

**REDISEÑO Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE  
MÁQUINA EMPASTADORA DE LIBROS**

**JOHN ÉDISON CAÑOLA PINO  
LUIS FERNANDO ESPINOSA ALZATE**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA  
MEDELLÍN  
2013**

**REDISEÑO Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE MÁQUINA  
EMPASTADORA DE LIBROS**

**JOHN ÉDISON CAÑOLA PINO  
LUIS FERNANDO ESPINOSA ALZATE**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de Tecnólogo en  
mecatrónica y electromecánica respectivamente**

**Asesor Temático  
Rafael Hernán Mira Pérez**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA  
MEDELLÍN  
2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos cordialmente a la empresa de artes gráficas PREGÓN LTD. Pero en especial al señor gerente Oscar Pino Hernández por permitir dar la oportunidad de intervenir en la máquina empastadora como trabajo de grado así ayuda a demostrar las capacidades que se tiene como tecnólogos para el mercado laboral e industrial que se avecina y cumpliendo satisfactoriamente con dicho objetivo a si evitando que la máquina hubiese sido desechada cumpliendo ambos intereses satisfactoriamente.

También agradecemos a Sebastián González y David Castaño estudiantes del Pascual Bravo por ayudarnos en la parte técnica y de control.

## CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. GENERAL.....	12
3.2. ESPECÍFICOS:.....	12
4. REFERENTES TEÓRICOS.....	13
4.1.1. Ventajas del módulo lógico.....	15
4.1.2. Funciones del módulo lógico.....	15
4.1.3. Accesorios del módulo lógico.....	16
4.1.4. Módulos de programa.....	17
4.1.5. Contactos.....	17
4.1.6. Logo! <i>Power</i> .....	18
4.2. PULSADORES.....	18
4.2.1. Por su forma exterior.....	18
4.2.2. Por la función que realiza.....	19
4.3. CONTROL DE TEMPERATURA DIGITAL.....	20
4.3.1. Control si-no.....	21
4.3.2. Proporcional en el tiempo.....	22
4.3.3. Acción integral.....	22
4.3.4. Derivado.....	23
4.3.5. Ajustes de los sistemas de control.....	24
4.3.6. Autoajuste.....	25
4.3.7. Registro.....	26

4.3.8. Dispositivos de control final. ....	26
4.4. RELE DE ESTADO SÓLIDO .....	28
4.4.1. Circuito físico de un relé de estado sólido.....	29
4.4.2. Esquema electrónico de un relé de estado sólido.....	30
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO .....	31
6.METODOLOGÍA.....	32
7. RECURSOS.....	32
7.1. HUMANOS.....	32
7.2. TÉCNICOS.....	32
7.3. PRESUPUESTO.....	33
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	34
9. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	35
9.1. PASO 1.....	35
9.2. PASO 2.....	36
9.3. PASO 3.....	37
9.4. PASO 4.....	38
9.5. PASO 6.....	40
9.6. PASO 7.....	40
9.6. PASO 8.....	41
9.7. PASO 9.....	41
10. CONCLUSIONES .....	44
11. BIBLIOGRAFÍA .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Logo 8E 4S 110-220v .....	14
Figura 2. Funciones modulo lógico.....	15
Figura 3. Pc- cable .....	16
Figura 4.Módulos de programa.....	17
Figura 5. Contactos.....	17
Figura 6. Fuente Logo Power.....	18
Figura 7. Pulsador NC.....	19
Figura 8. Pulsador NA.....	20
Figura 9. Control digital de temperatura.....	20
Figura 10. Señal grafica del comportamiento del control digital de temperatura. ....	21
Figura 11. Comportamiento de la señal con <i>reset</i> manual .....	22
Figura 12. Señal grafica del control digital de temperatura.....	23
Figura 13. Señal grafica del control de temperatura .....	24
Figura 14. Relé de estado sólido .....	28
Figura 15. Circuito fisico relé estado sólido.....	29
Figura 16. Esquema electrónico <i>rele</i> estado sólido .....	30

## TABLAS

<b>Tabla 1. Componentes.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2. Presupuesto.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 3 Cronograma de actividades.....</b>	<b>34</b>

## FOTOS DEL SISTEMA

Foto 1 Preparando la máquina para ser desarmada.....	35
Foto 2 Parte lateral vista superior .....	36
Foto 3 Antigua tarjeta electrónica .....	36
Foto 4 Vista superior antigua tarjeta electrónica.....	37
Foto 5 Desmontaje de carcasas o cubiertas .....	37
Foto 6 Desmontaje de piezas mecánicas .....	38
Fotos 7 Desmontaje de soporte de cadena y motor.....	39
Foto 8 Desmontaje de gato hidráulico .....	39
Foto 9. Montaje de pulsadores en el panel de control .....	40
Foto 10. Panel de control .....	41
Foto 11 Montaje y cableado de dispositivos parte interior derecha .....	42
Foto 12. Parte interior izquierda .....	42
Foto 13. Vista exterior de panel de control.....	43
Foto 14. Vista exterior.....	43

## INTRODUCCIÓN

En Antioquia en los inicios de la industrialización, diferentes tipos de instituciones se crearon o adaptaron con el fin de preparar un personal hábil, idóneo y capacitado; se constituyeron en espacios de entrenamiento y enseñanza, muchas veces bajo la tutela de técnicos extranjeros. En su momento fueron procesos de gran impacto en el sector industrial, pero el mejoramiento continuo de los procesos y la adaptación a los cambios presentados en el tiempo diferencian a las empresas competitivas del resto.

Así, encontramos una empresa que posee una máquina empastadora de libros de tecnología de mediados de los 80 donde su sistema de control se encarga de controlar una resistencia que induce una temperatura de 80 °C a un depósito de pega sólida para empastar libros con la necesidad de adaptarse a nuevos requerimientos del mercado.

Es importante resaltar un tema de los tratados en la XXII Cumbre Iberoamericana (16 y 17 de noviembre del 2012 en Cádiz), se explicó que aunque el sector servicios ocupa una parte importante del PIB de todas las economías iberoamericanas, "no nos puede hacer olvidar que las economías con una sólida base industrial son aquellas que pueden responder mejor, sobre todo en tiempos donde haya dificultades como las que está atravesando Europa".

De lo que surge claramente es el reconocimiento de la gran importancia de las pymes, que concentran un 70% de promedio de empleo en Latinoamérica, pero contribuyen solo con un 30% al PIB, por lo que se trata de ver cómo darles más eficiencia productiva.

Como el aporte que se realizan dos profesionales del campo de las tecnologías en Mecatronica y Electromecánica , que diseñan una propuesta para intervenir la máquina y permitir que la compañía mejore su productividad sin hacer grandes inversiones en compra de otro equipo. Se desarrolló el informe de forma lógica y ordenada, se parte de la descripción precisa de la falla que presenta la máquina, el estado actual y un diagnóstico de las intervenciones realizadas y como resultado de esta análisis surge una propuesta para solucionar el problema en la parte de control de dicho aparato el cual es realizado por una tarjeta electrónica.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Producto de fenómenos asociativos y de la globalización, la tecnología en general ha representado un crecimiento exponencial de los conocimientos científicos y sus correspondientes aplicaciones, a medida que pasan los años va avanzando y los dispositivos y procesos antiguos se van haciendo obsoletos.

Lo anterior son algunos de los elementos para definir el problema planteado a continuación.

La máquina empastadora de libros de tecnología de mediados de los 80 donde su sistema de control se encarga de controlar una resistencia que induce una temperatura de 80 °C a un depósito de pega sólida para empastar libros, esta se derrite a medida que la temperatura llega a su punto adecuado y para mantenerla derretida sin que se solidifique tiene un motor AC encargado de girar un colador para mantener la pega en su punto ideal. Cuando la pega está en su punto con la temperatura ideal se alista el lomo del libro y la caratula para ser unidos o empastados para esto hay un segundo motor encargado de traccionar una cadena la cual se encarga de desplazar una especie de carro o plataforma, el cual sujeta el lomo del libro, el cual lleva el lomo del libro con el colador para ser aplicada la pega para que después se una con la pasta del libro y se haga presión entre las dos mediante un aprisionador, el cual se encarga de aplicar la presión necesaria para que el libro quede bien empastado.

Después de detallar el proceso de la máquina el problema a solucionar es la parte de control de dicho aparato el cual es realizado por una tarjeta electrónica, que en el estado en que se encontraba ya no tenía reparación debido a que había sido intervenida por muchas personas sin encontrar solución alguna, y dejando la tarjeta con algunos daños como punto de soldadura mal hechos cables sueltos y desorganizado dejando el artefacto casi inservible y lista para ser abandonada pero aprovechando los nuevos sistemas de control moderno se ha decidido rescatar la máquina modificando y rediseñando su sistema de control.

**¿Es viable recuperar el sistema de control de la máquina empastadora?**

## 2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo científico, académico y profesional, se convierte en un componente importante al corresponderse con el objeto de estudio, con las metas e intenciones que son buscadas con el desarrollo de este proyecto.

