

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **MODERNIZACIÓN DEL PROCESO PARA LA DOSIFICACIÓN DE RESINA EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DE AGLOMERADO DE ACOSA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**BYRON CHILLAN QUISHPE  
EDISON ROLANDO JAGUACO CÁNCHEG**

**DIRECTOR: ING. PABLO ANGULO**

**QUITO, AGOSTO 2006**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Byron Chillán Quishpe y Edison Rolando Jaguaco Cánchig, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros 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.

---

Byron Chillán Quishpe

---

Edison Rolando Jaguaco Cánchig

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el siguiente trabajo fue desarrollado por Byron Chillán Quishpe y Edison Rolando Jaguaco Cánchig, bajo mi supervisión.

---

Ing. Pablo Angulo  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## CONTENIDO

	Pág.
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>iv</b>
RESUMEN.....	viii
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>x</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AGLOMERADO.....	2
1.1 GENERALIDADES.....	2
1.1.1 ¿Qué es el aglomerado? .....	2
1.1.2 Tipos de aglomerado que produce ACOSA .....	2
1.2 PROCESO DE ELABORACION DE AGLOMERADO.....	3
1.2.1 Acopio de materia prima .....	4
1.2.2 Viruteado y astillado .....	5
1.2.3 Secado .....	6
1.2.4 Separación de viruta o tamizado.....	7
1.2.5 Dosificación de resina.....	7
1.2.6 Formadora.....	8
1.2.7 Prensado .....	9
1.2.8 Enfriamiento y escuadrado .....	9
1.2.9 Lijado.....	10
1.2.10 Almacenamiento y distribucion .....	11
1.3 COMPONENTES DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE RESINA.....	11
<b>CAPITULO 2</b>	
DESCRIPCIÓN DEL CONTROL PARA EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE RESINA.....	16
2.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL.....	17
2.1.1 Antiguo circuito de fuerza .....	17
2.1.2 Antiguo sistema de control.....	22
2.2 NUEVO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL.....	28
2.2.1 Nuevo circuito de fuerza .....	30
2.2.2 Nuevo sistema de control .....	33

**CAPITULO 3**

DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL.....	41
3.1 INTRODUCCIÓN.....	41
3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	43
3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA.....	44
3.3.1 Circuito de fuerza para los tornillos sin fin y selección de componetes .....	46
3.3.2 Circuito de fuerza para las bombas y selección de componetes .....	53
3.3.3 Alimentación principal .....	63
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PLC.....	67
3.4.1 Selección del PLC .....	68
3.4.1.1 Cantidad y tipo de módulos de entradas/salidas .....	69
3.4.1.2 Fuentes de alimentación para las entradas y salidas del PLC .....	72
3.4.1.3 Memoria.....	72
3.4.1.4 Tipo de CPU .....	73
3.4.1.5 Elementos de conexión física .....	74
3.4.2 Diseño del programa .....	75
3.4.2.1 Software utilizado .....	75
3.4.2.2 Programa de usuario .....	80
3.5 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA CUENTA LITROS.....	85

**CAPITULO 4**

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SUPERVISOR.....	91
4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA VISUALIZACIÓN DEL PROCESO.....	91
4.1.1 Necesidades del usuario.....	91
4.1.2 Componentes para la presentación de las HMI .....	93
4.1.3 Conexión en red para el entorno de WinCC.....	95
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PARA LAS HMI 98	
4.2.1 El Windows Control Center (WinCC) .....	98
4.2.2 Protool.....	104
4.3 DISEÑO DE LAS HMI       108	
4.3.1 Diseño de la HMI a través de WinCC.....	109
4.3.2 Diseño de imágenes a través del panel operador OP7 .....	118

**CAPITULO 5**

EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	122
-----------------------------	-----

5.1	ADQUISICIÓN DE EQUIPOS.....	122
5.1.1	Cotización.....	122
5.1.2	Adquisición.....	125
5.1.3	Costos.....	126
5.2	MONTAJE E INSTALACIÓN.....	127
5.2.1	Montaje.....	127
5.2.2	Instalación.....	130
 <b>CAPITULO 6</b>		
	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	137
6.1	PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	137
6.2	PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO PLC Y HMI.....	138
6.3	PRUEBAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD.....	139
6.4	PRUEBAS AL SISTEMA CUENTA LITROS.....	140
6.5	PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DE LOS TORNILLOS SIN FIN.....	142
6.6	PRUEBAS FINALES.....	142
 <b>CAPITULO 7</b>		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
7.1	CONCLUSIONES.....	147
7.2	RECOMENDACIONES.....	148
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>150</b>
	 <b>ÍNDICE FIGURAS Y TABLAS.....</b>	 <b>153</b>
 <b>ANEXO A</b>		
	INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN.....	A-1
 <b>ANEXO B</b>		
	AJUSTE EN LOS CONTROLES PI.....	B-1
 <b>ANEXO C</b>		
	CONFIGURACIÓN VARIADORES DE VELOCIDAD.....	C-1
 <b>ANEXO D</b>		
	DATOS TÉCNICOS PLC S7-300.....	D-1

**ANEXO E**

INSTALACIÓN, PUESTA EN SERVICIO Y DATOS TÉCNICOS DEL PANEL OPERADOR  
OP7.....E-1

**ANEXO F**

DATOS TÉCNICOS VARIADORES DE VELOCIDAD.....F-1

**ANEXO G**

MEDICIÓN CAUDAL DE RESINA.....G-1

**ANEXO H**

PLANOS ELÉCTRICOS PROYECTO.....H-1

## RESUMEN

En la actualidad la mayoría de las industrias buscan modernizar sus procesos de producción, para obtener mayor competitividad de sus productos frente a productos afines de otras industrias, logrando con esto mantenerse en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, Aglomerados Cotopaxi S.A. (ACOSA) ha encaminado sus esfuerzos a la modernización de sus procesos de producción en la línea de fabricación de tableros de aglomerado.

El objetivo de este proyecto es modernizar el proceso de dosificación de resina y astillas de madera en la fabricación de tableros de aglomerado de ACOSA, para lograr esto se ha implementado un nuevo sistema de fuerza y control del proceso.

En el proceso de dosificación de resina se controla la adición de resina a las astillas de madera, dependiendo de la proporcionalidad entre la astillas de madera y la resina se forman tableros de diferentes características, esto se logra, controlando la velocidad de dos motores acoplados a tornillos sin fin que regulan la cantidad de material (astilla de madera) que se envía a la encoladora, dependiendo de la cantidad de material regulada y una proporción seteada se controla la velocidad a dos motores acoplados a bombas que regulan el caudal de resina que se inyecta en la encoladora. Las dos regulaciones (material y resina) eran controladas por dos equipos electrónicos denominados T/CX 10.

En este proyecto se sustituyeron los variadores de velocidad que alimentaban a los motores de los tornillos sin fin por nuevos variadores con sus respectivos elementos de protección y para la regulación del caudal de resina se añadió un nuevo sistema cuenta litros con bombas movidas por motores de AC alimentados por variadores de velocidad, el nuevo sistema cuenta litros funciona en forma alterna al antiguo. Todo esto controlado mediante un PLC S7-300.

Mediante un selector se puede elegir que el nuevo sistema funcione con los dos siguientes modos:

Modo uno: La dosificación de resina se la realiza con el nuevo sistema cuenta litros controlado por el PLC y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos controlados por PLC.

Modo dos: La dosificación de resina se la realiza con el antiguo sistema cuenta litros controlado por los T/CX 10 y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos también controlados por el PLC.

Se ha dotado de una útil y amigable interface hombre maquina (HMI) desarrollada en el software WINCC de Siemens y un panel operador, mediante los cuales se puede ingresar y visualizar los parámetros más importantes del proceso de dosificación de resina. La HMI en WINCC almacena históricos de consumo y alarmas del sistema.

Se ha configurado una pequeña red profibus para el enlace de la HMI ubicada el cuarto de control y el PLC que controla el proceso ubicado en el nuevo armario eléctrico.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo describe todo lo referente a la modernización del proceso de dosificación de resina.

En el capítulo 1 se realiza una descripción general de las etapas que intervienen en el proceso de elaboración del aglomerado; luego se centra en la parte de dosificación de resina dando una breve descripción de los componentes que intervienen en este proceso.

En el capítulo 2 se realiza una descripción más detallada del proceso de dosificación de resina, se realiza una descripción técnica de los componentes del circuito de fuerza y sistema de control del proceso, además se explica el funcionamiento del sistema de control. Lo anterior es tanto del antiguo sistema como del nuevo sistema de control.

En el capítulo 3 se describe el diseño y selección de componentes del circuito de fuerza, sistema de control implementado a través del PLC y nuevo sistema cuenta litros. Se da a conocer el software utilizado para el diseño y creación del programa de usuario del PLC, también se explican las tareas que debe realizar el PLC para controlar el proceso de dosificación.

En el capítulo 4 trata sobre el sistema de monitoreo y control supervisor, para lo cual se describe los requerimientos para la visualización del proceso, los software utilizados y el diseño de las HMI.

En el capítulo 5 se refiere la ejecución del proyecto, en la que interviene principalmente la adquisición de los equipos, montaje e la instalación del sistema cuenta litros, armario nuevo, panel de mando y las HMI, en su sitio de funcionamiento.

En el capítulo 6 se presentan las pruebas realizadas y el análisis respectivo de los resultados. En el capítulo 7 finalmente se tienen las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

# **CAPITULO 1**

# DESCRIPCION DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AGLOMERADO

## 1.1 GENERALIDADES

Antes de describir las diferentes etapas que intervienen en el proceso de elaboración del aglomerado, se debe conocer el significado y los tipos de aglomerado principales que se produce en Aglomerados Cotopaxi S.A. (ACOSA).

### 1.1.1 ¿QUÉ ES EL AGLOMERADO?

Es un tablero formado por tres capas de partículas o astillas de madera seleccionada y aglomerada por tamaños mediante la adición de resina<sup>17</sup> junto con la aplicación de procesos de alta presión y temperatura. Adicionalmente estos tableros pueden ser enchapados con chapas de madera decorativa, melaminas y papeles decorativos.

El adhesivo utilizado en su fabricación es a base de una resina de urea formaldehído. El tablero aglomerado cumple las debidas especificaciones o normas internacionales.

### 1.1.2 TIPOS DE AGLOMERADO QUE PRODUCE ACOSA

*Aglomerado normal*

COTOPAXI AGLOMERADO	Acoplac	Aglomerado crudo o sin recubrimiento.
COTOPAXI FOIL	Pacoplac	Aglomerado recubierto con papel decorativo.

---

<sup>17</sup> Resina: Adhesivo sintético para uso en madera.

COTOPAXI MELAMINA	Duraplac	Aglomerado recubierto con papeles melamínicos.
COTOPAXI ENCHAPADO	Madeplac	Aglomerado recubierto con chapas de madera.

**Tabla 1.1 Tipos de aglomerado normal.**

### *Aglomerado tipo RH*

Es un tablero resistente a la humedad formado por tres capas de partículas o astillas de madera seleccionada y aglomerada por tamaños mediante la adición de resina junto con la aplicación de procesos de alta presión y temperatura. El adhesivo utilizado para su fabricación es una resina melamínica urea formol MUF, la cual le otorga una alta resistencia a la humedad.

Bajo estas especificaciones se fabrican los siguientes tipos de tableros:

COTOPAXI AGLOMERADO RH	Acoplac RH	Aglomerado RH crudo o sin recubrimiento, resistente a la humedad.
COTOPAXI MELAMINA RH	Duraplac RH	Aglomerado RH recubierto con papeles melamínicos, resistente a la humedad.

**Tabla 1.2 Tipos de aglomerado RH.**

## **1.2 PROCESO DE ELABORACION DE AGLOMERADO**

En el siguiente apartado se va a realizar una descripción general del proceso de elaboración del aglomerado, de acuerdo a las etapas que se indican en la figura 1.1:

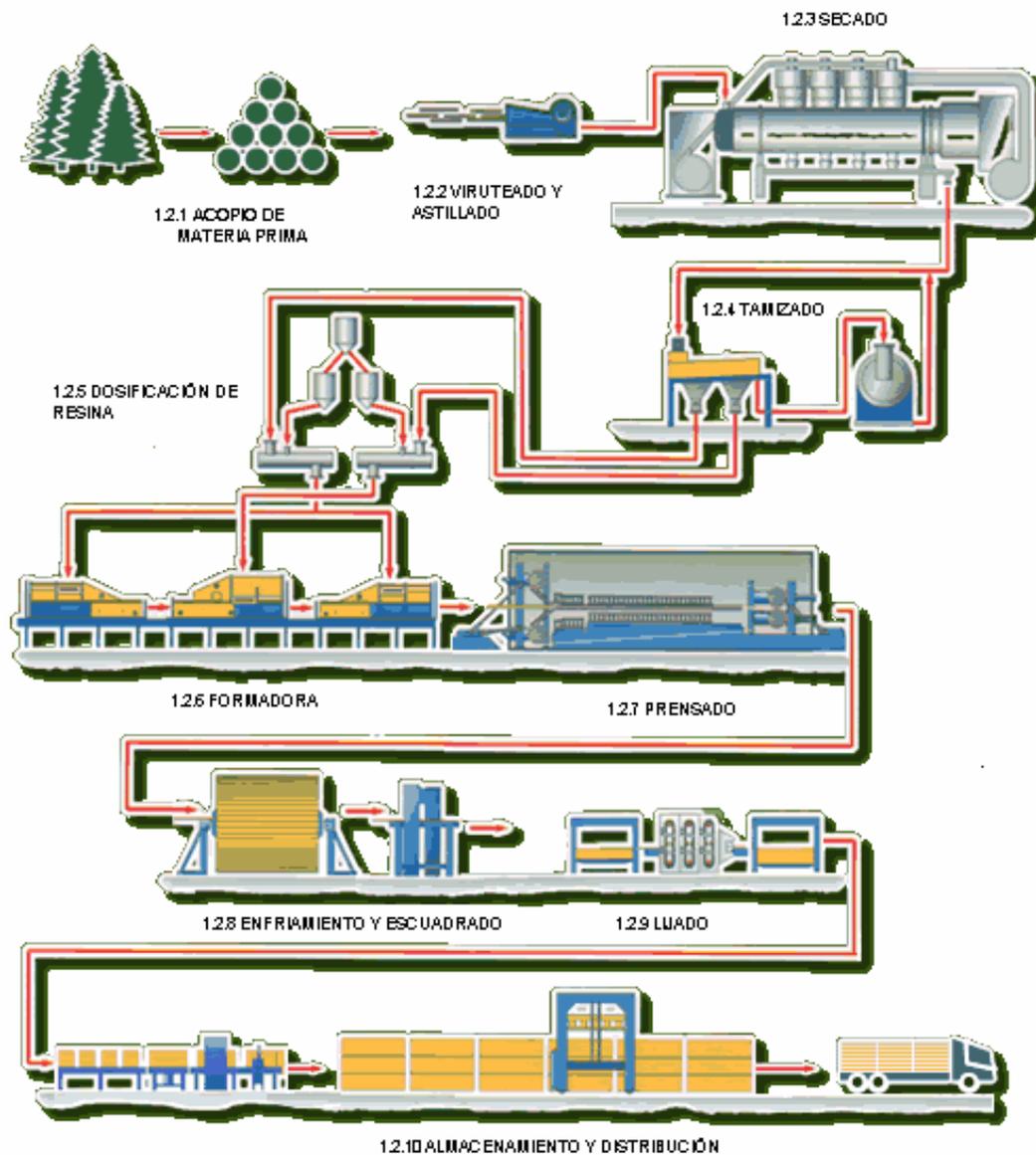


Figura 1.1 Proceso de elaboración de los tableros de aglomerado.

### 1.2.1 ACOPIO DE MATERIA PRIMA

El proceso comienza con la recepción de la madera de pino y de eucalipto proveniente de las plantaciones de ACOSA o de terceros. Previendo que estos reúnan los requisitos necesarios en cuanto a diámetro, longitud y edad según la especie, con el fin de obtener las trozas necesarias para su transformación.



**Figura 1.2 Recepción de la materia prima.**

### **1.2.2 VIRUTEADO Y ASTILLADO**

La madera destinada para el proceso de aglomerado es llevada al molino viruteador y las astillas provenientes del desperdicio del aserradero son procesadas en el viruteador de astillas. Las virutas obtenidas son almacenadas en los silos<sup>18</sup> respectivos. También se almacena el aserrín proveniente del proceso del aserradero que tiene ya su propia característica. De estos silos de almacenamiento, mediante sendos tornillos sin fin, son extraídas las virutas y el aserrín para ser llevadas por medio de bandas transportadoras hacia el tambor de secado.



---

<sup>18</sup> Silo: Sitio de almacenamiento de partículas en proceso.

**Figura 1.3 Molino viruteador para las trozas de madera.**



**Figura 1.4 Banda transportadora que lleva las virutas de madera hacia el tambor de secado.**

### **1.2.3 SECADO**

En esta etapa se realiza una operación física mediante la cual se elimina la humedad de la madera. En la secadora las partículas entran en contacto con gases calientes procedentes de una combustión, mediante la cual salen con un 1 a 2% de humedad en base seca. A continuación entran a un proceso de tamizado o cribado.



**Figura 1.5 Secadero donde se elimina la humedad de la madera**

#### 1.2.4 SEPARACIÓN DE VIRUTA O TAMIZADO

Consiste en la separación de la viruta por su forma o peso por medio de tamizadores o por circulación de aire a alta velocidad, respectivamente. Por tanto, una parte va hacia el almacenamiento en un silo de partículas finas secas y otra parte va al proceso de clasificado por aire en el Sifter, donde las partículas más livianas son enviadas al silo de partículas finas secas mediante ventiladores neumáticos de transporte y las partículas pesadas y de mayor tamaño van al molino de doble corriente, para ser enviadas por medio de ventiladores centrífugos a su almacenamiento en el silo de partículas gruesas secas.



Figura 1.6 Tamiz vibratorio que sirve para clasificar el material.

#### 1.2.5 DOSIFICACIÓN DE RESINA

En la parte denominada encolado se realiza la preparación y adición de una mezcla de componentes: resina, agua, catalizador<sup>19</sup>, parafina<sup>20</sup> en proporciones previamente establecidas y controladas automáticamente. Las partículas finas (parte inferior y superior del tablero) y las partículas gruesas (parte media del

---

<sup>19</sup> Catalizador: Sustancia química que acelera la reacción de polimerización de la resina (endurecimiento).

<sup>20</sup> Parafina: Hidrocarburo utilizado para proteger al tablero de aglomerado de la humedad ambiental.

tablero) son extraídas de los silos mediante tornillos sin fin de velocidad variable hacia las balanzas para su pesaje y luego a las encoladoras en donde se mezclan las partículas de madera con la mezcla preparada en la parte del encolado.

El material mezclado se junta en una banda transportadora que los lleva hacia la formadora.



**Figura 1.7 Encoladora** donde se mezcla el material y la mezcla preparada en el encolado.

### **1.2.6 FORMADORA**

Maquina esparcidora que permite la disposición de las partículas encoladas en función de su granulometría<sup>21</sup> y peso sobre una banda textil. En la formadora el material es depositado uniformemente sobre una banda dosificadora en la parte superior de la misma, para luego ser dosificado por un cilindro de púas hacia las bandas de formación ubicadas en la parte inferior. El material se deposita por la acción de ventiladores que arrastran y depositan a las partículas sobre las bandas de formación, construyendo así los colchones de partículas<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> Granulometría: Medida de control del tamaño, largo, ancho y espesor de las partículas de madera.

<sup>22</sup> Colchón de partículas: Manto ordenado de partículas de madera que por acción aerodinámica en la formadora se depositan sobre una banda de transporte.



**Figura 1.8 Máquina formadora.**

### **1.2.7 PRENSADO**

Los colchones son luego transportados hacia la prensa<sup>23</sup> en donde se someterá a tiempos, presiones y temperatura controlados para fraguar la resina.



**Figura 1.9 Prensa hidráulica.**

---

<sup>23</sup> Prensa: Equipo hidráulico de gran capacidad que sirve para dar espesor y la presión adecuada al colchón y por acción de la temperatura sirve para el curado de la resina.

### 1.2.8 ENFRIAMIENTO Y ESCUADRADO

El tablero, luego del prensado, pasa por unos sensores medidores de espesor y sale a la balanza donde se verifica el peso en bruto, valores que son retroalimentados, para así realizar el control completo de la producción. Luego el tablero va a hacia un volteador cuya finalidad es enfriar el tablero antes del corte con las sierras de formateo<sup>24</sup> y expeler los vapores de formol. Los tableros son recortados en sierras múltiples con el fin de garantizar el escuadrado de los mismos.



Figura 1.10 Volteador para el enfriamiento de los tableros.

### 1.2.9 LIJADO

El tablero pasa a un tiempo de reposo y estabilización, para luego de ser calibrado y lijado dándole así al producto su terminado final.

---

<sup>24</sup> Formateo: Corte del tablero mediante sierras a las medidas de largo y ancho preestablecido como paso final del proceso de prensado.



**Figura 1.11 Línea de lijado.**

### **1.2.10 ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION**

Los tableros lijados son llevados a un clasificado manual, donde son inspeccionados uno a uno. El tablero clasificado como bueno es almacenado como producto terminado crudo o va a la línea de enchape o recubrimiento, donde se le recubre con papeles o chapas de madera decorativas. Finalmente es embalado, correcta y técnicamente para su almacenamiento y/o transporte a su destino final.

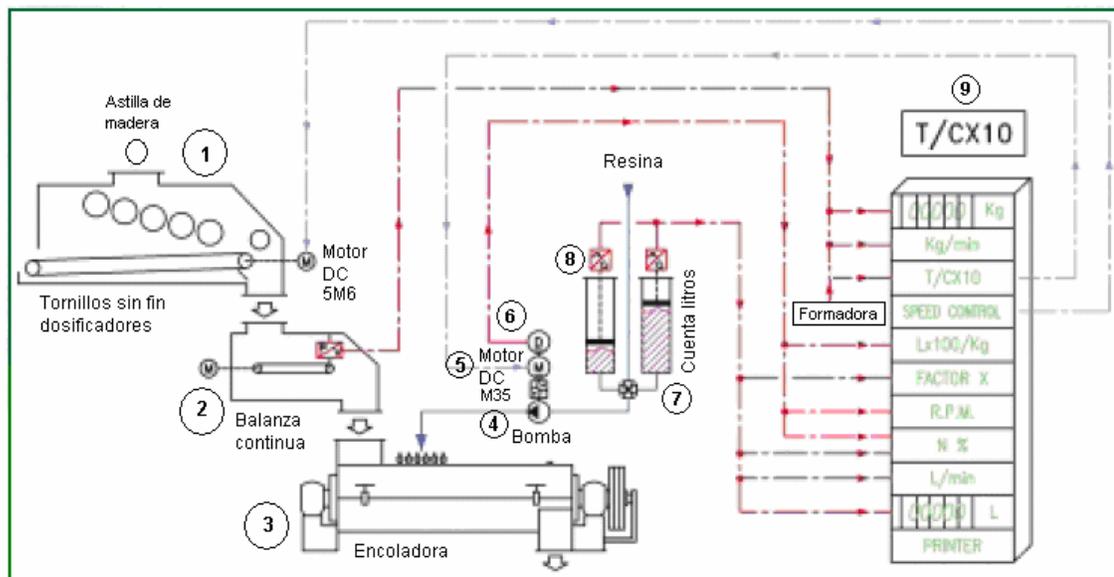
Todos los procesos que involucran la fabricación de aglomerados son cuidadosamente controlados con el fin de poder brindar un producto de excelente calidad.

### **1.3 COMPONENTES DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE RESINA**

Luego de haber realizado una descripción general de proceso, vamos a centrarnos en la parte que se denomina el proceso de dosificación de resina y material, de acuerdo al apartado 1.2.5.

Según lo mencionado en la etapa de tamizado las partículas son clasificadas y luego depositadas en los silos de almacenamiento de material. Las partículas finas y las partículas gruesas son extraídas de los silos mediante tornillos sin fin de velocidad variable hacia las balanzas de cinta para su pesaje y luego son depositadas en las encoladoras donde se mezcla el material fino y grueso con la mezcla de resina.

Esta parte que interviene en el proceso necesita ser controlada para mantener una relación constante. Es decir, variando la proporción entre el material y la resina se obtienen diversas características del tablero.



**Figura 1.12 Componentes del proceso de dosificación de resina.**

Se describe a continuación los siguientes componentes de acuerdo a la figura 1.12:

### 1. Alimentador a la balanza

Dosificador volumétrico constituido por tornillos sin fin con velocidad variable. Para ello se tiene un variador de velocidad con un motor de corriente continua (5M6, 6M6) acoplado a un reductor de velocidad y este a los tornillos sin fin.

### *2. Sistema de pesado en continuo*

Formado por la balanza para el pesado de material. Con cinta transportadora y sistema de ajuste a cero de la tara, que anula el peso total de la cinta transportadora; por lo tanto, ésta mide directamente el peso P del material presente en la cinta. Se tiene también un amplificador electrónico digital para enviar la señal de peso al T/CX 10. Las características esenciales de esta balanza, son que la velocidad y la longitud útil de la cinta transportadora sean constantes, con el fin de obtener un multiplicador constante del peso P.

### *3. Encoladora*

Cilindro hueco dispuesto horizontalmente, en cuyo interior se mezclan las partículas de madera con la mezcla preparada en el encolado.

### *4. Bomba*

Máquina empleada para el envío de la mezcla de resina del sistema cuenta litros a la encoladora.

### *5. Motor para bomba (M35, M36)*

Motor de corriente continua, para el mando y la regulación de la velocidad de la bomba de la resina. El control de velocidad de este motor, está dirigido completamente por el T/CX 10.

### *6. Dínamo tacométrico*

Aparato que mide el número de revoluciones del eje del motor de la bomba de resina. En el panel frontal del T/CX 10 se puede visualizar este valor de velocidad.

#### *7. Sistema cuenta litros*

Formado principalmente por los vasos de depósito de resina y los encoders. Mediante este sistema se puede realizar la medición del caudal de resina. Esta medición se puede visualizar en el panel frontal del T/CX 10.

#### *8. Encoders*

Generadores de impulsos de frecuencia proporcionales al caudal de la resina. Estos impulsos generados son enviados al T/CX 10 para realizar la medición de caudal de resina que está pasando por el sistema cuenta litros.

#### *9. T/CX 10*

Equipo electrónico de control del proceso de dosificación de la resina; mantiene constante las proporciones entre la cantidad de material y la cantidad de resina que se encuentran, instante por instante, en la encoladora.

Cabe indicar que los componentes que intervienen en este proceso son similares tanto para la capa interna como para la capa externa.

## CAPITULO 2

## **DESCRIPCIÓN DEL CONTROL PARA EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE RESINA**

En el proceso de dosificación de resina se controla la adición de resina a las astillas de madera, dependiendo de la proporcionalidad entre las astillas de madera y la resina se forman tableros de diferentes características, esto se logra, controlando la velocidad de dos motores acoplados a tornillos sin fin que regulan la cantidad de material (astilla de madera) que cae a la balanza de cinta, luego el material ya cuantificado se envía a la encoladora, dependiendo de la cantidad de material regulada y una proporción seteada se controla la velocidad a dos motores acoplados a bombas que regulan el caudal de resina que se inyecta en la encoladora, con la ayuda del sistema cuenta litros se cuantifica el caudal de resina.

Para la formación del tablero de aglomerado se utilizan dos tipos de mezclas, en la una el aporte de madera es aserrín o astilla fina y en la otra es astilla gruesa, la mezcla de astilla gruesa forma la parte central del tablero (capa interna) y la mezcla de astilla fina forman las dos exteriores (capa externa), consiguiéndose un acabado superficial más fino y con una resistencia mecánica de calidad dada su estructura interna.

En el proceso de dosificación de resina se controla la proporcionalidad entre la astilla de madera y resina de las dos mezclas, por lo que existen dos sistemas similares, uno para la dosificación en la capa externa y otro para la capa interna, cada sistema esta formado de algunos componentes. Cada sistema debe regular tanto la cantidad de material (astilla de madera) como el caudal de resina que se envían a las encoladoras.

## **2.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL**

Como ya se mencionó anteriormente, en el proceso de dosificación de resina existen dos sistemas similares, cada sistema esta formado principalmente por: un motor de corriente continua (5M6 o 6M6) acoplado a un reductor de velocidad y este acoplado al grupo de tornillos sin fin dosificadores, una balanza de cinta, una encoladora, un segundo motor de corriente continua (M35 o M36) acoplado a la bomba dosificadora, un equipo electrónico denominado T/CX 10 y el sistema cuenta litros.

Con el control de velocidad al motor de corriente continua (5M6 o 6M6) de los tornillos sin fin se regula la cantidad de material (astilla de madera) que cae a la balanza de cinta, luego el material ya cuantificado se envía a la encoladora y con el control de velocidad del segundo motor de corriente continua (M35 o M36) acoplado a la bomba se regula el caudal de resina que se inyecta en la encoladora para así formar la mezcla de astilla de madera y resina, esta mezcla por medio de bandas transportadoras van hacia la maquina formadora de tableros de aglomerado.

El equipo electrónico T/CX 10 es el elemento que realiza el control de velocidad al motor de corriente continua (M35 o M36) de la bomba y da la señal de consigna de velocidad a un variador de velocidad que alimenta al motor (5M6 o 6M6) de los tornillos sin fin dosificadores.

Para la regulación del caudal de resina, el sistema denominado cuenta litros es el encargado de cuantificar el caudal de resina.

### **2.1.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA**

El circuito de fuerza para los tornillos sin fin que regulan el material (astilla de madera), tanto de la capa externa como de la capa interna están formados por componentes similares, puesto que los motores de corriente continua 5M6 y 6M6

realizan la misma función que es variar la velocidad de los tornillos sin fin. De manera similar, el circuito de fuerza para las bombas que regulan el caudal de resina, tanto de la capa externa como de la capa interna están formados por los mismos componentes, puesto que los motores de corriente continua M35 y M36 realizan la misma función que es variar la velocidad de las bombas.

El circuito de fuerza para los tornillos sin fin (TSF) esta formado por los elementos electromecánicos de maniobra, elementos de protección, un transformador de voltaje, variador de velocidad AZ-30 de Imal para alimentar al motor de corriente continúa (5M6 o 6M6) de los tornillos sin fin. Todos estos componentes están ubicados en el armario denominado “Armario tornillos dosificadores”.



Figura 2.1 Vista del motor, reductor y grupo tornillos sin fin dosificadores

Los datos del motor de corriente continua 5M6 o 6M6 son los siguientes:

Potencia: 10 [HP]	RPM: 2000 [rpm]
Armadura	
Voltaje: 280 [V]	Corriente: 30 [A]
Excitación	
Voltaje: 340 [V]	Corriente: 0.25 [A]

Tabla 2.1 Datos motores de DC 5M6, 6M6

El reductor de velocidad tiene una relación de reducción 25/1.

El transformador de voltaje para alimentar al variador de velocidad AZ 30 tiene una potencia de 7.5 [KW] y una relación de voltaje de 440 / 380 [V].

