

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Modificación eléctrica y electrónica de la máquina coladora continua de aluminio**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Jocksan E. Villalobos Lobo**

**23 de enero del 2012**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**

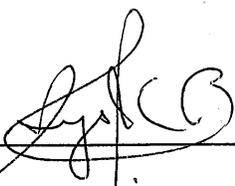
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

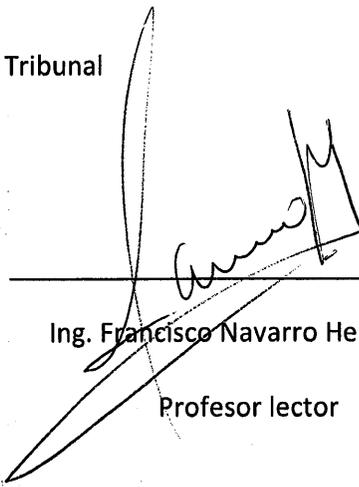
**Miembros del Tribunal**



---

M.Sc. Arys Carrasquilla Batista

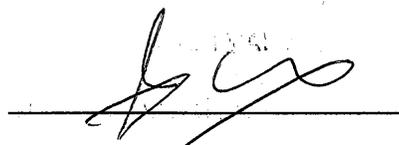
Profesor lector



---

Ing. Francisco Navarro Henríquez

Profesor lector



---

Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 23 de enero del 2012

---

# Declaratoria

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios. En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 2012

Jocksan Villalobos Lobo  
Jocksan E. Villalobos Lobo  
Céd: 6-358-482

---

## Resumen

La empresa CVG ALUNASA trabaja en la elaboración de productos a base de aluminio. Para extraer el aluminio y formarlo en láminas se requiere el uso de la máquina coladora continua. Parte principal de la misma es el sistema mecánico encargado de girar los rodillos que dan la forma y dimensión a dichas láminas.

El objetivo del proyecto es reemplazar el sistema mecánico por uno más eficiente y de mayor capacidad, y diseñar e implementar un sistema de control que responda ante cambios físicos que se realicen en los rodillos. Debido a que el sistema anterior estaba al límite de su capacidad y presentaba problemas tanto mecánicos como de control.

El sistema mecánico hace girar los rodillos a una velocidad determinada y con una precarga en estos para dar el espesor a la lámina, estos factores definen la potencia suministrada por el sistema. Con la velocidad máxima necesaria para la producción y el torque, se calculó la potencia que debe suministrar el nuevo sistema mecánico, conformado por dos motores y sus reductores de velocidad planetarios.

Se diseñó un sistema de control síncrono programado en dos variadores de frecuencia, para la regulación de la velocidad y sincronía de los motores, y una pantalla LCD táctil que brinda datos relevantes del proceso, alarmas y permite al operador la introducción de parámetros de control.

**Palabras clave:** coladora continua, precarga, reductor de velocidad planetario.

## Abstract

CVG ALUNASA working on the development of aluminum products. To extract the aluminum and make de aluminum foil it's require the use of the continuous casting machine. Main part of this machine is the mechanical system, that is responsible for spinning the roller that shape and give dimension to the foil.

The objective of this project is to replace the mechanical system to a more efficient with higher capacity system and the designing and implementation of a control system that responds to physical changes that take place on the rollers. Those changes are because the previous system was in the limit of its capacity and had mechanical and control problems.

The mechanical system rotate the rollers at the necessary rate of speed with the preload on the rollers to give thickness to the sheet, these factors give the power supplied by the system. With the maximum speed and the torque value the power that must be supplied for the new mechanical system was calculated, consisting of two motors and planetary gearboxes.

A synchronous control system was designed and programmed in two variable frequency drives, to regulate the speed and the synchronization of the motor, and one LCD touch screen was programmed to provides relevant process data, alarms and allows the operator the introduction of control parameters.

**Keywords:** continuous casting, preload, planetary gearboxes.

# Índice general

<b>Índice de figuras .....</b>	<b>X</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. Motivación y presentación del proyecto .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Meta y Objetivos.....</b>	<b>4</b>
2.1.    Meta.....	4
2.2.    Objetivo General .....	4
2.3.    Objetivos Específicos .....	4
<b>3. Principios teóricos relacionados con la coladora continua .....</b>	<b>6</b>
3.1.    Conceptos generales del proceso de laminado y de la coladora continua .....	6
3.1.1.    Secciones del sistema mecánico principal de la coladora continua .....	8
3.1.2.    Motor jaula de ardilla con ventilación forzada .....	10
3.1.3.    Reductores de velocidad planetarios .....	13
3.1.4.    Variador de frecuencia.....	14
3.1.5.    Pantalla LCD táctil .....	16
3.2.    Colada continua .....	17
3.3.    Principios mecánicos relacionados con el laminado .....	18
3.3.1.    Torque.....	18
3.3.2.    Transductor .....	19
<b>4. Desarrollo de las expresiones para el cálculo de potencia mecánica y velocidades de colado continuo .....</b>	<b>21</b>
4.1.    Consideraciones importantes del sistema anterior.....	21
4.2.    Datos necesarios para la obtención de una expresión de torque.....	23
4.3.    Requisitos y restricciones para la determinación de parámetros mecánicos y eléctricos.....	26

4.3.1.	Consideraciones para cálculo del torque de los rodillos.....	26
4.3.2.	Definición de las características de los reductores y los motores AC .....	28
4.3.3.	Velocidad de línea síncrona.....	29
4.4.	Ajustes del sistema de control .....	30
<b>5.</b>	<b>Diseño, selección y programación del Hardware.....</b>	<b>32</b>
5.1.	Sistema mecánico y eléctrico .....	32
5.2.	Descripción de Hardware .....	33
5.2.1.	Selección de Hardware .....	34
5.3.	Descripción de Software.....	40
5.3.1.	Rutinas de los variadores de frecuencia.....	44
5.3.2.	Rutinas de la pantalla táctil.....	52
<b>6.</b>	<b>Análisis de Resultados.....</b>	<b>59</b>
6.1	Resultados del sistema.....	59
6.2	Resultados de la medición de velocidad en el sistema de control y el lazo de retroalimentación.....	60
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
7.1	Conclusiones.....	63
7.2	Recomendaciones .....	64
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>65</b>
	<b>Apéndices.....</b>	<b>67</b>
A1.	Glosario, abreviaturas y símbolos.....	67
A2.	Manuales y planos eléctricos .....	68
A3.	Programa completo de los variadores de frecuencia y la pantalla táctil .....	95
A3.1.	Programa de los variadores de frecuencia .....	95
A3.2.	Programa de la pantalla .....	103
A4.	Tablas de comparación .....	113

A5. CVG ALUNASA.....	115
<b>Anexos.....</b>	<b>117</b>

# Índice de figuras

1.1. Diagrama de bloques de todo el sistema. ....	2
1.2. Diagrama de bloques para el sistema de control. ....	3
3.1. Maquinaria de fundición y laminación del aluminio.....	7
3.2. Estructura del Caster de la coladora continua .....	8
3.3. Rotor del motor jaula de ardilla.....	10
3.4. Voltaje corriente y campos magnéticos generados en el motor jaula de ardilla.....	12
3.5. Esquema interno de un reductor de velocidad planetario.....	14
3.6. Diagrama de funcionamiento del variador de frecuencia.....	14
3.7. Diagrama básico del proceso de colada continua.....	18
3.8. Diagrama básico interno de un generador de pulsos.....	20
4.1. Maquinaria que compone al Caster de la coladora continua.....	21
4.2. Conexión mecánica entre el reductor 2 y los rodillos. ....	23
4.3. Diagrama de velocidades en los rodillos.....	24
4.4. Diagrama de conexión del motor y el reductor con el rodillo.....	25
5.1. Sistema mecánico con dos motores.....	32
5.2. Variador de frecuencia 890SD .....	34
5.3. Diagrama de bloques funcionales del 890SD Standalone Drive.....	35
5.4. TS8010 (pantalla táctil LCD).....	36
5.5. Diagrama de puertos de comunicación de la pantalla TS8010 .....	37
5.6. Tarjeta de Firewire .....	38
5.7. Tarjeta de Ethernet Modbus TCP/IP .....	40

5.8. Algunos bloques definidos de 890DSE.....	41
5.9. Secciones DSI para programación de la pantalla TS8006. ....	42
5.10. Herramienta de DSI para el dibujo de la pantalla. ....	43
5.11. Diagrama de bloque de control del Variador de rodillo superior.....	44
5.12. Programación para el cálculo de la velocidad de los motores.....	45
5.13. Programación para pulso adelante, pulso atrás y para frenar el motor.....	45
5.14. Programación para paro de emergencia y envío de diámetro de rodillo inferior.....	45
5.15. Salidas del sistema del sistema.....	46
5.16. Diagrama de flujo del programa principal de los variadores de frecuencia. ....	47
5.17. Bloque de configuración del variador de frecuencia.....	48
5.18. Bloque de configuración del control de velocidad.....	48
5.19. Esquema interno del control de lazo cerrado PI del variador de frecuencia. ....	49
5.20. Diagrama de flujo de giro atrás y adelante.....	50
5.21. Diagrama de flujo de protección del rango de velocidad de línea. ....	51
5.22. Protección del rango de velocidad de línea.....	51
5.23. Diagrama de flujo de protección general del sistema de control. ....	52
5.24. Diagrama de flujo general de la pantalla táctil.....	53
5.25. Diagrama de flujo de la función principal del la pantalla TS8010.....	54
5.26. Pantalla de interface gráfica de la coladora continua. ....	55
5.27. Código fuente para las condiciones y cambios en la pantalla de la coladora continua. ....	55
5.28. Pantalla de alarmas del Caster.....	57
5.29. Pantalla de alarmas del Caster y el Enrollador.....	57
5.30. Pantalla de alarmas del Enrollador y Fundición.....	58

A2.1. Título de sección y área de texto.....	70
A2.2. Datos mostrados en la pantalla principal.....	70
A2.3. Datos mostrados en cada sección.....	70
A2.4. Área de introducción de datos.....	71
A2.5. Botón de inicio del arranque de los motores.....	71
A2.6. Botón para detener todo el sistema.....	71
A2.7. Botón para rotar los motores hacia adelante.....	71
A2.8. Botón para rotar los motores hacia atrás.....	71
A2.9. Teclado digital.....	72
A2.10. Teclas de suma y resta.....	72
A2.11. Botón de ayuda.....	74
A2.12. Ejemplo de pantalla de ayuda.....	74
A2.13. Indicador de giro de los motores.....	74
A2.14. Indicador de alarmas.....	75
A2.15. Pantalla de alarmas del Caster.....	76
A2.16. Diagrama de bloque de control del Variador de rodillo superior.....	78
A2.17. Programación para el cálculo de la velocidad de los motores.....	78
A2.18. Programación para pulso adelante, pulso atrás y para frenar el motor.....	79
A2.19. Programación para paro de emergencia y envío de diámetro de rodillo del variador inferior.....	79
A2.20. Salidas del sistema del sistema.....	79
A2.21. Datos del variador de frecuencia esclavo hacia la pantalla.....	80
A2.22. Ajuste de velocidad del jog del variador inferior.....	80
A2.23. Bloque de configuración del variador de frecuencia.....	81

A2.24. Bloques de configuración y definición de la velocidad del drive maestro.....	81
A2.25. Bloque de lazo de velocidad.....	82
A2.26. Bloque lógico secuencial.....	83
A2.27. Bloque de detección de errores externos.....	84
A2.28. Bloque de datos de fábrica del motor.....	84
A2.29. Bloque de datos de fábrica del encoder.....	85
A2.30. Lógica de protección para la velocidad de línea.....	86
A2.31. Detector de encoder dañado.....	86
A2.32. Selección de protocolo y dispositivo a comunicar.....	87
A2.33. Pantalla de direccionamiento y creación de variables.....	88
A2.34. Configuración de las tarjetas de comunicación y del modo de control.....	89
A2.35. Selección de canal.....	90
A2.36. Bloque de Ethernet.....	90
A2.37. Direccionamiento de las entradas y salidas por Ethernet.....	91
A2.38. Plano eléctrico de la conexión de los variadores de frecuencia.....	93
A2.39. Plano eléctrico de la conexión de la ventilación de los motores.....	94
A3.1. Programa por bloques del sistema en el variador de frecuencia maestro.....	96
A3.2. Protección de velocidad de línea del sistema en el variador de frecuencia maestro.....	97
A3.3. Primera página del bloque “motor control”.....	98
A3.4. Segunda página del bloque “motor control”.....	100
A3.5. Bloque de motor de inducción y encoder.....	101
A3.6. Programa por bloques del sistema en el variador de frecuencia esclavo.....	102
A3.7. Código fuente de movimiento de válvulas de agua.....	103

A3.8. Código fuente de movimiento de giro de motores.....	104
A3.9. Código fuente de detección de errores.....	105
A3.10. Código fuente de pantalla de presentación.....	105
A3.11. Código fuente ayuda ante fallo de encoder.....	106
A3.12. Código fuente de pantalla de presentación.....	106
A3.13. Código fuente para detener sistema ante paro de emergencia.....	106

# Índice de tablas

T6.1. Valores de velocidad medidos en el sistema de control y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 876 [mm].....	60
6.2. Valores de velocidad medidos en el sistema de control y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 959 [mm].....	61
A4.1 Porcentaje de error entre la velocidad teórica y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 876 [mm].....	113
A4.2 Porcentaje de error entre la velocidad teórica y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 959 [mm].....	114

# Capítulo 1

## Motivación y presentación del proyecto

La empresa CVG ALUNASA trabaja en la manufactura y mercadeo de productos de aluminio terminados y semiterminado.

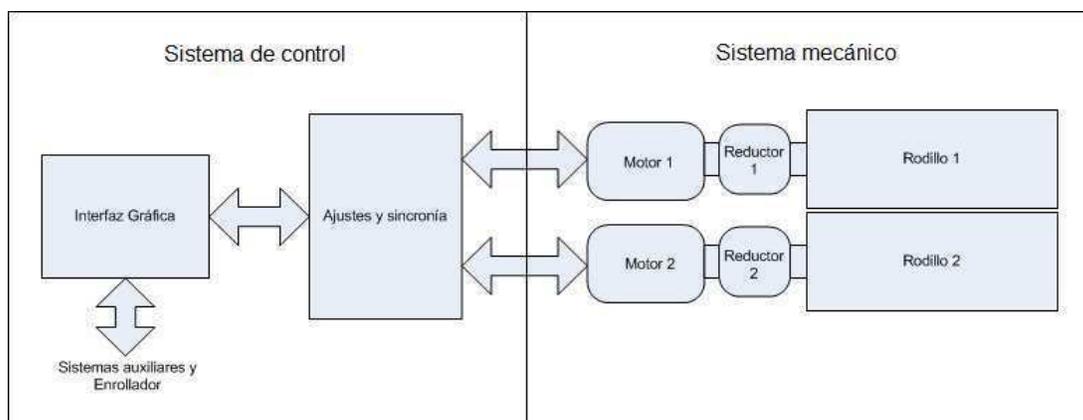
El principal método de obtención del aluminio para la producción se realiza a partir del lingote de aluminio el cual se somete a un proceso en el área de “Fundición y Colada” en este proceso el lingote de aluminio primero es fundido por el horno de fundición en su salida se quitan las impurezas y el aluminio fundido pasa al horno de espera, este horno se encarga de mantenerlo en estado líquido para luego pasar a la fase de laminado. Antes de pasarse a la laminadora el aluminio líquido es mezclado con la aleación que se requiera y posterior a esto se esparce y solidifica; de inmediato en la “coladora continua” se pasa por dos rodillos que lo laminan y moldean dando la forma y espesor a cada lámina, según las necesidades de la empresa; seguidamente la lámina es transportada hasta llegar al enrollador donde se forma la bobina, y se extrae la bobina de aluminio terminada.

La máquina coladora continua estaba conformada por un motor, dos reductores de velocidad y dos rodillos a los cuales el motor hacía girar para lograr el proceso de laminado. Esta máquina presentaba problemas eléctricos debido a que el motor que giraba los rodillos estaba al límite de sus capacidades de potencia teniendo una velocidad máxima de línea de 1.97 m/min, debido al aumento de las necesidades de producción se requería aumentar la velocidad a un máximo de 4m/min.

El sistema mecánico de la coladora continua presentaba además un problema de desgaste mecánico ya que el reductor de velocidad que estaba unido a los rodillos presentaba una torsión entre las uniones de dicho reductor con cada rodillo lo que producía un desgaste excesivo de los dientes mecánicos en las uniones.

Otro problema mecánico que se sumaba era de eficiencia y aprovechamiento de recursos debido que al tener un solo motor para ambos rodillos, se restringió a que estos tuviesen el mismo diámetro y si uno se dañaba se requería quitar ambos rodillos, se desgastaba el rodillo con problemas para eliminar la parte dañada, pero se tenía que desgastar el segundo rodillo (en buen estado) para mantener la condición de igualdad de diámetro.

Debido a los problemas mencionados se propuso cambiar todo el sistema mecánico de la máquina coladora continua e implementar un sistema de control para el mismo (ver figura 1.1).

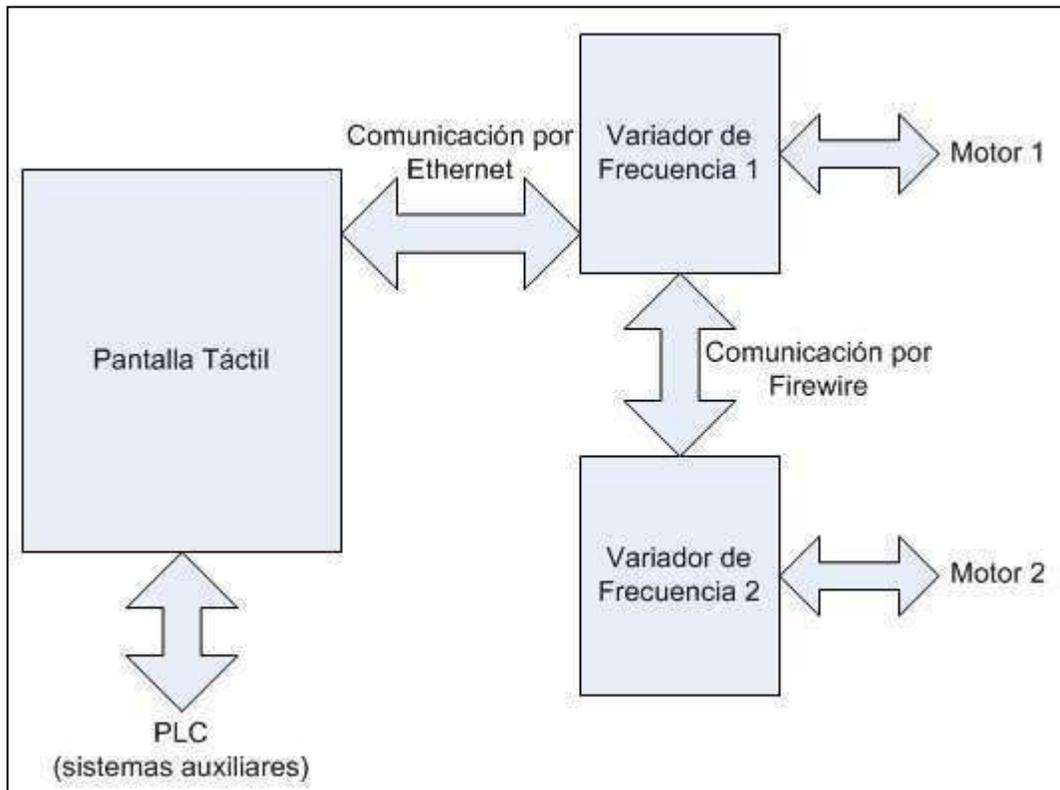


**Figura 1.1.** Diagrama de bloques de todo el sistema.

El sistema mecánico se cambio por dos motores de corriente alterna (uno para cada rodillo) con su respectivos reductores (ver figura 1.2), con el fin de eliminar los problemas de potencia y aumentar la velocidad de línea de producción. Y el uso de dos motores independientes para cada rodillo, se resuelve el problema mencionado de desgaste mecánico causado por el ángulo que se generaba entre las salidas del reductor con los ejes de los rodillos.

La parte de control y programación del proyecto está conformado por dos variadores de frecuencia para el control de los motores, los cuales poseen PLC

integrados estos realizan las operaciones y cálculos a partir de los parámetros que se les envía o monitorean de los motores y con estos datos realizar los ajustes del sistema y mantener la sincronía de los motores y mantienen la velocidad de línea deseada invariante ante cambios físicos de los rodillos. Para el control de todo el sistema se hará uso de una pantalla LCD táctil ver figura 1.2.



**Figura 1.2.** Diagrama de bloques para el sistema de control.

Como se observa en la figura anterior (figura 1.2) el sistema de control mediante la pantalla LCD táctil debe acoplarse al resto de maquinaria de “Fundición y Colada” por razones de monitoreo, sincronía y control de datos. De manera que la pantalla se debe de conectar a un PLC para lograr dicho acople.

# Capítulo 2

## Meta y Objetivos

### 2.1. Meta

Dotar a la máquina coladora continua de la empresa CVG ALUNASA de un sistema que permita aumentar la velocidad de la línea de producción a 4m/min.

### 2.2. Objetivo General

Sustituir el sistema eléctrico y electrónico encargado de hacer girar los rodillos de la laminadora de la máquina coladora continua, de la empresa CVG ALUNASA, por un sistema de mayor potencia y velocidad.

### 2.3. Objetivos Específicos

- Calcular la potencia máxima para cada uno de los nuevos motores del sistema mecánico de la máquina coladora continua, que permita cubrir las necesidades de velocidad de la línea de producción de la empresa.
  
- Diseñar un control programado síncrono para el control del sistema mecánico.
  
- Implementar el control del sistema mecánico.

- Implementar una interfaz gráfica programada para una pantalla LCD táctil que permita al operario tener el control del sistema mecánico y sistema de control.

## Capítulo 3

# Principios teóricos relacionados con la coladora continua

### 3.1. Conceptos generales del proceso de laminado y de la coladora continua

Fundición y colado es una de las áreas mas importantes del proceso de producción de la empresa CVG ALUNASA. Dicho proceso es realizado por un conjunto de hornos y máquinas ver figura 3.1. El lingote de aluminio es fundido en el horno de fusión (A1), fundido el aluminio se le quitan las impurezas y se transfiere al horno de espera (A2) donde se mantiene en estado líquido y se le agrega la aleación que se necesita tener en la lámina y se esparce en los rodillos de la coladora continua los cuales enfrían y laminan el aluminio que se solidifica formando una lámina de espesor y ancho específico según las necesidades de la empresa. Finalmente la lámina es transportada y el enrollador forma la bobina de aluminio que será transportada para transformarla en un producto final.

El proceso de laminado se puede segmentar en tres operaciones que se pueden distinguir claramente en la figura 3.1 y se explican a continuación:

**Hornos:** Dos hornos que se conocen dentro de la empresa como A1 y A2, y como se menciono son los encargados de fundir y mantener el aluminio en estado líquido, además en ellos se eliminan impurezas y se agrega la aleación.

**Coladora continua:** Máquinas industriales que se encargan de solidificar y dar forma, ya sea bloques o láminas de materiales metálicos. En el caso de CVG ALUNASA la máquina está hecha para endurecer, laminar y transportar el aluminio para que se forme la bobina.

**Enrollador:** Es el final de la línea consiste en un motor que gira enrollando la lámina de aluminio con una tensión constante para que la bobina no se afloje.

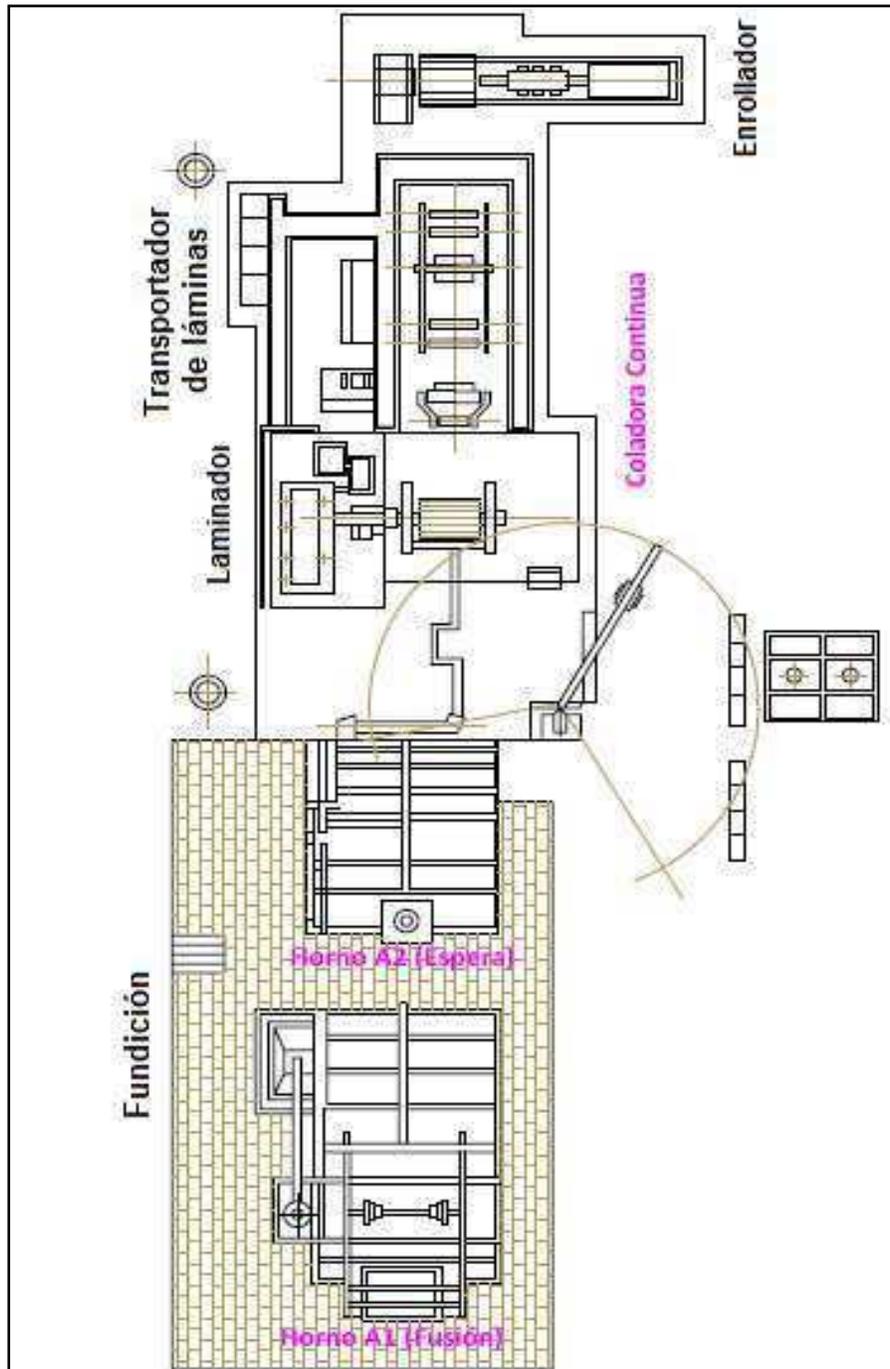


Figura 3.1. Maquinaria de fundición y laminación del aluminio.[1]

### 3.1.1. Secciones del sistema mecánico principal de la coladora continua

#### El Caster de la coladora continua

La parte principal de la coladora continua se llama Caster (figura 3.2). El Caster está conformado por un marco o estructura metálica que soporta los rodillos, brinda soporte y asegura el enderezado de la lámina para que esta salga recta. Para este caso la estructura es inclinada en un ángulo de quince grados para facilitar la posición al tip de colado que distribuye el aluminio líquido en los rodillos.