Con el convencimiento de que la máquina se puede recuperar, en su sistema de control ya que los demás elementos como motores, resistencias y *switches* se encuentran en buen estado, se ha propuesto instalarle a dicha máquina un sistema de control mediante un logo 8E 4S 110-220V, un control de temperatura digital y un relé de estado sólido los cuales se encargaran de controlar la temperatura y señales de entrada y salida de la máquina, con este sistema se garantiza un tiempo de vida más prolongado para la máquina, pueda ser modificada según la necesidad del proceso.

Desde esta experiencia se dimensiona la importancia del mantenimiento preventivo e intervención en las máquinas en las empresas colombianas y además la necesidad de tener personal capacitados para aplicar esta área; de suma importancia debido a que todo gira en un mundo globalizado que necesita ser más competitivo cada día y se puede conseguir con la alta calidad de nuestros productos.

Para la Institución Universitaria Pascual Bravo es muy importante interactuar con la realidad del mercado, en procura de formar líderes, que sean hombres de bien, que estén dispuestos a dejar en alto el nombre de la institución, para ser reconocidos en el campo laboral.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GENERAL**

- Recuperar una máquina empastadora de libros modificando y rediseñando su sistema de control.

#### **3.2. ESPECÍFICOS:**

- Diagnosticar el estado real de la máquina empastadora
- Diseñar el sistema de control mediante un logo 8E 4S 110-220V
- Sustituir su antiguo sistema de control obsoleto por el sistema de control mediante un logo 8E 4S 110-220V más moderno y duradero
- Implementar el sistema de control
- Elaborar las rutinas de prueba de control de temperatura y señales de entrada y salida de la máquina

#### 4. REFERENTES TEÓRICOS

Los sistemas lógicos de control o P.L.C por sus abreviación en inglés (Programmable Logic Controller), han servido desde la década de los 60 para mejorar los procesos industriales en el control de máquinas para la industria así reemplazando los pesados y tediosos sistema controlados mediante relés e interruptores.

El sistema de control que se utilizó es un logo que es igual a un P.L.C, solo que es más pequeño y diseñado para controlar máquinas o procesos de tamaños pequeño mediante este logo diseñaremos un programa el cual se encargara de controlar los dispositivos periféricos del aparato tales como motores, switches, microswitches y resistencia de calor mediante un programa de control diseñado en la plataforma de programación Simatic de Siemens. El cual está diseñado para todo el sistema de control y seguridad de la máquina. El control de la máquina empastadora cuenta con los componentes mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1. Componentes**

<b>Componentes</b>	
Logo siemens 8E 4S 110-220V	Controlador de temperatura digital
Relé de estado solido	Terminal pin de color rojo
Terminal de ojo amarilla	pulsadores
borneras 4 milímetros	Metro riel bastidor
Marcas de numero	5 metros de cable para transmisión de señal

#### 4.1 LOGO SIEMENS 8E 4S.

Controladores programables también llamados controladores inteligentes utilizados en el campo de la automatización ya que funcionan sin la necesidad de intervención humana en los procesos.

Puede realizar desde complejas tareas como control de bombas, cintas transportadoras, entre otros hasta tareas simples como iluminación, control de persianas, control de calefacción y ventiladores, entre otros, son pequeños, pueden realizar tareas desde corto y largo alcance permitiendo ser alojados en cajas muy fácilmente.

La programación es sencilla y fácil aprendizaje sin necesidad de tener conocimientos en programación, puede realizar operaciones aritméticas, manejar señales lógicas.

Los módulos lógicos sustituyen elementos electromecánicos o electrónicos empleados en una etapa de un proceso. La apariencia general de logo se muestra en la figura 1.

Figura 1 Logo 8E 4S 110-220v



Fuente: <http://www.siemens.com.co>

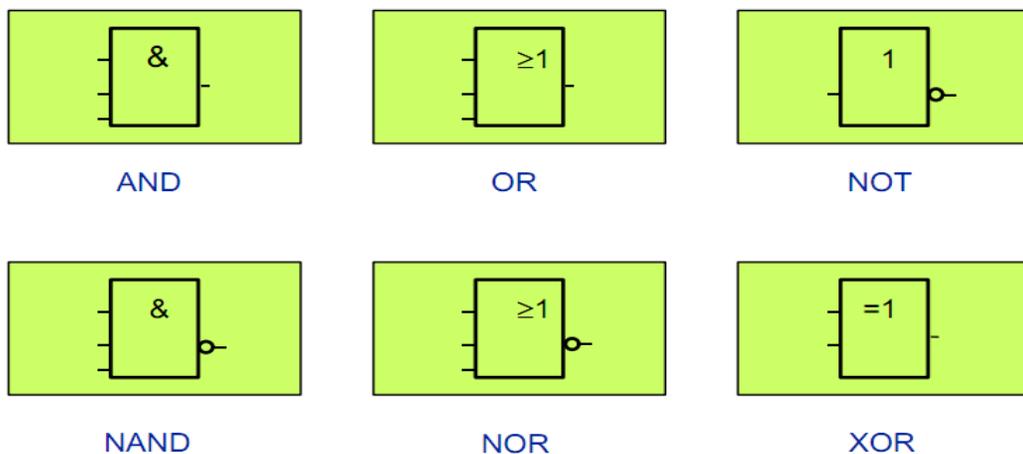
#### 4.1.1. Ventajas del módulo lógico

- Periodos cortos de aprendizaje
- Requieren poco espacio
- Eliminación de pulsadores
- Fácil cableado
- Ejecución Rápida
- Flexibles a cambios

#### 4.1.2. Funciones del módulo lógico.

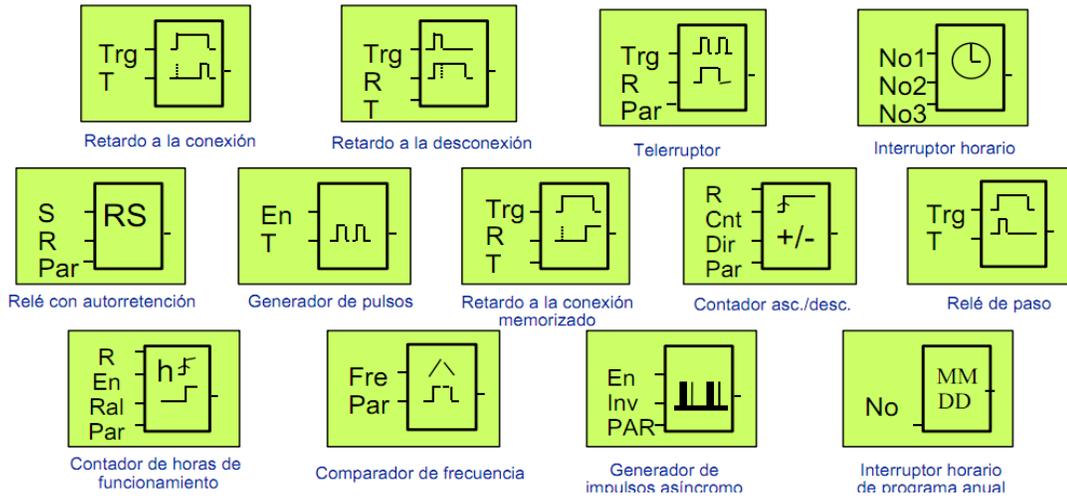
Las funciones del módulo lógico se muestran en la figura 2. Tiene 6 funciones generales integradas (GF) que son:

Figura 2. Funciones modulo lógico



Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

Tiene 13 funciones especiales integradas (SF) que son:



Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

Función de interruptor horaria donde se puede decir en a qué hora el módulo se enciende y a qué hora se apaga.

#### 4.1.3. Accesorios del módulo lógico

- **Pc – cable**

Cable flexible utilizado que va acoplado a un pc para la inserción de programas, probar programas e imprimirlos. La apariencia general del cable pc – cable se muestra a continuación en la figura 3.

Figura 3. Pc- cable



Fuente: <http://lucas-temasprofesionales.blogspot.com>

#### 4.1.4. Módulos de programa.

Dispositivos de almacenamiento donde puedo guardar programas del módulo y llevarlos donde quiere existen 3 clases:

Módulo azul: Para copia

Módulo amarillo: Para copia y retentividad

Módulo rojo: Para retentividad y protección de programas

La apariencia general de los módulos de programa se muestra a continuación en la figura 4.

Figura 4. Módulos de programa



Fuente: <http://lucas-temasprofesionales.blogspot.com>

**4.1.5. Contactos.** Capaz de maniobrar cargas hasta 20 A y motores hasta 4KW  
A continuación se muestra la imagen de los contactos en la figura 5.

Figura 5. Contactos



Fuente: <http://lucas-temasprofesionales.blogspot.com>

#### 4.1.6. Logo! Power.

Fuente de alimentación estabilizada que transforma los 120/230 VAC de la red al voltaje requerido. A continuación se muestra la imagen del logo *power* en la figura 6.