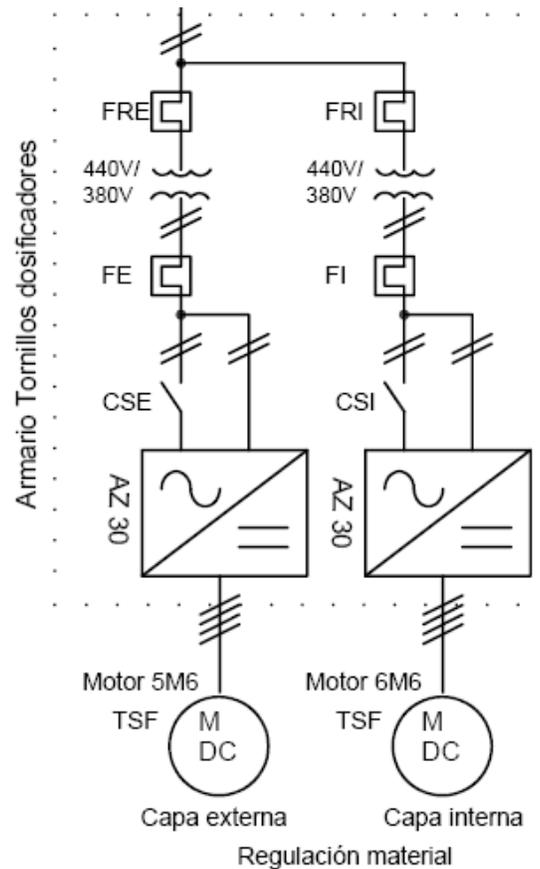


Figura 2.2 Diagrama unifilar antiguo circuito de fuerza de los TSF

Se alimenta al motor de DC 5M6 o 6M6 con el variador de velocidad modelo AZ 30 marca Imal, la señal de consigna de velocidad para este variador proviene del T/CX 10. Los elementos de protección y los variadores de velocidad de los motores de DC 5M6, 6M6 tienen varios años de servicio y necesitan ser renovados.



Figura 2.3 Vista del armario de los tornillos dosificadores

El circuito de fuerza de la bomba está formado por el circuito de potencia de la tarjeta 511 del T/CX 10 y el segundo motor de corriente continua (M35 o M36). Este motor está acoplado a la bomba dosificadora tipo gusano o de rotor helicoidal.

La tarjeta 511 del equipo T/CX 10 está constituida de un convertidor AC/DC para alimentar y variar la velocidad del motor de DC de la bomba. El equipo T/CX 10 tiene sus respectivos elementos de maniobra y protección.

Los datos de la bomba de rotor helicoidal son:

Altura máxima total antes y después de la bomba: 60 [m]
m <sup>3</sup> /hora: 2.5 [m <sup>3</sup> /hora] (1400 [rpm] y una altura total 20 [m])

Tabla 2.2 Datos antigua bomba

Los datos del motor de corriente continua M35 o M36 son los siguientes:

Potencia: 2.05 [kW]	RPM: 1500 [rpm]
Armadura	
Voltaje: 220 [V]	Corriente: 11.2 [A]
Excitación	
Voltaje: 220 [V]	Corriente: 0.62 [A]

Tabla 2.3 Datos motores de DC M35, M36

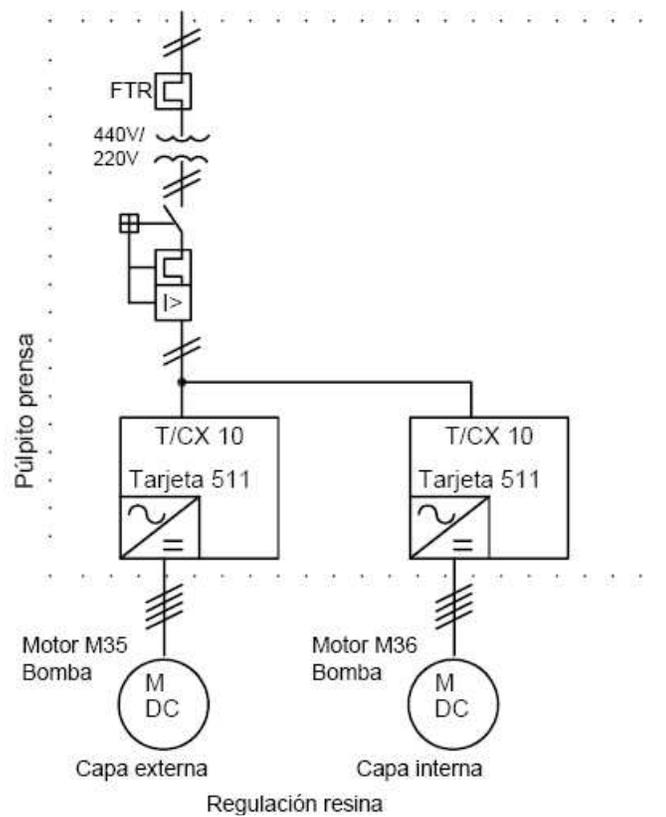


Figura 2.4 Diagrama unifilar antiguo circuito de fuerza de las bombas



Figura 2.5 Vista antiguo motor M35 y bomba

### 2.1.2 ANTIGUO SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control esta formado principalmente por los dos equipos T/CX 10, uno para el control de dosificación en la capa externa y otro para la capa interna, el T/CX 10 es un conjunto de tarjetas electrónicas, cada tarjeta tienen un número que la identifica del resto, por ejemplo existe la tarjeta 518 encargada de las alarmas.



Figura 2.6 Vista de los equipos T/CX 10

El equipo T/CX 10 es el principal elemento de control para el proceso de dosificación de resina, para lo cual realiza el control para la regulación de cantidad de material a la encoladora, dependiendo de la cantidad de material regulado y el rapporto ingresado regula el caudal de resina que inyecta a la encoladora. En la figura 2.7 se puede apreciar el diagrama en bloques de control del T/CX 10.

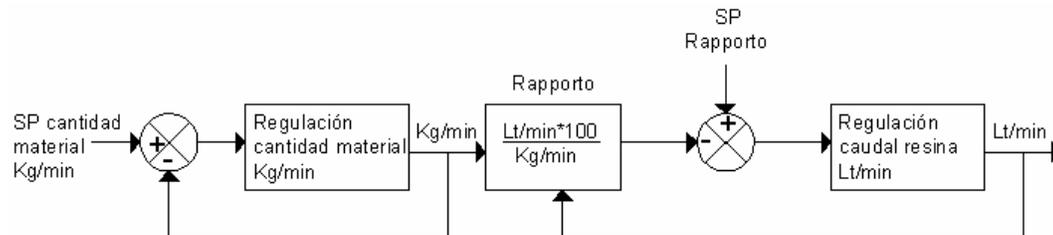


Figura 2.7 Diagrama en bloques de control del T/CX 10

En la figura 2.8 se presenta un esquema donde se puede apreciar las señales que influyen en el funcionamiento del T/CX 10.

#### *Regulación de la cantidad de material*

El equipo T/CX 10 realiza un control proporcional para regular la cantidad de material, el valor de set point para la cantidad de material es ingresado mediante el potenciómetro especial “% material” o “% flow” ubicado en la tarjeta 497 y el valor de realimentación o valor real de proceso para este control es proveniente del amplificador de corriente 4-20 [mA] Imal AT 877 de la señal de la balanza de cinta.

Cabe indicar que el valor de set point que ingresa al control proporcional esta afectado por el nivel de llenado de la formadora o por el potenciómetro “regulación de material”, para esto existe un selector de llave de dos posiciones (Auto y

manual) que le llamaremos “selección de ingreso de material a la formadora”, ubicado en el púlpito de mando de la prensa<sup>25</sup>.

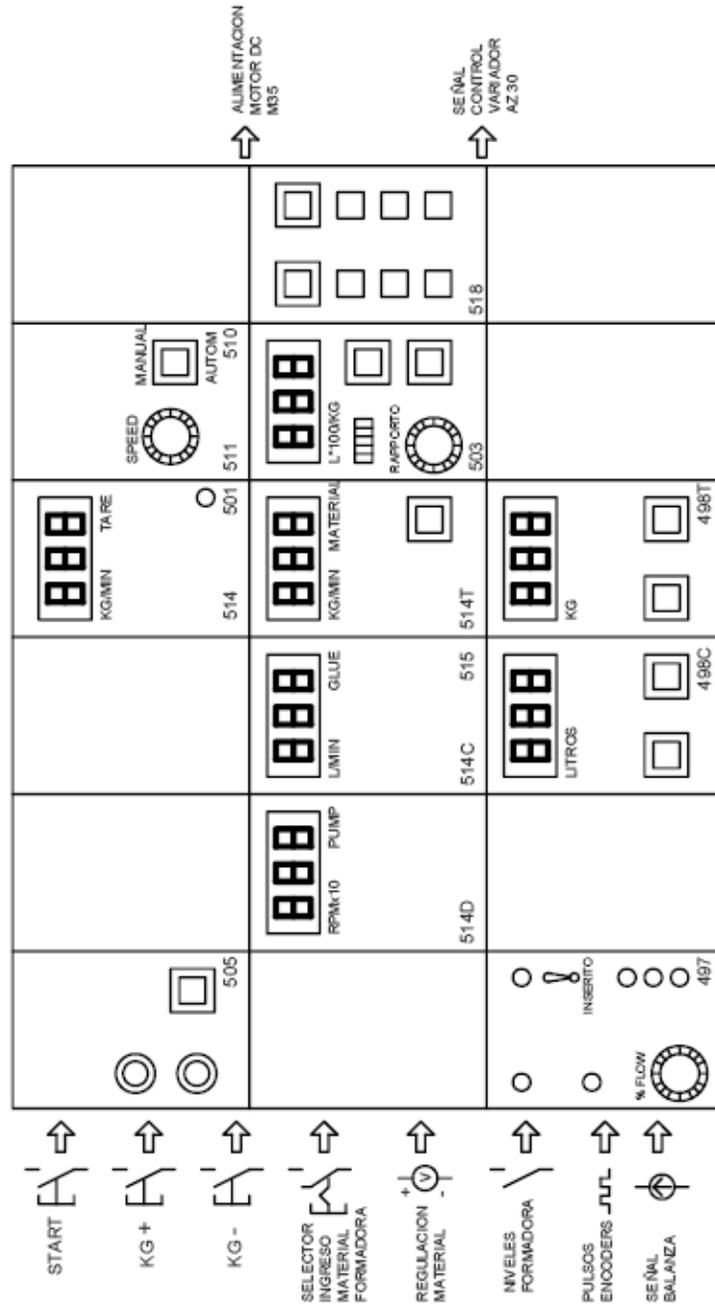


Figura 2.8 Señales que influyen funcionamiento T/CX 10

<sup>25</sup> Púlpito de mando de la prensa.- Tablero de control del proceso de prensado, preparación de componentes, dosificación de resina, formación del tablero.

Si el selector “selección de ingreso de material a la formadora” esta en la posición Auto el equipo T/CX 10 es capaz de mantener el nivel óptimo en la formadora que es 75% del nivel total. Los niveles posibles en la formadora son 0, 25, 50, 75, 85 y 100% del nivel total, dichos niveles provienen de sensores tipo rotativos colocados en la formadora. Si el nivel esta en 75%, el set point de material que ingresa al control proporcional es el valor seteado por el operador en el potenciómetro “% material”; si el nivel es 85%, el set point que ingresa al control proporcional es el valor seteado menos un 15%, si el nivel es 100%, el proceso de dosificación se detiene momentáneamente hasta que el nivel baje del 100% luego de lo cual comienza a dosificar nuevamente; si el nivel es 50%, el set point que ingresa al control es el valor seteado más un 15% y por ultimo, si el nivel de la formadora esta en 0% y/o 25 %, el set point que ingresa al control es el valor seteado más un 30%.

Por ejemplo si el operador seteo 20 Kg/min para la capa interna, y el nivel de formadora es 85%, el set point que ingresa al control proporcional no es 20 sino 17 Kg/min.

Si el selector “selección de ingreso de material a la formadora” esta en la posición Manual, el set point de cantidad de material que ingresa al control proporcional del T/CX 10 se ve afectado por el valor seteado en el potenciómetro especial “% material” y por la posición del potenciómetro de “regulación de material”, dependiendo de la posición de este potenciómetro el set point que ingresa al control proporcional puede aumentar o disminuir como máximo 30% del valor seteado.

A la formadora ingresan la mezcla dosificada tanto del material grueso y del material fino, por lo que el nivel de la formadora esta dado por la unión de las dos mezclas dosificadas. Por lo que, los niveles de la formadora o la posición del potenciómetro de “regulación de material” afecta tanto al control proporcional de equipo T/CX 10 de material grueso como al control proporcional del equipo T/CX 10 de material fino.

También si el operador lo requiere puede aumentar o disminuir indistintamente la cantidad de material mediante los pulsantes de aumento Kg+ o disminución Kg- ubicados en el púlpito de la prensa para cada capa. Pero este aumento o disminución es momentáneo, mientras estén presionados estos pulsantes, luego de lo cual, el equipo regula al valor seteado.

Mediante el selector “INSERITO” ubicado en la tarjeta 497 se puede seleccionar que la señal de consigna de velocidad a los variadores de velocidad AZ-30 Imal que alimentan a los motores de DC 5M5, 6M6 provenga del control proporcional o puede ser manipulada mediante los pulsantes de aumento Kg+ ó disminución Kg-. Esto se lo utiliza en el T/CX 10 de la capa interna para la producción de tableros de 4, 6, y 9 [mm], puesto que el control proporcional de este equipo a bajos valores de cantidad de material no es capaz de estabilizar al valor seteado, la cantidad de material.

#### *Regulación del caudal de resina*

El T/CX 10 para la regulación del caudal de resina tiene dos modos de funcionamiento: manual y automático.

En modo manual, mediante el potenciómetro “SPEED” ubicado en la tarjeta 511 se varía la velocidad del motor de la bomba, este modo de funcionamiento permite la limpieza con agua de los vasos de depósito de resina y la bomba dosificadora al final de un ciclo de producción. También se lo puede utilizar en el caso que falle la regulación automática de resina.

En modo automático el T/CX 10 realiza un control del tipo proporcional-integral para mantener constante la siguiente relación:

$$R = \frac{\text{litros/segundo} * 100}{\text{Kilogramos/segundo}} = \frac{\text{litros} * 100}{\text{Kilogramos}} \quad (2.1)$$

El valor de la anterior relación litros/kilogramos o rapporto como la denomina el fabricante y cuyo valor que se muestra en los displays del T/CX se puede calcular también, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{F_x * 100}{K} \quad (2.2)$$

Fx: Factor X, depende del peso específico, concentración de resina seca en la mezcla de resina y la humedad del material antes de la encoladora.

K: Constante K determinada mediante fórmulas.

El valor de relación o rapporto es ingresada mediante el potenciómetro "Rapporto" ubicado en la tarjeta 503 y el valor de realimentación o valor real de proceso para el control PI viene dado por los pulsos generados por los encoders incrementales del sistema cuenta litros, estos pulsos ingresan al T/CX 10, son evaluados para determinar los lt/min de resina.

#### *Antiguo sistema cuenta litros*

La función principal del sistema cuenta litros es generar una señal que sea proporcional al caudal de resina que se envía a la encoladora. Esta señal es un tren de pulsos generados por un encoder incremental, existen cuatro vasos de depósito para la resina, dos para la dosificación de la capa externa y los restantes para la capa interna, cada vaso esta asignado un encoder. Tenemos dos válvulas de cuatro vías, la función de la válvula de cuatro vías es conmutar la carga y descarga de los dos vasos de depósito de resina, puesto que en una posición de la válvula un vaso esta descargándose mediante la bomba dosificadora y el otro vaso se carga de resina por la acción física de vasos comunicantes con el tanque de preparación de resina.

Con la ayuda de una válvula de apertura se evita el paso innecesario de resina a la encoladora cuando esta parado el proceso de dosificación.

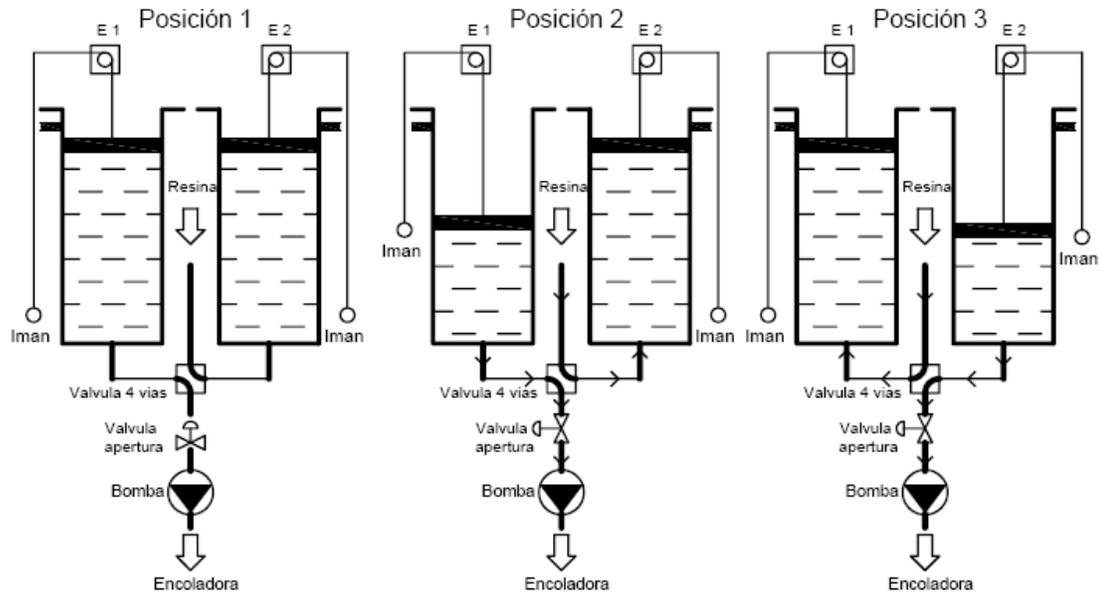


Figura 2.9 Funcionamiento de la válvula de cuatro vías y de apertura



Figura 2.10 Vista del antiguo sistema cuenta litros

## 2.2 NUEVO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL

En el presente proyecto se diseñó e instaló un sistema de control con un PLC, mediante un selector se puede seleccionar dos modos de operación generales:

Modo uno: La dosificación de resina se la realiza con un nuevo sistema cuenta litros controlado por el PLC y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos controlados por PLC.

Modo dos: La dosificación de resina se la realiza con el antiguo sistema cuenta litros controlado por el T/CX 10 y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos controlados también por el PLC.

Operativamente, el modo uno se utilizará para la producción de tableros de aglomerado tipo ACOPLAC y el modo dos para la producción de tableros tipo RH.

Para la regulación de material se reemplazó los variadores de velocidad AZ 30 que alimentaban a los motores de DC 5M6 o 6M6 de los tornillos sin fin por nuevos variadores de Siemens con sus respectivos elementos de protección y para la regulación de resina se añadió un nuevo sistema cuenta litros con bombas dosificadoras que son movidas por motores de corriente alterna acoplados a reductores de velocidad, los motores de corriente alterna son alimentados por nuevos variadores de Siemens.

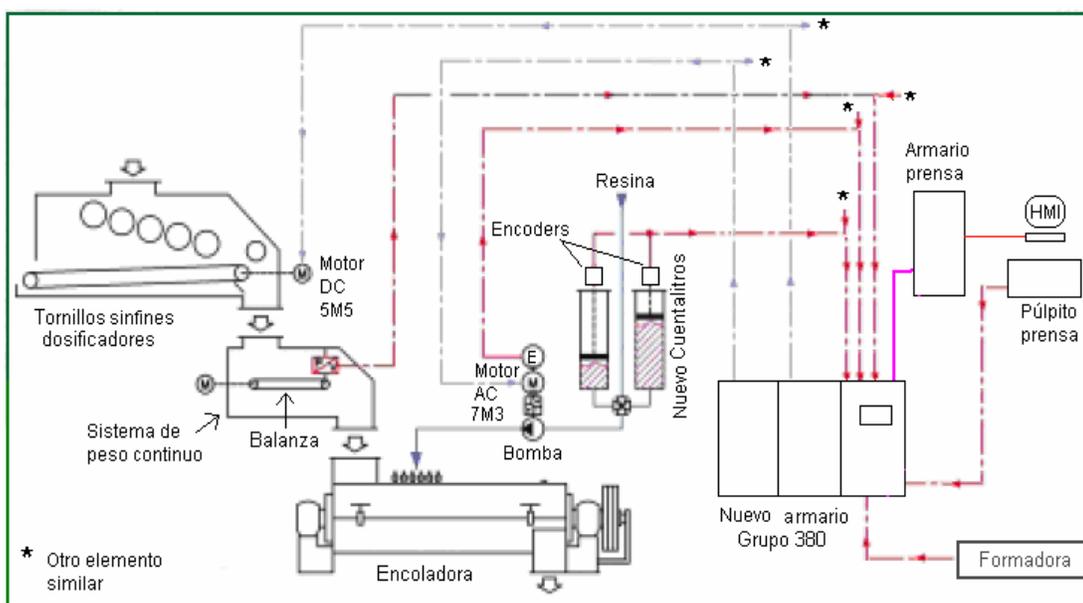


Figura 2.11 Componentes del proceso dosificación resina del nuevo sistema de control

2.2.1 NUEVO CIRCUITO DE FUERZA

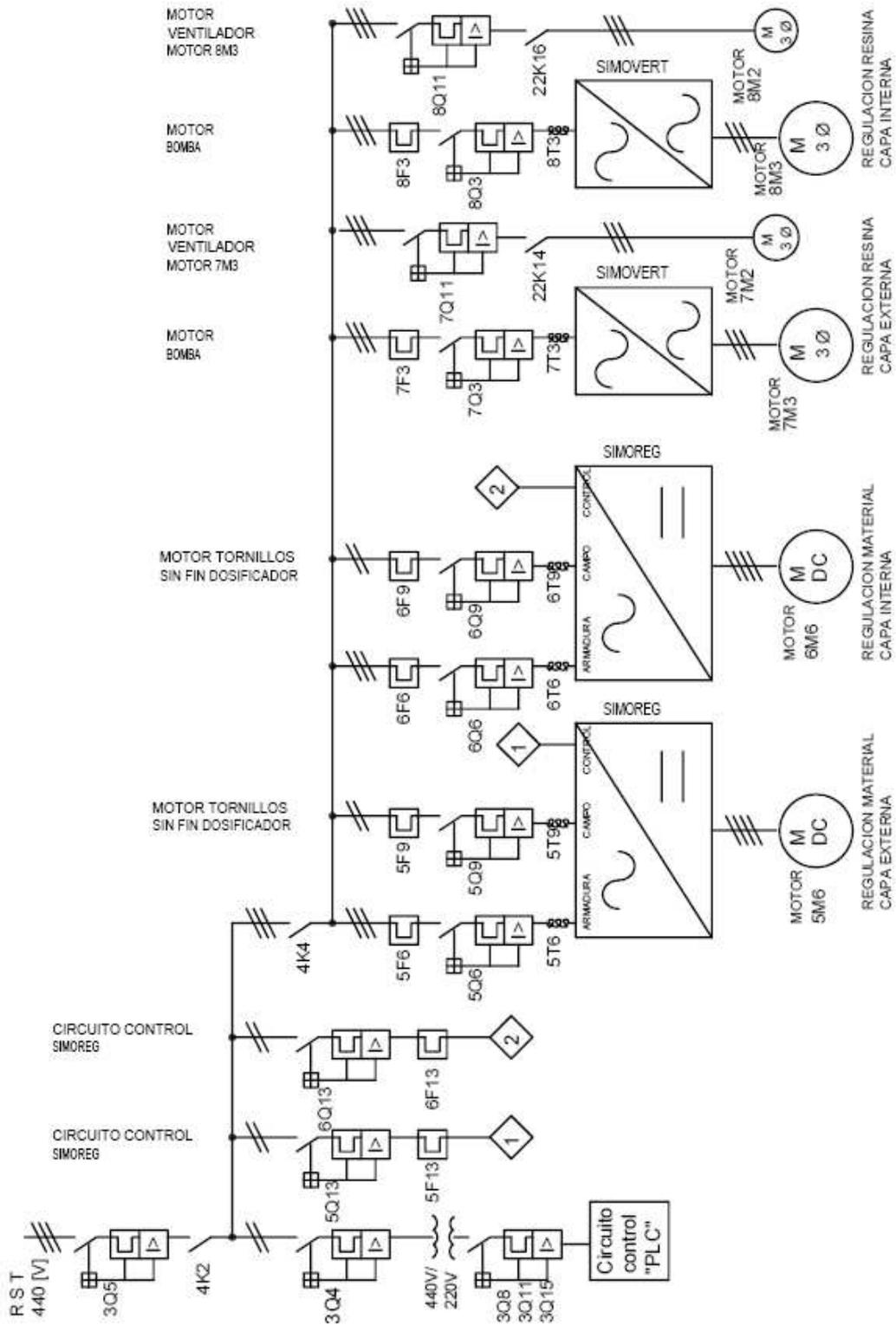


Figura 2.12 Diagrama unifilar nuevo sistema eléctrico

En el nuevo circuito de fuerza para los tornillos sin fin tanto de la capa externa e interna, se mantienen los motores de corriente continua 5M5 y 6M6 alimentados por nuevos variadores de velocidad que tienen sus respectivos elementos de protección. Los antiguos variadores de velocidad AZ 30 no fueron sacados de su lugar y podrían servir para un caso de emergencia.

Los nuevos variadores de velocidad para motores de corriente continua son los SIMOREG DC Master de Siemens, los elementos de maniobra y protección instalados son de las series 3RV y 3RT de Siemens. Estos variadores de velocidad junto con sus elementos de protección se hallan ubicados en el gabinete 2 del nuevo armario.

Potencia: 33 [KW]	
Voltaje armadura de entrada: 460 [V] (+15%/-20%) 3f AC	Corriente de armadura de entrada: 50 [A]
Voltaje excitación de entrada: 460 [V] (+15%/-20%) 3f AC	
Frecuencia admisible red: 45-65 [Hz]	
Voltaje armadura de salida: Hasta 550 [V] DC	Corriente de armadura de salida: Hasta 60 [A]
Voltaje excitación de salida: Hasta 375 [V] DC	Corriente excitación de salida: Hasta 10 [A]

Tabla 2.4 Datos nuevos variadores de velocidad SIMOREG



Figura 2.13 Vista de los nuevos variadores de velocidad SIMOREG

Para el nuevo sistema cuenta litros de regulación de resina se utilizaron bombas dosificadoras, de similares características que las del antiguo sistema, pero movidas por motores de inducción trifásicos jaula de ardilla (7M3, 8M3) acoplados a reductores de velocidad, con sus respectivos variadores de velocidad.

Los datos de los nuevos motores asíncronos (7M3 y 8M3) marca Siemens son los siguientes:

Potencia: 6.3 [KW]	RPM: 1750 [rpm]
Voltaje: 440-480 [V] Y	Corriente: 11.1 [A]
fp: 0.82	Frecuencia: 60 [Hz]

Tabla 2.5 Datos nuevos motores de las bombas

Los nuevos reductores de velocidad marca SITI acoplados a los motores (7M3, 8M3) de las bombas tienen una relación de reducción de 7/1 y un factor de servicio 1.81.

Los datos de la nueva bomba marca POMPEHYDRA de rotor helicoidal son:

Altura máxima total antes y después de la bomba: 90 [m]
lt/hora: 2038 [lt/hora] (1500 [rpm] y una altura total 25 [m])
Máxima presión: 13 [bar]

Tabla 2.6 Datos nuevas bombas



Figura 2.14 Vista nuevo motor, reductor de velocidad y bomba

Los variadores de velocidad que alimenta a los motores de corriente alterna 7M3 y 8M3 son los SIMOVERT Master Drives de Siemens, los que tienen sus respectivos elementos de protección.

Potencia: 11 [KW]
Voltaje de entrada: 380-480 [V] 3 $\phi$ AC
Frecuencia admisible de entrada: 50/60 [Hz] (+/-6%)
Corriente de salida: 25.5 [A]

Tabla 2.7 Datos nuevos variadores de velocidad SIMOVERT



Figura 2.15 Vista de los variadores de velocidad SIMOVERT

### 2.2.2 NUEVO SISTEMA DE CONTROL

El principal elemento de control en el nuevo sistema para el control del proceso de dosificación de resina lo constituye un PLC S7-300 de Siemens que posee una CPU 315-2DP, el PLC controla el proceso de dosificación de la capa externa e interna. Para referirse al nuevo elemento de control del proceso de dosificación utilizaremos la identificación PLC AGL-380.

El PLC AGL-380 al igual que el T/CX 10 realiza la regulación de la cantidad de material y la regulación del caudal de resina. Para trabajar con el PLC AGL-380 se instaló en el púlpito de la prensa, nuevos selectores, pulsantes y lámparas de

indicación. El arranque del control de proceso de dosificación de resina para las dos capas se da mediante el pulsante de arranque automático, estando el selector “Automático/manual” en la posición “A” ubicados en el púlpito de la prensa.

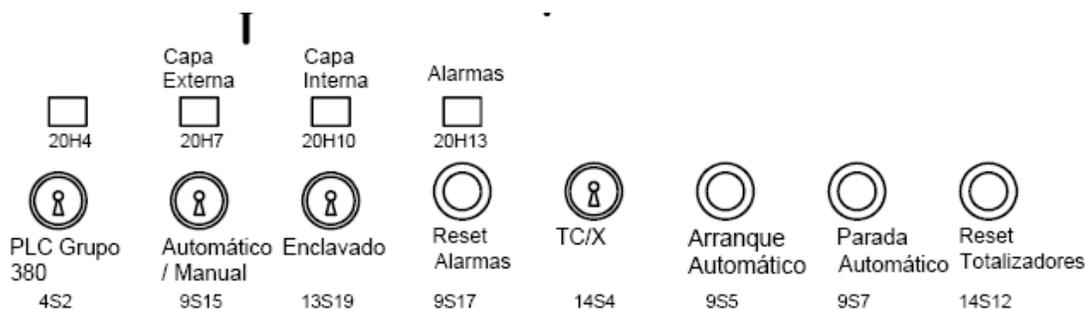


Figura 2.16 Ubicación nuevos selectores, pulsantes y lámparas de indicación

### *Regulación de la cantidad de material*

El PLC AGL-380 realiza un control proporcional integral (PI) para regular la cantidad de material, el valor de set point de cantidad de material es ingresado a través de la HMI del proceso de dosificación de resina, esta HMI está alojada en un computador ubicado en el púlpito de la prensa o también se puede ingresar por el panel operador OP7 ubicado en la puerta 3 del nuevo armario, el valor de realimentación o valor real de proceso para el control PI también proviene del amplificador de corriente 4-20 [mA] Imal AT 877 de la balanza de cinta.

Las señales de nivel de la formadora también ingresan al PLC AGL-380, por lo que el set point que ingresa al control PI para la regulación de la cantidad de material depende también del nivel de la formadora y del potenciómetro “ingreso de material” ubicado en el púlpito de la prensa.

Con el selector de llave “Enclavado” en la posición “0”, el PLC AGL-380 es capaz de mantener el nivel óptimo de la formadora que es 75% del nivel total. Los niveles posibles en la formadora son 0, 25, 50, 75, 85 y 100% del nivel total, los porcentajes de aumento o disminución que afectan al valor seteado de cantidad de material se pueden modificar mediante la HMI del proceso, ubicándonos en la

pantalla formadora. Si no se modifican estos porcentajes son los mismos con los que trabaja el T/CX 10 que son 15% de disminución cuando el nivel está en 85%, 15% de aumento cuando el nivel está en 50% y 30% de aumento cuando el nivel está en 0% y/o 25%.

Si el selector “Enclavado” está en la posición “1”, el set point de cantidad de material que ingresa al control PI se ve afectado por el valor seteado a través de la HMI o el panel operador y por la posición del potenciómetro “ingreso de material”, dependiendo de la posición de este potenciómetro, el set point que ingresa al control PI puede aumentar o disminuir como máximo 30% del valor seteado.

Los porcentajes de aumento o disminución y la posición del potenciómetro “Enclavado” afecta a la regulación de material tanto en la capa externa como en la interna.

Al PLC AGL-380 ingresan las señales de los pulsantes Kg+ y Kg- de las dos capas, por lo que si el operador lo requiere puede aumentar o disminuir indistintamente la cantidad de material mediante los pulsantes de aumento Kg+ o disminución Kg- ubicados en el púlpito de la prensa. Pero este aumento o disminución es momentáneo, mientras estén presionados estos pulsantes, luego de lo cual el PLC AGL-380 regula al valor seteado.

