$ A (male thread) to DIN EN 837 made of stainless steel.

#### Transmitters 7MF1562 and 7MF1563 ( $\geq$ 1 bar ( $\geq$ 14.5 psi))

- The transmitters 7MF1562 and 7MF1563 ( $\geq$  1 bar ( $\geq$  14.5 psi)) consist of a thin-film cell with ceramic diaphragm, which can also be used for corrosive media, and an electronics board, fitted together in a brass housing (7MF1562) or stainless steel housing (7MF1563,  $\geq$  1 bar ( $\geq$  14.5 psi)).
- The transmitters have a process connection G $\frac{1}{2}$ A (male thread) or G $\frac{1}{8}$ A (female thread) to DIN EN 837 made of brass (7MF1562) or stainless steel (7MF1563,  $\geq$  1 bar ( $\geq$  14.5 psi)).

The electrical connection for all types is via a plug (DIN 43 650) with Pg 9 cable inlet.

### Mode of operation

#### Transmitter 7MF1563 (< 1 bar (< 14.5 psi))

- The silicon measuring cell of the transmitter 7MF1563 (< 1 bar (< 14.5 psi)) has a piezo-resistive bridge on which the operating pressure is transmitted via silicone oil and a stainless steel seal diaphragm.

#### Transmitters 7MF1562 and 7MF1563 ( $\geq$ 1 bar ( $\geq$ 14.5 psi))

- The transmitters 7MF1562 and 7MF1563 ( $\geq$  1 bar ( $\geq$  14.5 psi)) have a thin-film strain gauge which is mounted on a ceramic diaphragm.

Every measuring cell is temperature-compensated.

The voltage output by the measuring cell is converted by an amplifier into an output current of 4 to 20 mA or an output voltage of DC 0 to 10 V.

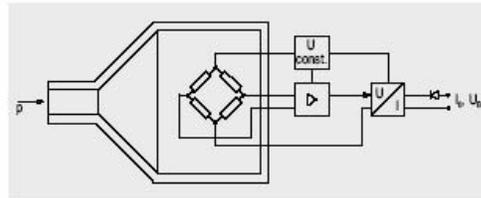


Fig. 1/2 Pressure transmitters 7MF1562 and 7MF1563, mode of operation

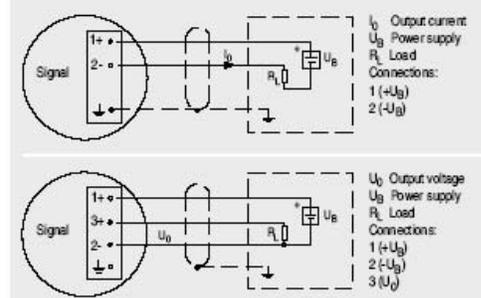


Fig. 1/3 Pressure transmitters 7MF1562 and 7MF1563 with current output (top) and 7MF1563 with voltage output (bottom), connection diagram

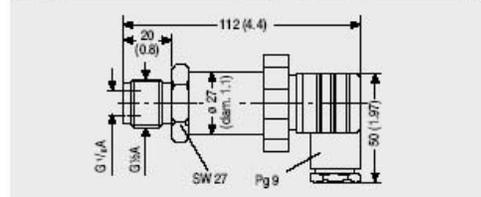


Fig. 1/4 Pressure transmitter 7MF1562, dimensions in mm (inches)

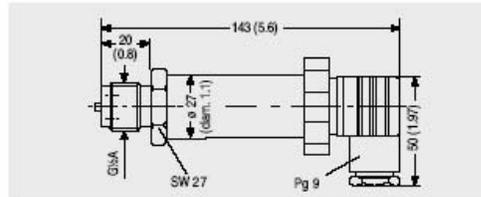


Fig. 1/5 Pressure transmitter 7MF1563 for measuring range <math>< 1\text{ bar}</math> (<math>< 14.5\text{ psi}</math>), dimensions in mm (inches)