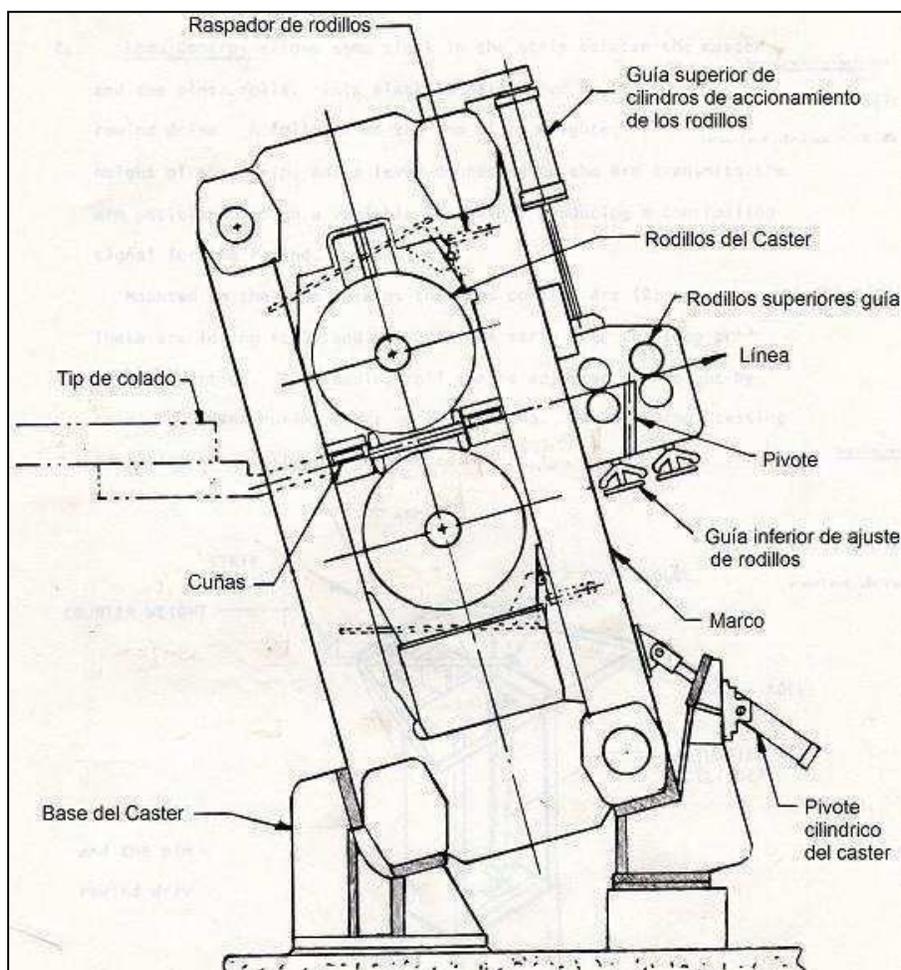


Figura 3.2. Estructura del Caster de la coladora continua. [2]

**Tip de colado:** Pieza metálica que se encarga de la distribución del aluminio líquido en los rodillos y define el ancho de la lámina.

**Cuñas:** son de metal usadas para evitar que los rodillos se junten. Proporcionan un límite al poner precarga para que los rodillos se acerquen pero no se junten y así evitar daños en lámina o en los rodillos.

**Raspador de rodillos:** es una placa con cerdas a lo largo del rodillo, la cual esta posicionada para limpiar y quitar suciedad los rodillos, y evita que se le pegue grumos de aluminio.

**Rodillos superiores guía:** son rodillos muy pequeños comparados con los laminadores, estos rodillos de la guía se encargan de asegurar que la lámina salga recta, ósea, se encargan de enderezar.

**Guía superior de cilindros de acondicionamiento:** es usado para que al mover los rodillos de la guía toda la parte mecánica de enderezado se mueva y mantenga el balance, de forma en que siempre quede alineada para no dañar o torcer la lámina de aluminio.

**Pivote:** pieza metálica en la que se apoya la lámina para enderezarla.

**Guía inferior de ajuste de rodillos:** Sube o baja los rodillos guía para ajustar a la posición de salida de los rodillos de laminado (en caso que se haga cambio de rodillos y estos sean de diámetro diferente).

**Marco:** base metálica que sostiene los rodillos y los mantiene en su posición. Brinda la posición y presión (precarga) a los rodillos para producir los espesores de lámina deseados.

**Pivote cilíndrico del Caster:** usado para sostener el marco a la hora de hacer cambio de rodillos. El marco se abre para extraer los rodillos gracias a este pivote.

### 3.1.2. Motor jaula de ardilla con ventilación forzada

El motor jaula de ardilla es un tipo de motor de inducción los cuales usan corriente alterna para inducir un campo giratorio alrededor del estator. Un rotor de esta clase consiste en un conjunto de barras conductoras dispuestas entre una serie de ranuras en la cara del rotor y cortocircuitadas en los dos extremos por anillos de corto circuito. Dichas barras conductoras se inclinan levemente a lo largo de la longitud del rotor para reducir ruido y para reducir las fluctuaciones del esfuerzo de torsión que pudieran resultar, a algunas velocidades, y debido a las interacciones con las barras del estator. El número de barras en la jaula de la ardilla se determina según las corrientes inducidas en las bobinas del estator y por lo tanto según la corriente a través de ellas. Este motor debe su nombre a la forma en que está estructurado su rotor figura 3.3 el cual asemeja la rueda de ejercicios de un hámster.

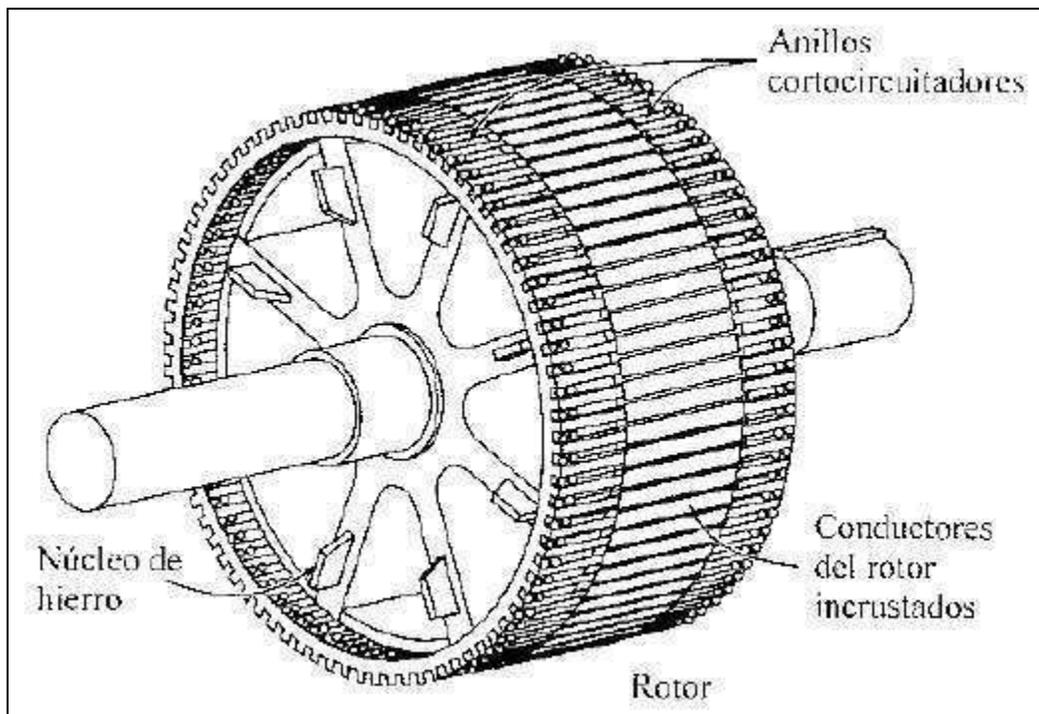


Figura 3.3. Rotor del motor jaula de ardilla.[\[3\]](#)

Al aplicar voltajes trifásicos en el estator de un motor de jaula de ardilla las corrientes estáticas generan un campo magnético que gira alrededor contrario a las manecillas de reloj. La velocidad de dicho campo depende directamente de la frecuencia y el número de polos del motor.

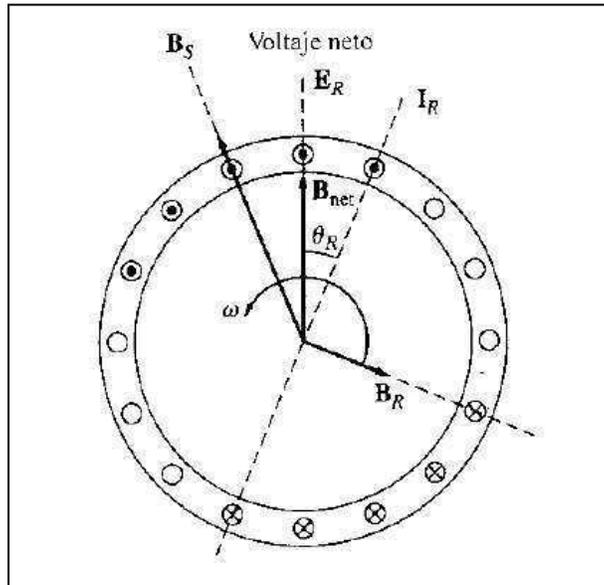
$$n_{sinc} = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (3.1)$$

$n_{sinc}$ : es la velocidad de rotación del campo magnético

$f$ : es la frecuencia del sistema.

$p$ : es el número de polos del motor.

Dicho campo magnético rotacional pasa en la barras del rotor e induce una tensión en ellas. El movimiento relativo del rotor respecto al campo del estator produce dicho efecto. La velocidad de las barras de la parte superior del rotor respecto al campo del estator tiende hacia la derecha, lo que induce una tensión hacia afuera de la pagina (ver figura 3.4) mientras que en las barras interiores se genera una tensión hacia el interior de la pagina. Esto genera una corriente de la misma manera hacia fuera en las superiores y hacia adentro en las inferiores. Sin embargo debido a que el rotor en conjunto es inductivo genera un atraso en la corriente pico respecto al voltaje pico esto genera un campo magnético de rotor.



**Figura 3.4.** Voltaje corriente y campos magnéticos generados en el motor jaula de ardilla. [4]

En la figura anterior  $B_s$  es el campo magnético del estator,  $B_R$  es el campo magnético en el rotor,  $I_R$  la corriente inducida en el rotor  $E_R$  es la tensión neta inducida en el rotor,  $B_{net}$  es el campo magnético neto producto del campo del estator y del campo del rotor y  $\omega$  la velocidad angular.

Estos campos (campo estator y campo del rotor) inducen un par en la máquina contrario a las manecillas del reloj. Y como el par en el rotor va en contra de las manecillas del reloj, el rotor se acelera en esa dirección.

La ventilación forzada es un sistema de enfriamiento de motores con el cual el ventilador consta de un motor propio, esto es usado en aplicaciones en las que el motor se trabaja con un variador de frecuencia, donde la velocidad es variable para el accionamiento a par constante, de manera en que si se usa motores con refrigeración propia presentan una reducción del par asignado, debido a una disminución del aire de refrigeración.

### 3.1.3. Reductores de velocidad planetarios

Los reductores planetarios son mecanismos usados en maquinas que necesitan de motores para su movimiento y función, en estos casos en los que la máquina necesite que la velocidad del motor sea adaptada. Esta adaptación de velocidad se logra con el uso de engranajes posicionados según la necesidad de la máquina.

Además de la adaptación de velocidad con un reductor se pueden tomar en cuenta o controlar factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos).

Un reductor de velocidad planetario (ver figura 3.5) tiene un engranaje principal (planeta) fijado rígidamente a la sección delantera del motor, y una corona interna es impulsada por el cigüeñal. El porta satélites esta unido al eje de lo que se requiere mover. Montado en el, una serie de piñones (satélites) que cuando el cigüeñal gira, los piñones giran en torno al principal fijo, en compañía de la corona en la misma dirección, pero a una velocidad reducida.

Los reductores de velocidad de engranajes planetarios, interiores o anulares son variaciones del engranaje recto en los que los dientes están tallados en la parte interior de un anillo o de una rueda con reborde, en vez de en el exterior. Los engranajes interiores suelen ser impulsados por un piñón, (también llamado piñón planeta, que es un engranaje pequeño con pocos dientes). Este tipo de engrane mantiene el sentido de la velocidad angular.

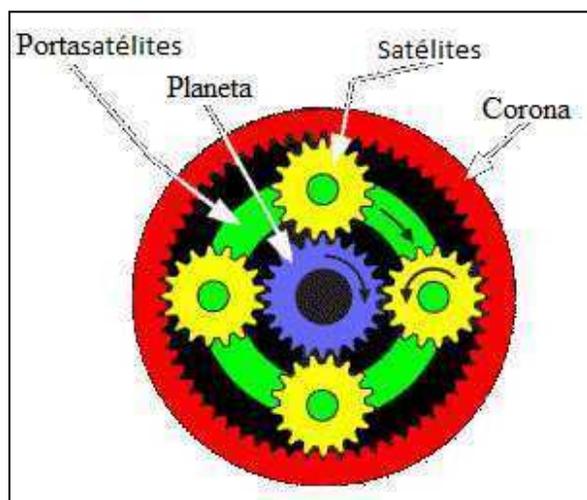


Figura 3.5. Esquema interno de un reductor de velocidad planetario. [5]

### 3.1.4. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un sistema de control de velocidad rotacional para motores de corriente alterna, por medio del control regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

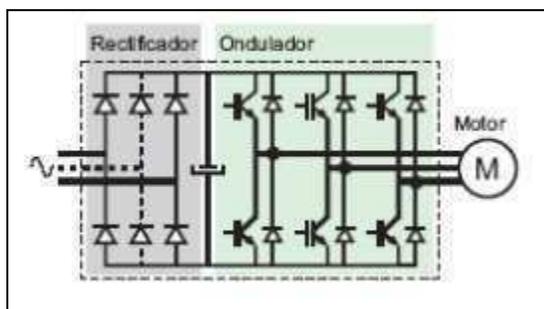


Figura 3.6. Diagrama de funcionamiento del variador de frecuencia. [6]

La figura 3.6 muestra en esquema básico de funcionamiento de un variador de frecuencia. Los cuales también son conocidos como drivers de frecuencia ajustable, drivers de CA o inversores.

Estos dispositivos de control son usados principalmente en procesos en los que se necesita dominio de par y la velocidad, regulación evitando los golpes mecánicos, cuando un proceso requiere de movimientos complejos y con mecánica delicada, o sea, mecanismos que por su naturaleza o seguridad necesitan un control apropiado para evitar que se dañen.

El variador de frecuencia regula la velocidad del motor basando su funcionamiento en la ecuación 3.1, de esta manera variando la frecuencia del motor de corriente alterna se obtiene el cambio en la velocidad. Esto sujeto a una relación de voltaje y frecuencia como se mencionó.

#### Principales funciones del variador de frecuencia

**Control de aceleración:** La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal. Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para el proceso o aplicación.

**Variación de velocidad:** La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). Al variar el valor de referencia en la entrada el variador ajusta la velocidad al nuevo valor deseado.

**Regulación de la velocidad:** Definido el valor de referencia este se compara permanentemente con la señal de alimentación, que viene dando la velocidad en el motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de una

variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

**Desaceleración controlada:** Cuando se desconecta un motor, su desaceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (desaceleración natural). Los variadores de frecuencia permiten controlar la misma mediante una rampa lineal, generalmente independiente de la rampa de aceleración.

**Inversión del sentido de marcha:** La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la referencia de entrada, o una orden lógica en un borne.

**Protección integrada:** Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo. También protecciones como evitar o detectar los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra, las sobretensiones y las caídas de tensión y los desequilibrios de fases.

#### 3.1.5. Pantalla LCD táctil

Las pantallas táctiles LCD industriales son dispositivos muy útiles para el control y monitoreo de información. Con una programación que facilita el crear una interface gráfica para la observación y control de procesos. Esta interface gráfica es formada según las necesidades de la empresa o usuario.

Las ventajas que presentan estas pantallas son que su mayoría poseen memoria integrada (de 4MB a 32MB dependiendo de marca o tamaño de pantalla) la

cual permite almacenar datos y cálculos, además de que permite realizar funciones lógicas y matemáticas que facilitan el procesamiento de los datos para el control del sistema.

## 3.2. Colada continua

Colada o vaciado es el nombre que se le da a uno de los procesos más antiguos que se conoce y aplica aún en la actualidad para trabajar con metales. Este consiste en dejar caer o vaciar material líquido en un molde y dejar que se solidifique.

Este proceso realizado en materiales metálicos sigue siendo usado por ser uno de los más simples y eficientes métodos de trabajar metales, ya que permite moldear las piezas o partes metálicas sin necesidad de procesos de mecánicos complejos, solo se vierte en metal fundido en un molde el cual le da la forma de la parte o pieza semi-terminada o terminada requerida para el producto.

El proceso de colada continua ha sido desarrollado como método alternativo para la producción de hierro fundido sin moldes o procesos tradicionales de moldeo. Este consiste en vaciar el hierro fundido a un horno alimentador en cuyo lado inferior se ha puesto un molde de grafito refrigerado por agua. Se extrae horizontalmente la barra del horno en la medida que la presión ferrostática alimenta el hierro fundido a través del molde. La fabricación del molde altamente controlada determina la forma y estructura de la barra de fundición continua producida. La refrigeración con agua dentro del molde inicia el enfriamiento de gradual. Esto permite obtener una solidificación homogénea y una microestructura uniforme. A medida que la barra recorre la máquina en toda su extensión, se completa el proceso de solidificación (ver figura 3.7).

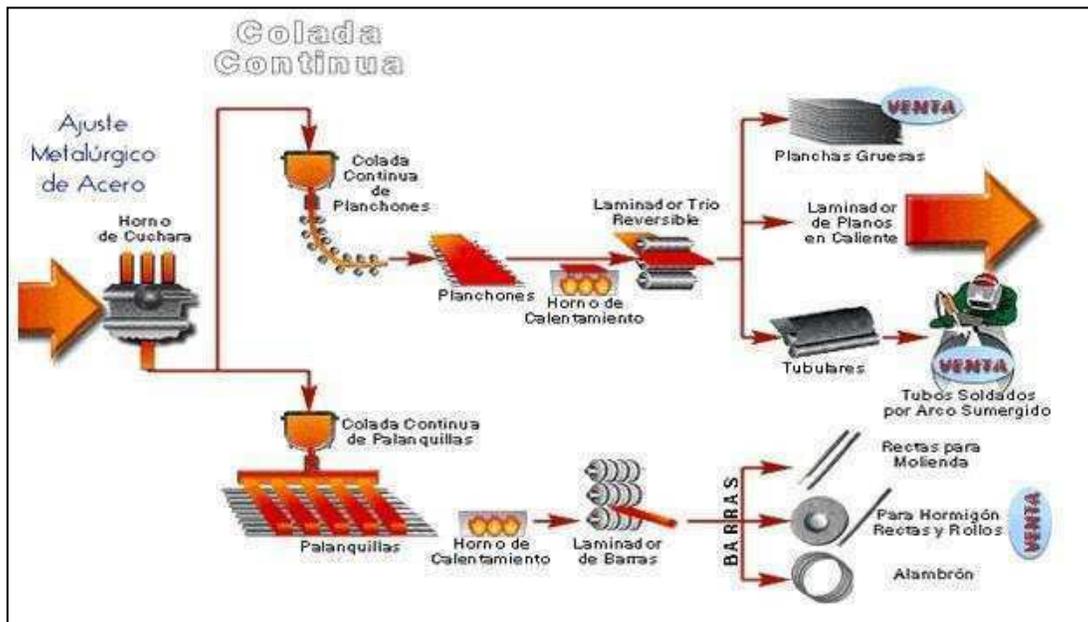


Figura 3.7. Diagrama básico del proceso de colada continua.[7]

## 3.3. Principios mecánicos relacionados con el laminado

### 3.3.1. Torque

El torque o momento de fuerza mide la tendencia de una fuerza de hacer rotar un cuerpo rígido alrededor de un eje. El torque depende de la fuerza y la distancia del eje al punto donde se aplica dicha fuerza. Por lo cual define con la siguiente expresión:

$$\tau = F \times r \quad (3.2)$$

$\tau$ : Momento de fuerza [N·m].

F: Vector de fuerza aplicada [N].

r: Vector de distancia del eje al punto de aplicación [m].

En sistemas mecánicos en los que generalmente el movimiento o proceso es realizado por motores se define el torque entregado por el motor a razón de la potencia mecánica generada por el motor y la velocidad angular a la que se lleve a cabo el proceso, este se expresa como:

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (3.3)$$

$\tau$ : Momento de fuerza [N·m].

P: Potencia del motor [W].

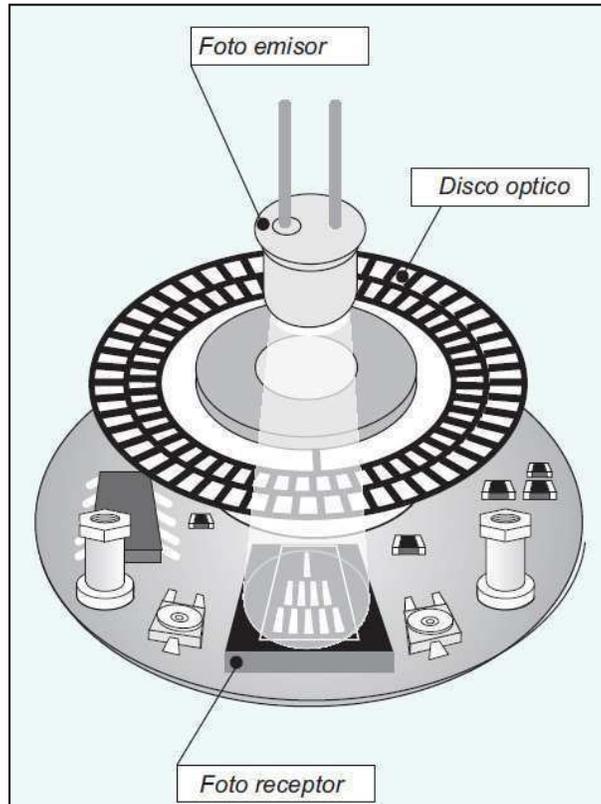
$\omega$ : Velocidad angular en [rad/s].

### 3.3.2. Transductor

#### Generador de pulsos (encoder)

Es un tipo de transductor rotatorio que se encarga de transformar un movimiento angular en una serie de pulsos digitales. Estos son útiles para obtener información de un motor o una máquina que requiera un movimiento rotatorio, entre los datos más relevantes que se pueden extraer de un generador de pulsos esta la velocidad angular y la posición del rotor respecto a una referencia.

El procedimiento más usado para obtener y codificar dicha información se desarrolla mediante la rotación de un disco graduado con un reticulado radial formado por líneas opacas, alternadas con espacios transparentes. Este disco está iluminado perpendicularmente por una fuente de rayos infrarrojos. De esta manera el disco proyecta su imagen sobre una superficie con receptores enmascarados por otro reticulado, dichos receptores tienen la función de detectar cambios de luz producidos por el movimiento del disco convirtiéndolas en las correspondientes variaciones eléctricas, un diagrama claro del generador de pulsos se puede apreciar en la figura 3.8.



**Figura 3.8.** Diagrama básico interno de un generador de pulsos.[8]

Las señales eléctricas detectadas son procesadas para evitar interferencias y generar pulsos totalmente escuadrados. Para mejorar la calidad y estabilidad de los pulsos la lectura se realiza de manera diferencial, comparando dos señales casi idénticas pero con un desfase de 180 grados eléctricos entre ellas. Se efectúa la lectura a partir de la diferencia entre las dos señales, eliminando la interferencia de modo común, ya que están transpuestas de igual manera en toda la onda.

## Capítulo 4

# Desarrollo de las expresiones para el cálculo de potencia mecánica y velocidades de colado continuo

### 4.1. Consideraciones importantes del sistema anterior

El sistema mecánico del Caster de la coladora continua de la empresa CVG ALUNASA realiza la función de laminado del aluminio a una velocidad máxima de 1.97 m/min. Este proceso era desarrollado mediante dos rodillos que prensan el material. Los rodillos eran girados por un solo motor de 50 [Hp], el cual por su tamaño y velocidad con la que operaba estaba unido a un reductor el cual disminuía la velocidad de giro y este se unía a un segundo reductor que además de disminuir la velocidad en la salida, también hacía girar los dos rodillos sincronizados por medio de dos salidas de ejes dentados. En la figura 4.1 se puede observar la estructura de la coladora continua.

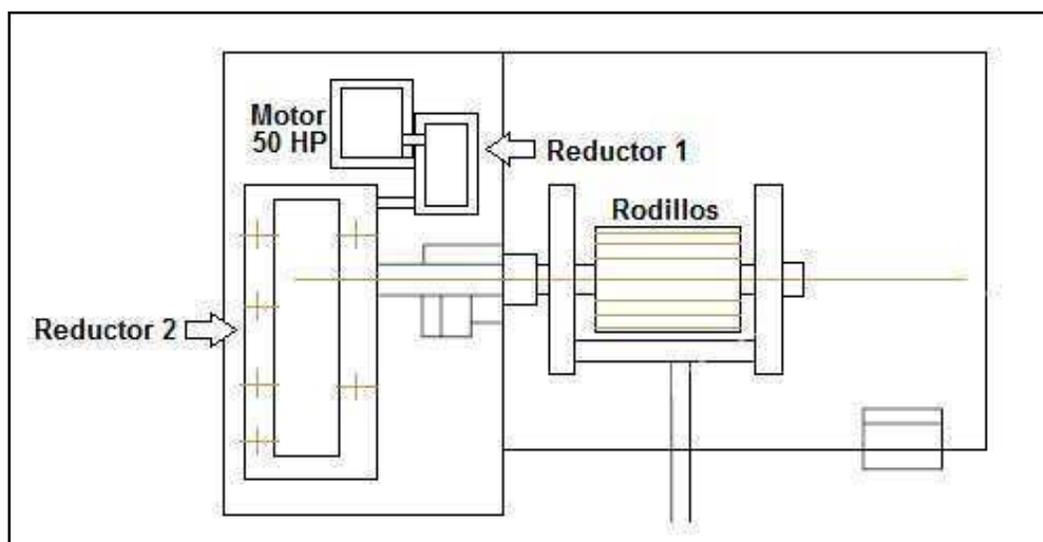


Figura 4.1. Maquinaria que compone al Caster de la coladora continua.

Este sistema presentaba problemas mecánicos de importancia uno de los más graves era que como solo un motor se encarga de hacer girar los rodillos para formar las láminas; este motor se encontraba al límite de la potencia que podía entregar, por lo que una recarga ocasionaba que se detuviera, paralizando la producción. Al tener este único motor para ambos rodillos, se restringía a que estos tuvieran el mismo diámetro y si uno se dañaba se requería quitar ambos rodillos, ya que se desgastaba el rodillo con problemas para eliminar la parte dañada, pero se tenía que desgastar el segundo rodillo (en buen estado) para mantener la condición de igualdad de diámetro, lo que volvía ineficiente el sistema.

Debido a la demanda de productos surgió la necesidad de la empresa en aumentar la producción y como se mencionó la velocidad máxima de la línea de producción era 1,97m/min. La velocidad debía ser aumentada a 4m/min y que se pudiera variar esta velocidad para las diferentes aleaciones de aluminio.

Los ejes del reductor 2 (ver figura 4.2) presentaban un desgaste mecánico importante, esto debido a que dicho mecanismo estaba unido a ambos rodillos, idealmente la distancia entre una salida y la otra del reductor debe ser igual a la distancia entre un eje y otro eje de los rodillos, para que al conectarse estas salidas a los ejes de los rodillos, la conexión fuese horizontal y paralela una salida con la otra, no obstante la distancia de separación entre las dos salidas de dicha máquina era menor que la distancia de separación que existía entre los dos ejes de los rodillos, lo que producía que los ejes que se conectan presentaban un ángulo variable, ya que los rodillos se mueven, se acercan o alejan según las necesidades de grosor de lámina y el diámetro que tenían dichos rodillos, y debido a este ángulo variable se generaba un desgaste mayor de los dientes de la máquina.

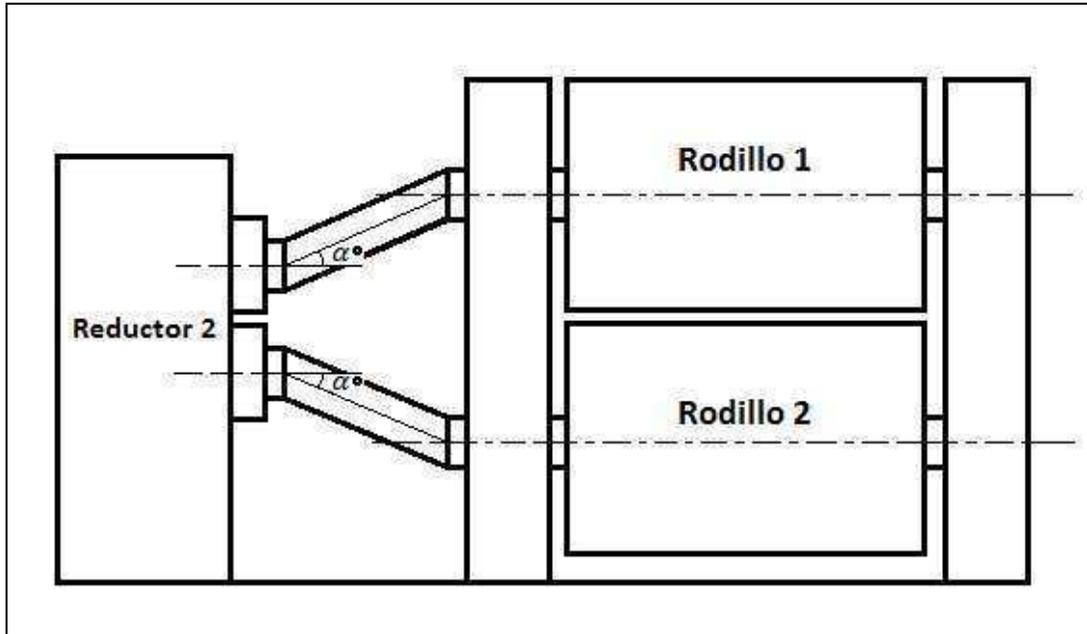


Figura 4.2. Conexión mecánica entre el reductor 2 y los rodillos<sup>1</sup>.

