

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **MODERNIZACIÓN DE DOS SIERRAS DE CORTE PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLAS EN LA PLANTA INDUSTRIAL AGLOMERADOS COTOPAXI S.A.**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**JUAN PABLO OTÁÑEZ BALSECA**

*juanpa6651@gmail.com*

**DIRECTOR: ING. PABLO ANGULO**

*pangulo51@hotmail.com*

**Quito, Marzo 2009**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Juan Pablo Otáñez Balseca, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Juan Pablo Otáñez Balseca

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Otáñez Balseca, bajo mi supervisión.

---

Ing. Pablo Angulo  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, hermanos (as), amigos (as) y sobrinas por confiar en mí y haber sido parte importante en la trayectoria de esta carrera.*

# CONTENIDO

	Pág.
<b>CONTENIDO</b> .....	I
<b>RESUMEN</b> .....	VI
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	VIII
<b>CAPÍTULO 1</b>	
PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLAS .....	2
1.1 GENERALIDADES .....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLAS.....	3
1.2.1 Recepción de materia prima.....	3
1.2.2 Preparación de trozas .....	4
1.2.3 Corte principal .....	5
1.2.4 Corte de recuperación .....	5
1.2.5 Corte de estandarizado .....	6
1.2.6 Entarimado .....	7
1.2.7 Preservación .....	7
1.2.8 Secado .....	8
1.2.9 Almacenado y distribución.....	8
1.3 DETALLE DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN .....	10
1.3.1 Proceso de recuperación etapa 1 sierra CB 15.....	11
1.3.2 Proceso de recuperación etapa 2 sierra CB 10.....	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ANTIGUO Y NUEVO .....	19
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA SIERRA CB 15 .....	20
2.1.1 Antiguo circuito de fuerza .....	20
2.1.2 Antiguo sistema de control .....	24

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA SIERRA CB 10.....	26
2.2.1 Antiguo circuito de fuerza.....	26
2.2.2 Antiguo sistema de control.....	30
2.3 DESCRIPCIÓN DEL NUEVO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL.....	30
2.3.1 Nuevo circuito de fuerza de los motores de apertura de las sierras.	31
2.3.2 Nuevo sistema de control.....	33
2.3.3 Guía óptica para el envío de secciones laterales y tablas.....	35
2.4 SISTEMA DE MEDICIÓN DE VOLUMEN.....	36
2.4.1 Medición de volumen sierra principal KBO 40.....	36
2.4.2 Sistema de medición de volumen sierra CB 15.....	37

### **CAPÍTULO 3**

DISEÑO DE FUERZA Y CONTROL DEL SISTEMA.....	40
3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA.....	40
3.1.1 Variador de velocidad.....	41
3.1.2 Protecciones del variador de velocidad.....	44
3.1.3 Armario general.....	46
3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	48
3.2.1 Tableros de mando.....	49
3.2.2 Requerimientos de entradas y salidas.....	52
3.3 PROGRAMA DE CONTROL.....	55
3.3.1 Arranque de motores.....	56
3.3.2 Protecciones.....	56
3.3.3 Algoritmo de control para el posicionamiento de las sierras.....	56
3.3.4 Variador de velocidad.....	58
3.3.5 OBs de alarma implementados.....	58
3.3.6 Señales analógicas y digitales para cálculo del volumen de las trozas y pedazos laterales.....	59
3.4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE SELECCIONADO.....	62
3.4.1 Selección de PLC para el control.....	62
3.4.2 Módulos de entradas digitales (DI).....	64

3.4.3 Módulos de salidas digitales (DO).....	65
3.4.4 Módulos de entradas analógicas (AI) .....	65
3.4.5 Memoria externa del PLC (MMC).....	66
3.4.6 Módulo FM-350 – 2 .....	67
3.4.7 Panel de operador OP7.....	70
3.4.8 PC programador.....	70
3.4.9 Tarjeta de comunicación siemens CP 5611 .....	71
3.5 SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL .....	72
3.5.1 Administrador Simatic .....	72
3.5.2 Configuración del hardware (HW-config).....	73
3.5.3 Sistema operativo y programa de usuario en step 7 .....	74
3.6 DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN.....	78
3.6.1 Comunicación MPI (multi point interface).....	78
3.6.2 Comunicación profibus DP .....	80
3.6.3 Hardware de la red de comunicación .....	82
3.6.4 Software de la red de comunicación .....	83

## **CAPÍTULO 4**

DISEÑO DEL HMI .....	87
4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA VISUALIZACIÓN DEL PROCESO.....	87
4.1.1 Operación sierra CB 15.....	87
4.1.2 Operación sierra CB 10.....	88
4.1.3 Volumen de trozas sierra principal KBO 40.....	88
4.1.4 Volumen de pedazos laterales sierra CB 15 .....	89
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PARA EL HMI .....	89
4.2.1 Entorno WinCC .....	89
4.2.2 Software Protool para panel de operador.....	96
4.3 DISEÑO DE IMAGENES DEL HMI IMPLEMENTADO .....	97
4.3.1 Descripción de las pantallas diseñadas en WinCC .....	98
4.3.2 Diseño de imágenes en Protool .....	104
4.4 OPERCIÓN DEL HMI .....	106

## **CAPÍTULO 5**

MONTAJE E INSTALACIÓN.....	109
5.1 MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS.....	110
5.1.1 Montaje de los tableros .....	110
5.1.2 Instalación de los tableros.....	117
5.2 COSTO ESTIMADO DEL PROYECTO .....	119

## **CAPÍTULO 6**

PRUEBAS Y RESULTADOS.....	122
6.1 PRUEBAS ANTES DE LA INSTALACIÓN .....	122
6.1.1 Pruebas de las conexiones eléctricas .....	122
6.1.2 Pruebas de funcionamiento .....	122
6.2 PRUEBAS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN .....	123
6.2.1 Pruebas de las conexiones eléctricas .....	123
6.2.2 Pruebas a los motores .....	123
6.2.3 Pruebas de adquisición de valores de altura para el cálculo del volumen de las trozas y pedazos laterales.....	124
6.2.4 Pruebas del variador de velocidad .....	124
6.2.5 Pruebas de la calibración de apertura de las sierras CB 15 y CB 10 .....	125
6.2.6 Pruebas de los datos de volumen calculados .....	125
6.2.7 Pruebas de la HMI.....	125
6.3 RESULTADOS .....	126

## **CAPÍTULO 7**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	129
7.1 Conclusiones .....	129
7.2 Recomendaciones.....	130

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>132</b>
--	------------

<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>134</b>
-----------------------------------	------------



**ANEXO A**

PLANOS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO.....A-1

**ANEXO B**

SIMOVERT MASTER DRIVES VC .....B-1

**ANEXO C**

DATOS TÉCNICOS DEL PLC S7-300 ..... C-1

**ANEXO D**

ELEMENTOS DE FUERZA Y FUENTE SITOP..... D-1

**ANEXO E**

PANEL DE OPERADOR OP7 .....E-1

**ANEXO F**

ENCODER ..... F-1

**ANEXO G**

LÁSER VISUALIZADOR ..... G-1

**ANEXO H**

ESQUEMA DE LA LÓGICA DE CONTROL ..... H-1

## RESUMEN

Dentro del proceso de elaboración de tablas en la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. intervienen cinco sierras, de las cuales dos de ellas tienen un mecanismo que permite calibrar el ancho de corte de la madera, mediante un tornillo sin fin que mueve los discos de corte a voluntad, accionado por un motor eléctrico.

La calibración se la realizaba en forma manual utilizando dos pulsantes mediante los cuales el operador accionaba el motor en los dos sentidos de giro hasta establecer por prueba y error el ancho requerido.

Mediante este proyecto se automatizó esta etapa, con lo cual se logró mayor precisión en el ancho de corte en un menor tiempo y se mejoró el rendimiento de todo el proceso.

El mecanismo que existía para mover el tornillo sin fin era un reductor mecánico acoplado al motor eléctrico, cuya salida de velocidad debía reducirse aún más para lograr precisión en la calibración de los discos de corte, para lo cual se utilizó un variador de velocidad electrónico para alimentar el motor.

Considerando que las sierras trabajan independientemente y no al mismo tiempo, se utilizó un solo variador para las dos máquinas. El operador mediante el sistema de control escoge a cual de los dos motores se va a controlar y el variador lo alimenta con la frecuencia establecida previamente.

El nuevo sistema de control implementado con un controlador lógico programable (PLC) dispone también de una HMI con el fin de visualizar algunas de las variables que intervienen dentro del proceso e interactuar con el mismo.

Durante el desarrollo del proyecto surgió la necesidad de conocer el volumen de la madera que ingresa al proceso de corte así como de la madera que se recupera del corte principal por lo que se amplió el alcance de este proyecto de

titulación y se implementó un sistema de medición de volumen de madera en las etapas indicadas, aprovechando el mismo PLC y el HMI.

Este proyecto se terminó en diciembre de 2008 y tuvo un costo aproximado de \$ 15.000,00 financiado por Aglomerados Cotopaxi S.A. Al momento se encuentra funcionando satisfactoriamente en el área del aserradero de la planta industrial de la empresa.

## **PRESENTACION**

Dentro del proceso de elaboración de tablas en la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. intervienen cinco sierras, de las cuales dos de ellas tienen un mecanismo que permite calibrar el ancho de corte de la madera.

El nuevo sistema de control implementado con un controlador lógico programable (PLC) que dispone también de una HMI tiene como objetivo principal reducir el tiempo que toma la calibración de la apertura de corte de las dos sierras que intervienen en el proceso de elaboración de tablas. Todo con el fin de brindar al operador un manejo práctico y sencillo para realizar todas las tareas que se involucran en ésta etapa.

# CAPÍTULO 1

# **PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLAS**

## **1.1 GENERALIDADES**

En el año 1979, Aglomerados Cotopaxi S.A. inicia su producción introduciendo en el Ecuador el tablero de partículas aglomeradas (Acoplac) con una moderna línea de producción con tecnología de punta. Actualmente la industria cuenta con tres líneas de producción que son: Aglomerado, MDF, y aserrado de piezas de madera sólida.

### **Aglomerado**

Es un tablero formado por tres capas de partículas o virutas de madera seleccionada y aglomerada por tamaños mediante la adición de resina junto con la aplicación de procesos de alta presión y temperatura.

### **MDF**

Es un tablero de densidad media para uso en interiores, fabricado con fibras de madera de pino radiata aglutinadas por medio de un adhesivo sintético de resinas que son compactadas en un proceso que usa alta presión y temperatura. Estos tableros pueden ser enchapados con material decorativo y melaminas.

### **Madera sólida**

En esta tercera línea, a partir de las trozas de los árboles, se producen tablas de diferentes tamaños y grosores como: duelas y listones con diferentes terminados.

Todo residuo obtenido en las líneas de producción es utilizado como materia prima para la elaboración de otros productos así como para la generación de energía térmica para consumo interno de la planta.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TABLAS

El proceso de elaboración de tablas tiene las siguientes etapas:

- Recepción de materia prima
- Preparación de trozas
- Corte principal
- Corte de recuperación
- Corte de estandarizado
- Entarimado
- Preservación
- Secado
- Embalaje y distribución

### 1.2.1 RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Consiste en la recepción de trozas<sup>1</sup> las cuales son clasificadas en base a características como: diámetro, longitud, edad y tipo de especie (pino o eucalipto), para posteriormente ser ingresados a la línea de producción correspondiente Fig. 1.1.1.



Figura 1.1.1 Acopio de materia prima

---

<sup>1</sup>Troza: Tronco de madera irregular serrado por los extremos.

## 1.2.2 PREPARACIÓN DE TROZAS

En esta etapa se retira la corteza de las trozas utilizando la máquina descortezadora Fig. 1.1.2 o en forma manual cuando el diámetro de las trozas es mayor al permitido por la misma.

Las trozas descortezadas son enviadas directamente al aserradero si tienen el diámetro permitido por la sierra principal, caso contrario se disminuye el diámetro mediante un proceso de refilado<sup>2</sup> obteniéndose de esa forma las llamadas basas Fig. 1.1.3.



Figura 1.1.2 Descortezado de trozas



Figura 1.1.3 Refilado de trozas

---

<sup>2</sup> Refilado: Aserrado de trozas por los lados para reducir sus dimensiones.



### **1.2.3 CORTE PRINCIPAL**

Las trozas luego de ser descortezadas, refiladas y clasificadas son ubicadas para ingresar a la sierra principal Fig. 1.2.1 través de un sistema de cadenas transportadoras, luego mediante unos rodillos posicionadores se coloca la troza sobre la cadena encargada de transportarla a través de los discos de corte de tal manera que la máquina realice el mejor corte posible, obteniéndose trozas de entre 90mm y 350mm de ancho.

Una vez realizado el corte principal el cual determina el ancho de la duela, la troza continúa mediante un sistema de rodillos hacia la sierra múltiple encargada de realizar el corte para obtener un número determinado de duelas con espesor específico.

Finalmente se transportan por medio de bandas hasta las sierras que realizan el estandarizado de largo de todas las tablas completando así el proceso de corte de la sección principal.



Figura 1.2.1 Corte principal - sierra KBO 40

### **1.2.4 CORTE DE RECUPERACIÓN**

Dentro del proceso de corte de trozas existe una sección de recuperación Fig. 1.1.4, paralela a la sección principal, que es la encargada de recopilar los

pedazos laterales generados por el corte principal de las trozas y basas, dichos pedazos son procesados por otro grupo de sierras, para obtener duelas de dimensiones menores a las producidas en la sección principal, de tal manera de aprovechar de mejor forma la madera.



Figura 1.1.4 Corte de recuperación

### **1.2.5 CORTE DE ESTANDARIZADO**

Una vez terminado el proceso de corte tanto de la sección principal como de la sección de recuperación se realiza el corte de estandarizado Fig. 1.1.5 el cual determina el largo final de las duelas de acuerdo a las necesidades y exigencias del cliente para posteriormente ser clasificadas.



Figura 1.1.5 Corte de estandarizado

### 1.2.6 ENTARIMADO

Luego de la clasificación del producto terminado se realiza una apilación de las duelas Fig. 1.1.6, la cual es embaulada con cinta plástica resistente para luego ser sumergida en líquidos especiales para su preservación y posteriormente ser transportada hacia las cámaras de secado.



Figura 1.1.6 Entarimado del producto

### 1.2.7 PRESERVACIÓN

Una vez que el producto ha sido entarimado y embaulado pasa a la etapa de preservación sumergiéndolo en fungicida-insecticida Fig. 1.1.7; esto asegura una protección contra hongos e insectos dando así durabilidad a la madera.

Una vez bañado el producto se clasifica en madera verde y madera seca, la primera es transportada hacia las cámaras de secado mientras que la otra es colocada en el patio de oreo.



Figura 1.1.7 Depósito con líquidos para el preservado del producto

### 1.2.8 SECADO

Para la producción de madera seca, con un contenido de humedad del 12%, se utilizan dos tipos de secado: secado al ambiente en un patio de oreo y secado mecanizado en cámaras que controlan la temperatura del proceso Fig. 1.1.8.

Este estricto control del proceso de secado minimiza los posibles defectos naturales de la madera.



Figura 1.1.8 Cámaras de secado de producto

### 1.2.9 ALMACENADO Y DISTRIBUCIÓN

Una vez finalizado el proceso de baño en persevante y secado del producto se realiza un embalaje completo de las tarimas para luego ser almacenado Fig. 1.1.9 y posteriormente distribuido a los clientes dando así por culminado el proceso total de elaboración de tablas.



Figura 1.1.9 Almacenamiento y distribución del producto

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO TOTAL DE ELABORACIÓN DE TABLAS

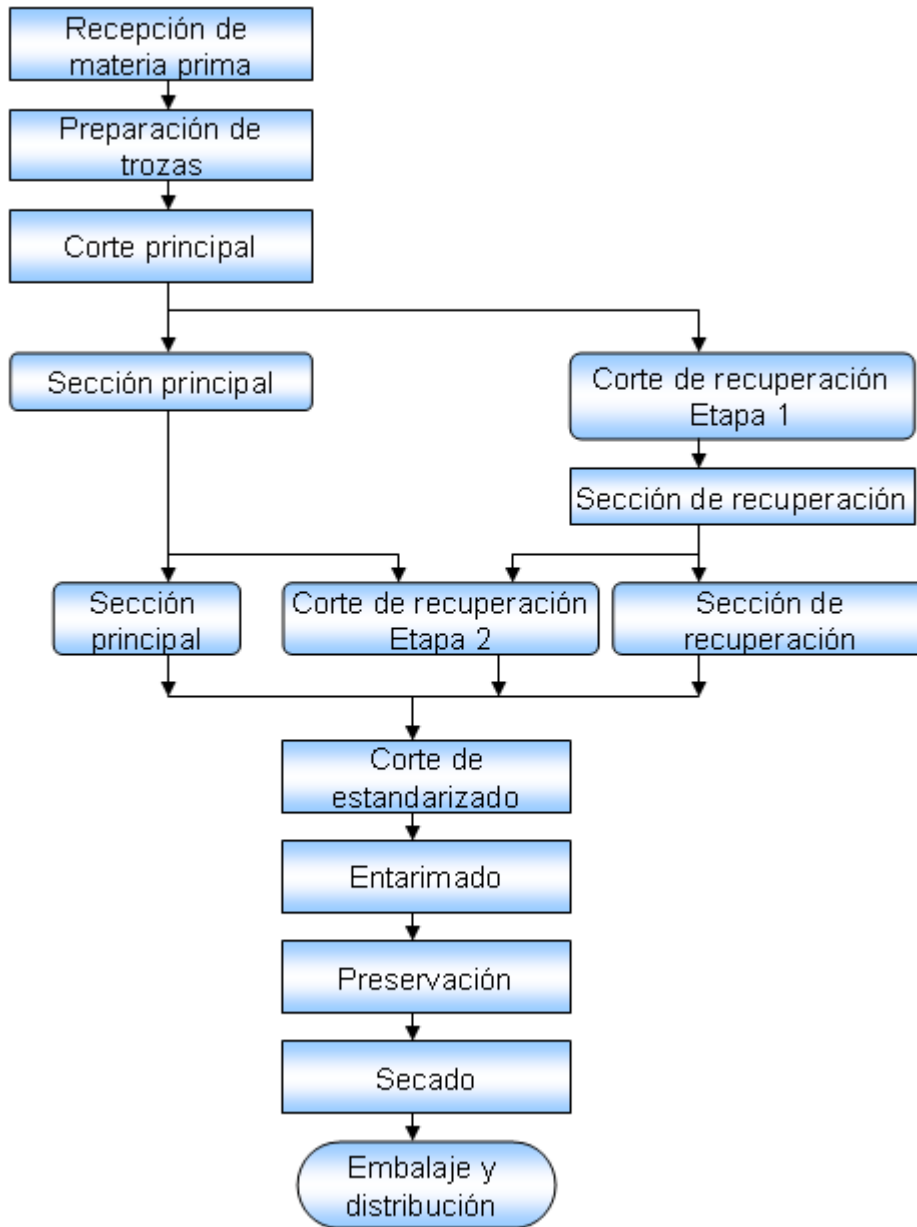


Figura 1.1.10 Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de tablas

El motivo de este trabajo es automatizar dos de las tres sierras que sirven para realizar el corte de las trozas en la sección de recuperación, con las cuales se elaboran duelas de menor tamaño. En el siguiente acápite se detalla de mejor manera este proceso.

### 1.3 DETALLE DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN

Tanto en el corte principal como en corte de tablas se generan sobrantes que se pueden utilizar para elaborar tablas de menor tamaño, por lo que existen dos sierras encargadas de esta recuperación que se realiza en la siguiente forma:

Recuperación etapa 1: Del corte en la sierra principal KBO 40 (Fig. 1.2.1) sobran pedazos laterales Fig. 1.1.11 todavía aprovechables para obtener duelas de menor tamaño, los cuales son transportadas mediante bandas hacia la sierra CB 15 (Fig. 1.2.2 en el esquema 1.1 y 1.2), que se encarga de realizar un corte similar al principal pero con medidas inferiores de entre 78mm y 250mm.



Figura 1.1.11 Pedazos laterales generados del corte principal

Esta madera ingresa a la sierra TS 18 (Fig. 1.3.1 en el esquema 1.3) que es la encargada de cortarla con un espesor de entre 15 mm y 50 mm recuperando así el mayor número de duelas posibles.

Recuperación etapa 2: Algunas de las tablas ya cortadas tanto en la sección principal como la de recuperación presentan defectos como: huecos, pedazos faltantes, etc., lo cual impide ser admitidas en su ancho original, dichas tablas son transportadas hacia la sierra CB 10 (Fig. 1.3.2 en el esquema 1.3) la cual se

encarga de cortarlas en menor tamaño aprovechando así de mejor forma la madera.



Figura 1.1.12 Tablas defectuosas

### **1.3.1 PROCESO DE RECUPERACIÓN ETAPA 1 SIERRA CB 15**

La calibración de la sierra consiste en abrir o cerrar la separación entre los discos que cortan la madera hasta establecer el ancho requerido Fig. 1.1.13. Esta operación se la hace mediante un tornillo sin fin movido por un motor reductor que puede funcionar en los dos sentidos de giro.



Figura 1.1.13 Discos de corte – máquina CB 15

Este proceso el operador lo realizaba en forma manual mediante dos pulsantes que accionaban el motor reductor encargado de mover el tornillo sin fin, luego se cortaban varias trozas de prueba que posteriormente se las medía con el fin de verificar si estaba en la medida deseada Fig. 1.1.13.



Figura 1.1.14 Mediciones de prueba para establecer el ancho de corte

Una vez terminado el proceso de calibración el operador se encarga de ingresar las secciones laterales provenientes del corte principal Fig. 1.1.14 de tal forma que la sierra realice el mejor corte posible.



Figura 1.2.2 Ingreso de pedazos laterales en la máquina CB 15

### **1.3.2 PROCESO DE RECUPERACIÓN ETAPA 2 SIERRA CB 10**

La calibración de apertura de la sierra CB 10 se la realiza de igual forma que la de la sierra CB 15, es decir mediante un tornillo sin fin movido por un motor reductor que gira en los dos sentidos.

El operador disponía de dos pulsantes para accionar el motor reductor y una regleta exterior Fig. 1.3.2 que permite observar el dato de apertura de los discos de corte Fig. 1.1.15. Sin embargo el error entre el valor visualizado en la regleta y



el valor real de apertura era relativamente alto por lo que se debían realizar mediciones manuales como en el caso de la sierra CB15 Fig. 1.1.16.



Figura 1.3.2 Regleta para visualizar valor de apertura - máquina CB 10



Figura 1.1.15 Discos de corte – máquina CB 10

Una vez finalizado el proceso de calibración el operador coloca las tablas defectuosas en los rodillos transportadores para que sean cortadas por la sierra CB10 en un tamaño menor que el original Fig. 1.1.17, procurando recuperar la mayor cantidad de tablas posible Fig. 1.1.18.



Figura 1.1.16 Mediciones de prueba de tablas a recuperar

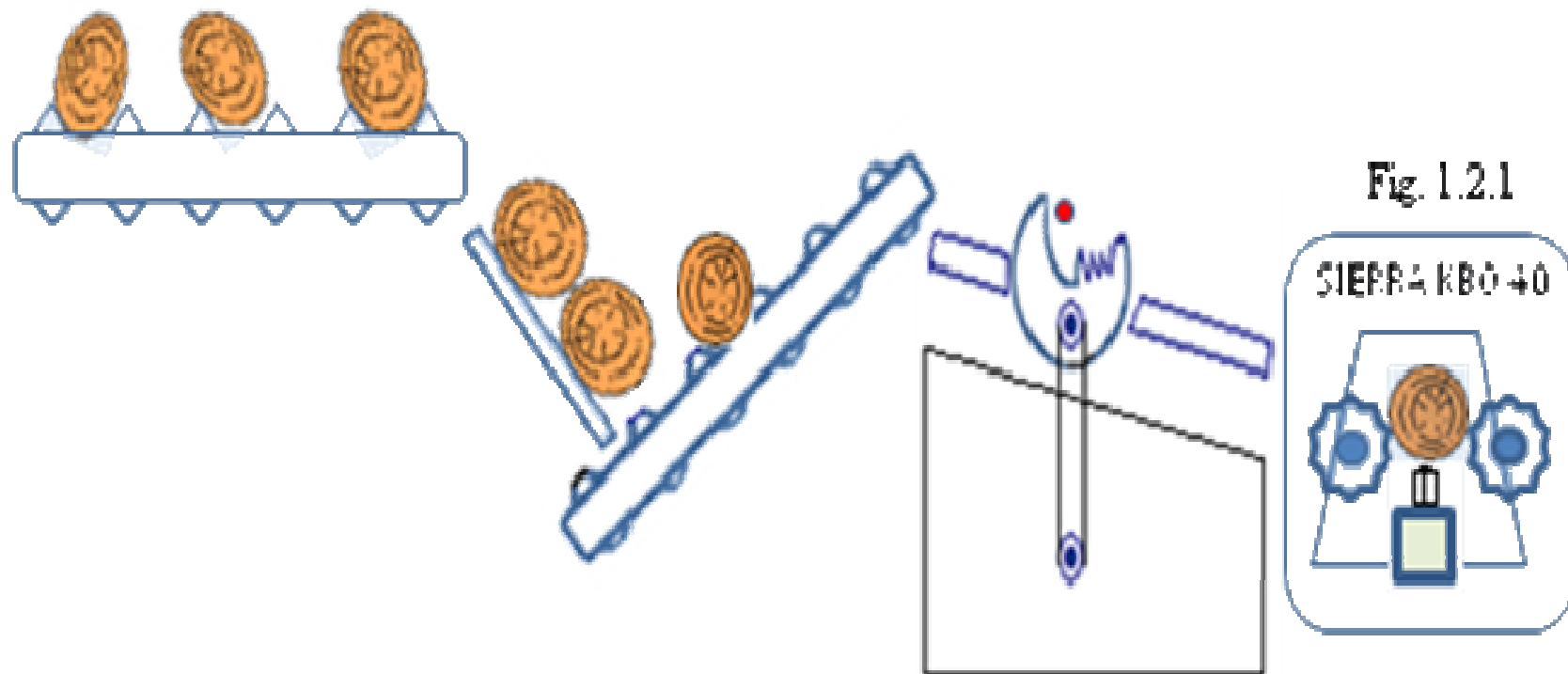
Posteriormente las tablas son transportadas a las siguientes etapas del proceso.