Los controles PI de la regulación de material del PLC AGL-380, logran estabilizar la cantidad de material al valor seteado aún en la producción de tableros de bajo espesor (4 mm, 6mm y 9mm). Sin embargo si el operador lo decide, aunque no es necesario, se ha dotado la posibilidad de manipular la señal de consigna de velocidad al variador SIMOREG del motor 6M6 de la capa interna mediante los pulsantes Kg- y Kg+ relacionados, esto se lo puede realizar cambiando a la posición “1” el selector de llave “Manual capa interna” ubicado en el púlpito de la prensa, si este selector esta en la posición “0” la consigna de velocidad al SIMOREG la da el control PI del PLC AGL-380.

Para la producción de tableros RH se debe conmutar el selector “Control T/CX” a la posición “1”, el equipo T/CX 10 regula el caudal de resina con el antiguo sistema cuenta litros y el PLC AGL-380 regula la cantidad de material con los nuevos variadores de velocidad que alimentan a los motores de DC de los tornillos sin fin.

Se puede manipular el encendido y apagado de los motores 5M6 y 6M6 de los tornillos sin fin dosificadores indistintamente, es decir regular la cantidad de material en cada capa mediante los pulsantes y potenciómetros de la puerta 3 del nuevo armario, para esto el selector “Automático/manual” debe estar en la posición “M”. El valor del set point para la velocidad de los motores de corriente continua 5M6 y 6M6 esta dado por la posición de los potenciómetros Kg/min de la puerta 3 del armario. Mediante el panel operador OP7 se puede seleccionar si la señal de consigna de velocidad a los variadores SIMOREG viene del control PI que realiza el PLC AGL-380 o por la posición de los potenciómetros Kg/min.



Figura 2.17 Vista panel operador OP7

### *Regulación del caudal de resina*

El PLC AGL-380 realiza la regulación del caudal de resina tanto para la capa externa como la interna. En funcionamiento normal el PLC AGL-380 realiza un control del tipo proporcional-integral para mantener constante el rapporto o relación (ecuación 2.1):

$$R = \frac{\text{litros/minuto} * 100}{\text{Kilogramos/minuto}} = \frac{\text{litros} * 100}{\text{Kilogramos}}$$

El valor de relación es ingresada a través de la HMI del proceso de dosificación o por el panel operador OP7, el valor de realimentación o valor real de proceso para el control PI viene dado por los pulsos generados por los encoders incrementales del nuevo sistema cuenta litros, estos pulsos ingresan PLC AGL-380, son evaluados para determinar los lt/min reales de resina.

Para determinar el rapporto o relación con la que va a realizar control el PLC AGL-380 se debe ingresar el factor Fx y la constante K, el rapporto o relación se calcula automáticamente.

Al igual que los motores de corriente continua 5M6 y 6M6 de los tornillos sin fin dosificadores, se puede manipular el encendido y apagado de los motores jaula de ardilla 7M3 y 8M3 de las bombas dosificadores indistintamente, es decir regular el caudal de resina en cada capa mediante los pulsantes y potenciómetros de la puerta 3 del nuevo armario, para esto el selector “Automático/manual” debe estar en la posición “M”. El valor del set point para la velocidad de los motores de jaula de ardilla esta dado por la posición de los potenciómetros Lt/min de la puerta 3 del nuevo armario. Mediante el panel operador OP7 se puede seleccionar si la señal de consigna de velocidad a los variadores SIMOVERT viene del control PI que realiza el PLC AGL-380 o por la posición de los potenciómetros Lt/min.

#### *Nuevo sistema cuenta litros*

Operativamente, el antiguo sistema cuenta litros se lo va a utilizar en la producción de tableros de aglomerado tipo RH y el nuevo sistema cuenta litros en la producción de tableros de aglomerado tipo ACOPLAC.

Hay muchas razones por lo que el nuevo sistema cuenta litros debe ser similar y debe realizar las mismas funciones que el antiguo sistema cuenta litros, algunas de las principales razones mencionaremos a continuación.

El antiguo sistema es muy confiable, el mantenimiento al mismo es mínimo.

El implementar un sistema cuenta litros igual al antiguo resulta conveniente, puesto que se tienen amplios conocimientos de operación y mantenimiento por parte del personal de ACOSA, por lo que va a resultar más rápida y fácil la implementación, se puede probar mas fácil el funcionamiento, puesto que la pruebas que se realicen serán las más indicadas, el mantenimiento del sistema no va ha ser cosa del otro mundo, puesto que ya lo han realizado en el antiguo sistema.

La diferencia es mínima en las recetas de producción de tableros de tipo ACOPLAC y tipo RH, la diferencia radica, en que la producción de tableros de aglomerado tipo ACOPLAC se utiliza un tipo de resina y para la producción de tableros de aglomerado tipo RH se utiliza otro tipo de resina que le da al tablero la característica de ser más resistente al agua.

Los supervisores de producción son personas que han trabajado mucho años, por lo que implementar un sistema de control en el cual tengan que ingresar nuevos valores para las recetas de producción es un aspecto negativo, al principio no le van a tener confianza al nuevo sistema, tener un grupo de recetas para producir con un sistema y otro grupo para producir con el otro sistema dificulta el trabajo.



Figura 2.18 Vista nuevo sistema cuenta litros

## **CAPÍTULO 3**

# DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL

## 3.1 INTRODUCCION

En la actualidad la mayoría de las industrias buscan modernizar sus procesos de producción, para obtener mayor competitividad de sus productos frente a productos afines de otras industrias, logrando con esto mantenerse en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, Aglomerados Cotopaxi S.A. ha encaminado sus esfuerzos a la modernización de sus procesos de producción en la línea de fabricación de tableros de aglomerado.

En el nuevo sistema para la regulación de material se reemplazó los variadores de velocidad AZ 30 que alimentaban a los motores de DC 5M6 o 6M6 de los tornillos sin fin por nuevos variadores de Siemens con sus respectivos elementos de protección y para la regulación de resina se añadió un nuevo sistema cuenta litros con nuevas bombas dosificadoras que son movidas por motores de corriente alterna alimentados por nuevos variadores de velocidad de Siemens. Todo esto es controlado mediante un PLC S7-300 de Siemens.

Mediante un selector se puede elegir que el nuevo sistema funcione con los dos siguientes modos:

Modo uno: La dosificación de resina se la realiza con el nuevo sistema cuenta litros controlado por el PLC y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos controlados por el PLC.

Modo dos: La dosificación de resina se la realiza con el antiguo sistema cuenta litros controlado por los T/CX 10 y la cantidad de material se la controla con los nuevos variadores de velocidad de los motores de los tornillos controlados también por el PLC.

En el diagrama en bloques de la figura 3.1 se explica en forma gráfica, el funcionamiento del nuevo sistema para el control del proceso de dosificación de resina.

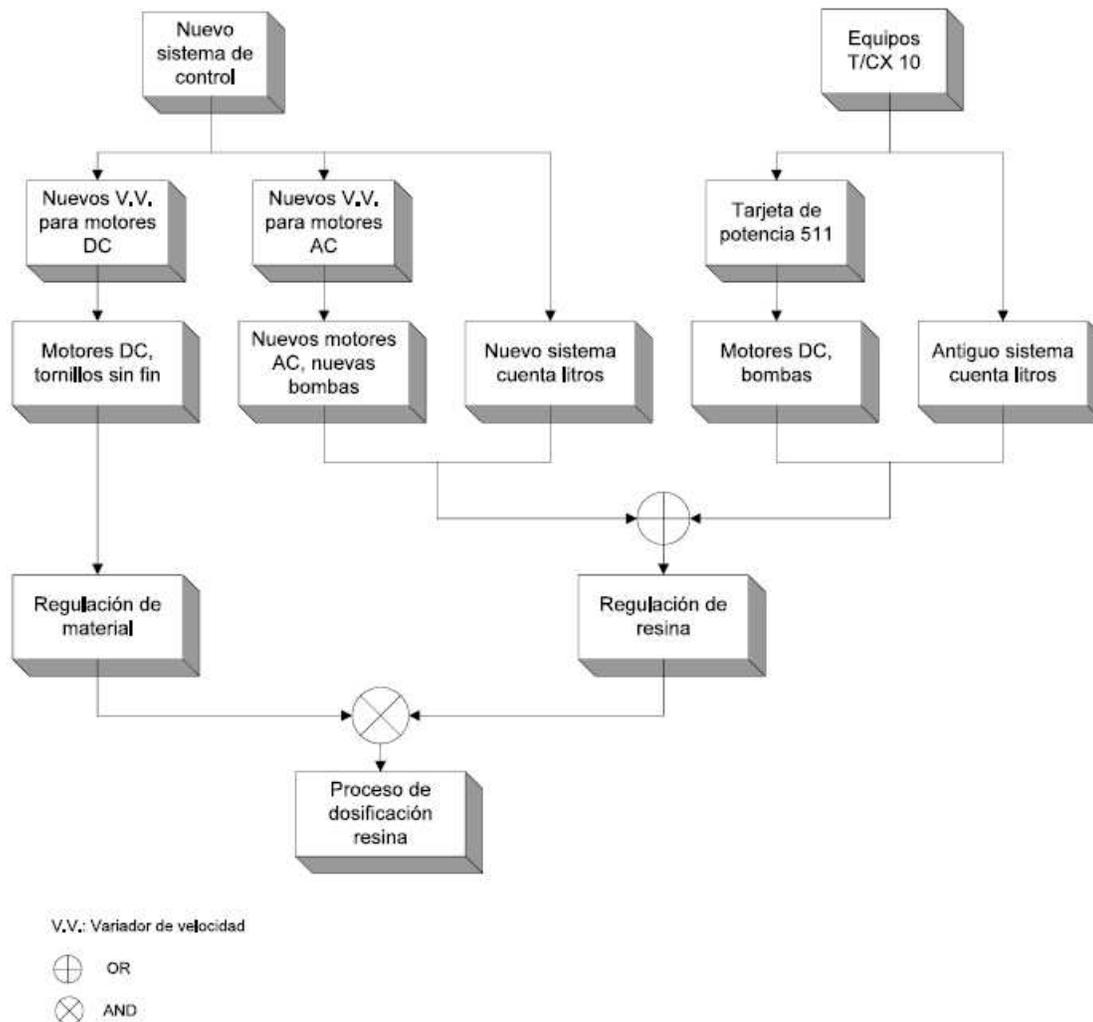


Figura 3.1 Diagrama en bloques funcionamiento proceso dosificación de resina

Se ha dejado la posibilidad de controlar todo el proceso de dosificación de resina con el anterior sistema, si el nuevo llegara a fallar, esto cambiando los cables de alimentación a los motores de DC (5M6 y 6M6) de los tornillos sin fin.

Aglomerados Cotopaxi S.A. en la mayoría de sus armarios eléctricos contienen productos Siemens, el trabajar con una sola marca tiene sus ventajas, por

ejemplo tener un vasto número de repuestos que se puede utilizar en cualquier armario. Por esta razón, por la confianza, seguridad y el soporte técnico que Siemens ha demostrado, la empresa a decidido utilizar en los proyectos de automatización los productos de Siemens.

### **3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

La clave para la correcta realización de un sistema de automatización es el análisis de un pliego de condiciones o requerimientos de diseño concreto.

#### *Funcionamiento*

Para el diseño del sistema de fuerza y control se tuvo presente que el nuevo sistema de control debe cumplir las mismas funciones que el anterior sistema de control, por lo que se analizó el funcionamiento del T/CX 10 y sistema cuenta litros, a más de analizar las relaciones directas de los elementos externos al proceso de dosificación.

#### *Necesidades de los operadores*

En razón al trabajo rutinario y repetitivo realizado por los operadores es necesario que el nuevo sistema no represente un cambio drástico en lo que se refiere al manejo y operación del proceso, puesto que esto involucraría tiempos de readaptación más largos e innecesarios

#### *Seguridad*

El nuevo sistema debe garantizar una seguridad para el personal de operación y personal de mantenimiento, por lo que se deben aplicar normas para la seguridad de instalaciones eléctricas industriales. Los elementos de protección deben ser bien dimensionados y seleccionados para garantizar la vida útil de los componentes electrónicos.

### *Voltaje y frecuencia de la red eléctrica*

Se debe tomar en cuenta que la fabrica tiene un red de alimentación eléctrica a 440 [V], 60 [Hz].

### *Adaptación del sistema*

El nuevo sistema debe estar en la posibilidad de adaptarse fácilmente a modificaciones o ampliaciones que se presenten en el proceso de dosificación de resina.

### *Condiciones ambientales*

La altura influye en el funcionamiento de los equipos, cada 1000 metros de altura los equipos pierden aprox. 10% en su potencia nominal. Otro aspecto a tomar en cuenta en el ambiente hostil en una industria, como es el polvo, agua, vibraciones por las grandes maquinarias, etc.

## **3.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA**

El circuito de fuerza esta dividido en partes:

- Circuito de fuerza para los tornillos sin fin (TSF) dosificadores de la cantidad de material, el mismo que consta de dos circuitos de fuerza similares, un circuito de fuerza para los TSF de la dosificación de la capa externa y otro para los TSF de la dosificación de la capa interna.
- Circuito de fuerza para las bombas dosificadoras de resina, el mismo que consta de dos circuitos de fuerza similares, un circuito de fuerza para la bomba de la dosificación de la capa externa y otro para la bomba de la dosificación de la capa interna.

El la figura 3.2 se puede apreciar los componentes del circuito de fuerza, se puede observar la denominación utilizada para cada componte, la misma que va ser utilizada para identificación en el diseño y selección de los componentes.

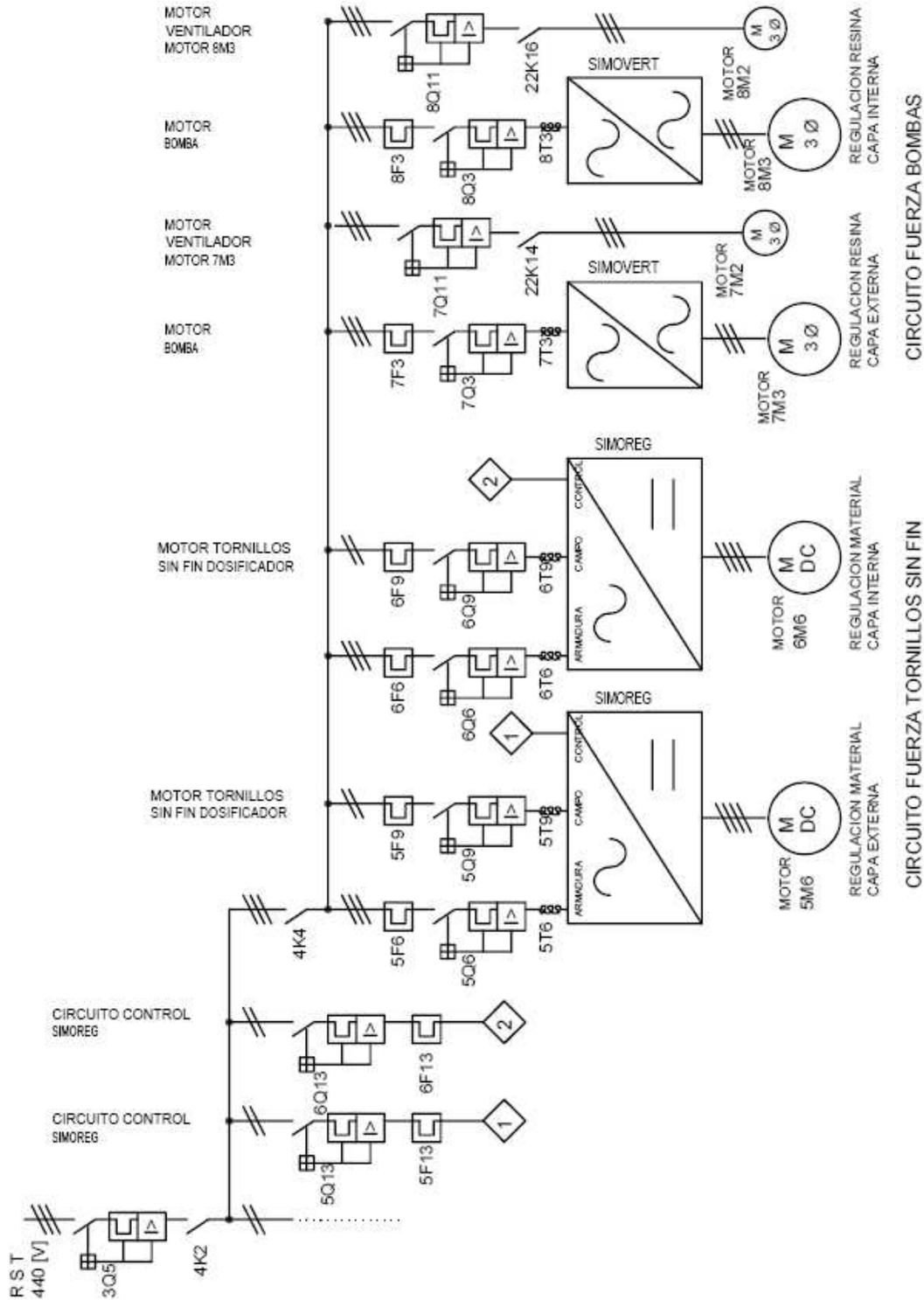


Figura 3.2 Diagrama unifilar del nuevo circuito de fuerza

### 3.3.1 CIRCUITO DE FUERZA PARA LOS TORNILLOS SIN FIN Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para alimentar a los motores de corriente continua 5M6, 6M6 que varían la velocidad de los tornillos sin fin dosificadores se sustituyeron los variadores de velocidad AZ30 de Imal por nuevos variadores de velocidad Siemens con sus respectivos elementos de protección.

*Variador de velocidad para los motores de corriente continua 5M6, 6M6*

Para el dimensionamiento y selección del variador de velocidad tenemos presentes los datos del motor (tabla 2.1), la carga a manejar trabaja sólo en el 1er cuadrante y el voltaje de la red de alimentación es 440 [V] AC, 60 [Hz].

La potencia del variador debe cumplir las siguientes relaciones:

$$\frac{\text{Corriente armadura motor}}{\text{Corriente armadura asignado al variador}} < 0.5 \quad (3.1)$$

$$\frac{30[\text{A}]}{\text{Corriente armadura designado al variador}} < 0.5$$

$$\text{Corriente armadura asignado al variador} > 60 [\text{A}]$$

$$\frac{\text{Corriente excitación motor}}{\text{Corriente excitación designado al variador}} < 0.5 \quad (3.2)$$

$$\frac{0.25 [\text{A}]}{\text{Corriente excitación asignado al variador}} < 0.5$$

$$\text{Corriente excitación asignado al variador} > 0.5 [\text{A}]$$

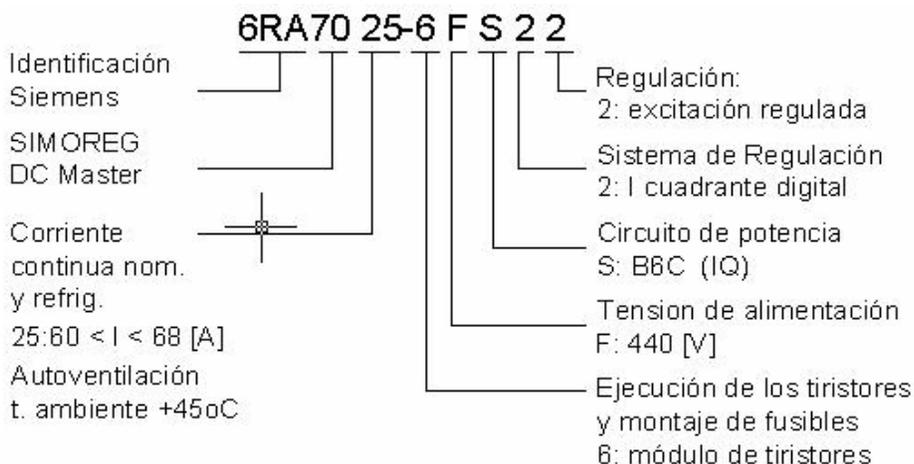
Se analiza el funcionamiento de los tornillos sin fin y se deduce que el control por armadura al motor de DC es el más indicado para esta aplicación, puesto que el motor trabaja a velocidades bajo la velocidad nominal y con torque considerable

casi constante, por lo que en la configuración del variador se debe parametrizar para este tipo de control.

Para seleccionar cualquier componente se utilizan las tablas de selección que se encuentran en los catálogos de selección del fabricante.

Dentro de los variadores de velocidad para motores de corriente continua, "SIMOREG DC Master" es la marca registrada de equipos Siemens que cubren la mayoría de las potencias de los motores de DC. El catálogo de selección se denomina DA 21.1 SIMOREG DC Master y el catálogo de instrucciones que se denomina 6rx17000ad78 SIMOREG DC Master-Instrucciones de Servicio que también ayuda a seleccionar y especificar.

En base a las tablas de selección y características requeridas se selecciona el variador de velocidad SIMOREG cuyo código de referencia es el siguiente:



La información completa acerca de los códigos de referencia de los variadores de velocidad se encuentra en el Anexo F.

En resumen y otras especificaciones a las que hace referencia el código son las siguientes:

Código ref. :6RA70 25-6FS22	
Potencia: 33 [KW]	
Voltaje armadura de entrada: 460 [V] (+15%/-20%) 3f AC	Corriente de armadura de entrada: 50 [A]
Voltaje excitación de entrada: 460 [V] (+15%/-20%) 3Φ AC	
Voltaje circuito de control: 380-460 [V] 2Φ AC	
Frecuencia admisible red: 45-65 [Hz]	
Voltaje armadura de salida: Hasta 550 [V] DC	Corriente de armadura de salida: Hasta 60 [A]
Voltaje excitación de salida: Hasta 375 [V] DC	Corriente excitación de salida: Hasta 10 [A]
Operación en 1 cuadrante	

Tabla3.1 Datos nuevos variadores de velocidades de los motores DC 5M6, 6M6

#### *Reactancias de red 5T6, 6T6, 5T9, 6T9*

Reduce los armónicos de corriente y las caídas de tensión causadas por conmutación de los tiristores del variador, para limitar los micro cortes de conmutación en la tensión de red se requieren siempre inductancias en el lado de red de los variadores, el efecto de la bobina depende de la relación entre la potencia de cortocircuito de la red y la potencia del accionamiento. Por este motivo, deben conectarse reactancias de conmutación aguas arriba de los variadores de velocidad.

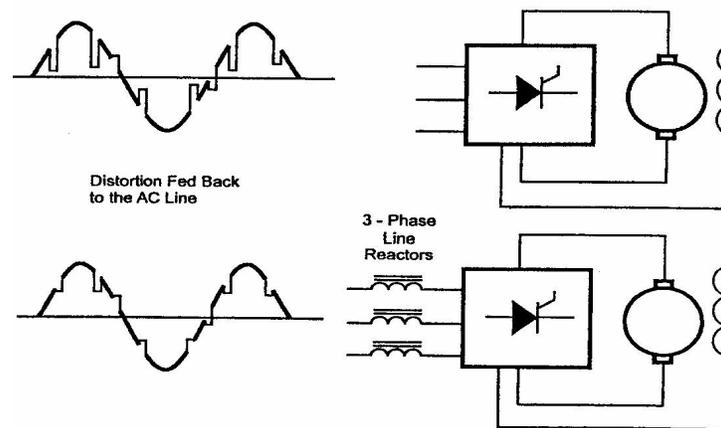


Figura 3.3 Micro cortes de conmutación en la red

Dado que, tanto el motor como también la reactancia de conmutación puede sobrecargarse durante un breve tiempo, la corriente asignada a la reactancia trifásica para el circuito de armadura a la entrada del variador es igual al valor de la corriente nominal de armadura del motor multiplicada por 0,82.

$$I_{La} = 0.82 \cdot I_a \quad (3.3)$$

$$I_{La} = 0.82 \cdot 30 = 24.6 \text{ [A]}$$

$I_{La}$ : Corriente asignada de la reactancia del circuito de armadura

$I_a$ : Corriente nominal de armadura del motor

La reactancia monofásica 5T9, 6T9 para el circuito de excitación se dimensiona para la corriente asignada de la excitación nominal del motor.

$$I_{La} = I_f \quad (3.4)$$

$$I_{Lf} = 0.25 = 0.25 \text{ [A]}$$

$I_{Lf}$ : Corriente asignada de la reactancia del circuito de excitación

$I_f$ : Corriente de excitación nominal del motor

En base a los cálculos realizados y con la ayuda del catálogo de selección DA21.1 se seleccionan la reactancia de red.

Nombre	Código	Corriente [A]
5T6,6T6	4EP3 800-7US00	60
5T9, 6T9	4EP3 400-1US00	10

Tabla 3.2 Datos reactancias de red para los variadores SIMOREG

### *Elementos de protección*

Los fusibles 5F6, 6F6 protegen a los tiristores de potencia del convertidor del circuito de armadura del variador de velocidad, los tiristores son elementos de respuesta rápida (ms, us), por lo que toleran altas corrientes en pequeños tiempos, debido a esta característica los fusibles deben reaccionar rápidamente. Los fusibles se dimensionan para 1.25 veces la corriente de armadura nominal asignada al variador.

$$I_{Fa} = 1.25 \cdot I_{ad} \quad (3.5)$$

$$I_{Fa} = 1.25 \cdot 60 = 75 \text{ [A]}$$

$I_{Fa}$ : Valor de corriente del fusible del circuito de armadura

$I_{ad}$ : Corriente de armadura asignada al variador

Los fusibles 5F9, 6F9 protegen a los tiristores de potencia del convertidor del circuito de excitación del variador de velocidad, los fusibles deben reaccionar rápidamente. Los fusibles se dimensionan para 1.25 veces la corriente de excitación nominal asignada al variador.

$$I_F = 1.25 \cdot I_{fd} \quad (3.6)$$

$$I_F = 1.25 \cdot 10 = 12.5 \text{ [A]}$$

$I_F$ : Valor de corriente del fusible del circuito de excitación

$I_{fd}$ : Corriente de excitación asignada al variador

Los fusibles 5F13, 6F13 protegen a los elementos electrónicos del circuito de control del variador de velocidad, los fusibles deben reaccionar rápidamente. El valor de la corriente del fusible debe ser 0.5 [A] recomendado por el fabricante del equipo.

$$I_{Fc} = 0.5 \text{ [A]} \quad (3.7)$$

$I_{Fc}$ : Valor de corriente del fusible del circuito de control del variador

Los fusibles para la protección deben ser de respuesta rápida, SITOR y SILIZED son las marcas registradas de Siemens que posee fusibles industriales de respuesta rápida con la mayoría de valores de corriente y voltaje. En la tabla siguiente se presenta los datos de los fusibles seleccionados.

Fusible	Código	Corriente [A]
5F6, 6F6	3NE8 017-1	50
5F9, 6F9	5SD 420	16
5F13, 6F13	3NC1 401	1

Tabla 3.3 Datos fusibles nuevo circuito fuerza TSF

El interruptor automático o guarda motor 5Q6, 6Q6 protege ante sobrecargas y cortocircuitos a la bobina de armadura del motor, la corriente asignada a este interruptor es igual valor reflejado de la corriente de armadura del motor a la entrada del variador, cuyo valor es igual al valor de la corriente nominal de armadura del motor multiplicada por 0,82.

$$I_{ae} = 0.82 * I_a \quad (3.8)$$

$$I_{ae} = 0.82 * 30 = 24.6 \text{ [A]}$$

$$I_{Qa} = I_{ae}$$

$$I_{Qa} = 24.6 = 24.6 \text{ [A]}$$

$I_{ae}$ : Corriente nominal de armadura del motor reflejada a la entrada del variador

$I_a$ : Corriente de armadura nominal del motor

$I_{Qa}$ : Valor de corriente del interruptor automático del circuito de armadura

El interruptor automático o guarda motor 5Q9, 6Q9 protege ante sobrecargas a la bobina de excitación del motor, se dimensiona para la corriente de excitación nominal del motor  $\pm 25\%$ , pero reflejada a la entrada del variador.

$$I_{fe} = 0.82 \cdot I_f \quad (3.9)$$

$$I_{fe} = 0.82 \cdot 0.25 = 0.205 \text{ [A]}$$

$$I_{Qf} = I_f$$

$$I_{Qf} = 0.205 = 0.205 \text{ [A]}$$

$I_{fe}$ : Corriente de excitación nominal del motor reflejada a la entrada del variador

$I_f$ : Corriente de excitación nominal del motor

$I_{Qf}$ : Valor de corriente del interruptor automático del circuito de excitación

El interruptor automático o guarda motor 5Q13, 6Q13 protege ante sobrecargas al circuito de control del variador, el valor de la corriente del guardamotor debe ser de 0.5 [A], recomendado por el fabricante (ecuación 3.7).

$$I_{Qc} = 0.5 \text{ [A]}$$

$I_{Qc}$ : Valor de corriente del interruptor automático del circuito de control del variador

SIRIUS es la marca registrada de Siemens que posee los elementos de maniobra y protección de una infinita gama de capacidades. Los interruptores automáticos Siemens 3RV1 utilizados en este proyecto, son limitadores de intensidad tipo compactos que están diseñados para ejercer las siguientes funciones:

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- Maniobras manuales de cierre y apertura
- Señalización

En base a los cálculos realizados y con la ayuda del catálogo en ingles LV 10 low voltage swtichgear se selecciona los siguientes interruptores:

Interruptor automático	Código	Rango corriente [A]
5Q6, 6Q6	3RV10 31-4EA10	22-32
5Q9, 6Q9	3RV10 21-1AA15	1.1-1.6
5Q13, 6Q13	3RV10 21-0JA15	0.7-1

Tabla 3.4 Datos guadamotores nuevo circuito fuerza TSF

### 3.3.2 CIRCUITO DE FUERZA PARA LAS BOMBAS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Para la regulación del caudal de resina se instaron nuevas bombas movidas por nuevos motores de AC acoplados a reductores de velocidad. Para alimentar a los motores de AC se utilizó nuevos variadores de velocidad de Siemens con sus respectivos elementos de protección.

#### *Motores trifásicos 7M3 ,8M3 para las bombas*

Para este proyecto se decide la sustitución de los motores de corriente continua por motores trifásicos de corriente alterna. Los motores de DC tienen problemas de mantenimiento como es el desgaste de los carbones, escobillas y el precio de un motor de DC es superior a uno similar en AC. El motor de rotor jaula de ardilla tiene un mínimo mantenimiento y precio bajo.

Para el dimensionamiento del motor de AC se tiene que analizar el tipo de carga a manejar, en este caso es una bomba. Nosotros decidimos dimensionar en base a la potencia y torque del antiguo motor de DC, un criterio de selección es comparar las curvas de torque de los motores, el valor de torque más bajo del motor de AC

debe ser mayor al valor de torque del motor de DC, con esto garantizamos que a bajas revoluciones del motor de AC es capaz de manejar la carga.