## 4.2. Datos necesarios para la obtención de una expresión de torque

Para la obtención de la expresión se desarrolló la ecuación 3.3. con el objetivo de usar datos con una aproximación mas real.

Relación torque y potencia de la ecuación 3.3

$$\tau = \frac{P_m}{9.81\omega}$$

$\tau$ : torque [ $kgf \cdot m$ ]

$P_m$ : potencia mecánica del motor [Kw]

$\omega$ : Velocidad angular [rad/s]

<sup>1</sup> En la realidad el sistema estaba inclinado  $15^\circ$  como se ve en la figura 3.2, pero como todo el sistema incluyendo el reductor tenía esta inclinación, el sistema no se veía afectado por esos  $15^\circ$ .

La potencia mecánica de un motor puede expresarse como el factor de eficiencia mínima del motor multiplicado por la potencia eléctrica del dato de fabricante.

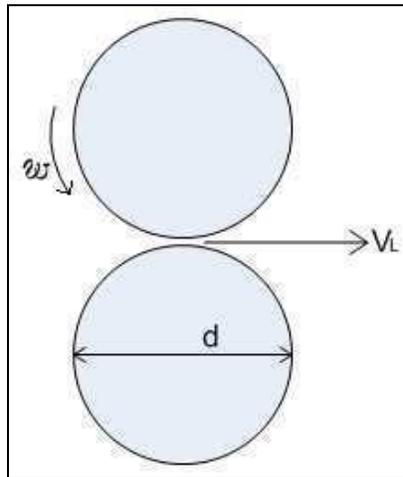
$$P_m = \epsilon * P_e \quad (4.1)$$

$P_m$ : potencia mecánica del motor [Kw]

$P_e$ : potencia eléctrica del motor [Kw]

$\epsilon$ : eficiencia del motor

Un aspecto importante en la relación que existe entre la velocidad de línea de lámina y la velocidad angular.



**Figura 4.3.** Diagrama de velocidades en los rodillos.

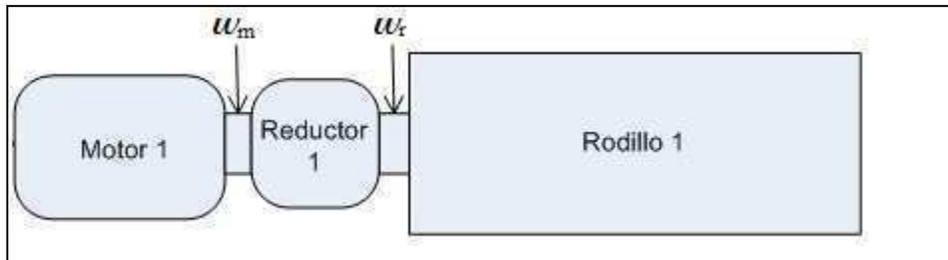
$$\omega = \frac{V_L}{\pi \cdot d} [\text{RPM}] \quad (4.2)$$

$d$ : Diámetro de rodillo [m]

$\omega$ : Velocidad angular [RPM]

$V_L$ : Velocidad de línea [m/min]

El reductor desempeña una función importante ya que aporta una relación de reducción la cual se expresa a continuación:



**Figura 4.4.** Diagrama de conexión del motor y el reductor con el rodillo.

$$\omega_m = N * \omega_r \quad (4.3)$$

$\omega_m$ : Velocidad angular en la salida del motor [RPM]

$\omega_r$ : Velocidad angular en la salida del reductor [RPM]

N: Relación de reducción

Tomando las consideraciones de las expresiones (4.1), (4.2) y (4.3) se incorporan en la ecuación 3.3 y se obtiene la expresión<sup>2</sup>:

$$\tau = \frac{1000}{9.81 \cdot \frac{2\pi}{60}} \cdot \frac{\epsilon \cdot P_e \cdot N}{\omega_r} [kgf \cdot m] \quad (4.4)$$

$\tau$ : torque [ $kgf \cdot m$ ]

$P_e$ : potencia eléctrica del motor [Kw]

$\epsilon$ : eficiencia del motor

N: Relación de reducción

$\omega_r$ : Velocidad angular en la salida del reductor [RPM]

---

<sup>2</sup> La constante 9.81 surge por definición debido a que las unidades de torque usadas son [ $kgf \cdot m$ ] y las constantes  $2\pi$  entre 60 surgen de la relación de cambio de radianes por segundo a RPM.

## 4.3. Requisitos y restricciones para la determinación de parámetros mecánicos y eléctricos

### 4.3.1. Consideraciones para cálculo del torque de los rodillos

El sistema mecánico del Caster de la coladora continua presenta una serie de restricciones importantes las cuales debieron ser tomadas en cuenta para el cálculo de potencia y velocidad de la maquinaria del Caster.

Los diámetros de los rodillos de laminado se encuentran entre los limitantes, ya que por las dimensiones que tiene el Caster, permite diámetros que no sobrepasen el límite superior de 959 [mm], ni sean menores al límite inferior de 876 [mm].

Debido a la complejidad del marco del Caster (ver figura 3.2.) y las dificultades de hacer un estudio del mismo, ya que el proceso de colado no puede ser detenido (solo puede detenerse por una emergencia) y las diferentes fuerzas (precarga lado derecho y lado izquierdo) aplicadas y distribuidas en diferentes partes del marco, como restricción se solicitó hacer los cálculos a razón de la potencia del motor (50Hp) que estaba al límite, una relación de reducción de 2450 (70 y 35 eran las relaciones de reducción del primer y segundo reductor respectivamente), y la velocidad máxima de línea (1.97m/min) y el valor medido de 52688.9 [ $kgf \cdot m$ ] el cual corresponde al torque que generan ambos rodillos.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Esta restricción fue hecha por el jefe del departamento de coordinación de ingeniería de planta y proyectos de la empresa CVG ALUNASA, el ingeniero Osvaldo González Álvarez.

Para comprobar el valor medido de torque se realizó el cálculo teórico del sistema partiendo del valor máximo del diámetro de rodillo, manteniendo la velocidad de línea en su valor máximo (1,97m/min) y el valor de potencia del motor de 37[kW] (50[Hp]), se calculó el valor de velocidad angular que generaba el torque teórico máximo que entregaba el motor del sistema mecánico viejo.

Usando la formula 4.2

$$\omega_r = \frac{1.97}{\pi \cdot 0.959}$$

$$\omega_r = 0.654 \text{ [RPM]}$$

Este valor de 0.654 RPM está presente a la salida del reductor, es necesario tener el dato a la salida del motor. Usando formula 4.3

$$\omega_m = 2450 * 0.654$$

$$\omega_m = 1602.3 \text{ [RPM]}$$

El valor teórico del torque máximo del motor sistema mecánico viejo usando la expresión 4.4 es:

$$\tau = \frac{1000}{9.81 \cdot \frac{2\pi}{60}} \cdot \frac{0.95 \cdot 37 \cdot 2450}{1602.3} \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$$

$$\tau = 52318 \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$$

Este torque lo suplía solo un motor, el sistema actual posee 2 motores (uno para cada rodillo) y sabiendo que los rodillos son del mismo material y ambos poseían siempre el mismo diámetro y peso; el torque necesario para cada motor es la mitad del mostrado, por lo tanto el torque mínimo para cada motor del sistema actual es 26159[kgf · m]

### 4.3.2. Definición de las características de los reductores y los motores AC

Entre los requerimientos de los motores estaba que fueran motores de 1750 [RPM] y 460 [V] y que dichos motores con sus respectivos reductores proporcionaran un aumento de la velocidad de línea a 4 [m/min] para el proceso de laminado de la coladora continua<sup>4</sup>.

La mayor velocidad angular es producida por el diámetro de rodillo mínimo y la velocidad de línea máxima (a partir de la formula 4.2).

$$\omega_r = \frac{4}{\pi \cdot 0.876}$$

$$\omega_r = 1.454 \text{ [RPM]}$$

Las 1.454 revoluciones por minuto estarían presentes en la salida del reductor y sabiendo que la velocidad máxima del motor solicitada es de 1750 RPM, se calculó la relación de reducción para el reductor de velocidad haciendo uso de la expresión 4.3.

$$1750 = N * 1.454$$

$$N = 1203.6 \cong 1204$$

Para calcular el torque requerido por un solo motor usando la expresión 4.4 y despejando la potencia eléctrica se obtiene:

$$P_{eT} = \frac{9.81 \cdot \frac{2\pi}{60}}{1000} \cdot \frac{26159 \cdot 1750}{0.95 \cdot 1204} \text{ [kW]}$$

---

<sup>4</sup> Los requerimientos fueron hechos por el jefe del departamento de coordinación de ingeniería de planta y proyectos de la empresa CVG ALUNASA, el ingeniero Osvaldo González Álvarez

$$P_{eT} = 41.12[kW]$$

$P_{eT}$ : Potencia eléctrica teórica para cada motor

A este valor teórico de potencia se le suma el 30 % más para tener un margen de seguridad, este margen fue establecido por el ingeniero encargado del departamento de coordinación de ingeniería de planta y proyectos de CVG ALUNASA, Lic. Osvaldo González Álvarez.

Por lo tanto:

$$P_{eR} = P_{eT} \cdot 30\% + P_{eT} \quad (4.5)$$

$$P_{eR} = 53.46 [kW]$$

$P_{eR}$ : Potencia eléctrica requerida con factor de seguridad para los motores.

$P_{eT}$ : Potencia eléctrica teórica para cada motor.

La potencia de 53.46 kW fue la usada para seleccionar los motores de corriente alterna para cada uno de los rodillos los motores seleccionados los cuales son de 1750 RPM y 55 kW o 75 Hp.

### 4.3.3. Velocidad de línea síncrona

Para mantener la velocidad de línea de ambos motores sincronizada sin importar que el diámetro de los rodillos difiera, los variadores de frecuencia se programaron con funciones matemáticas. Las cuales se deriban de la fórmula 4.2, de esta manera se tiene:

Para el variador de frecuencia superior:

$$\omega_1 = \frac{V_L}{\pi \cdot D_1} N \text{ [RPM]}$$

$D_1$ : Diámetro de rodillo superior [m]

$\omega_1$ : Velocidad angular motor superior [RPM]

$V_L$ : Velocidad de línea [m/min]

$N$ : Relación de reducción<sup>5</sup>

Para el variador de frecuencia inferior

$$\omega_2 = \frac{V_L}{\pi \cdot D_2} N \text{ [RPM]}$$

$D_2$ : Diámetro de rodillo inferior [m]

$\omega_2$ : Velocidad angular motor superior [RPM]

$V_L$ : Velocidad de línea [m/min]

$N$ : Relación de reducción

Para lograr la sincronía de giro mencionada ambos variadores de frecuencia deben cumplir con:

$$\frac{\pi \cdot D_1 \cdot \omega_1}{N} = V_L = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot \omega_2}{N}$$

De lo cual surge la siguiente relación:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (4.6)$$

## 4.4. Ajustes del sistema de control

Antes de realizar el estudio del equipo, se planteó un sistema de control conformado por una pantalla LCD táctil que enviaría y recibiría información a un

---

<sup>5</sup> La relación de reducción se agrega para obtener la velocidad angular exacta en la salida del motor.

PLC, el cual, se comunicaría enviando y recibiendo datos con los variadores de frecuencia y estos controlarían los motores de corriente alterna.

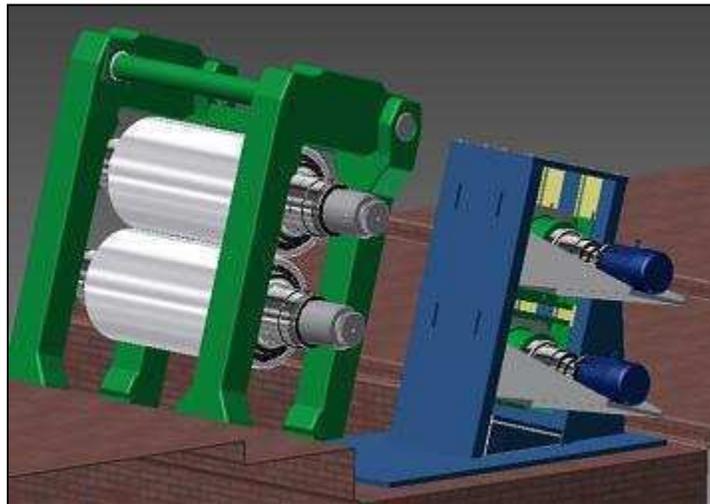
El PLC cumpliría las funciones lógicas y matemáticas de control y sincronía del sistema, sin embargo, después de realizado el estudio del equipo se determinó que un PLC era innecesario, ya que los dos variadores poseen un PLC integrado como parte de su estructura interna y la pantalla táctil posee memoria interna que permite realizar funciones lógicas y matemáticas. Por lo cual este fue descartado del sistema ya que representaba un gasto innecesario.

## Capítulo 5

# Diseño, selección y programación del Hardware

### 5.1. Sistema mecánico y eléctrico

El sistema mecánico se cambió para lograr mayor eficiencia, velocidad y disminuir los desgastes mecánicos. El sistema pasó de tener un motor para ambos rodillos, a tener dos motores, uno para su respectivo rodillo. De esta manera se eliminó el problema de desgastes por ángulo. En la siguiente figura muestra el sistema mecánico con dicho problema de desgaste corregido.



**Figura 5.1.** Sistema mecánico con dos motores. [\[9\]](#)

En el capítulo anterior se mostraron los cálculos hechos para determinar las características mecánicas (relación de reducción, torque, velocidad) y eléctricas (potencia) del sistema mecánico, así como las restricciones y requerimientos del mismo.

Con el sistema mecánico dimensionado se procedió a seleccionar los dispositivos más adecuados para el control de los motores. Dichos dispositivos de control son dos variadores de frecuencia en los que se realizó una programación para la sincronía y control de velocidad de los motores ante diferentes parámetros de entrada. Los variadores debían cumplir con ser de la misma potencia de los motores (75 Hp). Y para control y monitoreo del sistema se seleccionó una pantalla LCD táctil para mostrar e introducir los datos de control del sistema.

## 5.2. Descripción de Hardware

El hardware de este sistema se puede separar en tres etapas básicas, las cuales se pueden apreciar con claridad en la figura 1.4.

**Procesamiento:** Esta etapa está conformada por los variadores de frecuencia encargados de realizar los cálculos o ajustes del sistema para controlar la velocidad y potencia en los motores. Realiza las funciones de emergencia reaccionando automáticamente ante cualquier error o fallo del sistema, interactúa entre la interfaz humana y el sistema mecánico.

**Interfaz humana:** Es la que permite la interacción del sistema y proceso con el operador. Está conformada por una pantalla LCD táctil para la observación y control de parámetros del sistema, además permite que el usuario defina las características del proceso de colado. Brinda ayuda y soporte al operario en caso de algún error o falla del sistema o proceso.

**Comunicaciones:** La comunicación del sistema realiza las labores de transmisión y recepción de datos. Esta varía debido a que hay dispositivos del proyecto que necesitaban comunicación con alta velocidad y otros dispositivos necesitan mayor seguridad en la transferencia de datos debido a la distancia y un ambiente ruidoso.

### 5.2.1. Selección de Hardware

#### Variador de frecuencia

La serie AC890 “Standalone” marca Parker es una de las más modernas y nuevas de la actualidad. En CVG ALUNASA se plantea el uso de marcas que ya se hayan trabajado dentro de la empresa para facilitar el uso y comprensión de los técnicos, por este motivo se seleccionó un variador de frecuencia de marca Parker.

Debido a las características de potencia de los motores la estructura de los variadores de frecuencia seleccionados es tipo F (modelo 890SD/4/0105F/B/1F/A/US). Esta estructura es propia de drivers con potencia de 75 Hp a 150 Hp, la figura a continuación muestra dicho dispositivo.



**Figura 5.2.** Variador de frecuencia 890SD. [\[10\]](#)

A nivel interno el variador de frecuencia presenta una estructura con múltiples puertos (para programación del dispositivo) y entradas (analógicas y digitales). Los dos campos de interface opción A y B son adaptaciones mediante tarjetas para seleccionar diferentes tipos de comunicación con otros dispositivos, la interface de retroalimentación de velocidad (opción F) es usada para colocar la tarjeta correspondiente al encoder que se va a usar para la retroalimentación del

sistema. La siguiente figura muestra el diagrama funcional de un variador de frecuencia “Standalone”.

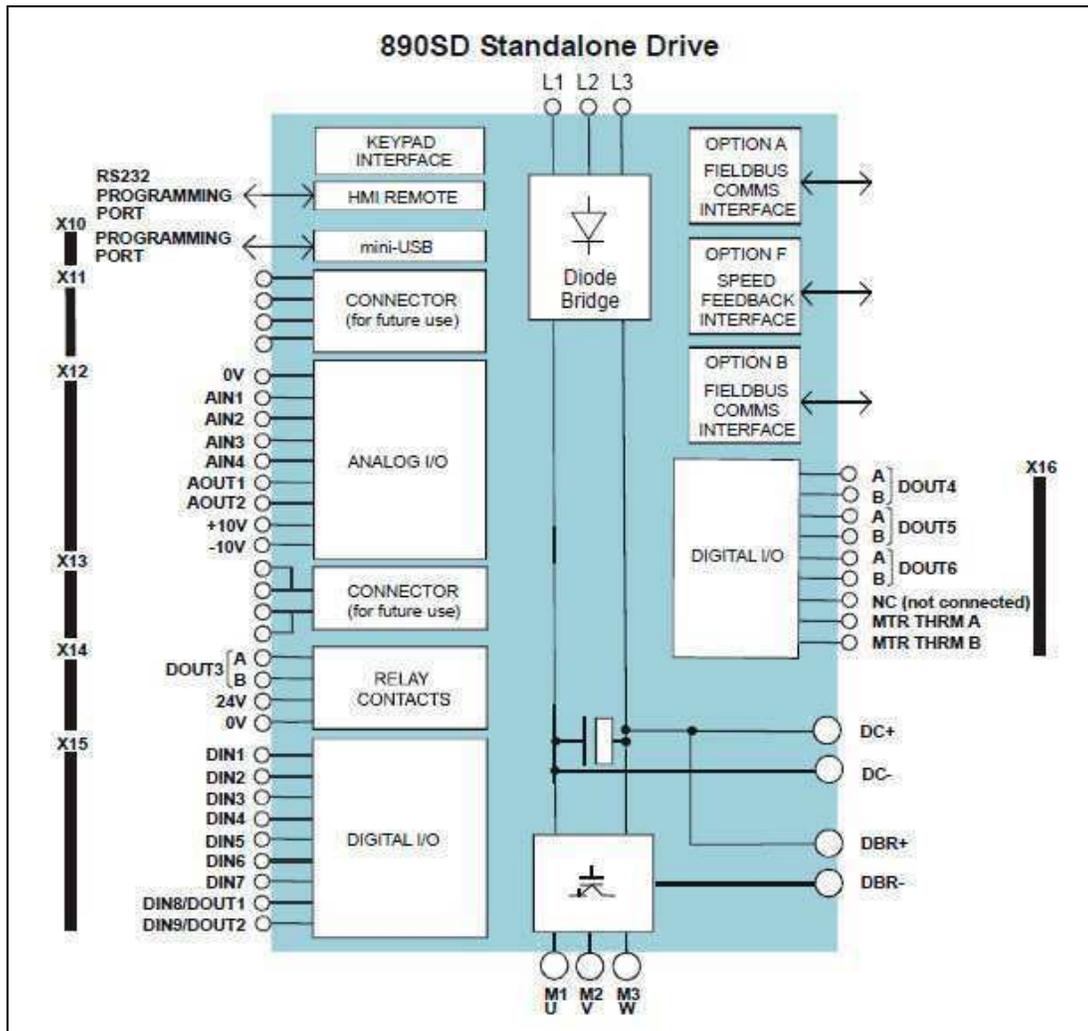


Figura 5.3. Diagrama de bloques funcionales del 890SD Standalone Drive.[\[11\]](#)

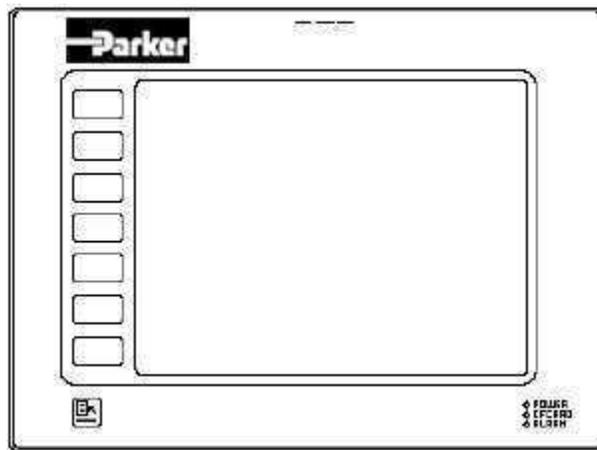
Las entradas digitales del drive usan pulsos de 24[V] de corriente continua, mientras que las entradas analógicas usan un rango de -10[V] a 10[V] e incluso se pueden ajustar para rangos de 0 a 20[mA].

Este tipo de variador de frecuencia, además de sus funciones normales de control de motores de corriente alterna, también posee una ventilación integrada

dentro del sistema para mantener los niveles de temperatura de operación adecuados (ver anexo manual del variador de frecuencia en condiciones de operación, pagina 5-4 y 5-5). Presentan una entrada de control de temperatura para evitar que el motor sufra sobre temperaturas que puedan dañarlo, los terminales 08 y 09 del modulo x16 son para conectar la resistencia térmica del motor. El error (“trip”) de sobre temperatura se acciona cuando la conexión da una resistencia mayor a los 4 [kΩ], estos terminales son muy importantes, ya que en caso de que el motor no tuviese sensor de temperatura estos terminales se deberían poner en corto circuito para que el variador entre en modo de operación, de lo contrario su sistema no inicia.

### Pantalla táctil LCD

La TS8010 de la marca Parker de la serie TS8000 es una pantalla táctil analógica LCD, de 24 [V<sub>dc</sub>] y 33[W], posee una memoria de 8 [Mb] expandible, compatible con la serie AC890 de variadores de frecuencia.



**Figura 5.4.** TS8010 (pantalla táctil LCD). [\[12\]](#)

En la figura anterior se muestra la forma de la pantalla TS8010, la cual posee un tamaño de la pantalla táctil de 10.4 pulgadas (en diagonal) y al lado de la misma tiene una serie de botones (numerados del F1 al F7) a los cuales se les pueden asignar funciones o páginas dentro de la programación de la pantalla.

La TS8010 posee diversos formatos y modos de comunicación (RS-232/422/485 y 10/100 Base-T Ethernet) para la transmisión y recepción de información (ver figura 5.5). Por el direccionamiento que se da dentro de la pantalla se puede conectar y comunicar con varios dispositivos distintos en paralelo, permitiendo un control más eficiente de todo el equipo electrónico que conforma el sistema.

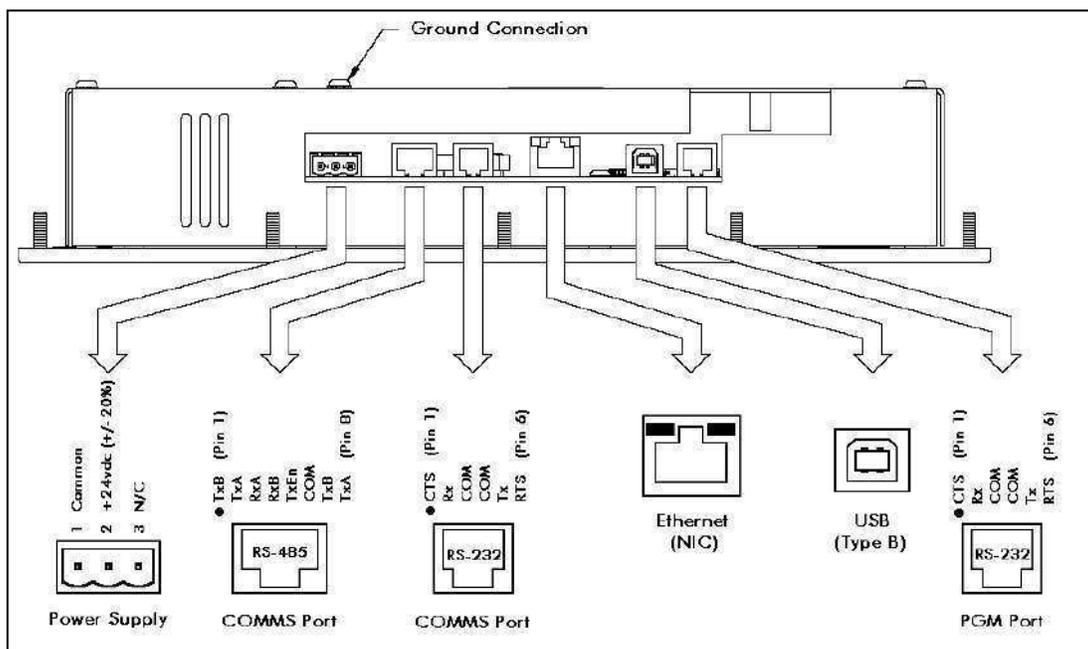


Figura 5.5. Diagrama de puertos de comunicación de la pantalla TS8010. [13]

Este tipo de pantalla posee sonido para indicaciones importantes, como la activación de una tecla o una función, alarmas debido a un error o a que algún parámetro sobrepasó un límite establecido por el usuario.

## Tarjetas de comunicación

### Tarjeta de Firewire

El Firewire es un formato de comunicación uno a uno de alta velocidad en un bus serie. La tarjeta de comunicación de Firewire (8903/FA/00/FF) es una de las opciones que se pueden adaptar en los variadores de frecuencia AC890 Standalone (opción B del campo de interfaz de comunicación, ver figura 5.3).

Dicha tarjeta posee tres terminales de comunicación, y necesita de una alimentación externa de 24 [V<sub>dc</sub>]. La siguiente figura muestra la tarjeta de Firewire que se instala en el variador de frecuencia.

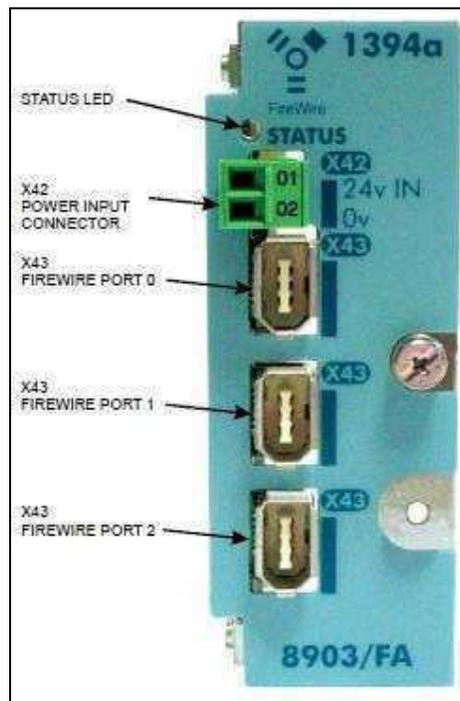


Figura 5.6. Tarjeta de Firewire. [14]

Este tipo de comunicación presenta ventajas considerables en velocidad de transferencia de datos y de comunicación entre varios dispositivos, ya que se crea una red de dispositivos. Por esta razón se seleccionó este tipo de protocolo para comunicación entre los variadores de frecuencia y para lograr sincronía entre los dispositivos y motores.

La tarjeta de Firewire envía información a todos los dispositivos conectados a la red, todos la conocen, sin embargo solo el dispositivo direccionado realiza las funciones asignadas, los demás equipos solo descartan la información.

La desventaja más grande de este protocolo de comunicación es que al ser una comunicación muy veloz (casi tiempo real), se tiene problemas de sensibilidad ante ruido. La información puede corromperse fácilmente ya sea por un entorno con cables de otras señales, radio frecuencias o incluso por una distancia de transmisión mayor a 10 metros entre dispositivo y dispositivo.

Los cables de Firewire presentan protecciones especiales como blindajes, y el mayor cable que existe en largo es de 10 [m], para evitar los problemas de corrupción de información mencionados.

### Tarjeta de Ethernet

La tarjeta de Ethernet seleccionada es la 8903/IM/00 Modbus TCP/IP 10/100 Mbit/s (ver figura 5.6), ya que en esta empresa dicho protocolo ya ha sido usado para otros procesos de comunicación, por lo cual ya es conocido.



**Figura 5.7.** Tarjeta de Ethernet Modbus TCP/IP.[\[15\]](#)

El protocolo de Modbus TCP/IP, es un protocolo de alta velocidad, aunque la comunicación por Firewire es de mayor velocidad en la transferencia de datos. Ethernet tiene ventajas en la distancia de transmisión, la distancia entre un dispositivo con otro puede ser hasta de 100 metros mientras que el protocolo de Firewire solo funciona correctamente para distancias de 10 metros o menos.

### 5.3. Descripción de Software

La programación de los dispositivos se realizó mediante dos tipos diferentes de software. El primero es el 890DSE, software de programación de los variadores de frecuencia y el otro es el software de programación de la pantalla táctil el DSI.