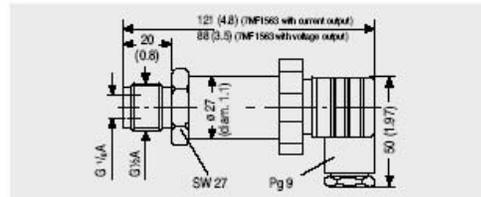


Fig. 1/6 Pressure transmitter 7MF1563 for measuring range  $\geq 1\text{ bar}$  ( $\geq 14.5\text{ psi}$ ), dimensions in mm (inches)

# Measuring instruments for pressure

## SITRANS P transmitters for pressure and absolute pressure

### Z series

#### Technical data

	7MF1562	7MF1563
		< 1 bar (< 14.5 psi)    ≥ 1 bar (≥ 14.5 psi)
<b>Application</b>		See page 1/3
<b>Mode of operation and system design</b>		See page 1/3
Measuring principle	Thin-film strain gauge	Piezo-resistive    Thin-film strain gauge
<b>Input</b>		
Measured variable	Pressure	Pressure and absolute pressure
Measuring range	0 to 25 bar (0 to 363 psi)	0 to 400 bar (0 to 5802 psi) for pressure 0 to 16 bar (0 to 232 psi) for absolute pressure
<b>Output</b>		
Current output signal		4 to 20 mA
• Load		$(U_B - 10\text{ V}) / 0.02\text{ A}$
Voltage output signal	-	DC 0 to 10 V
• Load	-	≥ 10 kΩ
Characteristic		Linear rising
<b>Accuracy</b>		
Error in measurement (at 25 °C (77 °F), including conformity error, hysteresis and repeatability)	0.5% of full-scale value - typical	0.25% of full-scale value - typical
Response time $T_{99}$		< 0.1 s
Long-term drift		
• Start-of-scale value	0.3% of full-scale value/year - typical	0.25% of full-scale value/year
• Span	0.3% of full-scale value/year - typical	0.25% of full-scale value/year
Ambient temperature effect		
• Start-of-scale value	0.3%/10 K (0.3%/18 °F) of full-scale value - typical	0.25%/10 K (0.25%/18 °F) of full-scale value
• Span	0.3%/10 K (0.3%/18 °F) of full-scale value - typical	0.25%/10 K (0.25%/18 °F) of full-scale value
Vibration influence		0.05%/g to 500 Hz in all directions (to IEC 68-2-64)
Power supply influence		0.01%/V
<b>Rated operating conditions</b>		
<b>Ambient conditions</b>		
• Ambient temperature		-25 to +85 °C (-13 to +185 °F)
• Storage temperature		-50 to +100 °C (-58 to +212 °F)
• Degree of protection (to EN 60 529)		IP 65
• Electromagnetic compatibility		
- Emitted interference		To EN 61 326 and NAMUR NE 21
- Noise immunity		To EN 61 326 and NAMUR NE 21
<b>Medium conditions</b>		
• Process temperature limits		-30 to +120 °C (-22 to +248 °F)
• Maximum working pressure		See ordering data on page 1/5
<b>Design</b>		
Weight (without options)	Approx. 0.2 kg (0.44 lb)	Approx. 0.25 kg (0.55 lb)
Dimensions		See dimensional drawings on page 1/3
<b>Material</b>		
• Wetted parts materials		
- Measuring cell	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 96%	Stainless steel, mat. No. 1.4571/316Ti    Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 96%
- Process connection	Brass, mat. No. 2.0402	Stainless steel, mat. No. 1.4571/316Ti
- O-ring		Viton
• Non-wetted parts materials		
- Housing	Brass, mat. No. 2.0402	Stainless steel, mat. No. 1.4571/316Ti
- Plug connector	Plastic housing, to DIN 43 650, form A	
Process connection	G <sub>1/2</sub> A - male thread G <sub>1/8</sub> A - female thread	G <sub>1/2</sub> A - male thread    G <sub>1/8</sub> A - male thread G <sub>1/8</sub> A - female thread
Electrical connection (to DIN 43 650)		Pg 9
<b>Power supply</b>		
Terminal voltage on transmitter		
• For current output		DC 10 to 36 V
• For voltage output	-	-    DC 15 to 36 V