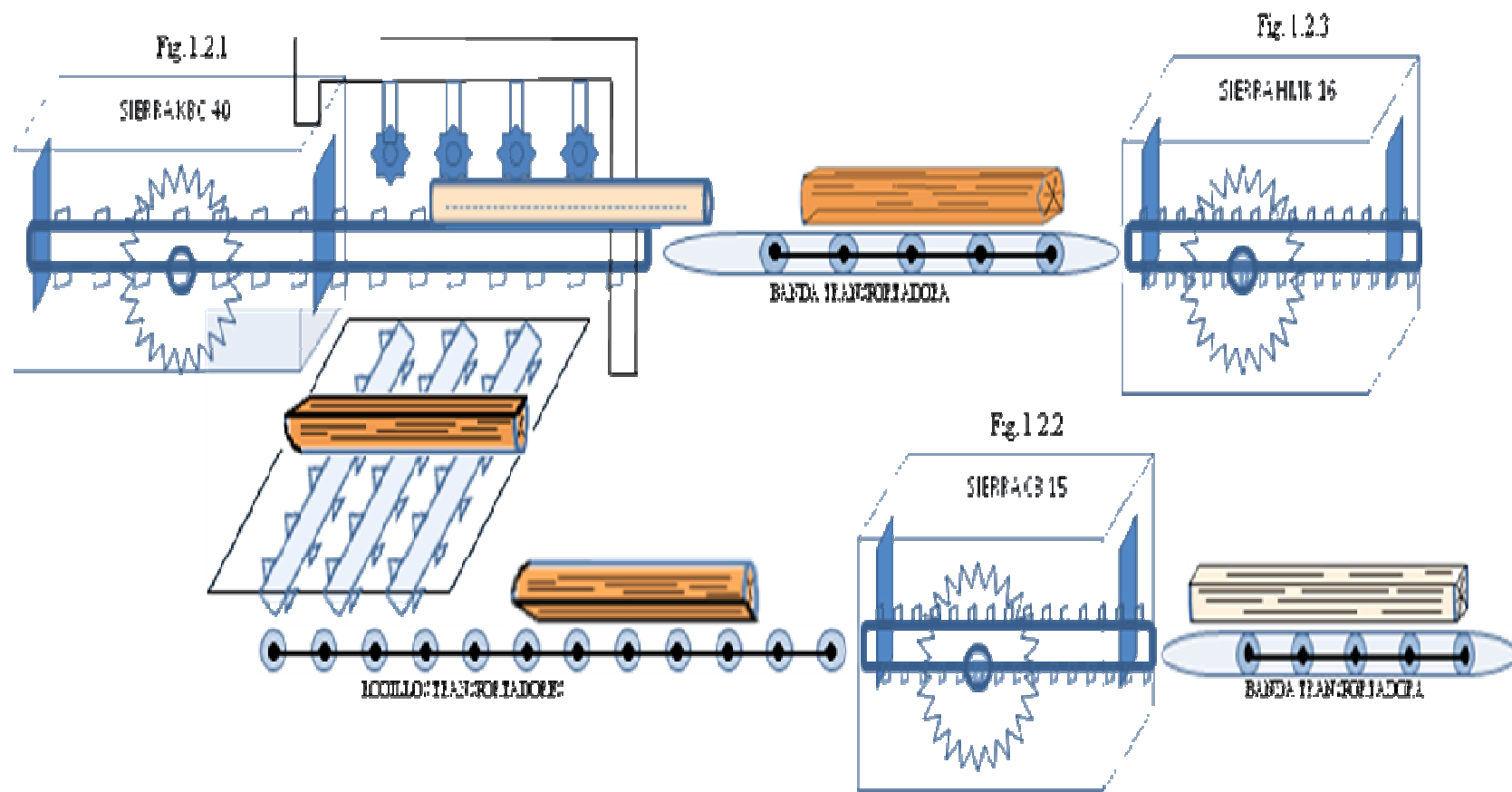
Figura 1.1.17 Acumulación de tablas para ingresarlas a la máquina CB 10



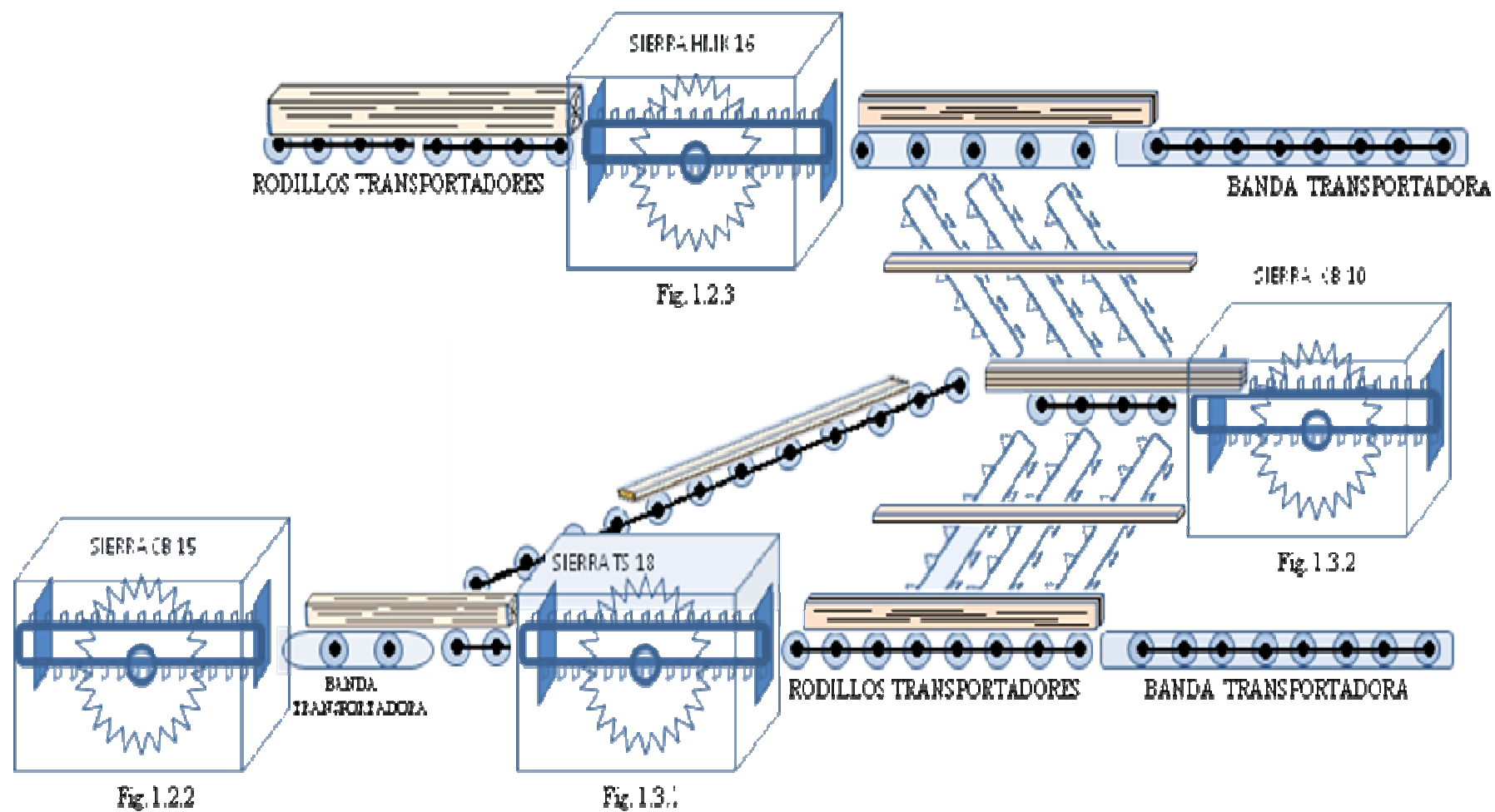
Figura 1.1.18 Tablas recuperadas en menor tamaño.



Esquema 1.1 Ingreso al corte principal sierra KBO 40



Esquema 1.2 Corte principal y corte de recuperación etapa 1 - máquina CB 15



Esquema 1.3 Corte de recuperación etapa 1 - máquina CB 15 y etapa 2 - máquina CB 10

# CAPÍTULO 2

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ANTIGUO Y NUEVO

El motivo de este trabajo es automatizar las sierras CB 15 y CB 10 de corte de recuperación Fig. 1.2.2 y Fig. 1.3.2 (Capítulo 1, esquemas 1.2 y 1.3).



Figura 1.2.2 Sierra para corte de recuperación etapa 1 - máquina CB 15



Figura 1.3.2 Sierra para corte de recuperación etapa 2 - máquina CB 10

A continuación se describen los circuitos de control y fuerza que existían y los que se implementaron en cada una.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA SIERRA CB 15

### 2.1.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA

La operación de la sierra CB 15 Fig. 1.2.2 se la realiza con cuatro motores accionados manualmente mediante pulsantes ubicados en el tablero junto a ésta, a continuación se hará un breve detalle de éstos y sus funciones.

Motores para movimiento de sierras: Siendo estos dos motores los de mayor potencia Fig. 2.1 dentro del conjunto total son accionados manualmente mediante pulsantes de marcha – paro con arranque directo.



Figura 2.1 Motor para movimiento del disco de corte izquierdo máquina CB 15

Motor para el movimiento de la cadena transportadora interna: El movimiento de la cadena interna la máquina se lo realiza mediante un motor reductor Fig. 2.2 el cual es accionado automáticamente después de haber encendido los dos motores de los discos de corte. Su circuito de fuerza es un arranque directo con inversión de giro.



Figura 2.2 Motor reductor para mover cadena interna



Motor para control de apertura de los discos de corte: Por último tenemos el motor reductor Fig. 2.3 encargado del control de apertura de discos y el cual era accionado manualmente en sus dos sentidos de giro mediante pulsantes.

	<b>Motor con reductor</b>	<b>Motor sin reductor</b>
<b>Velocidad RPM (60 Hz)</b>	170	1700

Tabla 2.1 Velocidad del motor con y sin reductor mecánico sierra CB 15

Su circuito de fuerza era un inversor de giro con freno de zapatas, acompañado de las protecciones respectivas tal como se puede apreciar en la Fig. 2.4.



Figura 2.3 Motor reductor para apertura de discos – máquina CB 15

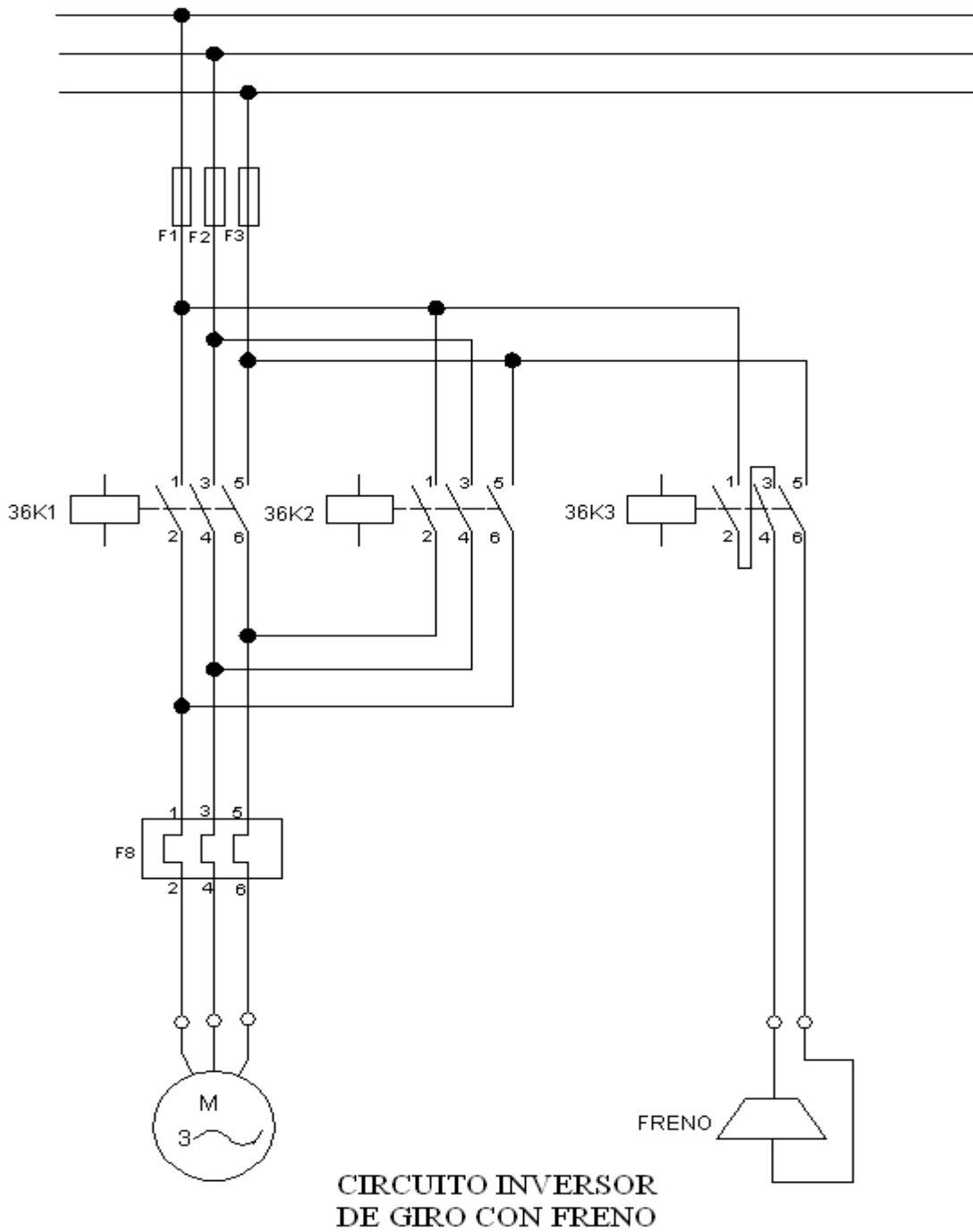


Figura 2.4 Antiguo circuito de fuerza del motor reductor para apertura de sierras

A continuación se detallan los datos de placa de los motores existentes en la máquina de corte CB 15.

**SIERRA DE CORTE CB 15.**

<b>Motor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Volt. Y</b>	<b>Volt. Δ</b>	<b>Amp. Δ</b>	<b>Amp. Y</b>	<b>kW</b>	<b>RPM</b>	<b>f (hz)</b>	<b>fp</b>
KBU 25-06-R01	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW R 60 DZ90S4 B para calibración de apertura de sierras	–	440	2.5	–	1,1	170	60	0.77
KBU 25-07-R01	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW R 76 DZ100LS4/2 para accionamiento de cadena transportadora interna.	–	440	2,5/3.7	–	1,5/2,2	29/57	60	0.83
KBU 25-03-R02	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla; WEG carcasa 160L 2 polos	–	440	37.34	–	22	3490	60	0.86
KBU 25-03-R02	para accionamiento de los discos de corte.	–	440	37.34	–	22	3490	60	0.86

Tabla 2.2 Datos de los motores existentes en la máquina CB15

## 2.1.2 ANTIGUO SISTEMA DE CONTROL

Arranque de motores para movimiento de sierras y cadena interna: El circuito de control antiguo para el accionamiento de los motores que mueven los discos de corte consiste de control marcha – paro con enclavamiento y sin inversión de giro, los dos pulsantes necesarios para este proceso se encuentran ubicados en el tablero de mando.

Este circuito de control enciende automáticamente el motor reductor encargado de mover la cadena interna siempre y cuando se hayan encendido los dos motores que mueven los discos, este control de encendido se lo sigue haciendo ya que no afectaba en lo absoluto en el control de apertura de sierras del nuevo proyecto.

Arranque del motor reductor para calibración de apertura: El sistema de control antiguo para arrancar este motor reductor consistía en un control marcha – paro sin enclavamiento y con inversión de giro, los dos pulsante necesarios para realizar esta tarea estaban ubicados en el tablero de mando CB 15, este circuito de control se lo puede apreciar en el siguiente plano.

ANEXO A (Plano "Diagrama\_CB10\_Antiguo")

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL DE LA SIERRA CB 10

### 2.2.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA

La operación de la sierra CB 10 Fig. 1.3.2 se la realiza con cinco motores los cuales son accionados manualmente mediante pulsantes ubicados en el tablero junto a ésta, a continuación se hará un breve detalle de éstos y sus funciones.

Motores para el movimiento de sierras: Para el movimiento de los ejes de las sierras la máquina dispone de dos motores de inducción trifásico jaula de ardilla Fig. 2.5 accionados manualmente mediante pulsantes desde el tablero CB 10.



Figura 2.5 Motor para mover eje de los discos de corte

Motores para girar rodillos de presión: Existen rodillos inferiores y superiores en el interior de la máquina Fig. 2.6 los cuales son los encargados de presionar las tablas ingresadas con el fin de mantenerlas fijas mientras pasan a través de los discos de corte. Estos rodillos son movidos en su eje mediante un motor reductor que se acciona automáticamente cuando se han activado manualmente los dos motores que mueven los ejes de sierras.

El circuito de fuerza es un arranque directo sin inversión de giro y sobre el cual no se realizó cambio alguno.

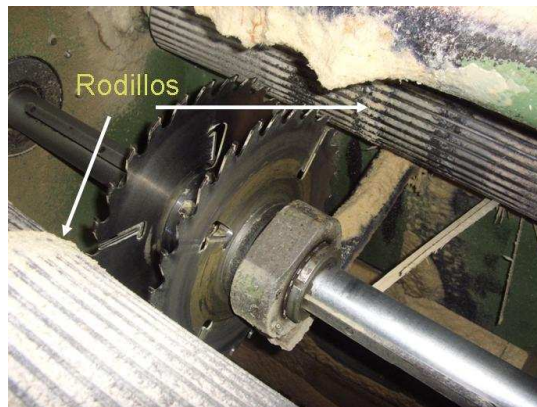


Figura 2.6 Rodillos de presión en el interior de la máquina CB 10

Motor para elevación de rodillos de presión: Existe un motor reductor encargado de subir o bajar los rodillos de presión de forma manual mediante pulsantes ubicados en el tablero, todo esto únicamente cuando los motores de los ejes de sierras hayan sido accionados y por ende el motor reductor que hace rotar a los rodillos.

Su circuito de fuerza es diseñado para un arranque directo con inversión de giro y del cual no se cambio nada ya que no fue necesario dentro del proceso de apertura de sierras.

Motor para control de apertura de sierras: Finalmente tenemos el motor reductor encargado de mover el tornillo sin fin para abrir o cerrar la apertura de sierras, éste era accionado mediante pulsantes que lo movían en sus dos sentidos de giro.

	<b>Motor con reductor</b>	<b>Motor sin reductor</b>
<b>Velocidad RPM (60 Hz)</b>	60	1700

Tabla 2.3 Velocidad del motor con y sin reductor mecánico máquina CB 10

Su circuito de fuerza era el mostrado en la Fig. 2.7, el cual permitía un arranque directo con inversión de giro y freno, este circuito fue eliminado completamente ya

que el nuevo proyecto implementó una forma distinta en cuando al accionamiento de este motor reductor.

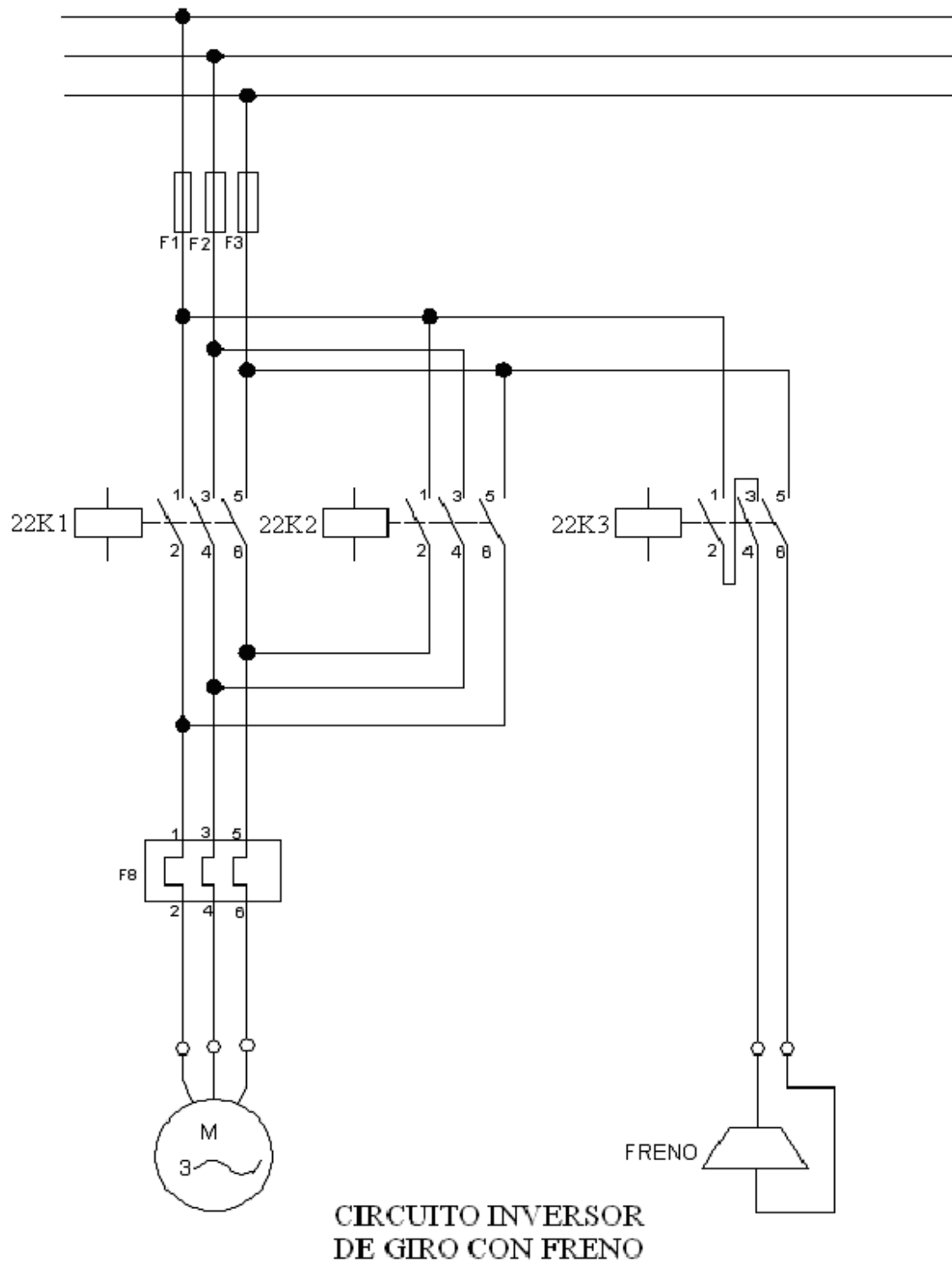


Fig. 2.7 Antiguo circuito de fuerza del motor reductor para apertura de sierras



En la tabla siguiente se muestran las características de los motores que conforman la máquina CB 10.

**SIERRA DE CORTE CB 10.**

Motor	Descripción	Volt. Y	Volt. Δ	Amp. Δ	Amp. Y	kW	RPM	f hz	fp
KBU 25-02-R01	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor SEW para accionar apertura de la sierra	–	440	3	–	1.5	60	60	0.8
CB 10-04-R01	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW para accionar rodamiento de transporte superior e inferior.	–	440	7.7-6.2	–	4.4/3.5	14/173	60	0.83
CB 10-05-R01	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW para regulación de rodamientos.	–	440	0.7	–	0.37	95	60	0.82
CB 10-03-R02	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla; WEG carcasa 160L 2 polos para accionamiento de las sierras de corte.	380-760	220-440	74.68-37.34	43.24-21.62	22	3490	60	0.89
CB 10-03-R02		380-760	220-440	74.68-37.34	43.24-21.62	22	3490	60	0.89

Tabla 2.4 Datos de los motores existentes en la sierra CB 10

## **2.2.2 ANTIGUO SISTEMA DE CONTROL**

Arranque de motores para movimiento de sierras y rodillos internos: El sistema de control para arrancar los motores encargados de mover las sierras consistía en un control marcha – paro con enclavamiento y sin inversión de giro, una vez que ambos motores eran encendidos este control accionaba automáticamente el motor reductor encargado de girar los rodillos internos de la máquina.

En el nuevo proyecto este modo de encendido sigue siendo de igual forma.

Control de arranque del motor reductor para elevación de rodillos: El circuito de control para arrancar el motor reductor encargado de este proceso consiste en un control marcha – paro sin enclavamiento y con inversión de giro, mediante dos pulsantes ubicados en el tablero se lo puede accionar en los dos sentidos de giro, sobre éste circuito de control tampoco se ha realizado cambio alguno.

Control de arranque del motor reductor para apertura de sierras: El circuito de control para arrancar el motor reductor para cerrar o abrir la apertura de sierras y el cual fue eliminado completamente consistía en un control marcha – paro sin enclavamiento y con inversión de giro, los dos pulsantes necesarios para ésta acción estaban ubicados en el tablero CB 10.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DEL NUEVO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL**

Considerando que los motores de accionamiento de las dos sierras estaban en buen estado y que el control para las operaciones de los motores que mueven: las sierras, los rodillos y la cadena interna era adecuado, se decidió intervenir únicamente en los motores que controlan la apertura de las sierras, con el fin de automatizar el proceso y ganar tiempo y precisión en esta operación.

### 2.3.1 NUEVO CIRCUITO DE FUERZA DE LOS MOTORES DE APERTURA DE LAS SIERRAS

Para conseguir que la calibración de la apertura de las sierras sea más precisa, se requirió disminuir aún más la velocidad del tornillo sin fin para que el encoder encargado de transmitir la posición de la sierras pueda operar.

Para el efecto se incorporó un variador electrónico de velocidad con el fin de reducir la velocidad del motor de inducción acoplado al reductor mecánico. Considerando que las sierras trabajan independientemente y no al mismo tiempo, se usó un solo variador para las dos. El operador mediante el sistema de control escoge a cual de los motores se va a operar y el variador alimenta el motor con la frecuencia establecida previamente.

En la tabla 2.5 se puede observar las antiguas velocidades a la cuales trabajaban los motores y las nuevas velocidades a las que fue necesario que trabajen.

	<b>Velocidad</b>	<b>Motor</b>	<b>Motor con reductor</b>
<b>Sierra CB 15</b>	<b>Velocidad RPM (60 Hz)</b>	1700	170
	<b>Velocidad RPM (20 Hz)</b>	567	57
<b>Sierra CB 10</b>	<b>Velocidad RPM (60 Hz)</b>	1700	60
	<b>Velocidad RPM (40 Hz)</b>	1133	40

Tabla 2.5 Velocidad de los motores reductores

Con el fin de aumentar el torque para el desplazamiento de la sierra, fue necesario reemplazar el grupo motor reductor de la sierra CB 10, por otro de mayor potencia.

El nuevo circuito de fuerza con el variador incorporado fue como se muestra en la Fig. 2.8.

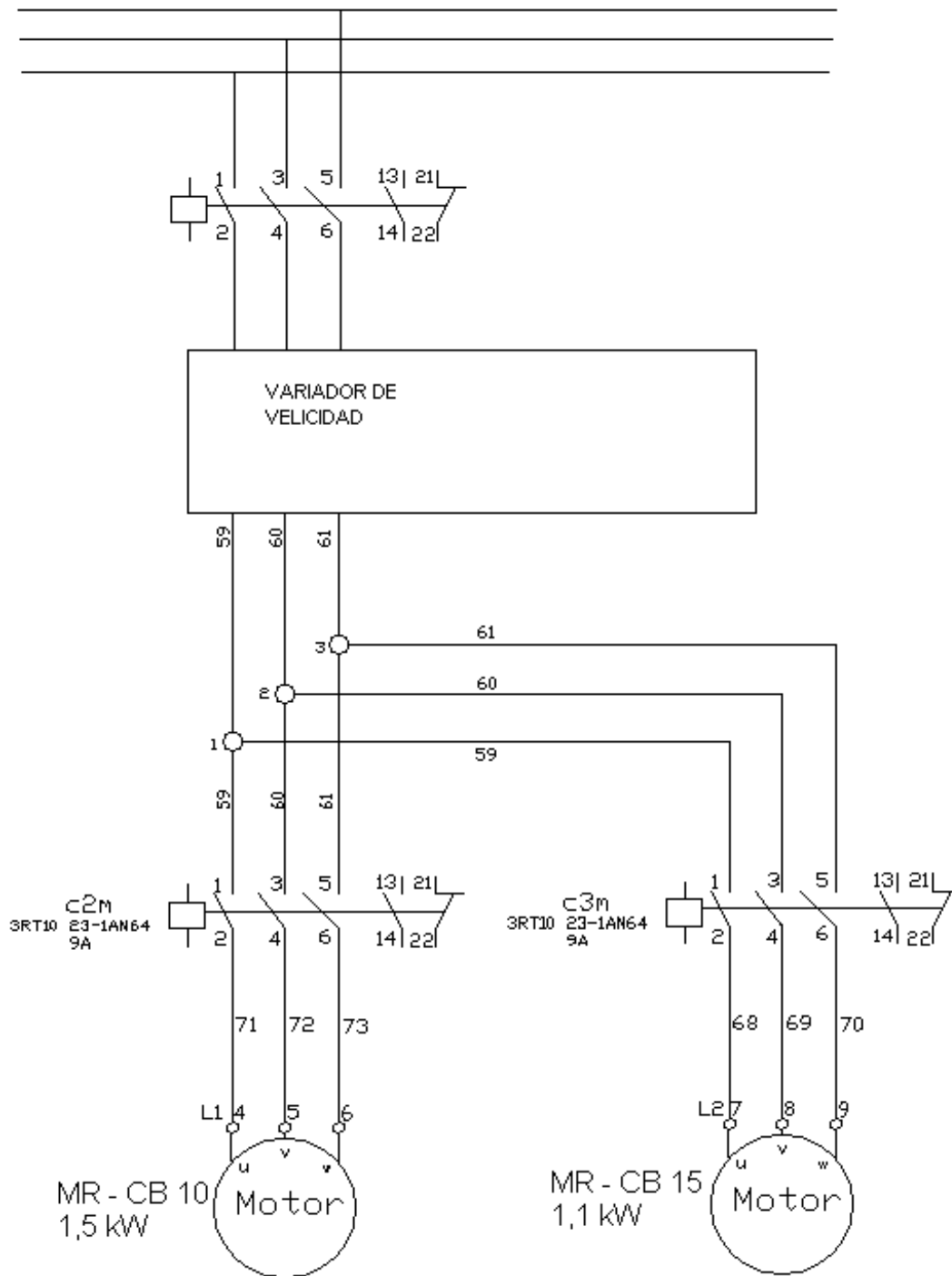


Figura 2.8 Nuevo circuito de fuerza para el control de los dos motores reductores

En cuanto a los contactores y protecciones Fig. 2.10 se remplazaron por nuevos. El variador de velocidad de corriente alterna serie SIMOVERT MASTERDRIVER Fig. 2.9 fue escogido por las grandes ventajas que estos equipos presentan.