Figura 6. Fuente Logo Power



Fuente: sitio web siemens

## 4.2. PULSADORES.

Instrumento de maniobra que cambia el estado de sus contactos mientras una fuerza externa actúa sobre él, volviendo a su posición de reposo. Clasificación de los pulsadores:

### 4.2.1. Por su forma exterior

- **Rosante**

El botón y la caja donde se encuentra alojado están a un mismo nivel, para evitar presionarlos por accidente.

- **Saliente**

Cuando el botón y la caja no se encuentran en el mismo nivel se emplean en lugares donde no se puedan presentar maniobras involuntarias.

- **De seta**

El botón es más grande de lo normal de color rojo y ubicado en un lugar accesible utilizado para paros de emergencia.

- **Con capuchón**

El botón y la carcasa están cubiertos se emplean en lugares polvorientos.

- **Luminoso**

Botón con señalización incorporada para saber si esta accionado, empleado en lugares muy alejados del operario.

#### 4.2.2. Por la función que realiza

- **Normalmente cerrado (NC)**

Tiene un contacto normalmente cerrado, utilizado para abrir un circuito también llamado Stop. Se representan con los números 1-2. A continuación se muestra la imagen de un pulsador normalmente cerrado en la figura 7.

Figura 7. Pulsador NC



Fuente: <http://www.raelectronica.es>

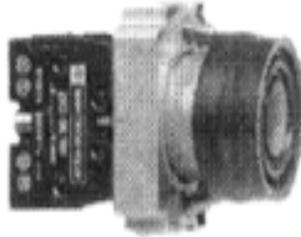
- **De desconexión múltiple**

Tiene dos o más contactos normalmente cerrados, utilizados para abrir dos o más circuitos simultáneamente.

- **Normalmente abierto (NA o NO)**

Tiene un contacto normalmente abierto, utilizado para cerrar un circuito también llamado Start. Se representan con los números 3-4. A continuación se muestra una imagen de un pulsador normalmente cerrado en la figura 8.

Figura 8. Pulsador NA



Fuente: <http://www.raelectronica.es>

- **De conexión múltiple**

Tiene dos o más contactos normalmente abiertos, utilizados para cerrar dos o más circuitos simultáneamente.

#### 4.3. CONTROL DE TEMPERATURA DIGITAL

A continuación se muestra la apariencia de un control digital de temperatura en la figura 9.

Figura 9. Control digital de temperatura

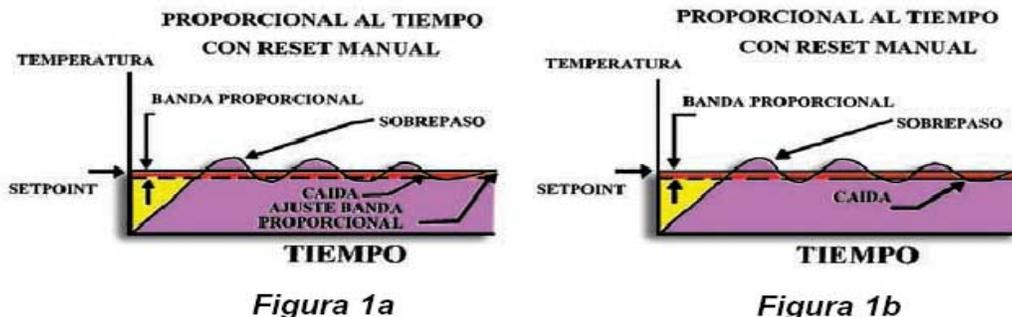


Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx>

Este tipo de control es un instrumento que compara la señal del sensor, la compara con una señal interna deseada (se llama a este punto setpoint) y ajusta la salida del dispositivo calefactor para mantener, tan cerca como sea posible, el equilibrio entre la temperatura medida y la temperatura deseada. Aquí la frase clave es “tan cerca como sea posible”. Existen varios métodos de control para conseguir esto. Trataremos de explicar brevemente los más comunes

**4.3.1. Control si-no.** La selección del control de temperatura correcta para una aplicación dada, depende del grado de control requerido por la aplicación. La solución más simple que puede necesitar una aplicación dada puede solucionarse con lo que se llama control si-no (on-off). El control sí-no trabaja como el termóstato del hogar, o sea la salida del control es 100 % sí o 100 % no. La sensibilidad del control sino (también llamado “histéresis” o “banda muerta”) se diseña de modo que la salida no cambie de sí a no demasiado rápido. Si el rango de histéresis es muy angosto, habrá una conmutación demasiado rápida que se conoce como traqueteo. Este movimiento hace que los contactos de los contactares y elementos calefactores tengan una vida útil más corta. Entonces la histéresis deberá ajustarse de modo que haya un retardo suficiente entre los modos “sí” y “no”. Debido a la necesidad de esta histéresis habrá siempre lo que se llama “overshoot” y “undershoot”. El “overshoot” es la magnitud en que la temperatura rebasa a la del *setpoint*, el “undershoot” es lo contrario. Como se muestra en la figura 1ª. Debido a la histéresis necesaria, esta oscilación de temperatura estará siempre presente, la magnitud de esta oscilación dependerá de las características del sistema térmico en cuestión. A continuación se muestra la imagen de cómo se comporta el control digital de temperatura en el gráfico de la figura 10.

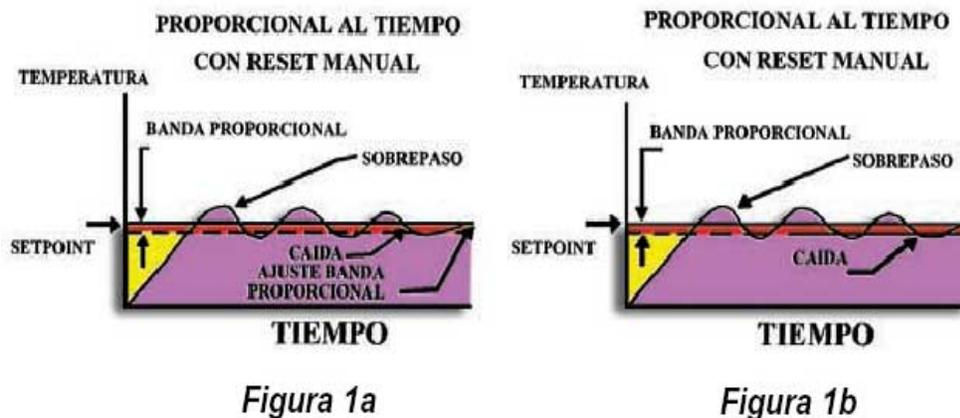
Figura 10. Señal grafica del comportamiento del control digital de temperatura.



Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

**4.3.2. Proporcional en el tiempo.** Hay procesos que necesitan un control más preciso que la que puede dar el sistema sí-no. Un control proporcional en el tiempo, trabaja de la misma manera como el control sí-no mientras la temperatura del proceso está por debajo de lo que se llama la banda proporcional. Esta banda proporcional es el lugar debajo del *set point* en el cual el control proporcional comienza a actuar o sea que la proporción entre sí y no comienza a cambiar. En la parte baja de la banda proporcional, el tiempo sí es mucho mayor que el tiempo no. A medida que la temperatura se aproxima al *set point*, el tiempo sí disminuye y el tiempo no aumenta. Esto cambia la potencia efectiva y ocasiona una disminución en la velocidad a la cual la temperatura del proceso aumenta. Esta acción continúa ya que se estabiliza en algún lugar debajo del *set point*. En este punto se obtiene el control. Esta diferencia entre el punto de control y el *set point* se llama “*droop*” (caída). A continuación se muestra el comportamiento de la señal en el tiempo con *reset* manual en la figura 11.