## 1.5 Ordering Data

Measuring Range	Over-pressure	Casing	Order No. TMF 1563	
			Gauge pressure	Absolute pressure
0 to 100 mbar	0.6 bar	stain- less	3AA	-
0 to 100 mbar	0.6 bar	stain- less	3AB	-
0 to 250 mbar	1 bar	steel	3AC	-
0 to 400 mbar	1 bar	-	3AD	-
0 to 600 mbar	3 bar	-	3AG	3AG
0 to 1 bar	7 bar	ceram- ic	3DA	3DA
0 to 1.6 bar	7 bar	ceram- ic	3DB	3DB
0 to 2.5 bar	12 bar	-	3DD	3DD
0 to 4 bar	12 bar	-	3DE	3DE
0 to 6 bar	25 bar	-	3DG	3DG
0 to 10 bar	25 bar	stain- less	3CA	3CA
0 to 16 bar	60 bar	stain- less	3CB	3CB
0 to 25 bar	120 bar	-	3CD	-
0 to 40 bar	120 bar	-	3CE	-
0 to 60 bar	250 bar	-	3CG	-
0 to 100 bar	250 bar	ceram- ic	3DA	3DA
0 to 160 bar	500 bar	ceram- ic	3DB	3DB
0 to 250 bar	500 bar	-	3DD	3DD
0 to 400 bar	500 bar	-	3DE	3DE
Output signal <sup>1)</sup>				
4 to 20 mA				0
0 to 10 VDC				1
Explosion protection <sup>2)</sup>				
Without				0
II 1/2 G Ex ia I CT 4 (for current output signal only)				0-1

For other version add plain text:

Measuring range: ... to ... (m)bar, order number:

- for gauge pressure  $\geq 1$  bar: TMF 1563-3AA...+HIY

- for absolute pressure  $\geq 1$  bar: TMF 1563-3AB...+HIY

- for gauge and abs. pressure  $< 1$  bar: TMF 1563-3AC...+HIY

<sup>1)</sup> Please enter the value in the order number

## WARNING

The unit may only be installed and operated when qualified personnel have ensured that suitable power supplies are available. The supply units shall comply with the relevant safety standards and have a limited circuit.

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

The successful and safe operation of this unit depends on proper transport, storage, installation and assembly as well as on careful operation and maintenance.

## 2 Installation and Operation

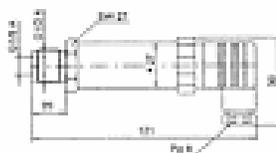


Figure 3.  
Transmitter TMF 1563  
with current output,  
Dimensions



Figure 4.  
Transmitter TMF 1563  
with voltage output,  
Dimensions

## 2.1 Installation

There are two installation possibilities (Figure 5):  
a) at process connection GNA male thread  
b) at process connection GNA female thread

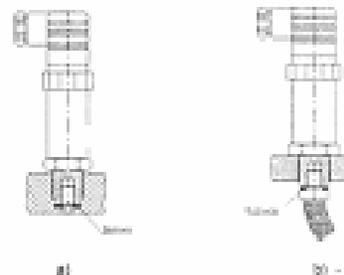


Figure 5. Transmitter TMF 1563, Installation

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

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

## 2.2 Electrical Connection

Armoured 2-wire or 3-wire cable (4.5 to 7 mm outline diameter) will be inserted through a cable gland Pg 9. Only earth the cable shield at one point (preferably in terminal box or cabinet). The connector earth is connected to the housing.