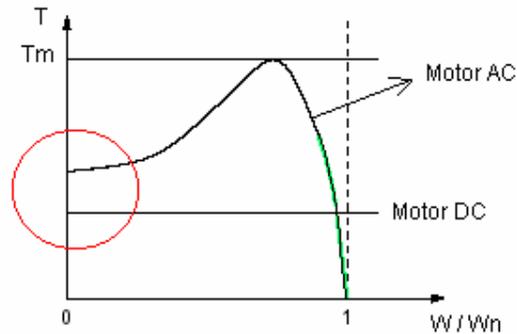


Figura 3.4 Curva torque vs. velocidad para selección motor AC

El cálculo de la potencia del nuevo motor se lo realiza de la siguiente manera:

$P_{MDC} = 2.2$  [KW]; potencia del antiguo motor de corriente continua M35 o M36

El torque de un motor se calcula mediante:

$$T = 9.549 \frac{P}{N} \quad (3.10)$$

T: Torque del motor [N-m]

P: Potencia del motor [W]

N: Velocidad del motor [rpm]

El torque del motor de corriente continua M35 de la bomba es igual a:

$$T_{DC} = 9.549 \frac{2200}{1500} = 14.01 \text{ [N-m]}$$

A bajas frecuencias (1/4 frecuencia nominal) el torque de un motor AC es igual a:

$$T_{1/4} = 0.59 T_M \quad (3.11)$$

$T_{1/4}$ : torque a  $\frac{1}{4}$  de la frecuencia nominal

$T_M$ : torque del motor AC

El torque a bajas frecuencias del motor AC debe ser mayor o igual al torque del motor DC.

$$\begin{aligned} T_{1/4} &= T_{DC} \\ 0.59T_M &= 14.01 \\ T_M &= 23.73 \text{ [N-m]} \end{aligned}$$

Como ya tenemos el torque, definimos la potencia del motor AC

$$\begin{aligned} T &= 9.549 \frac{P}{N} \Rightarrow P = \frac{T * N}{9.549} \\ P &= \frac{T_M * N}{9.549} \\ P &= \frac{23.73 * 1755}{9.549} = 4.4 \text{ [KW]} \end{aligned}$$

La altura influye en la potencia de los equipos, aprox. 3000 [m] que esta ubicada la fabrica se pierde 25% de la potencia, por lo que sobredimensionamos un 25%.

$$P = 1.25 * 4.4 = 5.5 \text{ [KW]}$$

Como el motor de AC va a trabajar a bajas revoluciones, se incrementan las perdidas y por ende la temperatura va aumentar, por lo que se necesita ventilación forzada<sup>26</sup> para este motor.

Los datos para la selección del motor son 5.5 [KW], 1750 [rpm], con ventilación forzada, con la ayuda de las tablas de selección y la experiencia del personal de mantenimiento eléctrico selecciona el siguiente motor Siemens con código de referencia:

---

<sup>26</sup> Ventilación forzada.- Se refiere a la ventilación proporcionada por un ventilador externo cuya ventilación generada es independiente de los giros del motor.

## 1LA6 130-4AA11-Z: H61+A23

Es el código de un motor asíncrono jaula de ardilla de carcasa de fundición de hierro con las siguientes especificaciones:

Código ref.: 1LA6 130-4AA11-Z: H61+A23	
Potencia: 6.3 [KW]	RPM: 1750 [r/min]
Voltaje: 440-480 [V] Y	Corriente: 11.1 [A]
fp: 0.82	Frecuencia: 60 [Hz]

Figura 3.5 Datos técnicos nuevos motores 7M3, 8M3 para las bombas

Motor incluido ventilador externo, sensor de temperatura y encoder de 1024 pulsos/revolución para captación de velocidad.

### *Reductor de velocidad*

Al utilizar un reductor se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Mayor precisión de velocidad a bajas revoluciones
- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

El tamaño del reductor de velocidad esta dado por el tamaño del motor específicamente el dato denominado frame, puesto que reductor y motor deben acoplarse perfectamente, el motor 7M3 tiene un frame 132, por lo que el reductor

debe tener un frame 132. La potencia que se desea a la salida del reductor debe ser igual o mayor al del motor multiplicada por un factor de servicio.

Para encontrar la relación de reducción tenemos que definir el rango de velocidad que necesitamos a la salida del reductor, este rango se define en base a la proporcionalidad entre las RPM necesarias para obtener los lt/min deseados mediante el trabajo de la bomba. Los datos del gráfico 3.5 son tomados del funcionamiento de la bomba del antiguo sistema cuenta litros.

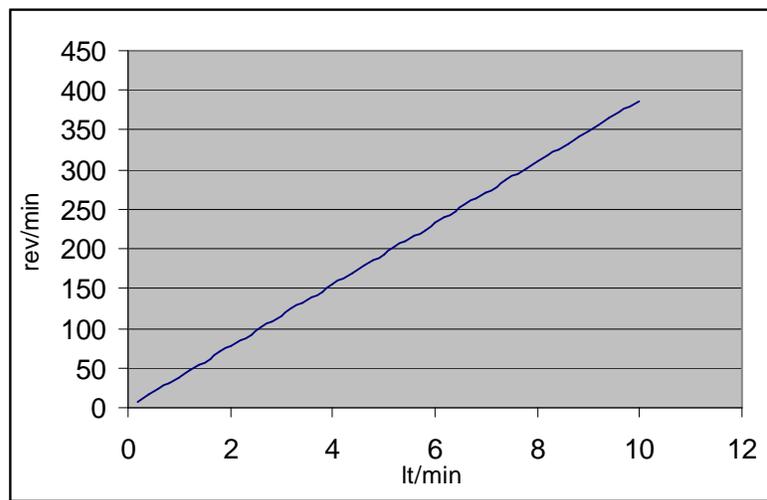


Figura 3.6 Rev/min. vs lt/min. antiguo sistema cuenta litros

Para obtener 7 lt/min necesito 271 rpm, si a 1755 rpm del motor debo obtener los 7 lt, para obtener la relación de reducción divido 1755 para 271 y obtengo 6.4. Cuando se usa reductores de velocidad, hay que tomar en cuenta que el torque a la salida esta definido por la siguiente expresión:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_2}{N_1} * fs \quad (3.12)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = N$$

$$T_2 = T_1 * N * fs$$

$T_2$ : torque motor

$T_1$ : torque reductor  
 $N_1$ : velocidad motor  
 $N_2$ : velocidad reductor  
 $N$ : relación de reducción  
 $f_s$ : factor de servicio

### *Bomba*

Los factores más importantes que permiten escoger una bomba adecuada son: presión última, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de líquidos a bombear (la eficiencia de cada bomba varía según el tipo de líquido). Para el dimensionamiento de la bomba, se anotó y se importó el mismo modelo de las bombas que ya existían, la misma es una bomba de rotor helicoidal o de gusano, el trabajo de bomba es a baja presión. Esta bomba es ideal para la dosificación de toda clase de líquidos.

### *Variador de velocidad para los motores de corriente alterna 7M3, 8M3*

Para el dimensionamiento del variador de velocidad tenemos presentes los datos del motor (tabla 3.4), la carga a manejar es una bomba y el voltaje de la red de alimentación es 440 [V] AC 3 $\phi$ , 60 [Hz].

Para la dimensión de variador adecuado para accionamientos con par resistente cuadrático (bomba) rige lo siguiente: la intensidad asignada del variador ha de ser por lo menos tan grande como la intensidad del motor a pleno par en el punto de carga requerido. (Siemens DA 65.10 2003/2004)

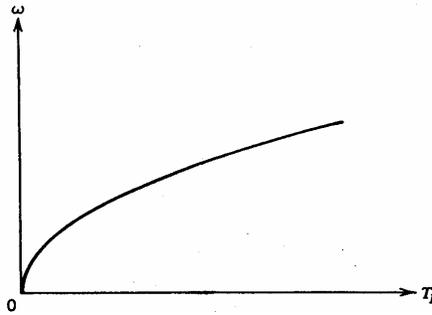


Figura 3.7 Curva torque carga-velocidad de una bomba

Aplicando el criterio anterior la potencia del variador debe ser 50% mayor que la potencia nominal del motor.

$$I_d = 1.5 \cdot I_{nom} \quad (3.13)$$

$$I_d = 1.5 \cdot 11.1 = 16.65 \text{ [A]}$$

$I_d$ : Corriente asignada al variador

$I_{nom}$ : Corriente nominal del motor

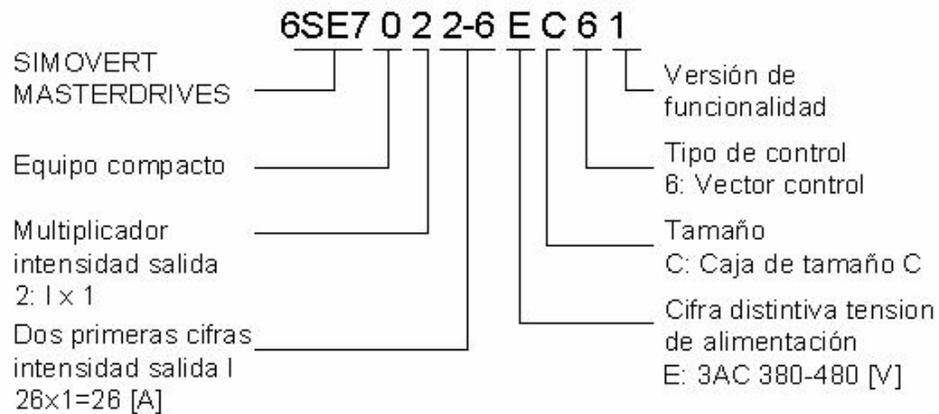
El control de velocidad que el variador realiza sobre el motor es un control en lazo cerrado, por lo que se necesita un encoder incremental para la realimentación de velocidad. Los variadores de velocidad actuales aplican el método de control vectorial al motor. El desarrollo de la tecnología ha permitido, crear nuevos métodos de control para los motores AC, uno de estos es el control vectorial.

Los métodos de control tradicionales para motores AC (por ejemplo  $v/f$ ), permiten tener un funcionamiento satisfactorio en estado permanente, pero su respuesta dinámica es mala. Un motor de inducción implica múltiples variables no lineales, así como características muy acopladas. La técnica de control vectorial, que también se llama control orientado al campo (FOC, de field-oriented control), y permite controlar un motor de inducción, de jaula de ardilla, con alto rendimiento dinámico, comparable a la característica de un motor de DC. La técnica FOC desacopla los dos componentes de la corriente en el estator: uno que proporciona el flujo en el entrehierro y el otro que produce el par. Proporciona un control

independiente del flujo y del par, y se linealiza la característica de control. (Rashid M, Electrónica de potencia, 2004).

Dentro de los variadores de velocidad para motores trifásicos de corriente alterna de jaula de ardilla, “SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control” es la marca registrada de equipos Siemens que cubren la mayoría de las potencias de los motores de AC jaula de ardilla y tiene como técnica de control de velocidad, el control vectorial. El catálogo de selección se denomina DA 65.10 SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control y el catálogo de instrucciones que se denomina SIMOVERT MASTERDRIVES VC-Instrucciones de Servicio que también ayuda a seleccionar y especificar.

En base a las tablas de selección y características requeridas se selecciona el variador de velocidad SIMOVERT cuyo código es el siguiente:



La información completa acerca de la información de los códigos de referencia de los variadores de velocidad se encuentra en el Anexo F.

En resumen y otras especificaciones a las que hace referencia el código son las siguientes:

Código ref.: 6SE7 022-6EC61
Potencia: 11 [KW]
Voltaje de entrada: 380-480 [V] 3φ AC
Frecuencia admisible de entrada: 50/60 [Hz] (+/-6%)
Corriente de salida: 25.5 [A]
Equipo compacto

Tabla 3.5 Datos variadores de velocidad para los motores 7M3, 8M3

### *Reactancia de conmutación de red 7T3, 8T3*

El motor como también la reactancia de conmutación puede sobrecargarse durante un breve tiempo. La corriente asignada de la reactancia trifásica 7T3, 8T3 es la corriente asignada del motor.

$$I_L = 0.82 \cdot I_{nom} \quad (3.15)$$

$$I_L = 0.82 \cdot 11.1 = 9.1 \text{ [A]}$$

$I_L$ : Corriente asignada a la reactancia

$I_{nom}$ : Corriente nominal del motor

En base a los cálculos de realizados y con la ayuda de los catálogos de selección DA.65 10 se seleccionan las reactancia de red.

Reactancia	Código	Corriente [A]
8T3	4EP3 600-5US00	25

Tabla 3.6 Datos reactancia de red para los variadores SIMOVERT

### *Elementos de protección y maniobra*

Los fusibles 7F3, 8F3 protegen a los tiristores de potencia del convertidor del variador de velocidad SIMOVERT se dimensionan para 1.25 la corriente asignada al variador.

$$I_{Fd} = 1.25 \cdot I_d \quad (3.16)$$

$$I_{Fd} = 1.25 \cdot 25.5 = 31.8 \text{ [A]}$$

$I_{Fd}$ : Valor de corriente del fusible para el variador

$I_d$ : Corriente nominal asignada al variador

Fusible	Código	Corriente [A]
7F3, 8F3	3NE8 003-1	35

Tabla 3.7 Datos fusibles nuevo circuito fuerza bombas

El interruptor automático o guarda motor 7Q3, 8Q3 protege ante sobrecargas y cortocircuitos a las bobinas del motor (7M3 o 8M3), se dimensiona para la corriente nominal del motor  $\pm 25\%$ .

$$I_{Qd} = I_{nomB} \quad (3.17)$$

$$I_{Qd} = 11.1 = 11.1 \text{ [A]}$$

$I_{Qd}$ : Valor de corriente del interruptor automático del variador

$I_{nomB}$ : Corriente nominal del motor de la bomba

El interruptor automático o guarda motor 7Q11, 8Q11 protege ante sobrecargas y cortocircuitos a las bobinas del motor del ventilador, se dimensiona para la corriente nominal del motor.

Nombre	Potencia	Voltaje	Corriente	Frecuencia	fp	RPM
7M2	0.212 [KW]	346-500 [V] Y	0.3 [A]	60 [Hz]	0.85	2960 [rpm]
8M2						

Tabla 3.8 Datos motores de los ventiladores externos

$$I_{Qv} = I_{nomV} \quad (3.18)$$

$$I_{Qv} = 0.3 = 0.3 \text{ [A]}$$

$I_{QV}$ : Valor de corriente del interruptor automático del motor del ventilador

$I_{nomV}$ : Corriente nominal del motor del ventilador

En base a los cálculos realizados y con la ayuda del catálogo low voltage 2004 de Siemens se selecciona los siguientes interruptores o guardamotores:

Interruptor automático	Código	Rango corriente [A]
7Q3, 8Q3	3RV10 31-4AA15	11-16
7Q11, 8Q11	3RV10 21-0JA15	0.7-1

Tabla 3.9 Datos guardamotores circuito fuerza de las bombas

El contactor 22K14, 22K16 se utiliza para alimentar al motor del ventilador externo, debe ser de categoría AC3, y para el valor de corriente asignada al contactor debe ser 1.5 veces el valor de la corriente nominal del motor.

$$I_{KV}=1.5*I_{nomV} \quad (3.19)$$

$$I_{KV}=1.5*0.25= 0.375 \text{ [A]}$$

$I_{KV}$ : Corriente de empleo del contactor del ventilador

$I_{nomV}$ : Corriente nominal del motor del ventilador externo

### 3.3.3 ALIMENTACION PRINCIPAL

La alimentación eléctrica al nuevo armario AGL-380 se divide en dos partes:

- La alimentación a la “parte de control” que comprende la alimentación al PLC y al circuito de control de los SIMOREG.
- La alimentación a la “parte de fuerza” que comprenden la alimentación a los circuitos de fuerza de tornillos sin fin y las bombas.

La alimentación principal al armario esta protegida mediante un interruptor automático de distribución y la independencia para la alimentación de la parte de control y parte de fuerza del armario se la realiza mediante contactores.

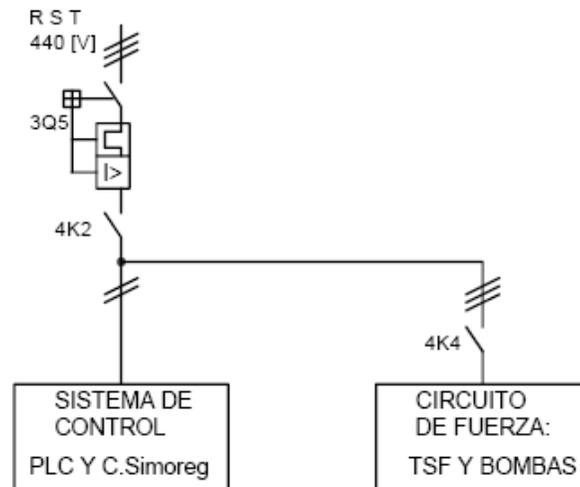


Figura 3.8 Diagrama unifilar alimentación principal

### *Interruptor automático principal*

El interruptor automático de distribución 3Q5 es un elemento que protege ante sobrecargas y cortocircuitos a todo el armario, este se dimensiona para la corriente total de los circuitos instalados.

$$I_T = \sum I_{SF} + I_C = I_{QT} \quad (3.20)$$

$I_T$ : Corriente total del circuito de alimentación.

$\sum I_{SF}$ : Suma de las corrientes de los circuitos de fuerza.

$I_C$ : Corriente de la parte de control

$I_{QT}$ : Valor nominal de la corriente del interruptor automático principal.

El valor de la corriente para la parte de control tiene que ver con la alimentación al PLC, indicadores, bobinas de contactores, reles de interface, electro válvulas y tiene un valor de:

$$I_C = 3 \text{ [A]}$$

La suma de las corrientes de los circuitos de fuerza:

$$\begin{aligned}\sum I_{SF} &= I_{SFtsfEXT} + I_{SFtsfINT} + I_{SFBext} + I_{SFBint} \\ \sum I_{SF} &= 26.17 + 26.17 + 11.4 + 11.4 = 75.14 \text{ [A]}\end{aligned}\tag{3.21}$$

$I_{SFtsfEXT}$ : Corriente del circuito de fuerza de los tornillos sin fin de la capa externa.

$I_{SFtsfINT}$ : Corriente del circuito de fuerza de los tornillos sin fin de la capa interna.

$I_{SFBext}$ : Corriente del circuito de fuerza de la bomba de la capa externa.

$I_{SFBint}$ : Corriente del circuito de fuerza la bomba de la capa interna.

Entonces:

$$I_T = \sum I_{SF} + I_C = 75.14 + 3 = I_{QT} = 78.14 \text{ [A]}$$

SETRON es la marca registrada de Siemens que posee los interruptores automáticos caja moldeada 3VL, de elevadas prestaciones, cumplen con todos los requerimientos actuales de los sistemas de distribución eléctrica.

El valor de corriente asignada debe ser 78.14 [A] y el poder de ruptura a cortocircuitos debe ser el estándar:  $I_{cu} = 40$  a 50kA a AC 380/415V 50/60Hz. Con la ayuda del catálogo NS VWL se elige el interruptor automático cuyo código es el siguiente:

3VL17 10-1DA36-0AB1

Es un interruptor automático con una corriente asignada regulable de 80-100 [A], voltaje asignado 380-415 [V], poder de ruptura estándar, con dos contactos auxiliares (NC+NO), sin disparador de mínima tensión.

*Contactores 4K2, 4K4*

El contactor 4K2 alimenta de tensión a las barras de cobre que alimentan a todo el nuevo armario, se dimensiona para 1.5 veces la corriente total de los circuitos instalados.

$$I_{KT} = 1.5 \cdot I_T \quad (3.22)$$

$$I_{KT} = 1.5 \cdot 78.14 = 117.21 \text{ [A]}$$

$I_{KT}$ : Valor de corriente nominal del contactor 4K2.

El contactor 4K4 alimenta de tensión a las barras de cobre que alimentan al circuito de fuerza, se dimensiona para 1.5 veces la corriente total de los circuitos de fuerza.

$$I_{KF} = 1.5 \cdot \sum I_{SF} \quad (3.23)$$

$$I_{KF} = 1.5 \cdot 75.14 = 112.71 \text{ [A]}$$

$I_{KF}$ : Valor de corriente nominal del contactor 4K4.

Contactor	Código	Potencia [KW]
4K2, 4K4	3RT10 46-1AP04	45
22K14, 22K16	3RT10 23-1AP04	4

Tabla 3.10 Datos contactores utilizados

### *Conductores para alimentación principal*

Se dimensionan para 1.25 veces la corriente total de los circuitos instalados.

$$I_E = 1.25 \cdot I_T \quad (3.24)$$

$$I_E = 1.25 \cdot 78.14 = 97.67 \text{ [A]}$$

$I_E$ : Valor de corriente del conductor de alimentación

Para la selección de los conductores de los alimentadores principales y alimentadores a los motores, se debe tener en cuenta que la caída de voltaje no exceda el 4%, tal como lo recomienda las normativas para las instalaciones industriales.

Para los alimentadores principales se selecciona el calibre del conductor de cobre AWG No. 1/0, se verifica mediante la caída de voltaje. Para la alimentación a los motores de DC de los tornillos sin fin se utiliza el cable 4x8 AWG, para los motores de AC de las bombas se selecciona el cable 4x12 AWG y para los motores de los ventiladores externos el cable 4x14 AWG, verificados mediante la caída de voltaje.

El conductor de neutro debe soportar un valor de corriente mayor o igual a la corriente de una de las fases. Según otro criterio, el valor de la corriente del neutro es el doble de una de las fases.

El valor de corriente asignada a las barras de cobre de alimentación, es 1.5 veces el valor de la corriente total de los circuitos.

$$I_B = 1.5 \cdot I_T \quad (3.25)$$

$$I_B = 1.5 \cdot 78.14$$

$$I_B = 117.21 \text{ [A]}$$

$I_B$ : Valor de corriente para las barras de cobre

$I_T$ : Valor de corriente total de los circuitos instalados

La barra de cobre de 20x10 [mm] soporta una corriente 150 [A], pero lamentablemente en el mercado local no se las encontró por lo que se usó la barra de cobre de 30x10 [mm] que soporta una corriente de 250 [A].

### **3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PLC**

Las razones para recurrir a un PLC en la automatización de un proceso de fabricación son diversas y en general dependen en gran medida del propio proceso en cuestión. Sin embargo hay razones de mucho peso:

Independencia de la calidad técnica del operador.- Un proceso bien automatizado con un PLC en general depende en grado mínimo de la formación del operador, ya que la administración de recursos (la inteligencia del proceso) no está en sus manos.

Aumento en la calidad del producto manufacturado.- La repetibilidad, la falta de errores humanos, la toma de decisiones en tiempo real, etc., redundan en elevación de la calidad del producto manufacturado.

Productividad.- El considerable aumento en la velocidad de control y operación del proceso incide en forma decisiva en la productividad. Si bien otro tipo de automatizaciones no basadas en PLCs pueden también incrementar la productividad, en general un sistema automatizado con PLCs es sensiblemente más fácil de mantener, mucho mas simple en su concepción y totalmente modificable.

### **3.4.1 SELECCIÓN DEL PLC**

Siemens ofrece 3 principales gamas de PLC para automatización de procesos:

Simatic S7-200

Micro-PLC para aplicaciones de automatización sencillas, que por motivos económicos no se aplicaban hasta ahora autómatas programables.

Simatic S7-300

Sistema de autómatas modulares para aplicaciones complejas, con una amplia variedad de módulos para una adaptación óptima a una tarea de automatización en particular.

## Simatic S7-400

Sistema de autómatas modulares de alto rendimiento para las tareas más sofisticadas, con una extensa variedad de módulos y varias CPUs de potencia escalonada para una adaptación óptima a la tarea de automatización planteada.

Por las bondades que brinda la gama S7-300, el presente proyecto va a ser desarrollado utilizando la gama S7-300.

### **3.4.1.1 Cantidad y tipo de módulos de entradas/salidas**

La cantidad de entradas se refiere al número de entradas/salidas digitales, entradas/salidas analógicas y entradas especiales del PLC. Se debe agregar un 25% de expansión a todas las entradas y salidas por posibles modificaciones o ampliaciones del proceso.

#### *Módulos entradas y salidas digitales*

Las entradas digitales nos permiten recibir información discreta, es decir de dispositivos que nos entregan señales SI/NO, tales como sensores de proximidad, pulsantes, selectores, contactos auxiliares, etc. Estas entradas deben trabajar con tensiones de 24 [V] DC o menos. Las razones son varias, pero la más importante es la seguridad del operador de la máquina, ya que éste estará en contacto con los pulsantes.

Las salidas digitales nos entregan también información discreta SI/NO, la que nos permite accionar reles de interfase, electro válvulas, lámparas de señalización, etc. Estas salidas van a trabajar con tensiones bajas 24 [V] DC. No se alimenta directamente de las salidas digitales a las bobinas de los contactores, electro válvulas, se lo hace a través de reles de interface, las señales de mando a los variadores de velocidad también se da a través de los reles de interface. Estas salidas deben proporcionar una corriente capaz de manejar estos dispositivos.

Para las entradas y salidas digitales seleccionamos los módulos de 32 señales, ahorramos espacio y dinero al ubicar en el armario módulos de 32 señales en vez de 2 módulos de 16 señales, otra característica de estos módulos deben tener separación galvánica. Las entradas y salidas trabajan a 24 [V] DC, las salidas entregan una corriente hasta 0.5 [A].

Cantidad	Módulo	Código
4	32 entradas digitales en 2 grupos de 16 entradas	6SS7 321-1BL00-0AA0
4	32 salidas digitales en 4 grupos de 8 salidas c/u.	6SS7 322-1BL00-0AA0

Tabla 3.11 Módulos entradas y salidas digitales

### *Módulos entradas y salidas analógicas*

Las entradas analógicas reciben información continua, dicha información proviene de los potenciómetros para el mando manual de los motores, las señales de peso de la balanza de cinta y la señal de corriente del potenciómetro de ingreso de material. Las señales analógicas que provienen de los amplificadores de la señal de peso de balanza de cinta llegan a través de opto aisladores al PLC. En general las entradas analógicas deben ser estándar, es decir señales de 4-20 [mA] y -10/0/+10 [V] DC. Las señales analógicas son convertidas en información digital en el interior del PLC, por esto es importante que la CPU posea capacidad aritmética y de manejo de palabras.

Para las entradas analógicas seleccionamos un modulo de 8 entradas formando 4 grupos de canales, una resolución de 12 bits, tipo de medición elegible por cada grupo de canales: tensión, intensidad, resistencia, temperatura, con separación galvánica respecto a la conexión del bus posterior que une los distintos módulos con la CPU.

Las salidas analógicas entregan información en forma de tensión o corriente, utilizamos para las consignas de velocidad a los variadores de velocidad de los motores. Así mismo estas señales deben ser normalizadas de 4-20 [mA], -10/0/+10 [V] DC.

Para las salidas analógicas seleccionamos un modulo de 4 canales, resolución de 12 bits, tipo de salida elegible para cada canal: tensión o intensidad, con separación galvánica respecto a la conexión del bus posterior.

Cantidad	Módulo	Código
3	8 entradas analógicas formando 4 grupos de canales	6SS7 331-7KF02-0AA0
3	4 salidas analógicas	6SS7 332-5HD01-0AA0

Tabla 3.12 Módulos entradas y salidas analógicas

### *Módulos entradas digitales especiales*

Nos facilitan la conexión a dispositivos que entregan señales pulsantes de alta velocidad, tales como encoders incrementales del sistema cuenta litros. Seleccionamos un modulo de entradas especiales, las mismas que son los pulsos de los cuatro encoder del sistema cuenta litros, seleccionamos el modulo de función FM 350-2 diseñado para la lectura de los canales de encoder incremental, discrimina sentido de giro del encoder, conexión de hasta 4 encoders incrementales, selección de contaje ascendente o descendente, máxima frecuencia de contaje 10 [KHz], parametrizable vía software STEP 7.

Cantidad	Módulo	Código
1	Lectura de 4 encoders: canal A y B	6SS7 350-2AH00-0AE1

Tabla 3.13 Modulo de función FM 350-2

### 3.4.1.2 Fuentes de alimentación para las entradas y salidas del PLC

SITOP es la marca registrada de Siemens para fuentes de alimentación con voltaje de entrada de 110/220 [V] AC y voltaje de salida de 24 [V] DC, el voltaje continuo de salida es constante. Las fuentes utilizadas en el proyecto tienen la capacidad de corriente de 10 [A]. Para la alimentación a la CPU se utiliza una fuente PS diseñada para instalarse junto a la CPU y los otros módulos de señales.

Fuente	Código	Capacidad [A]
3G11, 3G15	6EP1 334-3BA00	10
3G8	6ES7 307-1KA01-0AA0	10

Tabla 3.14 Datos de las fuentes de alimentación para PLC

### 3.4.1.3 Memoria

La mayoría de CPU de la gama S7-300 utiliza una memoria externa para almacenar el programa de usuario, la configuración del PLC y enlaces de comunicación. Esta memoria se denomina Micro Memory Card (MMC), para determinar la capacidad de la MMC del PLC se aplica el siguiente procedimiento en base a sumas y multiplicaciones, no es un cálculo exacto pero es útil para dimensionar.

Tenemos en total 147 entre entradas/salidas digitales, por cada entrada/salida digital se realizan aprox. 10 instrucciones.

Tenemos en total 18 entradas/salidas analógicas, por cada entrada/salida analógica se realizan aprox. 10 instrucciones entre sumas, restas, etc., estas instrucciones necesitan 2 palabras.

Utilizaremos 10 timer y 3 contadores, cuando utilizamos un timer y un contador se realizan aprox. 8 y 5 instrucciones respectivamente.

Tenemos 20 bloques de programa o subrutinas, por cada bloque de programa se utiliza aprox. 50 instrucciones.

Cada instrucción utiliza 1 palabra.

En base a la información anterior calculamos el número total de palabras:

Calculo de palabras para:

- Entradas/salidas digitales:  $147 \times 10 = 1470$
- Entradas/salidas analógicas:  $18 \times 10 \times 2 = 360$
- Timer:  $10 \times 8 = 180$
- Contadores:  $3 \times 5 = 15$
- Bloques de programa:  $20 \times 50 = 1000$

Total de palabras:  $3025$  palabras

Cada palabra ocupa 2 bytes:  $3025 \times 2 = 6050$  bytes = 6 Kbytes

Por modificaciones y/o ampliaciones aumentamos un 25 % a 50 %:

$$6 \times 1.5 = 9 \text{ Kbytes}$$

La capacidad mínima de una la micro memory card (MMC) es 56 K, pero la diferencia económica de una MMC de 128 K y 56 K es mínima se decidió por una MMC de 128 K.

#### **3.4.1.4 Tipo de CPU**

La CPU a utilizar debe tener un tiempo de ejecución o de ciclo que sea menor que el tiempo de ejecución de todas las tareas de control del proceso, especialmente menor que el tiempo de respuesta de la regulación de resina ( $\cong 1.2$  s). El tiempo de ciclo es el tiempo que transcurre durante un ciclo de programa.

Hoy en día es importante el poder establecer comunicaciones con otros PLC, la CPU debe tener la posibilidad de comunicarse con su periferia por algún puerto de comunicación puede ser Profibus, Ethernet industrial u otro protocolo de comunicación industrial.

La CPU utilizada en este proyecto es la 315-2DP, que tiempo de ciclo máximo 3 [us] para operaciones en coma flotante, dos puertos de comunicación MPI y profibus DP.

	Código
CPU 315-2DP	6ES7 315-2AG10-0AB0
Memory card 128 Kytes	6ES7 953-8LG11-0AA0

Tabla 3.15 Dato de CPU y micro memory card

#### 3.4.1.5 Elementos de conexión física

Para la alimentación a las bobinas de los contactores, bobinas y contactos de los relés de interface se utiliza el cable No.16 AWG. Se utiliza el cable No.18 AWG para entradas y salidas digitales del PLC. Para las señales analógicas se utiliza cable blindado tipo malla.

Se utilizo terminales de aluminio para los cables, el utilizar terminales ofrece varias ventajas como son la simplificación del cableado, ya que el encapsulado de la funda de aluminio se realiza automáticamente al apretar la conexión en la bornera, perfecta resistencia a las vibraciones, ausencia de deformación de los hilos flexibles, ahorro de tiempo en la ejecución y en la conexión.

La canaleta ranurada ayuda a la distribución de los cables dentro del armario, a más de mejorar la estética del mismo. La canaletas son de varias medidas, utilizamos la canaleta de 80x60 [mm] para la distribución de los cables en el gabinete 3 del armario, lugar donde se encuentra el PLC y el % mayor de cables, canaleta 60x60 [mm] para el gabinete 1 y 2 del armario, canaleta 40x40 [mm] para

el cableado de los pulsantes e indicadores de la puerta 3 del armario y canaleta de 20x20 [mm] para el cableado del pulsante de emergencia ubicado en la puerta 2 del armario.

La riel din permite la fácil instalación de los componentes en el armario, a mas de la facilitar el reemplazo de los mismos si es necesario. Existen varios tipos de riel din según la forma y la medida. Nosotros utilizamos la riel din en c (┌┐) de 35 [mm].