Figura 11. Comportamiento de la señal con *reset* manual



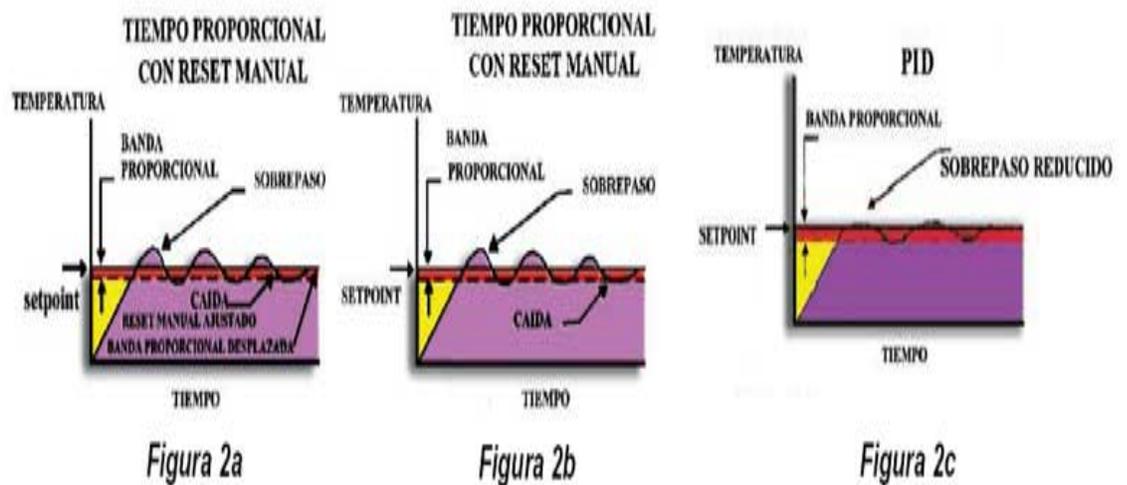
Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

**4.3.3. Acción integral.** Si la caída en el control proporcional en el tiempo, no se puede tolerar en un proceso, se debe agregar la función integral de control. La función integral que se encuentra en los controladores de corte automático emplea un algoritmo matemático para calcular la magnitud de la caída y luego ajustar la salida para cortar el control y llevarlo más cerca del *set point*. Esta acción de corte automático tiene efecto solamente dentro de la banda proporcional. Si esta acción se efectúa fuera de la banda proporcional el sistema

se hace inestable. Los controles integrales están preparados para impedir este efecto.

En muchos controles que no tienen control automático se sustituye esta función por un potenciómetro que ajusta manualmente a la banda proporcional. A continuación se muestra la señal grafica de la figura 12.

Figura 12. Señal grafica del control digital de temperatura



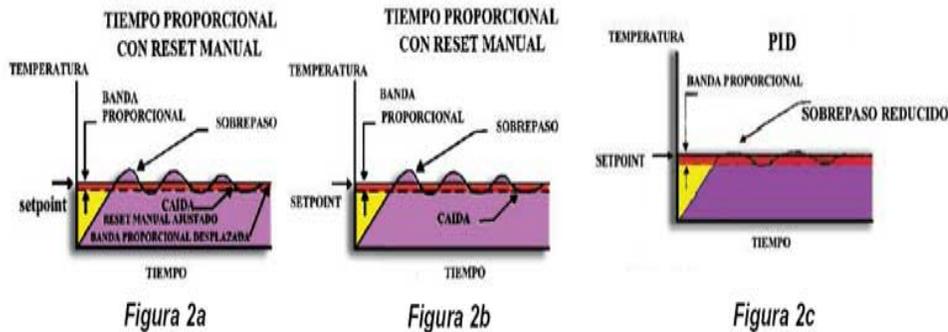
Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

**4.3.4. Derivado.** El sobrepaso de temperatura es cuando el proceso, durante su ciclado, sobrepasa el *set point*. Este sobrepaso puede ser pequeño e insignificante o lo bastante grande como para causar problemas con el proceso. El sobrepaso puede ser perjudicial en muchos procesos por lo que debe ser evitado.

Todos los tipos de controles considerados hasta ahora tienen sobrepaso. La función derivada puede usarse en estos casos para prevenir el exceso de temperatura. La función derivada anticipa con qué rapidez se llega al *set point*. Hace esto midiendo la velocidad de cambio de la temperatura del proceso y forzando al control a entrar antes en una acción proporcional disminuyendo la velocidad del cambio de la temperatura del proceso. Esto resulta en una temperatura que entra al *set point* en forma suave y así previene un sobrepaso excesivo al inicio del proceso o cuando el sistema cambia, por ejemplo, cuando la carga cambia o por la apertura de la puerta del horno tiene lugar.

Por lo común, el control más exacto es aquel que es proporcional, tiene control automático y es derivado. Este tipo de control se conoce como PID (Proporcional, Integral, Derivado). A continuación se muestra la gráfica en la figura 13.

Figura 13. Señal grafica del control de temperatura



Fuente: <http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

#### 4.3.5. Ajustes de los sistemas de control.

##### - **Controles si-no**

El ajuste de los sistemas sí-no consiste en el ajuste de la histéresis variando los puntos en los cuales el control se hace "sí" o "no".

##### - **PID**

Proporcional (P), Proporcional más integral (PI) y Proporcional más integral más derivado (PID)

Existen varios métodos para el ajuste de estos tipos de controles. La mayoría requiere una considerable cantidad de paciencia por parte del técnico. El que sigue es uno de esos métodos.

El primer paso es el ajuste de la banda proporcional. Si el controlador tiene ajustes para la parte integral y derivada, habrá que ponerlos en cero. El ajuste de la banda proporcional selecciona la velocidad de respuesta (a veces llamada ganancia) que necesita un control proporcional para conseguir la estabilidad del sistema.

La banda proporcional debe ser más ancha, en grados, que las oscilaciones normales del sistema, pero no demasiado ancha como para amortiguar la respuesta del sistema. Comience con la banda proporcional lo más angosta posible. Si existen oscilaciones se debe aumentar la banda proporcional en pequeños incrementos, esperando cada vez varios minutos para que el sistema se estabilice, hasta el punto en el cual la caída comienza a aumentar. En este punto las variables del proceso deberán estar en un estado de equilibrio en algún punto por debajo del *setpoint*.

El paso siguiente es el ajuste de la acción integral o de *reset*. Si el control tiene un ajuste manual, se lo ajusta hasta que la caída del proceso se ha eliminado. El problema con el ajuste manual es que cada vez que se cambia el *setpoint* de valor, posiblemente tengamos una caída otra vez y haya que ajustarlo nuevamente.

Si el control tiene *reset* automático, se ajusta el mismo a su inicio de modo que halla el mínimo número de repeticiones por minuto para permitir el equilibrio del sistema. En otras palabras se ajusta el auto *reset* en pequeños pasos, permitiendo que el sistema se equilibre después de cada paso, hasta que empiecen pequeñas oscilaciones. Luego se retrocede con el ajuste hasta que las oscilaciones se detengan y se restablezca el equilibrio. En este punto el sistema se ajustará automáticamente para los errores de caída.

El último parámetro de control para ajustar es la función derivada. Siempre se debe ajustar esta función a lo último. Si este ajuste se hace antes del *reset*, éste se irá de límites, y habrá que comenzar todo el proceso nuevamente.

La función del ajuste derivado es reducir en todo lo posible cualquier sobrepaso de temperatura. El ajuste derivado es uno basado en el tiempo medido en minutos sintonizado para trabajar con el tiempo de respuesta del conjunto del sistema.

El ajuste inicial deberá ser la mínima cantidad de minutos posible. Se aumenta el ajuste en muy pequeños incrementos. Después de cada ajuste se debe esperar hasta que se equilibre. Luego se incrementa el *setpoint* en una magnitud moderada. Vigile la acción del control cuando se llega al *setpoint*. Si existe un sobrepaso, se aumenta la acción derivada en una pequeña cantidad y se repite el procedimiento hasta que el sobrepaso se elimina. Algunas veces el sistema se hace lento y nunca llega al *setpoint*. Si esto ocurre, disminuya el ajuste derivado hasta que el proceso llega al *setpoint*.

**4.3.6. Autoajuste.** El ajuste de todos los parámetros de control no es simple. La tecnología moderna ha permitido el desarrollo del autoajuste. La mayoría de los fabricantes ofrecen controles de temperatura de simple lazo con la opción del ajuste de parámetros en forma automática, lo que elimina los inconvenientes del ajuste manual. La mayoría operan sobre un sistema analizando el ciclo de comienzo desde el inicio hasta que llega al *setpoint*. Luego, aprendiendo de la respuesta característica del primer ciclo, se ajusta a sí mismo en forma óptima de acuerdo a la información del primer ciclo. La función de autoajuste continúa aprendiendo de los ciclos subsiguientes y reajusta los parámetros hasta que se consigue un control PID óptimo.

**4.3.7. Registro.** En muchas aplicaciones es, a menudo, registrar la temperatura en forma permanente, ya sea por requerimientos gubernamentales, requisitos de fabricación, o simplemente como archivo para el análisis posterior de la marcha del proceso de fabricación.

La colección de datos en la industria, varía entre sistemas DCS (*Distributed Control System*) que ejerce tanto la función de registro y de control en forma simultánea en muchos puntos del proceso a sistemas manuales simples.

Otra forma común de grabar datos desde los sensores de temperatura es por medio de registradores gráficos. Estos se emplean desde hace mucho y aún tienen aplicación hoy en día. Los registradores gráficos de papel redondos toman la señal de un termopar y de una termorresistencia directamente o señales de proceso analógicas desde los sensores usando transmisores. La ventaja de los registradores redondos es que las cartas están graduadas en períodos de tiempo exactos para aquellos que requieren registros por día, semana u hora. Los registradores de cinta, por otra parte, tienen la posibilidad de atender muchas más entradas y leerlas en forma consecutiva y luego imprimirlas. Muchos de los registradores de hoy en día son los llamados “híbridos”. Estos registradores ofrecen muchas más funciones y habilidades que el registrador normal no tiene. Estos registradores híbridos tienen, entre otras, la posibilidad de grabar cada parámetro en distintos colores. Esto es importante ya que permite una fácil identificación de los puntos que el técnico está tratando de leer. También se proveen funciones adicionales tales como salidas para alarma, cambio del color de la impresión en condiciones de alarma, auto diagnóstico, etc.