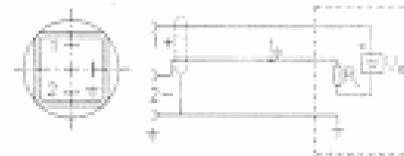


Figure 6. Transmitter TMF 1563 with current output,  
wiring diagram

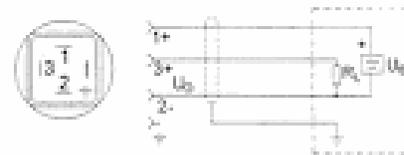


Figure 7. Transmitter TMF 1563 with voltage output,  
wiring diagram

## 2.3 Adjustment

The pressure transmitter is calibrated at the factory to the required measuring range. If an additional calibration is necessary, the connector must be opened (top part with screw, and bottom grip ring very carefully with hand).

The zero (4 mA or 0 VDC) is adjust with the  $J_1$  potentiometer, and the full scale (20 mA or 10 VDC) with  $J_2$  potentiometer. After calibration is necessary to screw the grip ring with the torque of 0,8 Nm. The zero can be changed about  $\pm 20\%$  of the span.

## 2.4 Maintenance

The transmitter is maintenance-free.

The zero of pressure transmitter should be checked occasionally.

## Measuring instruments for temperature

### Transmitters for temperature (Pt100)

**SITRANS TK-L**  
Two-wire system/Mounting in sensor head



Fig. 2/18 SITRANS TK-L transmitter for temperature

#### Application

The SITRANS TK-L transmitter converts the signals from Pt100 resistance thermometers into a load-independent direct current corresponding to the sensor characteristic. As a result of its compact design, the transmitter fits in the sensor head type B (DIN 43 729).

Parameterization is carried out using a PC for the programmable SITRANS TK-L.

Transmitters of the "Non incandive" type of protection can be installed within potentially explosive atmospheres (zone 2).

Transmitters of the "Intrinsically safe" type of protection can be installed within potentially explosive atmospheres (zone 1).

#### Mode of operation (Fig. 2/19)

The measured signal supplied by a Pt100 (2, 3 or 4-wire system) is amplified in the input stage. The voltage, which is proportional to the input variable, is then converted into digital signals by an analog/digital converter (1). These signals are converted in the microprocessor (2) in accordance with the sensor characteristic and further parameters (damping, line resistance etc.).

The signal prepared in this way is converted in a digital/analog converter (3) into a load-independent direct current of 4 to 20 mA. The power supply (4) is located in the output signal circuit.

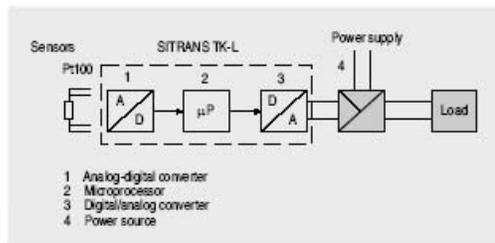


Fig. 2/19 Block diagram: operating principle of the SITRANS TK-L

#### Technical data

##### Input

##### Resistance thermometer

• Measured variable	Temperature
• Sensor type	Pt100 (DIN IEC 751)
• Characteristic	Temperature-linear
• Type of connection	2, 3 or 4-wire system
• Resolution	14 bit
• Accuracy	
- Span < 250 °C (450 °F)	< 0.25 °C (0.45 °F)
- Span > 250 °C (450 °F)	< 0.1% of span
• Repeatability	< 0.1 °C (0.18 °F)
• Measuring current	0.3 mA
• Measuring cycle	< 0.7 s
• Range	-200 to +850 °C (-328 to +1562 °F)
• Span	> 25 °C (45 °F)
• Dimension	°C or °F
• Offset	Programmable, max. 10 °C (18 °F)
• Line resistance	Max. 20 Ω/line
• Overload capability	± 35 V DC
• Noise rejection	50 and 60 Hz