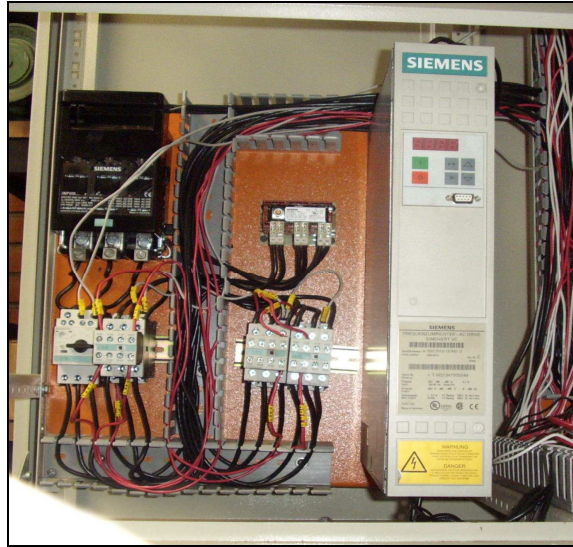


Figura 2.9 Vista del variador de velocidad

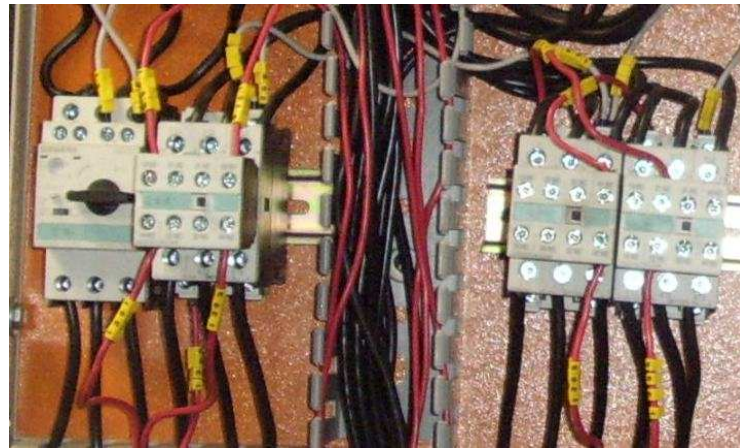


Figura 2.10 Guarda motores y contactores

### 2.3.2 NUEVO SISTEMA DE CONTROL

El nuevo sistema de control implementado con un controlador lógico programable (PLC) permite realizar la calibración de las sierras en forma individual desde cada uno de los tableros de control ya sea en forma manual o automática.

El operador mediante un selector escoge el modo de control manual o automático, en cualquiera de los dos casos el variador acciona el motor reductor a la frecuencia correspondiente y permite controlar el sentido de giro para abrir o cerrar la apertura de las sierra hasta alcanzar la medida requerida.

Un encoder Fig. 2.11 acoplado al tornillo sin fin en cada una de las máquinas emite pulsos eléctricos con los cuales es posible calcular un parámetro de desplazamiento determinando así la distancia a la cual se encuentran separadas las sierras y estableciendo el dato de apertura.

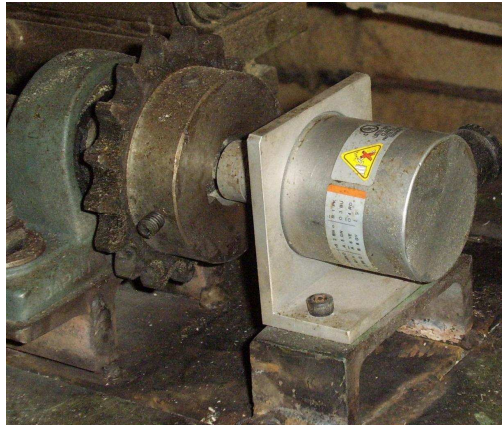


Figura 2.11 Ubicación del encoder sierra CB 15

Ya que ambos motores reductores trabajan con el mismo variador la selección de la máquina a calibrar se la hizo colocando dos contactores en paralelo a la salida del variador y mediante dos pulsantes un de marcha y otro de paro se activan de forma independiente el de la máquina que se desee calibrar, esto se lo hace para los dos tipos de modo de control existentes.

Sistema de control manual: Una vez seleccionada la sierra a calibrar el operador decide sobre la apertura de las sierras utilizando pulsantes que accionan el motor que mueve el tornillo sin fin en los dos sentidos de giro a una velocidad determinada por el variador.

El nuevo sistema de control permite realizar la maniobra de calibración manual con ayuda de un HMI que hace posible visualizar la medida de apertura de las sierras mientras se realiza el proceso.

Sistema de control automático: Para realizar la calibración de apertura en modo automático primeramente se debe ingresar a través del HMI la medida deseada, una vez realizado este paso se presiona el pulsante correspondiente a ésta con lo

cual se da inicio al proceso de calibración accionando el motor reductor que mueve el tornillo sin fin hasta alcanzar la medida deseada.

En este modo el HMI también permite visualizar la medida mientras se calibra la apertura en forma automática.

### **2.3.3 GUIA OPTICA PARA EL ENVIO DE SECCIONES LATERALES Y TABLAS**

Con el fin de obtener una guía óptica externa de la apertura de las sierras tanto en la máquina CB 15 como de la CB 10, se realizó una extensión del sistema mecánico que abre y cierra la apertura, para colocar luces señalizadoras como se puede observar en las figuras 2.12 y 2.13., esto permite al operador disponer de una guía óptica para un mejor envío de las tablas y secciones laterales a recuperar.

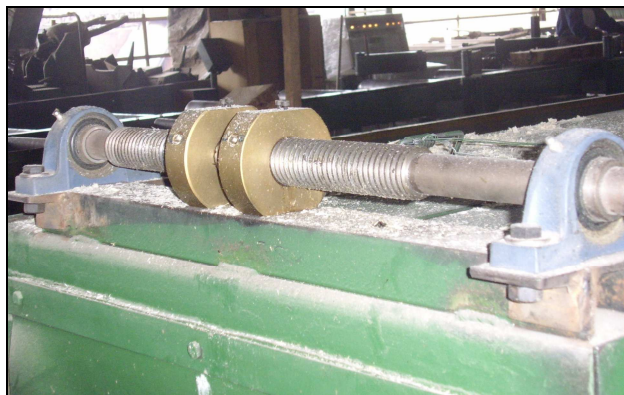


Figura 2.12 Ampliación mecánica para la guía visual de la apertura - máquina CB 15



Figura 2.13 Ampliación mecánica para la guía visual de la apertura - máquina CB 10



## 2.4 SISTEMA DE MEDICIÓN DE VOLUMEN

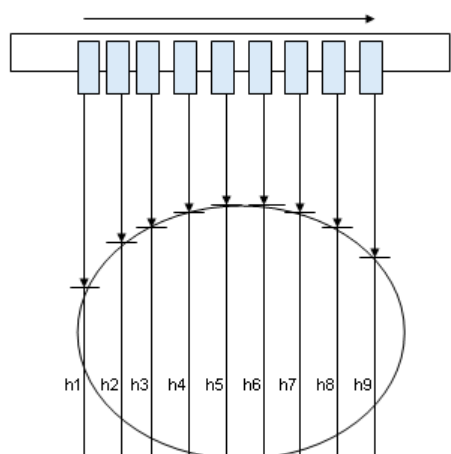
Sin que inicialmente se haya previsto en el alcance de este trabajo, considerando que el volumen de las trozas es una variable muy importante dentro del proceso de corte de madera se vio la necesidad de realizar un sistema para la medición aproximada de dicho parámetro.

Para el efecto se trabajó en la entrada de la máquina de corte principal KBO 40 (Esquema 1.1 Fig. 1.2.1), ya que es allí donde se puede obtener el dato total de volumen ingresado y procesado por la línea. Este control es independiente del control de apertura de las sierras y se lo describe a continuación.

### 2.4.1 MEDICIÓN DE VOLUMEN SIERRA PRINCIPAL KBO 40

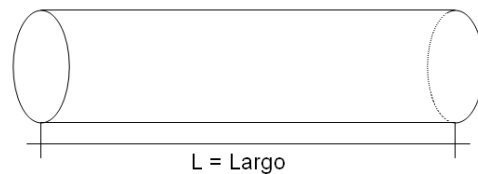
Para el cálculo del volumen aproximado de las trozas cortadas por la sierra KBO 40 son necesarios dos datos: Área lateral y el largo, los mismos que se explica a continuación.

Área lateral de la trozas: El sistema está conformado por un pistón neumático sin vástago ubicado en la parte superior a la entrada a la sierra principal KBO-40 (Esquema 1.1 Fig. 1.2.1), el cuál al ser accionado desplaza en línea recta un sensor analógico tipo láser, logrando así un barrido sobre la troza entrante para obtener hasta nueve medidas de altura.



Los valores obtenidos son procesados en el PLC que mediante un algoritmo calcula el área lateral aproximada de la troza, dicho proceso se realiza repetitivamente para cada troza entrante a la máquina.

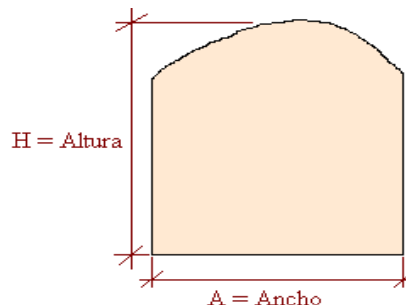
Dato de largo de trozas: Para el cálculo del largo de las trozas procesadas se colocó un sensor digital, el cual se activa al detectar la troza y se desactiva al termino de su recorrido, en base a esto se puede obtener el tiempo que demora en pasar la troza y con la velocidad de la cadena se calcula el largo de la troza.



Una vez obtenido el dato del área lateral y largo el PLC los procesa en la subrutina correspondiente para así entregar el dato de volumen requerido.

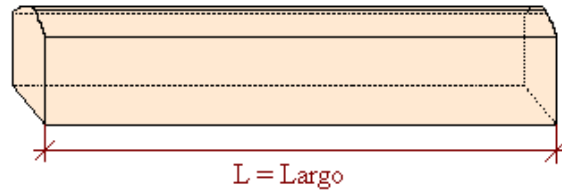
#### **2.4.2 SISTEMA DE MEDICIÓN DE VOLUMEN SIERRA CB 15**

Dato de espesor de jampas: Otro dato de volumen importante es de la sierra de recuperación CB 15, en la cual se optó por la colocación de un sensor ultrasónico en la salida de la misma, para así poder obtener el dato de espesor aproximado de las jampas procesadas en dicha máquina.



Dato de ancho de jampas: La obtención del ancho de jampas se lo obtiene transfiriendo el dato de apertura de la sierra CB 15 ya que es éste el que determina el ancho al cual se está cortando la madera.

Dato de largo de jampas: El último dato para el cálculo del volumen es el largo del pedazo lateral procesado, para ello se colocó un sensor digital, el cual en base a la velocidad de la banda y el tiempo que demora en pasar se calcula la distancia recorrida, o sea el largo del pedazo lateral.



Una vez obtenidos los valores de: espesor, ancho y largo, éstos se procesan en el PLC y entregan el dato aproximado de volumen de la madera procesada en dicha máquina.

# CAPÍTULO 3

## **DISEÑO DE FUERZA Y CONTROL DEL SISTEMA**

Para la implementación del nuevo sistema tanto de fuerza como de control se tuvo presente algunas características generales como son:

- El voltaje al cual trabajan los motores reductores que intervienen en el proceso de calibración de apertura es 440 voltios con una frecuencia de 60 Hz, de los cuales sería remplazado el motor reductor de la sierra CB 10 y los contactores para el accionamiento de los mismos.
- Se debía mantener la misma lógica de encendido y funcionamiento de las sierras de corte.
- Se debía mantener la misma rutina de trabajo de los operadores, por lo que se usó una distribución de pulsantes semejante al tablero anterior y se mantuvo la forma de operación del mismo.
- Para la colocación y fijación de los láser señalizadores en dos de las máquinas que intervienen en el proceso de corte de madera fue necesario una ampliación del sistema mecánico de apertura.
- El diseño y montaje del tablero de mando en el cual se encuentran los elementos y equipos debía realizarse con toda la seguridad del caso y siguiendo las normas expuestas en folletos y manuales propios de los mismos.

### **3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA**

En los dos motores reductores se reemplazaron los contactores por que presentaban envejecimiento y se incorporó un guardamotor como protección termo-magnética. La especificación de los elementos se la hizo en base de los datos de placa de cada uno de los motores.

	<b>Sierra CB 15</b>	<b>Sierra CB 10</b>
<b>Motor</b>	KBU 25-02-R01	KBU 25-06-R01
<b>Descripción</b>	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW para calibración de apertura de sierras	Motor de inducción trifásico jaula de ardilla con reductor; SEW R 60 DZ90S4 B para calibración de apertura de sierras
<b>Voltaje</b>	440 V AC	440 V AC
<b>Corriente</b>	3 A	2.5 A
<b>Potencia</b>	1.5 Kw	1.1 Kw
<b>Velocidad (RPM)</b>	60	170
<b>fp</b>	0.8	0.77
<b>Frecuencia</b>	60 hz	60 hz

Tabla 3.1 Datos de placa motores reductores para apertura de sierras

Se utilizaron equipos SIEMENS cuyos tamaños son compatibles para facilitar su montaje.

<b>Contactador</b>	3RT10 23-1AN64
<b>Corriente</b>	9 A

Tabla 3.2 Datos de placa contactores

### 3.1.1 VARIADOR DE VELOCIDAD

En el presente proyecto el control de apertura de las sierras CB 15 y CB 10 se realizó reduciendo aun más la velocidad del motor reductor mediante un variador de velocidad común para ambas sierras que controla también el sentido de giro para abrir o cerrar la apertura.

A continuación se muestra el dimensionamiento del variador basado en los datos de placa del motor de mayor potencia mediante los siguientes cálculos y con ayuda del catálogo Siemens cuya denominación es DA 65.10 2003/2004.

Datos del motor:

P [kW]	1,5
V [V]	440
In [A]	3
Fp	0,8
N [rpm]	1700
Tn [Nm]	9.54

Tabla 3.3 Datos de placa motor reductor CB 10

El tornillo sin fin para la apertura de la sierra se mueve a una de velocidad de 40 R.P.M. El motor se acopla a través de un reductor cuya relación es aproximadamente 28.

La velocidad en el motor está dada por:

$$N = i \cdot N_L \quad (3.1)$$

Donde N es la velocidad del motor, i la relación de reducción y NL la velocidad de la carga.

De 3.1 se tiene que la velocidad más crítica del motor es:

$$N = 28,33 \cdot 40 = 1133,2 \text{ R.P.M}$$

La potencia del motor está dada también por:

$$P = T \cdot N_R \quad (3.2)$$

Donde P es la potencia del motor en W, T es el torque en Nm y NR es la velocidad del motor en rad/s. De esta ecuación se obtiene el torque a la velocidad crítica:

$$T = \frac{P}{N_R}$$

$$T = \frac{1500 \text{ W}}{1132,2 \text{ rpm} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}}$$

$$T = 12,64 \text{ Nm}$$

Del circuito equivalente de un motor asincrónico se sabe que:

$$T = 3 \cdot \frac{I_2^2}{N_s} \cdot \frac{R_2}{s} \quad (3.3)$$

Donde T es el torque del motor, I<sub>2</sub> la corriente que circula por el rotor referida al estator, R<sub>2</sub> es la resistencia del rotor, N<sub>s</sub> la velocidad de sincronismo y s el deslizamiento.

De la ecuación 3.2 despejamos R<sub>2</sub> y la calculamos para valores nominales, sabiendo que la velocidad de sincronismo es 1800 RPM y asumiendo que la corriente en el rotor es la misma que en el estator para facilitar los cálculos.

$$R_2 = T \cdot s \cdot \frac{N_s}{3I_2^2}$$

$$R_2 = 9.54 \text{ Nm} \cdot 0,055 \cdot \frac{1800 \text{ rpm} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}}{3(3 \text{ A})^2}$$

$$R_2 = 3,7 \Omega$$

Con el valor de la resistencia calculamos la corriente del rotor para la velocidad crítica utilizando la ecuación 3.2. Nótese que el valor del deslizamiento es el mismo ya que con el accionamiento se mantiene V/f constante.

$$I_2 = \sqrt{\frac{T \cdot N_s \cdot s}{3 \cdot R_2}}$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{12,64 \text{ Nm} \cdot 1800 \text{ rpm} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cdot 0,055}{3 \cdot 3,7 \Omega}}$$



$$I_2 = \sqrt{\frac{12,64\text{Nm} \cdot 1800\text{rpm} \cdot \frac{2\pi\text{rad}}{60\text{s}} \cdot 0,055}{3 \cdot 3,7\Omega}}$$

$$I_2 = 3,4 \text{ A}$$

Por lo tanto la corriente del variador debería ser mínimo de 3,4 A, que es 1,4 veces la corriente nominal del motor. Según recomendaciones del fabricante se debe elegir un valor de la intensidad de carga básica del convertidor que sea, como mínimo, igual al de la intensidad del motor a pleno par en el punto de carga exigido, y como se demostró este punto de carga requerirá de 3,4 A.

En el catálogo de Siemens denominado DA 65.10 2003/2004 Pág. 3/46 y 3/47 se encuentra un variador con rango de corriente de 5,5 a 8 A y potencia de 2,2 kW que en base a la experiencia adquirida dentro de la planta con el uso de estos equipos fue el escogido para la aplicación.

### 3.1.2 PROTECCIONES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para la protección del variador de velocidad el fabricante recomienda los elementos de protección expuestos en el siguiente esquema.

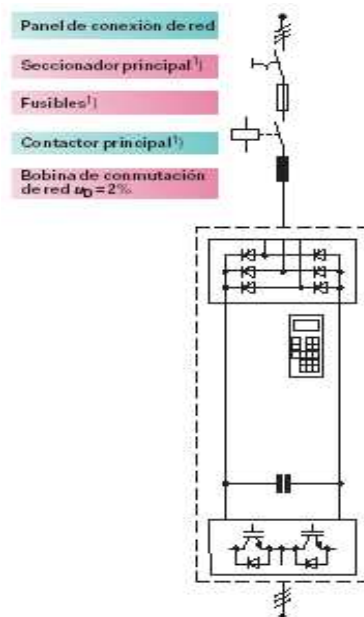


Figura 3.1 Esquema conexión de protecciones del variador

Estos elementos fueron seleccionados junto con el catálogo DA 65.10 2003/2004 y cuya conexión es en serie de acuerdo al orden mencionado a continuación.

Los fusibles de operación rápida Los fusibles de operación rápida protegen los cables conectados y los semiconductores de potencia del convertidor del variador, estos fueron escogidos de acuerdo a su capacidad de ruptura y las exigencias dadas.

El seccionador Por recomendación del departamento de mantenimiento eléctrico se utilizó un guardamotor como elemento de seccionamiento.

El contactor El contactor para encendido del accionamiento se lo selecciono tomando en cuenta la potencia nominal del variador.

Bobina de conmutación de red

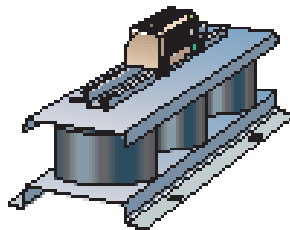


Figura 3.2 Bobina de conmutación - variador de velocidad

La bobina de conmutación de red sirve para reducir los armónicos de corriente y las caídas de tensión causadas por conmutación de los convertidores manteniéndolas dentro de los límites permitidos por la normativa VDE 0160. El efecto de la bobina depende de la relación entre la potencia de cortocircuito de la red y la potencia del accionamiento.

En convertidores y unidades de alimentación debería emplearse una bobina de conmutación de red  $U_D = 2\%$ .

En la siguiente tabla se indican los datos técnicos del variador y de los equipos de protección seleccionados.

<b>CONVERTIDOR SIMOVERT EQUIPO KOMPAKT</b>	<b>6SE7016-1EA61-Z G93+K11</b>
Potencia	2,2 kW
Voltaje	3 AC 380V a 480V
Frecuencia	50/60Hz
Corriente de salida	6,1 A
Corriente de carga	5,6 A
Adicionales	Tarjeta de comunicación Profibus CBP2 para PROFIBUS DP.
<b>SECCIONADOR (GUARDAMOTOR)</b>	<b>3RV10 21-1HA15</b>
Rango de corriente	5,5 - 8 A
<b>CONTACTOR</b>	<b>3RT10 23-1AN64</b>
Potencia	4 kW
<b>FUSIBLES RÁPIDOS</b>	<b>3NE1 813-0</b>
Corriente asignada	16 A
<b>REACTANCIA DE RED Ud 2%</b>	<b>4EP3200-1US00</b>
Corriente asignada	6,3 A
Potencia disipación	23/35 W

Tabla 3.4 Datos del variador de velocidad y elementos de protección

### 3.1.3 ARMARIO GENERAL

Los motores reductores utilizados en la calibración de apertura son accionados mediante el variador que funciona a un voltaje de 440 V AC, el cual es alimentado desde un armario general ubicado en la parte inferior del aserradero.

Para poder alimentar el circuito de control desde el mismo armario se utilizaron tres transformadores de 440 V a 220 V distribuidos de la siguiente manera:

- Uno para la fuente del PLC.
- Uno para la fuente de los módulos del PLC y sensores.
- Uno para el voltaje a cual trabajan las bobinas de los contactores.



Figura 3.3 Circuito para alimentar el variador y el circuito de control

El diagrama de fuerza del circuito se muestra en el plano (circuito alimentación fuentes, Anexo A).

Por pedido del departamento de mantenimiento eléctrico se utilizaron guarda motores como elementos de seccionamiento en la entrada y salida de los transformadores, aunque técnicamente se podrían haber utilizado interruptores simples. Para la protección general del tablero por la misma razón se utilizó otro guarda motor.

Para la conexión del circuito de alimentación del variador y fuentes se utilizó conductor calibre 10 AWG color negro, mientras que para la salida hacia los motores se la realizó mediante cable calibre 12 AWG.

Para el circuito de control se usaron cables TTF calibre 16 AWG y 18 AWG color negro. Para las entradas analógicas, señales de los encoder y cables de comunicación se usó conductor blindado tipo Li2YCY PiMF de 2 x 2 hilos.

Para el cableado de las señales provenientes del tablero junto a la máquina CB 10 al PLC ubicado en el tablero de mando principal se usó cable de 25 hilos calibre 16 AWG.

<b>FUENTE</b>	<b>ASIGNACIÓN</b>	<b>CORRIENTE NOMINAL [A]</b>
PS 307	Alimentación CPU 315 2DP Alimentación módulo FM 350-2 Alimentación encoder's	20
FUENTE OPTOELEKTRONIK	Alimentación laser's señalizadores	
SITOP	Fuente para tensión (Salidas PLC)	10
	Alimentación sensores analógicos y digitales.	
	Fuente para pulsantes, y otros elementos de mando (Entradas PLC)	
	Fuente para relés de interfaz de señalización y accionamiento de elementos de fuerza (Salidas PLC)	

Tabla 3.5 Fuentes de alimentación 24V DC

### **3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL**

En base a los requerimientos para el nuevo sistema de control Fig. 3.4 se implementó un nuevo tablero de mando el cual fue ubicado junto a la sierra CB 15.

En su interior esta el PC con la HMI que permite realizar tareas como: ingreso de medidas de apertura de la sierra CB 15 y CB 10, visualización de datos de volumen, etc.

En vista que la sierra CB 10 se encuentra distante del nuevo tablero de mando se implementó también un panel OP7 ubicado en el tablero existente de la sierra CB 10 mediante el cual es posible ingresar las medidas de apertura para calibrar la sierra CB 10.

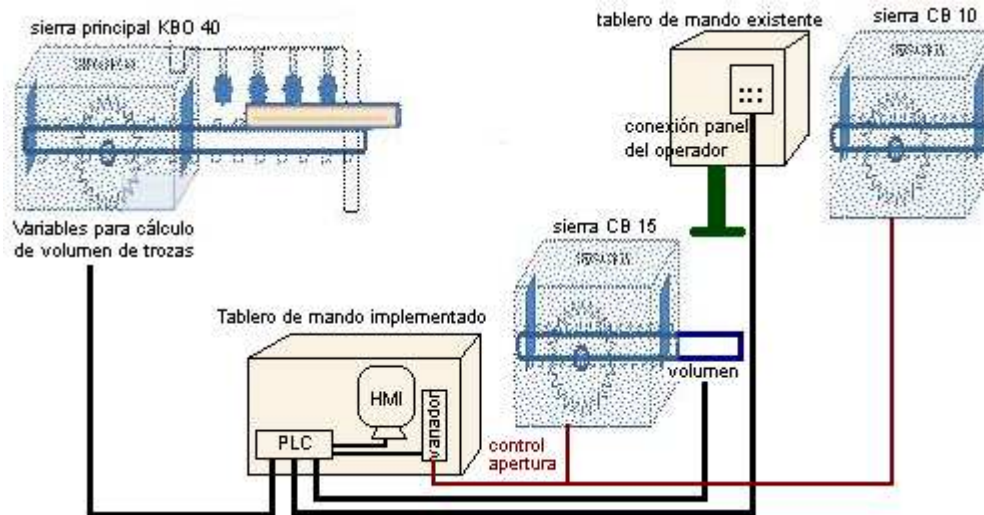


Figura 3.4. Sistema de control implementado

### 3.2.1 TABLEROS DE MANDO

#### TABLERO CB 15

Para el control de apertura de la sierra CB 15 se implementó un tablero de mando en el cual se encuentran ubicados elementos como: lámparas de señalización, selectores y pulsantes distribuidos de la siguiente forma:

- Un selector para modo manual – automático.
- Diez pulsantes de marcha para seleccionar las medidas de apertura en modo automático.
- Un pulsante de emergencia.
- Un pulsante para enviar las sierras a la posición de apertura inicial en modo automático.
- Dos pulsantes, uno de marcha y uno de paro para encendido del variador.

- Dos pulsantes, uno de marcha y uno de paro para activar el contactor C3m que conecta la sierra CB 15 al variador de velocidad.
- Dos pulsantes de marcha para control manual de la apertura de sierras.
- Tres lámparas rojas para avisos de alarma.
- Un pulsante para reset de alarmas.
- Dos lámparas verdes para avisos de encendido.

La operación consiste primero en encender mediante el pulsante b13\_15 el variador y luego con el pulsante b11\_15 se activa el contactor C3m para conectar la sierra CB 15 al variador, después mediante el selector Selc01 se elige el modo en el cual se va a trabajar.

Modo manual. El proceso de calibración en modo manual consiste en abrir o cerrar la apertura mediante los dos pulsantes de marcha bA15 y bC15 ubicados en el tablero, esta tarea se la realiza con ayuda del HMI que permite la visualización de la medida de apertura mientras se calibra. Logrando así ubicar las sierras en la apertura de corte deseada.

Modo automático. Para la calibración en modo automático primero se ingresa la medida de apertura que se requiere dentro del HMI en una tabla de 10 alternativas, una vez ingresada la medida se da inicio al proceso mediante el pulsante correspondiente.

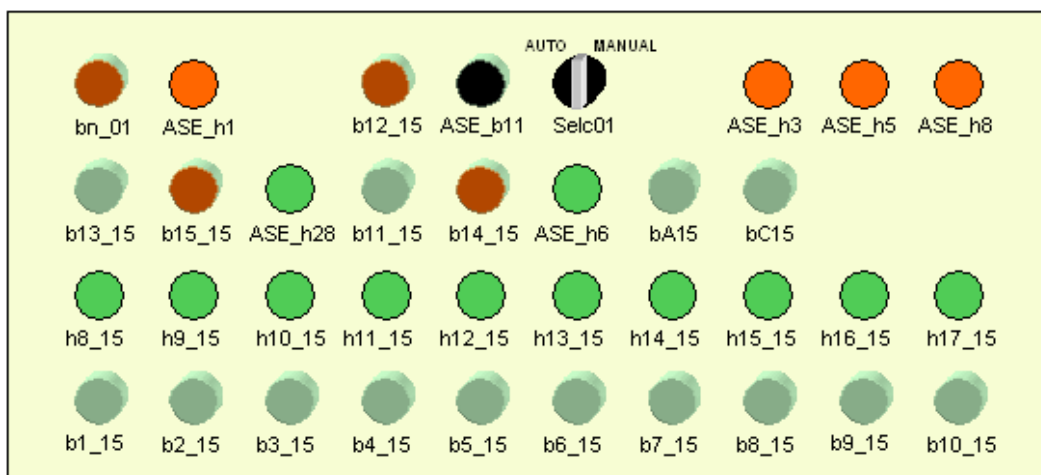


Figura 3.5 Distribución de elementos en el tablero de mando CB 15

## **TABLERO CB 10**

Para el control de apertura de la sierra CB 10 se colocó en el tablero de mando existente elementos como: panel del operador, lámparas de señalización y pulsantes distribuidos de la siguiente forma:

- Un panel del operador OP7.
- Un pulsante de emergencia.
- Diez pulsantes de marcha para seleccionar las medidas de apertura en modo automático.
- Un pulsante para enviar las sierras a la posición de apertura inicial en modo automático.
- Dos pulsantes de marcha para control manual de la apertura de las sierras.
- Dos pulsantes, uno de marcha y uno de paro para activar el contactor C2m que conecta la sierra CB 15 al variador de velocidad.
- Dos lámparas rojas para avisos de alarma.
- Una lámpara verde para avisos de encendido.

De igual forma que en la sierra CB 15 una vez encendido el variador mediante el pulsante b13\_15 del tablero CB 15 se activa el contactor para conectar la sierra CB 10 al variador a través del pulsante b11\_10, luego mediante el selector Selc01 del tablero CB 15 se elige el modo en el cual se va a trabajar.