El software 890DSE es una herramienta de programación por medio de módulos ya definidos y estructurados. Es una programación en bloques de control cuyas funciones, entradas y salidas están definidas. Estos bloques pueden presentar funciones básicas como una entrada, una compuerta lógica, o más complejas como un multiplicador, un contador o incluso bloques muy complejos con funciones

específicas de procesos mecánicos como un bloque de control de lazo de velocidad, un bloque de control PID. Estos bloques (tanto los simples, como los complejos) se conectan entre ellos con el fin de lograr el control requerido para el proceso a realizar de los motores. En la figura a continuación se presentan algunos bloques definidos por el software.

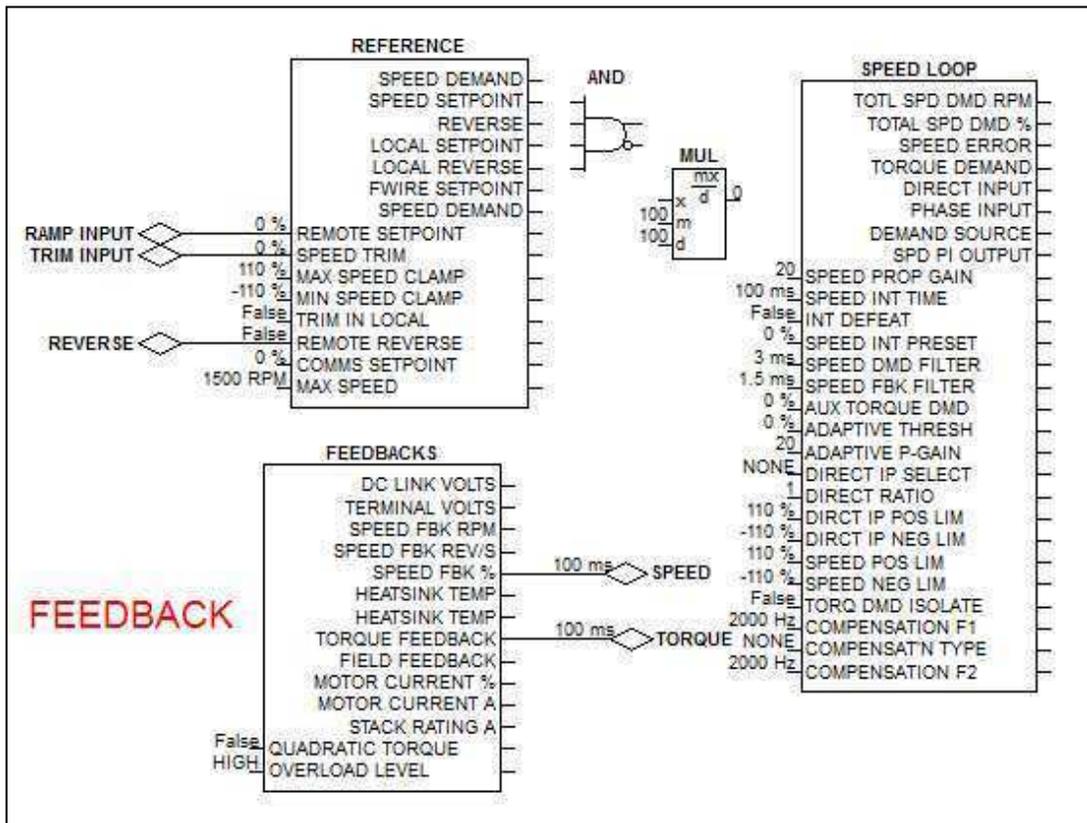


Figura 5.8. Algunos bloques definidos de 890DSE.

El software de programación DSI como se mencionó, es una herramienta para la programación de las pantallas T8000. Este software separa sus funciones en secciones para lograr un orden que facilite la programación y configuración de la pantalla (ver figura 5.9). Cada sección realiza una operación específica, sin embargo, aunque se encuentren separadas estas secciones, se relacionan entre sí directamente.



**Figura 5.9.** Secciones DSI para programación de la pantalla TS8006.

A cada sección de la figura anterior le corresponde funciones específicas, como se mencionó. Estas funciones se explican a continuación:

**Comunicaciones:** Esta sección se encarga de la configuración de las comunicaciones de la pantalla, se define a que dispositivos se va a conectar, los protocolos de comunicación a usar y las direcciones o números de registro que tendrán las entradas o salidas con los dispositivos respectivos.

**Etiquetas de datos:** sección encargada de nombrar las entradas, salidas y variables internas de memoria en la pantalla. Fórmulas y escalamientos son creados en esta sección.

**Interfaz de usuario:** Es la sección principal, en esta se crea la interfaz gráfica en un ambiente en el que las estructuras, botones y figuras son dibujados mediante herramientas del software. A cada figura sea botón o estructuras se les asigna las funciones en las propiedades de la figura que se creó. La siguiente figura

muestra las herramientas del software para dibujar y conformar la interfaz gráfica de usuario.

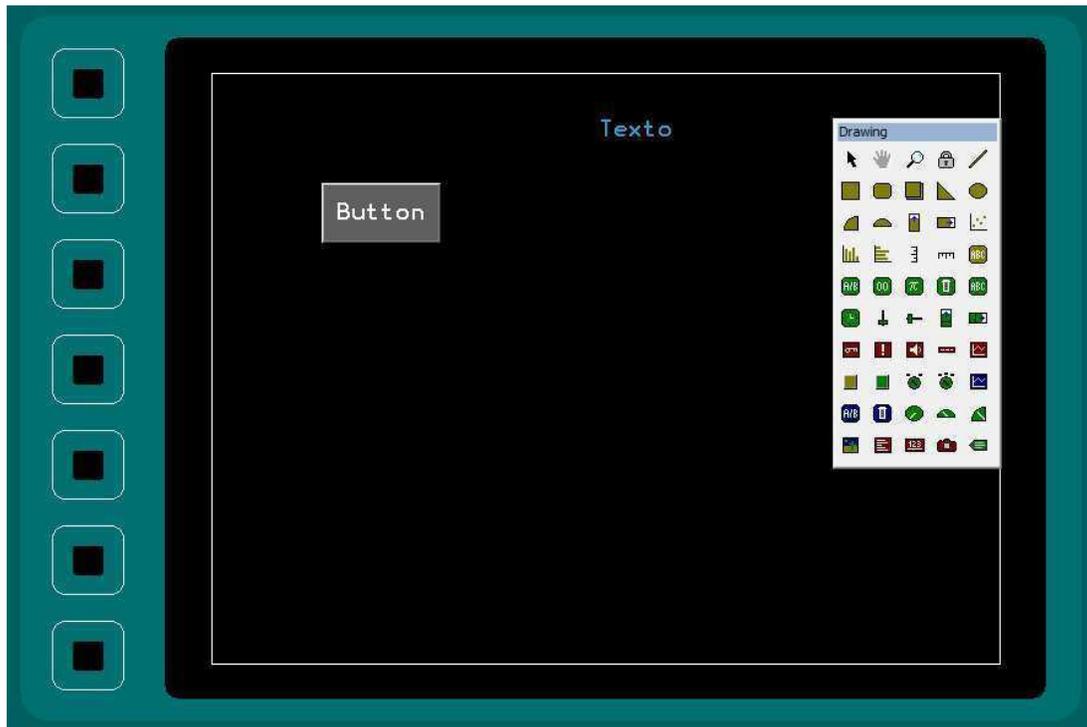


Figura 5.10. Herramienta de DSI para el dibujo de la pantalla.

**Programación:** Esta sección es para dar atributos de control y funciones que en la interfaz de usuario no pueden ser creadas. En esta se crean rutinas para funciones lógicas y matemáticas, así como también rutinas secuenciales para algún proceso de transmisión de datos.

**Registro de datos:** Sección encargada de comparar y graficar datos y resultados medidos en los procesos.

**Servidor Web:** Sección para la configuración para la conexión de la pantalla a internet.

**Administrador de seguridad:** Sección encargada de los mecanismos de seguridad de la pantalla, contraseñas y usuarios.

### 5.3.1. Rutinas de los variadores de frecuencia

La programación de control en los variadores de frecuencia fue realizada por el método de maestro-esclavo, en el que el variador de frecuencia que hace girar el motor del rodillo superior se programó orientado a ser el maestro y el variador de frecuencia del motor del rodillo inferior del Caster, el esclavo.

#### Rutina principal de los variadores de frecuencia

La función principal programada dentro del variador de frecuencia maestro comienza al recibir un valor de velocidad de línea y los valores de diámetros de los rodillos superior e inferior. El sistema se sincroniza por medio de que el maestro envía los datos de velocidad de línea y el diámetro del rodillo inferior al variador de frecuencia esclavo (variador de frecuencia del motor inferior).

El sistema de control se mantiene en espera de la señal de inicio proveniente de la pantalla táctil, esta señal activa los ajustes y cálculos de ambos variadores de frecuencia, los cuales van a los motores para control de la velocidad y mantener la relación de velocidad requerida por el proceso.

Dichos cálculos y ajustes los realiza en variador de frecuencia en el siguiente bloque de señales:

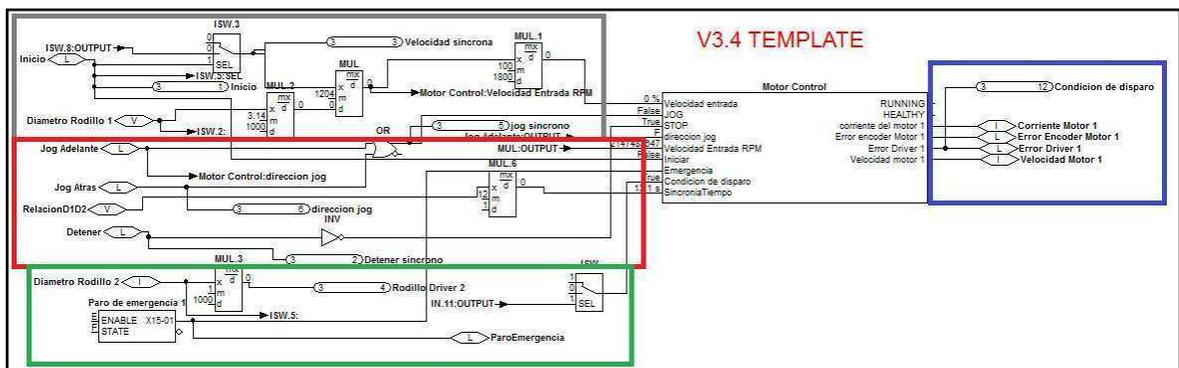


Figura 5.11. Diagrama de bloque de control del Variador de rodillo superior.

El sector del diagrama de bloques en gris (ver figura 5.12 a continuación), es el encargado de recibir los parámetros del proceso provenientes de la pantalla y realiza las funciones de ajuste y cálculo que se presentaron anteriormente para la velocidad para el motor del rodillo superior.

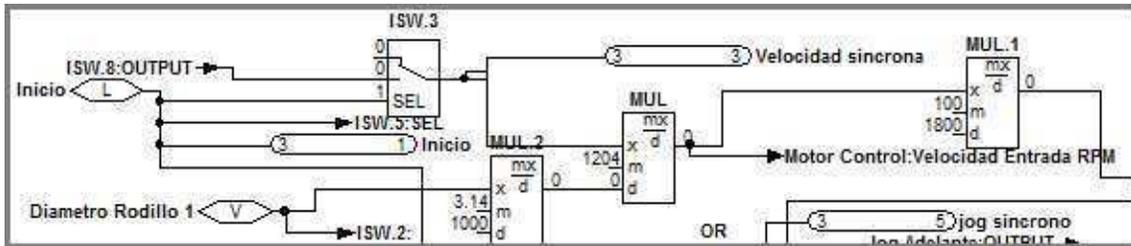


Figura 5.12. Programación para el cálculo de la velocidad de los motores.

La figura 5.12 muestra las entradas necesarias para los cálculos y los bloques multiplicadores para lo mismo. La entrada de Inicio es la que sincroniza el arranque de los motores.

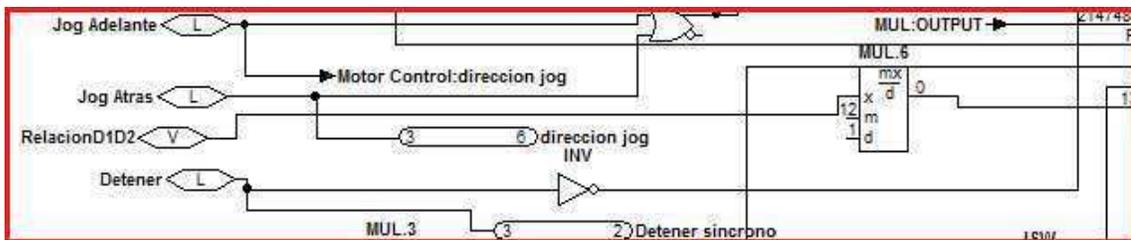


Figura 5.13. Programación para pulso adelante, pulso atrás y para frenar el motor.

La figura 5.13 muestra el pulso ya sea hacia adelante o hacia atrás (“jog”) y el pulso para detener el motor el cual debe mantenerse en “1” lógico y pasar a “0” para frenar, por esto se usa el inversor.

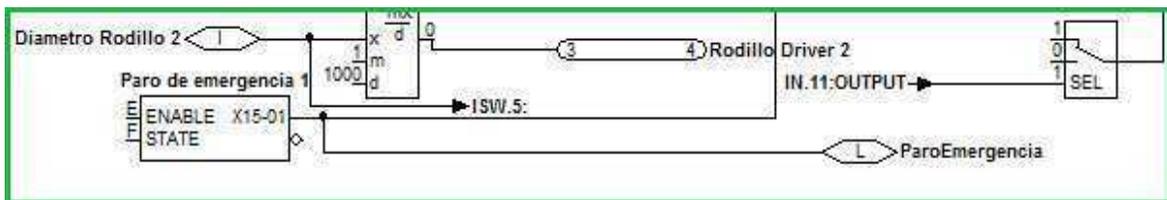
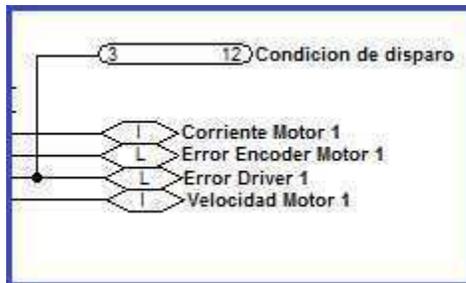


Figura 5.14. Programación para paro de emergencia y envío de diámetro de rodillo inferior.

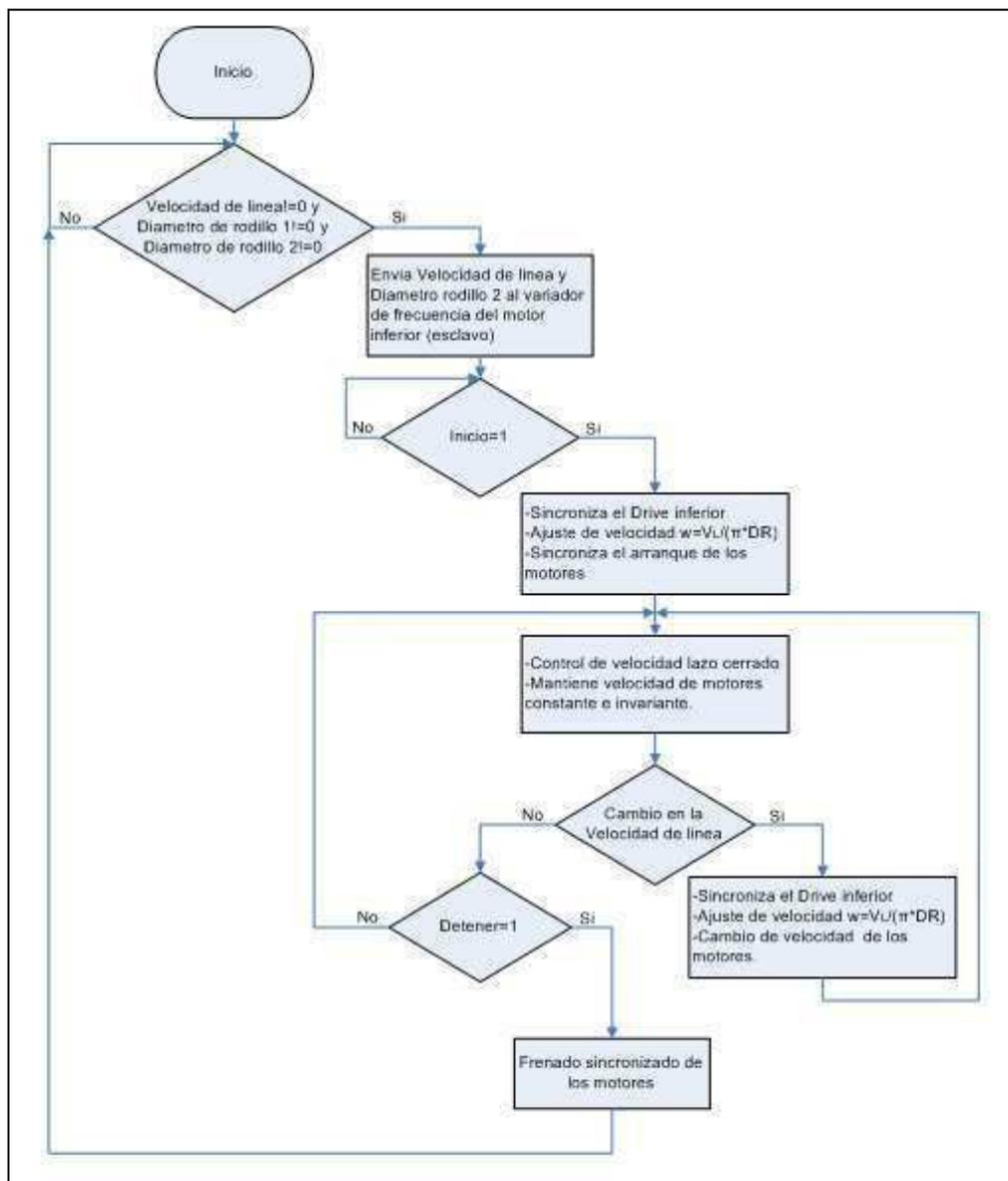
La figura 5.14 muestra la entrada digital de paro de emergencia del sistema proveniente del panel de operadores. También se muestra el envío de datos al variador de frecuencia inferior de la colada.



**Figura 5.15.** Salidas del sistema del sistema.

En la figura anterior se muestran las salidas del sistema hacia la pantalla táctil TS8006. Estas salidas son de monitoreo (corriente y velocidad del motor superior del Caster) y alarmas (Error en el encoder y error en el drive). Como parte de la seguridad el error del variador se manda como señal de seguridad al otro variador para que así se apliquen los mecanismos de seguridad y protección a los motores y a la lámina.

El diagrama de flujo de la figura 5.14 muestra en forma resumida y clara la función principal del variador de frecuencia maestro.



**Figura 5.16.** Diagrama de flujo del programa principal de los variadores de frecuencia.

Se realizó un control de lazo cerrado para mantener invariantes las velocidades de los motores, mediante la configuración del variador en modo “CLOSE-LOOP VECTOR”. Este modo realiza un control de lazo cerrado tomando como referencia a velocidad deseada y comparándola con la velocidad que se recibe del transductor que viene del motor (del generador de pulsos). En la siguiente figura

se muestra en color rojo la selección del modo y de las comunicaciones para el variador de motor de rodillo superior.

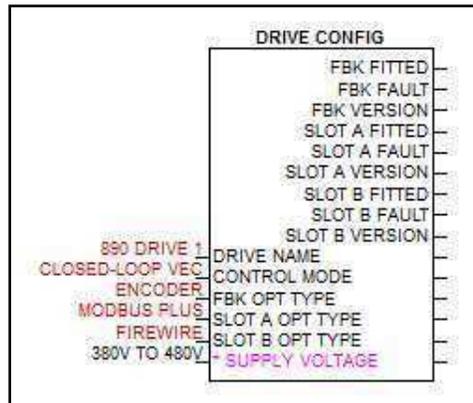


Figura 5.17. Bloque de configuración del variador de frecuencia.

El control de la velocidad es llevado a cabo por el bloque de “SPEED LOOP” este es un bloque definido por el fabricante, dentro del modulo de control del motor del variador de frecuencia. Permite control de velocidad o de torque según de configura. Ver figura 5.18.

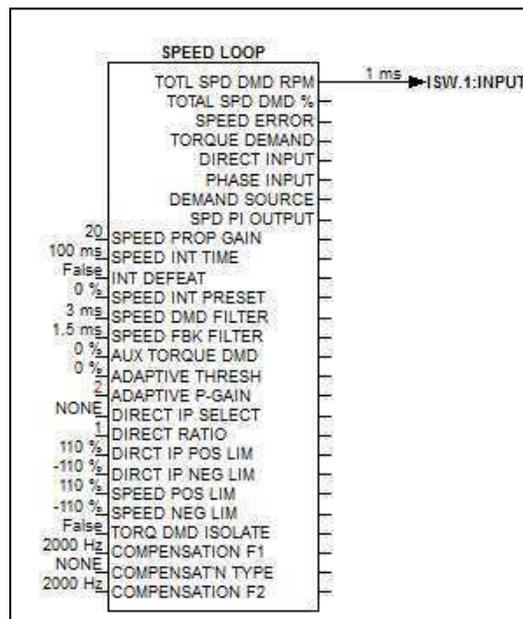
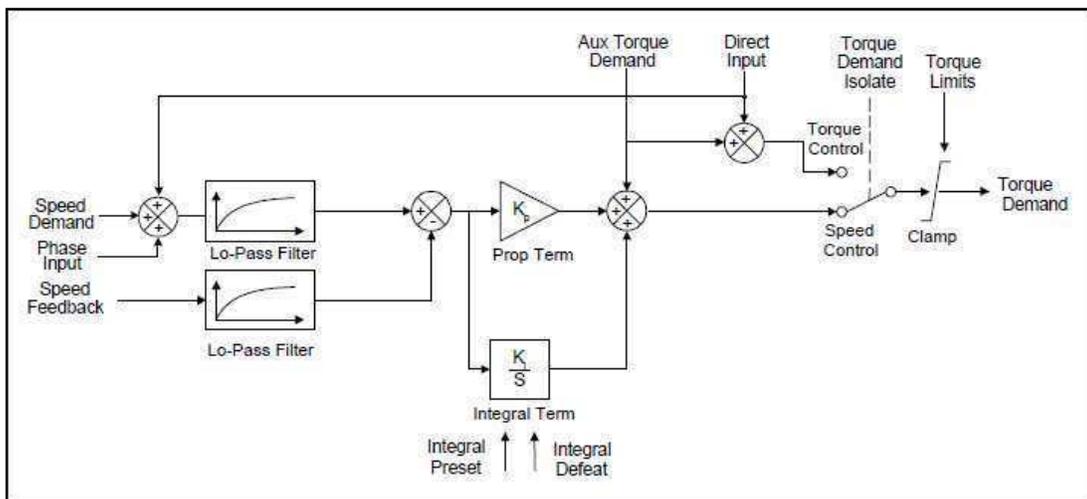


Figura 5.18. Bloque de configuración del control de velocidad.

Para este caso el bloque de control fue programado para control de velocidad por medio de un control proporcional integral (ver figura 5.19). El variador de frecuencia se configura para hacer un método conocido como “AUTOTUNE”, el cual hace pruebas eléctricas en el motor y hace que el variador se haga de una imagen eléctrica de la planta (Motor) y de esta manera ajustar los valores del control apropiado de velocidad.

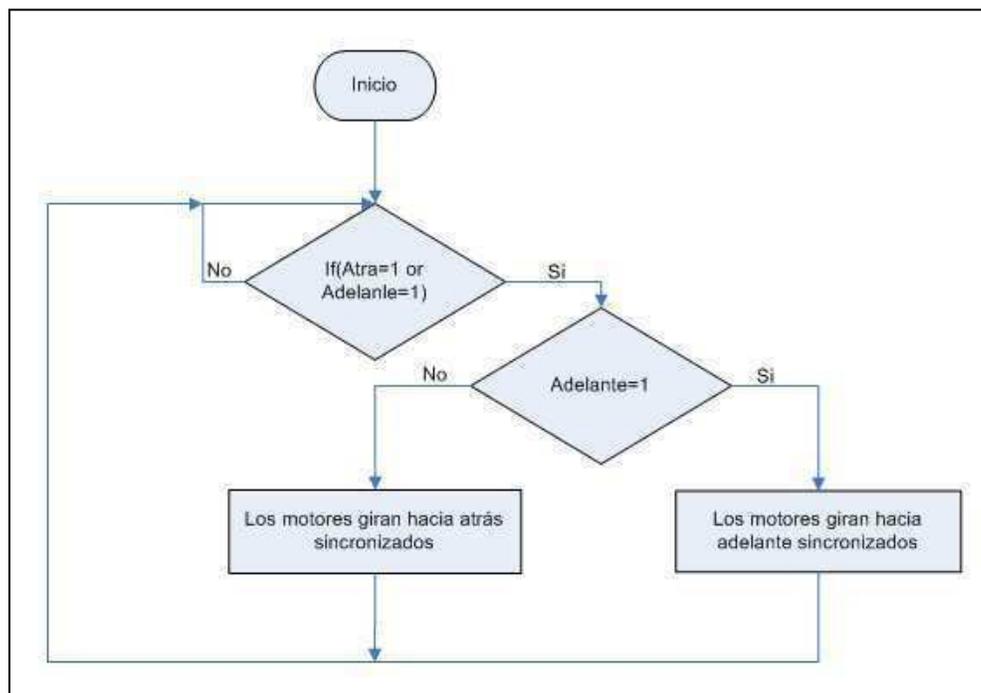


**Figura 5.19.** Esquema interno del control de lazo cerrado PI del variador de frecuencia.

## Rutinas secundarias de los variadores de frecuencia

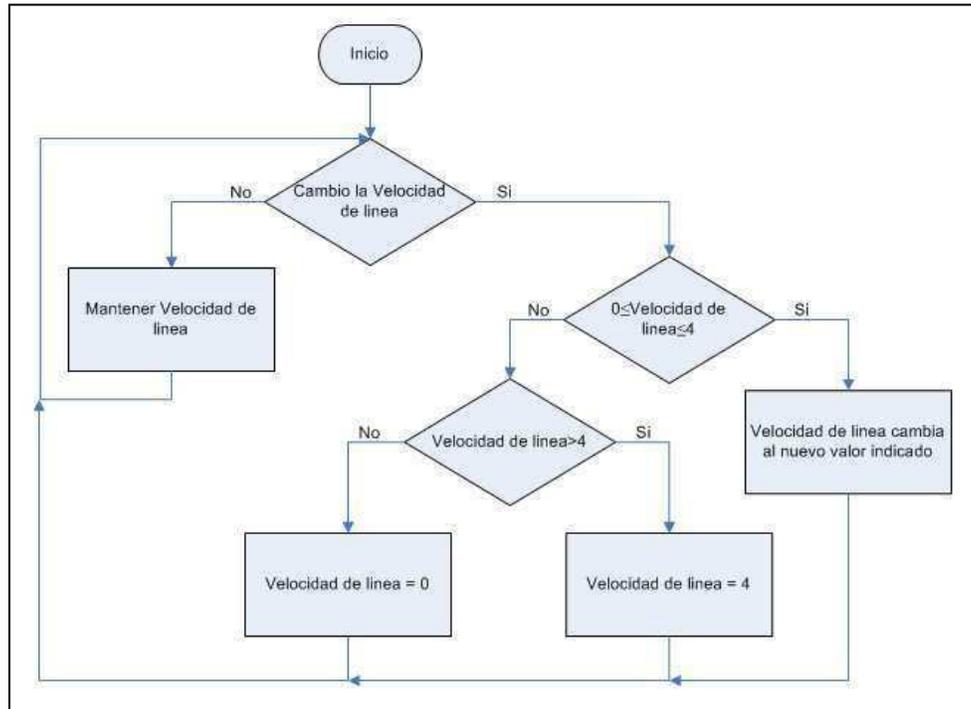
Las rutinas secundarias están destinadas a darle una mayor seguridad al proceso, o sea, garantizar el cumplimiento del proceso en las condiciones requeridas o para asegurar que ante cualquier fallo el sistema responde, protegiendo tanto las máquinas como la lámina que se forma en el proceso.

Como parte del proceso de extracción de la boquilla que esparce el aluminio en los rodillos se necesitó una rutina de un pulso hacia adelante y hacia atrás, se puede ver en la siguiente figura.



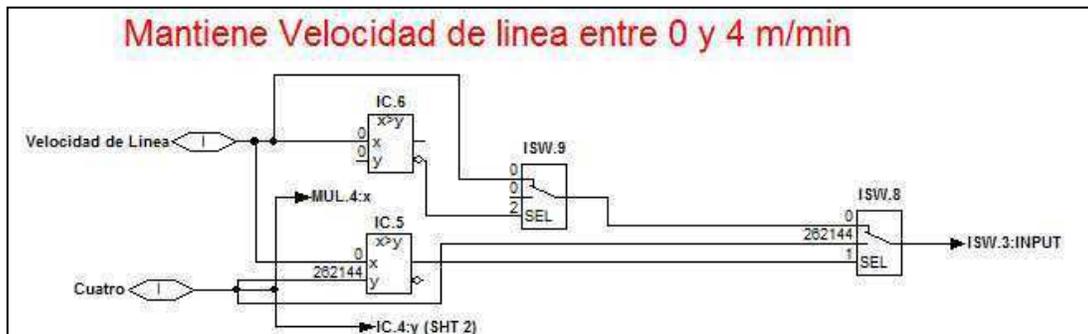
**Figura 5.20.** Diagrama de flujo de giro atrás y adelante.