Los equipos basados en computadoras son programables y pueden configurarse de modo de satisfacer cualquier necesidad.

**4.3.8. Dispositivos de control final.** Hasta ahora hemos discutido brevemente a los sensores de temperatura, a los transmisores de temperatura, controles y registradores y grabadores. Otra área que merece nuestra atención en la discusión de temperatura y en la aplicación de su instrumentación, es la de los dispositivos de control final. Para completar el lazo en un sistema de control de temperatura de lazo cerrado (figura 6), debe tener algún dispositivo que toma la salida del instrumento de control y lo convierte en producción de calor o frío.

Para el calentamiento eléctrico en la industria, normalmente por el dispositivo final debe circular una cantidad de corriente apreciable para calentar un proceso grande. Estos procesos no pueden ser controlados directamente por la salida de un controlador ya que normalmente la aptitud de manejar corriente de estos controladores no pasa de 5<sup>a</sup>. El dispositivo de control final puede ir desde un simple contactor, relevador de mercurio, relevador de estado sólido y controladores de SCR (tiristores). Los contactores electromecánicos son los dispositivos de menor costo. El problema con los contactores es que la continua conmutación del mismo, resulta en una vida relativamente corta de sus contactos.

Esto resulta en frecuente reemplazos de los contactos, con el agravante de que para este reemplazo muchas veces hay que detener el proceso, lo que provoca pérdidas adicionales. En los relevadores a desplazamiento de mercurio, la ventaja es que están sellados por lo que no existe, o casi, producción de chispas cuando los contactos se cierran, debido al desplazamiento del mercurio. No obstante, el mercurio ahora se encuentra en la lista de materiales peligrosos para la salud. El reemplazo de los relevadores de mercurio por relevadores de estado sólido es a menudo la respuesta. El relevador de estado sólido tiene la ventaja de no tener partes móviles que se gasten. Se seleccionan basándose en la aplicación particular. Es necesario conocer los requerimientos de la corriente de carga, también debe conocerse como se excita el relevador de estado sólido. Los hay que se disparan con CA y otros con CC.

El modelo de CA puede excitarse directamente con la salida de relevador del controlador de temperatura. El modelo de CC trabaja normalmente con una señal de entre 3 y 32 voltios (de continua). Cualquier tensión en este rango hace que se cierre el circuito y toda la corriente vaya hacia la carga. Los contactores electromecánicos, de mercurio y de estado sólido tienen todas unas cosas en común. Ellos conectan la potencia a la carga ya sea en total o en cero. El control verdaderamente proporcional requiere lo que se llama típicamente "control de potencia". Este dispositivo se cumple empleando un rectificador controlado de silicio (SCR) el que puede dispararse de distintas maneras para cumplir con los requerimientos de una aplicación específica. El controlador con SCR normalmente recibe una señal proporcional desde el controlador de temperatura (normalmente 4-20mA) y la convierte en una salida de control proporcional al elemento calefactor por medio de "Encendido por ciclos", "encendido por tiempo fijo", "encendido por tiempo variable" y "ángulo de encendido variable".

El encendido por ciclos proporciona una señal al calefactor mediante la conexión por un determinado número de ciclos y el apagado por otro número de ciclos. La proporción entre sí y no depende de la señal de comando desde el controlador de temperatura. Si la salida del controlador de 4-20mA es, por ejemplo, de 12mA, luego el controlador estará sí durante 30 ciclos y no durante 30 ciclos. Con controles variables en el tiempo, los tiempos sí y no son aún proporcionales a la señal de control, pero la base de tiempo cambia en función de la demanda. Usando el ejemplo de los 12mA, usted tendría la potencia sí durante un ciclo y luego la potencia no durante otro ciclo (demanda del 50%). Si usted tiene una demanda del 20 %, la potencia estará no durante un ciclo y no durante cuatro ciclos. Una de las ventajas más grandes en estos tipos de conmutación consiste en el cruce por cero de la onda sinusoidal de línea, lo que hace al sistema virtualmente inmune a la interferencia eléctrica.

Los controladores que trabajan mediante la variación del ángulo de disparo del SCR son verdaderamente proporcionales, ya que la magnitud de la corriente que pasa por los SCR puede ser controlada. Cuando el tiristor se dispara permanece

conduciendo hasta que cambia la polaridad de su ánodo (la senoide pasa a través del punto cero). El punto de inicio de la conducción, sin embargo, puede comenzar en cualquier punto de la senoide. Por lo tanto, ya que el punto de inicio de la conducción no es cero, sino demorado dentro de la senoide, se controla la magnitud de la corriente por el SCR. Puede generar ruido de línea y ser susceptible al mismo en algunas aplicaciones.

Un par de aspectos del control por ángulo de fase hace a este tipo de control aún más interesante. Algunos tipos de calefactores eléctricos, tal como el carburo de silicio, cambian su resistencia con la temperatura de tal modo que cambios rápidos de la misma tienden a acortar su vida útil. Una disposición llamada arranque suave hace que el ángulo de disparo crezca lentamente de modo que el calentamiento de los calefactores también lo hace en forma lenta, alargando su vida útil.

Otro aspecto útil del control por ángulo de fase es la limitación de corriente. Los controladores de potencia con SCR poseen un transformador sensor de la corriente lo que impide que la circulación de corriente pase de un nivel preestablecido. Esto también alarga la vida de muchos calefactores. Aquí cabe una advertencia, si se establece un cortocircuito en los mismos, la corriente aumentará en forma excesiva, poniendo en peligro la integridad de los SCR, por esta razón se deberán incluir fusibles cuidadosamente calculados, en lo que respecta a su intensidad y a su tipo.

#### 4.4. RELE DE ESTADO SÓLIDO

A continuación se muestra la apariencia general de un relé de estado sólido en la figura 14.

Figura 14. Relé de estado sólido



Fuente: [http://www.soloelectronica.net/rele\\_solido.htm](http://www.soloelectronica.net/rele_solido.htm)

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un opto acoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un *triac* o dispositivo similar que actúa de

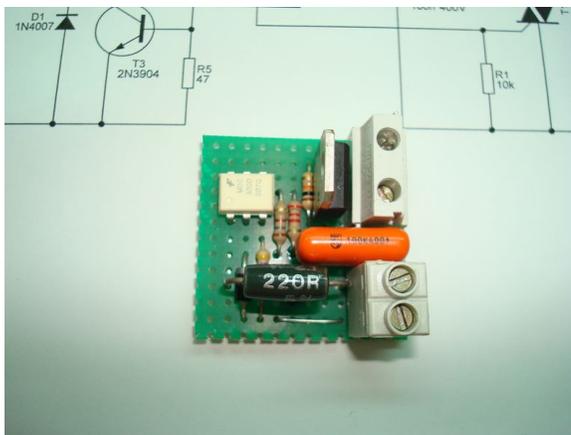
interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos. Estos relés permiten una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.

- **Características.**

- Tensión de control de 3V a 30V CC
- Tensión de salida 115V a 280V CA
- Potencia de salida 400W (sin modificaciones, disipador de calor)
- Corriente mínima de funcionamiento 50 a 100mA

**4.4.1. Circuito físico de un relé de estado sólido.** A continuación la imagen de cómo se asemeja internamente con sus componentes un relé de estado sólido en la figura 15.

**Figura 15. Circuito físico relé estado sólido**



**Fuente:** [http://www.soloelectronica.net/rele\\_solido.htm](http://www.soloelectronica.net/rele_solido.htm)

Los relés de estado sólido son cada día más utilizados por las ventajas que ofrecen, al no tener partes mecánicas que con el tiempo sufran de desgaste, estos componentes resultan muy interesantes para numerosas aplicaciones, por estar contruidos con semiconductores.

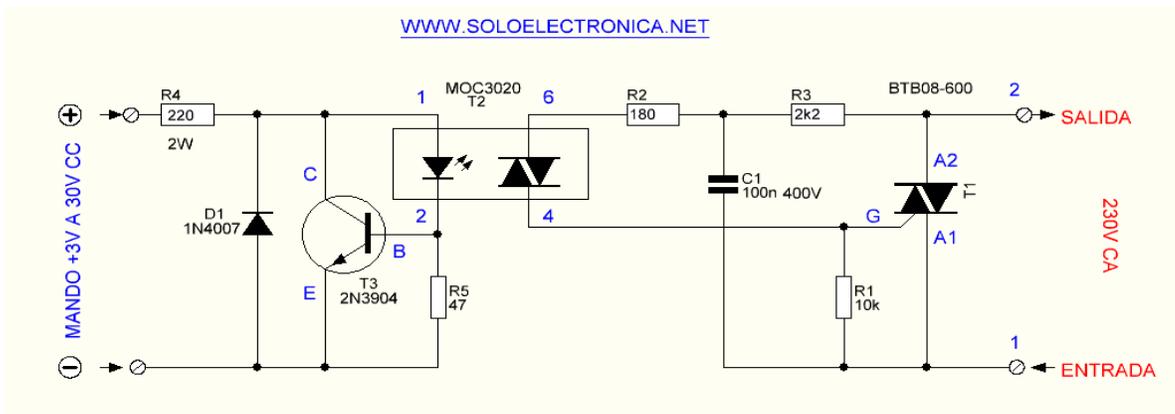
## Ventajas.