Modo manual. El proceso de calibración en modo manual consiste en abrir o cerrar la apertura mediante los dos pulsantes de marcha bA10 y bC10 ubicados en el tablero, esta tarea se la realiza con ayuda del panel OP7 que permite la visualización de la medida de apertura mientras se calibra.

Modo automático. Para la calibración en modo automático primero se ingresa la medida de apertura que se requiere dentro del panel en una lista de 10 alternativas, una vez ingresada la medida se da inicio al proceso mediante el pulsante correspondiente.



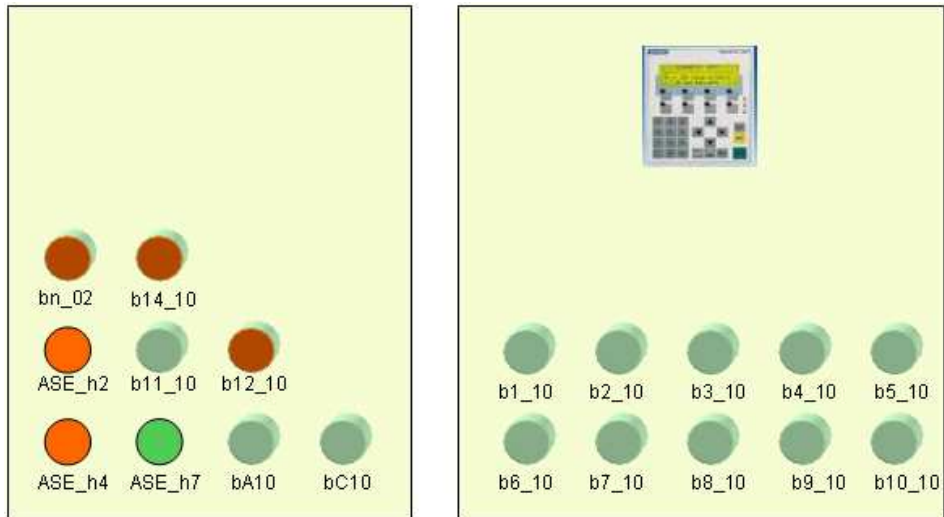


Figura 3.6 Distribución de elementos en el tablero de mando CB 10

### 3.2.2 REQUERIMIENTOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

Para la estructuración del programa es aconsejable realizar una lista de entradas y salidas que se requieren para el control general como se puede apreciar en la tabla 3.6.

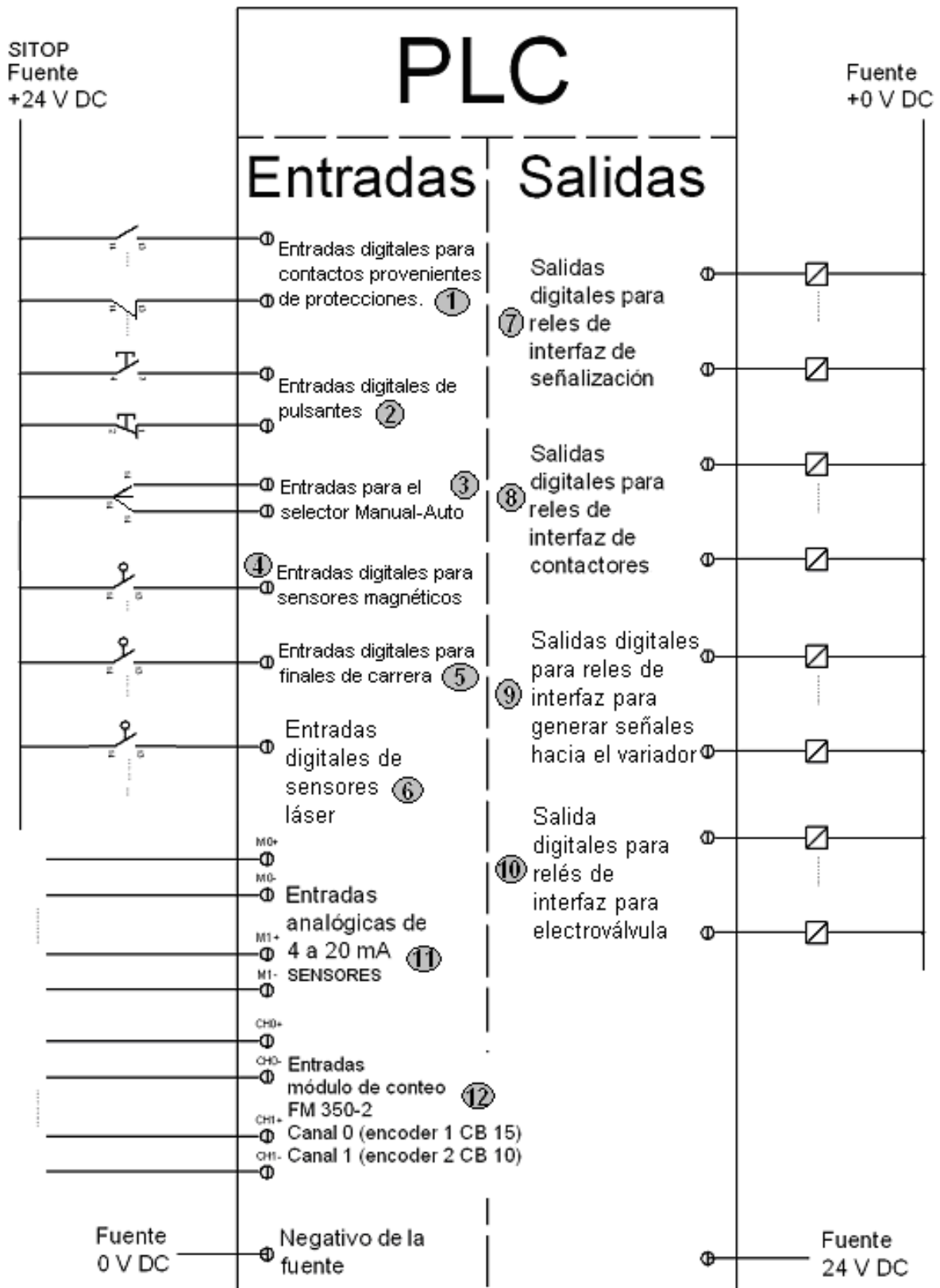


Figura 3.7 Esquema de periferia del PLC

	Entradas / Salidas	Cantidad
1	Entradas digitales para contactos provenientes de contactores, relés de interfaz y protecciones. Éstas sirven para la generación de alarmas dentro del sistema.	9
2	Entradas digitales para pulsantes NA y NC: 2 para pulsantes de emergencia, 4 para pulsantes de activación de desactivación del mando de las máquinas, 20 para pulsantes de activación de apertura en la medida seleccionada, 4 pulsantes para abrir y cerrar la apertura en modo manual, 1 para pulsante de reset de alarmas, 2 para pulsantes de envió a la apertura mínima.	33
3	Entradas digitales para selector manual - automático.	2
4	Entradas digitales para sensores magnéticos ubicados en el pistón neumático para toma de medidas de espesor de las trozas que ingresan a la sierra principal KBO 40.	9
5	Entradas digitales para finales de carrera que determinan la apertura mínima y máxima de las sierras.	4
6	Entradas digitales para sensores láser para el cálculo del largo de las trozas ingresadas a la sierra principal KBO 40 y secciones laterales ingresadas a la sierra CB 15.	2
7	Salidas digitales hacia relés de interface para lámparas de señalización.	27
8	Salidas digitales hacia relés de interface para energización de bobinas de contactores.	2
9	Salidas digitales hacia relés de interface para generar señales del variador de velocidad.	2
10	Salida digital hacia el relé de interface para la activación de electro válvula del pistón neumático.	1
11	Entradas analógicas para sensor óptico y ultrasónico utilizado para el cálculo del espesor de las trozas y pedazos laterales procesados por la sierras KBO 40 y CB 15 respectivamente.	2

12	Canales 0 y 1 del módulo de conteo rápido FM 350 – 2 para el ingreso de las señales de los dos encoders para generar el parámetro distancia entre sierras, éstos se encuentran ubicados en la sierra CB 15 y CB 10.	2
----	---	---

Tabla 3.6 Descripción del número de entradas/salidas del PLC

Todas las salidas digitales emitidas desde el PLC son enviadas a los relés de interface para que a través de éstos activen los diferentes actuadores como se puede apreciar en la figura 3.7.

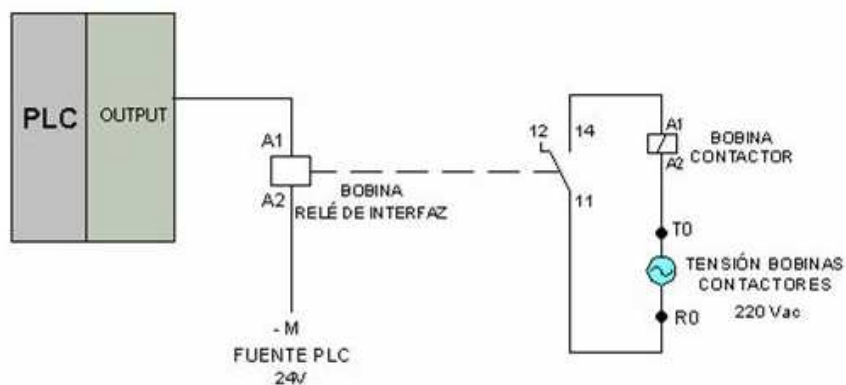


Figura 3.8 Salidas digitales hacia los relés de interface

### 3.3 PROGRAMA DE CONTROL

Para crear programas y conseguir ver claramente cada una de las partes del control por separado, es indispensable crear un programa principal junto con subrutinas.

En el programa principal del PLC S7-300 en sus primeros segmentos se hace el llamado a la subrutina tanto de la sierra CB 15 como de la CB 10 encargada de accionar el motor mediante el variador.

En los siguientes segmentos se encuentran el llamado a las funciones como: control de protecciones, control de palabras de mando del variador, adquisición de datos para el cálculo del volumen, etc.

En la mayor parte del programa se usó el lenguaje de programación KOP (contactos), pero algunos segmentos de la programación se los hizo en lenguaje AWL (lista de instrucciones) para aprovechar de mejor manera la memoria del PLC.

### **3.3.1 ARRANQUE DE MOTORES**

El arranque de los motores reductores empleados para el proceso de calibración se lo hace mediante el variador el cual es accionado desde el programa del usuario, donde se encuentra la subrutina correspondiente a cada máquina.

Estas subrutinas son las encargadas de activar los bits de una marca en forma secuencial para que luego en el programa principal se activen los bits correspondientes al: ready, ON/OFF y sentido de giro de la primera palabra de mando del variador.

### **3.3.2 PROTECCIONES**

La protección térmica de los guarda motores utilizados como seccionamiento en la parte de alimentación así como la que protege a los motores controlados por el nuevo sistema, es ingresada al PLC como señal digital con el fin de generar una alarma de fallo general y su posterior corrección. Todas estas señales son verificadas y supervisadas por una subrutina llamada desde el programa principal.

### **3.3.3 ALGORITMO DE CONTROL PARA EL POSICIONAMIENTO DE LAS SIERRAS**

Existen diferentes alternativas para solucionar el posicionamiento de la flecha de un motor con la ayuda de un Controlador Lógico Programable. Un ejemplo de posicionamiento es utilizar un control de lazo cerrado como es este caso.

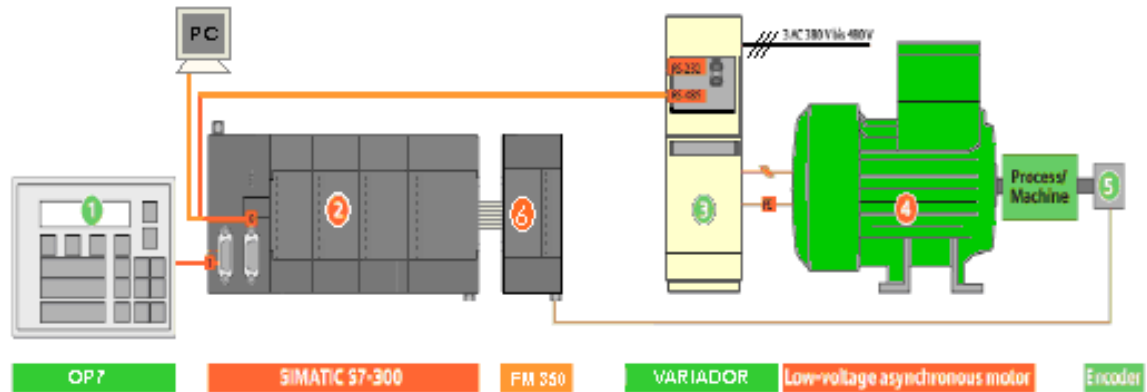


Figura 3.9 Sistema de lazo cerrado utilizado

El objetivo del algoritmo utilizado es posicionar las sierras en el valor de apertura deseado, mediante la señal del encoder ubicado en el eje del tornillo es posible determinar la apertura a la cual se encuentran separados los discos de corte y detenerlos una vez alcanzada la apertura.

Una vez que el tornillo sin fin se encuentra abriendo o cerrando la apertura entre discos, en el interior de una subrutina se encuentra un comparador entre dos valores reales, un variable que cambia mientras se desplazan los discos de corte y un fijo que es donde que se pretende posicionarlos, de esta forma al llegar al valor fijo final se detiene el movimiento del tornillo, o sea, se para el motor reductor a través del variador de velocidad con su respectiva rampa de deceleración.

En base al número pulsos emitidos por el encoder y el paso del tornillo es posible determinar el desplazamiento lineal que se tiene mientras se abre o cierra la apertura de los discos de corte. Para el caso de la sierra CB 15 tenemos los siguientes datos.

# Pulsos / vuelta (encoder) = 2000

Paso del tornillo = 6 mm.

Sabiendo que ambos discos de corte se desplazan, tenemos que el desplazamiento lineal total por cada vuelta es:

Paso del tornillo \* 2 = 6 mm \* 2 = 12 mm.

Entonces por cada 12 mm de apertura el encoder emitirá un valor aproximado de 2000 pulsos o sea por cada pulso emitido se produce una apertura de 6 micras.

Ya que ambas máquinas funcionan de forma similar se utilizó la misma forma de cálculo, con la única diferencia que el paso del tornillo para la sierra CB 10 es de 10 mm.

### **3.3.4 VARIADOR DE VELOCIDAD**

El variador de velocidad que controla los motores reductores acoplados a los tornillos sin fin encargados de abrir o cerrar la apertura se acciona mediante una red profibus.

En el programa principal existe la subrutina donde se controla las dos palabras de mando del variador de velocidad, en la primera se activan secuencialmente los bits necesarios para el arranque del motor con el giro correspondiente, mientras que en la segunda se envía la consigna de frecuencia de giro (velocidad).

### **3.3.5 OBs DE ALARMA IMPLEMENTADOS**

Para evitar que la CPU pase a STOP por algún error se incluyó los siguientes bloques de organización para la ejecución controlada por alarmas.

- OB de alarma de diagnóstico (OB 82)
- OB de error de ejecución del programa (OB 85)
- OB de fallo del bastidor (OB 86)
- OB de error de comunicación (OB 87)
- OB de arranque (OB 100)
- OB de error de programación (OB 121)
- OB de error de acceso a la periferia (OB 122)

### **3.3.6 SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES PARA CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LAS TROZAS Y PEDAZOS LATERALES**

De acuerdo a lo descrito en el numeral 2.4 del capítulo anterior en este proyecto también se adicionó un control de volumen para lo cual fue necesario el uso de elementos como: sensores analógicos, pistón y sensores digitales.

Las señales analógicas provenientes de los sensores óptico y ultrasónico para la medición de los espesores de trozas y secciones laterales, ingresan al PLC mediante un módulo analógico que recepta señales de 4 a 20 mA. Estas señales son procesadas en la subrutina correspondiente llamada en el programa principal.

La señal de 4 a 20 mA es transformada internamente por el PLC a valores enteros dentro de un cierto rango que luego son escalados de manera adecuada para obtener así el valor real deseado.

#### **Volumen de trozas sierra KBO 40**

Una vez que el sensor digital detecta la presencia de la troza en la entrada a la sierra el pistón neumático sin vástago desplaza a lo ancho el sensor analógico para realizar toma de medidas de altura, cuya cantidad es determinada por el número de sensores digitales colocados en el interior del pistón (nueve como máximo).

Una vez realizada esta etapa estos valores son multiplicados por el valor constante 50 (50 mm. de ancho) con el fin de obtener un número definido de áreas para luego sumarlas y obtener el área mostrada en la figura 3.9.



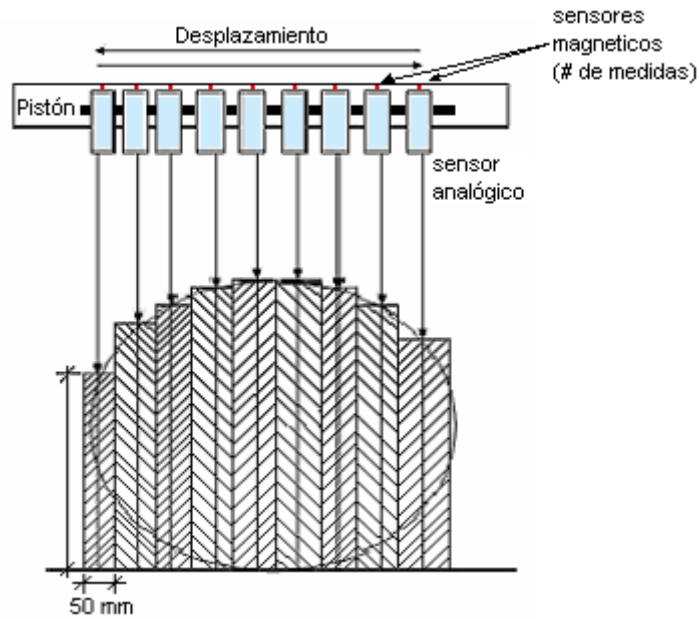


Figura 3.10 Área calculada al ingreso de las trozas en la sierra KBO 40

Existe un porcentaje de área en la parte inferior que estadísticamente corresponde al 12 % del área total marcada en la figura 3.9 y la cual es restada para obtener así el área lateral aproximada de la troza figura 3.10.

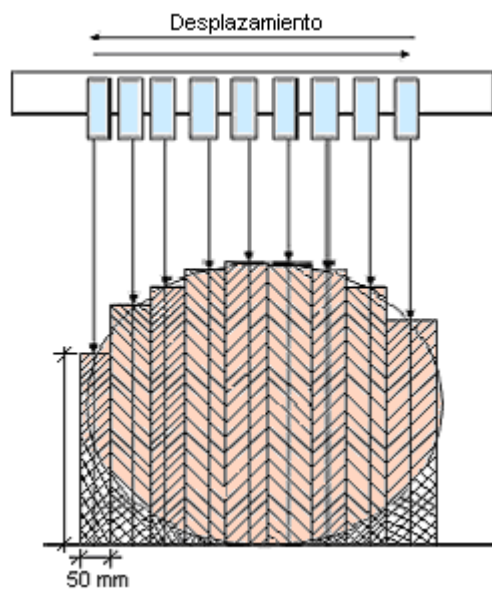


Figura 3.11 Área lateral aproximada de las trozas que ingresan a la sierra KBO 40

Para el cálculo del largo de las trozas se colocó un sensor láser digital en la entrada a la sierra KBO 40, mediante el cual se detecta la presencia de troza calculando así el tiempo que demora en pasar, con este dato y la velocidad con la

que lo hace es posible calcular la distancia que recorre es decir el largo de la troza.

$$e = V \times t$$

e = Espacio recorrido.

V = Velocidad.

T = Tiempo.

Una vez obtenidos el valor del área lateral y el largo de la troza es suficiente para calcular el volumen aproximado de la misma.

### **Volumen de secciones laterales sierra CB 15**

Para el cálculo de altura de los pedazos laterales procesados por la sierra CB 15 se utilizó un sensor ultrasónico analógico colocado a la salida de la sierra sobre la banda transportadora.

Una vez que el sensor digital detecta la presencia del pedazo lateral el sensor analógico realiza 10 mediciones de altura para luego promediarlas y entregar así el valor h promedio utilizado para el cálculo del área Fig. 3.11.

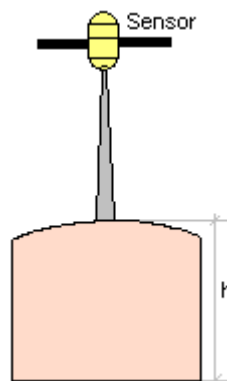


Figura 3.12 Medición de altura de los pedazos laterales – sierra CB 15

El dato del ancho se obtiene transfiriendo el valor de apertura de corte en el cual se encuentra trabajando la máquina, obtenidos estos dos valores se puede calcular el área lateral aproximada del pedazo lateral procesado.

Para el cálculo del largo de las secciones laterales se colocó un sensor láser digital en la salida de la sierra CB 15, mediante el cual se detecta la presencia de troza calculando así el tiempo que demora en pasar, con este dato y la velocidad con la que lo hace es posible calcular la distancia que recorre es decir el largo del pedazo lateral.

$$e = V \times t$$

e = Espacio recorrido.

V = Velocidad.

T = Tiempo.

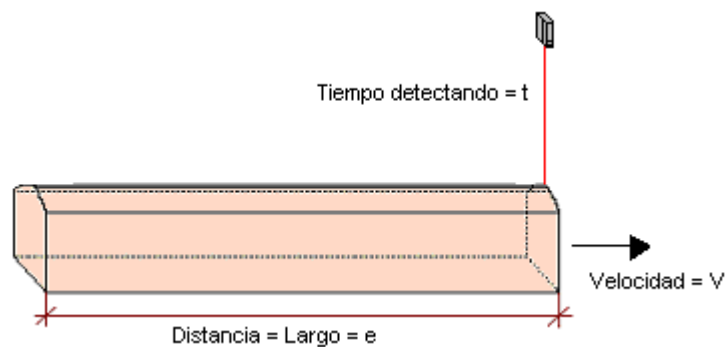


Figura 3.13 Datos para el cálculo del largo

Una vez obtenidos el valor del área lateral y el largo del pedazo lateral es posible calcular el volumen aproximado del mismo.

## 3.4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE SELECCIONADO

### 3.4.1 SELECCIÓN DE PLC PARA EL CONTROL

Considerando que es política de la empresa trabajar con equipo marca SIEMENS, se establecieron los requerimientos de entradas y salidas como son: nivel de voltaje de 24 V DC para señales digitales y alimentación de los módulos del PLC y señales de corriente de 4 a 20 mA para las señales analógicas.

La CPU escogida fue una con capacidad de memoria de 128 Kbytes, además se tuvo en cuenta que se quería implementar una red de campo con red Profibus DP, por lo que se debía seleccionar una que disponga de un puerto DP integrado,

también se debía ver una CPU que tenga un tiempo de ciclo rápido para la ejecución del programa, por lo que se seleccionó la CPU 315 – 2DP.

La CPU 315-2DP es un autómata que tiene integrada una interfase PROFIBUS DP. Para dicha CPU, se dispone de los siguientes protocolos PROFIBUS:

- Interfase DP como Maestro, según EN 50170.
- Interfase DP como Esclavo, según EN 50170.

El PLC CPU SIMATIC S7-315 2DP de la familia S7-300 está diseñado para el desarrollo modular de problemas de media y gran complejidad. Ésta dispone de una amplia gama de módulos con funciones específicas: módulos de entradas y salidas, analógicas y digitales, contadores rápidos, etc.

La serie S7-300 permite una elevada velocidad de ejecución; operaciones en punto flotante; variedad de interfaces de comunicación; entre otras características más. Dentro de las redes industriales una de las tareas más importantes para un PLC es el control de posicionamiento. En el ramo de la automatización SIEMENS ofrece dos alternativas para la solución de estas tareas siendo la primera la implementada en el proyecto:

- Las tareas de posicionamiento simple pueden ser procesadas por el CPU. Los módulos básicos adquieren los valores actuales y los envían al drive del motor. El algoritmo de posicionamiento es implementado en el CPU.
- Para tareas cuyo posicionamiento envuelve una dinámica compleja existen módulos especiales de posicionamiento, la mayoría funcionan independientemente del CPU.

<b>CPU</b>	<b>REFERENCIA</b>
CPU 315 – 2DP	6ES7 315-2AG10-0AB0

Tabla 3.7 Datos de la CPU del PLC

Contadores y temporizadores: Se dispone de 64 contadores de 0 a 999 y de 128 temporizadores con un margen de tiempo de entre 10 milisegundos y 9.990 segundos (algo más de dos horas y media).

<b>TIEMPOS/CONTACTORES Y SU REMANENCIA</b>	
<b>CONTADORES S7</b>	<b>64</b>
• Remanencia ajustable	De Z 0 a Z 63
• Preajustado	De Z 0 a Z 7
• Margen de cómputo	0 a 999
<b>CONTADOR IEC</b>	<b>SI</b>
• Tipo	SFB
<b>TIEMPOS S7</b>	<b>128</b>
• Remanencia ajustable	De T 0 a T 127
• Preajustado	Sin temporizadores remanentes
• Margen de tiempo	10 ms a 9.990 s
<b>TEMPORIZADOR IEC</b>	<b>SI</b>
• Tipo	SFB

Figura 3.8 Contadores y temporizadores

### 3.4.2 MÓDULOS DE ENTRADAS DIGITALES (DI)

Los módulos de entradas digitales permiten conectar al PLC las señales digitales del proceso. Señales cuya tensión nominal es 24 V DC.

Existen módulos de: 32, 16, 8 y 4 entradas digitales. En el proyecto se utilizaron módulos de 32 entradas digitales.

<b>CANTIDAD</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
2	6ES7 321-1BL00-0AA0	32 entradas digitales en 2 grupos de 16 entradas.

Tabla 3.9 Módulos de entradas digitales

### 3.4.3 MÓDULOS DE SALIDAS DIGITALES (DO)

Los módulos de salidas digitales permiten emitir señales digitales del PLC al proceso. En el presente proyecto todas las salidas son enviadas a los relés de interfaz, para que a través de estos activen los diferentes elementos actuadores.

Existen módulos de: 32, 16, 8 y 4 salidas digitales. En este caso se utilizaron módulos de 32 salidas digitales. Todos estos módulos poseen aislamiento galvánico. Los módulos de salida son capaces de entregar una corriente de hasta 0,5 A.

CANTIDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	6ES7 322-1BL00-0AA0	32 salidas digitales en 4 grupos de 8.

Tabla 3.10 Módulos de salidas digitales

### 3.4.4 MÓDULOS DE ENTRADAS ANALÓGICAS (AI)

Al contrario que una señal digital, la cual puede aceptar solo dos valores, las señales analógicas pueden aceptar tantos valores como se deseen, dentro de un cierto rango.

Los módulos de entradas analógicas transforman las señales analógicas del proceso en valores digitales para su posterior procesamiento dentro del PLC. Las entradas analógicas que se reciben en el proyecto son señales de corriente de 4 a 20 mA provenientes de los sensores ubicados en las máquinas para adquirir las medidas de las trozas. Se seleccionó un módulo de 8 entradas analógicas agrupadas en 4 canales de adquisición, con una resolución de 12 bits.

CANTIDAD	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
1	6ES7 331-7KF02-0AB0	8 entradas digitales agrupadas en 4 canales de adquisición.

Tabla 3.11 Módulos de entradas analógicas

### 3.4.5 MEMORIA EXTERNA DEL PLC (MMC)

La CPU 315 2DP es por tanto suficiente como elemento de formación, disponiendo de la siguiente capacidad memoria distribuida en:

- 16K de instrucciones. 48K de memoria de trabajo 80K de espacio disponible
- 1024 Bytes de Entradas/Salidas Digitales
- 128 Bytes de Entradas/Salidas Analógicas
- 0,3 ms / 1K instrucciones
- 64 contadores
- 128 temporizadores
- 2048 bits de Marcas

Dentro de los PLC Simatic S7-300 se utiliza también, a más de la memoria de la CPU, una tarjeta de memoria o MMC (micro memory card), en esta tarjeta se almacenan: el programa de usuario, la configuración de hardware del PLC y los enlaces de comunicación. Para la selección de la tarjeta de memoria se usó un cálculo aproximado<sup>3</sup>, sabiendo que:

Por cada entrada o salida digital se realizan aproximadamente 10 instrucciones.

Por cada entrada o salida analógica se realizan aproximadamente 10 instrucciones, cada instrucción ocupa 2 palabras.

Por cada temporizador se realizan aproximadamente 8 instrucciones.

Por cada contador se realizan aproximadamente 5 instrucciones.

Por cada bloque o subrutina se ejecutan aproximadamente 50 instrucciones.

Cada instrucción ocupa una palabra.

Cada palabra equivale a 16 bits o 2 bytes.

Se debe tomar en cuenta las entradas y salidas de reserva.

---

<sup>3</sup> Tomado de la tesis "MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE SECADO DE VIRUTA PARA LA FABRICACIÓN DE AGLOMERADO EN AGLOMERADOS COTOPAXI S.A."