Una de las protecciones de los variadores es debido al rango de velocidad de línea que se definió para el proceso (de 0 a 4 m/min), esta rutina garantiza que si por un error se recibe una velocidad fuera de este rango los variadores no saldrán del mismo, en el caso de que la velocidad recibida por error sea mayor que cuatro, el variador mantendrá la velocidad en 4m/min y si la velocidad recibida es menor que cero, el variador mantendrá en cero la velocidad. Esto se puede apreciar mejor en la figura 5.21.



**Figura 5.21.** Diagrama de flujo de protección del rango de velocidad de línea.

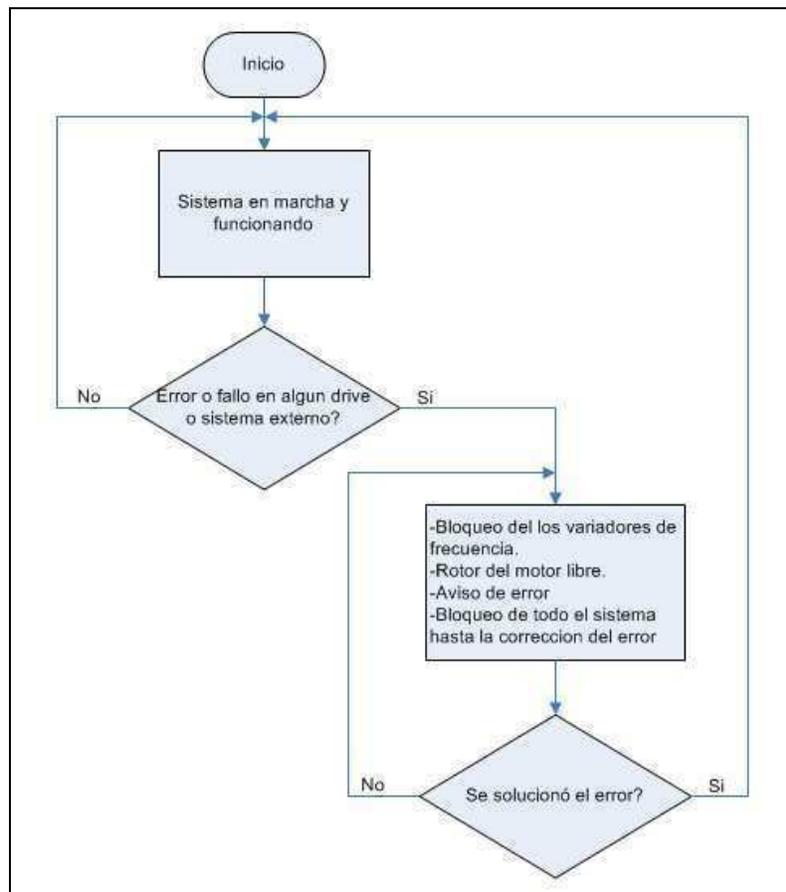
La programación del módulo de control de rango de velocidad de línea se presenta en la siguiente figura.



**Figura 5.22.** Protección del rango de velocidad de línea.

El sistema de control posee, ante cualquier error o un fallo sea de los variadores de frecuencia o una falla externa, una rutina de protección para los motores y el proceso de laminado. Como se muestra en la figura 5.23, ante cualquier error los variadores se bloquean y liberan los motores, de tal manera en que los

rotos giran libremente para evitar desprender o dañar la lámina que se está creando. El sistema de control se mantiene bloqueado hasta que se corrija el error y se habilite el control.

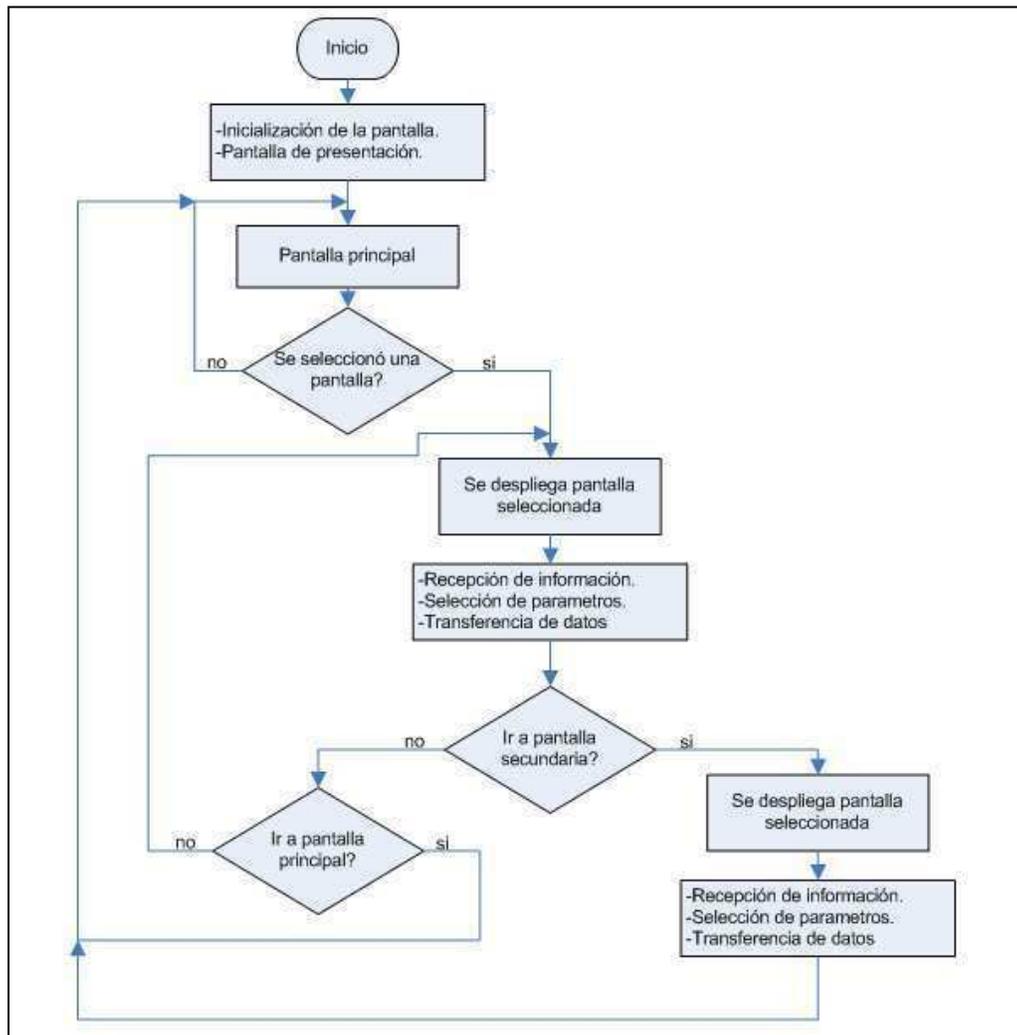


**Figura 5.23.** Diagrama de flujo de protección general del sistema de control.

### 5.3.2. Rutinas de la pantalla táctil

La función principal de la pantalla táctil es el control del sistema de laminado de la coladora continua. Sin embargo la pantalla debía acoplarse a un PLC el cual envía y recibe datos para el control de todo el proceso desde fundición hasta el enrollador. Por lo cual la pantalla táctil consta de una serie de ventanas de

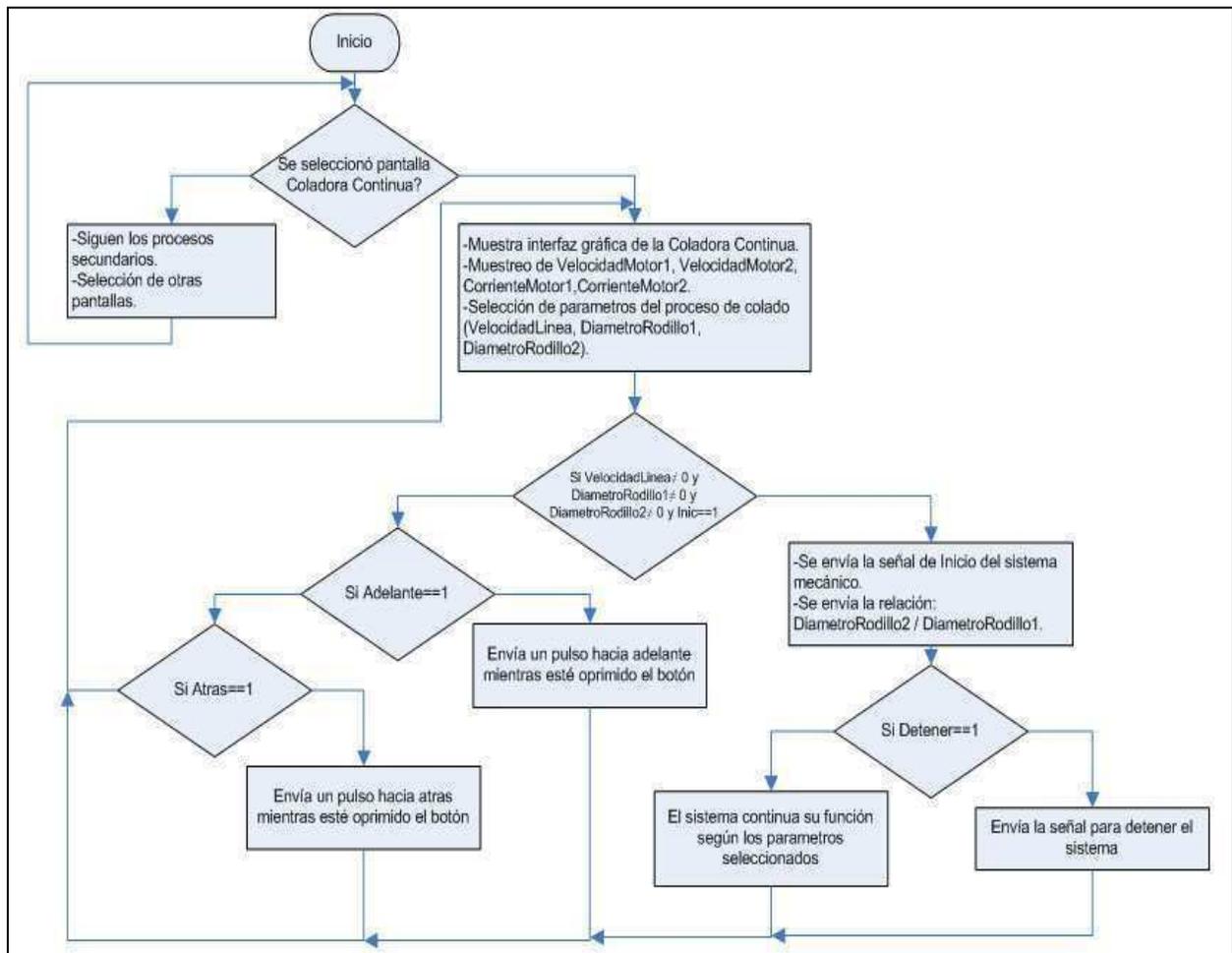
transferencia de datos de control e información de toda la maquinaria de fundición y colada. El diagrama general de la pantalla se muestra en la figura a continuación.



**Figura 5.24.** Diagrama de flujo general de la pantalla táctil.

### Rutina principal de la pantalla táctil

La rutina principal programada en la pantalla, como se mencionó, es la encargada del control y transferencia de datos con el sistema de la coladora continua.



**Figura 5.25.** Diagrama de flujo de la función principal de la pantalla TS8010.

La programación de la función principal además de realizarse en el ambiente de la interfaz gráfica (figura 5.26), se hizo uso de herramientas como código fuente (figura 5.27) para generar operaciones complejas como condiciones y decisiones de operaciones a realizar ante cualquier cambio.

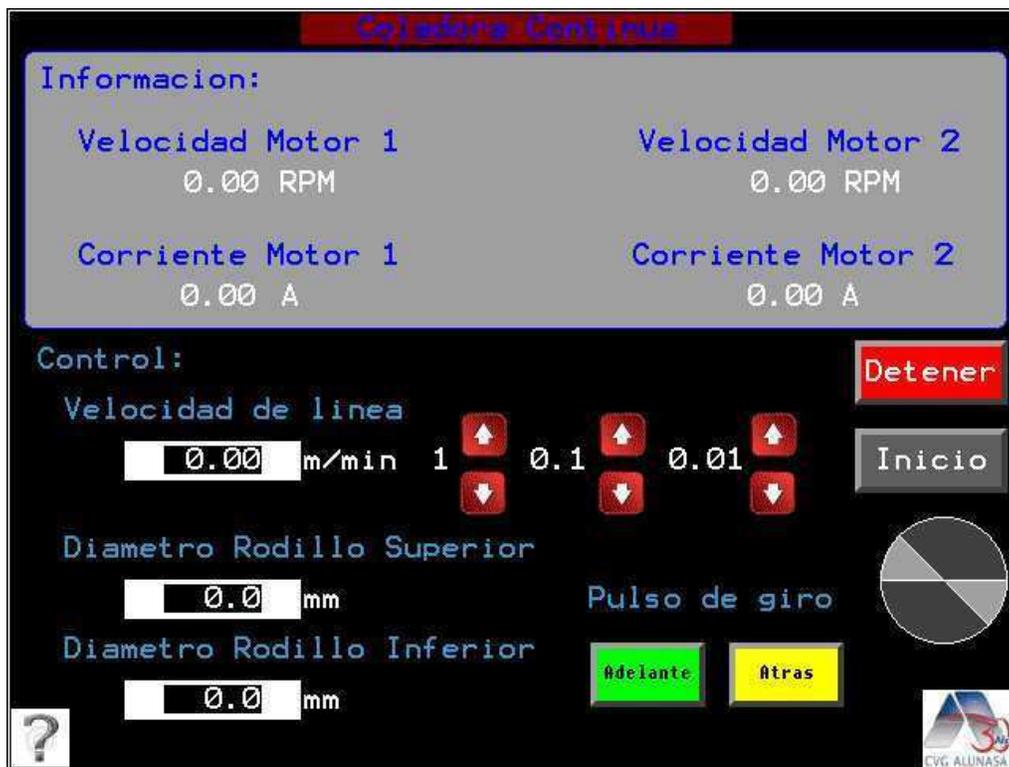


Figura 5.26. Pantalla de interface gráfica de la coladora continua.

```
//Frenado e Inicio del sistema y envio de un numero constante
Cuatro:=4;
if(Inic==0){
Cuatro:=4;
}
if(Detener==1){
Cuatro:=4;
Inicio:=0;
VelocidadLinea:=0;
DiametroRodillo1:=0;
DiametroRodillo2:=0;
}

if(Inic==1 && DiametroRodillo1 != 0 && DiametroRodillo2 != 0){

Inicio:=1;
Cuatro:=4;
DiametroRela:=DiametroRodillo1/DiametroRodillo2;
}
else
DiametroRela:=DiametroRela;
Inicio:=Inicio;
Cuatro:=Cuatro;
```

Figura 5.27. Código fuente para las condiciones y cambios en la pantalla de la coladora continua.

La interfaz grafica de la coladora continua tiene como función monitorear la velocidad (en RPM) de cada motor y mostrar la corriente en amperios de cada motor. Permite la interacción del usuario con el sistema de control y el mecánico de la máquina coladora continua.

El operador de la máquina puede cambiar los parámetros del sistema según la necesidad de producción, define el momento en el que se debe detener el proceso o el momento en el que se da inicio a la producción (botones Detener e Inicio respectivamente).

### Rutinas secundarias de la pantalla táctil

Las rutinas secundarias programadas en la TS8010 son funciones para la protección del proceso, funciones para dar una mejor visualización de procesos y otras pantallas para comunicación y transferencia de información con el resto de la línea de producción de fundición y colada.

La función principal de protección de todo el sistema se da mediante las pantallas de alarma. Las cuales consisten en tres pantallas de interfaz gráfica que muestran las alarmas de todo el sistema (ver figura 5.26, figura 5.27, figura 5.28). La información de estas pantallas está separada por secciones, Caster (parte mecánica de la coladora continua), Enrollador y Fundición.

La primer sección corresponde a las alarmas de todo el sistema de control y mecánico de la coladora continua, las últimas dos secciones corresponden a las alarmas del resto de la línea de producción.



Figura 5.28. Pantalla de alarmas del Caster.



Figura 5.29. Pantalla de alarmas del Caster y el Enrollador.



Figura 5.30. Pantalla de alarmas del Enrollador y Fundición.

Ante cualquier falla la señal es detectada por la pantalla y por la programación de la misma muestra el dispositivo o parte que debe ser revisada y reparada.

La protección de los datos o parámetros de los procesos es otro de los procesos secundarios, estos poseen valores límites los cuales fueron programados para que la pantalla no permita introducir valores fuera de los límites del proceso.

# Capítulo 6

## Análisis de Resultados

### 6.1 Resultados del sistema

En el capítulo 1 del presente informe, se muestra la estructuración del proyecto en la cual se separa en dos áreas bien definidas (sistema mecánico y de control, ver figura 1.1), las cuales se trabajaron para lograr cumplir a cabalidad los objetivos del proyecto.

Debido a la naturaleza del proyecto algunos de los resultados del mismo consisten en los cálculos y selección de dispositivos y maquinaria.

Como parte de los resultados del proyecto se puede mencionar los obtenidos en la sección 4.3.2 los cuales corresponden a lo reductores de velocidad se obtuvo una relación de reducción de 1204 por lo cual se seleccionó unos reductores de velocidad de 1::1204.

De la fórmula 4.5 se obtuvo la potencia eléctrica requerida de los motores con el factor de seguridad de 30% (según opinión de experto) la cual es de 53.46 [kW] como resultado se seleccionó motores de 460 [V], 55 [kW] y 1750 [RPM].

Como resultado de la selección de los motores apropiados se selecciono variadores de frecuencia que surtan la misma potencia de los motores de allí se decidió por variadores de 55 [kW].

## 6.2 Resultados de la medición de velocidad en el sistema de control y el lazo de retroalimentación.

Se realizaron mediciones de la velocidad en diferentes puntos del sistema, para poder comparar estas velocidades con los valores teóricos de las mismas.

**Table 6.1**

Valores de velocidad medidos en el sistema de control y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 876 [mm].

Velocidad de línea (m/min)	Velocidad teórica (RPM)	Velocidad a la salida del control (RPM)	Velocidad de retroalimentación (RPM)
1	437.494	437.5	451.3
			423.5
1.5	656.24	656.24	670.5
			642.6
2	874.989	874.99	888.4
			860.6
2.5	1093.74	1093.74	1107.4
			1079.2
3	1312.48	1312.48	1326.3
			1299.1
3.5	1531.23	1531.23	1545.7
			1516.9
4	1749.98	1749.98	1763.5
			1736.7

**Table 6.2**

Valores de velocidad medidos en el sistema de control y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 959 [mm].

Velocidad de línea (m/min)	Velocidad teórica (RPM)	Velocidad a la salida del control (RPM)	Velocidad de retroalimentación (RPM)
1	399.63	399.63	413.4
			385.7
1.5	599.45	599.45	613.6
			585.4
2	799.26	799.26	813.5
			784.8
2.5	999.075	999.076	1013.2
			985.9
3	1198.89	1198.89	1212.1
			1184.7
3.5	1398.7	1398.71	1411.9
			1383.9
4	1598.52	1598.52	1612.8
			1584.5

Como se mencionó las tablas 6.1 y 6.2 muestran las mediciones de la velocidad realizadas en diferentes partes del sistema, a los valores límites de diámetro de rodillo mínimo 876 [mm] (exige mayor velocidad a al sistema para acoplarse a la velocidad de línea) y valor de diámetro máximo 959 [mm] (brinda las menores velocidades para acoplarse a la velocidad de línea). Al comparar ambas tablas en una misma velocidad de línea, se nota como el rodillo de menor diámetro exige mayor velocidad, lo que coincide con la teoría ya que debe cubrir una velocidad fija con una menor área en comparación con el rodillo de diámetro mayor.

La velocidad a la salida del control (en ambas tablas), es la velocidad exacta después de realizados los cálculos y ajustes por todo el sistema, es la velocidad que equivalente a la variación de frecuencia que envía el variador de frecuencia al motor. Al comparar la velocidad de salida del control con la velocidad teórica calculada

para el sistema se puede ver que no se presenta casi ninguna variación con un error menor al 0.0001%.

La velocidad de retroalimentación es la velocidad que se recibe del transductor (encoder) medida directo del rotor del motor. La velocidad de retroalimentación presenta una variación más notoria que el de la velocidad a la salida del sistema de control. Para el caso de la velocidad de retroalimentación en el peor de los casos el porcentaje de error es de 3.1 %. Este error se reduce a mayores velocidades hasta llegar a ser un error del 0.75 %. Este error que se presenta en la medición es debido a la frecuencia del receptor del generador de pulsos (encoder).

# Capítulo 7

## Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

1. Del principio físico de torque, se obtiene una aproximación a la realidad al realizar una conversión a parámetros eléctricos, para la selección apropiada de un motor usando las características eléctricas de fabricante del mismo.
2. La relación que existe entre las velocidades angulares (expresión 4.6) en el sistema, incide positivamente en el tiempo de frenado síncrono de los motores del sistema.
3. Al hacer uso de un variador de frecuencia para control de motores de alta velocidad (1750 RPM o mayor), a bajas velocidades se pueden presentar problemas para mantener la potencia y exceder la corriente nominal del motor.
4. Para obtener un sistema de control eficiente y optimizar la velocidad del sistema, se debe estructurar y distribuir los cálculos y funciones asignándolos a los dispositivos de control principal, esto para evitar recargar un solo dispositivo.
5. Un dispositivo asignado como maestro en el sistema de control, facilita la programación, la sincronía y permite un manejo apropiado y eficiente de los demás dispositivos que conforman el sistema.
6. El uso de un sistema de control con comunicación por Firewire permite un desempeño de alta velocidad, pero para la distancia de comunicación entre pantalla y el variador de frecuencia (mayor a 10 [m]) se corrompen y dañan los datos transmitidos.

## 7.2 Recomendaciones

1. Al hacer uso de un variador de frecuencia para control de motores de corriente alterna se debe tener bien claro la velocidad y torque ejercido por el motor. Debido a que la relación de tensión y frecuencia usada por el variador de frecuencia para dar la velocidad al motor, a velocidades bajas (para el motor) la frecuencia usada es baja y por la relación mencionada la tensión enviada del variador de frecuencia al motor también se reduce, para mantener la potencia necesaria para suplir el torque ante una tensión baja se produce un aumento de la corriente en el motor lo que puede generar serios problemas y dañar los aislamientos del motor. Por lo que se recomienda hacer un estudio de la velocidad torque y en caso de ser necesario hacer una selección apropiada de un reductor de velocidad.

2. Es importante definir la comunicación que cada dispositivo realice con otro equipo del sistema, tener claro no solo las ventajas del protocolo si no también las desventajas. En caso de un cambio de posicionamiento en los variadores, donde la comunicación se definió por Firewire y la distancia entre ellos se hace mayor a 10 [m], este protocolo ya no brinda transferencia de información fiable por lo cual debe ser cambiado.

# Bibliografía

[1] CVG ALUNASA, Fundición y Colada.(Archivos internos) Z:/Fundicion /Coladoracontinua.

[2] CVG ALUNASA, "Manual de uso del Caster de la coladora continua", sección 5c p.7

[3] Chapman, Stephen. "Máquinas eléctricas". 3 ed. Mc Graw Hill. Figura p.388.

[4] Chapman, Stephen. "Máquinas eléctricas". 3 ed. Mc Graw Hill. p.392.

[5] Mecanica. Engranajes.(en línea) Consultado en agosto 2011. Disponible en: <http://www.maestrojuandeavila.es/tecnologia/temas/mec/mec.htm>

[6] Diagrama variador de frecuencia.jpg (en línea). Consultado en septiembre 2011. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama\\_variador\\_de\\_frecuencia.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_variador_de_frecuencia.JPG)

[7] Coladora Continua. Generalidades. (en línea) Consultado en agosto 2011. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/~publio17/coladacon.htm>

[8]Eltra. Encoder incremental. Descripción general.(en línea) Consultado en octubre 2011. Disponible en: <http://bc.inter.edu/facultad/arincon/encoderIncrementales.pdf>

[9] CVG ALUNASA, Fundición y Colada. (Archivos internos) Z:/Fundicion /Proyectos /Coladoracontinua.

[10] Parker Hannifin Corporation.2010. " AC890 Engineering Reference". Manual de producto HA469315U004 p.3.

[11]Parker Hannifin Corporation.2010. " AC890 Engineering Reference". Manual de producto HA469315U004 p.4.

[12] Parker Hannifin Corporation.2008. "HA471056U001 TS8000 Getting Started". p.24.

[13] Parker Hannifin Corporation.2008. "HA471056U001 TS8000 Getting Started". p.25.

[14] Parker Hannifin Corporation.2007. "8903/FA Firewire IEEE1394a Communication Interface". Manual técnico HA469265U001. p.1

[15] Parker Hannifin Corporation.2010. “8903/IM,8903/IP,8903/PN Ethernet Communications Interfaces”. Manual técnico HA500522U002 . p.4

# Apéndices

## A1. Glosario, abreviaturas y símbolos

**LCD:** Abreviatura en inglés para “liquid crystal display” o en español pantalla de cristal líquido.

**PLC:** Abreviatura para “programming logic control” o control lógico programable, es un dispositivo utilizado para control de procesos o maquinaria.

**Par:** Conocido como momento de fuerza o Torque, mide la tendencia de una fuerza de hacer rotar un cuerpo rígido alrededor de un eje.

**Transductor:** Es un dispositivo capaz de transformar o convertir un tipo de energía en la entrada a otro tipo de energía en la salida.

**Interferencias por modo común:** son interferencias que se producen en la señal de información por una fuente de corriente alterna.

**Precarga:** Proceso usado en la empresa CVG ALUNASA, que consiste en ejercer presión a los rodillo para mantener la abertura entre ambos invariante.

## **A2. Manuales y planos eléctricos**

Manual de usuario del sistema

**CVG ALUNASA**

Coordinación de ingeniería de planta y proyectos



Área:  
Fundición y Colada

Manual de usuario para el sistema Dual Drive

Realizado por:  
Jocksan E. Villalobos Lobo

28/11/2011

# Índice

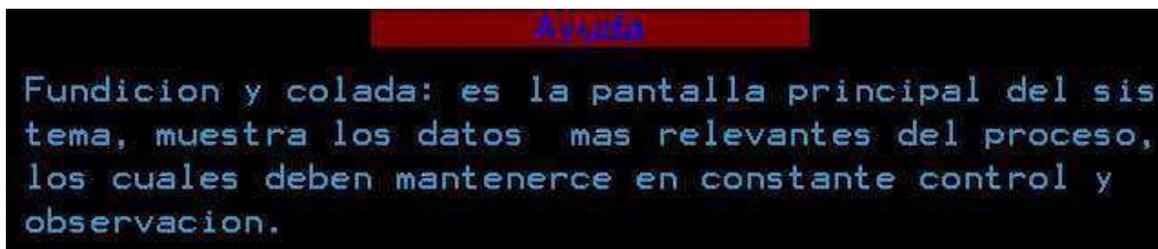
<b>Pantalla Táctil .....</b>	<b>70</b>
1. Código de colores .....	70
2. Introducción y cambio de parámetros.....	72
3. Información general.....	73
4. Alarmas.....	75
<b>Descripción del programa de los Variadores de Frecuencia.....</b>	<b>77</b>
5. Descripción por Bloques.....	77
<b>Configuración de las comunicaciones .....</b>	<b>87</b>
6. Direccionamiento en la pantalla táctil TS8006.....	87
7. Direccionamiento AC890 “Standalone” drive.....	89

# Pantalla Táctil

## 1. Código de colores

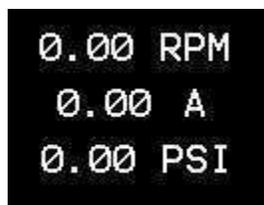
La pantalla táctil TS8006 se programó con una interfaz gráfica orientada a tener un código de colores para facilitar que el usuario comprenda y asocie los espacios y funciones de cada figura o dato que se presente dentro de la misma.

**Celeste o azul:** Usado para títulos y textos en la pantalla. Brindan información o indican el nombre de la medición. Ejemplo:



**Figura A2.1.** Título de sección y área de texto.

**Blanco:** Es usado para los datos medidos y las unidades. Cualquier valor en color blanco representa una cantidad medida del proceso. Estos valores no se pueden cambiar son solo de lectura, para monitoreo o análisis del proceso. Ejemplo:



**Figura A2.2.** Datos mostrados en la pantalla principal.



**Figura A2.3.** Datos de información de cada sección.

**Áreas en blanco con letras en negro:** Estas áreas son usadas para la introducción de datos, para escribir valores necesarios para la realización de un proceso en una de las máquinas. Ejemplo:

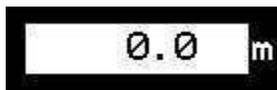


Figura A2.4. Área de introducción de datos.