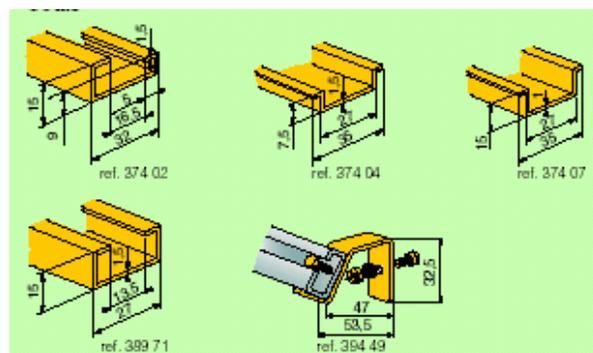


Figura 3.9 Formas de riel din

## 3.4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA

### 3.4.2.1 Software utilizado

STEP 7 es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC. STEP 7 forma parte del software industrial SIMATIC. El software estándar STEP 7 presenta las siguientes variantes:

- STEP 7-Micro/DOS y STEP 7-Micro/WIN para aplicaciones sencillas en sistemas de automatización SIMATIC S7-200.
- STEP 7 para aplicaciones en sistemas de automatización SIMATIC S7-300/400, SIMATIC M7-300/400 y SIMATIC C7 con funciones ampliadas.

Con el STEP 7 se pueden utilizar las siguientes funciones para la automatización de una instalación:

- Crear la estructura de directorios necesaria para la gestión de cada proyecto
- Configurar el hardware del equipo
- Desarrollar programas de usuario off-line
- Cargar y descargar programas de usuario y datos en el PLC
- Depurar el programa en fase de ejecución sin necesidad de interrumpir la ejecución del programa (on-line)
- Realizar funciones de test o estado de variables y zonas de la memoria
- Realizar funciones de forzado de variables
- Elaborar documentos para la fase de mantenimiento posterior
- Analizar el estado y comportamiento de la CPU (pilas, tiempos,...) y de los módulos de señal asociados.

En una CPU corren dos programas:

Sistema operativo.- Está contenido en cada CPU y organiza todas las funciones y procesos de la CPU no relacionados con una tarea de control específica. Entre sus funciones están:

- Gestionar el arranque normal y completo del PLC
- Actualizar la imagen del proceso de entradas y salidas
- Llamar al programa de usuario
- Detectar alarmas y llamar a los programas de atención a las mismas
- Reconocer y tratar los errores
- Administrar las áreas de memoria
- Comunicar con unidades de programación y otros sistemas de supervisión

Programa de usuario.- Hay que crearlo y cargarlo la CPU. Contiene todas las funciones necesarias para la tarea de control de una aplicación específica. Entre las tareas del programa de usuario están:

- Definir las condiciones de arranque (completo ó normal) de la CPU
- Tratar datos del proceso (funciones combinatorias, valores analógicos,...)
- Reaccionar a alarmas
- Tratamiento de perturbaciones en el funcionamiento normal del programa

Un programa de usuario S7 consta de bloques, juego de operaciones y operandos.

### *Bloques de organización (OB)*

Constituyen la forma de comunicación entre el sistema operativo de la CPU y el programa de usuario. Existen 3 tipos de OB, los cuales están accesibles o no según el tipo de CPU:

- OB 1 (ciclo libre): es el bloque principal, el que se ejecuta cíclicamente y del que parten todos los saltos a otros bloques.
- OB de error y alarma: son los bloques que contienen la secuencia de acciones a realizar en caso de que se produzca una alarma o error programado.
- OB de arranque: en este bloque podemos introducir valores por defecto que permiten el arranque definido a la instalación, bien en un arranque inicial o tras un fallo en la alimentación.

### *Funciones (FC)*

Son bloques en los que podemos incluir parte del programa de usuario con lo que obtenemos un programa mucho más estructurado. A estos bloques se pueden acceder desde otro bloque FC o desde un bloque OB.

### *Bloques de funciones (FB)*

Son bloques de programa especiales. Aquí se introducen las partes de programa que aparecen con frecuencia o poseen gran complejidad. Posee una zona de

memoria asignada para guardar variables (bloque de datos de instancia). Lo que se hace es enviar parámetros al FB y guardar algunos de los datos locales en el bloque de datos de instancia.

### *Bloques de datos (DB)*

Son áreas de memoria destinadas a contener datos del programa de usuario. Existen bloques de datos globales y de instancia. A los datos contenidos en un bloque de datos es posible acceder de forma absoluta o simbólica. Los datos complejos o compuestos pueden depositarse en forma de estructura. Los bloques de datos pueden ser de dos tipos:

- Bloque de datos globales: se pueden utilizar por cualquier bloque del programa.
- Bloque de datos de instancia: se asignan a un determinado bloque de función (FB) y solo pueden manejarse desde dicho módulo. Pueden asignarse varios bloques de datos de instancia a un bloque de función.

### *Bloques de funciones especiales (SFB)*

Se tratan de bloques ya programados, los cuales están preparados para realizar acciones complejas como regulación PID (lazo cerrado), medida de frecuencia, etc.

### *Bloque de funciones del sistema (SFC)*

Son funciones integradas en el sistema operativo de la CPU y que se pueden llamar en caso de necesidad desde el programa de usuario.

### *Juego de operaciones de las CPUs S7*

Las CPUs ofrecen operaciones que permiten crear bloques en los diferentes lenguajes de programación.

## Operandos

### Áreas de memoria y periferia de las CPUs S7

Los bloques de un programa de usuario se deben llamar para fines de tratamiento. Esto tiene lugar a través de operaciones STEP 7 especiales, denominadas llamadas de bloque. Las llamadas de bloque se pueden programar solamente dentro de los bloques lógicos (OBs, FBs, FCs, SFBs y SFCs). Se pueden comparar con los saltos a un subprograma. Cada salto provoca un cambio de bloque. La dirección de salto en el bloque invocado es memorizada de forma intermedia por el sistema.

La secuencia y el anidamiento de las llamadas de bloques se denominan jerarquía de llamadas. La profundidad de anidamiento admisible depende del tipo de CPU.

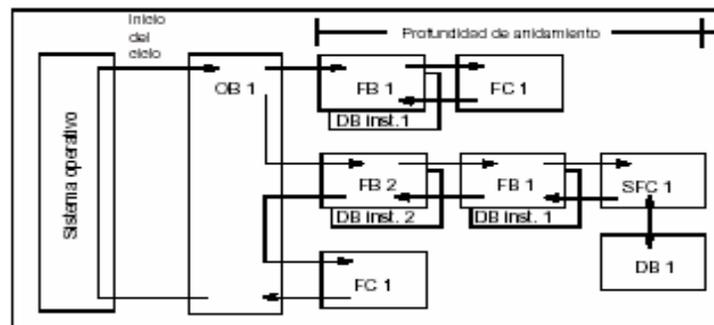


Figura 3.10 Ejemplo de jerarquía de llamadas de un programa de usuario

Los lenguajes de programación los que posee STEP 7 son:

- Diagrama de funciones FUP
- Diagrama de contactos KOP
- Lista de instrucciones AWL
- Texto estructurado SCL
- Gráfico secuencial GRAPH7
- Diagrama de bloques CFC

- Diagrama de gráficos de estado HIGRAPH7

### **3.4.2.2 Programa de usuario**

El programa de usuario completo se puede escribir en el OB 1 (programación lineal). Esto se recomienda únicamente cuando los programas son simples y se ejecutan en las CPUs del S7-300 con poco volumen de memoria.

Las funciones complejas de automatización se pueden procesar mejor si se dividen en tareas más pequeñas que correspondan a las funciones tecnológicas del proceso de automatización o si se deben utilizar frecuentemente. Estas tareas parciales están representadas (programación estructurada) en el programa de usuario mediante los bloques.

Conociendo el funcionamiento del proceso de dosificación se puede dividir en dos macro tareas que son, la regulación de cantidad de material y la regulación de caudal de resina. Estas dos macro tareas se pueden dividir en micro tareas.

Para el cumplimiento de la regulación de la cantidad de material y caudal de resina se procede a revisar protecciones de los equipos, revisar modo de funcionamiento, limitar ingreso de consignas, procesar consignas ingresadas y limitadas, procesar señales de realimentación, realizar regulaciones PI, limitar señales de salida, procesar señales para visualización en la HMI del sistema, cargar totalizadores de consumo. Se han utilizado los bloques de programa que existen ya creados en el STEP 7 que realizan ciertas tareas, como por ejemplo escalar valores analógicos, y también se creó bloques de programa dedicadas a para el cumplimiento de ciertas tareas.

El bloque de organización OB1 llama a las bloques del programa para controlar el proceso de dosificación de resina.

### *Seteo de valores iniciales*

Si el PLC se reinicia<sup>27</sup>, el OB100 carga los valores por default de las consignas del proceso y los estados iniciales de las marcas internas utilizadas en el programa. En el caso de las consignas del proceso, los valores por default son los pertenecientes a la producción de tableros de aglomerado de 12 [mm] de espesor.

### *Revisión de protecciones*

El bloque de función FB4 revisa todas las protecciones del sistema mediante la lectura de los contactos auxiliares de los guarda motores, contactores, reles de interfase del sistema que son entradas digitales al PLC. Revisa si no están presionados los pulsantes de emergencia del sistema, revisa las protecciones de fuentes de alimentación de 24 [V] DC para alimentar las entradas y salidas del PLC, las protecciones de cada uno de los cuatro variadores de velocidad, luego del arranque de los variadores se revisa el OK de estos, mediante la lectura de una salida digital de cada variador que al PLC ingresa com entrada digital.

### *Revisión modo de funcionamiento*

En el OB1 se discrimina el modo de funcionamiento mediante la posición de los selectores de modos de funcionamiento automático/manual, enclavado, control T/CX 10.

### *Limitación ingreso de consignas*

La función FC22 limita las consignas ingresadas, puesto que si el operador tiene la posibilidad de ingresar cualquier valor absurdo, el PLC podría procesar estos

---

<sup>27</sup> Reinicio PLC.- La CPU pasa de modo STOP a RUN, debido a cambio de posición del selector de modo o luego de un corte de energía.

valores con el peligro de un funcionamiento peligroso del sistema. Los bloques de función FB2, FB3 procesan y transfieren las consignas ya procesadas.

#### *Procesamiento de señales de realimentación*

En el bloque de organización OB35 se discrimina la señal del encoder del vaso de resina que esta actualmente descargándose. A más de lo anterior el OB 35 junto con las funciones FC1, FC48, FC105 procesan las señales de realimentación del proceso, las señales de realimentación para los controles PI son las 2 provenientes de los amplificadores de corriente de la balanza de cinta y las 2 señales de pulsos de los encoders del sistema cuenta litros. Este procesamiento se lo realiza para tener magnitudes proporcionales entre la señal de consigna y el valor de proceso real o realimentación.

El bloque de organización OB35 esta programado para que se ejecute cíclicamente cada 1segundo.

#### *Controles proporcional-integral (PI)*

El tiempo de respuesta para la regulación de caudal de resina es aprox. 1.2 segundos y para la regulación de cantidad de material es aprox. 9 segundos. El bloque de función FB41 es un bloque ya creado, encaminado a realizar control proporcional integral derivativo PID a procesos industriales, se lo puede configurar para realizar los siguientes tipos de control: PID, PI, PD, P, I. Analizando las características del proceso, el tipo de control a realizarse es un PI. Al FB41 se llama 2 veces cada 2 segundos para regular el caudal de resina en la capa externa e interna y 2 veces cada 10 segundos para regular la cantidad de material en la capa externa e interna. Con solo un bloque de regulación PI (FB41) y la creación de 4 bloques de datos de instancia (DB41, DB42, DB43, DB44) encargados de almacenar los valores de consigna, proceso y señal de salida se logra realizar la regulación PI de velocidad a los cuatro motores.

### *Procesamiento y limitación de señales de salida*

Las señales de las consignas de velocidad de los cuatro variadores están limitadas, especialmente en el caso de los dos variadores de los motores de los tornillos sin fin dosificadores puesto estos no deben girar a su máxima velocidad debido a que podría pasar excesivo material que puede dañar el sistema de peso. La función FC22, FC106 limitan y procesan las señales de las consignas de velocidad de los cuatro variadores de velocidad, estas señales para las consignas de velocidad son señales de corriente (4-20 [mA]) debido a que la señal de corriente es más inmune al ruido que una señal de voltaje.

### *Procesamiento de señales para visualización*

Debido a que la HMI del sistema se encuentra a una distancia considerable (60m) del armario eléctrico, se ha configurado una red profibus para enlazar la HMI de control y visualización del proceso. La función FC43 y los bloques de funciones del sistema SFC14, SFC15 son las encargadas de enviar y recibir los datos de la HMI a través de la red profibus configurada. El diseño de la red profibus se va indicar en el capítulo 4, en donde se describe el diseño de la HMI.

### *Totalización de consumos*

Al final de un turno de producción, el supervisor encargado anota los consumos totales de material (astilla de madera) y resina para realizar estadísticas de consumo. Se ha creado un bloque (FC45) para totalizar en registros el consumo de material y resina en las dos capas, a estos registros se los puede reiniciar mediante un pulsante del pulpito de la prensa.

La ejecución de los bloques del programa de usuario, que es lo mismo decir la ejecución y el cumplimiento de las tareas va dar como resultado el correcto funcionamiento del proceso de dosificación de resina.

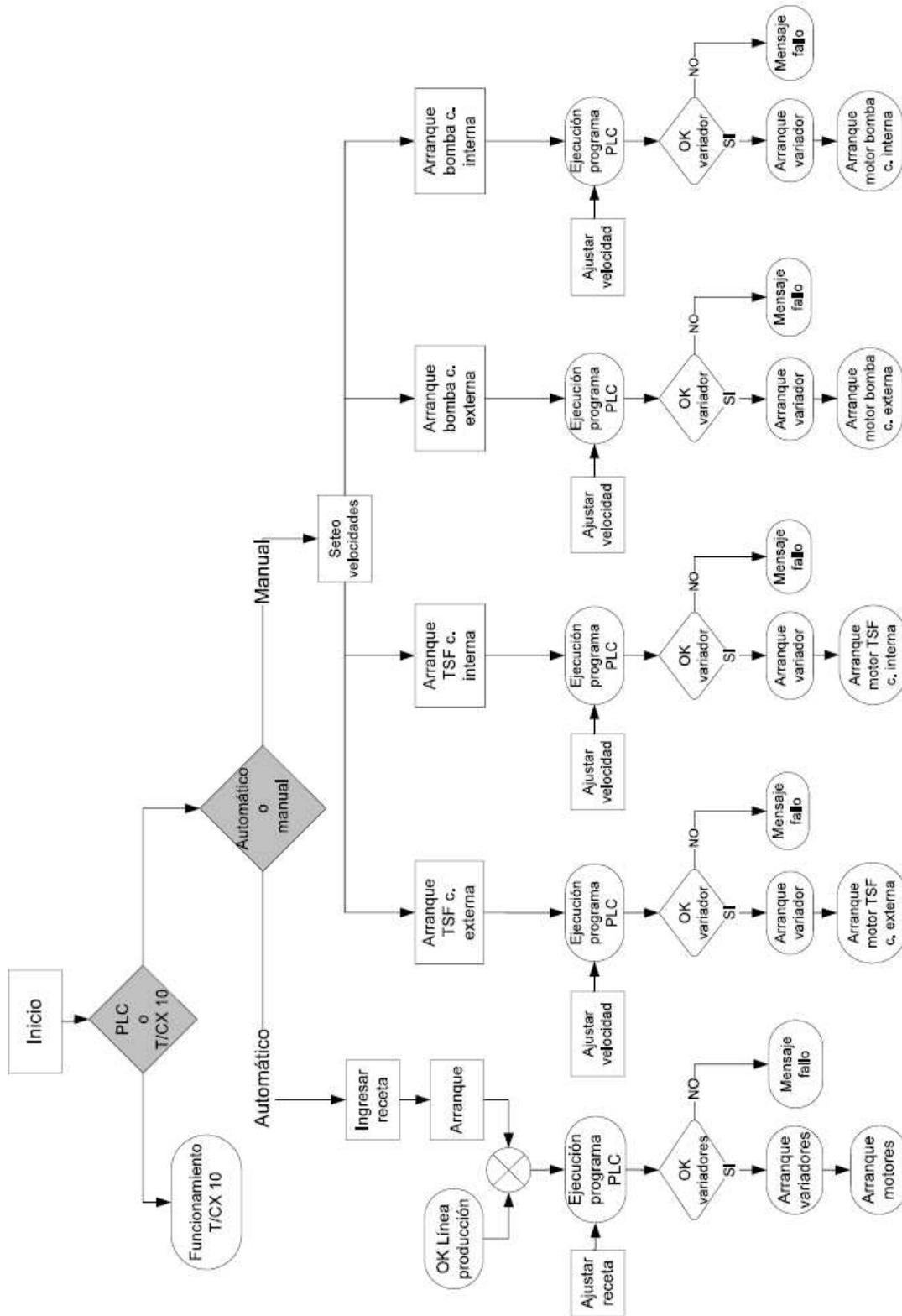


Figura 3.11 Diagrama de flujo del funcionamiento del nuevo sistema control proceso dosificación

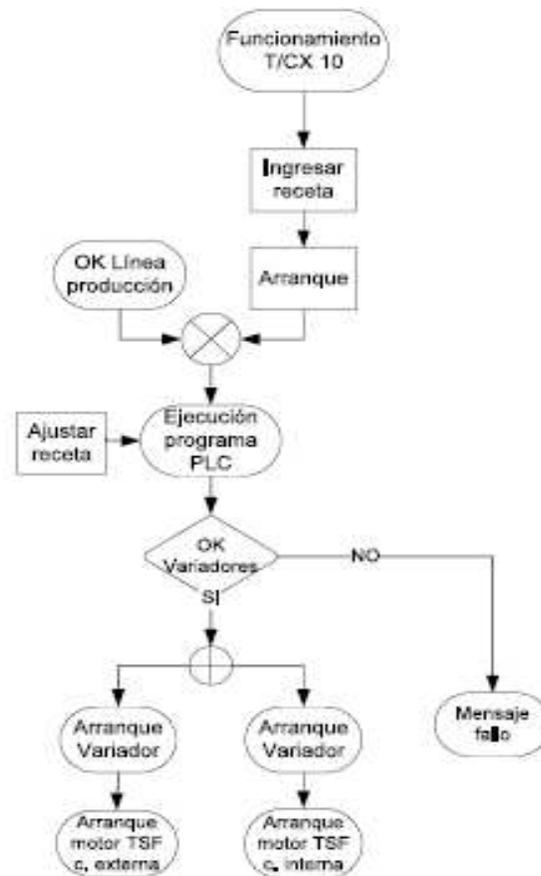


Figura 3.12 Diagrama de flujo de funcionamiento del nuevo sistema control proceso de dosificación (continuación)

### 3.5 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA CUENTA LITROS

La función principal del sistema cuenta litros es generar una señal que sea proporcional al caudal real de resina que la bomba esta enviando a la encoladora. Analizando el funcionamiento del sistema cuenta litros existente, se investigó la posibilidad de implementar otro sistema que cumpla con la función establecida, al final de la investigación se concluye que el sistema existente tiene una alta precisión, confiable y es económico. La implementación del mismo se lo realizado en base al sistema existente y con los amplios conocimientos que el personal de mantenimiento de ACOSA lo tienen. Los elementos que se seleccionaron son:

### *Estructura metálica*

En la estructura metálica donde están alojados todos los componentes del sistema cuenta litros. La señal para determinar el caudal real de resina depende considerablemente de la realización exacta de la estructura con el diseño. El diseño fue realizado en base al antiguo sistema. La estructura es modular para un fácil traslado de la misma, por ser modular todas sus partes están unidas mediante pernos y arandelas de presión para evitar vibraciones que afecten a las señales eléctricas, a mas de que la estructura esta fija al suelo mediante pernos y tacos de fijación.

La estructura metálica del sistema cuenta litros esta construida en acero inoxidable y cubierta con pintura anticorrosivo debido al ambiente de trabajo, fue diseñada y construida por DICOMSA, empresa ecuatoriana dedicada al diseño y construcción de instalaciones mecánicas.

### *Vasos de depósito de resina*

El sistema cuenta litros se compone de cuatro vasos para deposito de resina, de los 4 vasos del sistema cuenta litros, 2 vasos se encargan de la dosificación de la capa externa y 2 de la capa interna, de los 2 vasos, mientras el primer vaso se descarga de resina por acción de la bomba dosificadora, el segundo se carga con resina del deposito de preparación de resina por acción física de vasos comunicantes. La conmutación de carga y descarga la realiza la válvula de cuatro vías. La forma geométrica de estos vasos es homogénea, algo que es indispensable para la evaluación del caudal de resina. Los vasos fueron importados de Imal s.r.l.

### *Boya, piola, imán.*

Estos elementos son parte del kit importado con los vasos. Dentro de cada vaso se suspende una boya, la misma que esta atada al extremo de una piola y en el otro extremo un imán, la piola descansa sobre el eje de un encoder incremental

por medio de una polea. El imán sirve de contrapeso para la boya. En el vaso de descarga de resina cuando la boya esta en la parte inferior, el imán se acerca al sensor magnético colocado en la parte superior del vaso, cuando el sensor magnético detecta la presencia del imán cierra su circuito interno, generando una señal de 1 lógico al PLC AGL-380 y este da la señal a una electro válvula que hace conmutar la válvula de cuatro vías.

### *Componentes neumáticos*

La instalación neumática se compone de una unidad de mantenimiento para tener aire seco y limpio, a más de un regulador de presión. Tenemos una instalación neumática individual para los elementos de la capa externa y otra instalación de la capa interna.

Se utilizan electro válvulas 5/2 marca FESTO para el manejo de los cilindros de doble efecto neumáticos, los mismos que son para el manejo de la válvula de cuatro vías y válvula de apertura. FESTO es una marca garantizada en lo que tiene que ver con elementos para neumática.

### *Componentes eléctricos*

Sensores magnéticos y electro válvulas.- El sensor magnético colocado en la parte superior del vaso de deposito, como ya se explicó hace la función de fin de carrera, los estados lógicos del sensor magnético son utilizados en bloques biestables en el programa del PLC AGL-380. La bobina de las electro válvulas son a 24 [V] en DC.

Encoders incrementales.- Los encoders generan los pulsos para ser evaluados y así obtener el valor real de caudal de resina. El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de pulsos digitales, la frecuencia de los pulsos es proporcional a la velocidad angular.

La detección del movimiento angular en un encoder se ejecuta en base al principio de exploración fotoeléctrica. El sistema de lectura del encoder se basa en la rotación de un disco graduado con un retículo radial formado por líneas opacas, alternadas con espacios transparentes. Este conjunto está iluminado de modo perpendicular por una fuente de rayos infrarrojos. El disco proyecta de este modo su imagen sobre la superficie de varios receptores.

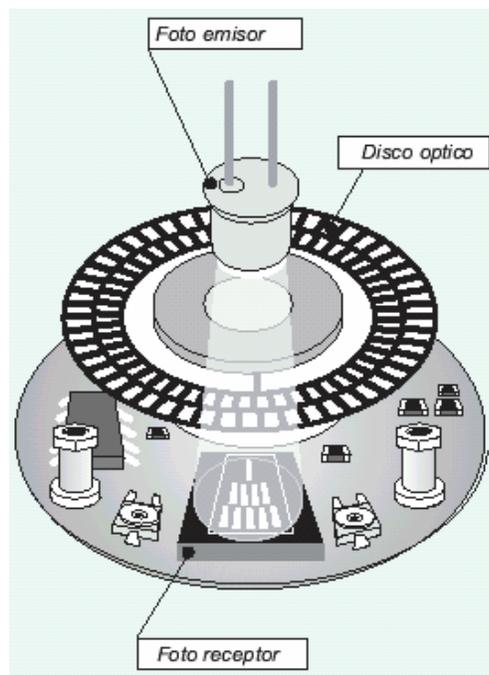


Figura 3.13 Principio de funcionamiento de un encoder incremental

Existen dos tipos de encoders: los incrementales y los absolutos. Los primeros dan un determinado número de pulsos por vuelta y requieren un contador para determinar la posición a partir de un origen de referencia. Los absolutos, en cambio, disponen de varias bandas en el disco ordenadas según un código binario. Los captadores ópticos detectan, pues, un código digital completo, que es único para cada posición del disco rotórico.

Los encoders incrementales o relativos suelen tener una sola banda de marcas transparentes y opacas repartidas a lo largo del disco rotórico y separadas por un paso ( $p$ ), tal como muestra la figura 3.14. En el estator suelen disponer de dos

pares de emisor-receptor óptico (salida de dos canales) decalados un número entero de pasos más  $1/4$ . Al girar el rotor, cada par óptico genera una señal cuadrada. El decalaje de  $1/4$  de división de los captadores hace que las señales cuadradas de salida tengan entre sí un desfase de  $1/4$  de período cuando el disco rotórico gira en un sentido, y  $3/4$  de período cuando gira en sentido contrario, lo cual se utiliza para discriminar el sentido de giro.

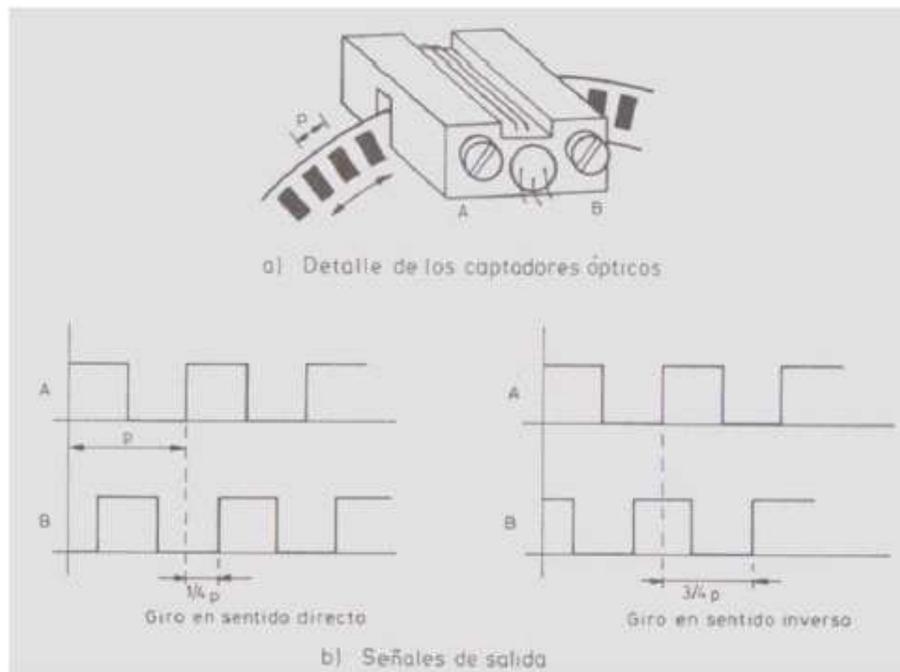


Figura 3.14 Señales de salida A y B de un encoder incremental

Los encoders incrementales deben tener una resolución de 2000 pulsos/revolución, tener el canal A y B, alimentación a 24 [V] DC. Kuebler es una marca reconocida en la fabricación de encoders, controladores de temperatura y otros elementos de campo, por lo que se decidió utilizar en el proyecto encoders marca Kuebler.

	Código	Resolución
Encoders sistema cuenta litros	8.5800.1295.2000	2000 pulsos/rev

Figura 3.15 Encoders nuevo sistema cuenta litros

## CAPÍTULO 4

## **SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SUPERVISOR**

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

En todo sistema de control existen vínculos que establecen una relación entre los operadores y el proceso. Estos vínculos se establecen por medio de equipos que constituyen la interfaz al ser humano: interfaz-hombre-máquina (HMI).

La HMI que servirá para el control y supervisión del proceso de dosificación de resina (WinCC), deberá tener la posibilidad de visualización e ingreso de los principales parámetros que intervienen en la dosificación.

Los parámetros más importantes se deberán también poder visualizar y setear por medio de un panel operador (OP).

Dentro de los requerimientos a tomar en cuenta para el diseño de las HMI, podemos citar:

#### **4.1.1 NECESIDADES DEL USUARIO**

- Las necesidades que la HMI debe satisfacer en una planta industrial, depende en gran medida de la función del usuario. Entre otros, el personal de operaciones debe operar la planta dentro de especificaciones prefijadas; el personal de mantenimiento debe tomar acciones preventivas y correctivas a fin de garantizar la continuidad de la operación; el personal de producción debe establecer planes adecuados, maximizando el aprovechamiento de la planta en su conjunto.

Es por ello que un entorno amigable y flexible en el diseño de la HMI, hace que cada uno de los usuarios cumpla satisfactoriamente con sus objetivos.

- En razón al trabajo rutinario de parte de los operadores es necesario que el nuevo sistema no represente un cambio drástico en lo que se refiere al manejo y operación del proceso. Es por ello que se debe contar con una pantalla principal donde se presente todos los indicadores del proceso, similar a los que se presenta en el panel frontal del equipo T/CX 10, donde se puede ver principalmente:

Valor de tara en Kg/min.

Flujo de material en Kg/min.

Flujo de resina en Lt/min.

Velocidad de la bomba de resina en r.p.m.

Valor del rapporto ( $Lt \cdot 100 / Kg$ ), factor X, constante K.

Totalizador de kilogramos de material.

Totalizador de litros de resina.

El sistema además, deberá tener indicadores de operación para los modos: manual, automático, enclavado, etc; indicadores para vigilar el proceso y un indicador de alarmas cuando exista un fallo en el mismo.

En el equipo T/CX 10 se puede ingresar los parámetros principales para la dosificación; de igual manera, las HMI deberán tener la posibilidad para el ingreso de los mismos como: Kg/min, factor X y constante K.

- Es recomendable que la totalidad del acceso a las pantallas o imágenes<sup>28</sup>, esté solo al alcance del personal de diseño y mantenimiento del sistema, de esta forma se restringe el cambio y modificación de parámetros únicamente a personal técnico calificado. Además, el operador cometerá menos errores, teniendo al alcance solamente aquellas pantallas que son de su interés.

---

<sup>28</sup> Imagen: Se configura para ser presentada a través de un panel operador OP. Una imagen puede mostrar al operador el estado actual del proceso.

#### 4.1.2 COMPONENTES PARA LA PRESENTACIÓN DE LAS HMI

##### *Entorno de trabajo para el WinCC*

Los principales componentes de una estación de trabajo típica son similares a los de una computadora personal. El elemento predominante es el monitor; la estación de operación se completa con periféricos que permitan al operador interactuar con el proceso, incluyendo mouse, teclado, etc.

Aunque se indican los valores para una configuración mínima, es conveniente utilizar los valores recomendados para la configuración máxima de modo que WinCC funcione eficazmente. El sistema operativo requerido es Windows 95/98/2000/ME/NT4.0.

	Valores mínimos	Valores recomendados
CPU	INTEL Pentium II 266 MHz	INTEL Pentium II 400 MHz
RAM	96 MB	128 MB
Controlador gráfico	SVGA (4 MB)	XGA (8 MB)
Resolución	800 * 600	1024 * 768
Disco duro	Espacio disponible: 500 MB	Espacio disponible: > 500 MB
	Unidad de CD-ROM	Unidad de CD-ROM

**Tabla 4.1 Requisitos previos del entorno de trabajo con WinCC V5.0.**

##### *Panel operador OP*

Las funciones básicas de un panel operador OP consisten en la visualización de valores actuales y en el manejo del proceso. Adicionalmente, se puede efectuar entradas en el OP, las cuales son escritas directamente en el control.