De acuerdo con ese criterio se realizó el cálculo de la cantidad de bytes requerido en memoria de la CPU:

Entradas y salidas digitales:	96x10	=	960
Entradas y salidas analógicas:	12x10x2	=	240
Temporizadores:	62x8	=	496
Contadores:	18x5	=	90
Bloques de programa:	56x50		2800
Total de palabras:		=	9172
Reserva 50%:		=	4586
Total final de palabras:		=	13758
Total de bytes	13758x2	=	27516
Total de Kbytes	27516/1024	=	26.87

Entonces se observó que una tarjeta de memoria de 56 K era suficiente para la aplicación pero como la diferencia en precios era mínima en relación a la tarjeta de 128 K se optó por ésta.

<b>MMC</b>	<b>REFERENCIA</b>
Micro memory card 128K	6ES7 953-8LG11-0AA0

Tabla 3.12 Datos de la MMC para el PLC

### **3.4.6 MÓDULO FM-350 - 2**

En el presente proyecto fue necesario el uso de un módulo de conteo rápido ya que los contadores internos que posee el PLC no trabajan a la frecuencia de pulsos del encoder incremental utilizado.

El FM-350-2 es un módulo de función de conteo rápido que se puede utilizar para el S7-300/M7-300. Este módulo contiene ocho canales de conteo que operan dentro de los siguientes rangos:



RANGO DE CONTAJE	LÍMITE INFERIOR DE CONTAJE	LÍMITE SUPERIOR DE CONTAJE
Rango de contaje 1:32 bits	0	+ 4,294,967,295
Rango de contaje 2: +/-31 bits	- 2,147,483,648	+ 2,147,483,647

Tabla 3.13 Rangos de contaje del FM 350-2

La frecuencia máxima de entrada que puede manejar es de 20 Khz. dependiendo del tipo de señal del encoder. En este módulo se puede realizar las siguientes tareas de contaje: conteo continuo, conteo simple, conteo periódico, medición de frecuencia, medición de velocidad de rotación y medición de periodo.

Instalación del FM-350-2. Para poder integrar nuestro módulo FM 350-2, se necesita realizar su conexión física y la configuración en el software del PLC:

- El módulo FM-350-2 debe ser cableado de la siguiente manera para su operación correcta:

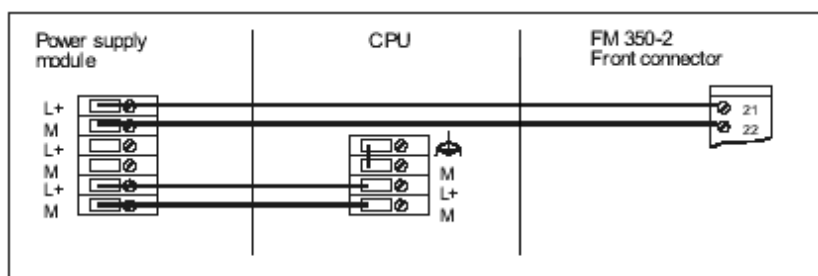


Figura 3.14 Cableado del FM 350-2

- Dentro del Administrador SIMATIC, se debe de ingresar al HWConfig para poder realizar la configuración del FM-350-2. Dentro del HWConfig se debe de seleccionar el módulo FM 350-2 COUNTER MODULE que se encuentra dentro de la ruta que se muestra en la siguiente figura:

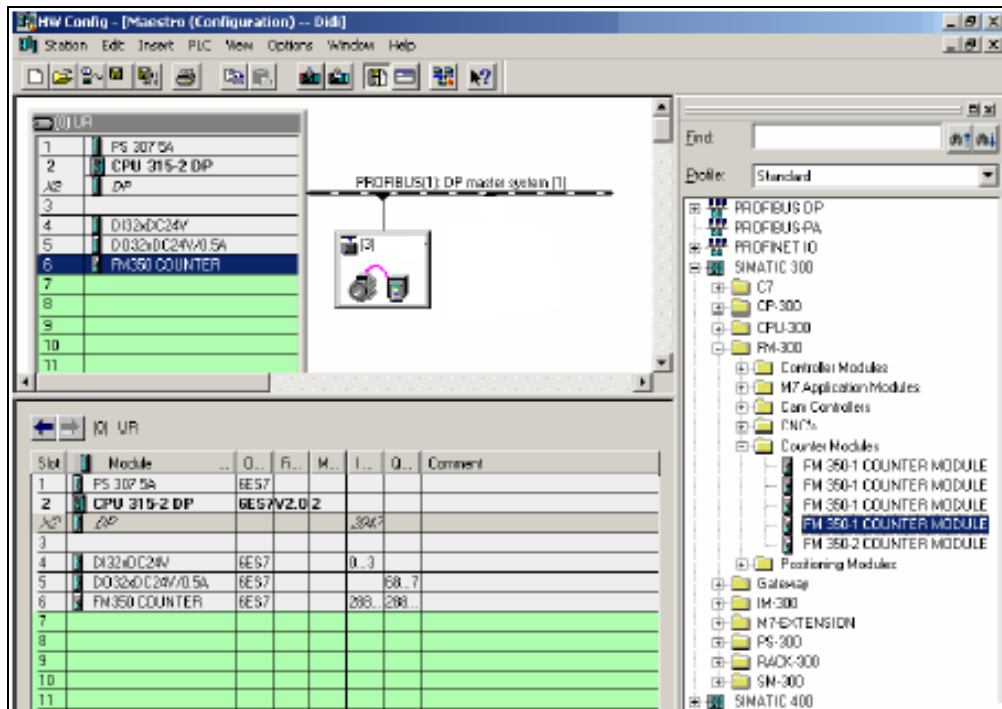


Figura 3.15 Parametrización del FM 350 dentro del HWConfig

Al realizar esto, se debe de entrar a las propiedades del módulo para poder realizar la siguiente configuración:

Dentro de la pestaña de parámetros básicos se debe seleccionar “parameter assignment” y se desplegará los parámetros que se deben de modificar para cada uno de los bloques:

- Operating Modes: Conteo simple.
- Encoders: Pulsos y dirección.
- Inputs: Inactivo.
- Process interrupt enable: not possible as deselected in basic parameters
- Outputs: Inactivo.

Se debe asegurar que este instalada la siguiente librería FMx50LIB, sino es así se deberá de instalar e integrar los bloques de datos que se encuentran en esta librería dentro de la carpeta de bloques del PLC. También se debe de insertar manualmente el bloque DB1 con tipo de dato UDT1 dentro de la carpeta de

bloques del PLC. Al realizar estos pasos, el módulo FM-350-2 está configurado y listo.

### **3.4.7 PANEL DE OPERADOR OP7**

Las terminales de comunicación con el operador, o paneles de operación son dispositivos periféricos de comunicación con el PLC y constituyen una de las interfaces hombre – máquina del sistema.

En el presente proyecto desde el panel se pretende que el operador ingrese los valores de medida de apertura a los cuales se quiere que trabaje la máquina, disminuyendo así el tiempo de demora en la calibración.

El panel de operador consiste de un display o pantalla fluorescente para presentación de textos con un teclado de membrana numérico y funcionales configurables para la realización de tareas específicas. Además el OP7 cuenta con recursos específicos, diferenciados de los de la CPU: órdenes de mando (visualización de textos, variables), variables internas en formato de bit, palabras y palabras dobles.

Desde ellos los operadores a cargo de la instalación pueden monitorear el estado de las alarmas y parametrizar variables dinámicas del proceso.

### **3.4.8 PC PROGRAMADOR**

El software scada WinCC debe funcionar bajo un sistema operativo fiable como puede ser Windows 2000 o Windows NT a partir de la versión 4.0 para el presente proyecto funciona bajo el sistema operativo Windows XP Profesional + SP2.

Los requisitos mínimos para que el software WinCC se pueda instalar en un PC y pueda funcionar sin problemas de velocidad y almacenamiento son los siguientes.

COMPONENTE	MÍNIMO EXIGIDO	ACONSEJABLE	PC DEL PROYECTO
Procesador	Pentium II 400 MHz	>Pentium II 400 MHz	Intel Core 2, 2.13 GHz
Memoria RAM	128 MB	256 MB	1 GB
VGA	SVGA 4 MB	XGA 8 MB	XGA 256 MB
Resolución	800 x 600	1024 x 768	800 x 600
Disco Duro	3 GB	3 GB	140 GB
CD ROM	Para instalar Software	Para instalar Software	Para instalar Software
Disco 3'5	Para instalar licencias	Para instalar licencias	Para instalar licencias

Tabla 3.14 Características del PC utilizado en base a los requeridos

Además de estas características, es indispensable que el PC tenga un "Slot" ISA o PCI libre para la inserción de la tarjeta de comunicación CP 5611.

### 3.4.9 TARJETA DE COMUNICACIÓN SIEMENS CP 5611

Para que el PC sea capaz de comunicarse con el PLC S7 se debe instalar una tarjeta de comunicaciones en el computador. Para este proyecto se ha seleccionado la tarjeta de comunicación CP 5611 de Siemens, la cual permite la conexión del PC en red Profibus o MPI.

El software y los controladores de esta tarjeta vienen incluidos con el paquete software WinCC, y para su configuración se dispone de una pequeña aplicación en el panel de control con la cual podemos definir el numero de estación que será asignada al PC y la velocidad de comunicación con que lo hará.

Además se dispone de un "test" que chequea el correcto funcionamiento de la tarjeta y muestra las estaciones que están conectadas a la red Profibus/MPI en ese preciso momento.

ITEM	REFERENCIA
Tarjeta PCI. Simatic Net. CP 5611	6GK1561-1AA0

Tabla 3.15 Características de la tarjeta para PC

## 3.5 SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL

### 3.5.1 ADMINISTRADOR SIMATIC

Para la programación y configuración tanto del Simatic S7 – 300 y S7 – 400 se lo hace a través del software Administrador SIMATIC, que es la interface de acceso directo. Su programación es orientada a objetos, con lo cual resulta de fácil manejo para el usuario. Esta interface permite realizar las siguientes opciones como se muestra en figura:

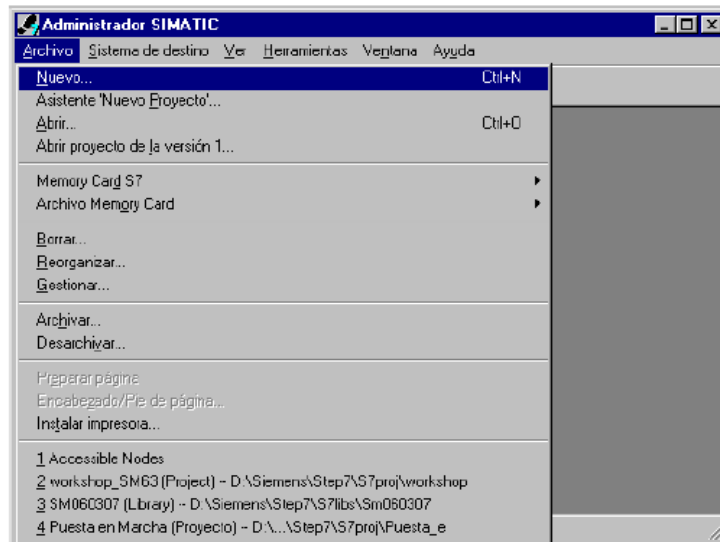


Figura 3.16 Opciones dentro del Administrador Simatic

- Crear proyectos.
- Archivar proyectos.
- Configurar y parametrizar el hardware.
- Configurar redes de comunicación.
- Programar bloques.
- Simulador de programas.

Es posible trabajar en el Administrador SIMATIC de las dos siguientes maneras:

En estado offline.- O sea sin conexión virtual con el autómata programable PLC o con los elementos de periferia de control.

En estado online.- Es decir conectado con un autómeta programable (PLC) o con los elementos de periferia de control.

El proyecto de automatización se crea en el Administrador SIMATIC, pero el programa creado por el usuario se inserta para ser trabajado en Step 7, para nuestro caso fue programado en Step 7 versión 5.4.

La programación en Step 7 permite combinar distintos lenguajes los cuales son:

- Lista de instrucciones (AWL).
- Contactos (KOP).
- Texto estructurable (FUP).

El software estándar le asiste en todas las fases de creación de soluciones de automatización, tales como:

- Crear y gestionar proyectos.
- Configurar y parametrizar el hardware y la comunicación.
- Gestionar símbolos.
- Crear programas.
- Cargar programas en sistemas de destino.
- Comprobar el sistema automatizado.
- Diagnosticar fallos de la instalación.

El interface de usuario del software STEP 7 ha sido diseñado siguiendo los criterios ergonómicos más avanzados, lo que permite conocer rápidamente sus funciones.

### **3.5.2 CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE (HW-Config)**

Esta herramienta se utiliza para configurar y parametrizar el hardware de un proyecto de automatización. Se dispone de las siguientes funciones:

- Para configurar el sistema de automatización, se eligen primero los bastidores (racks) de un catálogo electrónico y luego se asignan los módulos seleccionados a los slots de los bastidores.
- La configuración de la periferia descentralizada se efectúa del mismo modo. También se asiste la periferia canal a canal (granular).
- Al parametrizar la CPU se pueden ajustar mediante menús propiedades tales como el comportamiento en el arranque y la vigilancia del tiempo de ciclo. Se asiste el modo multiprocesador. Los datos introducidos se depositan en bloques de datos del sistema.
- Al configurar los módulos, todos los datos se pueden ajustar en cuadros de diálogo. No es preciso efectuar ajustes mediante los interruptores DIP. La parametrización de los módulos se efectúa automáticamente durante el arranque de la CPU. Por consiguiente se puede p. ej. Sustituir un módulo sin necesidad de repetir la parametrización.
- La parametrización de módulos de función (FMs) y de procesadores de comunicaciones.

Las (CPs) se efectúa con la misma herramienta de configuración del hardware de forma idéntica a como se parametrizan los demás módulos. Para los FM y CP se dispone de cuadros de diálogo específicos de los módulos (que forman parte del volumen de suministro del paquete de funciones FM/CP). El sistema impide que se efectúen entradas incorrectas, ya que los cuadros de diálogo sólo ofrecen las entradas admisibles.

### **3.5.3 SISTEMA OPERATIVO Y PROGRAMA DE USUARIO EN STEP 7**

Los lenguajes de programación SIMATIC integrados en STEP 7 cumplen con la norma DIN EN 6.1131-3. El software estándar se ejecuta bajo los sistemas operativos MS Windows 2000 Professional (en adelante llamado Windows 2000) y

MS Windows XP Professional (en adelante llamado Windows XP), estando adaptado a su funcionamiento gráfico y orientado a los objetos.

STEP 7 es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC. STEP 7 forma parte del software industrial SIMATIC.

STEP 7 presenta las siguientes variantes:

- STEP 7 para aplicaciones en sistemas de automatización SIMATIC S7-300/400.
- Posibilidad de parametrizar bloques de función y de comunicación.
- Forzado y modo multiprocesador.
- Comunicación de datos globales.
- Transferencia de datos controlada por eventos con bloques de comunicación y de función.
- Configuración de enlaces.

Los programas de usuario que son creados en Step 7 para luego cargarlos en la CPU contienen bloques como son:

- Bloques de organización (OB).
- Funciones (FC).
- Bloque de función (FB).
- Bloques de datos (DB).
- Bloques de función de sistema (SFB).
- Funciones del sistema (SFC).

BLOQUES DE ORGANIZACIÓN (OB). Los bloques de organización (OB) constituyen el interface entre el sistema operativo y el programa de usuario. Son llamados por el sistema operativo y controlan el procesamiento cíclico y controlado por alarmas del programa, el comportamiento de arranque del sistema de automatización y el tratamiento de los errores. Programando los bloques de organización se define el comportamiento de la CPU.



Los bloques de organización determinan la secuencia (eventos de arranque) en la que habrán de ejecutarse las diferentes partes del programa. La ejecución de un OB puede ser interrumpida por la llamada de otro OB. Los OBs de mayor prioridad pueden interrumpir a los de menor prioridad. La prioridad más baja la tiene el OB de tarea no prioritaria.

FUNCIONES (FC). Las funciones son bloques programables. Una función es un bloque lógico "sin memoria". Las variables temporales de las FCs se memorizan en la pila de datos locales. Estos datos se pierden tras el tratamiento de las FCs. Para fines de memorización de datos, las funciones pueden utilizar bloques de datos globales. Como una FC no tiene asignada ninguna memoria, se han de indicar siempre parámetros actuales. A los datos locales de una FC no se pueden asignar valores iniciales.

La FC contiene un programa que se ejecuta cada vez que la FC es llamada por otro bloque lógico. Las funciones se pueden utilizar para:

Devolver un valor de función al bloque invocante (ejemplo: funciones matemáticas)

Ejecutar una función tecnológica (ejemplo: control individual con combinación binaria).

BLOQUES DE FUNCIÓN (FB). Los bloques de función son bloques programables. Un FB es un bloque "con memoria". Dispone de un bloque de datos asignado como memoria (bloque de datos de instancia DB). Los parámetros que se transfieren al FB, así como las variables estáticas, se memorizan en el DB de instancia. Las variables temporales se memorizan en la pila de datos locales.

Los datos memorizados en el DB de instancia no se pierden al concluir el tratamiento del FB. Los datos memorizados en la pila de datos locales se pierden al concluir el tratamiento del FB.

Un FB contiene un programa que se ejecuta siempre cuando el FB es llamado por otro bloque lógico. Los bloques de función simplifican la programación de funciones complejas de uso frecuente.

BLOQUES DE DATOS DE INSTANCIA (DB). En cada llamada de un bloque de función que transfiere parámetros está asignado un bloque de datos de instancia. En el DB de instancia están depositados los parámetros actuales y los datos estáticos del FB. Las variables declaradas en el FB definen la estructura del bloque de datos de instancia. La instancia define la llamada de un bloque de función. Si se asignan varios bloques de datos de instancia a un bloque de función (FB) que controla un actuador, se puede utilizar este FB para controlar varios actuadores.

Dependiendo de qué DB se asigne al FB al efectuar la llamada, se puede controlar un actuador diferente. De esta manera se utiliza un solo bloque de función para varios actuadores.

BLOQUES DE FUNCIÓN DE SISTEMA (SFB). Un SFB es un bloque de funciones integrado en la CPU S7. Como los SFBs forman parte del sistema operativo, no se cargan como parte integrante del programa. Al igual que los FBs, los SFBs son bloques "con memoria".

Las CPUs S7 ofrecen SFBs para:

- Comunicación vía enlaces configurados.
- Las funciones especiales integradas.

Para los SFBs se han de crear también bloques de datos de instancia y cargar en la CPU como parte integrante del programa.

FUNCIONES DEL SISTEMA (SFC). Una función del sistema es una función preprogramada integrada en la CPU S7. La SFC se puede llamar desde el programa. Como las SFCs forman parte del sistema operativo, no se cargan como

parte integrante del programa. Al igual que las FCs, las SFCs son bloques "sin memoria". Las CPUs S7 ofrecen SFCs que realizar funciones como son:

- Funciones de copia y de bloque.
- Control del programa.
- Manipulación del reloj y del contador de horas de funcionamiento.
- Transferencia de registros.
- Actualización de imágenes del proceso y tratamiento de campos de bits.
- Direccionamiento de módulos.
- Periferia descentralizada.
- Comunicación por datos globales.
- La comunicación vía enlaces no configurados.
- Generar avisos de bloque.
- Transferencia de eventos en el modo Multiprocesamiento desde una CPU a todas las CPUs insertadas.
- Manipulación de alarmas horarias y de retardo.
- Manipulación de eventos de errores síncronos, eventos de errores de alarma y asíncronos.
- Información sobre datos de sistemas estáticos y dinámicos.

## **3.6 DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN**

Para la comunicación con otros elementos se dispone de dos puertos que dan nombre a la CPU 315 2DP. Esta particularidad resulta muy útil cuando se han de separar redes o bien hay que ampliar la existente.

### **3.6.1 COMUNICACIÓN MPI (MULTI POINT INTERFACE)**

El primero de ellos, mostrado en la siguiente figura, corresponde a la del puerto de comunicación MPI. A través del puerto MPI se pueden conectar hasta 31 estaciones más con direcciones de la 0 a la 31. La CPU por defecto viene

configurada de fábrica con el número de estación 2, aunque se puede variar según el interés.

En este puerto está prevista la conexión del panel operador OP 7 (estación MPI 3) con el PLC (estación MPI 2) y se pueden conectar otros componentes como consola de programación, otros paneles operadores, otras CPU's, etc.

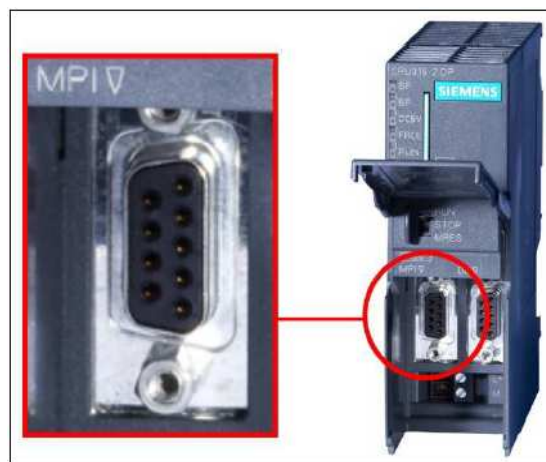


Figura 3.17 Puerto de comunicación MPI

El cable de conexión y el conector MPI es idéntico al descrito en el apartado de conectores y cables profibus.

La siguiente tabla muestra las características del puerto. Entre ellas se puede destacar que; se puede comunicar a una velocidad de 19.200 Kbaudios o 187,5 Kbaudios (como será en nuestro caso).

El software Simatic S7 viene provisto con funciones de comunicación MPI con lo cual solo será necesario configurar el tipo de red, las estaciones y la velocidad de comunicación.

El administrador simatic dispone de una aplicación llamada "NetPro" que permite configurar con mucha facilidad el tipo de redes de comunicación que se van a usar en el proyecto.

<b>1ra INTERFACE</b>	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	
• MPI	SI
• Maestro DP	NO
• Esclavo DP	NO
• Separación galvánica	NO
<b>MPI</b>	
• SERVICIOS	
Funciones PG/OP	SI
Comunicaciones por datos globales	SI
Funciones S7	SI (Servidor)
Funciones básicas S7	SI
• VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA	19,2 ; 187,5 Kbaudios

Tabla 3.16 Características Interface MPI

### 3.6.2 COMUNICACIÓN PROFIBUS DP

Profibus-DP es un sistema de bus rápido y estandarizado para el nivel de campo. Está normalizado según EN 50170 y IEC 61158-3 Ed, sirve para transmitir datos entre equipos Simatic S7 y diversos dispositivos de campo, llamados esclavos DP. Cuando existe un maestro, en este caso el PLC, los esclavos intercambian datos en “pequeños paquetes” hacia éste.

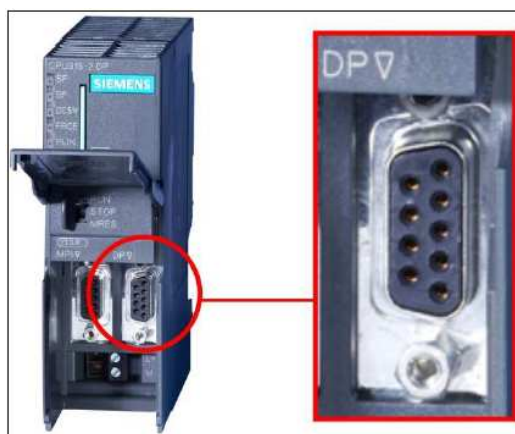


Figura 3.18 Puerto Profibus DP

Este puerto se utilizara para la comunicación con el variador y con el OP 7. Si se le tuviera que dar otras utilidades estas irían probablemente encaminadas a la comunicación con otros autómatas, aunque bien es cierto que se pueden conectar todo tipo de componente que permita este tipo de conexión. En la tabla que se muestra a continuación se pueden ver las características de ese puerto.

<b>2da INTERFACE</b>	
<b>FUNCIONALIDAD</b>	
• Maestro DP	SI
• Esclavo DP	SI
Estado/Control; programación; encaminamiento (routing)	SI (conectable)
• Intercambio directo de datos	SI
• Acoplamiento punto a punto	NO
• Ajuste por defecto	NINGUNO
• Separación galvánica	SI
<b>MAESTRO DP</b>	
• Servicios	
Equidistancia	SI
SYNC/FREEZE	SI
Activar/Desactivar esclavos DP	SI

Tabla 3.17 Características Interface Profibus DP

Este tipo de comunicación puede llegar a ser mucho más rápida y fiable pero por otra parte supone sea más costosa económicamente.

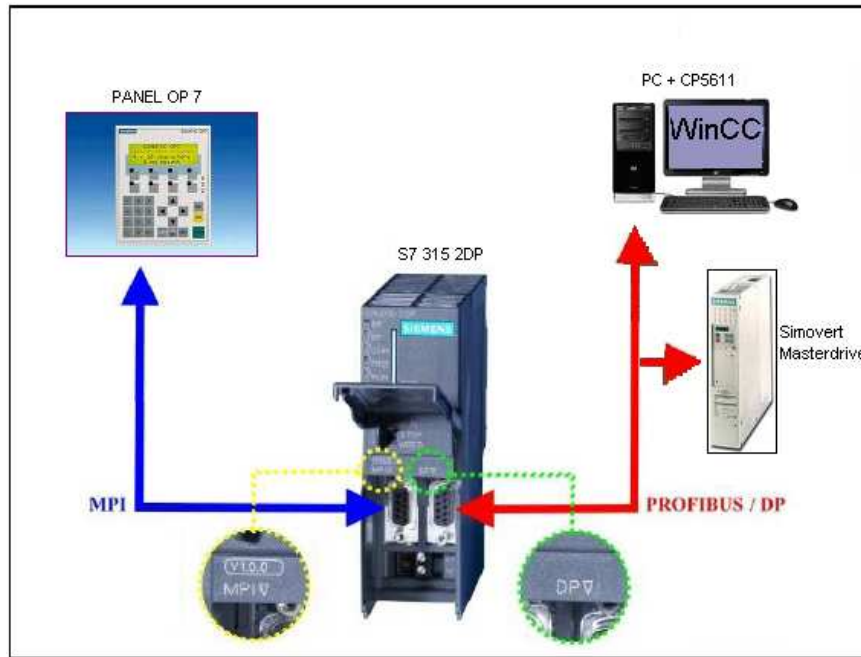


Figura 3.19 Esquema de conexión para la red física de comunicación

### 3.6.3 HARDWARE DE LA RED DE COMUNICACIÓN

Para la interconexión de CPU con el PLC y otros elementos se empleará cable Profibus apantallado y conectores Profibus como se muestra en las siguientes figuras.

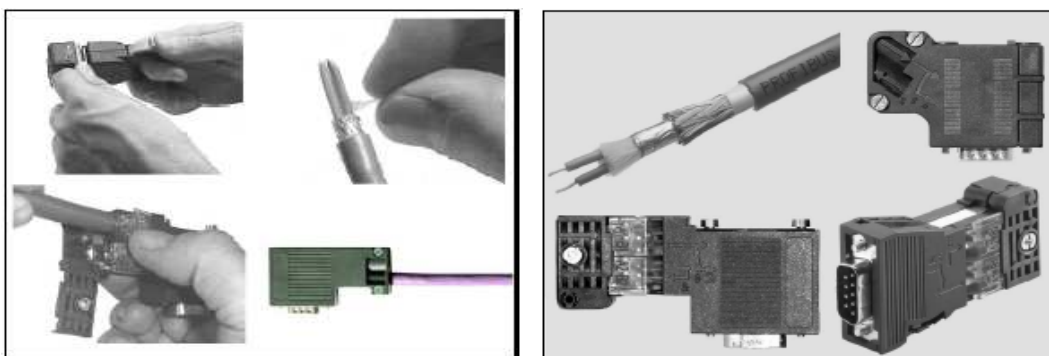


Figura 3.20. Conector para red Profibus

Para el cableado se usó cable blindado tipo Li2YCY PiMF de 2 x 2 hilos. Para cada estación se usó conectores cuya referencia se muestra en la tabla, para Profibus, el cual fue usado también para MPI.

ITEM	REFERENCIA
Conector Sub-D 9 polos	6ES7 972-0BA41-0XA0

Tabla 3.18 Conector Sub-d 9

El conector de bus se enchufa directamente en el conector hembra Sub-D de 9 polos a través de 4 bornes.

A través de un interruptor accesible desde el exterior puede activarse la resistencia terminadora integrada en el conector de bus. Con ello se seccionan en el conector los cables entrantes y salientes (función de seccionamiento). Esto es imprescindible en ambos extremos de un segmento Profibus.