- Ninguna parte mecánica sujeta a desgaste
- Conexión y desconexión de la carga solo cuando la tensión pasa por cero
- Ausencia de perturbaciones eléctricas en la conmutación
- Amplio margen de la tensión de control
- Aislamiento galvánico elevado entre circuito de control y carga
- Elevada resistencia mecánica
- Ausencia de ruido en la conmutación

Esto está todo muy bien pero como casi todas las cosas, también tienen sus inconvenientes. A causa del *triac* conectado al circuito de potencia, estos componentes necesitan una corriente mínima de carga (llamada corriente de mantenimiento 25-100mA) para que el circuito funcione sin problemas. El *triac* también es responsable de una pequeña corriente residual (en este circuito es de 7mA, cosa que la mayoría de los fabricantes omiten en sus hojas de características) esto significa que no se puede obtener una separación completa en la carga de la alimentación, como sucede con los contactos del relé norma.

**4.4.2. Esquema electrónico de un relé de estado sólido.** A continuación veremos el esquema electrónico de un relé de estado sólido en la figura 16.

Figura 16. Esquema electrónico *relé* estado sólido



Fuente: [http://www.soloelectronica.net/rele\\_solido.htm](http://www.soloelectronica.net/rele_solido.htm)

## 5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Este sistema de control es diseñado para el control de una máquina empastadora de libros cuyo principal dispositivo encargado de controlar las señales de entrada y salida es un logo siemens el cual ha sido programado para controlar elementos encargados del funcionamiento de la máquina, primero mencionaremos los elementos encargados de controlar las señales de entrada como dos pulsadores que se encargaran de dar la orden a los 2 motores de la máquina, un pirómetro o control de temperatura digital que va conectado a una resistencia de calor y a una termopar la cual se encarga de transmitir la temperatura al pirómetro y este recibirla hasta los grados deseados para darle la orden a logo de que la máquina está preparada para funcionar, un *switche* magnético el cual se encarga de que el carro sujeta lomos de la máquina llegue a su punto inicial preparando la orden al carro con el lomo del libro sujeto que va iniciar el desplazamiento para aplicar la pega al lomo y cuando este la aplique abra un *microswitche* el cual se encargara de dar la orden que llego a su punto final y después de que libere el lomo del libro del carro este mismo *microswitche* se encarga de darle la orden al carro de que regrese a su punto inicial para preparase otra vez para iniciar.

Las señales de salida serán los dos motores los cuales uno se encarga de transmitir la fuerza a una cadena la cual se encargara de desplazar el carro sujeta lomos que va guiado mediante un riel en cada lado y otro motor será el que se encargara de mover un colador en forma de rodillo el cual se estará moviendo constantemente para mantener la pega en su punto y a la vez cuando pase el carro con el lomo aplicar la pega al libro el resto de funciones de la máquina como presionar el lomo con la caratula del libro y liberarlo del aprisionador son funciones hechas manualmente.

## **6.METODOLOGÍA**

### **6.1 . PLAN DE TRABAJO.**

- Investigar sobre los componentes necesarios para la máquina.
- Buscar en el mercado dichos componentes.
- Conseguir los materiales y herramientas necesarias para la implementación de la máquina.
- Diseñar el programa para el logo
- Realizar pruebas de ensayo.

## **7. RECURSOS**

### **7.1. HUMANOS.**

- 2 Tecnólogos en Mecatrónica.
- Apoyo de dos compañeros uno electrónico y uno mecatrónico para ayudar en las dudas acerca de la programación del logo y esquema del circuito de control.
- Empresas del sector mecánico industrial para reparar y mandar hacer piezas mecánicas de la máquina en mal estado
- Conductor el cual se encargara de llevar la máquina desde la empresa donde se encuentra al lugar donde se le trabaja a la máquina y después volver a llevarla a la empresa.

### **7.2. TÉCNICOS.**

- *Software simatic* de siemens
- Taladro manual
- llaves hexágonos
- Multímetro
- Herramientas diversas.

### 7.3. PRESUPUESTO

<b>Cantidad</b>	<b>Recursos técnicos</b>	<b>Costos/pesos</b>
2	Metros cable de potencia 4x14	6400
5	Metros cable de señal	4750
1	Relé estado solido	50000
1	Logo! a 220v AC	400000
5	Metros cable calibre 12	5000
1	Metro riel o bastidor	6000
1	Conector con polo a tierra	3500
12	Terminales pin roja	1200
4	Terminales ojo amarillo	800
100	Marcas amarilla de números	3800
1	Control temperatura autonics	107758
14	Borneras 4 mm	12600
15	Tornillo bristol avellanado 4x40	1520
<b>Valor total</b>		<b>603328</b>

**Tabla 2. Presupuesto**

## 8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

TIEMPO  ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Desarme y revisión del estado de la máquina	X															
Limpieza, chequeo mantenimiento a las partes mecánicas y eléctricas.			X													
Mandar a fabricas piezas y dispositivos malos					X											
Diseño del programa en simatic									X			X				
Compra de los dispositivos requeridos													X			
Ensamblaje de piezas mecánicas														X		
Ensamblaje del circuito eléctrico															X	
Prueba y revisión del sistema eléctrico y de control																X

**Tabla 3 Cronograma de actividades**

## 9. DESARROLLO DEL PROYECTO

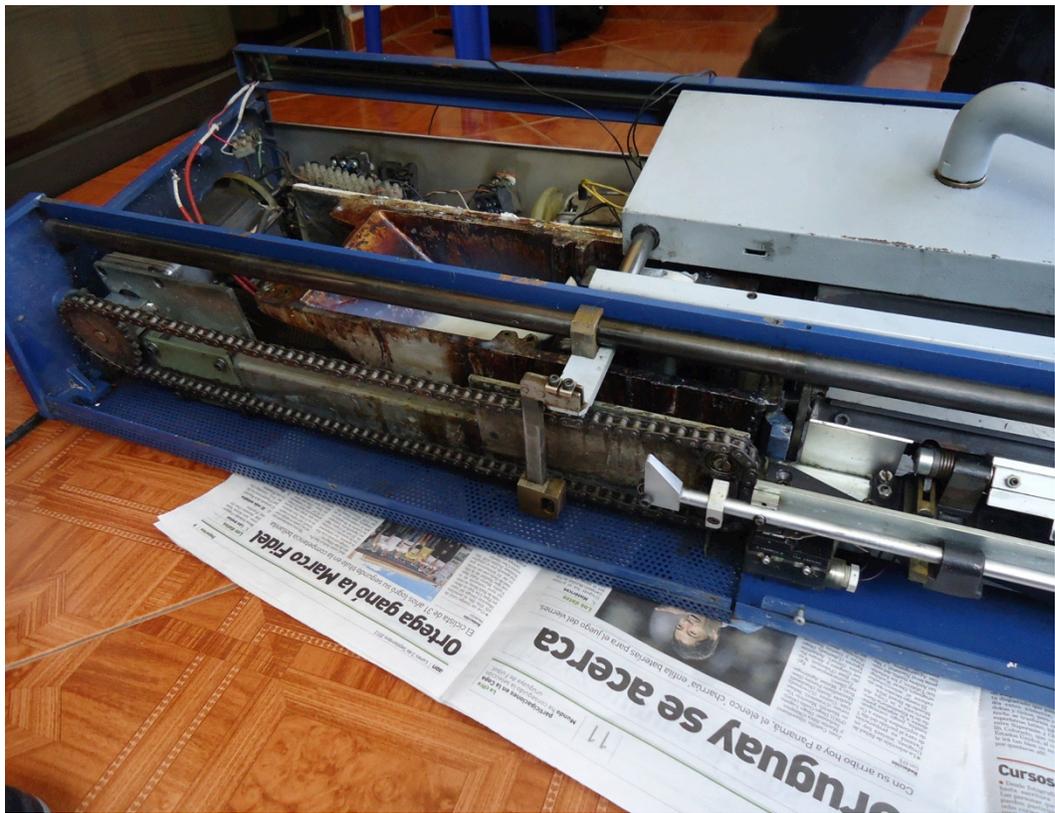
Iniciamos transportando la máquina al lugar donde la desarmamos por ende se contrató un carro ya estando allí ubicamos nuestro lugar de trabajo, fue un poco estrecho pero fue el lugar donde podíamos iniciar con el desarme de la máquina.