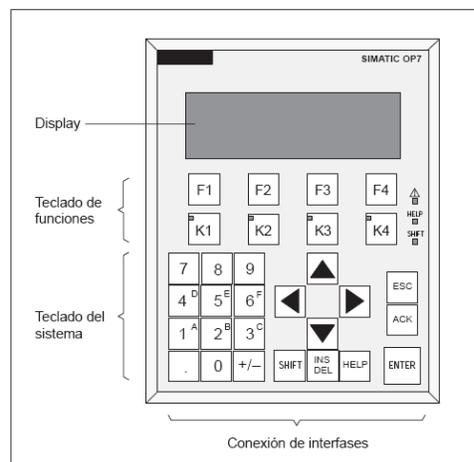
Para la selección del panel operador se ha tomado en cuenta algunos aspectos como:

- Panel de operador compacto y versátil para el manejo y visualización de máquinas e instalaciones.
- Actualización rápida de variables.

- Manejo y configuración simples.
- Mantenimiento mínimo.

Por lo mencionado se ha seleccionado el panel operador OP7 el cual reúne las siguientes características:

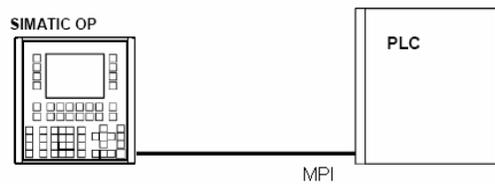
- Display de cristal líquido retroiluminado por led: 4 líneas, 20 caracteres/línea; altura de carácter 8 mm.
- 22 teclas de sistema, 8 teclas de función personalizables.
- Para conexión a simatic S7, profibus DP y PLCs de otros fabricantes; se tiene las interfaces:  
1 x RS 232, 1 x RS 422/485.  
1 x PPI/MPI/ PROFIBUS DP (hasta 1.5 Mbits/s)



**Figura 4.1 Estructura del panel operador OP7.**

El panel operador OP7 se maneja a través del teclado; este se compone de los siguientes bloques funcionales: teclas del sistema (bloque numérico y teclas de control) y teclas de funciones.

Para la comunicación con el control, se lo hará en forma directa a través del puerto MPI, de acuerdo a la figura 4.2.



**Figura 4.2 Comunicación OP7 con el PLC.**

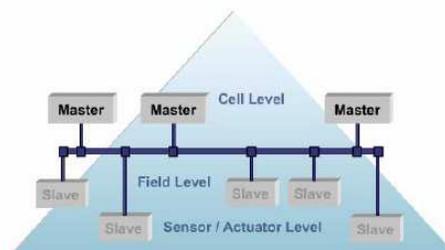
### 4.1.3 CONEXIÓN EN RED PARA EL ENTORNO DE WINCC

Debido a que el monitor para el entorno de WinCC va a estar alojado en el cuarto de control y el armario eléctrico donde se encuentra el PLC va a estar ubicado a una distancia considerable (50 metros aproximadamente), se tiene la necesidad de enviar por red los datos procesados por el mismo.

Se ha optado por la red profibus, la cual es un estándar muy amigable y que anteriormente se ha utilizado brindando confiabilidad y seguridad en el envío de la información.

#### *Red profibus*

Dentro del sistema de comunicación abierto no propietario de simatic, profibus es la red para los niveles de célula y campo. Se utiliza para transmitir cantidades de datos pequeñas hasta medias. Físicamente, profibus es una red eléctrica basada en un cable bifilar apantallado, una red óptica basada en un conductor de fibras ópticas (fibra óptica) o de transmisión inalámbrica mediante infrarrojos. Los nodos pueden actuar como maestros (master) o esclavos (slave).



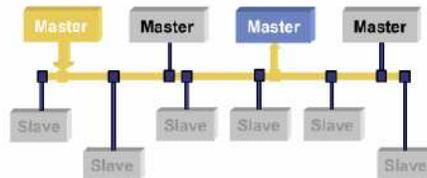
**Figura 4.3 Profibus en el nivel de célula y campo.**

Normalización	EN 50170 Volume 2 PROFIBUS		
Equipos	127 estaciones en la red como máximo		
Método de acceso	- Token Bus para la asignación del bus entre estaciones activas - Maestro-esclavo para la comunicación con estaciones pasivas		
Velocidad transferencia	9,6 Kbit/s - 12 Mbit/s		
Soporte de transmisión	Cable bifilar apantallado o fibra óptica		
		Velocidad transferencia	Longit.
	Eléctrico: Por segmento	9,6 - 93,75 Kbit/s	1.000 m
		187,5 Kbit/s	800 m
		500 Kbit/s	400 m
		1,5 Mbit/s	200 m
		3 - 12 Mbit/s	100 m
	Con repetidores	9,6 - 93,75 Kbit/s	10 km
		187,5 Kbit/s	8 km
		500 Kbit/s	4 km
		1,5 Mbit/s	2 km
		3 - 12 Mbit/s	1 km
Optico: (en función del tipo de OLM)	9,6 Kbit/s - 12 Mbit/s	>100 km	
Topología	Línea, árbol, estrella, anillo		
Servicios de comunicación	Funciones PG/OP Funciones S7 Funciones compatibles con S5 (FDL) Funciones estándar (FMS) DP		

**Tabla 4.2 Datos técnicos red profibus.**

Veamos a continuación algunos aspectos fundamentales a tomar en cuenta para la configuración en red profibus:

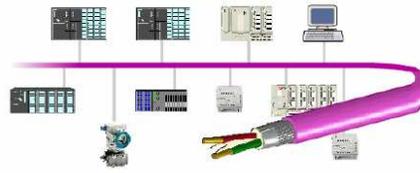
Comunicación maestro/esclavo: Las estaciones maestro se denominan estaciones activas. Sólo una estación maestro tiene el control del bus de campo en cada instante y es la que inicia una conversación con otro nodo (maestro o esclavo), que actuará como esclavo.



**Figura 4.4 Comunicación maestro/esclavo.**

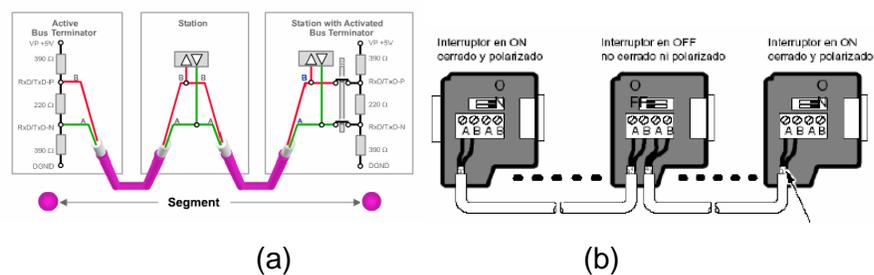
Tiene que seguir a continuación una contestación dirigida al nodo maestro que inició la comunicación.

Nivel físico: El medio físico de transmisión más frecuente es el par de cables trenzados en cable apantallado, implantando un canal RS 485.



**Figura 4.5 Transmisión por cable bifilar apantallado.**

Terminación de bus: Como todo canal RS 485, todo segmento de una red profibus tiene que disponer de sus resistencias de terminación, integradas normalmente en el propio conector y activadas mediante un pequeño interruptor.



**Figura 4.6 Resistencias de terminación (a); Conectores para cable profibus (b).**

Profibus DP<sup>29</sup>: Ofrece un interface estandarizado para transmitir datos de entrada y salida del proceso entre equipos simatic S7 y dispositivos de campo (esclavos DP). A tal efecto, se intercambian cíclicamente pequeñas cantidades de datos entre el maestro DP y los esclavos DP.

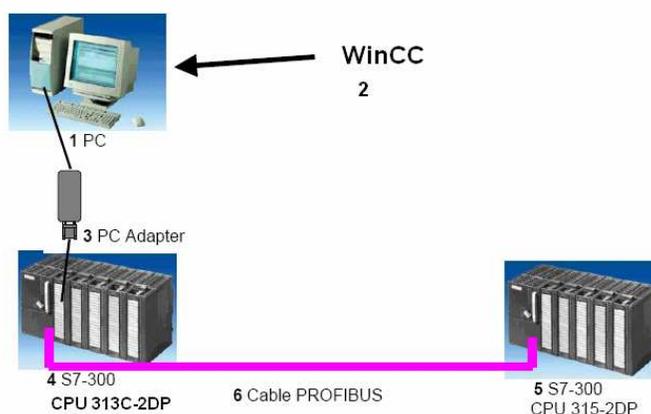
Esta variante de profibus optimizada para el intercambio rápido de datos se prevé especialmente para la comunicación entre sistemas de automatización y sus unidades periféricas descentralizadas en el nivel de campo

<sup>29</sup> DP: Periferia descentralizada.

### *Esquema general de conexión en red*

En la figura 4.7 se observa la conexión de red a implementar, aprovechando que en el cuarto de control se tiene un PLC S7300 con una CPU 313C-2DP.

Las dos CPUs se interconectarán mediante profibus; la una actuará como maestro y la otra como esclavo.



**Figura 4.7 Esquema general de la conexión en red para WinCC.**

Los elementos de hardware y software para la conexión en red a utilizarse son: (1) PC; (2) Software WinCC V5.0; (3) Interface MPI para PC (PC-Adapter), el cual constituye un convertidor RS 232 a RS 485; (4) PLC simatic S7-300 CPU 313C-2DP (maestro); (5) PLC simatic S7-300 CPU 315-2DP (esclavo); (6) Cable profibus con dos conectores.

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

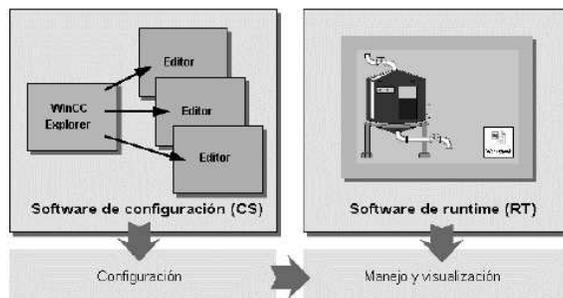
### **4.2.1 EI WINDOWS CONTROL CENTER (WINCC)**

Constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los scadas<sup>30</sup> para visualización y control de procesos industriales.

<sup>30</sup> Scada: Sistema de visualización y control para procesos industriales desde PC.

### Estructura de WinCC

WinCC es un sistema modular. Sus componentes básicos son el software de configuración (CS) y el software Runtime (RT).



**Figura 4.8 Estructura de WinCC.**

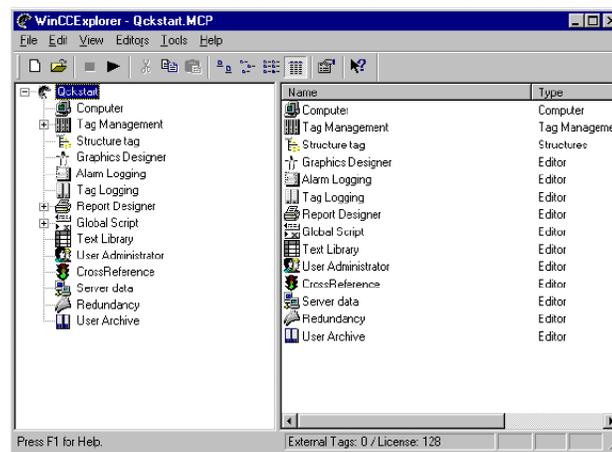
**Software de configuración:** Al iniciar WinCC se abre el programa WinCC Explorer. Este constituye el núcleo del software de configuración. En WinCC Explorer se representa la estructura global del proyecto y se gestiona el proyecto.

Para la configuración se dispone de unos editores específicos que pueden activarse desde WinCC Explorer.

**Software de Runtime:** Con el software de runtime el usuario puede visualizar y manejar el proceso. En este contexto, el software de runtime tiene fundamentalmente las siguientes tareas:

- Leer los datos memorizados en la base de datos CS.
- Visualizar las imágenes en la pantalla.
- Realizar la comunicación con los autómatas programables.
- Archivar los datos runtime, por ejemplo valores de proceso y eventos de avisos.
- Manejar el proceso, por ejemplo predeterminando valores de consigna o activando/desactivando.

## El Control Center



**Figura 4.9** Ventana principal; WinCC Explorer.

Representa el acceso a todas las opciones del WinCC como sistema de desarrollo para visualización de procesos industriales. Desde el control center podemos disponer de todos los módulos software para la creación de ventanas graficas, archivos de proceso, ventanas de alarmas, y generación de documentos de impresora.

Todo proyecto de WinCC se divide en una serie de partes bien definidas y siempre iguales, lo que nos permite afrontar cualquier tipo de proyecto siguiendo siempre las mismas pautas de trabajo.

Un proyecto esta compuesto por:

- El nombre del proyecto.
- Computer: Todos los parámetros relacionados con el entorno de trabajo de la aplicación en general.
- Tag Management: El administrador de variables o tags<sup>31</sup> se encarga de las comunicaciones entre las diversas redes de PLCs, acoplamiento punto a punto y enlace con otras aplicaciones.

<sup>31</sup> Tag: Es el elemento de enlace entre la base de datos del WinCC, las variables del PLC y los objetos de runtime de nuestra aplicación.

- Data Types: Agrupación de las variables del WinCC por tamaño, sin distinción de origen de los datos.
- Editors: Editores de las diferentes partes en que se subdivide el runtime del WinCC. Dentro de este apartado tenemos:

Graphic Designer: Editor gráfico que nos permite dibujar las pantallas que componen el WinCC.

Alarm Logging: Editor de alarmas que nos permite configurar las ventanas y tratamiento de alarmas del proceso.

Tag Logging: Editor de archivos y gráficas que se encarga de configurar el almacenamiento de datos y su posterior visualización en forma de curvas o tablas.

User Administrator: Administrador de usuarios que nos permite activar o desactivar usuarios mediante activación de passwords.

Global Script: Compilador en C que nos permite programar nuestras propias acciones y ejecutarlas de manera periódica o mediante eventos de cambio de variables.

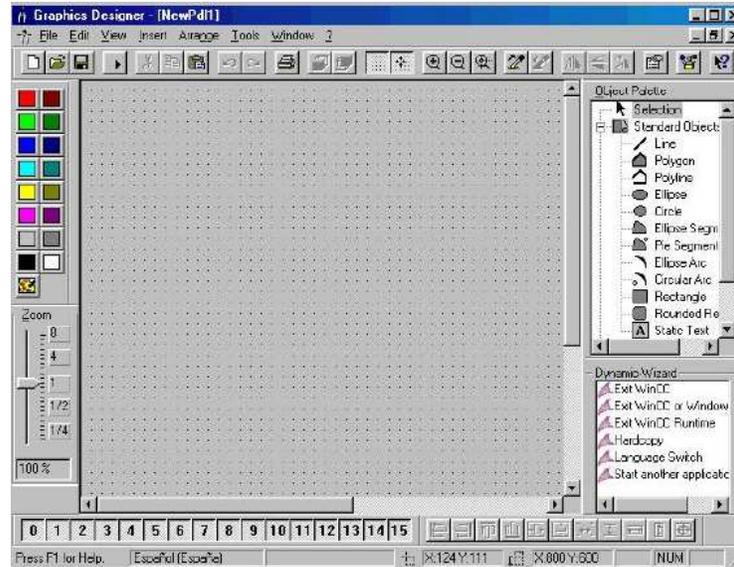
Report Designer: Editor de informes a impresora. Se encarga de configurar todo lo referente al envío a impresora de informes.

Text Library: Editor de texto que nos permite asignar diferentes configuraciones de textos según el idioma seleccionado en el WinCC.

A continuación se realiza una breve descripción de los principales editores de configuración de un proyecto:

### *Graphic Designer*

El editor graphic designer se encarga de la confección de las pantallas del WinCC. Básicamente es un entorno de dibujo con la característica de que los objetos poseen la capacidad de asociar sus propiedades a variables de comunicaciones que son proporcionadas por el Tag Management.



**Figura 4.10** Ventana del editor graphic designer.

### *Alarm Logging*

Es la parte del WinCC que se encarga del tratamiento de los mensajes de alarma de la instalación, así como del tratamiento del histórico de alarmas y la generación de alarmas a partir de comparaciones con valores de comunicaciones.

El tratamiento de alarmas de WinCC proporciona:

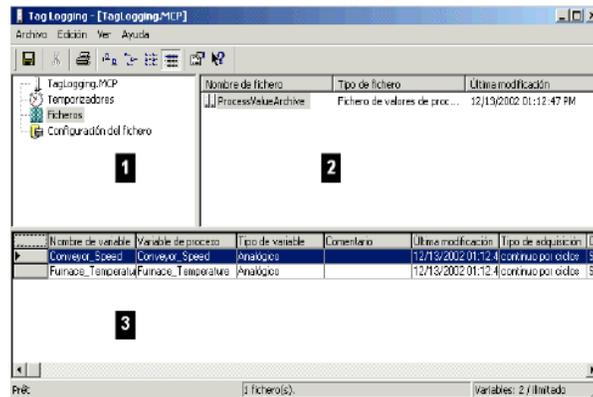
- Información sobre el error que se ha producido en la instalación.
- Detecta situaciones críticas del sistema.
- Reduce los tiempos de parada de la instalación.

### *Tag Logging*

El archivado de valores de proceso sirve para la adquisición, el procesamiento y el archivado de datos de proceso de una planta industrial. De los datos de proceso obtenidos pueden recopilarse criterios técnicos y económicos importantes sobre el estado de funcionamiento de una planta.

Mediante el tag logging se puede realizar el almacenamiento de los valores de proceso en el disco duro, así como de mostrarlos tanto en formato de gráfica como de tabla de valores. Así mismo, permite editar dichos valores a posteriori desde la base de datos.

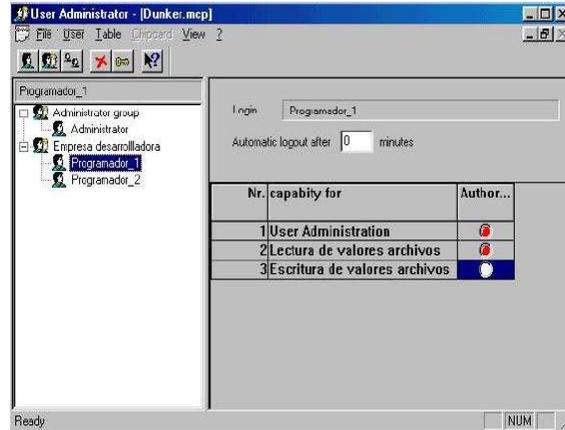
El Tag Logging se divide en: (1) ventana de navegación, (2) ventana de datos y (3) ventana de tablas, de acuerdo a la figura 4.11:



**Figura 4.11 Ventana de configuración de archivos y gráficas; Tag Logging.**

### *User Administrador*

El editor user administrator sirve para la configuración de una administración de usuarios. Con el editor se efectúa la asignación y el control de los derechos de acceso del usuario a los diferentes editores del sistema de configuración y a las funciones en runtime. La asignación de las autorizaciones también se puede efectuar en runtime.



**Figura 4.12 Ventana de User Administrator.**

### *Global Script*

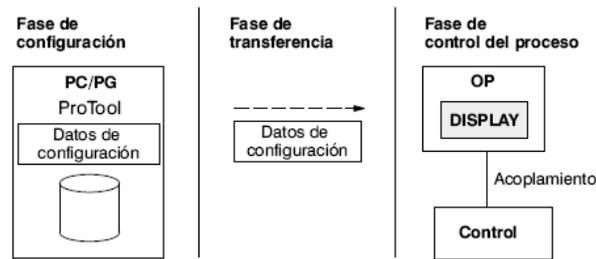
El global script es un compilador de C incorporado con el WinCC, que nos permite realizar compilaciones de código objeto sin necesidad de salir del propio entorno. Este código generado puede ser añadido directamente al propio runtime y generarse cada cierto tiempo, o posteriormente asociarse a un evento de un objeto. Si desde el editor del graphic designer seleccionamos realizar una acción en C, automáticamente se nos activa el global script para permitirnos editar dicha acción en el compilador de C.

### **4.2.2 PROTOOL**

Protool es un software de configuración confortable para paneles de operador (OP). Ejecutable bajo Microsoft Windows.

#### *Configuración mediante ProTool*

La configuración se efectúa en el PC bajo Protool y ésta se debe transferir al OP. Si existe un acoplamiento con el control, el OP indica los valores actuales. La figura 4.13 muestra las distintas fases en las que se trabaja con los datos de configuración.



**Figura 4.13 Fase de configuración, fase de transferencia y fase de control del proceso.**

### *Elementos de una configuración*

Para una configuración se dispone, entre otros, de los siguientes elementos:

**Imágenes:** A través de imágenes se visualiza el proceso. Las imágenes muestran al operador el estado actual del proceso en forma de valores numéricos y permiten poder intervenir en la operación modificando valores y por medio de botones de comando.

**Asociar imágenes:** Las imágenes de una configuración se pueden asociar unas con otras para obtener una estructura.

**Introducir y dar salida a valores del proceso de control:** A través de campos<sup>32</sup> de entrada/salida se pueden visualizar y modificar directamente valores del proceso. La entrada puede ser provista de valores límite y protegida por medio de un password. Para la salida existen diferentes formatos de representación, como por ejemplo el formato decimal o binario o la salida como texto simbólico.

**Insertar mensajes:** Los mensajes muestran sucesos y estados en el proceso de control. Protool diferencia entre avisos de servicio y alarmas. Los avisos de servicio se refieren a estados de una máquina o de un proceso. Alarmas muestran fallas en el servicio de una máquina o de un proceso y deben ser acusadas.

---

<sup>32</sup> Campos: Comodines en textos proyectados o fijos, sirven para la salida y/o entrada de determinados valores.

### Estructura del hardware para la configuración

De acuerdo a la figura 4.14 se tiene: simatic OP como equipo de operación, PC para la configuración.

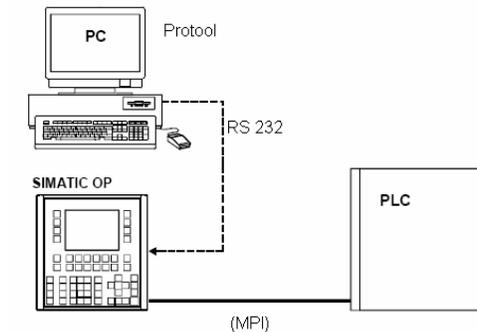


Figura 4.14 Hardware para la configuración y conexión con el PLC.

### Iniciar el software de configuración Protocol

Si se abre un proyecto nuevo o un proyecto ya existente, se abre la ventana de proyectos. Los datos de un proyecto de Protocol se depositan en forma de objetos. Los objetos están dispuestos dentro de un proyecto en una estructura de árbol como se observa en la figura 4.15:

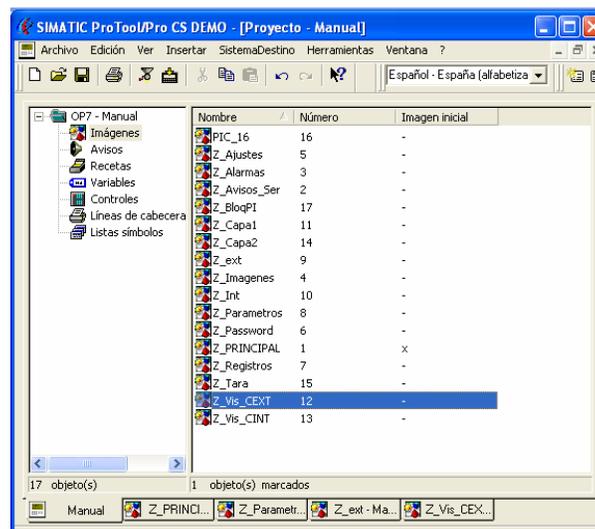


Figura 4.15 Ventana de proyectos con el objeto imágenes.

### Pasos para la creación de un nuevo proyecto

- Elegir archivo > nuevo.
- Seleccionar el equipo de operación (OP7) que se va a configurar.
- Hacer clic en continuar.
- Seleccionar el control.
- En parámetros ajustar otros parámetros para el control.
- Hacer clic en continuar.
- En proyecto introducir el nombre de la configuración.
- Hacer clic en terminar.

Crear una imagen inicial: La imagen inicial es la primera imagen que se visualiza en una configuración. Para añadir una nueva imagen: hacer doble clic en imágenes en la ventana de la configuración se añadirá y abrirá una nueva imagen.

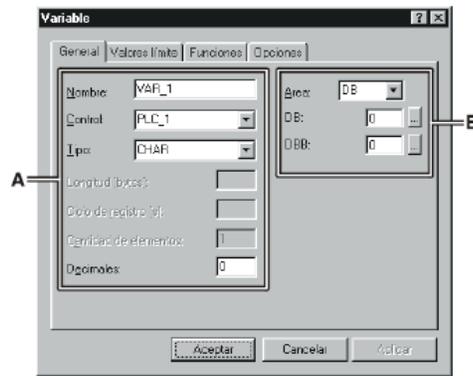
### *Insertar y visualizar un valor del proceso del control*

Insertar un campo de entrada: Hacer clic en el icono para el campo de entrada/salida; en tipo de campo seleccionar entrada.

Generar una nueva variable: Hacer clic en el icono para menú de contexto; en el mismo hacer clic en nuevo; ajustar los parámetros de la variable; hacer dos veces clic en OK:



**Figura 4.16 Insertar un campo de entrada.**



**Figura 4.17** Ejemplo variable en una conexión S7.

Insertar un campo de salida: Hacer clic en el icono para el campo de entrada/salida; en tipo de campo seleccionar salida; en variable seleccionar la denominación de la variable que se ha generado; hacer clic en OK.

#### *Protección mediante password*

Para teclas de funciones/soft (de función programable) y campos de entrada se puede proyectar una protección mediante password a fin de permitir el manejo del OP únicamente a personal autorizado.

Durante la configuración con Protool se asignan a las teclas de funciones/soft y a los campos de entrada los niveles de password jerárquicamente ascendente del 0 al 9. Con la asignación de un password para un operario o para un grupo completo de operarios se asigna al mismo tiempo la autorización para ejecutar funciones de un determinado nivel de password.

### **4.3 DISEÑO DE LAS HMI**

El presente proyecto está dotado de una muy útil interface hombre maquina (HMI) para el control y supervisión del proceso de dosificación de resina donde se visualiza los componentes del proceso y se puede setear los parámetros para el control del proceso de dosificación de resina de acuerdo al espesor del tablero requerido por producción.

### 4.3.1 DISEÑO DE LA HMI A TRAVÉS DE WINCC

En WinCC, unas etapas de configuración determinadas se basan en otras etapas de configuración; es decir, para poder realizar unos trabajos se tiene que haber realizado antes otros trabajos determinados. Es por ello que se ha tomado en cuenta la siguiente lógica de configuración (Figura 4.18):

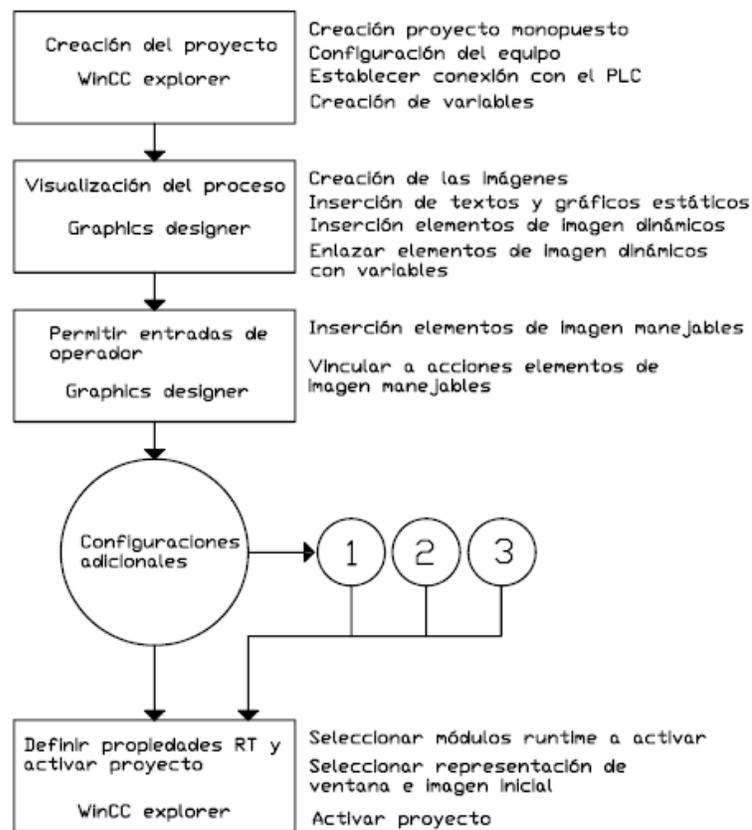
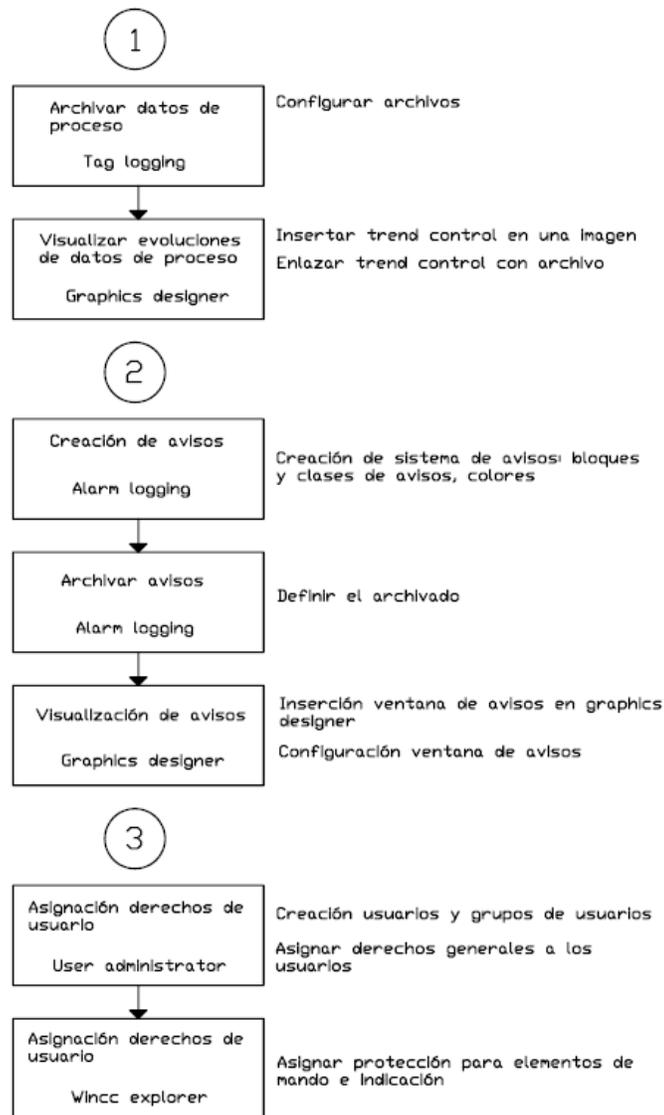


Figura 4.18 Lógica de configuración principal de un proyecto.

Con el objetivo de sacarle el mayor provecho de las utilidades que brinda el WinCC se ha configurado opciones adicionales tomando en cuenta la siguiente lógica:



**Figura 4.19 Configuraciones adicionales realizadas en el proyecto.**

### *Descripción de las pantallas de visualización*

De acuerdo a la lógica de configuración se procedió al diseño de las pantallas a través del software WinCC. El acceso a las diferentes pantallas de visualización se lo puede realizar a través del mouse, a través del teclado con las teclas de función, numéricas o las del abecedario. Por ello se debe observar la tecla que esta asociada al botón y que se encuentra generalmente en la parte inferior del mismo.

### Pantalla de menú

A través del menú principal se tiene la posibilidad de acceder a cualquier pantalla de visualización del proceso de dosificación de resina, como se muestra en la figura 4.20:



Figura 4.20 Pantalla de menú del proceso de dosificación de la resina.