**Gris con blanco:** Combinación usada en botones para aplicar un cambio de valor o para iniciar procesos y maquinaria. Ejemplo:



Figura A2.5. Botón de inicio del arranque de los motores.

**Rojo con blanco:** Combinación usada en botones para detener un proceso o detener el sistema. Ejemplo:



Figura A2.6. Botón para detener todo el sistema.

**Verde con negro:** Combinación usada en botones usados para cosas simples, como dar un pulso de marcha hacia adelante del motor o subir un valor. Ejemplo:



Figura A2.7. Botón para rotar los motores hacia adelante.

**Amarillo con negro:** Combinación usada en botones usados para cosas simples, como dar un pulso de marcha hacia atrás del motor o bajar un valor. Ejemplo:

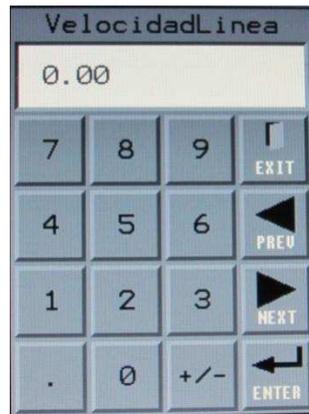


Figura A2.8. Botón para rotar los motores hacia atrás.

## 2. Introducción y cambio de parámetros

Existen dos formas para introducir o cambiar un parámetro en la pantalla:

La primera es, como se menciono antes, por medio de un área en blanco con texto en negro. Digitando dos veces con un dedo sobre esta área se despliega el teclado que se muestra en la siguiente figura.



**Figura A2.9.** Teclado digital.

La figura A2.9 muestra el teclado digital, mediante esta herramienta el usuario puede digitar el valor numérico del parámetro seleccionado. Los botones situados en la columna derecha son para instrucciones, Exit es para borrar el dato digitado y salir del teclado, prev permite cambiar a un parámetro anterior dentro de la misma pantalla para poder cambiar el valor, next permite cambiar a un parámetro que este después del que se está usando para cambiar el valor y por ultimo enter acepta el valor digitado y lo mantiene.

El segundo método es con teclas de suma o resta (ver figura A2.10), esto le suma o resta al parámetro el valor mostrado.



**Figura A2.10.** Teclas de suma y resta.

Como se observa en la figura se tiene teclas señalando hacia arriba y hacia abajo, al digitar la tecla hacia arriba se suman 100 10 o 1 respectivamente al valor que aparece en el área blanca mientras que si se digita la tecla de abajo se restan 100 10 o 1 respectivamente al valor en el área en blanco.

### 3. Información general

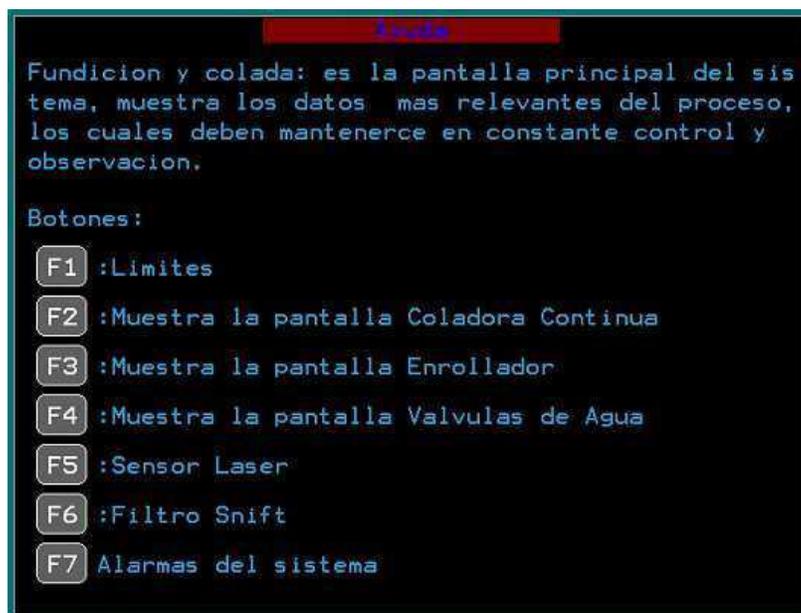
Es importante referirse a ciertas características y atribuciones que se hicieron a la interfaz grafica de la pantalla. Estas características se dieron para darle un mejor aprovechamiento y mejorar la eficiencia y comprensión del uso de la pantalla táctil. Los atributos son:

- La pantalla principal del sistema cuenta con la hora y fecha.
- Cada pantalla(exceptuando al principal) posee dos áreas enmarcadas, son:
  - El área de información:** Es un cuadro gris enmarcado de azul, se encuentra siempre al principio de cada pantalla. En esta área se muestran los datos y mediciones que son monitoreadas, son solo datos que brindan alguna información relevante para los operadores y no se pueden cambiar solo leer.
  - El área de Control:** esta área se encuentra justo debajo del área de información, en esta se encuentran los parámetros de control de los procesos o maquinaria. Los datos en esta área se pueden cambiar o ajustar según las necesidades del proceso.
- Se implemento pantallas de ayuda para que el usuario pueda acceder desde la pantalla y entender el proceso que se realiza, así como los botones asociados a dicha pantalla. La ayuda se despliega oprimiendo el botón con

un signo de interrogación que se encuentra en todas las pantallas a la izquierda en la parte inferior de la pantalla.



**Figura A2.11.** Botón de ayuda.



**Figura A2.12.** Ejemplo de pantalla de ayuda.

- Es sistema presenta un representación gráfica para indicar que los motores están activados con una figura, en esta se muestra la del sentido de giro de los motor.



**Figura A2.13.** Indicador de giro de los motores.

## 4. Alarmas

Si en algún momento se activa alguna de las alarmas, aparecerá un indicador en la pantalla (ver figura A2.14). Este indicador se localiza en la parte de debajo de la pantalla en el centro de la misma, y aparecerá de manera intermitente. Indicando al usuario que se debe revisar la sección de alarmas.



**Figura A2.14.** Indicador de alarmas.

Las alarmas del sistema del área de Fundición y Colada se encuentran separadas en tres secciones dentro de la pantalla. La primera corresponde a las alarmas el Caster de la coladora continua, la segunda corresponde a las alarmas que pertenecen al proceso del enrollador y por último las alarmas correspondientes al área de fundición.

Cada indicador presenta un cuadro de alarma en el cual se indica el estado de la alarma, si aparece normal (color verde) quiere decir que no existe problema. En caso de que se active una alarma se indica y según sea la importancia o prioridad de la alarma con amarillo estático alarmas de prioridad baja y si el cuadro de alarma es intermitente alternando rojo y amarillo la prioridad es alta.

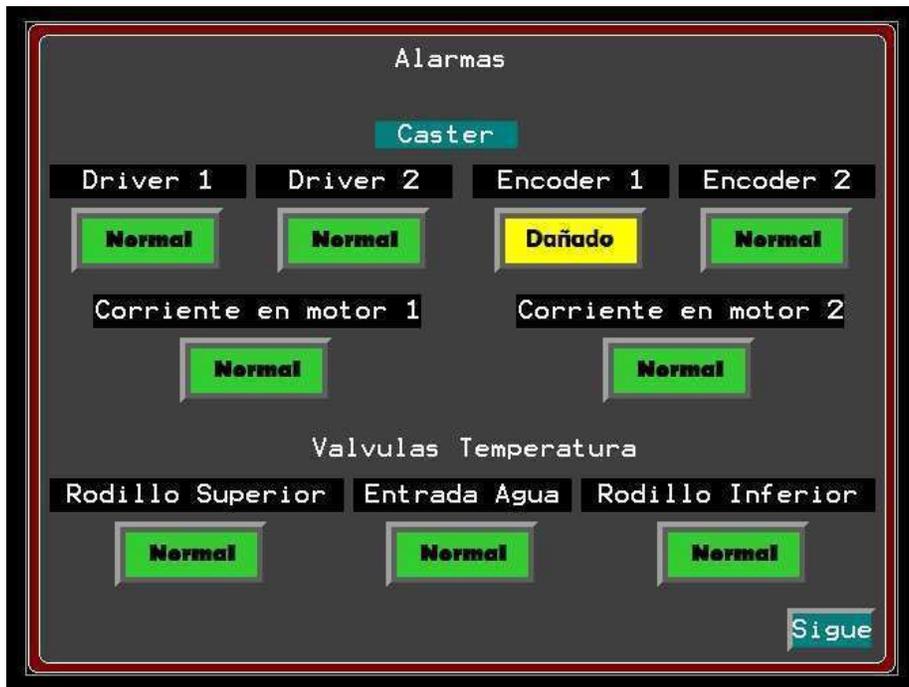


Figura A2.15. Pantalla de alarmas del Caster.

Si se presenta un fallo o error, se puede presionar el cuadro de indicación y este desplegará una pantalla con indicaciones y procedimiento a seguir (esto cuando la alarma requiera de una indicación especial).

# Descripción del programa de los Variadores de Frecuencia

## 5. Descripción por Bloques

El programa instalado dentro de los variadores de frecuencia pretende a partir de una velocidad de línea de la lámina digitado (de 0 a 4m/min) y sin importar que los diámetros de rodillos del Caster sean diferentes, que el sistema reaccione manteniendo invariante dicha velocidad de línea para ambos rodillos.

Para mantener la velocidad de línea de ambos motores sincronizada y constante, los variadores de frecuencia se programaron con funciones matemáticas. Las cuales se muestran a continuación<sup>6</sup>:

Para el variador de frecuencia del superior:

$$\omega_1 = \frac{V_L}{\pi \cdot D_1} N \text{ [RPM]}$$

D<sub>1</sub>: Diámetro de rodillo superior [m]

$\omega_1$ : Velocidad angular motor superior [RPM]

V<sub>L</sub>: Velocidad de línea [m/min]

N: Relación de reducción<sup>7</sup>

Para el variador de frecuencia del rodillo inferior

$$\omega_2 = \frac{V_L}{\pi \cdot D_2} N \text{ [RPM]}$$

D<sub>2</sub>: Diámetro de rodillo inferior [m]

$\omega_2$ : Velocidad angular motor superior [RPM]

---

<sup>6</sup> Para lograr la sincronía y control apropiado se trabajo con un variador de frecuencia en configuración de maestro (variador de frecuencia superior) y el otro como esclavo (variador de frecuencia inferior).

<sup>7</sup> La relación de reducción se agrega para obtener la velocidad angular exacta en la salida del motor.

$V_L$ : Velocidad de línea [m/min]

N: Relación de reducción

Tomando en cuenta que los diámetros de los rodillos pero la misma velocidad de línea para ambos se obtiene el valor de velocidad en RPM que debe existir a la salida de cada motor. Este cálculo y ajustes los realiza en variador de frecuencia en el siguiente bloque de señales:

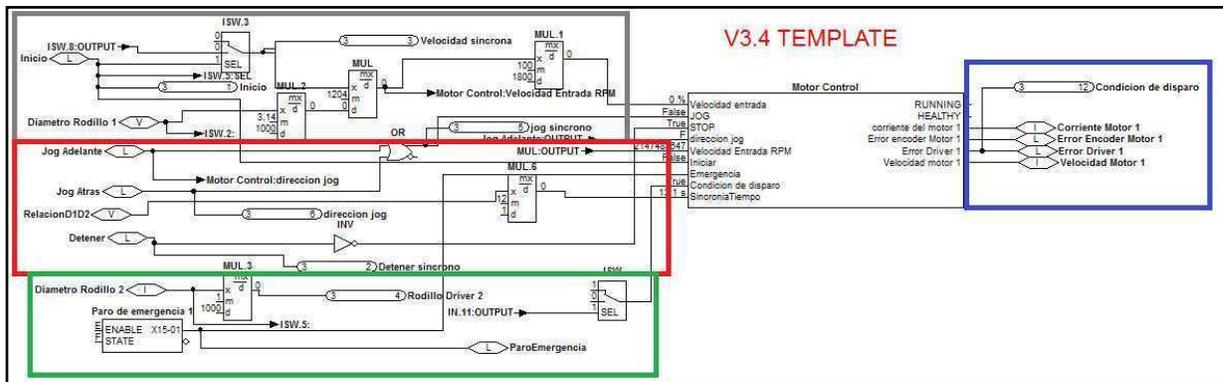


Figura A2.16. Diagrama de bloque de control del Variador de rodillo superior.

El sector del diagrama de bloques en gris (ver figura A2.17 a continuación), es el encargado de recibir los parámetros del proceso provenientes de la pantalla y realiza las funciones de ajuste y cálculo que se presentaron anteriormente para la velocidad para el motor del rodillo superior.

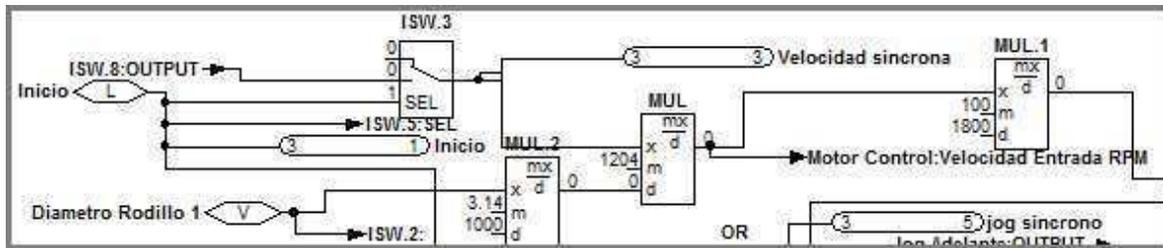


Figura A2.17. Programación para el cálculo de la velocidad de los motores.

La figura A2.17 muestra las entradas necesarias para los cálculos y los bloques multiplicadores para lo mismo. La entrada de Inicio es la que sincroniza el arranque de los motores.

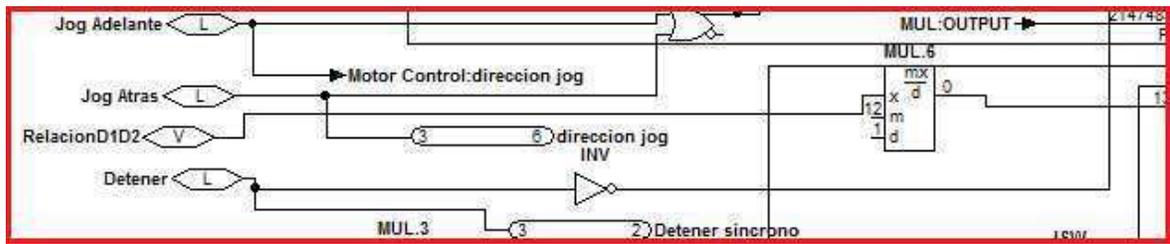


Figura A2.18. Programación para pulso adelante, pulso atrás y para frenar el motor.

La figura A2.18 muestra el pulso ya sea hacia adelante o hacia atrás (jog) y el pulso para detener el motor el cual debe mantenerse en 1 lógico y pasar a 0 para frenar, por esto se usa el inversor.

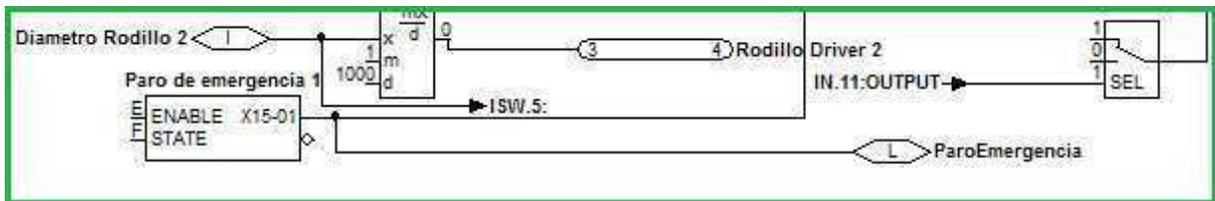


Figura A2.19. Programación para paro de emergencia y envío de diámetro de rodillo del variador inferior.

La figura A2.19 muestra la entrada digital de paro de emergencia del sistema proveniente del panel de operadores. También se muestra el envío de datos al variador de frecuencia inferior de la colada.

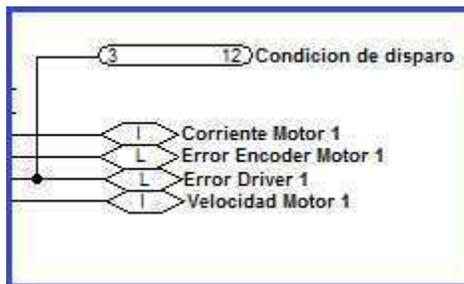
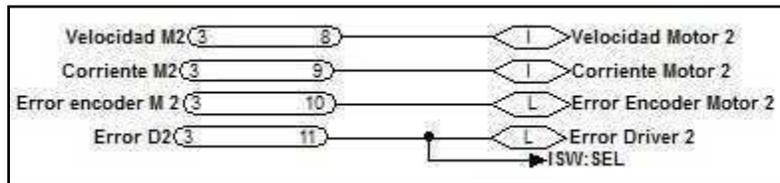


Figura A2.20. Salidas del sistema del sistema.

En la figura anterior se muestran las salidas del sistema hacia la pantalla táctil TS8006. Estas salidas son de monitoreo (corriente y velocidad del motor superior del Caster) y alarmas (Error en el encoder y error en el drive). Como parte de la seguridad el

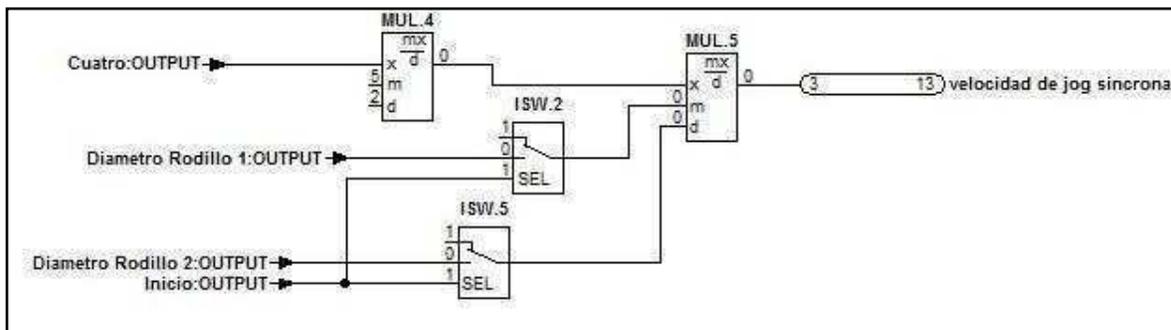
error del variador se manda como señal de seguridad al otro variador para que así se apliquen los mecanismos de seguridad y protección a los motores y a la lámina.

Los datos que son enviados a la pantalla desde el variador inferior (Esclavo) son enviados a través del variador superior (Maestro). Ver figura a continuación:



**Figura A2.21.** Datos del variador de frecuencia esclavo hacia la pantalla.

Para sincronizar el pulso de adelante o atrás entre los dos variadores se ajusto la velocidad de giro del variador de frecuencia esclavo por la relación de diferencia de velocidad que angular de los motores debido a la diferencia entre los diámetros de los rodillos, como se puede ver en la siguiente figura.



**Figura A2.22.** Ajuste de velocidad del jog del variador inferior.

La configuración de el modo de operación del variador es el de “CLOSE-LOOP VECTOR” el cual es una configuración de alta eficiencia en el uso de los variadores AC890 permite realizar un control de lazo cerrado mediante el uso de un encoder, esto se configura dentro del bloque “DRIVE CONFIG” (ver figura A2.23). En este bloque también se definen las tarjetas de comunicación.

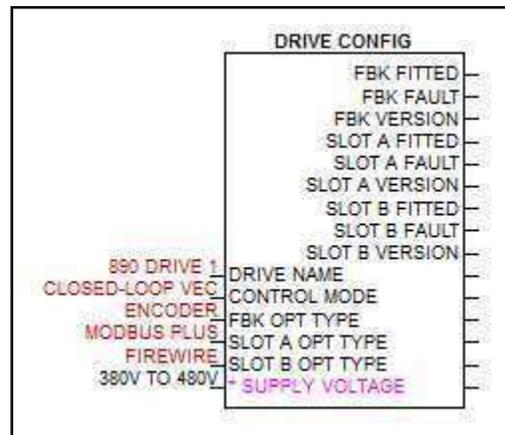


Figura A2.23. Bloque de configuración del variador de frecuencia.

Dentro del bloque de “Motor Control” se realizaron las configuraciones necesarias del sistema.

### Página 1 dentro del bloque “Motor Control”

La configuración de la velocidad del variador de frecuencia maestro de pulso de job y velocidad de frenado así como también la dirección de giro, esto se observa en los siguientes bloques:

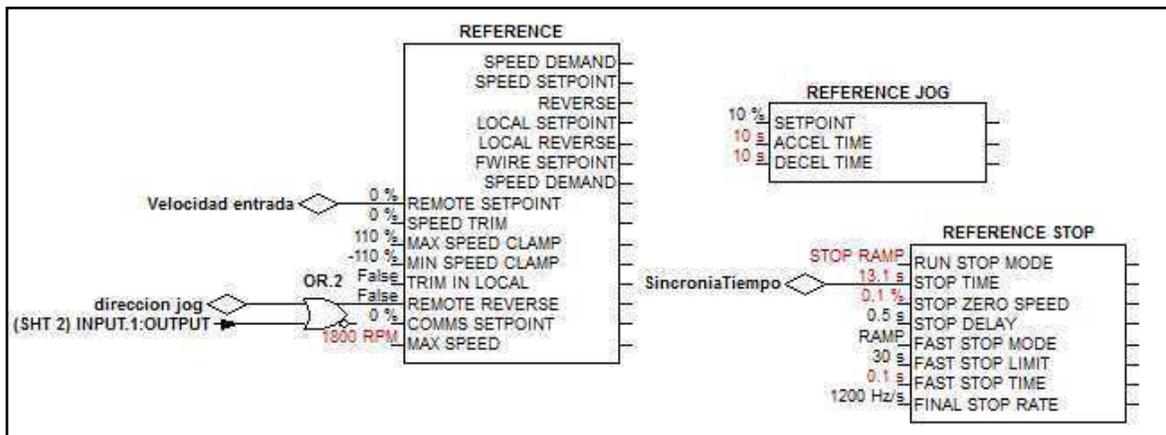


Figura A2.24. Bloques de configuración y definición de la velocidad del drive maestro.

Los bloques de la figura A2.24 son bloque donde solo se define el valor del parámetro como las velocidades pero no poseen la lógica de control como inicio o frenado solo las velocidades para realizarlos.

El “SPEED LOOP” es el bloque encargado de mantener y controlar la velocidad de los motores mediante la retroalimentación y comparación con la velocidad que se desea en la salida. Es importante antes de poner a funcionar el sistema con lazo cerrado que primero se haga “autotuning” con el modo de “CLOSE-LOOP VECTOR” esto para que el variador de frecuencia mida los valores y parámetros reales del motor, con la finalidad de que este haga un modelado eléctrico del motor para un eficiente control de velocidad. La siguiente figura muestra el bloque de “SPEED LOOP”.

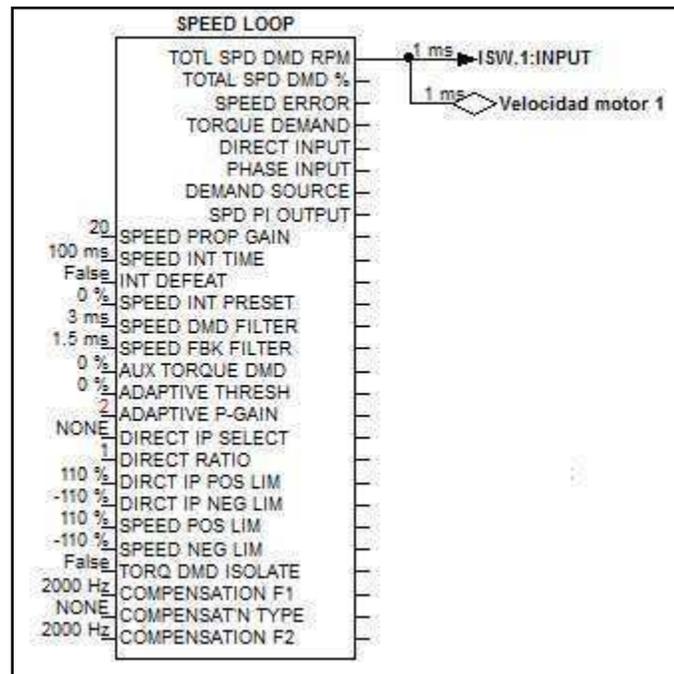
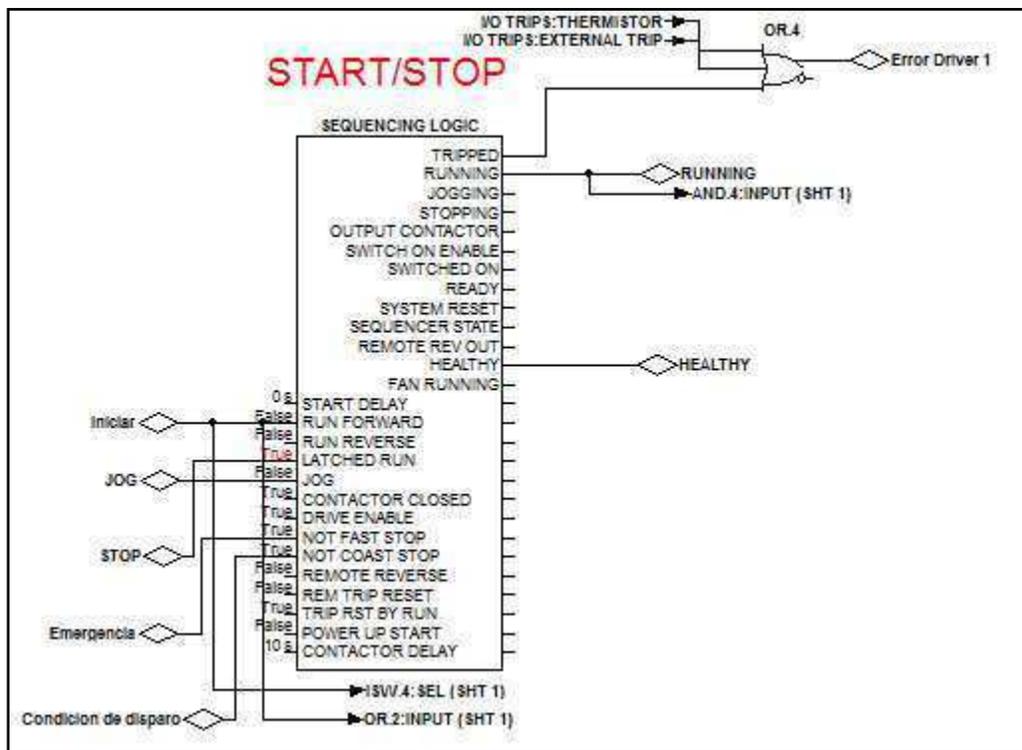


Figura A2.25. Bloque de lazo de velocidad.

**Página 2 dentro del bloque “Motor Control”**

El bloque lógico encargado del control de sistema es el que define cuando se da un arranque de los motores y cuando se detienen, así como también tipos de frenados de seguridad ya predeterminados, permite habilitar o bloquear el variador reversa y jog entre las funciones más importantes (esto en página 2 dentro del bloque “Motor Control”),. Este bloque recibe el nombre de “SEQUENCING LOGIC”, se muestra en la siguiente figura:



**Figura A2.26.** Bloque lógico secuencial.

Se hizo uso de un bloque de detección de errores y fallas de equipo externo (ver figura A2.27), para determinar si se genera un error en el encoder o en las termoresistencias de la ventilación.

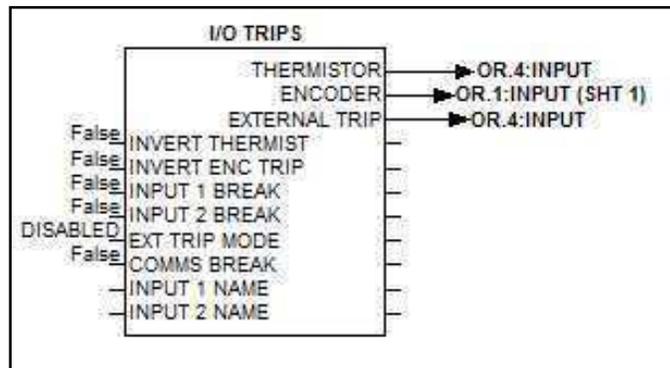


Figura A2.27. Bloque de detección de errores externos.

### Página 3 dentro del bloque “Motor Control”

En esta página se definen los datos de fabricante del motor y del encoder haciendo el autotuning el variador de frecuencia calcula y define los valores del motor reales después de la pruebas en el motor. Sin embargo, el encoder si debe ser configurado correctamente con los datos de placa de lo contrario podría generar saltos o cambios de dirección bruscos al momento de dar arranque al motor.