##### Output

##### Output signal

• Power supply	4 to 20 mA, two-wire DC 8 to 35 V (28 V with Ex)
• Underrange/overrange limits	3.5/23 mA (programmable)
• Filter time	0 to 30 s
• Protection	Against reversed polarity
• Resolution	12 bit
• Accuracy	< 0.1% of span
- Influence of power supply	< 0.01% of span/V
- Temperature drift	Typ. 0.003%/°C (0.0016%/°F) (max. 0.01%/°C (0.0056%/°F))

##### Rated operating conditions

##### Ambient conditions

• Ambient temperature	-40 to +85 °C (-40 to +185 °F)
• Relative humidity	< 98%, with condensation
• Electromagnetic compatibility	
- Interference immunity	According to EN 50 082-2
- Emitted interference	According to EN 50 081-1

##### Design

Weight	50 g (0.11 lb)
Dimensions	See Fig. 2/21
Material	Moulded plastic
Degree of protection	
- Housing	IP 40
- Terminals	IP 00

##### Certificates and approvals

Explosion protection ATEX	
• 'Intrinsic safe' type of protection	ATEX II 1G EEx ia IIC T4
EC-Type Examination Certificate	DEMKO 01 ATEX 129483 X
• 'Non incandive' type of protection	ATEX II 3G EEx nA IIC T4
EC-Type Examination Certificate	DEMKO 01 ATEX 129482 X

## Measuring instruments for temperature

### Transmitters for temperature (Pt100)

#### SITRANS TK-L Two-wire system/Mounting in sensor head

##### Technical data (continued)

##### Hardware and software requirements for the parameterization software

##### SIPROM TK for SITRANS TK and TK-L

##### Personal computer

IBM-compatible, 486 or better  
3½" diskette drive  
Hard disk with 5 MB vacant capacity  
Min. 4 MB RAM  
VGA graphics adapter (or compatible) with at least 16 colors  
One vacant serial port  
Mouse or compatible pointer unit and printer (recommended)

##### PC operating system

MS-DOS V 5.0 or later, MS-Windows V 3.1 or later

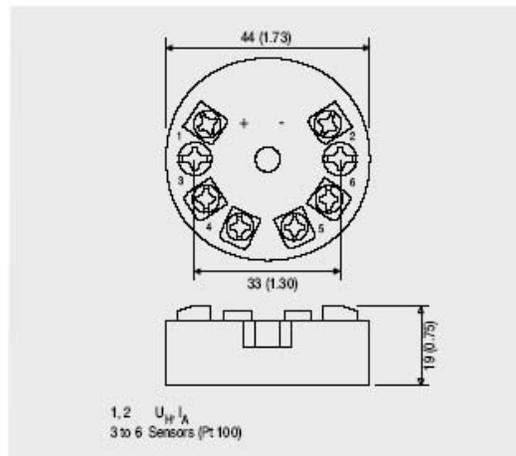


Fig. 2/21 Dimensions in mm (inches) and pin assignments

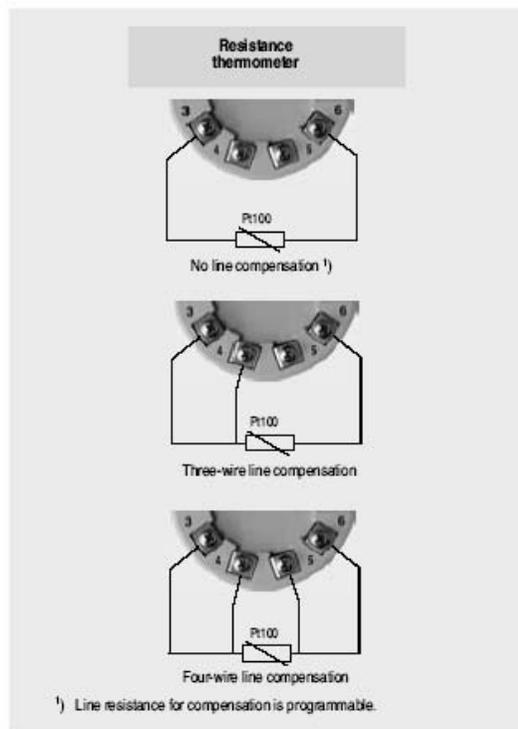


Fig. 2/20 Sensor pin assignments

##### Ordering data

##### Order No.

##### SITRANS TK-L temperature transmitter for Pt100

for installation in sensor head type B (DIN 43 729); two-wire system 4 to 20 mA; programmable