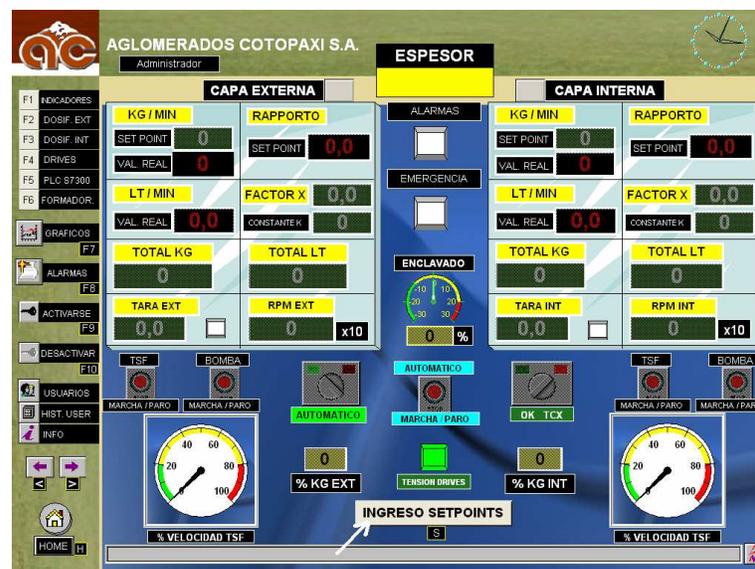
El menú que se encuentra en la parte izquierda esta presente en todas las pantallas. Se describe algunos iconos adicionales, los restantes se detalla más adelante:

1. **ACTIVAR:** Mediante este botón se ingresa el login (nombre) y el password (contraseña). Es importante activarse, ya que por medio de este registro se puede ingresar a la pantalla de INGRESO DE SETPOINTS.
2. **DESACTIVAR:** Finaliza al usuario activado.
3. **Botones de desplazamiento:** Estos botones permiten desplazarse al estado anterior o posterior de las pantallas. También se lo puede realizar a través de las flechas del teclado.
4. **HOME:** Mediante la pulsación de esta tecla se puede acceder a la pantalla de menú del WINCC.

5. Botón Apagar PC: Detiene la runtime y posteriormente apaga la PC.
6. Botón Detener RT: Detiene la runtime y pasa al entorno de windows.
7. Botón Step7: Abre el software de programación step7.
8. Barra de alarma actual: Cuando hay una alarma presente visualiza un mensaje donde se puede ver el fallo y el lugar donde se ha producido la misma.

### *Pantalla de indicadores (F1)*

Constituye la pantalla principal de visualización de parámetros seteados: kg/min, factor X, constante K y valores reales de rapporto, lt/min, tara, rpm de las bombas, totalizador de kilogramos, totalizador de litros; % de velocidad de los tornillos sin fin dosificadores (TSF). Mediante los indicadores marcha/paro se puede vigilar el funcionamiento de los motores de las bombas y de los TSF; tanto para la capa externa como para la capa interna. Se puede ver además los modos de operación: manual, automático, enclavado, T/CX.



**Figura 4.21** Pantalla principal de visualización de parámetros.

Para el ingreso de los setpoints hacer clic en el botón activar mediante el cual el usuario se puede registrar con su nombre y su password respectivo.

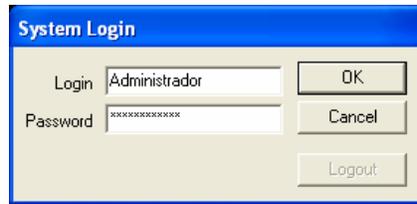


Figura 4.22 Ventana para el ingreso del nombre y el password.

A continuación pulsar el botón ingreso de setpoints para ingresar a una nueva pantalla. Dentro de la misma se puede seleccionar el ingreso de setpoints mediante una receta haciendo clic en el botón cargar del espesor requerido por producción o cambiando independientemente cualquier parámetro haciendo clic en los mismos y modificándolo a través del teclado.

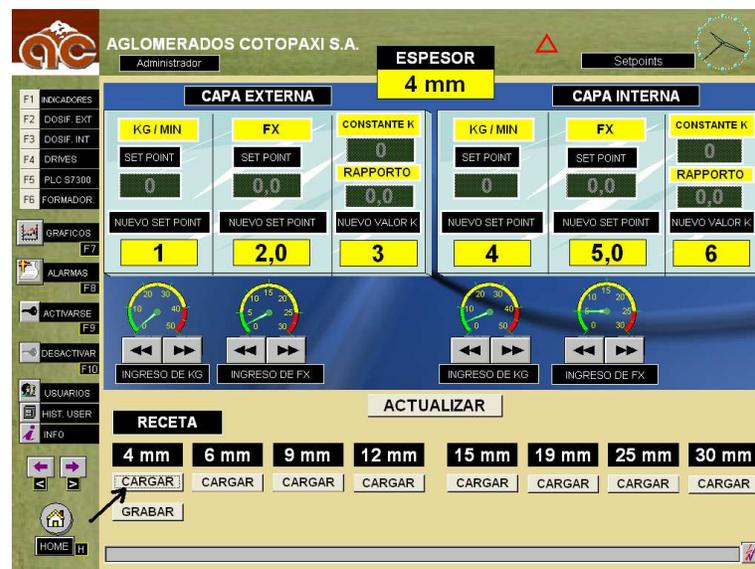


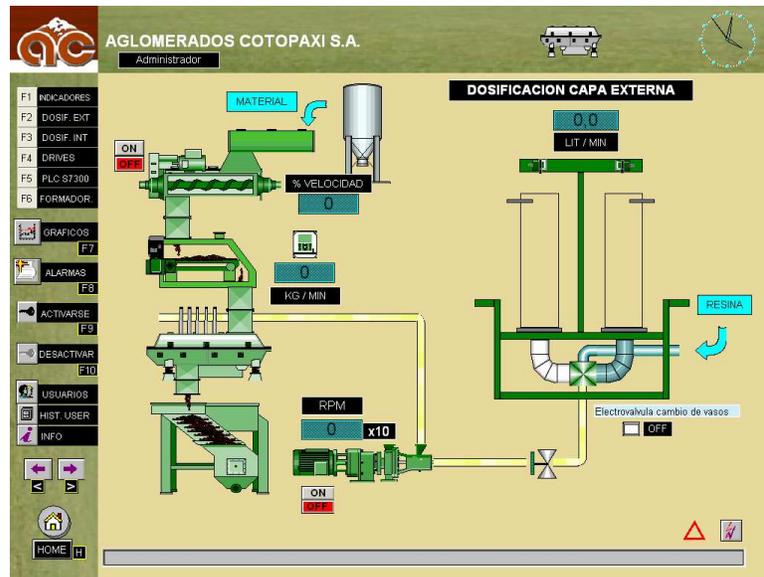
Figura 4.23 Pantalla para el ingreso de parámetros a través de una receta.

Para confirmar el envío de setpoints al control hacer clic en el botón actualizar; donde inmediatamente se actualizan los valores seteados.

La desactivación del usuario actual la realiza automáticamente el programa luego de un determinado tiempo. También se puede desactivar al usuario que se encuentra activado pulsando el botón DESACTIVAR.

### *Pantalla dosificación externa, interna (F2, F3)*

Al ingresar a estas pantallas se visualiza el proceso de dosificación de resina pudiendo observarse el estado de funcionamiento de los motores de las bombas, los motores de los TSF y el nivel actual de los vasos de deposito del sistema cuenta litros de la capa externa e interna respectivamente.



**Figura 4.24** Pantalla donde se visualiza el proceso de dosificación, capa externa.

### *Pantalla de drives (F4)*

En esta pantalla se puede ver el estado de los drives de velocidad de las bombas y de los TSF. Se puede observar el estado de las protecciones de los motores y los respectivos fallos producidos en los drives de velocidad.



Figura 4.25 Pantalla donde se visualiza el estado de los drives.

### Pantalla PLC S7300 (F5)

Mediante esta pantalla podemos ver el estado actual de las entradas y salidas digitales del PLC (activado=ON, desactivado=OFF).



Figura 4.26 Pantalla donde se visualiza el estado de las entradas digitales (PLCS7300).

### Formadora (F6)

A través de esta pantalla se puede observar los niveles de llenado de la formadora: 0%, 25%, 75%, 85% y 100%. Además el usuario puede ingresar a través de los campos de entradas los factores de control de nivel de la formadora.

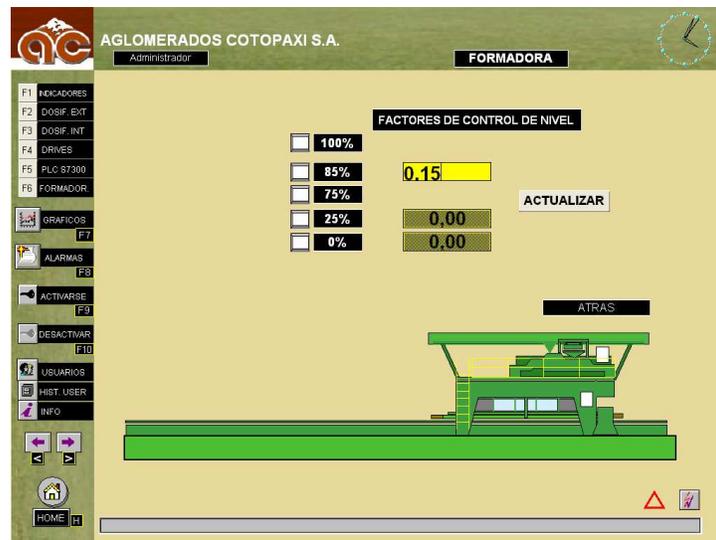


Figura 4.27 Pantalla formadora para visualizar los niveles de llenado.

### Pantalla acceso a gráficos (F7)

En esta pantalla se puede acceder a la visualización en forma grafica y en tablas de los distintos valores de kg/min, lt/min, rapporto. Además de los valores de totalizadores de kilogramos y de litros de la capa externa e interna.



Figura 4.28 Pantalla principal para el acceso a los gráficos y tablas.

### *Pantalla de alarmas (F8)*

Por medio de esta pantalla se puede ver el histórico de alarmas registradas durante el proceso. Cabe indicar que las alarmas aparecen de color rojo y los avisos en color amarillo.

### *Botón usuarios*

Mediante este botón se puede ingresar al user administrador donde se puede registrar a un usuario nuevo. Se debe tener autorización para el ingreso a esta pantalla.

### *Botón Hist. User*

A través de este botón se accede a una pantalla donde se puede visualizar el histórico de usuarios activados.

### *Pantalla de información*

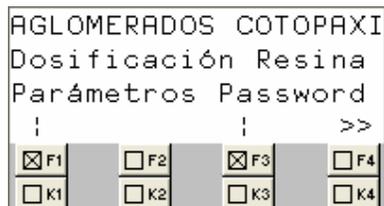
A través de esta pantalla se puede conocer los distintos modos de funcionamiento del nuevo sistema y los pasos para el ingreso de parámetros.

#### **4.3.2 DISEÑO DE IMÁGENES A TRAVÉS DEL PANEL OPERADOR OP7**

Con el software de configuración Protool se suministra una configuración, la cual incluye imágenes estándar. Con la ayuda de estas imágenes se procedió a la configuración de este panel operador. Se describe a continuación las principales imágenes diseñadas:

#### *Imagen principal*

Imagen de presentación a través del panel operador. Con F1 se ingresa a la imagen parámetros y con F3 se accede a la imagen de password para el ingreso del nombre y la contraseña.



**Figura 4.29 Imagen principal de presentación.**

#### *Imagen de parámetros*

Esta imagen se ha dividido en dos partes: una para el ingreso y otra para la visualización de los parámetros.



Figura 4.30 Imagen para el ingreso o visualización de parámetros.

### *Imagen de ingreso de setpoints*

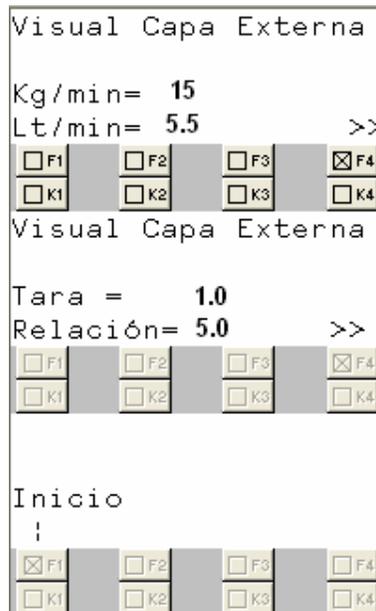
A través de esta imagen se puede setear los principales parámetros que intervienen en el proceso de dosificación de la resina, de acuerdo al espesor requerido por producción, como se ve en la figura 4.33.



Figura 4.31 Imagen para el ingreso de setpoints, capa externa.

*Imagen de visualización de setpoints*

Imagen que sirve para la visualización de los valores seteados de acuerdo al espesor requerido.



**Figura 4.32. Imagen para la visualización de valores seteados, capa externa.**

Las imágenes diseñadas para el ingreso y la visualización de parámetros son similares tanto para la capa externa como para la capa interna.

## **CAPÍTULO 5**

## EJECUCIÓN DEL PROYECTO

### 5.1 ADQUISICIÓN DE EQUIPOS

En lo referente a la adquisición de los equipos se debe tener presente si se lo realiza a través de una importación o directamente en el mercado local. La razón primordial para realizar una importación constituye el factor económico, además de que se tiene la ventaja de conseguir equipos de última tecnología. Esto beneficia a la fábrica constituyendo en un ahorro considerable y reduciendo los costos del proyecto.

#### 5.1.1 COTIZACIÓN

Para el proyecto se realizó la cotización de los equipos en dos partes principales. Una la que intervienen todos los elementos de automatización: PLC, variadores de velocidad, motores, protecciones (parte eléctrica); y otra la parte del sistema cuenta litros (parte mecánica). Posteriormente se realizaron cotizaciones individuales de los demás elementos requeridos como: bombas, encoders, cables blindados y de control; lo restante se cotizaría a través del mercado local.

##### *Cotización parte eléctrica*

Para la parte eléctrica y considerando que la marca predominante en equipos dentro de la fábrica es Siemens se hizo una primera cotización por medio de su representante en Ecuador para realizar la importación desde Alemania. Dicha cotización se la realizó por medio de correo electrónico el mismo que fue recibido por un representante que pertenece al departamento de oferta y desarrollo el cual se encarga de realizar la respectiva oferta.

Se da a continuación un ejemplo de cotización que se realizó a Siemens Ecuador, con la respectiva contestación por parte de su representante:

De: Aglomerados Cotopaxi

Para: Siemens Ecuador

Asunto: Cotización Elementos

Estimado Ing.

Saludos cordiales,

Por favor cotizar la siguiente lista adjunta de elementos Siemens. Las referencias pertenecen al catálogo ST70-2005.

Le agradecemos de antemano la atención a nuestro pedido.

Atentamente,

Ingeniero eléctrico ACOSA

De: Siemens Ecuador

Para: Aglomerados Cotopaxi

Asunto: Materiales pedido

Estimado Ingeniero,

Le adjunto los precios solicitados en espera de una pronta respuesta.

Saludos

Representante

Ofertas y Desarrollo SIEMENS S.A.

#### *Cotización parte mecánica*

En lo que se refiere a la parte mecánica se puede ver en el siguiente ejemplo la cotización pedida a la compañía imal donde se solicita por parte de la fábrica la cotización de cada parte por separado, ya que la cotización hecha por la unidad completa del sistema cuenta litros no estaba dentro del presupuesto dado por la empresa.

De: Aglomerados Cotopaxi.

Para: IMAL

Asunto: Cotización sistema cuenta litros.

Srs. IMAL

Saludos.

Para justificar en nuestra empresa el precio del sistema cuenta litros y por el presupuesto que disponemos por favor enviar la cotización detallando el precio de cada parte del equipo.

Atentamente,

Ingeniero eléctrico ACOSA

#### *Condiciones de las ofertas*

Las ofertas dadas por los representantes tienen varias cláusulas las cuales deben ser analizadas para posteriormente realizar la adquisición de los equipos.

Se presenta a continuación un ejemplo de una oferta<sup>33</sup> de materiales Siemens dada por su representante en el Ecuador para la importación de equipos, donde se puede ver las siguientes condiciones comerciales:

**Precio:** El precio de la oferta se entiende neto en dólares americanos FOB.

**Condiciones de pago:** 100% precio FOB de la oferta, con carta de crédito a nombre de Siemens AG – Alemania.

**Plazo de entrega:** El plazo de entrega total de los equipos, ex fábrica de la bodega de Siemens Alemania es de 30 días laborables contadas a partir de la fecha de recibido el pago y la orden de compra.

**Validez de la oferta:** Esta oferta tiene una validez de treinta (30) días contados a partir del de la presente fecha.

**Responsabilidad civil:** Siemens responde por el cumplimiento pleno de sus obligaciones según contrato.

---

<sup>33</sup> Tomado de la oferta No. 511-A&D-SIE-T-496, realizada a Aglomerados Cotopaxi S.A.

Finalmente se describe la garantía técnica donde el fabricante se compromete a reemplazar aquellos equipos, materiales o partes que resultaren de mala calidad o con defectos de fabricación, durante un determinado plazo, contados a partir de la fecha de entrega del suministro de los equipos en planta.

### **5.1.2 ADQUISICIÓN**

Para proceder a la adquisición de los equipos se sugiere tener por lo menos dos cotizaciones para realizar el respectivo análisis de la oferta. Esto no constituye tan solo verificar el precio de los equipos sino que involucra además: condiciones de pago, el transporte, tiempo de llegada, garantía técnica, etc. Luego de verificar que la cotización realizada cumpla los requerimientos y expectativas se procede a emitir la orden de compra con las respectivas firmas de los responsables del proyecto.

En lo que se refiere a la parte eléctrica resultó mucho más conveniente realizar la importación a Siemens por medio de su representante en Ecuador.

La adquisición de la parte mecánica se la realizó a través de la compañía imal debido a que esta fábrica implantó el sistema anterior y se requería un sistema igual al anterior con los mismos principios de funcionamiento.

A continuación se detallan los principales equipos y elementos adquiridos para el proyecto:

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Origen</b>
Material eléctrico: PLC, variadores de velocidad, motores, etc.	Siemens	Alemania
Sistema cuenta litros	Imal	Italia
Bombas	Pompe hydra SRL	Italia
Encoders	Kuebler	Alemania
Cables blindados	LappKabel	Alemania
Cables de control	Automation internacional limited	USA
Relés de interfaces	landcecontrol	Local
Reductores	Siti	Local
Armario eléctrico	AICO	Local
Estructura metálica para vasos cuenta litros	DICOMSA	Local

**Tabla 5.1 Adquisición de equipos.**

### **5.1.3 COSTOS**

Se detalla a continuación en forma general los precios de los equipos adquiridos por importación así como también los demás elementos adquiridos en el mercado local.

<i>Item</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo Total</i>
1	PLC: entradas y salidas; fuentes de dc; optoacopladores; contactores; interruptores automáticos; fusibles; reactancias; transformador; cables de conexión; etc.	\$13.104,51
2	Módulo contador rápido FM 350-2	\$624,09
3	Panel operador OP7/DP; para conexión a simatic S7.	\$351,33
4	2 Simovert Masterdrives Vector Control: Convertidor equipo compacto; 11KW; 25,5 A; 380-480 VAC; 50/60 HZ.	\$2.573,00
5	2 Simoreg DC Master: 33 KW; 50 A; 460 VAC; tensión parte electrónica 2AC 440 V; 60 Hz; tensión continua asignada parte excitación 375 V; corriente continua asignada excitación 10 A.	\$1.802,00
6	2 Motores siemens 6,3 KW; 3 fases jaula de ardilla; 1750 rpm; 60 HZ; 440 V; incluido encoder, sensor de temperatura y ventilación forzada.	\$1.443,18
7	Sistema cuenta litros	\$8.643,46
8	Soporte rectangular para sistema cuenta litros	\$2.000,00
9	Bombas	\$3.161,98
10	Encoders	\$1.485,64
11	Cables blindados	\$602,35
12	Cables de control	\$2.560,00
13	Reductores	\$1.067,68
14	Relés de interfase	\$664,22
15	Armario eléctrico	\$2.160,00
16	Cables, borneras, marquillas, amarras, riel dinn, canaletas, etc.	\$3.688,00
	TOTAL	\$45.931,44

**Tabla 5.2 Costos del proyecto de dosificación de resina.**

## **5.2 MONTAJE E INSTALACIÓN**

### **5.2.1 MONTAJE**

El montaje se refiere al armado, disposición y conexión de los elementos; operación que se realiza no necesariamente en el sitio en que se van a instalar los tableros y demás elementos. El montaje se lo dividió en dos partes: la del sistema cuenta litros (montaje mecánico) y la parte del armario eléctrico incluyendo la parte del pulpito de mando y el sistema de monitoreo y control supervisor (montaje eléctrico).

#### *Montaje mecánico*

Con la ayuda del personal de mantenimiento mecánico se procedió al montaje del sistema cuenta litros, el mismo que debía tener la misma estructura que el sistema anterior ya que los elementos adquiridos son similares al sistema antiguo.

En primer lugar se realizó el montaje de los vasos cuenta litros en la estructura: se colocó las válvulas de cuatro vías, los filtros, las electroválvulas y la parte neumática para el manejo de las mismas. A continuación se hizo el montaje del sistema de bombeo que incluye principalmente el motor y la bomba. Finalmente se procedió a colocar el sistema de medición de caudal por medio de los encoders y el sistema de boyas con los sensores magnéticos para el cambio de vasos.

#### *Consideraciones para el montaje eléctrico*

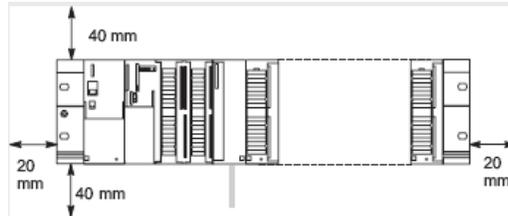
Para el montaje eléctrico se dan algunas consideraciones generales de montaje y conexión de acuerdo a la CEM<sup>34</sup> (compatibilidad electromagnética), es decir, los distintos aparatos no deberán perturbarse mutuamente.

- Todas las piezas metálicas del armario eléctrico hay que unir las extensamente y de forma que permitan una buena conducción. Si es necesario utilizar arandelas de contacto.
- La puesta a tierra de instalaciones/máquinas es en primera instancia una medida de protección. En los accionamientos sin embargo, influye en la emisión de interferencias y en la inmunidad frente a las mismas.
- Los cables de alimentación, señales y de bus deben tener un tendido correcto. Evitar longitudes de cable innecesarias, de este modo se mantienen más pequeñas las capacitancias e inductancias de acoplamiento.

---

<sup>34</sup> Tomado del manual siemens SIMOREG DC MASTER para accionamientos de corriente continua de velocidad variable. Págs 6-2 a 6-5.





**Figura 5.2 Espaciamento necesario para el montaje de un PLC S7 300.**

- Enganchar los módulos en el perfil soporte comenzando desde la izquierda y siguiendo este orden: (1) Fuente de alimentación; (2) CPU; (3) Módulos de señales, módulos de función, módulos Interface.



**Figura 5.3 Montaje y cableado del PLC S7 300.**

Luego se realizó el montaje de los drives de velocidad de AC y DC con sus respectivas protecciones. Además se colocó un interruptor automático general con un supervisor de voltaje.

Para asegurar la libre entrada y salida del aire de refrigeración en los drives, hay que dejar una distancia mínima de 10 cm. tanto por la parte superior como por la inferior del equipo. En caso contrario puede sobrecalentarse el equipo.

Se dispuso en la parte inferior del armario una barra de tierra para la protección de los equipos electrónicos y una barra de neutro para mantener la referencia de cero voltios de las fuentes de DC.

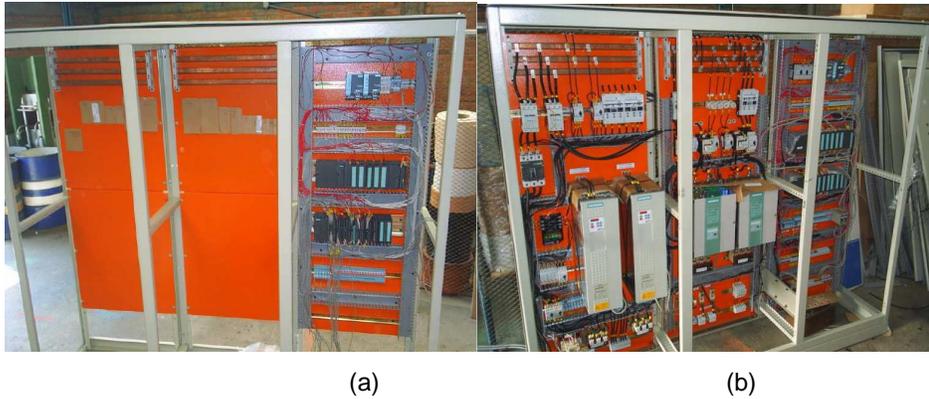


Figura 5.4 Montaje PLC (a) y montaje de los drives de velocidad (b).



Figura 5.5 Montaje y conexiones finalizadas en el armario eléctrico.

### Montaje del sistema de monitoreo y control supervisor

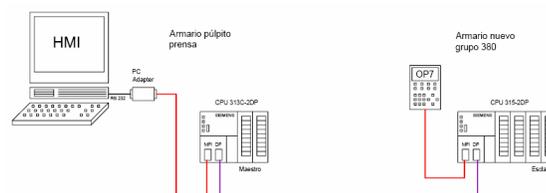


Figura 5.6 Conexión de la HMI y del OP7.

De acuerdo a la figura 5.6 se tiene una configuración en red profibus para la presentación de la HMI en el monitor (WinCC). Se debe realizar el cableado respectivo desde el armario eléctrico nuevo hasta el cuarto de mando. Para ello se debe utilizar cable blindado realizando la conexión con los conectores profibus desde el PLC maestro al PLC esclavo.

Para el montaje del panel operador OP7 se debe realizar un recorte en la puerta del armario eléctrico para su colocación<sup>27</sup> y fijación.

El OP necesita las conexiones eléctricas para: la tensión de alimentación, para el ordenador de configuración (PC) y para el control. La conexión eléctrica al ordenador de configuración es sólo necesaria para transferir la configuración. Para la conexión al PLC se utiliza el puerto MPI con los respectivos conectores de bus. Para los conectores de bus que se encuentran al comienzo o al final de un segmento, se deberá conectar la resistencia terminadora en la posición ON.

## 5.2.2 INSTALACIÓN

En lo que se refiere a la instalación podemos mencionar:

- La instalación del nuevo sistema cuenta litros.
- La instalación del armario en el sitio de funcionamiento y panel de mando.
- Instalación de las HMI: OP7 y monitor para el WinCC.

### *Instalación nuevo sistema cuenta litros*

En la figura 5.7 se puede observar el nuevo sistema cuenta litros instalado, el cual se encuentra muy cercano al armario eléctrico, debido a que el cable por donde se emiten las señales de los encoders deben tener la menor distancia posible.

---

<sup>27</sup> Ver anexo E; instalación, puesta en servicio, datos técnicos panel operador OP7.

Se colocó mangueras desde la parte de preparación de resina hasta el nuevo sistema y desde ahí a las encoladoras para el envío de la resina bombeada.



(a)

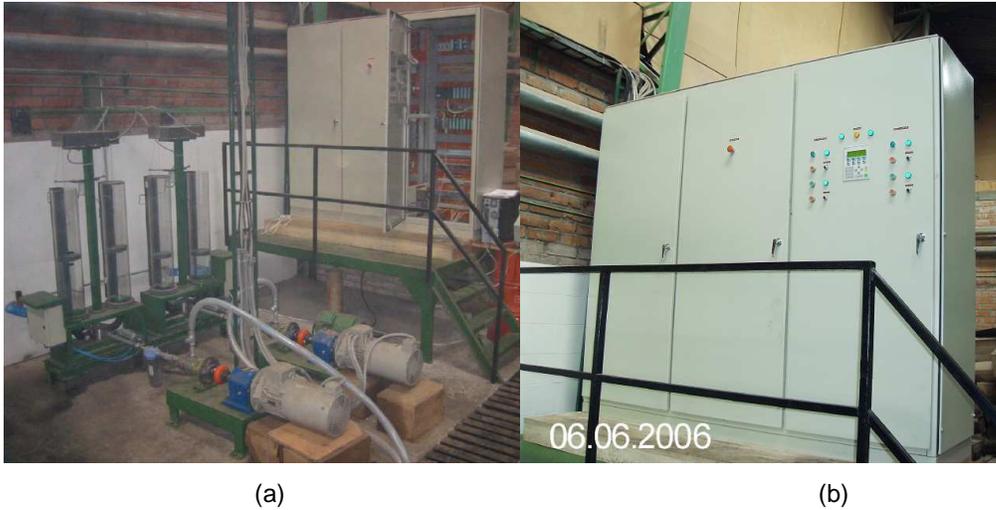


(b)

**Figura 5.7 Antigo sistema cuenta litros (a); Sistema cuenta litros actual (b).**

#### *Instalación del armario eléctrico*

Luego de haber realizado el montaje del armario se procedió a instalar en el sitio de funcionamiento, la misma va a estar asentada sobre una estructura metálica para evitar que en el momento de el lavado de los vasos pueda ingresar agua dentro del mismo. Se procedió luego a realizar la conexión de la alimentación general y los cables que vienen del cuarto de control, del armario del grupo 300, el cable de conexión profibus para el envío de los datos a la HMI que tiene el WinCC; además se colocó los cables que vienen del sistema cuenta litros: señales de los encoders, electroválvulas, sensores magnéticos; cables de alimentación a los motores de AC y DC. Los encoders se conectaron mediante un cable con pantalla, lo mismo que el sensor de temperatura del motor.



**Figura 5.8 Armario eléctrico y sistema cuenta litros (a) Armario eléctrico (b).**

### *Panel de mando*

El panel de mando se instaló muy cerca del antiguo panel de mando del equipo T/CX 10, por facilidad para los operadores. El nuevo cableado lleva las señales de mando desde el púlpito hasta la bornera del armario eléctrico nuevo.



**Figura 5.9 Pulpito de mando.**

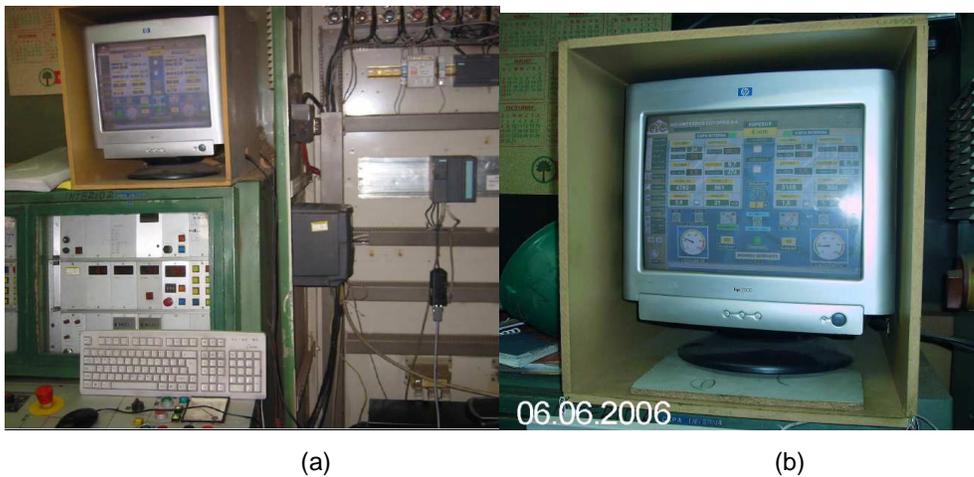
### *Instalación de las HMI*

El panel operador OP7 se colocó en la puerta del armario considerando el monitoreo y el ingreso de parámetros en el sitio de funcionamiento del nuevo sistema.



**Figura 5.10 Panel operador OP7.**

El monitor para la HMI (WinCC) se la colocó en el cuarto de control considerando el tener una información más detallada del proceso y poder setear parámetros por parte del operador.