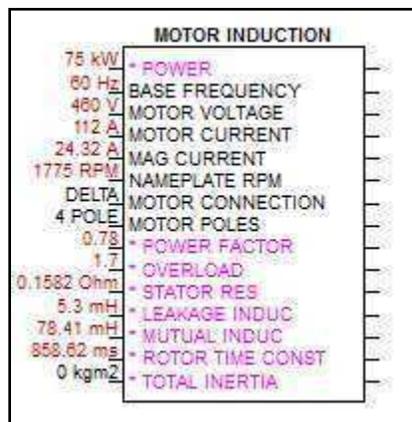
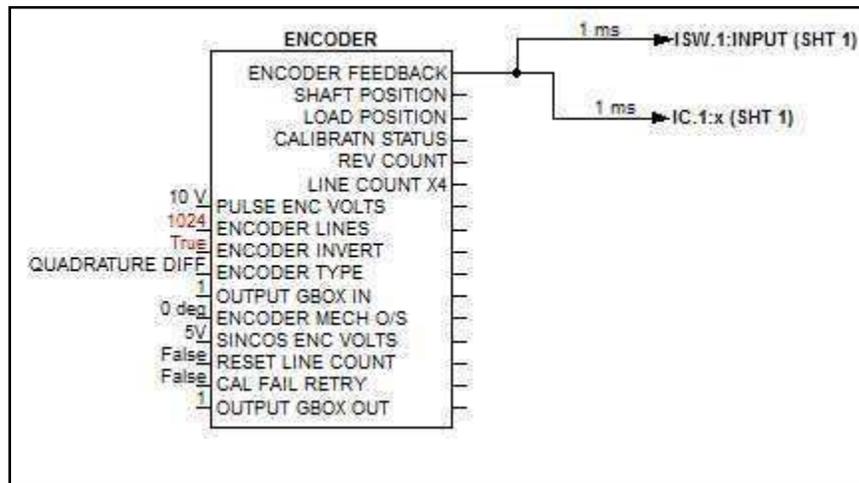


Figura A2.28. Bloque de datos de fábrica del motor.



**Figura A2.29.** Bloque de datos de fábrica del encoder.

### Lógica de seguridad de los variadores de frecuencia

El mecanismo principal de protección que se implemento es el de detección de errores y fallos tanto internos como externos (figura A2.27) del variador de frecuencia. En caso de algún error el variador mediante la señal de condición de disparo (ver A2.21), ante un error o falla del sistema del variador opuesto se bloquea y aplican mecanismos de protección de los motores y de la lámina en la colada. En la figura A2.26 se observa que la señal mencionada activa el “NOT COAST STOP” esto hace que el drive se bloquee y libere el motor y permite que el rotor gire libremente de manera en que se protege el motor y el producto.

La entrada digital “Paro de emergencia” se activa al oprimirse la parada de emergencia (pulsador de hongo) del panel de operadores, esta entrada va directa el “NOT FAST STOP” esta entrada frena de inmediato los motores en 0.1 segundo y bloquea los drives.

Otra lógica de protección que se implementó es para asegurar que si los mecanismos de seguridad de la pantalla fallan que la velocidad de línea se va a mantener

en el rango definido de 0 a 4 m/min siempre y no saldrá de este rango. Esta lógica se muestra a continuación.

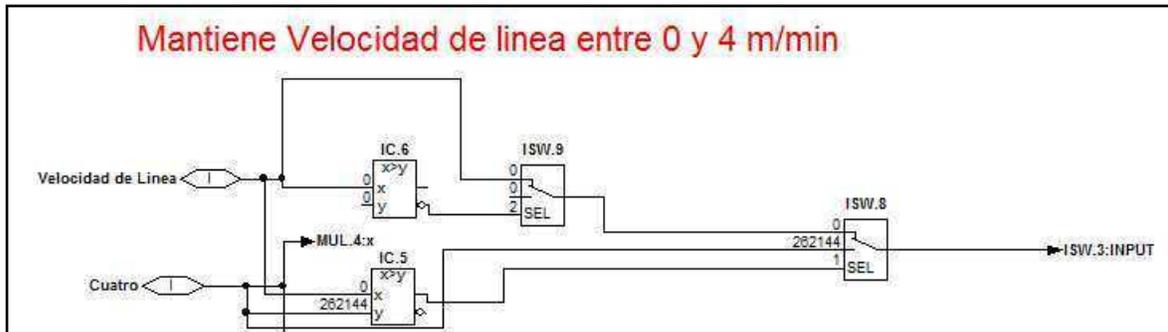


Figura A2.30. Lógica de protección para la velocidad de línea.

El ultimo indicador de seguridad es el detector de encoder dañado, el cual manda una alarma a la pantalla indicando que el mismo o la tarjeta F de encoder de AC890 “Standalone” drive están dañados. Se puede ver dicha lógica en la siguiente figura.

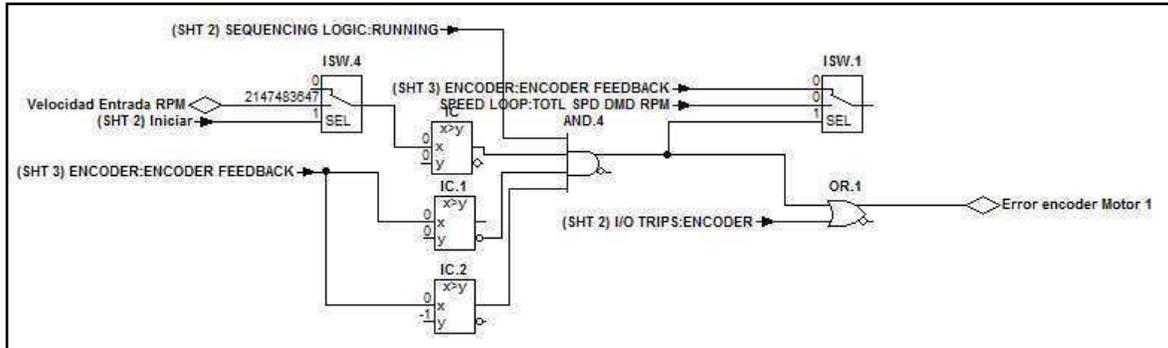


Figura A2.31. Detector de encoder dañado.

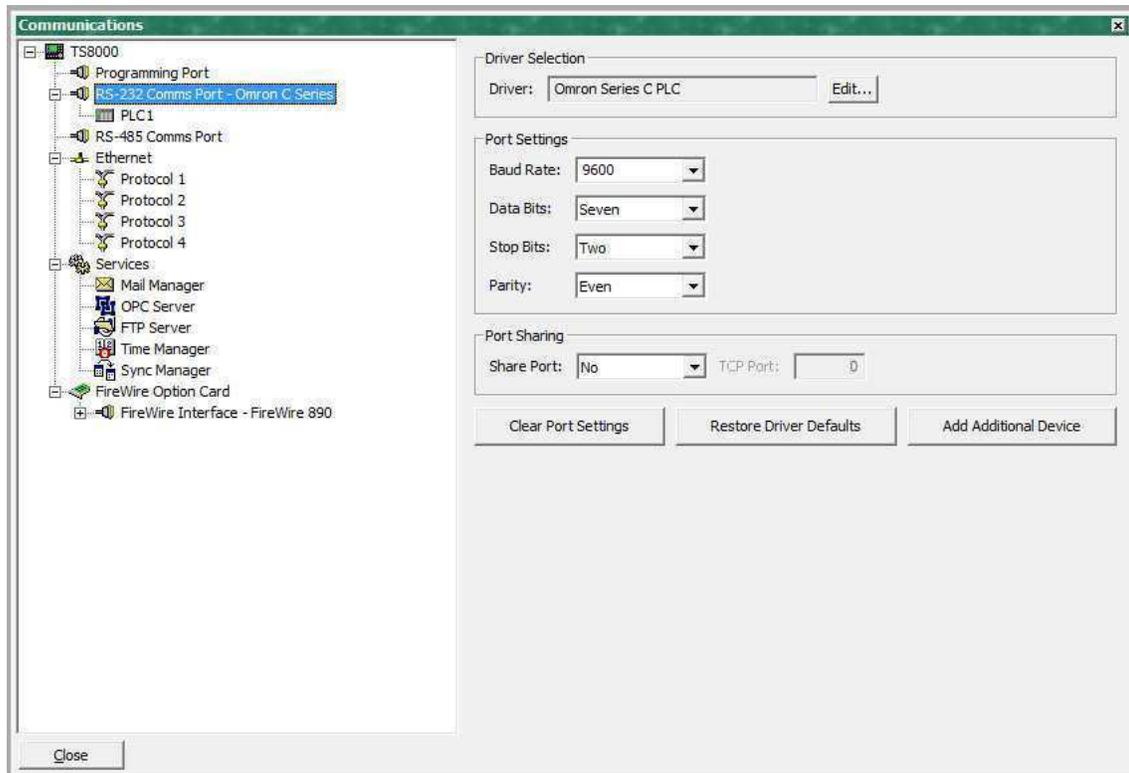
**Nota:** El variador de frecuencia esclavo posee los mismos módulos y configuraciones que el variador maestro solo en la configuración de los puertos de comunicación difieren.

# Configuración de las comunicaciones

## 6. Direccionamiento en la pantalla táctil TS8006

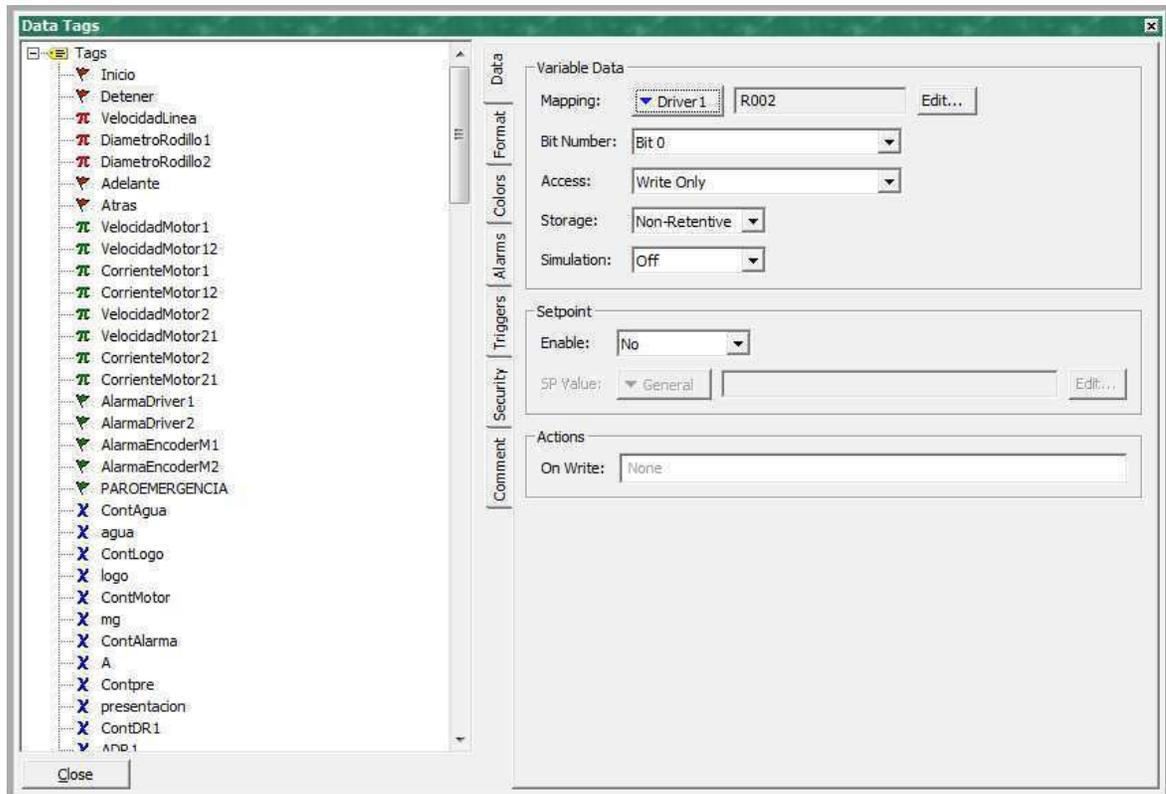
Los protocolos de comunicación seleccionados para la pantalla fueron: Modbus TCP/IP por Ethernet para la comunicación con el driver maestro y puerto serie RS232 para comunicación con el PLC del sistema antiguo de fundición y colada.

Para la configuración de estos puertos se debe con el software de programación DSI8000 se abre el proyecto y se ingresa en “Communications” ahí se selecciona el protocolo (ver figura A2.32). Con el protocolo definido se selección “Edit” y se elige el dispositivo con el que se desea comunicar (ya sea un PLC o un Drive) y se crea el dispositivo.



**Figura A2.32.** Selección de protocolo y dispositivo a comunicar.

Una vez creado el dispositivo para dar el direccionamiento se debe entrar a la pantalla “Data Tags” que es donde se crean y definen variables internas, entradas y salidas de la pantalla ver figura A2.33.



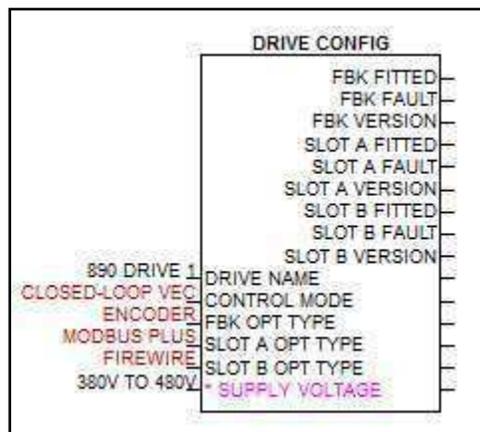
**Figura A2.33.** Pantalla de direccionamiento y creación de variables (“Data Tags”).

Para direccionar se crea la variable (en “Tags”) o se selecciona en caso de que este creada (como se puede ver en la figura anterior), al seleccionarla aparecen las opciones de configuración para la variable se selecciona la pestaña de Mapping al seleccionar aparece las clasificaciones interna, siguiente y aparecen el o los dispositivos que se hayan configurado en la parte de “Communications”. Al seleccionar el dispositivo que se definió se le da el direccionamiento deseado según el tipo de comunicación y dispositivo seleccionado y con “Access” se selecciona si es entrada o salida o si es dual. Así para cada variable que se necesite direccionar.

## 7. Direccionamiento AC890 “Standalone” drive

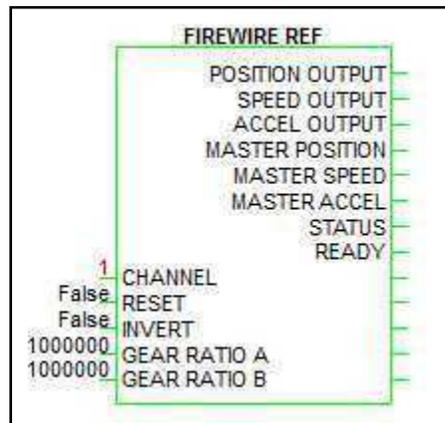
La comunicación del variador de frecuencia se realizó por el protocolo Modbus TCP/IP Ethernet para comunicarse con la pantalla y Firewire para comunicación con el otro variador de frecuencia en el software de programación DSE890.

Para acceder a los protocolos se debe configurar el variador con la tarjeta de comunicación apropiada (ver figura A2.34). En este caso la tarjeta de Modbus y la tarjeta de Firewire.



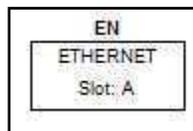
**Figura A2.34.** Configuración de las tarjetas de comunicación y del modo de control.

Para la configuración del Firewire entre dos drives se necesita usar entradas y salidas normales solo se pone a que número de dispositivo va y que número de entrada representa en el dispositivo o de que dispositivo viene y el número de entrada. Solo debe configurar y asignar el mismo canal a los variadores en el bloque de “FIREWIRE REF” (ver figura A2.34) para crear una red entre ellos.



**Figura A2.35.** Selección de canal.

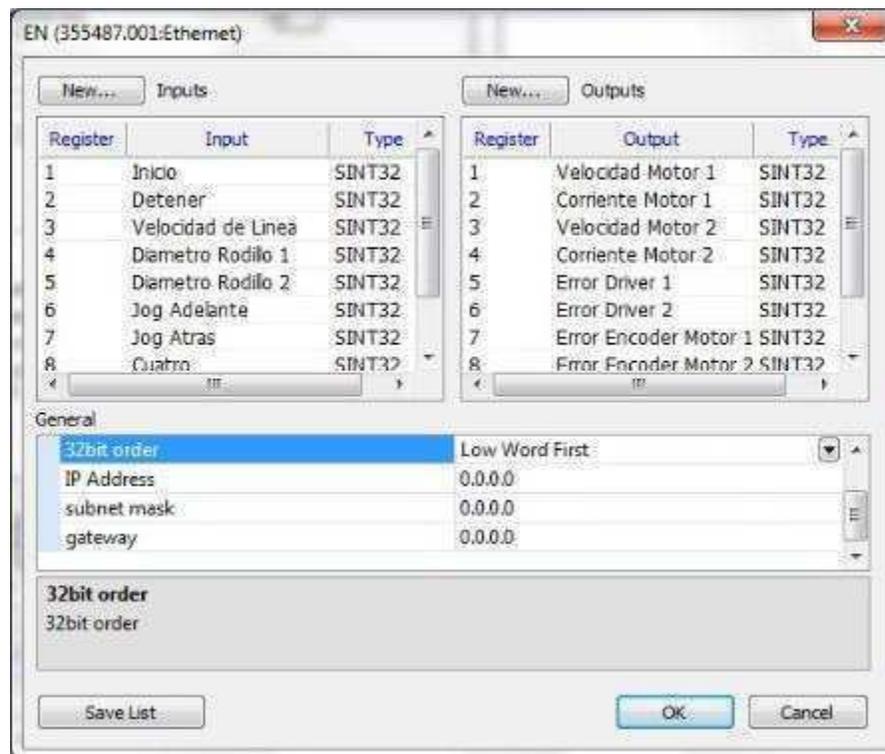
Para configurar la comunicación por medio del protocolo Modbus TCP/IP para conectar las entradas y salidas se debe acceder al menú de “Block”, y la pestaña de “890 Comms”, selecciona el bloque de Ethernet. Un ejemplo de esto se muestra a continuación:



**Figura A2.36.** Bloque de Ethernet.

Dentro de este bloque de Ethernet de la figura anterior se seleccionan las entradas y salidas del variador de frecuencia y se les asigna la dirección colocándolas en la numeración deseada de Ethernet (Modbus TCP/IP). En la figura A2.37 se muestra los números de cada entrada y en el espacio de abajo se debe configurar la dirección IP, la máscara de red y el entrada.

**Nota:** Los números en que se colocaron entradas y salidas corresponde a la dirección dentro de la red, y a su vez deben coincidir con el direccionamiento de la pantalla táctil.



**Figura A2.37.** Direccionamiento de las entradas y salidas por Ethernet.

Para realizar un direccionamiento por Firewire o cualquier otro se realiza el mismo proceso, solo que en el caso del Firewire se selecciona el orden y número de las entradas y salidas el direccionamiento es por registros que deben coincidir con su respectivos parámetros en la pantalla táctil (mediante el mismo número de registro).

## Plano eléctrico

Por razones de confidencialidad de la empresa CVG ALUNASA se presenta a continuación sólo las hojas del plano eléctrico en las que se realizaron cambios como producto de este proyecto.

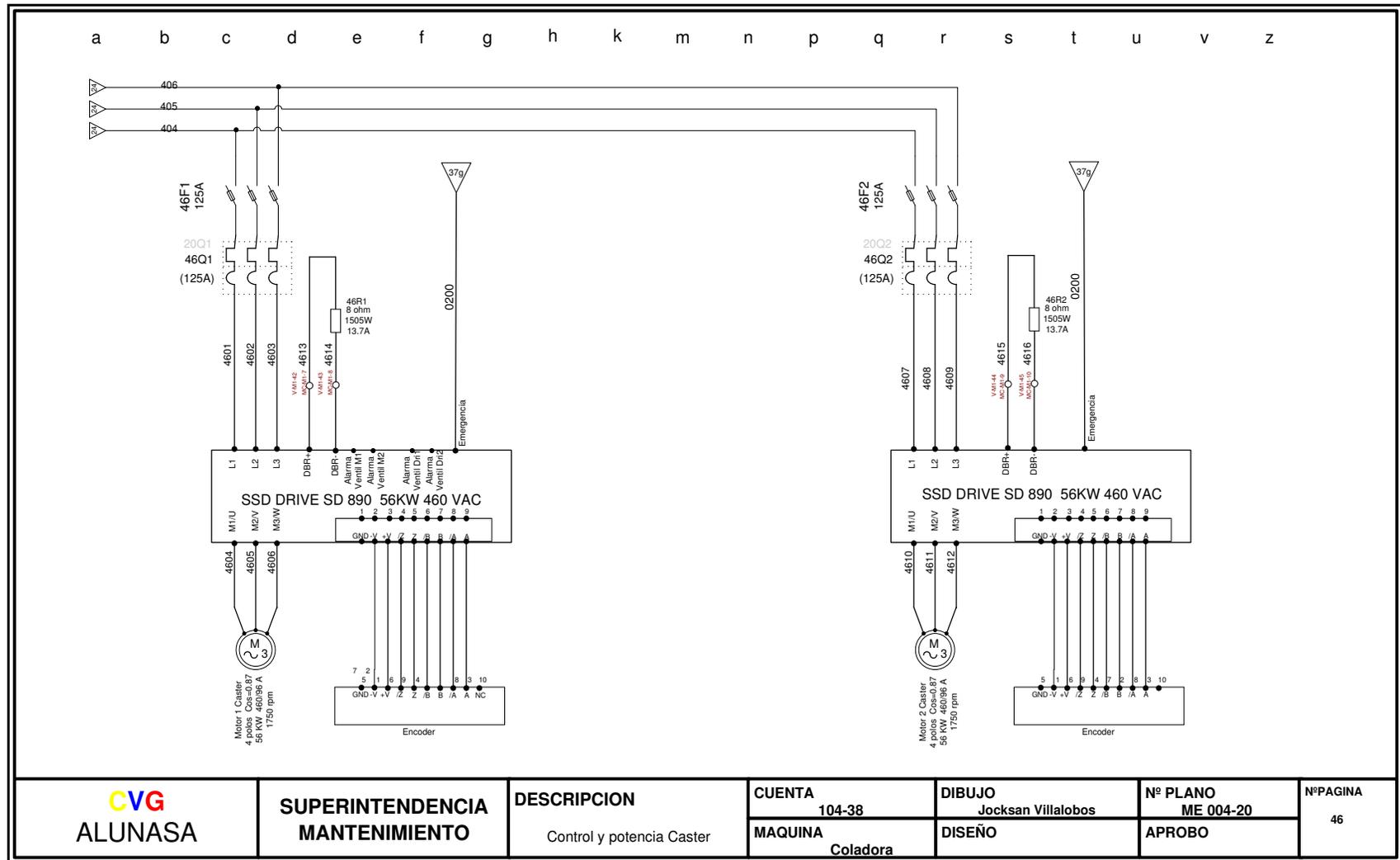


Figura A2.38. Plano eléctrico de la conexión de los variadores de frecuencia.

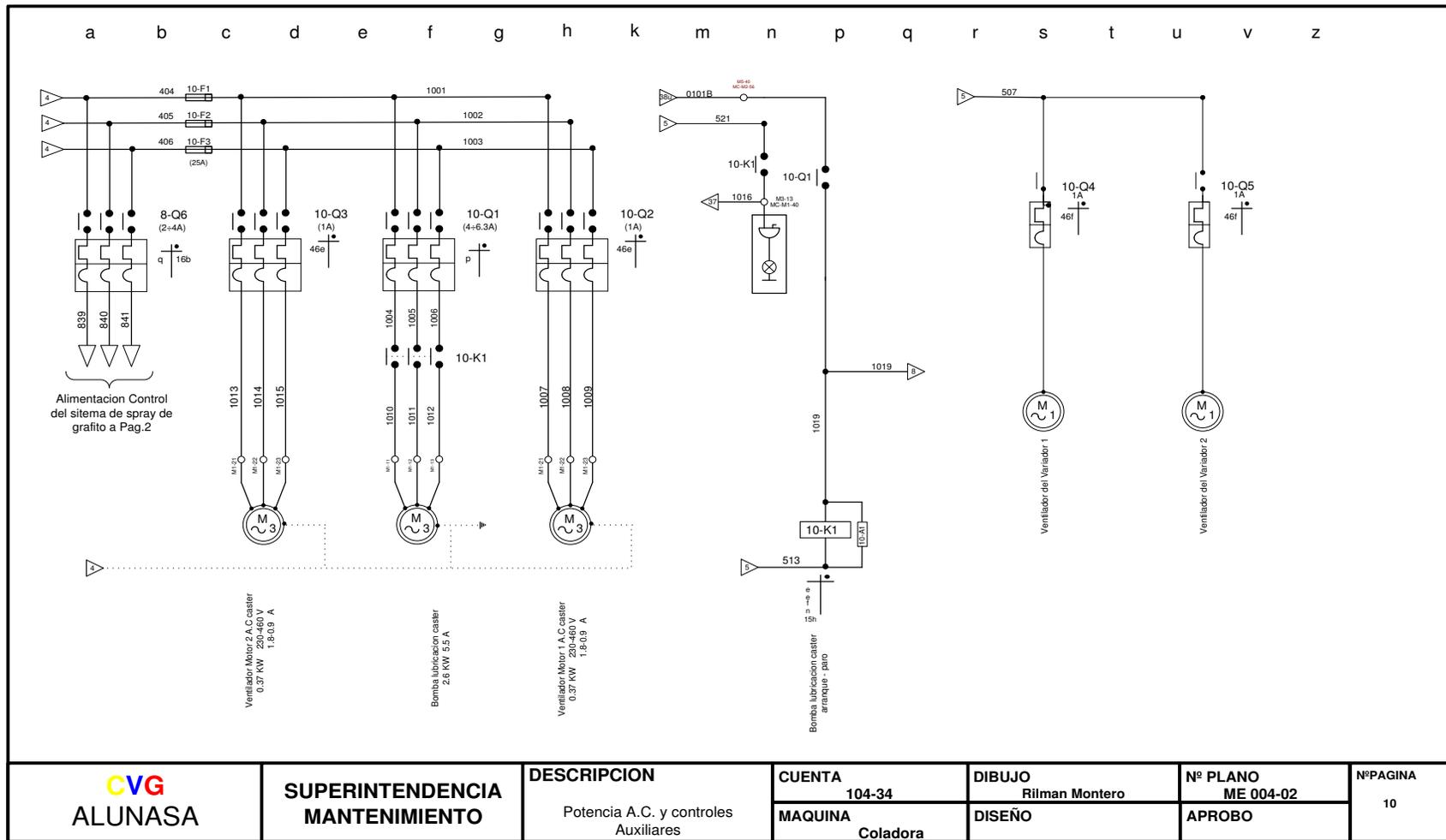


Figura A2.39. Plano eléctrico de la conexión de la ventilación de los motores.

## **A3. Programa completo de los variadores de frecuencia y la pantalla táctil**

### **A3.1. Programa de los variadores de frecuencia**

A continuación se presenta la programación completa de los variadores de frecuencia. Como se mencionó el programa DSE890 permite la programación de variador de frecuencia pero mediante bloques ya definidos que se interconectan para realizar dichas funciones.