A continuación mencionaremos los pasos de cómo iniciamos el proceso de modificación de la máquina anexándose algunas fotografías que tomamos durante todo el proceso.

### 9.1. PASO 1

El primero paso fue ubicar la máquina en un lugar cómodo para trabajar para así retirar las piezas obsoletas como el circuito electrónico de control, gato hidráulico, algunos rodamientos y retirar pega que quedo en la máquina desde la última vez que fue utilizada.

Foto 1 Preparando la máquina para ser desarmada



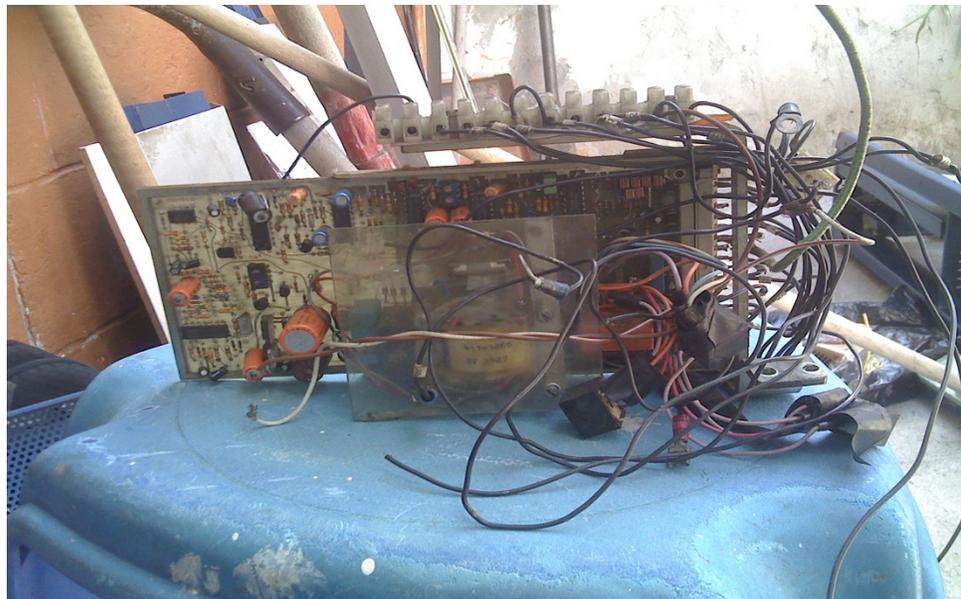
**Foto 2 Parte lateral vista superior**



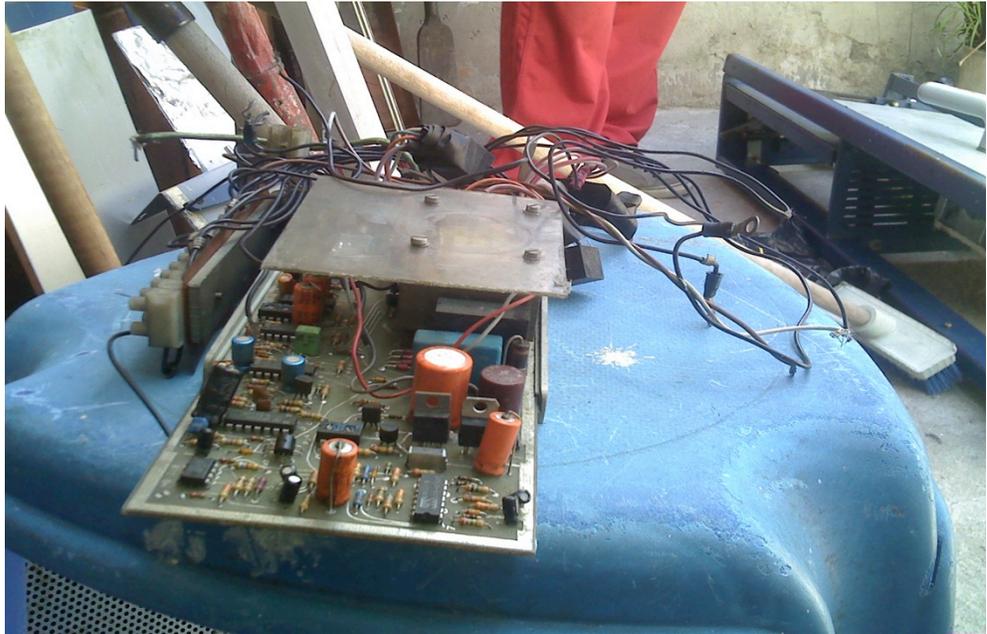
## **9.2. PASO 2.**

El siguiente paso fue retirar la antigua tarjeta electrónica que contralaba la máquina ya que era inservible entonces desoldamos todos los puntos que estaban conectado a esta tarjeta a continuación una imagen de la antigua tarjeta electrónica.

**Foto 3 Antigua tarjeta electrónica**



**Foto 4 Vista superior antigua tarjeta electrónica**



### **9.3. PASO 3.**

El paso a seguir fue retirar algunas carcasas o cubiertas de la máquina para ser limpiadas ya que a la vez impedían la limpieza y mantenimiento de los motores y el depósito de pega. A continuación la foto de cómo quedaba la máquina después de ser despojada de sus carcasas.

**Foto 5 Desmontaje de carcasas o cubiertas**



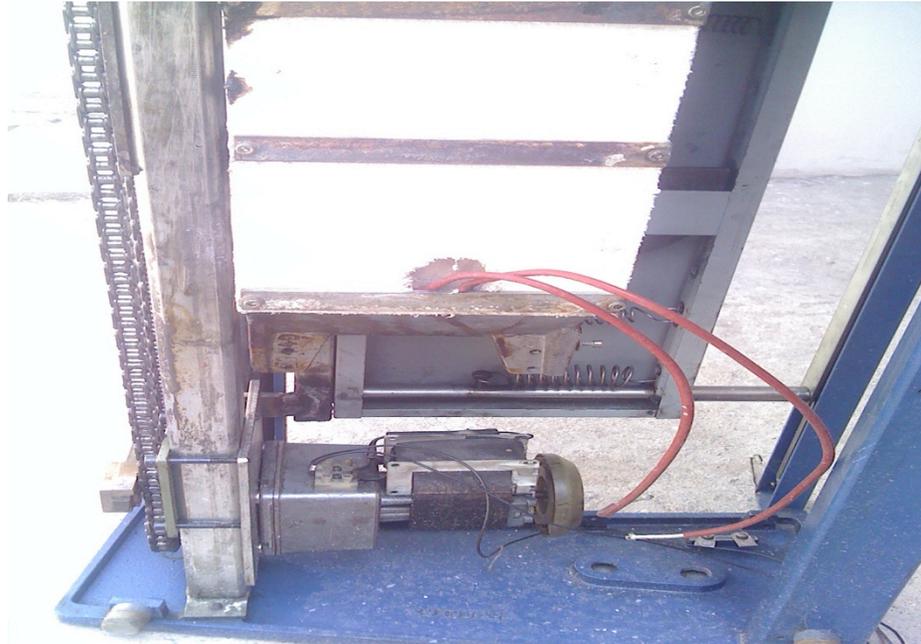
#### 9.4. PASO 4.

Ahora seguí con el desmontaje de algunas piezas mecánicas para ser limpiadas, engrasadas y algunas remplazadas como un gato hidráulico, algunas bolineras. A continuación las fotos de algunas piezas en desarme y ya desarmadas

Foto 6 Desmontaje de piezas mecánicas



**Fotos 7 Desmontaje de soporte de cadena y motor**



**Foto 8 Desmontaje de gato hidráulico**



### 9.5. PASO 6.

Después de que desmonto las piezas se limpió, se lubrico y se engraso volvimos a ubicar las piezas algunas fueron nuevas ya que estaban desgastadas como tornillos, rodamientos y un gato hidráulico.

### 9.6. PASO 7.

Ya teniendo la piezas mecánicas listas y ajustadas pasamos a ubicar los puntos donde se van a fijar los dispositivos de control como el logo, rele de estado sólido, controlador digital de temperatura, fusible de protección y borneras de conexión. A continuación alguna fotos de cómo se inició el montaje.

**Foto 9. Montaje de pulsadores en el panel de control**



**Foto 10. Panel de control**



### **9.6. PASO 8.**

Después de haber perforado varias parte de la lámina de panel de control para fijar 2 pulsadores NA, un interruptor y el control digital de temperaturas pasamos a ubicar los dispositivos que quedan dentro de la máquina como el relé de estado sólido, el logo siemens y las bornes de conexión.

### **9.7. PASO 9.**

Este es el último paso en lo que concierne al montaje físico de la máquina ya habiendo ubicado los dispositivos de control de la máquina los cableamos respecto al plano que diseñamos, antes de energizar la máquina probamos con un multímetro en modo de continuidad si todos los puntos están bien conectados. A continuación las fotos de cómo queda la instalación de los dispositivos de control tanto por dentro como por fuera.