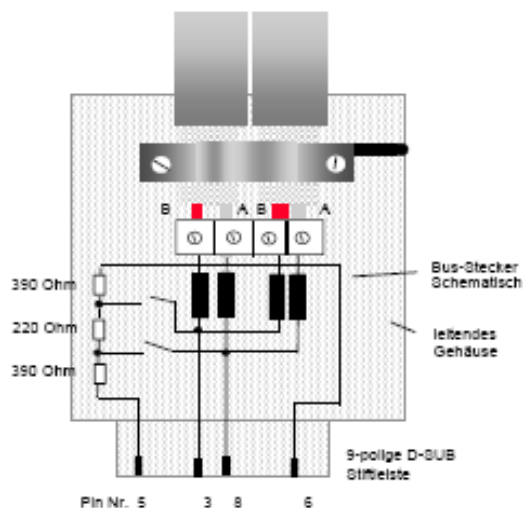


Figura 3.21 Parte interna de un conector

### 3.6.4 SOFTWARE DE LA RED DE COMUNICACIÓN

Existe una herramienta llamada NetPro en el Administrador SIMATIC es la que permite la inserción de los elementos de campo que se van a comunicar en red y definir las direcciones de éstos en la misma. La dirección por defecto para la CPU, tanto en DP como en MPI, es 2. El PLC se configura como sistema maestro.

La dirección para el variador de los motores reductores es: 3 para comunicación Profibus DP como se puede apreciar en la figura.



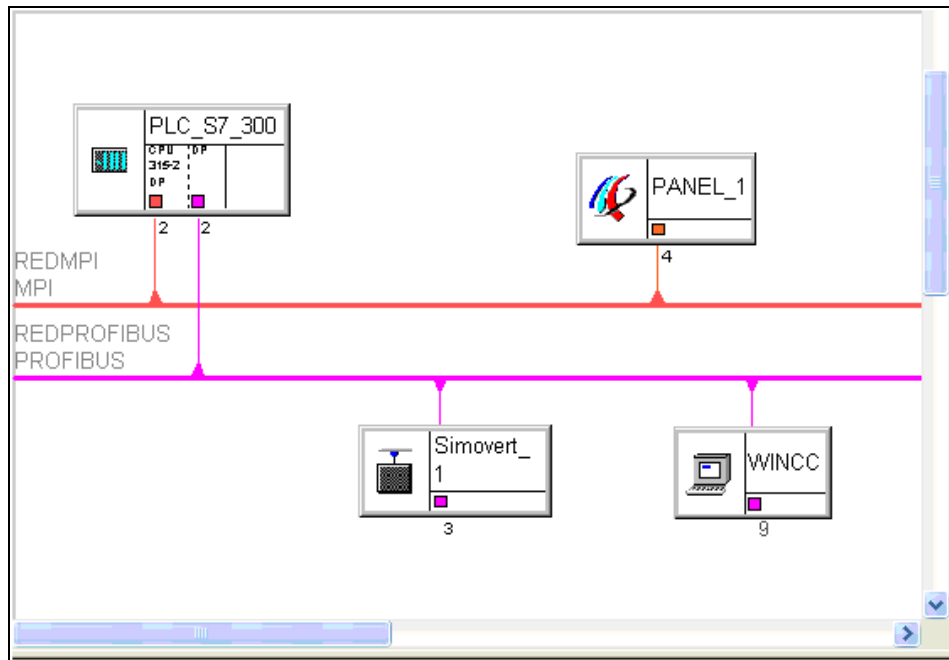


Figura 3.22 Configuración de la red de comunicación en NetPro

Con NetPro, los datos se pueden transferir de forma cíclica y temporizada a través de MPI, permitiendo:

- Seleccionar las estaciones que intervienen en la comunicación e
- Introducir la fuente y el destino de los datos en una tabla. La creación de todos los bloques a cargar (SDB) y su transferencia completa a todas las CPUs se efectúa de forma automática.

Además, existe la posibilidad de transferir los datos de forma controlada por eventos, pudiéndose.

- Definir los enlaces de comunicación.
- Seleccionar los bloques de comunicación o de función de la librería de bloques integrada.
- Parametrizar en el lenguaje de programación habitual los bloques de comunicación o de función seleccionados.

La dirección del variador es asignada al establecer las propiedades de este equipo. Al cargarlos en la red se debe configurar las palabras de mando y estado que se van a leer y/o transmitir vía red Profibus DP. En este caso se asignaron 2 palabras de mando/estado, que se manipulan como cualquier palabra de periferia. A través de estas palabras se envía la palabra de mando y la consigna de frecuencia. Esto se hace a través de la FB5 llamada desde el programa de usuario.

Para las HMI (interface hombre-máquina), tanto del panel del operador como del computador sólo es necesario configurar la dirección del dispositivo dentro de la red. Una vez configuradas las direcciones las HMI pueden acceder a cualquier entrada, salida o marca en el PLC sin necesidad de realizar nada específico en el programa de usuario cargado en el PLC.

De esta manera para el panel operador la dirección es 4 en MPI; para el computador es 9 en profibus DP; para el variador de velocidad es 3 en profibus DP.

# CAPÍTULO 4

# **DISEÑO DEL HMI**

## **4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA VISUALIZACIÓN DEL PROCESO**

Para que exista un adecuado sistema de visualización en el proyecto desarrollado se implementó un tablero de mando general como se mencionó en el numeral 3.2 del capítulo anterior, en el cual irá ubicado un computador con el software WinCC.

La interface debe cumplir con requisitos que faciliten a los operadores adaptarse rápidamente, estos son:

- Incluir barras y teclas rápidas que hagan posible una rápida navegación por todas las pantallas.
- Visualización del estado de los motores:
  - Encendido
  - Apagado
- Visualización de alarmas.
- Ingreso de datos y visualización de los mismos.

### **4.1.1 OPERACIÓN SIERRA CB 15**

En lo referente a la operación de la máquina CB 15 la HMI permite visualizar permanentemente la apertura de los discos de corte a la cual se encuentra trabajando.

Para la calibración de apertura de los discos de corte en modo automático la HMI permite al operador ingresar las medidas de apertura a través 10 campos de entrada disponibles, que luego mediante el pulsante correspondiente se da inicio al proceso.

Por otra parte, permite también la visualización del estado del motor reductor encargado de mover el tornillo sin fin para abrir o cerrar la apertura dentro de la máquina CB 15.

#### **4.1.2 OPERACIÓN SIERRA CB 10**

Para el caso de la máquina CB 10 que se encuentra distante del tablero general, se colocó un panel como una extensión que permite la visualización permanente de la apertura a la cual se encuentra trabajando la máquina, siendo también posible visualizarla en la HMI.

Para la calibración de apertura de los discos de corte en modo automático la HMI permite al operador ingresar las medidas de apertura mediante 10 campos de entrada disponibles, operación que también es posible realizar desde el panel colocado cerca de la máquina, una vez terminada esta etapa se da inicio al proceso mediante el pulsante correspondiente a la medida. La HMI permite también la visualización del estado del motor reductor encargado de mover el tornillo sin fin para abrir o cerrar la apertura dentro de la máquina CB 10.

#### **4.1.3 VOLUMEN DE TROZAS SIERRA PRINCIPAL KBO 40**

En lo referente al volumen de las trozas procesadas por la sierra principal KBO 40, la HMI dispone de dos campos de salida que permiten visualizar lo siguientes datos:

- Volumen de la troza que se esta cortando en ese momento
- La suma del volumen de las trozas procesadas en un periodo

En la HMI es posible también ver el número de trozas procesadas en un periodo considerado por el operador, así como una tabla de clasificación de trozas por diámetro. Todo con el fin de proporcionar datos que sirven para el cálculo y evalúo de indicadores.

#### **4.1.4 VOLUMEN DE PEDAZOS LATERALES SIERRA CB 15**

Para el caso de la sierra CB 15 la HMI dispone de dos campos de salida que permite visualizar datos como:

- Volumen del pedazo lateral procesado en ese instante.
- La suma del volumen de todos los pedazos laterales procesados en un periodo.

## **4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PARA EL HMI**

### **4.2.1 ENTORNO WINCC**

El WinCC constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los scadas (Sistema de Visualización y control para procesos industriales desde PC) para visualización y control de procesos industriales. Sus características más importantes se pueden resumir en: Arquitectura de desarrollo abierta (Programación en C), soporte de tecnologías Active X, comunicación sencilla mediante drivers implementados, funciones de análisis avanzadas en runtime, programación en línea por medio del comando actualizar en el WinCC Explorer así como también dentro de cada asistente... etc.

Programación Online: No es necesaria detener el runtime del desarrollo para poder actualizar las modificaciones en el mismo.

Crear un nuevo proyecto: Para crear un proyecto en WinCC es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Crear un nuevo proyecto WinCC
2. Seleccionar e instalar un PLC o un controlador
3. Definir los Tags
4. Crear las imágenes de proceso
5. Definir las características de tiempo de ejecución

6. Activar las imágenes en tiempo de ejecución
7. Utilizar el simulador para comprobar las imágenes de proceso

Si abre por primera vez WinCC, se visualizará un cuadro de diálogo con opciones para crear un proyecto: Crear un proyecto monousuario ("Proyecto monousuario" estándar), crear un proyecto multiusuario ("Proyecto multiusuario"), crear un proyecto multicliente ("Multi-Client Project") y abrir un proyecto disponible ("Open an Available Project")

Para nuestro caso seleccionamos Single-User System (Crear un nuevo proyecto monopuesto). En el siguiente cuadro de dialogo se puede asignar tanto el nombre del proyecto, como el nombre del subdirectorio en el cual se va a guardar.

Una vez creado el proyecto queda compuesto por:

El nombre del proyecto: El nombre el cual fue asignado al proyecto creado.

Computer: Todos los parámetros relacionados con el entorno de trabajo de la aplicación en general.

Tag Management: Administrador de comunicaciones (tener en cuenta a partir de ahora que tag equivale en el proyecto a una variable, sea de comunicaciones con el PLC o interna del proyecto).

Data Types: Agrupación de las variables del WinCC por tamaño, sin distinción de origen de los datos (comunicaciones o internos).

Editors: Editores de las diferentes partes en que se subdivide el runtime del WinCC.

El WinCCExplorer se compone de varios asistentes que se describen a continuación:

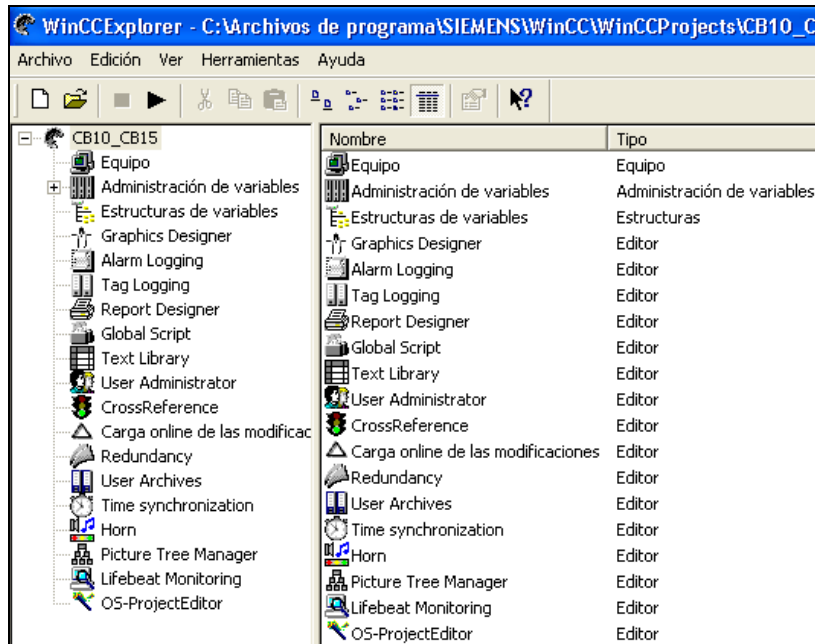


Figura 4.1 WinCC Explorer

**Computer:** Si presionamos el botón derecho sobre la opción computer del WinCCExplorer se despliega una tabla que contiene la lista de todos los ordenadores asignados a este proyecto y permite el acceso a las características de los mismos.

**Tags:** Un tag es el elemento de enlace entre la base de datos del WinCC, las variables del PLC y los objetos del runtime de nuestra aplicación.

Los tipos de datos que soportan son: Variable binaria, valor de 8 bits con signo, valor de 8 bits sin signo, valor de 16 bits con signo, valor de 16 bits sin signo, valor de 32 bits con signo, valor de 32 bits sin signo, número de coma flotante 32 bits IEEE 754, número de coma flotante 64 bits IEEE 754, variable de texto, juego de caracteres 8 bits, variable de texto, juego de caracteres 16 bits, tipo de datos sin formato, tipos de estructura, referencia de texto,....etc.

**Administrador de variables (tag managment):** El administrador de variables se encarga de las comunicaciones entre las diversas redes de PLCs, acoplamientos punto apunto y enlace con otras aplicaciones. Se divide en dos tipos de variables determinadas por su origen:



Variables internas: Son aquellas cuyo valor no se obtiene de la comunicación con otras aplicaciones, aunque pueden almacenar el resultado de una operación matemática obtenida a partir de variables de comunicaciones.

Variables de comunicaciones: Son aquellas cuyo valor se obtiene de la comunicación entre el WinCC y cualquier red de PLCs u aplicación.

Variables externos (external tags): Las variables externas en WinCC sirven para recopilar datos del proceso y acceder a una dirección de memoria del sistema de automatización conectado.

Driver o canal de comunicaciones: En este paso definimos qué dispositivo vamos a utilizar como interface de comunicación con el proceso. Un driver de comunicación es un interface entre el PLC y el WinCC, el driver seleccionado depende del PLC utilizado en el proceso.

I/O Field: Caja de entrada/salida para visualizar el valor de una variable y poderlo modificar.

Graphic Object: El objeto grafico representa una imagen en pantalla.

Alarm Logging: Es la parte del WinCC que se encarga del tratamiento de los mensajes de alarma de la instalación.

El tag logging: Es la parte del WinCC que se encarga del almacenamiento de los valores de proceso en el disco duro, así como de mostrarlos tanto en formato de gráfica como de tabla de valores.

Curvas de valores: Las tendencias de valores son utilizadas para mostrar la evolución de una variable de proceso en el tiempo de manera grafica.

Una vez expuestas las herramientas que facilita éste software y siguiendo la lógica de configuración que se muestra en la Fig. 4.3, es posible diseñar las imágenes necesarias para la HMI del proyecto.

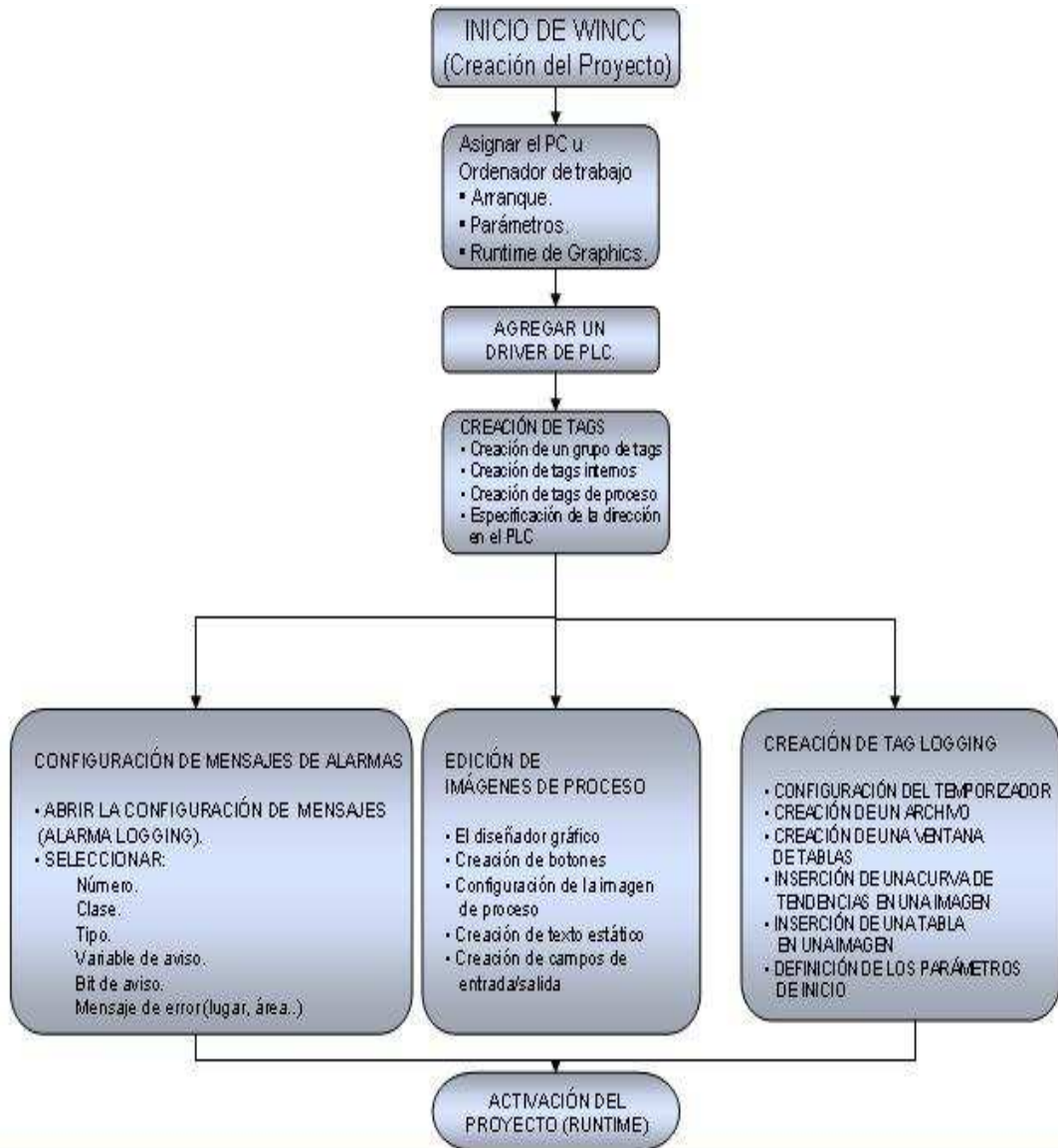


Figura 4.2 Diagrama de pasos para la creación de un proyecto

Primeramente se establece el nombre del proyecto dentro de WinCC Explorer luego se asigna el tipo de driver y el protocolo de comunicación dentro del cual se

generan las variables o grupos de variables que se va a transferir desde el PLC con la misma dirección y tamaño que son emitidas.

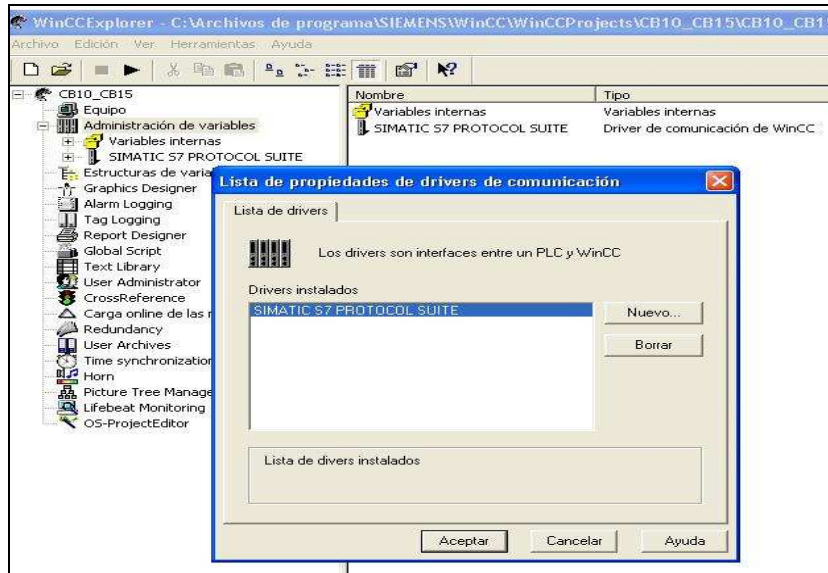


Figura 4.3 Asignación del driver (PLC) y protocolo de comunicación

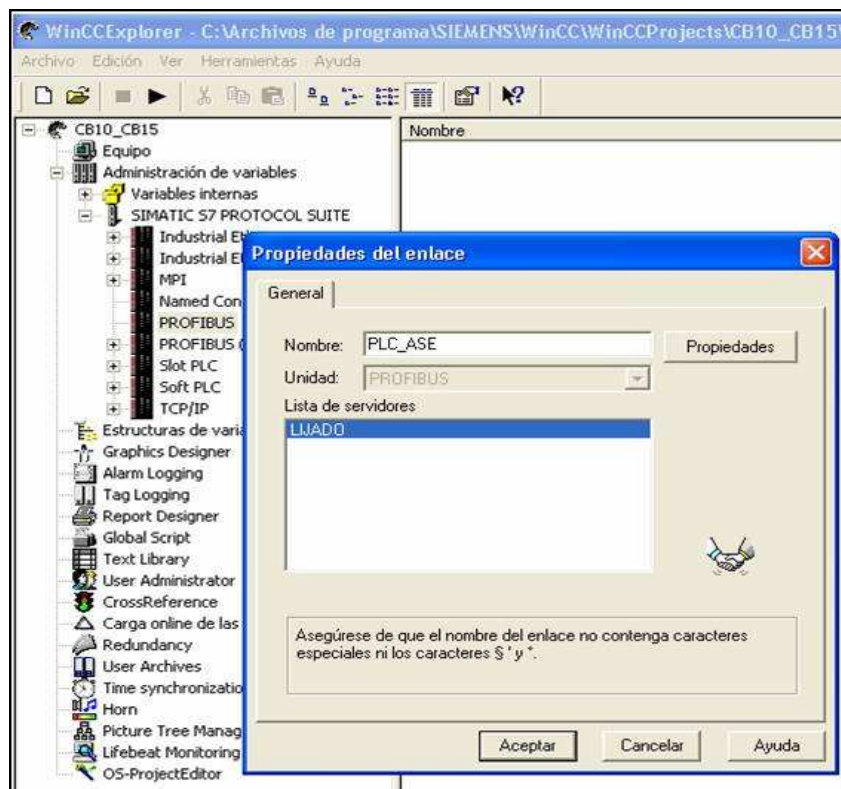


Figura 4.4 Configuración de red Profibus DP

Una vez realizada esta parte de la configuración, es evidente indicar a través de que dispositivo se va a realizar la comunicación entre el PLC y el ordenador, para el proyecto se seleccionó una tarjeta de comunicación CP 5611A con la cual se realizará la comunicación con red Profibus DP. Dicha comunicación debe ser configurada en la tabla que se muestra en la figura 4.5.

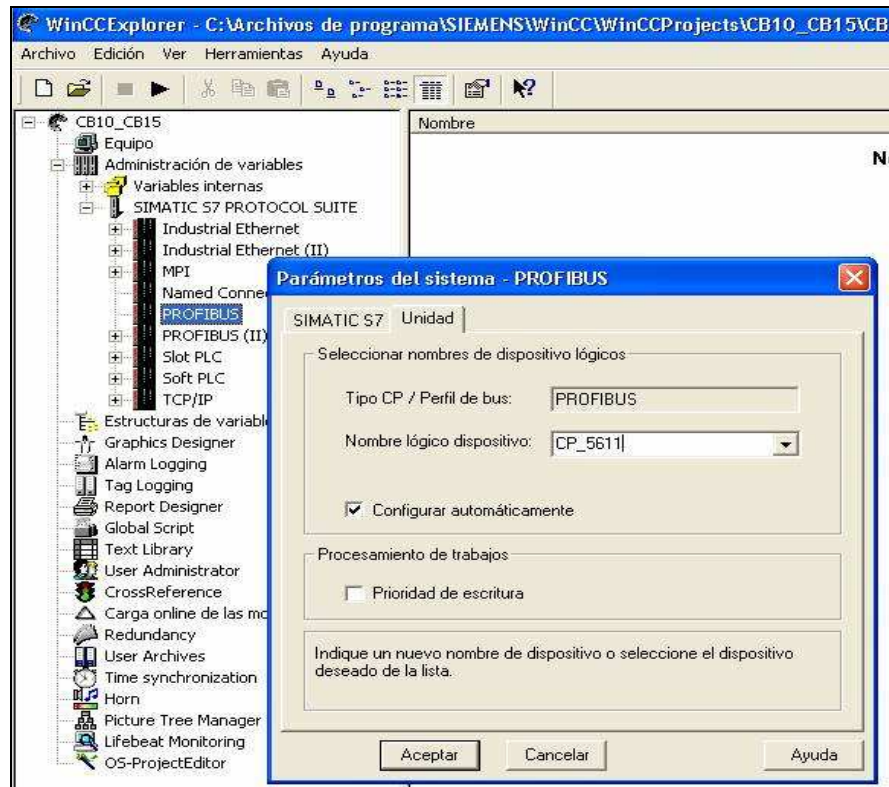


Figura 4.5 Parámetros para la comunicación del sistema en red profibus

Gestión de usuarios: La gestión de usuarios y contraseña será llevada a cabo por la persona asignada por el departamento de mantenimiento y tendrá una contraseña suministrada con la cual podrá acceder al editor “Administrador de Usuarios” con el cual podrá dar de alta y baja a usuarios, crear grupos y modificar contraseñas.



Figura 4.6 Ventana de entrada de usuario y contraseña

Cuando se intente acceder a un campo o zona del programa restringida aparecerá una ventana indicando que no se tiene suficiente permiso para acceder e imposibilitará la entrada a cualquier usuario no permitido.

#### 4.2.2 SOFTWARE PROTOOL PARA PANEL DE OPERADOR

Protool es una herramienta de software que permite la configuración de paneles que facilitan a los operadores visualizar e interactuar con los equipos en tiempo real. Comparte un ambiente de configuración común que permite el transporte de aplicaciones entre un amplio rango de plataformas de hardware, incluyendo Windows CE, Windows 95/98 y NT.

Los paneles que se configuran con esta económica herramienta de software son: OP 3, OP 7 y OP 17.

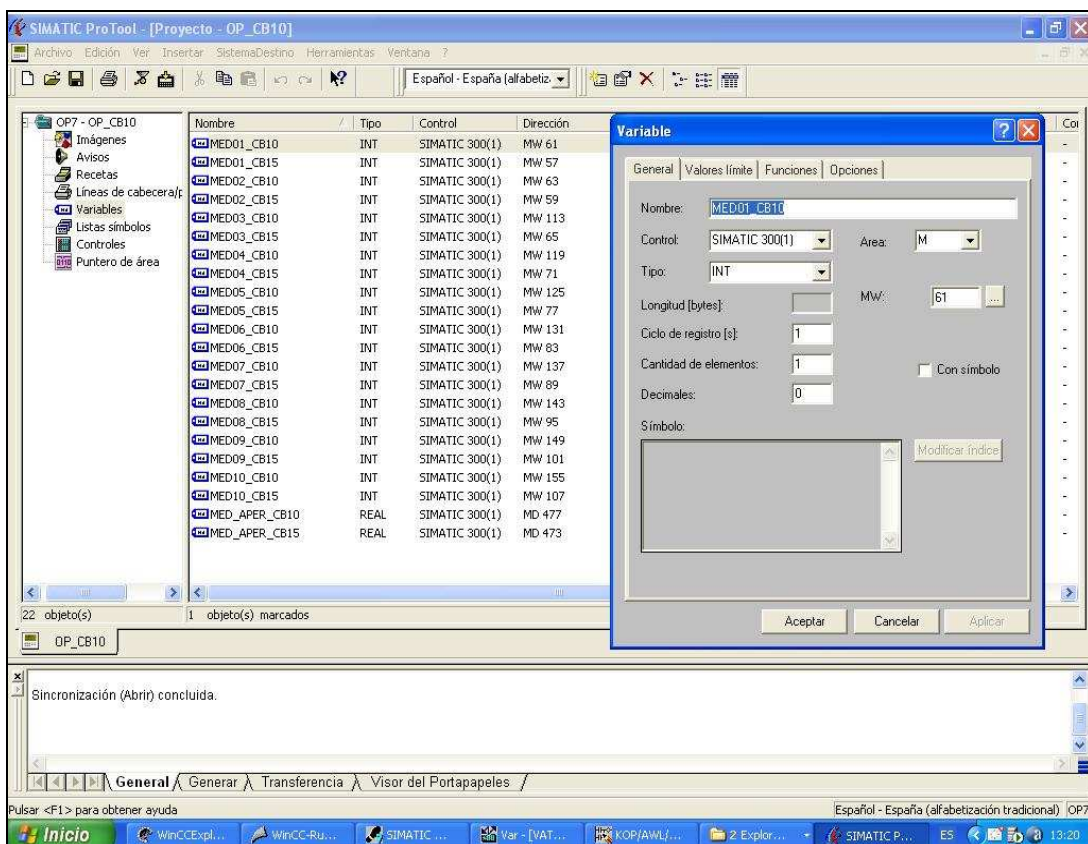


Figura 4.7 Configuración en software protool

Una vez diseñadas las imágenes dentro del software Protool, se realiza la transferencia de la configuración hacia el panel mediante una comunicación bajo RS 232, para posteriormente ser conectado en red MPI con el PLC para su operación permanente como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9.



Figura 4.8 Conexión de red entre el PLC y el panel operador OP7



Figura 4.9 Conexión para la transferencia hacia el OP7

### 4.3 DISEÑO DE IMAGENES DEL HMI IMPLEMENTADO

El programa estará estructurado por un número definido de pantallas en forma secuencial.

Desde la pantalla inicial mediante botones se podrá acceder a cinco zonas sin restricción alguna para el tipo de usuario que sea, para moverse dentro de la zona seleccionada se dispondrá de flechas de desplazamiento delante/atrás ubicadas en la parte inferior de la imagen.