- No explosion protection
- With explosion protection EEx ia for zone 1 and Ex n for zone 2

▶ 7NG3120-0JN00  
▶ 7NG3122-0JN00

##### Additional information

Please add "-Z" to Order No. and specify Order code(s) and plain text.

##### Order code

##### Customer-defined operating data

Y01

##### Accessories (if necessary)

SIPROM TK parameterization software for SITRANS TK and TK-L (German/English/French)

▶ 7NG3190-8KB

Modem for SITRANS TK and TK-L

▶ 7NG3190-6KB

SITRANS TK-L Instruction Manual (German/English), not included in delivery of transmitter

▶ A5E00095604

▶ Available ex stock.

Power supply units: see Section 6.

##### Factory setting:

- Pt100 (IEC 751) with three-wire circuit
- Measuring range: 0 to 100 °C (32 to 212 °F)
- Output with sensor breakage: 23 mA

# SIEMENS

## SIMATIC

### Manual del sistema de automatización S7-200

Tabla 1-2 Comparación de las CPUs S7-200

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120,5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa con edición en runtime sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (típ.)	50 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)
E/S integradas					
Digitales	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S	24 E/16 S
Analógicas	-	-	-	2 E/1 S	-
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>	7 módulos <sup>1</sup>
Contadores rápidos					
Fase simple	4 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz	4 a 30 kHz 2 a 200 kHz	6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	4 a 20 kHz	3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (c.c.)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros analógicos	1	1	2	2	2
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Aritmética en coma flotante	Sí				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0,22 microsegundos/operación				

<sup>1</sup> Es preciso calcular la corriente necesaria para determinar cuánta energía puede suministrar la CPU S7-200 a la configuración deseada. Si se excede la corriente necesaria para la CPU, es posible que no se pueda conectar el número máximo de módulos. Consulte el anexo A para obtener información acerca de los requisitos de alimentación de la CPU y de los módulos de ampliación, así como el anexo B para calcular la corriente necesaria.

## Acceder a los datos del S7-200

El S7-200 almacena información en diferentes áreas de la memoria que tienen direcciones unívocas. Es posible indicar explícitamente la dirección a la que se desea acceder. El programa puede acceder entonces directamente a la información. La tabla 4-1 muestra el rango de números enteros representables en diversos tamaños de datos.

Tabla 4-1 Rangos decimales y hexadecimales para los diferentes tamaños de datos

Representación	Byte (B)	Palabra (W)	Palabra doble (D)
Entero sin signo	0 a 255 0 a FF	0 a 65.535 0 a FFFF	0 a 4.294.967.295 0 a FFFF FFFF
Entero con signo	-128 a +127 80 a 7F	-32.768 a +32.767 8000 a 7FFF	-2.147.483.648 a +2.147.483.647 8000 0000 a 7FFF FFFF
Real IEEE de 32 bits en coma flotante	No aplicable	No aplicable	+1,175495E-38 a +3,402823E+38 (positivo) -1,175495E-38 a -3,402823E+38 (negativo)

Para acceder a un bit en un área de memoria es preciso indicar la dirección del mismo, compuesta por un identificador de área, la dirección del byte y el número del bit. La figura 4-3 muestra un ejemplo de direccionamiento de un bit (denominado también direccionamiento "byte.bit"). En el ejemplo, el área de memoria y la dirección del byte (I = entrada y 3 = byte 3) van seguidas de un punto decimal (".") que separa la dirección del bit (bit 4).