**Foto 11 Montaje y cableado de dispositivos parte interior derecha**



**Foto 12. Parte interior izquierda**



Foto 13. Vista exterior de panel de control



Foto 14. Vista exterior



## **10. CONCLUSIONES**

- Se Mejor la vida útil de la máquina con un sistema de control diseñado para el uso industrial y trabajo pesado.
- Al Consiguió mejores ventajas de funcionamiento ya que sus funciones pueden ser modificadas a favor de quien la utilice.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

ROBLEDO, Rodrigo. Motores de CA y controles. Compuedición. Colombia. 1992. 205p.

FLOWER, Luis. Instalaciones eléctricas. Ed. Alfa omega. Bogotá. 2007. 355p.

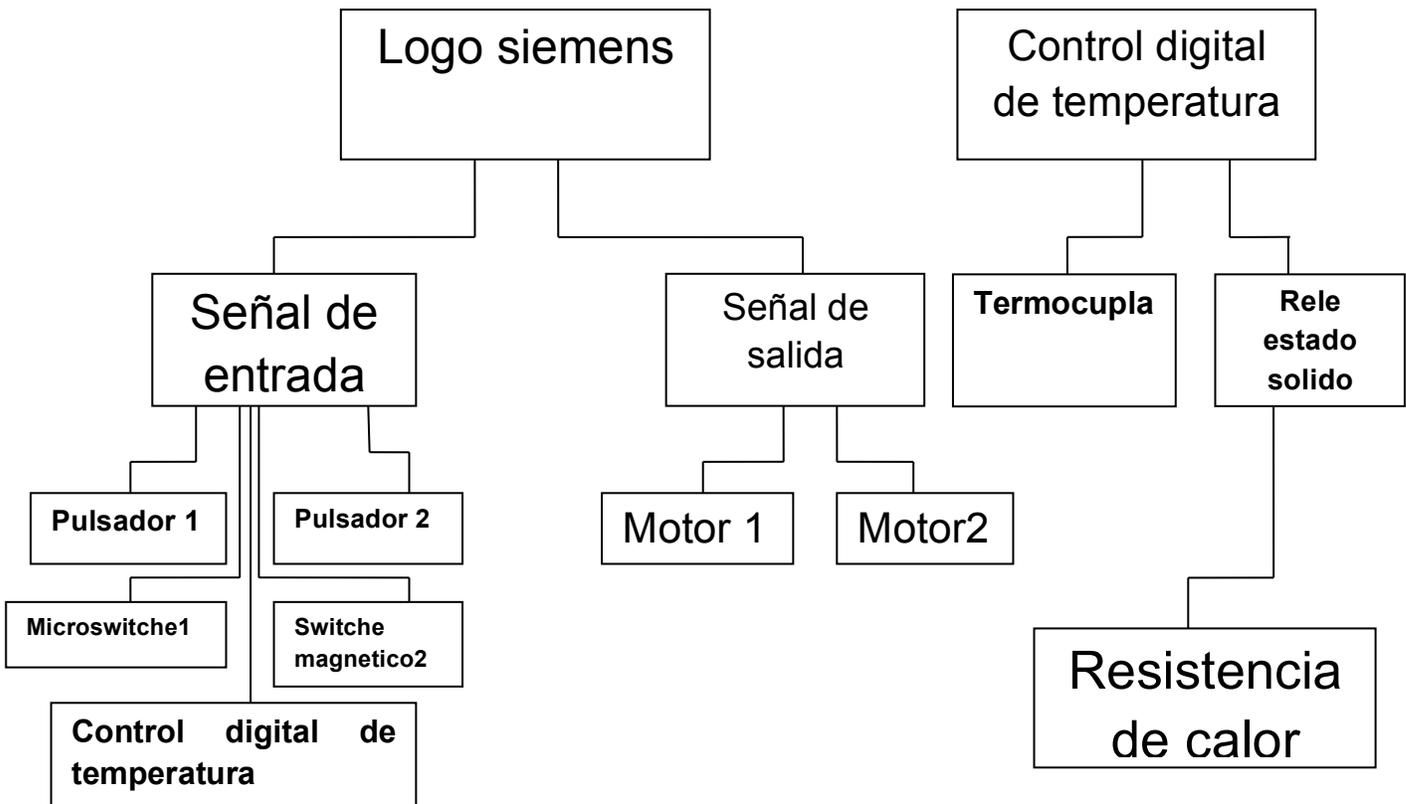
NAVARRO, Rafael. Máquinas eléctricas. Colombia. 1989. 387p.

<http://www.webelectronica.com.ar/news13/nota08.htm>

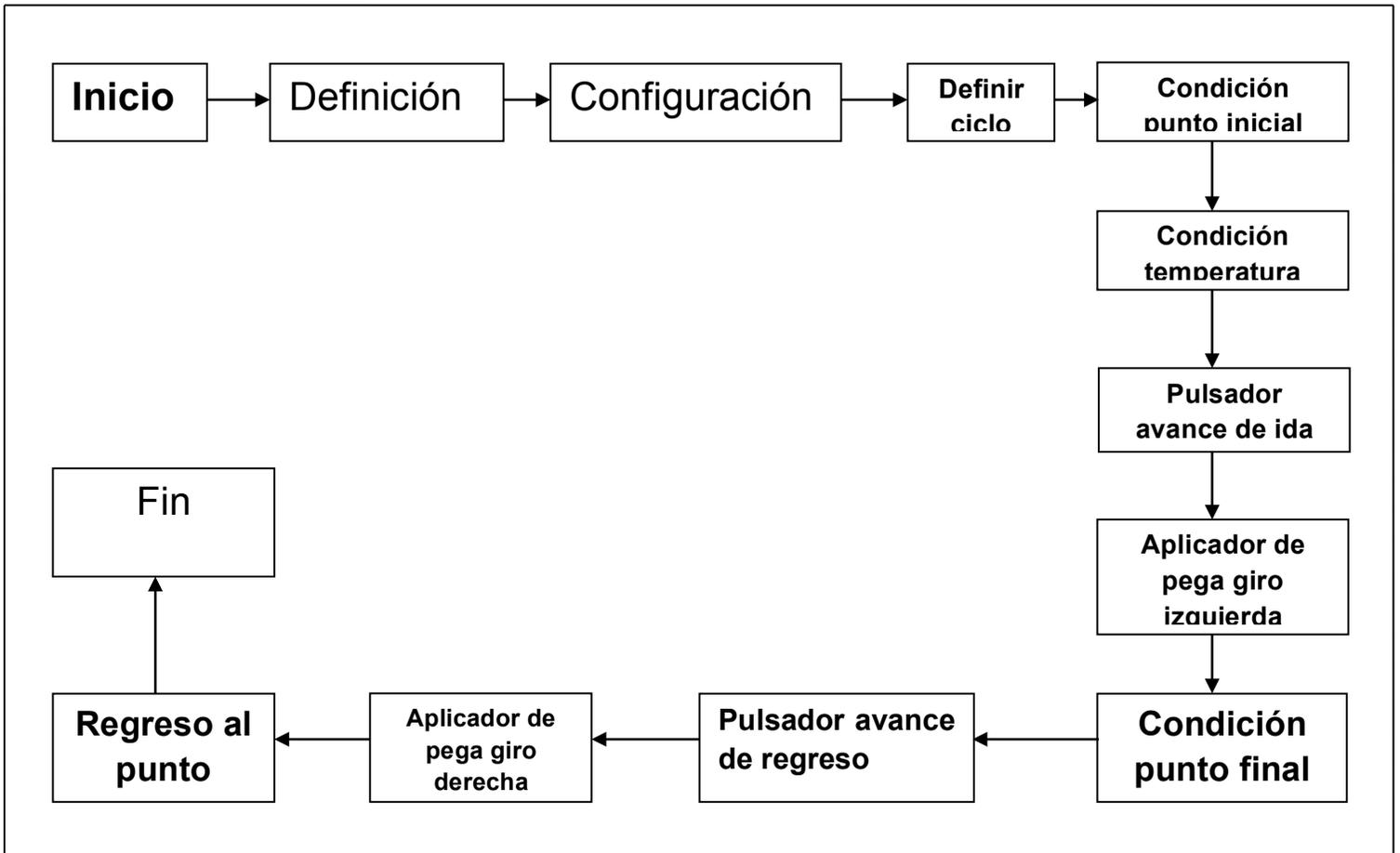
[http://www.soloelectronica.net/rele\\_solido.htm](http://www.soloelectronica.net/rele_solido.htm)

## 12. ANEXO

### 12.1. CUADRO BLOQUES DE HARDWARE



## 12.2 DIAGRAMAS DE BLOQUE DE SOFTWARE



## 12.3. PLANO ELÉCTRICO