**Figura 5.11 Monitor, PLC maestro y PC adapter (a); Monitor para la visualización de la HMI (b).**

## **CAPÍTULO 6**

## **PRUEBAS Y RESULTADOS**

La puesta en funcionamiento del nuevo sistema de control para la dosificación de resina se planificó para el día viernes 2 de junio del 2006, las 8 horas de este día estaban planificadas para realizar mantenimiento a la línea de producción de aglomerado. Por lo que se debió realizar con anterioridad la mayoría de las pruebas posibles para evitar contratiempos el día de la fecha programada.

### **6.1 PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELECTRICAS**

Luego que el armario eléctrico se instaló en su sitio, se conectaron los cables de mando del pulpito de la prensa al armario, se conectaron los cables de fuerza de los variadores de velocidad y se realizaron las siguientes pruebas en la instalación:

- 1 Con el uso de un multímetro, seleccionando la función continuidad y la ayuda de los planos eléctricos del proyecto se revisó la interconexión de los elementos, tanto en el circuito de fuerza y sistema de control del armario y la conexión de los pulsantes, selectores en el púlpito de control.

Se comprobó la correcta interconexión de los elementos, pero por seguridad se reajusto los tornillos, pernos de conexión en todo el armario y púlpito.

- 2 Se alimentó con tensión al armario y con el uso de un multímetro se revisó los voltajes presentes en el armario, tanto en el circuito de fuerza como en el sistema de control.

Los valores medidos en el armario estaban dentro los valores permisibles, los mismos que son alrededor de 440 [V] AC para el circuito de fuerza, 220 [V] AC, para el accionamiento de contactores, 24 [V] DC para la parte de alimentación a las entradas y salidas del PLC.

## 6.2 PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO PLC Y HMI

Comprobada la correcta instalación y seguros de que no se presenten cortocircuitos que dañen los componentes, se procedió a realizar las siguientes pruebas de funcionamiento:

- 1 Se conectó un computador al PLC AGL-380 a través del cable de conexión PC-Adapter, con la ayuda del software STEP 7 se cargó el programa al PLC, cambiando de modo stop a run el PLC y el software STEP 7 en modo online, se revisó la coherencia de los estados lógicos de la entradas /salidas digitales, valores de las entradas especiales, valores en la entradas/salidas analógicas.

Para esta prueba se tuvo problemas en la comunicación entre el PLC y el computador, por lo que debió cambiar las velocidades de comunicación, esto se lo realizó ingresando al software Ajustar interface PG/PC ubicado en el panel de control de Windows.

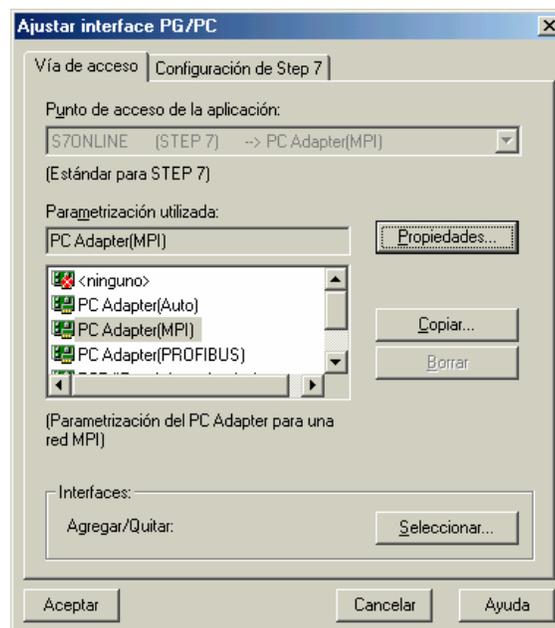


Figura 6.1 Cuadro dialogo ajuste interface PLC-PC

- 2 Conectamos el computador al PLC (maestro) del púlpito de la prensa, con la ayuda del software STEP 7 se revisó la coherencia de los datos enviados y recibidos del PLC (esclavo) AGL-380. Luego arrancamos el WinCC y se procedió a revisar la coherencia de los datos visualizados en la HMI.

Algunos estados lógicos principalmente en lo que se refiere a las señales de las protecciones no concordaba la parte física con la visualización, por lo que se tuvo que realizar modificaciones en la HMI para tener concordancia de la visualización con la parte física.

- 3 Mediante la activación manual de los guardamotores y presionando los pulsantes de emergencia se revisó la parada de emergencia del sistema ante posibles fallos, como sobrecargas.

Se obtuvo los resultados esperados, que son la parada de emergencia para los motores y la correcta visualización de mensajes de alarma en la HMI.

- 4 Se observó el incremento de los totalizadores de consumos en la HMI, los incrementos en estos totalizadores deben ser similares con los incrementos en los totalizadores de los equipos T/CX 10.

El incremento en los totalizadores del nuevo sistema era similar al incremento registrado en los equipos T/CX 10, resultado que debía ser positivo puesto que los consumos de producción del antiguo y nuevo sistema debían ser iguales.

### **6.3 PRUEBAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD**

- 1 Se conectó los motores de AC de las bombas a los variadores de velocidad SIMOVERT y un motor DC (facilitado por el personal de mantenimiento eléctrico) a uno de los variadores de velocidad SIMOREG, se procedió a revisar el funcionamiento variador-motor, principalmente se revisó arranque/parada, sentido de giro, máxima y mínima velocidad

Se verificó el arranque y parada correcto de los variadores, se observó que los motores de las bombas giraban en sentido contrario al que deberían girar, por lo que se modificó la configuración de los variadores de velocidad SIMOVERT, puesto que cambiar de orden dos fases en la alimentación al motor generaba problemas con el encoder de captación de velocidad.

## **6.4 PRUEBAS AL SISTEMA CUENTA LITROS**

- 1 Se revisó el funcionamiento de las bombas, mediante el bombeo de agua y usando el programa de regulación de PID de Simatic se analizó las respuestas de los controles PI de velocidad de los motores de las bombas es decir que se analizó la regulación del caudal de resina. Con la ayuda de las gráficas de regulación del programa y aplicando el método experimental de sintonización de PID de Ziegler-Nichols se procedió a ajustar las constantes de los controles PI, esto se lo realizó para evitar perdidas de material y resina el día en que el nuevo sistema de control de la dosificación entre a funcionar en la línea de producción. Más información acerca de la sintonización de PID se encuentra en el anexo B.

Analizando la gráficas de respuesta del sistema, se concluyó que la regulación de velocidad no era la adecuada, por lo que se tuvo que ajustar las constantes de los PI hasta obtener la regulación óptima.

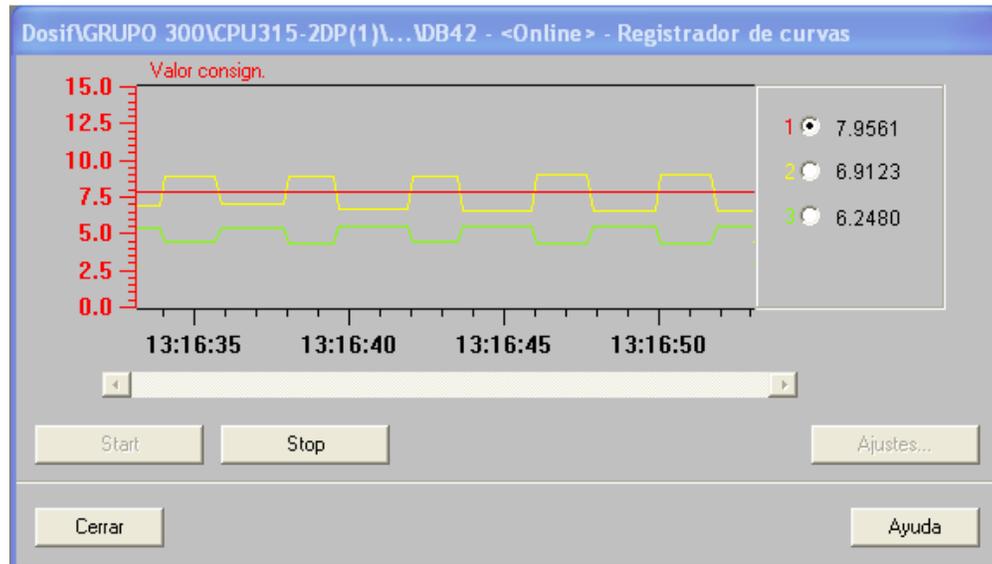


Figura 6.2 Regulación antes del ajuste

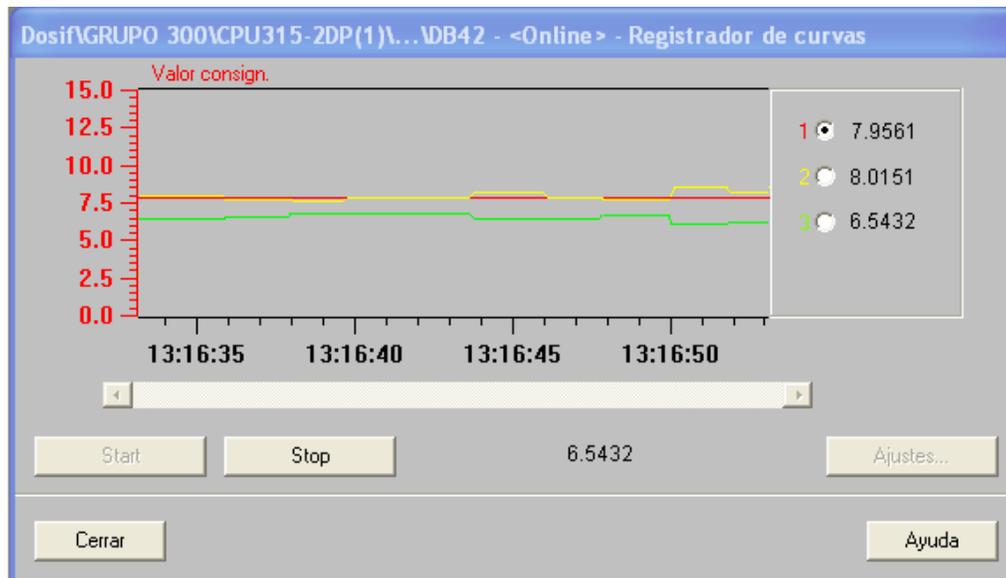


Figura 6.3 Regulación después del ajuste

## **6.5 PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DE LOS TORNILLOS SIN FIN**

- 1 Se conectó la alimentación a los motores de los tornillos sin fin dosificadores y usando el programa de regulación de PID de Simatic se analizó las respuestas de los controles PI de velocidad de los motores de los tornillos sin fin, es decir que se analizó la regulación de la cantidad de material. Con la ayuda de las gráficas de regulación del programa y aplicando el método de sintonización de Ziegler-Nichols se procedió a ajustar las constantes de los controles PI.

Analizando la graficas de respuesta, se concluyó que la regulación no era la adecuada, en este caso se sintonizaron las constantes de los reguladores PI, como no se obtuvo lo resultados óptimos, se aumentó a 10 [s] el tiempo de ciclo para la regulación de lo que estaba en 8 [s] y con ello se obtuvo la regulación óptima.

## **6.6 PRUEBAS FINALES**

Teniendo realizadas todas las pruebas preliminares, llegó la fecha prevista para hacer funcionar el nuevo sistema y con ello se realizaron las últimas pruebas de funcionamiento.

- 1 Con el funcionamiento total de la línea de producción, se probó el arranque y parada del nuevo sistema de control antes ciertas condiciones que podrían presentarse, como son el llenado de la formadora o la parada del proceso de preparación de resina que afecta directamente al sistema de control de dosificación.

El arranque del nuevo sistema, luego que el nivel de la formadora bajaba del 100% no se daba automáticamente, por lo que se debió modificar algunas instrucciones en el programa del PLC hasta obtener un correcto

funcionamiento del sistema de control de dosificación dentro de la línea de producción

- 2 Con la ayuda del programa de regulación de PID de Simatic se analizó nuevamente las respuestas de los controles PI de velocidad de los motores de las bombas y de los tornillos sin fin para ver si no se ha producido ninguna alteración en las regulaciones.

Se tuvo que realizar un pequeño ajuste a las constantes de los controles PI de velocidad de las bombas y los tornillos sin fin, lográndose obtener el funcionamiento óptimo.

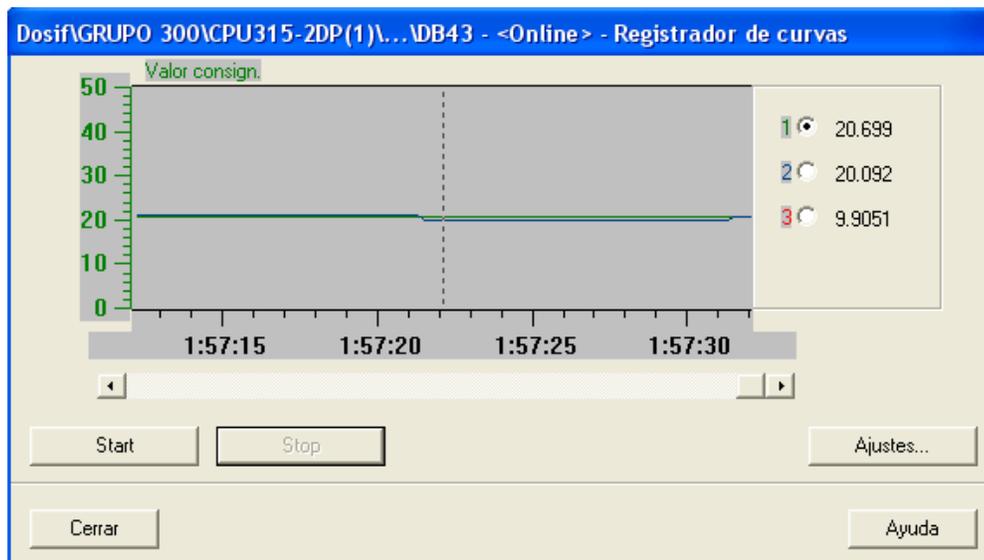


Figura 6.4 Regulación de material

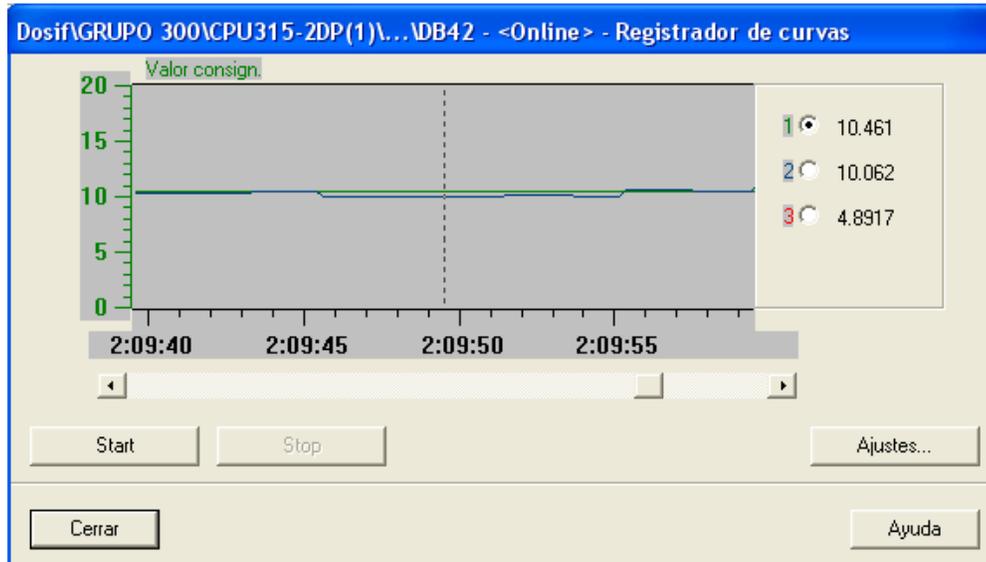


Figura 6.5 Regulación de resina

- 3 Se probó el funcionamiento del nuevo sistema de control en el modo dos de funcionamiento, es decir que el PLC AGL-380 regula la cantidad de material y los T/CX 10 regulan el caudal de resina.

Se comprobó el correcto funcionamiento del nuevo sistema en conjunto con los equipos T/CX 10

- 4 Finalmente el personal de laboratorio de ACOSA realizó las pruebas físicas y químicas para verificar la calidad del tablero producido con el nuevo sistema de dosificación, una de estas pruebas es la dureza del tablero, para lo cual se cortaron pequeños pedazos de un tablero y se les sometió a una determinada fuerza hasta que el tablero se fraccione y así se determinó su dureza.

Los resultados en las pruebas de laboratorio fueron positivos, los valores estaba dentro del rango de valores permisibles según la información dada por el personal que realizaron estas pruebas, esta información es de uso restringido por lo que nos remitimos simplemente a decir que los resultados fueron excelentes.

Luego de realizadas todas las pruebas en la instalación, de funcionamiento y las de laboratorio y con el visto bueno del personal de mantenimiento, supervisores de producción, personal del laboratorio de ACOSA y con la satisfacción nuestra del deber cumplido, el nuevo sistema de control para la dosificación resina quedó funcionando a la perfección.

## **CAPÍTULO 7**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- El presente proyecto se implementó en el tiempo planificado, cumpliendo con todas las expectativas impuestas. La dosificación de resina es uno de los procesos importantes en la fabricación de tableros de aglomerado, el sistema de control desarrollado es confiable, seguro y cumple con las necesidades de los operadores.
- Para el desarrollo del proyecto se aplicó conocimientos en control industrial, control automático, interfaces de comunicación industrial, maquinas eléctricas, instalaciones eléctricas industriales, mandos neumáticos y control de procesos industriales.
- El objetivo principal de la automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano.
- A pesar de nuevas técnicas de control vectorial para el control del motor de AC a bajas revoluciones, siempre el motor de DC tendrá una mejor respuesta en cuanto al torque en bajas revoluciones.
- En el caso de la protección al variador de velocidad se debe utilizar fusibles ultrarrápidos ya que su constitución física y comportamiento son los adecuados para proteger los semiconductores de los variadores.
- Para el caso de reemplazar un motor de DC por un motor asincrónico se debe tomar en cuenta la curva de torque del motor de DC y comparar con la curva del motor de AC. El mínimo punto de la curva de AC debe estar por encima de la curva de torque constante del motor de DC, es por ello que se recomienda

dimensionar el motor de AC con una potencia mayor que la potencia del motor de DC, resultado del cálculo correspondiente.

- Los sistemas de monitoreo y control supervisor deben estar diseñados de manera que su utilización sea fácil y no represente cambios drásticos para el personal de operación ya que esto representaría en tiempos de adaptación más largos.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a Aglomerados Cotopaxi S.A. (ACOSA) la inversión en proyectos de automatización, pues con ello se logra mejorar sus índices de producción y a la vez están apoyando al conocimiento técnico y científico en las universidades.
- En futuros proyectos de automatización mediante PLC se recomienda a ACOSA, implementar en estos, redes de comunicación industriales como por ejemplo redes Profibus o Ethernet, uniendo los PLCs que tienen en la planta para así tener una integración total de los equipos y ascender en el escalón a nivel de gerencia.
- Se le recomienda a ACOSA la importación inmediata de un módulo de función FM 350-2 el mismo que procesa todas las señales de pulsos que emiten los encoders del sistema cuenta litros. Si este módulo llegara a dañarse el sistema actual no podría trabajar, de allí que es necesario tener uno de repuesto.
- Considerando que el antiguo sistema de control de velocidad de los tornillos sin fin se halla funcionando adecuadamente, se recomienda que no se lo desmonte, sino que se lo instale como control de emergencia mediante un switch adecuado.

- En la implementación de proyectos se recomienda en la planificación, tomar en cuenta el tiempo de importación de los equipos, pues son tiempos largos de 2 a 3 meses.
  
- Para el control y visualización de procesos se recomienda la utilización de paneles táctiles o de operador que estén ubicados en el cuarto de control junto con el monitor de visualización de la HMI, debido a que el WinCC u otras HMI trabajan en un entorno de Windows, el mismo que es susceptible a problemas por parte del sistema operativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SIEMENS, Step 7 V5.3 Introducción y ejercicios, Edición 01/2004, Alemania 2004, 112pp.
2. SIEMENS, Getting Started Autómata programable S7-300, Edición 11/2000, Alemania 2000, 10pp.
3. SIEMENS, Programar con Step 7 V5.3, Edición 01/2004, Alemania 2004, 566 pp.
4. SIEMENS, Catálogo DA 65.10, Edición 2004, Alemania 2004, 325pp.
5. SIEMENS, Compendio Vector Control, Edición AH, Alemania 2005, 850pp.
6. SIEMENS, Catálogo DA 21.1, Edición 2002, Alemania 2002, 166pp.
7. SIEMENS, SIMOREG DC Master-Instrucciones de servicio, Edición 11, Alemania 2005, 735pp.
8. SIEMENS, S7-PLCSIM V5.3, Edición 01/2005, Alemania 2005, 72pp.
9. SIEMENS, Sistema de automatización S7-300 Datos de las CPU 312 IFM a 318-2 DP, Edición 10/2001, Alemania 2001, 182 pp.
10. SIEMENS, Configurar el sistema de automatización S7-300: CPU 312IFM - 318-2 DP, Edición 06/2003, Alemania 2003, 242pp.
11. SIEMENS, Catálogo ST 70, Edición 2005, Alemania 2005, 644 pp.
12. SIEMENS, Catálogo FI 01, Edición 2005, Alemania 2005, 860 pp.
13. SIEMENS, Catálogo IK PI, Edición 2005, Alemania 2005, 1168 pp.

14. SIEMENS, Catálogo ST 80, Edición 2005, Alemania 2005, 372 pp.
15. SIEMENS P.S., WinCC V4.02 Manual de programación, Edición 1999, España 1999, 457 pp.
16. SIEMENS, WinCC Getting Started, Edición 03/2000, Alemania 2000, 118 pp.
17. SIEMENS, WinCC Communication manual, Edición 9/1999, Alemania 1999, 92 pp.
18. UNIVERSIDAD DE VALENCIA, WinCC Manual de uso e iniciación, España 2002, 65 pp.
19. SIEMENS, Panel de operador OP7, OP17 Manual equipo, Edición 04/1999, Alemania 1999, 196 pp.
20. SIEMENS, Catalog LV 10, Edición 2004, Alemania 2004, 1150 pp.
21. MOLINA Jorge, Control Industrial, EPN, Quito, 60 pp.
22. SCHNEIDER ELECTRIC, Telesquemario manual electrotécnico, España 1999, 285 pp.
23. OGATA Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, Ed. Prentice Hall Hispanoamérica, 3ra. Edición, México 1998, 997pp.
24. MUHAMMAD Rashid, Electrónica de potencia, Ed. Prentice Hall Hispanoamérica, 3ra. Edición, México 2004, 980pp.
25. RIVERA Pablo, Control de maquinas eléctricas, EPN 2000, Quito, 105 pp.
26. IMAL srl, Equipo electrónico de dosificación tipo T/CX 10, Italia, 39 pp.

## INTERNET

1. <http://www.cotopaxi.com.ec>
2. <http://www.siemens.com>
3. <http://www.schneiderelectric.es>
4. <http://www.clubse.com.ar/newsletter/news17/notas/nota04.htm>
5. <http://iaci.unq.edu.ar>
6. <http://isa.umh.es>
7. <http://isa.uniovi.es/~vsuarez/ii>
8. <http://www.rambal.com>

## ÍNDICE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

#### CAPITULO 1

Figura 1.1 Proceso de elaboración de los tableros de aglomerado.....	4
Figura 1.2 Recepción de la materia prima.....	5
Figura 1.3 Molino viruteador para las trozas de madera. ....	5
Figura 1.4 Banda transportadora que lleva las virutas de madera hacia el tambor de secado. ....	6
Figura 1.5 Secadero donde se elimina la humedad de la madera.....	6
Figura 1.6 Tamiz vibratorio que sirve para clasificar del material. ....	7
Figura 1.7 Encoladora donde se mezcla el material y la mezcla preparada en el encolado. ....	8
Figura 1.8 Máquina formadora.....	9
Figura 1.9 Prensa hidráulica. ....	9
Figura 1.10 Volteador para el enfriamiento de los tableros. ....	10
Figura 1.11 Línea de lijado.....	10
Figura 1.12 Componentes del proceso de dosificación de resina.....	12

#### CAPITULO 2

Figura 2.1 Vista del motor, reductor y grupo tornillos sin fin dosificadores .....	18
Figura 2.2 Diagrama unifilar antiguo circuito de fuerza de losTSF .....	19
Figura 2.3 Vista del armario de los tornillos dosificadores.....	20
Figura 2.4 Diagrama unifilar antiguo circuito de fuerza de las bombas .....	21
Figura 2.5 Vista antiguo motor M35 y bomba.....	22
Figura 2.6 Vista de los equipos T/CX 10.....	22
Figura 2.7 Diagrama en bloques de control del T/CX 10.....	23
Figura 2.8 Señales que influyen funcionamiento T/CX 10.....	24
Figura 2.9 Funcionamiento de la válvula de cuatro vías y de apertura.....	28
Figura 2.10 Vista del antiguo sistema cuenta litros .....	28
Figura 2.11 Componentes del proceso dosificación resina del nuevo sistema de control	29
Figura 2.12 Diagrama unifilar nuevo sistema eléctrico.....	30
Figura 2.13 Vista de los nuevos variadores de velocidad SIMOREG .....	31
Figura 2.14 Vista nuevo motor, reductor de velocidad y bomba.....	32

Figura 2.15 Vista de los variadores de velocidad SIMOVERT.....	33
Figura 2.16 Ubicación nuevos selectores, pulsantes y lámparas de indicación.....	34
Figura 2.17 Vista panel operador OP7 .....	36
Figura 2.18 Vista nuevo sistema cuenta litros.....	39

### CAPITULO 3

Figura 3.1 Diagrama en bloques funcionamiento proceso dosificación de resina.....	42
Figura 3.2 Diagrama unifilar del nuevo circuito de fuerza.....	45
Figura 3.3 Micro cortes de conmutación en la red.....	49
Figura 3.4 Curva torque vs. velocidad para selección motor AC .....	54
Figura 3.5 Datos técnicos nuevos motores 7M3, 8M3 para las bombas .....	56
Figura 3.6 Rev/min. vs lt/min. antiguo sistema cuenta litros.....	57
Figura 3.7 Curva torque carga-velocidad de una bomba.....	59
Figura 3.8 Diagrama unifilar alimentación principal.....	64
Figura 3.9 Formas de riel din .....	75
Figura 3.10 Ejemplo de jerarquía de llamadas de un programa de usuario.....	79
Figura 3.11 Diagrama de flujo del funcionamiento del nuevo sistema control proceso dosificación .....	84
Figura 3.12 Diagrama de flujo de funcionamiento del nuevo sistema control proceso de dosificación (continuación) .....	85
Figura 3.13 Principio de funcionamiento de un encoder incremental .....	88
Figura 3.14 Señales de salida A y B de un encoder incremental .....	89
Figura 3.15 Encoders nuevo sistema cuenta litros.....	89

### CAPITULO 4

Figura 4.1 Estructura del panel operador OP7.....	92
Figura 4.2 Comunicación OP7 con el PLC.....	93
Figura 4.3 Profibus en el nivel de célula y campo. ....	93
Figura 4.4 Comunicación maestro/esclavo. ....	94
Figura 4.5 Transmisión por cable bifilar apantallado. ....	95
Figura 4.6 Resistencias de terminación (a); Conectores para cable profibus. ....	95
Figura 4.7 Esquema general de la conexión en red realizado.....	96
Figura 4.8 Estructura de WinCC. ....	97
Figura 4.9 Ventana principal; WinCC Explorer.....	98

Figura 4.10 Ventana del editor graphic designer.....	100
Figura 4.11 Ventana de configuración de archivos y gráficas; Tag Logging.....	101
Figura 4.12 Ventana de User Administrator. ....	102
Figura 4.13 Fase de configuración, fase de transferencia y fase de control del proceso. ....	103
Figura 4.14 Hardware para la configuración y conexión con el PLC. ....	104
Figura 4.15 Ventana de proyectos con el objeto imágenes. ....	105
Figura 4.16 Insertar un campo de entrada. ....	106
Figura 4.17 Ejemplo variable en una conexión S7. ....	106
Figura 4.18 Lógica de configuración principal de un proyecto.....	108
Figura 4.19 Configuraciones adicionales realizadas en el proyecto. ....	109
Figura 4.20 Pantalla de menú del proceso de dosificación de la resina. ....	110
Figura 4.21 Pantalla principal de visualización de parámetros. ....	112
Figura 4.22 Ventana para el ingreso del nombre y el password.....	112
Figura 4.23 Pantalla para el ingreso de parámetros a través de una receta.....	113
Figura 4.24 Pantalla donde se visualiza el proceso de dosificación, capa externa.....	114
Figura 4.25 Pantalla donde se visualiza el estado de los drives.....	114
Figura 4.26 Pantalla donde se visualiza el estado de las entradas digitales (PLCS7300). ....	115
Figura 4.27 Pantalla formadora para visualizar los niveles de llenado. ....	116
Figura 4.28 Pantalla principal para el acceso a los gráficos y tablas.....	116
Figura 4.29 Imagen principal de presentación.....	118
Figura 4.30 Imagen para el ingreso o visualización de parámetros.....	118
Figura 4.31 Imagen para el ingreso de setpoints, capa externa. ....	119
Figura 4.32. Imagen para la visualización de valores seteados, capa externa. ....	119

## CAPITULO 6

Figura 6.1 Cuadro dialogo ajuste interface PLC-PC.....	138
Figura 6.2 Regulación antes del ajuste .....	141
Figura 6.3 Regulación después del ajuste .....	141
Figura 6.4 Regulación de material .....	143
Figura 6.5 Regulación de resina .....	144

## TABLAS

### CAPITULO1

Tabla 1.1 Tipos de aglomerado normal.....	2
Tabla 1.2 Tipos de aglomerado RH. ....	3

### CAPITULO 2

Tabla 2.1 Datos motores de DC 5M6, 6M6.....	18
Tabla 2.2 Datos antigua bomba .....	20
Tabla 2.3 Datos motores de DC M35, M36.....	21
Tabla 2.4 Datos nuevos variadores de velocidad SIMOREG .....	31
Tabla 2.5 Datos nuevos motores de las bombas .....	32
Tabla 2.6 Datos nuevas bombas .....	32
Tabla 2.7 Datos nuevos variadores de velocidad SIMOVERT .....	33

### CAPITULO 3

Tabla 3.1 Datos nuevos variadores de velocidades de los motores DC 5M6, 6M6 .....	48
Tabla 3.2 Datos reactancias de red para los variadores SIMOREG.....	50
Tabla 3.3 Datos fusibles nuevo circuito fuerza TSF .....	51
Tabla 3.4 Datos guardamotors nuevo circuito fuerza TSF.....	53
Tabla 3.5 Datos variadores de velocidad para los motores 7M3, 8M3 .....	61
Tabla 3.6 Datos reactancia de red para los variadores SIMOVERT .....	61
Tabla 3.7 Datos fusibles nuevo circuito fuerza bombas .....	62
Tabla 3.8 Datos motores de los ventiladores externos.....	62
Tabla 3.9 Datos guardamotors circuito fuerza de las bombas.....	63
Tabla 3.10 Datos contactores utilizados.....	66
Tabla 3.11 Módulos entradas y salidas digitales .....	70
Tabla 3.12 Módulos entradas y salidas analógicas .....	71
Tabla 3.13 Modulo de función FM 350-2.....	71
Tabla 3.14 Datos de las fuentes de alimentación para PLC.....	72
Tabla 3.15 Dato de CPU y micro memory card.....	74

## CAPITULO 4

Tabla 4.1 Requisitos previos del entorno de trabajo con WinCC v5.0. ....	91
Tabla 4.2 Datos técnicos red profibus. ....	94

## CAPITULO 5

Tabla 5.1 Cotización de equipos. ....	125
Tabla 5.2 Costos del proyecto de dosificación de resina. ....	126