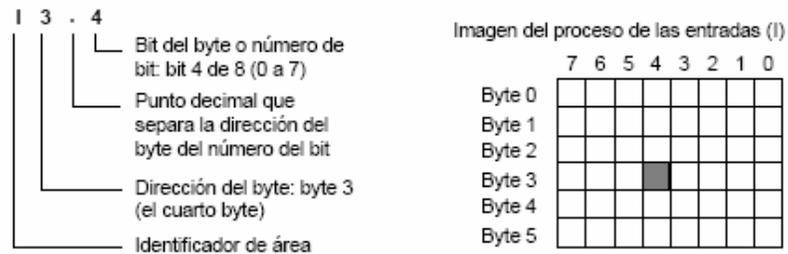


Figura 4-3 Direccionamiento byte.bit

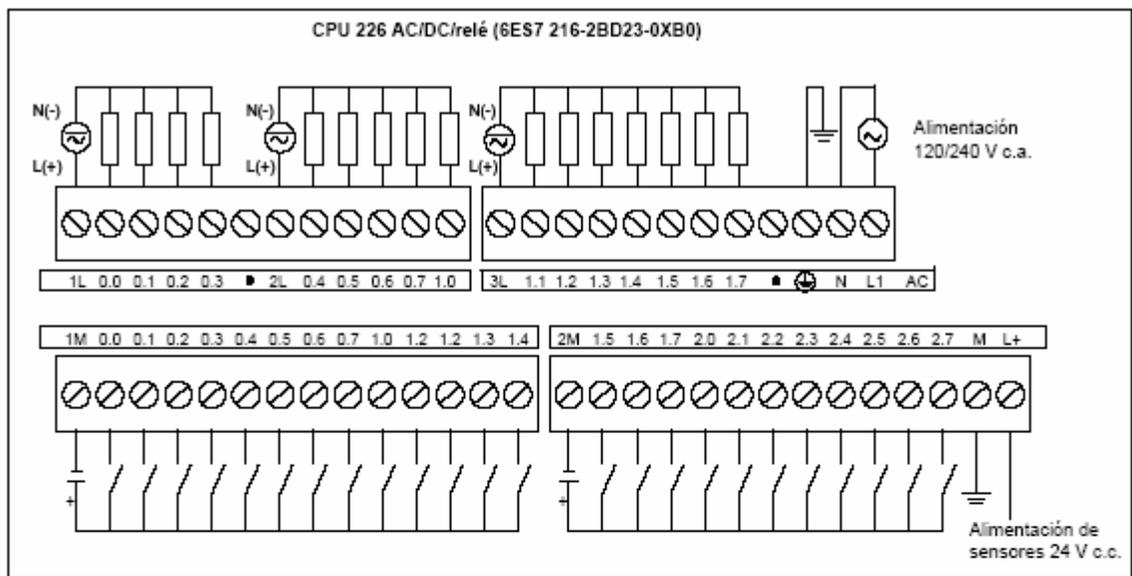


Figura A-6 Diagramas de cableado de las CPUs 226

Tabla A-10 Asignación de pines del puerto de comunicación del S7-200 (potencia limitada)

Enchufe	Nº de pin	Señal PROFIBUS	Puerto 0/Puerto 1
	1	Blindaje	Tierra
	2	Hilo de retorno 24 V	Hilo lógico
	3	Señal B RS-485	Señal B RS-485
	4	Petición de transmitir	RTS (TTL)
	5	Hilo de retorno 5 V	Hilo lógico
	6	+5 V	+5 V, 100 Ω resistor en serie
	7	+24 V	+24 V
	8	Señal A RS-485	Señal A RS-485
	9	No aplicable	Selección protocolo de 10 bits (entrada)
Carcasa del enchufe		Blindaje	Tierra