#### 4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS DISEÑADAS EN WinCC

A continuación se tiene una breve descripción de los elementos visibles en algunas de las pantallas de la HMI.

Pantalla inicial: En la parte central de la pantalla inicial, aparecen cinco iconos con la información necesaria para acceder a cualquiera de las cinco secciones posibles.



Figura 4.10 Pantalla inicial (HOME)

En la parte inferior se encuentran tres iconos que permiten realizar tareas restringidas como: salir del runtime, abrir en software del PLC y cerrar el software WinCC.

Barra de navegación: Está presente en todas las pantallas y mediante botones visibles permite el acceso inmediato a las cinco zonas posibles de la HMI, así como también la activación y desactivación de usuarios.

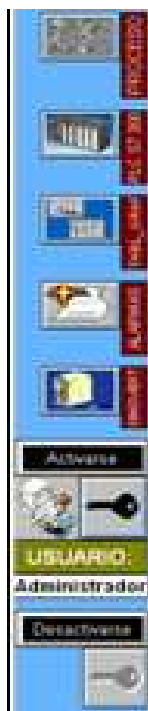


Figura 4.11 Barra de navegación

Señal de alarma y ayudas: La señal de alarma se encuentra visible solamente en la pantalla principal y permite visualizar una luz titilante generada por algún fallo ocurrido en el sistema.

Mediante el botón ayudas es posible ingresar a la sección, la cual muestra un número definido de pantallas que explican rápidamente el significado de los diferentes elementos que se encuentran en los tableros de mando. Dado así una pauta para facilitar al operador el manejo de la HMI.



Figura 4.12 Señal de alarma

Visualización del proceso: Esta pantalla presenta un esquema con todas las máquinas que forman parte del proceso de corte de madera. Aquí es posible visualizar la medida de apertura a la cual se encuentran trabajando las sierras CB 15 y CB 10.



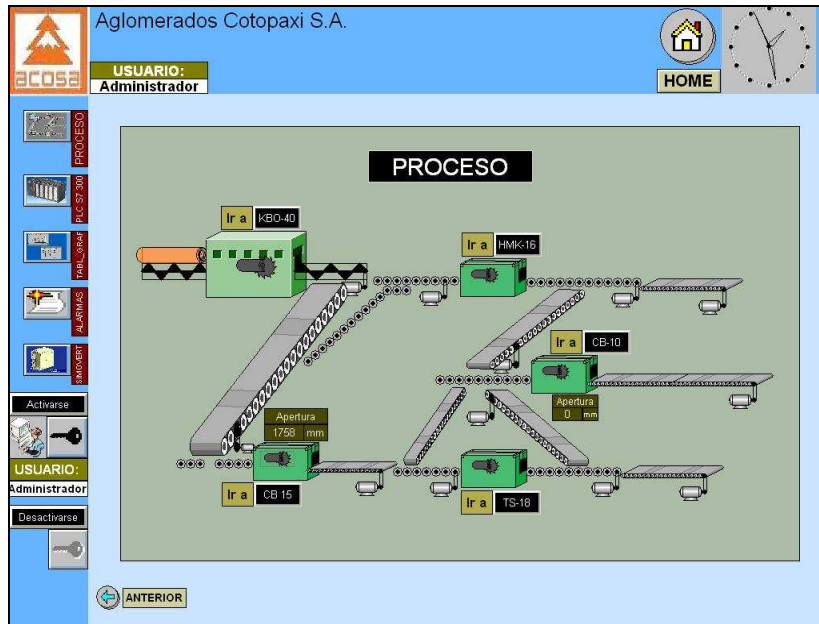


Figura 4.13 Vista del proceso

Sierras CB 15 y CB 10: Mediante esta pantalla que muestra las dos máquinas de corte CB 15 y CB 10, es posible ver el estado de algunos de los motores que la conforman y visualizar la medida de apertura en la cual se encuentran trabajando ambas máquinas. Desde aquí también es posible trasladarse hacia la pantalla para el ingreso de las medidas para la calibración de la apertura en modo automático.

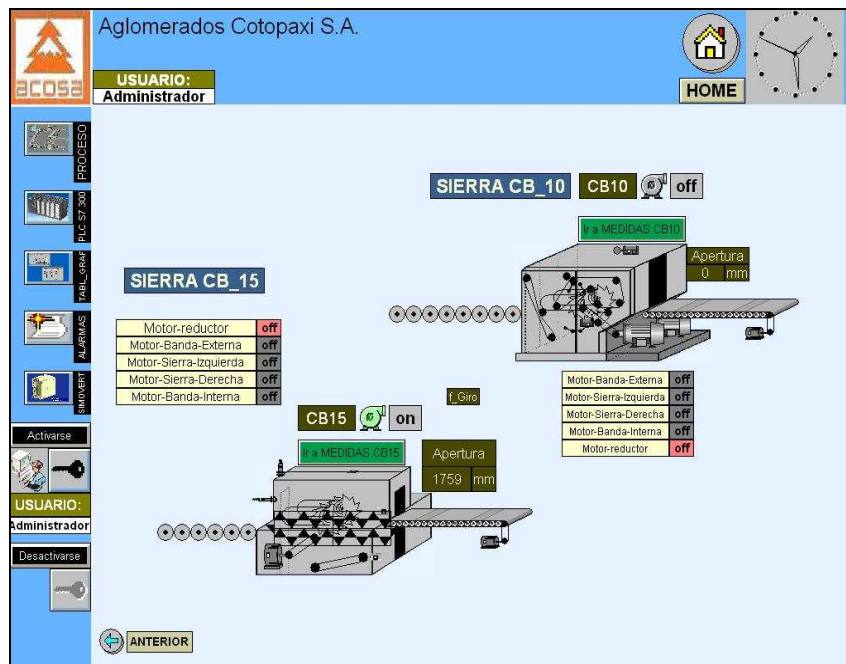


Figura 4.14 Vista pantalla CB 15 y CB 10

Notación para determinar el estado de los motores dentro del HMI.



COLOR REFERENTE	ESTADO	NOTACIÓN
Gris	Motor apagado	
Verde	Motor encendido	

Tabla 4.1 Notación del estado de los motores dentro del WinCC

Ingreso de las medidas de apertura: Una vez ingresado a la pantalla que se muestra en la figura 4.13 es posible escribir diez medidas de apertura para cada una de las sierras CB 15 y CB 10, que luego, en modo automático y mediante el pulsante correspondiente se da inicio al proceso de calibración.



Figura 4.15 Parametrización de medidas de apertura

PLC S7-300: Desde esta imagen y mediante las flechas de desplazamiento ubicadas en la parte inferior es posible visualizar el estado de todas las entradas y salidas digitales del PLC, permitiendo así la supervisión del encendido de los diferentes sensores y actuadores del sistema.



Figura 4.16 Vista pantalla entradas PLC

Variador de velocidad: En esta pantalla es posible visualizar el estado de la protección y el contactor del variador, así como de las señales digitales generadas por el mismo. Todo con el fin de mantener un correcto funcionamiento.



Figura 4.17 Vista pantalla Simovert masterdrive

Tablas de datos: En ésta pantalla se puede visualizar datos como: número de trozas totales, clasificación de trozas por diámetro y número de trozas cúbicas.

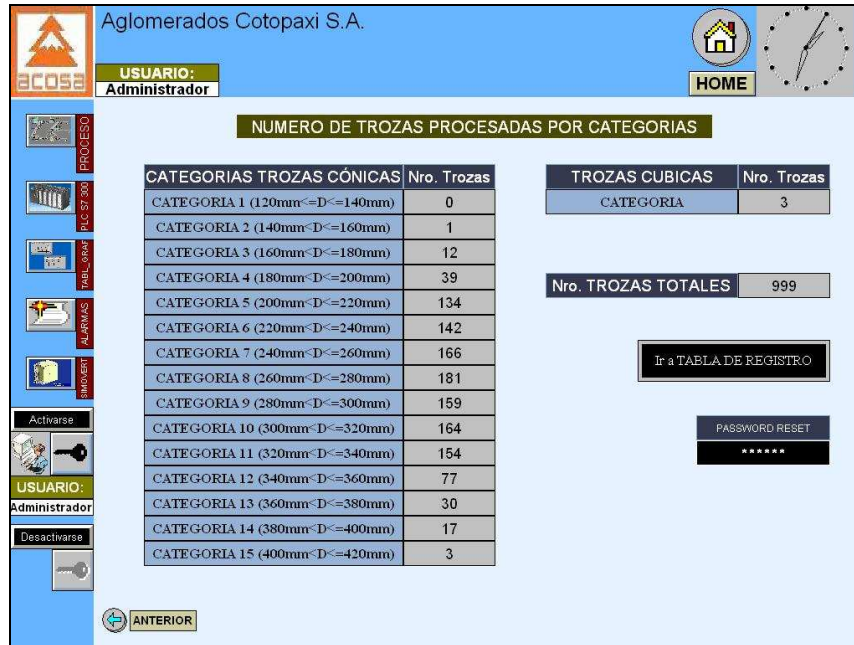


Figura 4.18 Vista pantalla datos de trozas

Registro horas paro: Permite visualizar el tiempo de paro de producción en la línea de aserradero, mostrando un tiempo acumulado en un periodo asignado por el operador.

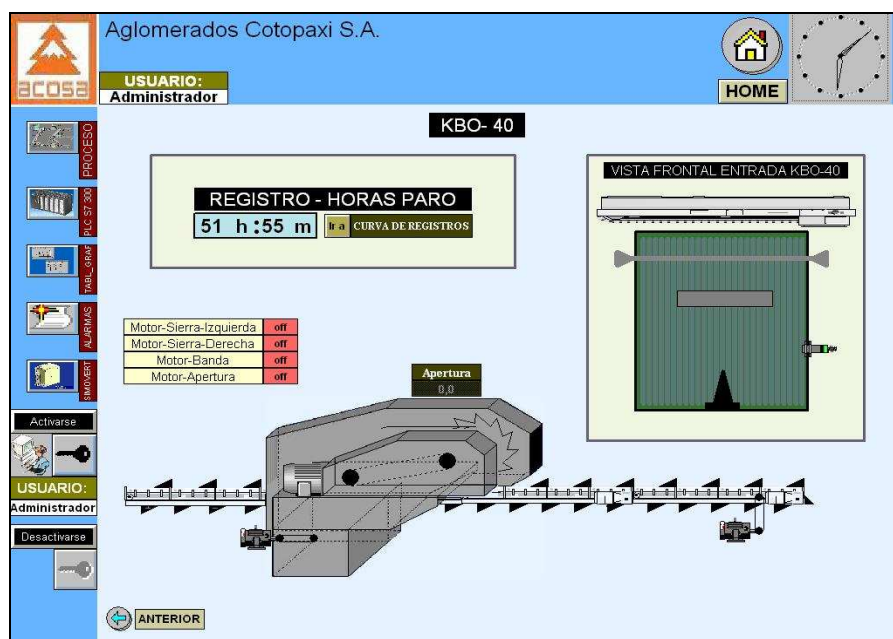


Figura 4.19 Vista pantalla horas - paro

Alarmas: Permite visualizar los eventos de fallo generados dentro del proceso. Los mismos que son registrados en la tabla mientras no se hayan acusado y corregido.

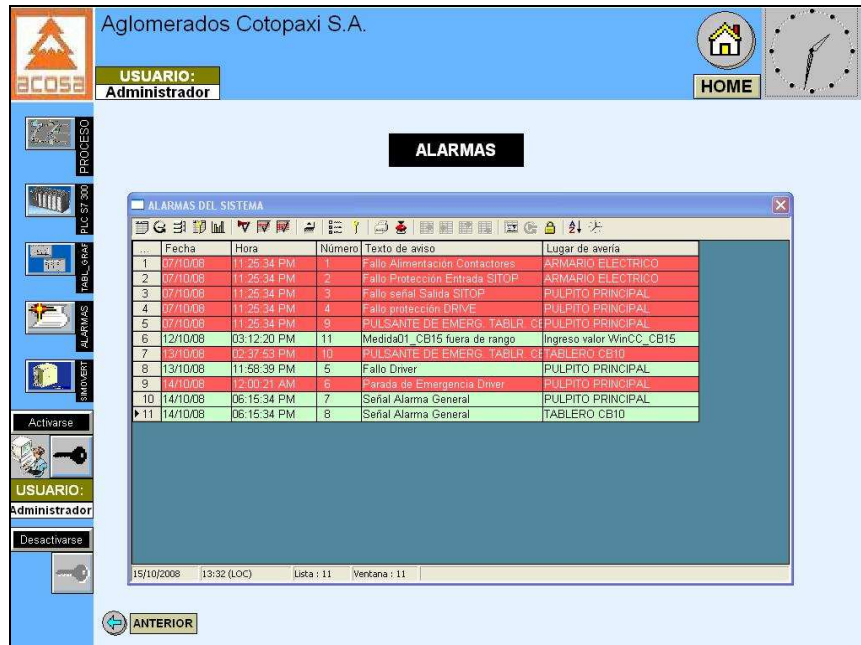


Figura 4.20 Vista pantalla de alarmas

### 4.3.2 DISEÑO DE IMÁGENES EN PROTOOL

Como se mencionó en el numeral 4.1.2, para el ingreso de las medidas de apertura de la sierra CB 10 se implementó un panel del operador OP7.

El ingreso de las medidas de apertura mediante ésta extensión se la realiza de manera similar que en la HMI del computador.

A continuación se hace una breve descripción de las imágenes creadas para el ingreso y visualización de datos desde el panel operador:

La imagen configurada como pantalla inicial nos permite acceder de forma inmediata a las imágenes para visualización y edición de medidas de apertura de la sierra CB 10, todo mediante los subíndices que se pueden apreciar en la figura 4.19.

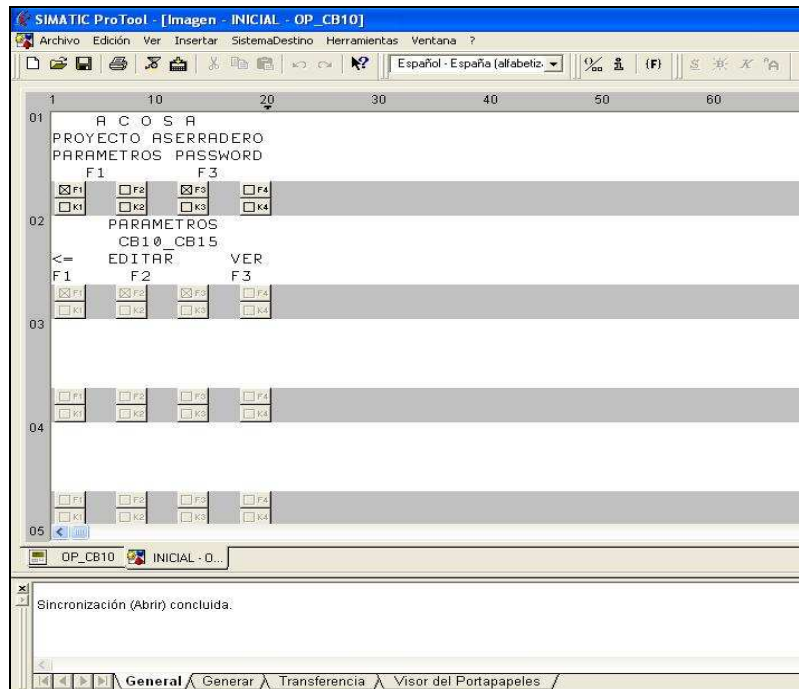


Figura 4.21 Imagen principal

Una vez seleccionado el subíndice “edición” se traslada hacia la pantalla que permite ingresar las medidas de apertura con las cuales se puede calibrar la sierra CB 10 en modo automático, si cualquiera de los valores ingresados excediera el rango de valor permitido el dato no será ingresado exitosamente.

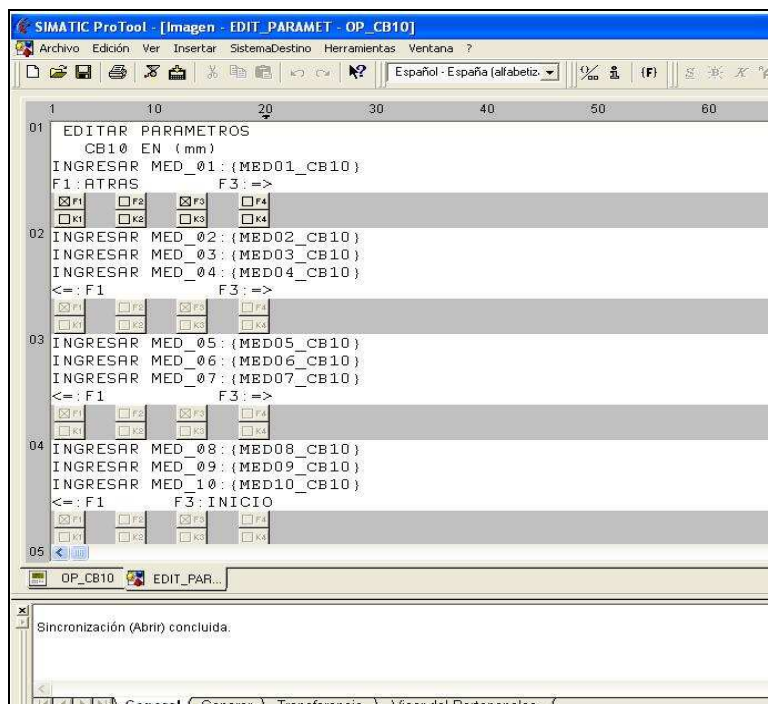


Figura 4.22 Imagen de edición de parámetros

Por otra parte el subíndice “ver” nos permite observar las medidas de apertura anteriormente ingresadas para la calibración de la máquina CB 10 y CB 15, también es posible visualizar la medida actual a la cual que se encuentran trabajando ambas máquinas.

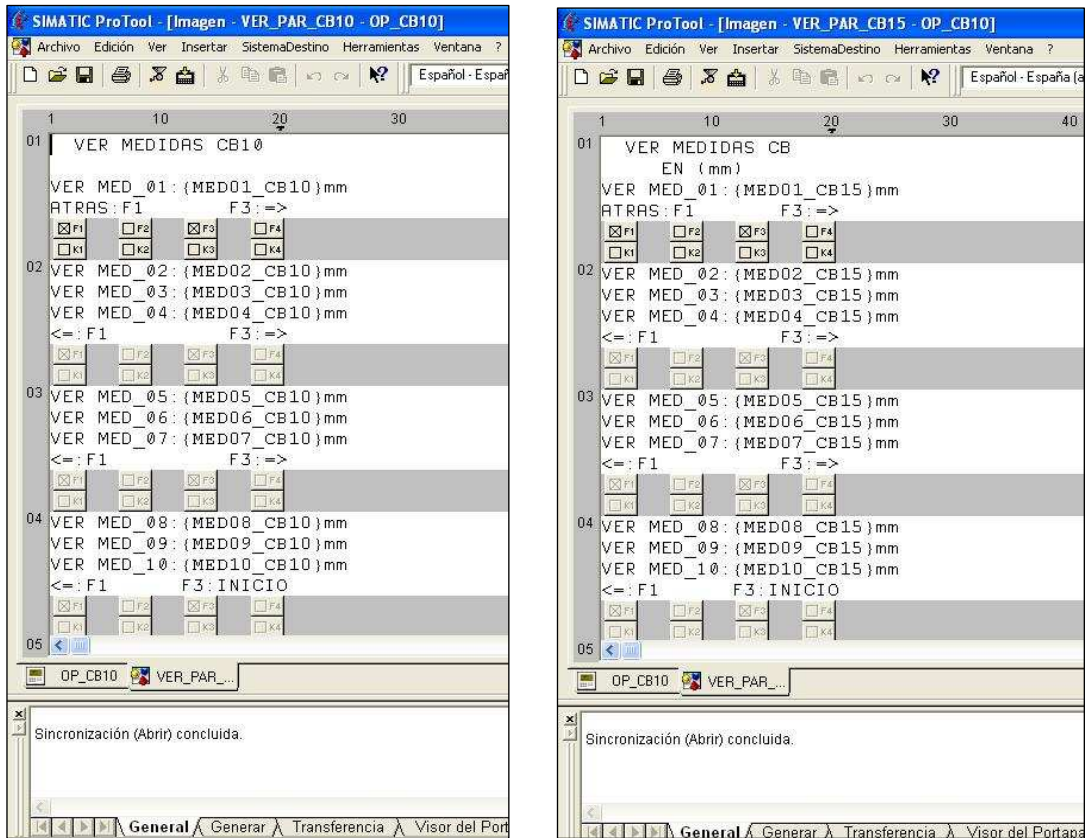



Figura 4.23 Imagen para visualización de parámetros

#### 4.4 OPERCIÓN DEL HMI

El HMI diseñado dispone de una pantalla principal desde la cual es posible acceder a las demás pantallas del sistema así como también a las restringidas por medio del icono que se describe a continuación.

Registrar: Existen pantallas selectas para el uso de determinados usuarios protegidas con contraseña, para acceder a las mismas al pulsar sobre el enlace aparecerá una ventana como la que se muestra en la Fig. 4.24 al dar un clic sobre

el icono  se visualizará la ventana de la Fig. 4.25 donde deberá registrarse

favorablemente y de esta manera se accederá a la aplicación caso contrario se desplegará la ventana de la Fig. 4.26 hasta que el usuario (Login) y la contraseña (Password) sean las correctas.

Login: Operador

Password: operador



Figura 4.24

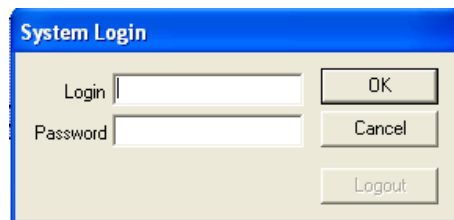


Figura 4.25



Figura 4.26

Las pantallas diseñadas disponen de botones de acceso inmediato que permiten una rápida navegación por toda la HMI.



# CAPÍTULO 5

## **MONTAJE E INSTALACIÓN**

En base a los requerimientos del proyecto se elaboraron dos listas con los equipos y elementos necesarios, una para adquisición local y otra para importación, las mismas que fueron enviadas al departamento de compras.

Los principales equipos importados fueron los siguientes:

Guarda motores, contactores, CPU 315 2DP y Micro Memory Card (PLC), módulos de entradas y salidas (S7 300), variador de velocidad (Simover Masterdriver), fuentes (AC/DC), panel del operador (OP7), conectores D9 para comunicación Profibus DP y MPI (SIEMENS), tarjeta para comunicación Profibus DP (PC), láser visualizadores (Z-Láser), fuentes Optoelektronik (Z-Láser), relés de interface (SIEMENS).... etc.

Los principales equipos de adquisición local fueron:

Tablero de mando, cables, motor reductor, pulsantes, luces de señalización, transformadores, conectores, tornillos, pernos, riel din, marquillas, borneras, canaleta PVC, terminales para cable, barra de cobre... etc.

Una vez llegados los equipos y elementos se realizó el montaje en base de los planos diseñados y aprobados por el departamento de mantenimiento.

Terminada la instalación se efectuaron las pruebas en el lugar de montaje y finalmente se trasladó el tablero al sitio de operación.

El circuito de alimentación para el tablero se lo instaló en el armario eléctrico existente en la parte inferior de la línea del aserradero, el cual alberga todos los elementos de seccionamiento y protección pertinentes Fig. 5.5.

## 5.1 MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS

### 5.1.1 MONTAJE DE LOS TABLEROS

El montaje de los elementos y equipos en el tablero de mando CB15, se lo hizo según la distribución que se ilustra en las Fig. 5.1 y Fig. 5.2.

Por otra parte los transformadores y elementos de seccionamiento para el circuito de alimentación fueron montados en el tablero eléctrico existente como se indica en la Fig. 5.5.

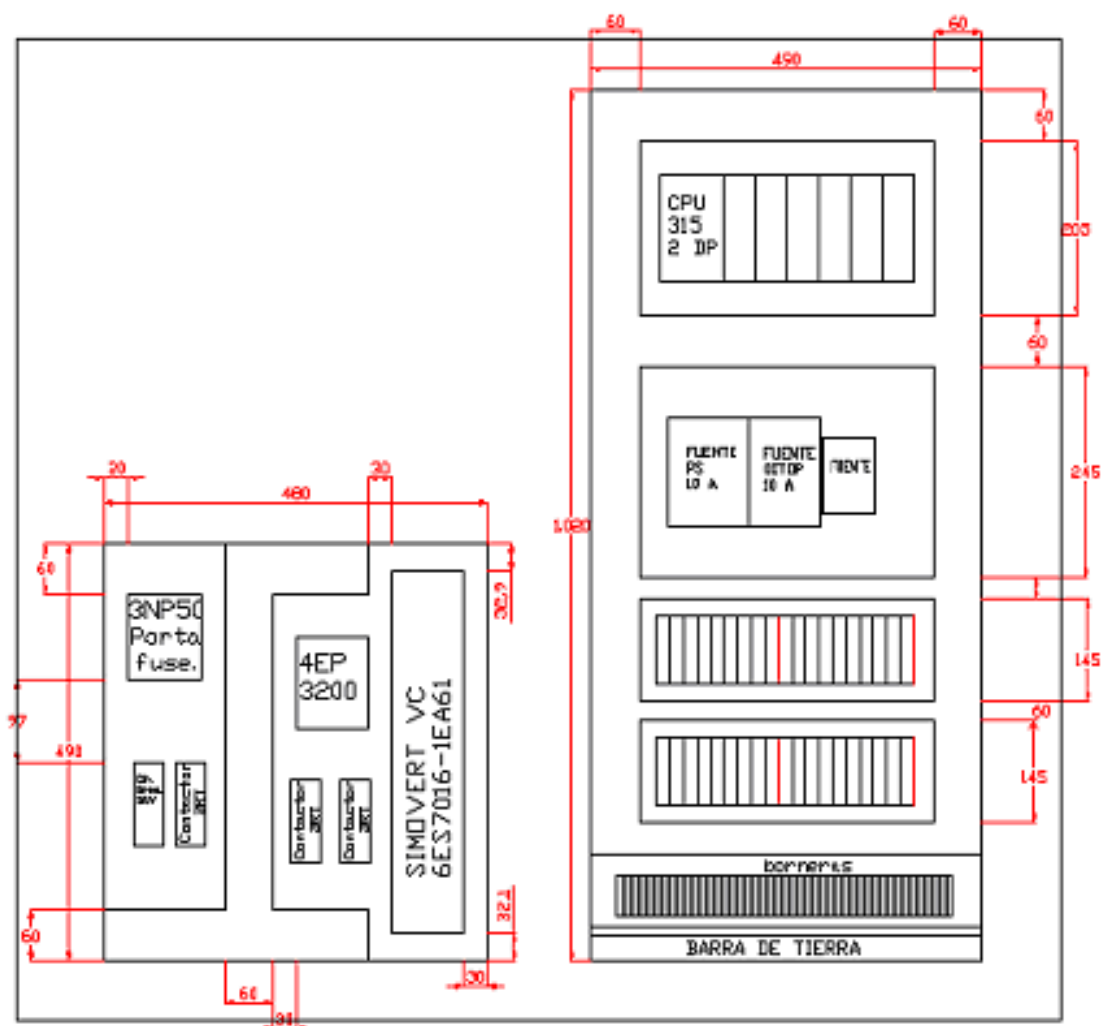


Figura 5.1 Diseño para ubicación de elementos – Interior del tablero de mando

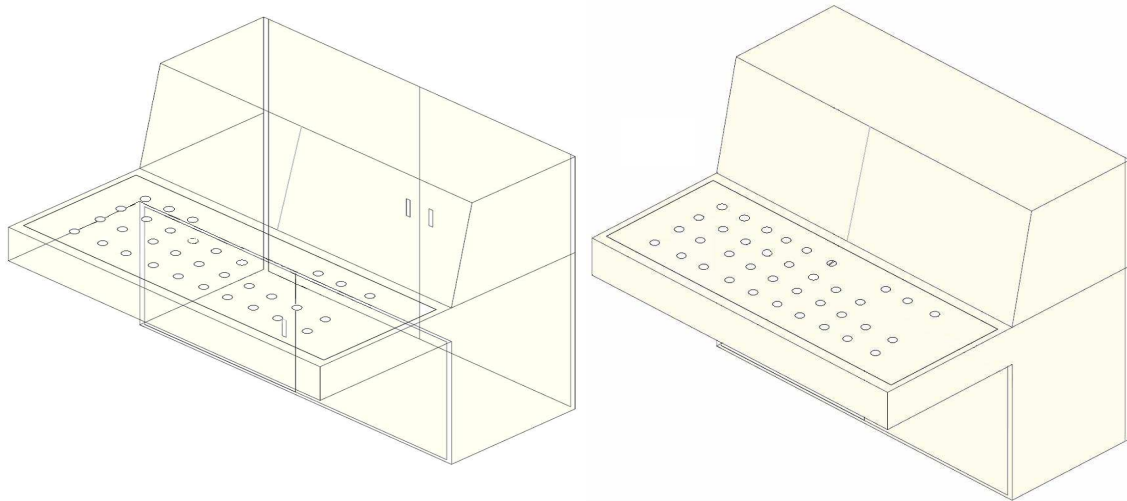


Figura 5.2 Diseño del tablero de mando principal

### Normas y recomendaciones consideradas para el montaje

En el instante del montaje de los elementos y equipos se tuvieron en cuenta algunas normas y recomendaciones dadas por fabricantes y las que se usan en ACSA para trabajos similares. Las más importantes se mencionan a continuación:

- Todo armario y tablero eléctrico debe ser conectado a tierra de manera correcta para dar protección tanto a operadores como a los equipos que albergue.
- Las conexiones para la aterrizada de los equipos ubicados en armarios y tableros se las realizó mediante un conductor con terminal cerrado (tipo ojo) y pernos cadmiados o acerados, los cuales fueron enroscados en la barra de cobre con el fin de obtener una mejor conexión, por ello es indispensable que la barra disponga de agujeros con rosca previamente diseñados.
- Para el transporte de las señales analógicas provenientes de los sensores es recomendable el uso de cable apantallado para evitar interferencia de campos eléctricos y electromagnéticos externos.

- En todo lo referente a uniones físicas de piezas en elementos conductores es recomendable verificar que exista un buen contacto entre éstas, ya que se podría obtener un mal funcionamiento del sistema tanto en la parte de control como de potencia.
- En el variador de velocidad los cables de datos y los de poder deben ser ubicados separadamente (para eliminar ruido por acoplamiento). Esta separación debe ser como mínimo 20 cm.
- La bobina de conmutación será instalada entre el contactor principal del variador y el SIMOVERT MASTERDRIVES por recomendación del fabricante.
- El variador de velocidad debe tener una distancia mínima de separación de 65mm con otros elementos para lograr una buena ventilación.
- Para la conexión de red Profibus es aconsejable que se use conectores y cable recomendados por el fabricante.
- Para la recepción de las señales de los encoder es recomendable usar cable apantallado, el mismo que será transportado por medio de una tubería metálica individual para evitar problemas de ruido externo.

#### Montaje del tablero de mando CB 15

Dentro de la ejecución del montaje del tablero de mando, primero se realizó los orificios para la ubicación de luces de señalización, pulsantes de marcha-paro y emergencia.

Seguidamente se procedió con la colocación de las canaletas y la barra de cobre para conexiones de tierra según los planos diseñados.

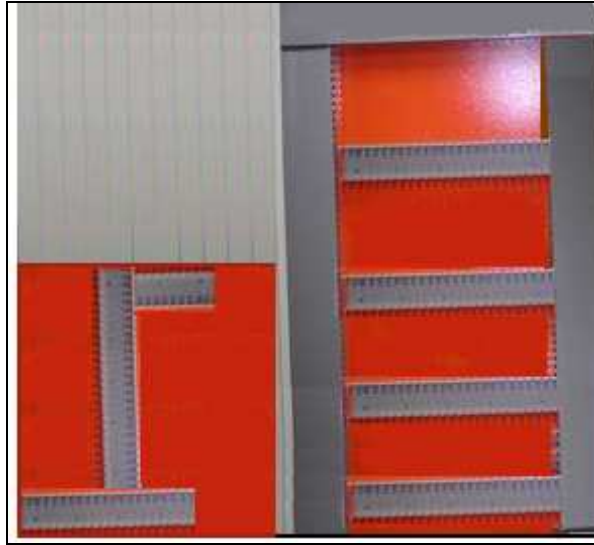


Figura 5.3 Colocación de canaletas

Luego para la ubicación de los elementos y equipos se colocó los dos tipos de rieles:

Riel marca SIEMENS específica para el PLC (CPU 315 2DP) y sus accesorios como: Módulos de entradas y salidas digitales, módulos de entradas y salidas analógicas, módulos especiales (FM 350-2) y fuente de alimentación PS 307 (AC/DC).

Riel DIN estándar colocada para el resto de elementos como: Relés de interface (SIEMENS), fuente AC/DC (SITOP), fuentes de AC/DC (Visualizadores), borneras de control y potencia, contactores, guarda motores...etc.

Una vez ubicados todos los equipos y elementos de control se procedió al cableado de los mismos, comenzando por los módulos de entradas y salidas digitales, así como el puenteo de los relés de interface y todo lo concerniente a alimentación de 220 VAC y 24 VDC.

También se realizó la conexión respectiva de los elementos de protección del variador de velocidad. Todo en base a los planos diseñados y siguiendo un estricto orden de numeración con marquillas para cables y borneras con el fin de realizar un trabajo detallado.



Figura 5.4 Colocación y conexión de elementos en el tablero de mando

Por otra parte, se conectó todos los elementos que conforman el circuito de alimentación del tablero de mando, éstos fueron ubicados dentro del armario eléctrico existente en la parte inferior del aserradero, estos elementos son: transformadores de 440 AV a 220 AC, guarda motores para seccionamiento a la entrada y salida de los transformadores y la protección principal de todo el circuito.

Estos elementos fueron montados sobre riel din, cableados mediante conductor calibre 10 AWG color negro y siguiendo el mismo orden de numeración antes mencionado Fig. 5.5.



Figura 5.5 Ubicación equipos para alimentación - Armario inferior existente

## Tablero de control CB 10

Una vez realizados los orificios, el panel operador y los elementos como; pulsantes y luces de señalización fueron colocados en el tablero de mando existente junto a la máquina CB 10, desde el cual también se efectúan operaciones de conexión y desconexión de sierras y bandas.

Luego se procedió al cableado de los pulsantes y las luces de señalización hacia las borneras, así como la conexión del panel en red MPI con el PLC.

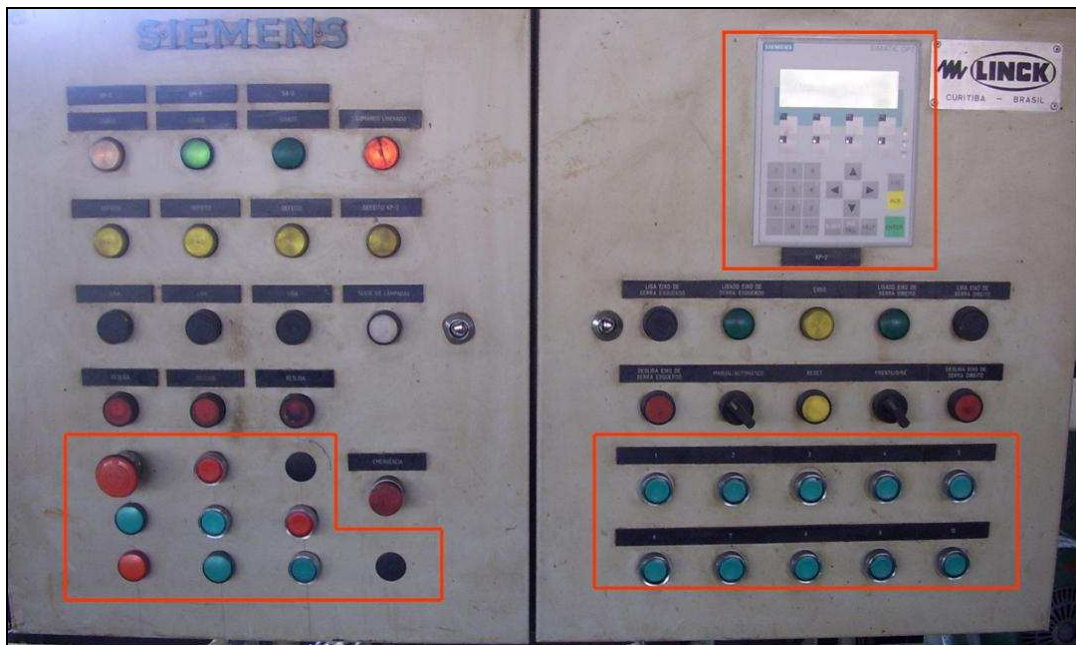


Figura 5.6 Elementos ubicados en el tablero CB 10

## Montaje de la guía óptica para el envío de secciones laterales y tablas

Una vez realizadas las adaptaciones mecánicas del sistema de apertura de la máquina CB10 y CB15, se procedió a la colocación respectiva de los láser visualizadores en la parte superior frontal de cada una de las máquinas, seguidamente se realizaron las calibraciones pertinentes con el fin de evitar problemas visuales al operario.





Figura 5.7 Guía visual de medida de corte máquina CB 15 y CB 10

### Montaje del sistema de medición de volumen sierras KBO 40 y CB 15

En cuanto al sistema de medición de volumen para la sierra KBO 40, primeramente se colocó el pistón neumático dentro de una protección metálica previamente diseñada a la entrada de la máquina, luego se instaló el sensor analógico para la toma de medidas de altura de las trozas entrantes.

Seguido se colocó en sensor digital láser para el cálculo del largo de las trozas para finalmente realizar el cableado correspondiente para estos equipos.



Figura 5.8 Montaje del sistema de medición de volumen KBO 40

Para el sistema de medición de volumen de las secciones laterales procesadas por la máquina CB 15 se colocó el sensor analógico para la toma de medida de altura y el sensor digital para el cálculo del largo de los pedazos laterales.

### 5.1.2 INSTALACIÓN DE LOS TABLEROS

El tiempo requerido para la instalación del nuevo tablero de mando CB 15 fue de 5 días, siendo necesario también asistir por cuatro fines de semana ya que la línea de aserradero no detuvo su producción durante las horas laborables.



Figura 5.9 Traslado del nuevo tablero de mando al sitio de funcionamiento

Una vez ubicado el tablero de mando en su sitio de trabajo permanente, se procedió a la conexión de las diferentes señales como: señales de encoder, señales de sensores analógicos, finales de carrera, sensores digitales, etc.

Todas las señales analógicas así como las señales de los encoder y la comunicación con el panel OP7 fueron conectadas al sistema mediante cable apantallado Unitronic Li2YCY PiMF de 2 x 2 x 0,5.

Luego se realizaron las conexiones para la alimentación de todos los equipos ubicados dentro del tablero de mando. Seguidamente se conectó el cable de 25 hilos que lleva las señales de pulsantes y luces de señalización desde el tablero CB 10 al PLC ubicado en el tablero CB 15.



Figura 5.10 Sistema de medición instalado sierra KBO 40



Figura 5.11 Tablero de mando instalado

## 5.2 COSTO ESTIMADO DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se presenta un resumen del costo de los elementos y equipos que fueron adquiridos para el desarrollo del proyecto, tanto en el mercado local como extranjero.

<b>COMPRAS</b>	
<b>• IMPORTACIÓN</b>	
Elementos de protección (guardamotores)	\$740
Contactores	\$100
Láser para visualización	\$1400
Láser para toma de medidas de altura	\$1200
Variador de velocidad	\$1800
Relés de interface SIEMENS	\$600
PLC (CPU, MMC, módulos E/S, Fuentes, riel, etc.)	\$5300
Equipos para la HMI (Tarjetas, conectores, cables, etc.)	\$1400
<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>\$12540</b>
<b>• LOCAL</b>	
Cable	\$300
Borneras y adicionales	\$340
Pulsantes y luces de señalización	\$420
Barra de cobre, riel, canaletas y pernos	\$150
Transformadores	\$500
Tablero de mando	\$1100
<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>\$2810</b>
<b>COSTO TOTAL (SUBTOTAL 1 + SUBTOTAL 2)</b>	<b>\$15350</b>

Tabla 5.1 Costos aproximados de los equipos y elementos usados en el proyecto

Debido al convenio existente entre ACOSA y la EPN el costo del proyecto es auspiciado totalmente por la empresa, a este valor se debería agregar los costos referentes a diseño y mano de obra, pero ya que existe una remuneración mensual y se cuenta con el apoyo de los trabajadores de la planta estos costos no fueron considerados.

# CAPÍTULO 6

## **PRUEBAS Y RESULTADOS**

Una vez terminado el montaje y realizada la instalación se hicieron pruebas para verificar el funcionamiento del nuevo sistema, tomando en cuenta que las condiciones de operación debían ser similares al sistema anterior.

### **6.1 PRUEBAS ANTES DE LA INSTALACIÓN**

Una vez terminado el montaje de los equipos en el tablero de mando revisaron las conexiones eléctricas y se simuló el funcionamiento del programa. En base a esto se obtuvo sugerencias por parte de los operadores y se realizó las correcciones necesarias antes de la puesta en marcha del sistema.

#### **6.1.1 PRUEBAS DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS**

Mediante un multímetro se verificaron las conexiones eléctricas de los equipos y elementos montados tanto en el tablero de mando como en el armario eléctrico existente. Terminado este proceso se prosiguió a la energizaron de los equipos y se verificó que el voltaje de alimentación principal sea el correcto (440 V AC); así como en la salida de los transformadores (220 V AC) y en la salida de las fuentes de corriente continua (24 V DC).

#### **6.1.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

Las pruebas de funcionamiento sin carga se hicieron con el objeto de comprobar las entradas y salidas provenientes del tablero de mando CB 10 y el funcionamiento del programa del PLC.

Para comprobar el funcionamiento del programa se usaron los pulsantes del tablero de mando CB 15 y se forzaron algunas entradas provenientes de distintos puntos. Así se probó el arranque de motores reductores para la apertura de sierras.

Para verificar el correcto funcionamiento de los sensores analógicos se los conectó y calibró de manera adecuada, así se pudo realizar mediciones de prueba y ver un correcto funcionamiento.

También, se conectó el computador para verificar la comunicación con el HMI; de esa forma se comprobó que la tarjeta instalada en el PC funcionaba perfectamente ya que se podía visualizar el estado de las entradas y salidas en el HMI.

## **6.2 PRUEBAS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN**

Una vez finalizada la instalación de todos los equipos y elementos en sus sitios de funcionamiento se realizaron las pruebas necesarias para la puesta en marcha.

### **6.2.1 PRUEBAS DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS**

Conectados los motores reductores y las señales entre el tablero de mando CB 10 y el tablero de mando CB 15, se verificó continuidad en las conexiones y se energizó el sistema.

También se verificó que el voltaje de alimentación de todos los sensores sea el adecuado, así como la señal proveniente de éstos. Además, se realizaron pruebas de desconexión de la fuente y re arranque del PLC.

### **6.2.2 PRUEBAS A LOS MOTORES**

Una vez que las conexiones eléctricas fueron comprobadas y era seguro que no se presenten cortocircuitos que dañen los equipos o componentes, se verificó si el sentido de giro de cada motor reductor era el adecuado para abrir o cerrar la apertura, todo esto se realizó en el modo de operación manual el cual permite activar cualquier motor reductor si enclavarlo. Al realizar el encendido de los motores reductores se calibró las corrientes de arranque para los guardamotores.



### **6.2.3 PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE VALORES DE ALTURA PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LAS TROZAS Y PEDAZOS LATERALES**

Una vez montados los sensores analógicos se verificó su correcta operación, comprobando que la lectura de la entrada analógica al PLC se encontraba dentro de los rangos admisibles para el conversor analógico digital.

Se elaboró una tabla de equivalencias entre las medidas de altura registrada manualmente con la ayuda de un flexo metro y los valores numéricos proporcionados por el conversor analógico digital (leyendo el valor en la entrada analógica del PLC, también conocido como valor de periferia), con el fin de obtener valores aproximados con un error aceptable y luego utilizarlos para el control y la visualización en la HMI.

### **6.2.4 PRUEBAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

La prueba del variador de velocidad, que controla a los dos motores reductores que mueven los tornillos sin fin para la apertura de los discos de corte, se la hizo primeramente sin carga y luego con carga.

Con carga se hizo arrancar primero el motor reductor de la máquina CB 15 que gira a una frecuencia de 20 Hz, en ese momento se comprobó que el funcionamiento del sistema mecánico sea el adecuado, es decir, que no se produjeran atascos y que el esfuerzo que realizara el motor no origine fallas ni excesivas corrientes debido a que se estaba trabajando a baja frecuencia. Luego se hizo el arranque del motor reductor de la sierra CB 10 que gira a una frecuencia de 40 Hz, y el cual también no presentó problema mecánico ni eléctrico.

Usando el encoder acoplado al eje del tornillo sin fin en cada una de las máquinas se realizó el cálculo de la distancia que abren los discos de corte, todo en base al paso del tornillo y el número de pulsos/vuelta emitidos por el encoder, para luego utilizarla para el control y la visualización en la HMI.

También se verificó la comunicación vía Profibus DP entre el PLC y el variador de velocidad.

#### **6.2.5 PRUEBAS DE LA CALIBRACIÓN DE APERTURA DE LAS SIERRAS CB 15 Y CB 10.**

Una vez puesto en marcha el sistema de calibración de apertura de la sierra CB 15, se realizaron varias calibraciones en modo manual y luego en modo automático, para cada medida calibrada se cortaron varios pedazos laterales para luego medirlos manualmente mediante un flexo metro y obtener así el dato real de corte efectuado sobre el pedazo lateral.

Proceso similar se hizo para la sierra CB 10 ya que ambos sistemas trabajan de igual forma.

#### **6.2.6 PRUEBAS DE LOS DATOS DE VOLUMEN CALCULADOS**

Una vez puesto en marcha el sistema de medición de volumen de trozas en la sierra principal KBO 40, se realizaron mediciones de volumen de varias muestras mediante el sistema de control y manualmente, para luego compararlas entre si y obtener el grado de precisión en cuanto al valor medido.

Este proceso se lo realizó también para la medición de volumen de los pedazos laterales en la sierra CB 15.

#### **6.2.7 PRUEBAS DE LA HMI**

Sabiendo que la comunicación entre la HMI del computador y el PLC ya había sido verificada antes de la instalación, se realizaron otras comprobaciones más:

- Se activó manualmente los guardamotors y se verificó que se registre el evento y se genere la alarma en la pantalla.

- Se comprobó que en el proceso de calibración de apertura se visualice el estado del motor reductor correspondiente.
- Se verificaron los valores como: medida de apertura, registro de medición de volumen y conteo de trozas mostrados en las respectivas pantallas.
- Se comprobó que se muestren las condiciones previas para el dar inicio al proceso de calibración a través de los motores reductores.
- Se verificó el ingreso de las medidas de apertura mediante la HMI para la sierra CB 15.
- En el panel del operador se verificó el ingreso de las medidas de apertura para la calibración de la sierra CB 10.

### **6.3 RESULTADOS**

Luego de realizadas todas las pruebas, el sistema entró en funcionamiento normal, y se halla operando desde mediados del mes de diciembre sin que se hayan reportado mayores novedades.

Los operadores se han familiarizado rápidamente con el nuevo tablero de mando y el manejo de la HMI, se ha reducido el tiempo que se demora en calibrar la apertura en un 40% y ahora es posible cambiar con frecuencia de medida, tarea que en el antiguo control no era posible realizar ya que tomaba demasiado tiempo y esto ocasionaba desperdicio de madera que era posible recuperar en otros tamaños.

Con el nuevo sistema, el jefe de área puede tener acceso al dato de volumen para calcular de mejor forma los diferentes indicadores con que se evalúa el desempeño de la línea de producción. Mediante el control de horas paro efectuado por el PLC se puede ubicar de mejor forma los motivos responsables de los paros de producción. Gracias a la HMI del computador se pueden tener un registro detallado de alarmas, lo cual facilita al personal de mantenimiento para la corrección de las fallas.

Además, a través de gráficas del HMI se puede ver el comportamiento de ciertas variables y obtener un análisis estadístico simple como se muestra a continuación:

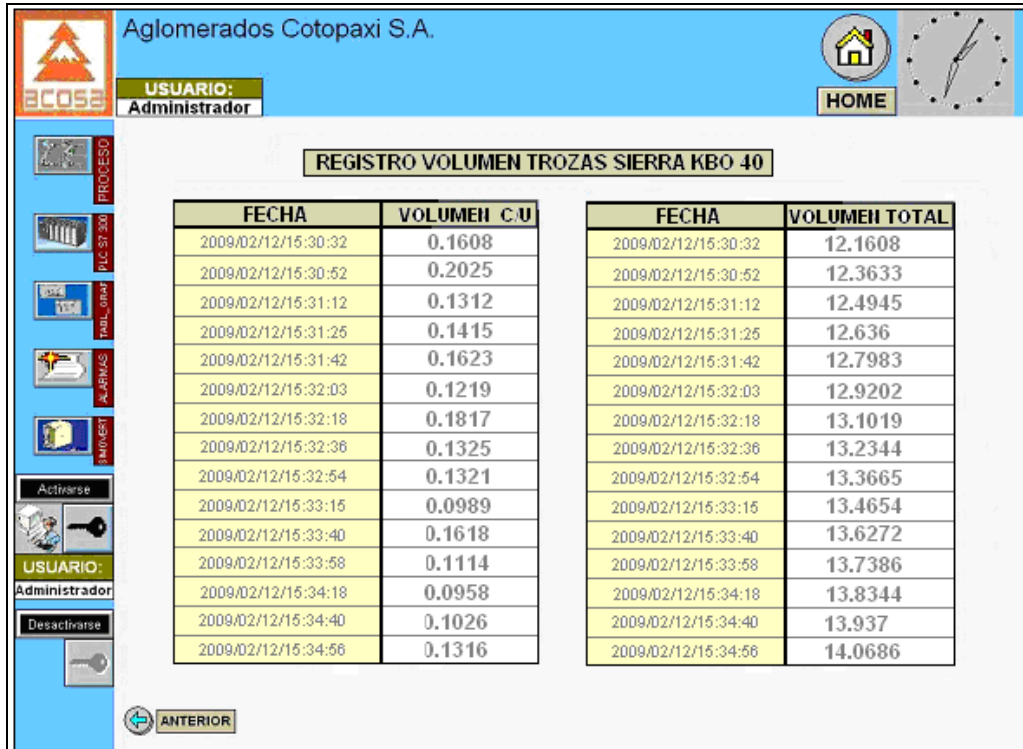


Figura 6.1 Registro de volumen de trozas sierra principal KBO 40

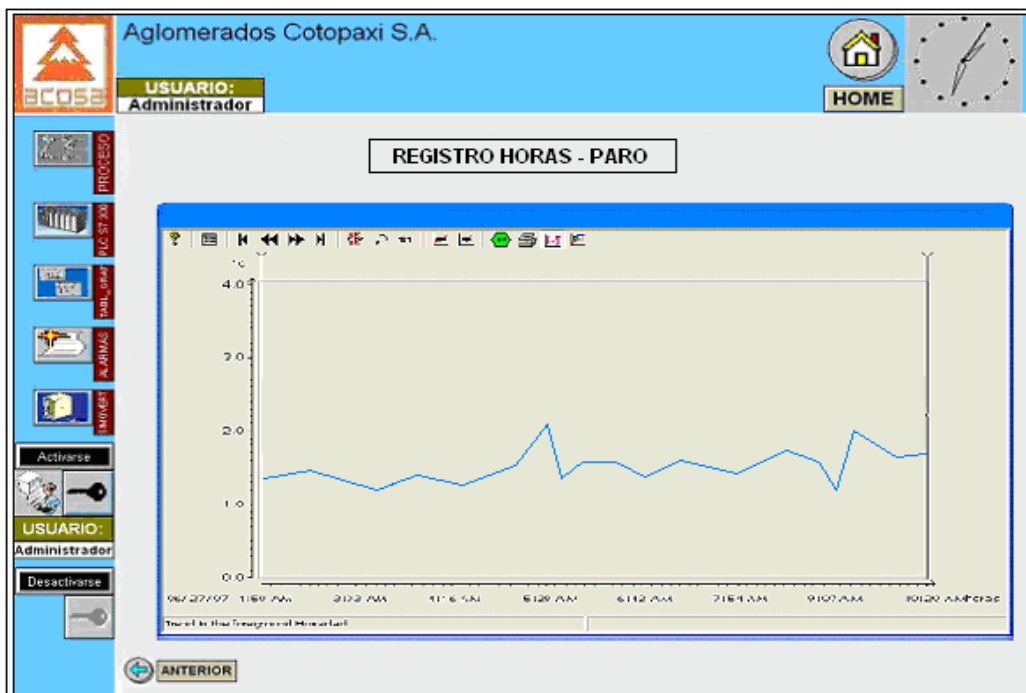


Figura 6.2 Curva de registro de volumen de trozas sierra principal KBO 40 - Horas paro

# CAPÍTULO 7

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7.1 CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta el sistema de control anterior utilizado para la calibración de apertura de las máquinas, se concluye que el nuevo sistema de control implementado permite una calibración más rápida y con mayor precisión como se lo planteo al inicio del proyecto.
- En la implementación del nuevo sistema se aplicaron los conocimientos adquiridos, especialmente los de control industrial.
- Se cumplió con los objetivos planteados al inicio del proyecto, es decir, se estudió el proceso de calibración de apertura de corte de las máquinas CB 15 y CB 10, se diseñó el circuito de fuerza y el sistema de control, y se implementó el nuevo equipo con éxito.
- El diseño de la HMI en el computador cumplió con los objetivos propuestos, pues los operadores se familiarizaron rápidamente con el nuevo sistema y se puede contar con datos de variables que antes no era posible obtener dentro del proceso.
- Debido a que la instalación del nuevo sistema se la hizo teniendo en cuenta normas de seguridad, se evitaron averías en los equipos y no hubo ningún accidente entre el personal que trabajó en: el montaje, las pruebas y la puesta en marcha.
- Es importante la realización de pruebas, tanto eléctricas como operativas, para corregir cualquier tipo de falla y lograr que la puesta en marcha normal sea la correcta y óptima.

- Durante el tiempo que ha operado el nuevo sistema se evidencia que la inversión en la modernización del sistema de control ha permitido mejorar el trabajo de los operadores, y ha generado importante información de algunas de las variables que son utilizadas para el cálculo de indicadores que evalúan la eficiencia del proceso.
- En el caso de la protección del variador de velocidad se usó fusibles ultrarrápidos ya que su constitución física es la de un semiconductor lo cual protegerá a los semiconductores del variador.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Previo al desarrollo de un proyecto de modernización de cualquier proceso industrial, es recomendable: conocer todos los detalles y requerimientos del mismo, considerar todas las señales analógicas y digitales que intervendrán en éste y familiarizarse con los diferentes equipos y software que harán posible modernizar y automatizar el proceso.
- Se recomienda instruir al personal encargado del mantenimiento, para que cumpla las recomendaciones del fabricante respecto al variador de velocidad que indica que después de una desconexión se debe esperar al menos cinco minutos antes de tomar contacto con el variador, para permitir la descarga de los campos eléctricos generados en su interior y evitar accidentes.
- Se recomienda implementar un sistema de cálculo del volumen de madera que se corta en las otras etapas del proceso, con el fin de conocer con más precisión el porcentaje de aprovechamiento de la madera en bruto. Para el efecto se podría utilizar el mismo PLC adquirido y únicamente deberían instalarse sensores similares a los utilizados en este trabajo.
- Se recomienda tanto a operadores como a supervisores realizar todas las acciones pertinentes y que se deben tomar en cuenta para una buena

operación del sistema, principalmente en lo que concierne a la calibración de apertura de las máquinas.

- Se recomienda utilizar los datos de volumen obtenidos para el cálculo de los diferentes indicadores y realizar un análisis estadístico de la madera procesada por la línea de producción.
- Se recomienda instalar luminarias tanto en el armario como en el púlpito principal, todo con el fin de obtener una buena visibilidad para las diferentes tareas de mantenimiento.
- Se recomienda colocar tanto en el armario como en el púlpito principal los planos eléctricos respectivos, con el fin de agilizar las rutinas de mantenimiento ejecutadas por el personal de mantenimiento eléctrico tanto en la parte de fuerza como de control.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- SIEMENS; Low- Voltage Controls and Distribution Catalog; LV 10. Siemens AG Automation and Drives; Germany; 2005
- SIEMENS; SIMATIC HMI Manual WinCC V5
- SIEMENS; SIMATIC WinCC V6.0 SP3; Edición 01; Editor A&D AS; 2005.
- SIEMENS; SIMATIC HMI Configurar displays de líneas; Descripción abreviada; Edición 12; Siemens AG.
- SIEMENS; WinCC Getting Started Versión en español; Edición 04; 2000.
- SIEMENS; Manual autómatas programables S7-300, configuración, instalación y datos de las CPU.
- SIEMENS; SIMATIC Sistema de automatización S7-300, datos de los módulos; Edición 02; Siemens AG; 2004.
- MANUAL Simovert DA65.10
- SIEMENS; OP7 – OP17 Manual del equipo; Ed.04/99.
- LÁSER VISUALIZADOR [info@z-laser.de](mailto:info@z-laser.de), [www.z-laser.com](http://www.z-laser.com)
- MOLINA, Jorge; Control Industrial; EPN; Quito.
- RIVERA, Pablo; Control de máquinas eléctricas; EPN; Quito.

## **INTERNET**

- AGLOMERADOS COTOPAXI S.A.  
<http://www.cotopaxi.com.ec>
  
- SIEMENS LATINOAMÉRICA  
<http://www.siemens.com.co>
  
- AUTOMATION & DRIVES  
<https://mall.automation.siemens.com>
  
- SOPORTE SIEMENS  
<https://support.automation.siemens.com>