# Variador de frecuencia maestro

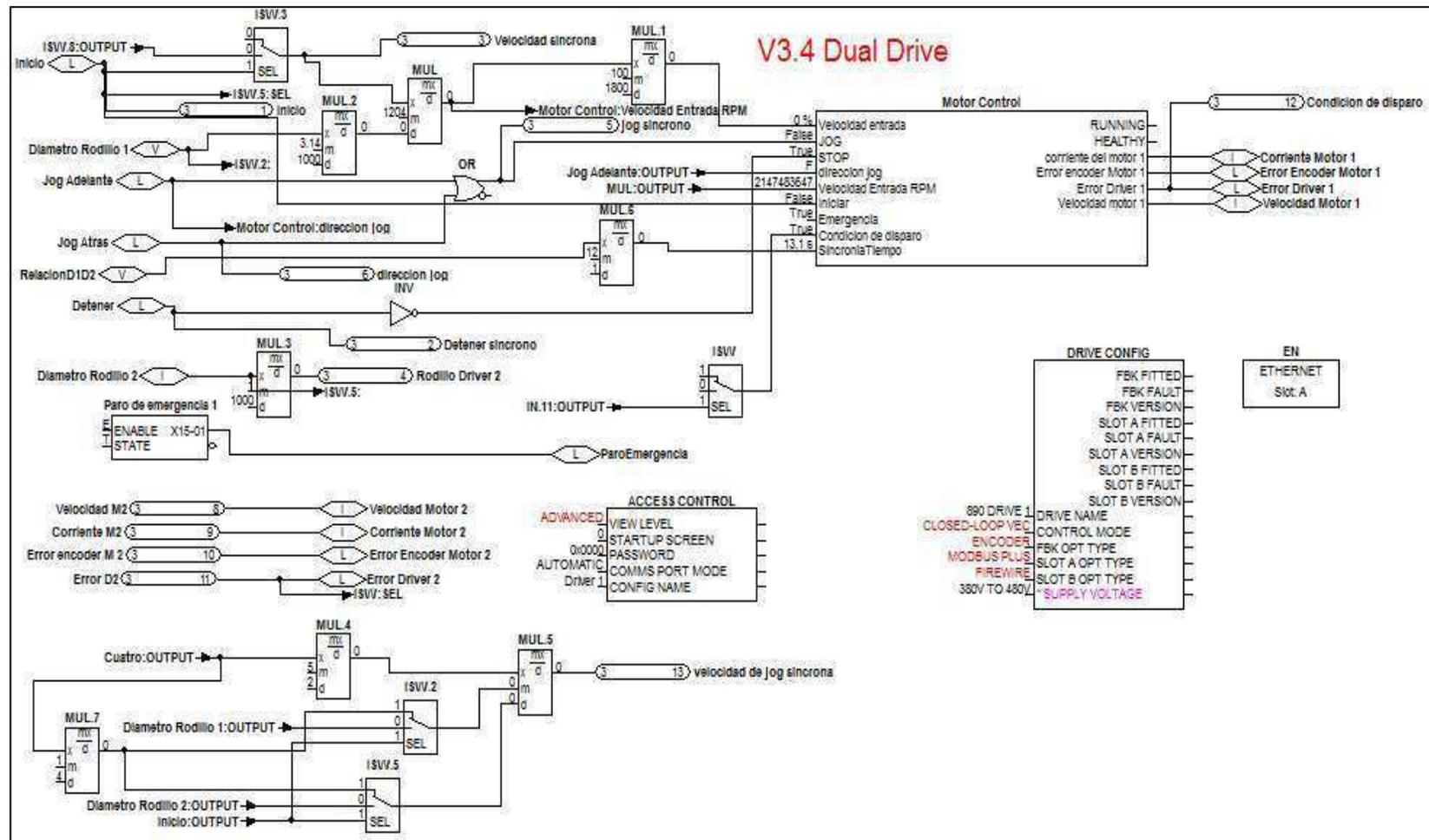
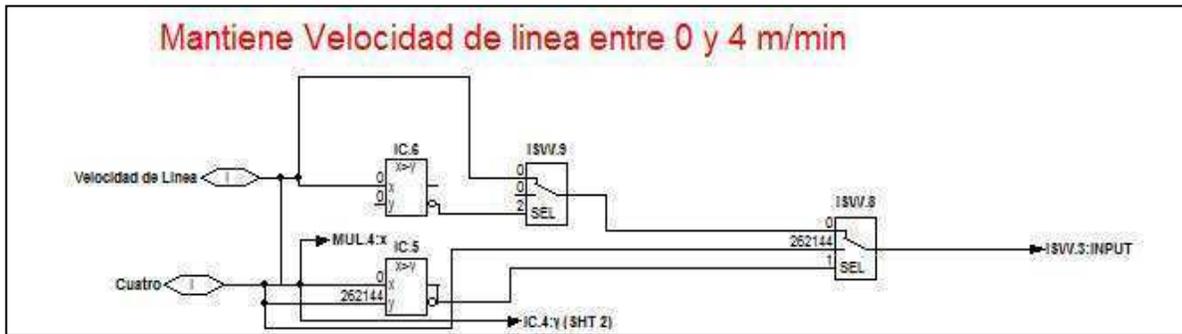


Figura A3.1. Programa por bloques del sistema en el variador de frecuencia maestro.



**Figura A3.2.** Protección de velocidad de línea del sistema en el variador de frecuencia maestro.

En la figura A3.1 se muestra el conjunto de bloques principal del sistema encargado de realizar los ajustes y cálculos del sistema que se explico con mayor detalle en la el capítulo 5. Además de la configuraciones generales y la configuración de la comunicación por Ethernet, las entradas y salidas en el bloque “EN” y el ajuste de tiempo para un frenado síncrono, mediante la relación de diámetro de los rodillos.

En la figura A2.2 se encuentran los bloques conectados para brindar mayor protección, para que la velocidad de línea del sistema que se recibe desde la pantalla, en caso de algún error en la transmisión. Si la velocidad de línea es menor que cero el programa no permite la velocidad negativa por lo que la mantiene en cero y si es mayor que 4 [m/min] la mantiene en 4 [m/min].

Dentro del bloque de “motor control” se realizan funciones mas especificas, como curvas de aceleración y desaceleración con base en tiempos establecidos por el programador, inicio del sistema, dirección de giro de los motores, errores (trips), a continuación se muestran páginas interiores del bloque “motor control” que fueron programados.

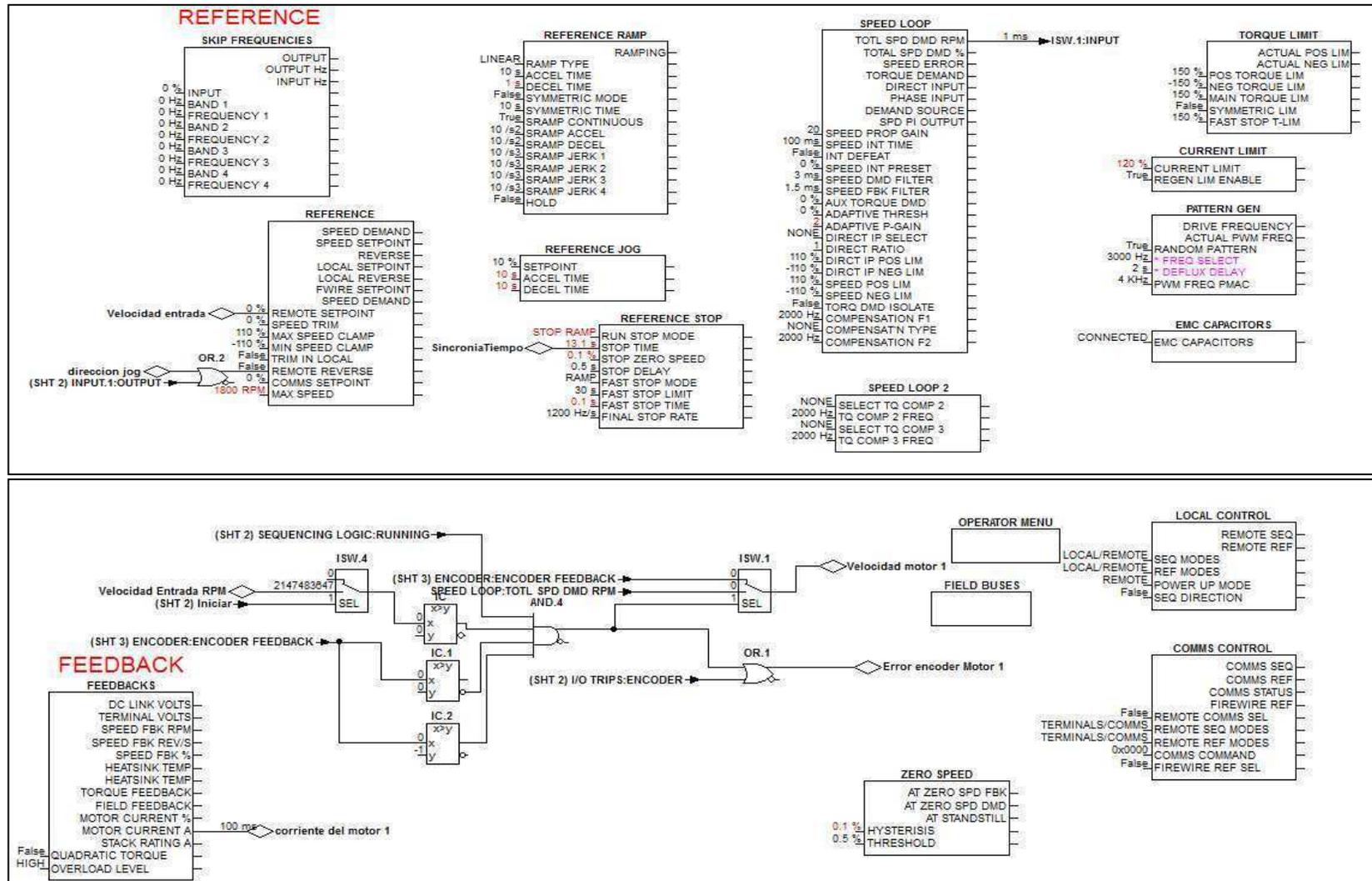


Figura A3.3. Primera página del bloque “motor control”.

La figura A3.3 muestra la configuración y conexión de las variables de referencia como la velocidad calculada y ajustada. Se muestra el bloque de aceleración y desaceleración con los tiempos calculados para la sincronía del sistema.

La figura mencionada posee la referencia de jog, que es el bloque que permite girar los motores con un pulso y detenerse cuando el pulso desaparece.

En esta página se obtienen datos calculados por el variador de frecuencia estimados para la retro alimentación a partir de las características eléctricas del motor en el bloque de “FEEDBACK”.

Dentro de esta página se encuentra el bloque de control de velocidad “SPEED LOOP”, este como se menciona realiza la función de un control proporcional integral de velocidad o torque. Para este proyecto se configuró para control de velocidad.

Se programó una función de protección interna para detectar si el encoder se dañó y de esta manera realizar cambios automáticos en el sistema para que las mediciones de velocidad sean tomadas de la salida del variador y no del lazo dañado del encoder.

En esta página se configuró el bloque EMC capacitores para protección de los motores.

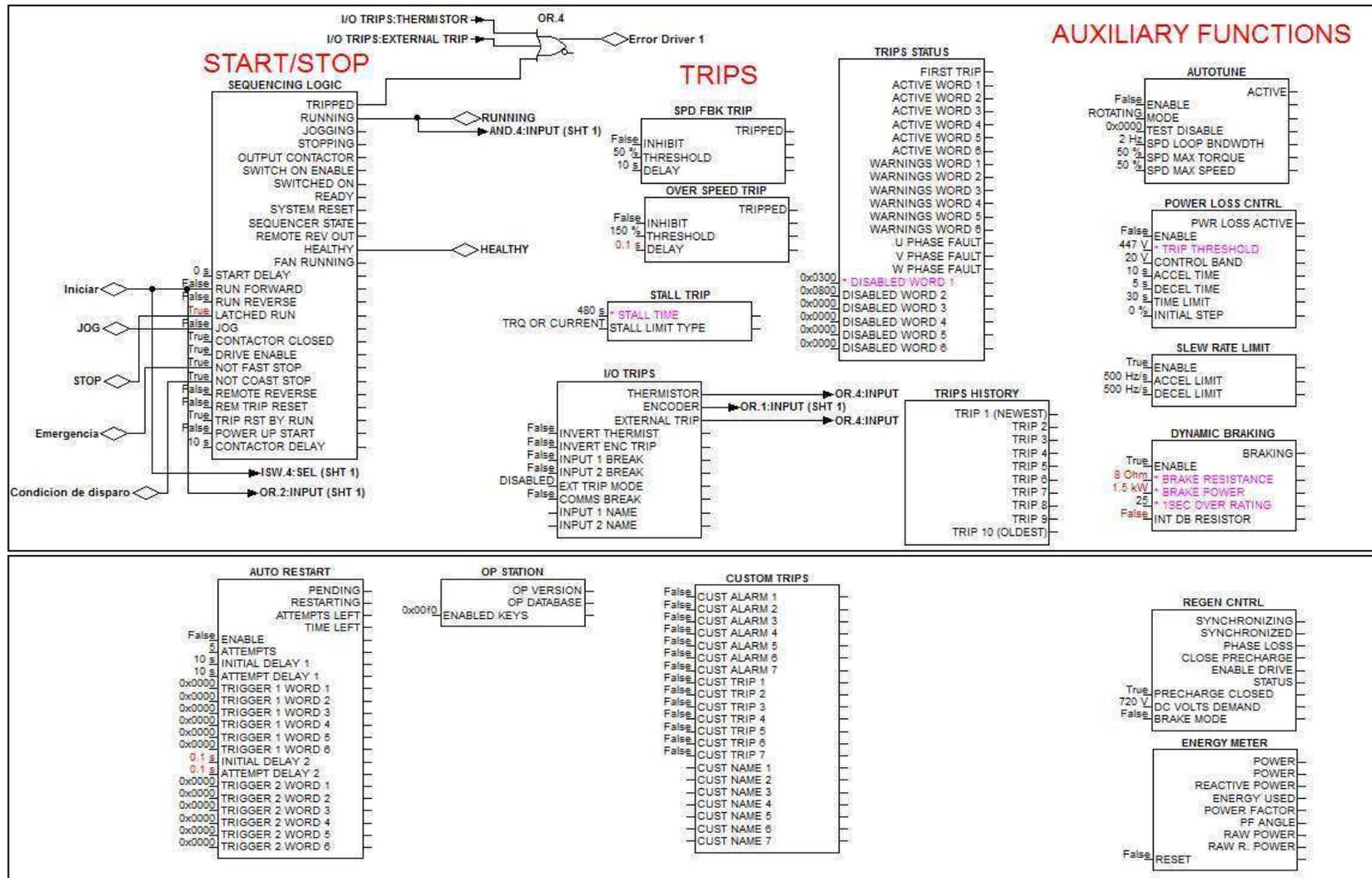


Figura A3.4. Segunda página del bloque “motor control”.

La figura A3.4 muestra la segunda página interna del bloque "motor control", en esta se encuentra el bloque de lógica secuencial. Dicho bloque posee señales de lógica de control de los motores, como los tipos de frenado (frenado rápido de emergencia, frenado de rotor libre ), dirección de giro del motor, habilitar y deshabilitar el variador de frecuencia, frenado y a la salida de este bloque se puede detectar si el variador de frecuencia está funcionando, se genero algún error o está en proceso de detenerse, entre otras.

Dentro de esta página se encuentran los bloques de detección de error (trips), los cuales permiten protección del sistema.

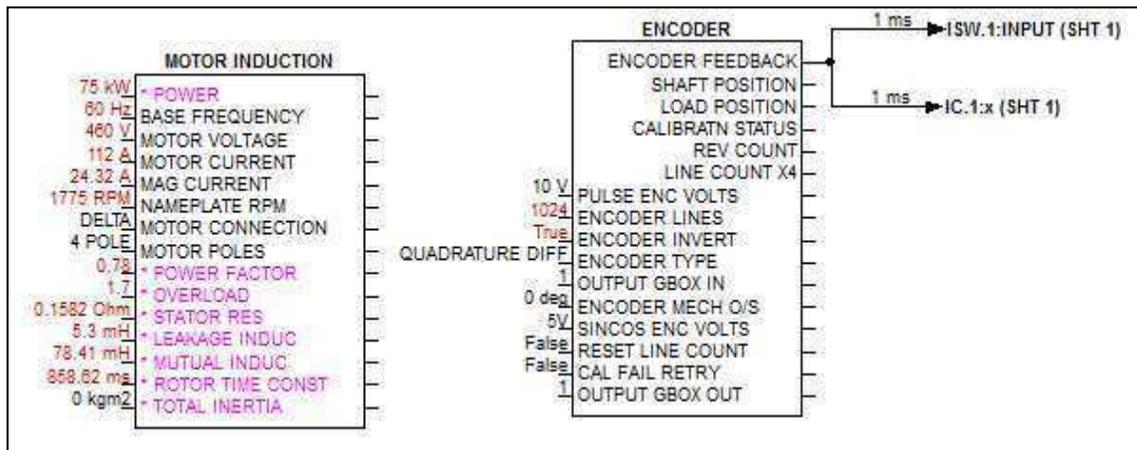


Figura A3.5. Bloque de motor de inducción y encoder.

En la tercera página se presenta bloque de configuración del motor usado en la figura A3.5 muestra los bloques usados en el proyecto, en el bloque "MOTOR INDUCTION" se incluyen los datos de placa del motor y en el de "ENCODER" se configura de igual manera con los datos del fabricante.

# Variador de frecuencia esclavo

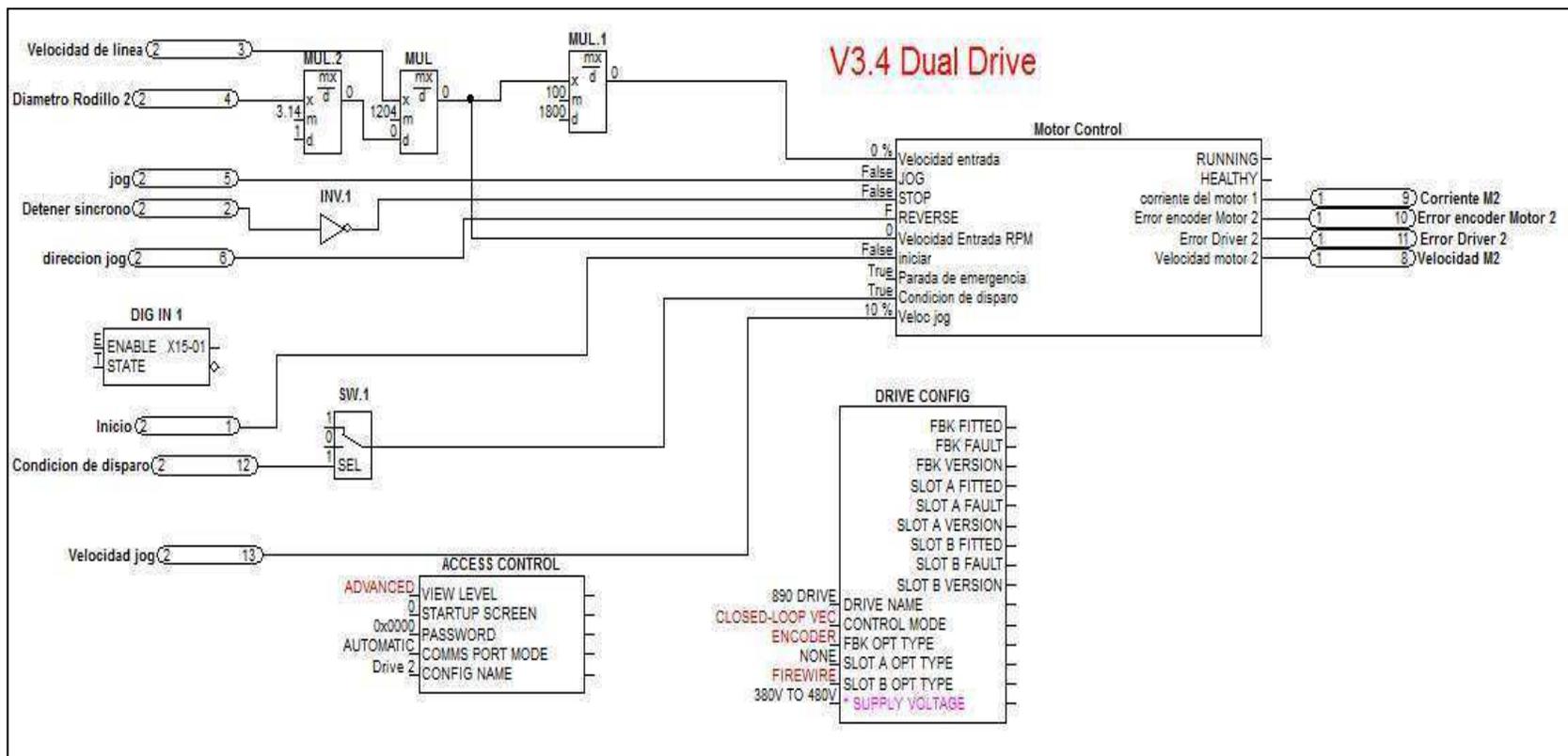


Figura A3.6. Programa por bloques del sistema en el variador de frecuencia esclavo.

La figura A3.6 muestra la configuración y cálculos del variador de frecuencia esclavo como se puede apreciar comparado con el maestro (figura A3.1) claramente se puede notar que el maestro realiza la mayoría de funciones y ajustes y gobierna al esclavo mediante señales, para lograr la sincronía de todo el sistema mecánico.

En cuanto al bloque de “motor control” internamente la configuración y conexión del esclavo es la misma que la del variador de frecuencia maestro con la diferencia que el esclavo se configuro para girar en sentido contrario mediante lógica combinatorial.

## A3.2. Programa de la pantalla

Como se mencionó en el capítulo 5 en la descripción de software de la pantalla la mayoría de la programación se realiza por medio de la herramienta de dibujo de figuras asignado funciones a las mismas.

Pero dentro de las funciones secundarias se programaron muchas por medio de código fuente que se mostrará a continuación:

```
//se encarga de dar movimiento a la imagen del agua
agua :=0;

for (agua:=0;agua<10000;agua++){
    if(agua==5000)
        ContAgua:=1;
    else
        ContAgua:=ContAgua;
}
agua:=0;
for (agua:=0;agua<10000;agua++){
    if(agua==5000)
        ContAgua:=0;
    else
        ContAgua:=ContAgua;
}
```

**Figura A3.7.** Código fuente de movimiento de válvulas de agua.

La figura A3.7 se muestra el código fuente encargado del movimiento de la figura de demostración de las válvulas de agua.

```
//Presenta el giro de los motores hacia delante o atras
mg :=0;

if (VelocidadMotor1 != 0 && VelocidadMotor2 != 0){
if(Atras){
    for(mg:=0;mg<1002;mg++){
        if(mg==1000)
            ContMotor:=ContMotor-1;
        else
            ContMotor:=ContMotor;
    }
}
else {
    for(mg:=0;mg<1002;mg++){
        if(mg==1000)
            ContMotor:=ContMotor+1;
        else
            ContMotor:=ContMotor;
    }
}
}

mg:=0;
```

**Figura A3.8.** Código fuente de movimiento de giro de motores.

La figura A3.8 se muestra el código fuente encargado del movimiento de una figura que indica el giro de los motores cuando estos son activados.

```

//indica alarma con el simbolo, indica un problema en el sistema
A :=0;
if(VelocidadLinea<0 || VelocidadLinea>4 || AlarmaDriver1==1 || AlarmaDriver2==1|| AlarmaEncoderM1==1|| AlarmaEncoderM2==1|| AguaRInf
a==1 || AguaRInfBaja==1 || AguaRSupAlta==1 || AguaRSupBaja==1 || AlarmaTitanicBoro==1 || BajaPresionAgua==1 || BombaEnrollador || B
aLubricacionCaster==1 || CaudalInfAlta==1 || CaudalInfBaja==1 || CaudalSupAlta==1 || CaudalSupBaja==1 || EntradaAguaAlta==1 || Entrad
guaBaja==1 || EspesorAnilloAlta==1 || ResistensaSniff==1 || SprayDisparado==1 || TensionEnrolladorAlta==1 || TensionEnrolladorBaja=
|| VentiladorEnrollador==1 || CorrienteMotor1>=100 || CorrienteMotor2>=100){

for (A:=0;A<6000;A++){
    if(A>=3000)
        ContAlarma:=1;
    else
        ContAlarma:=0;
}
A:=0;
}
else
ContAlarma:=0;

```

**Figura A3.9.** Código fuente de detección de errores.

La figura A3.9 se muestra el código fuente encargado detectar cualquier error en el sistema y de mostrar la señal de alarma en la pantalla táctil.

```

//Presentacion
Cuatro:=4;
presentacion:=0;
for (presentacion:=0;presentacion<10000;presentacion++) {
    Contpre:=Contpre+1;
    if (Contpre==9998) {
        GotoPage (Principal);
    }
    else
        Contpre:=Contpre;
}
Cuatro:=Cuatro;

```

**Figura A3.10.** Código fuente de pantalla de presentación.

La figura A3.10 se muestra el código fuente encargado de mostrar una pantalla al iniciar el sistema con los datos del creador y la empresa.

```

// Abre la pagina de acciones a tomar ante una falla en el encoder
if(E1==1 && AlarmaEncoderM1 ==1){
    GotoPage(EncoderDanado);
}

if(E2==1 && AlarmaEncoderM2 ==1){
    GotoPage(EncoderDanado);
}

```

**Figura A3.11.** Código fuente ayuda ante fallo de encoder.

La figura A3.11 se muestra el código fuente que abre una pantalla de ayuda con un mensaje, en la sección de alarmas ante algún fallo del encoder, del sistema mecánico.

```

// Abre la pagina de acciones a tomar ante una falla en el Driver
if(D1==1 && AlarmaDriver1 ==1){
    GotoPage(ErrorDriver);
}

if(D2==1 && AlarmaDriver2 ==1){
    GotoPage(ErrorDriver);
}

```

**Figura A3.12.** Código fuente de pantalla de presentación.

La figura A3.12 se muestra el código fuente que abre una pantalla de ayuda con un mensaje, en la sección de alarmas ante algún fallo de uno de los variadores de frecuencia.

```

// Este programa despliega un aviso en caso de que se active la senal de parada de emergencia del sistema
if(PAROEMERGENCIA==1){

    Inicio:=0;
    VelocidadLinea:=0;
    DiametroRodillo1:=0;
    DiametroRodillo2:=0;
    GotoPage(ParoEmergencia);

}

```

**Figura A3.13.** Código fuente para detener sistema ante paro de emergencia.

La figura A3.12 se muestra el código fuente que detiene el sistema y asegura el sistema. Esto ante alguna emergencia.

El código fuente escrito para mostrar cada una de las alarmas independientemente. Y seccionado por las tres aéreas de toda la línea (coladora continua, enrollador y fundicion). Permite indicar que alarma se activo específicamente, y identificar en que parte del sistema o parte de la línea de producción se genero el error.

// esta programada se usa para indicar que dispositivo esta fallando

////////////////////////////////Caster////////////////////////////////

//indica alarma de error en un driver1

```
ADR1 :=0;
if (AlarmaDriver1==1){
for (ADR1:=0;ADR1<2002;ADR1++){
    if(ADR1>=1000)
        ContDR1:=1;
    else
        ContDR1:=2;
```

```
    }
ADR1:=0;
}
else
ContDR1:=0;
```

//indica alarma de error en un driver2

```
ADR2 :=0;
if (AlarmaDriver2==1){
for (ADR2:=0;ADR2<2002;ADR2++){
    if(ADR2>=1000)
        ContDR2:=1;
    else
        ContDR2:=2;
```

```
    }
ADR2:=0;
}
else
ContDR2:=0;
```

//indica alarma de error en el encoder del motor 1

```
if (AlarmaEncoderM1==1){
    ContEnco1:=1;
```

```
    }
else
ContEnco1:=0;
```

```

//indica alarma de error en el encoder del motor 2
if (AlarmaEncoderM2==1){
    ContEnco2:=1;

}
else
ContEnco2:=0;

//indica alarma por exceso de corriente motor superior
ACorr1 :=0;
if (CorrienteMotor1>=100){
for (ACorr1:=0;ACorr1<2002;ACorr1++){
    if(ACorr1>=1000)
        ContCorr1:=1;
    else
        ContCorr1:=2;

}
ACorr1:=0;
}
else
ContCorr1:=0;

//indica alarma por exceso de corriente motor inferior
ACorr2 :=0;
if (CorrienteMotor2>=100){
for (ACorr2:=0;ACorr2<2002;ACorr2++){
    if(ACorr2>=1000)
        ContCorr2:=1;
    else
        ContCorr2:=2;

}
ACorr2:=0;
}
else
ContCorr2:=0;

//indica alarma por exceso de temperatura Rodillo Superior
if (AguaRSupAlta==1){
    ContARSup:=1;

}
else
ContARSup:=0;
if (AguaRSupBaja==1){
    ContARSup:=2;

}
else
ContARSup:=0;

//indica alarma por exceso de temperatura Entrada de Agua

```

```

if (EntradaAguaAlta==1){
    ContAEnt:=1;

}
else
ContAEnt:=0;
if (EntradaAguaBaja==1){
    ContAEnt:=2;

}
else
ContAEnt:=0;

//indica alarma por exceso de temperatura Rodillo Inferior
if (AguaRInfAlta==1){
    ContARInf:=1;

}
else
ContARSup:=0;
if (AguaRInfBaja==1){
    ContARInf:=2;

}
else
ContARInf:=0;

//indica alarma de caudal de agua del Rodillo Superior
if (CaudalSupAlta==1){
    ContCaudalSup:=1;

}
else
ContCaudalSup:=0;
if (CaudalSupBaja==1){
    ContCaudalSup:=2;

}
else
ContCaudalSup:=0;

//indica alarma de caudal de agua del Rodillo Inferior
if (CaudalInfAlta==1){
    ContCaudalInf:=1;

}
else
ContCaudalInf:=0;
if (CaudalInfBaja==1){
    ContCaudalInf:=2;

}
else

```

```

ContCaudalInf:=0;

//indica alarma de bomba de lubricacion rodillo superior
ABombaSup :=0;
if (BombaLubricacionCaster==1){
for (ABombaSup:=0;ABombaSup<2002;ABombaSup++){
    if(ABombaSup>=1000)
        ContBombaLuSup:=1;
    else
        ContBombaLuSup:=2;

}
ABombaSup:=0;
}
else
ContBombaLuSup:=0;

/* Espacio para bomba de lubricacion rodillo inferior*/

////////////////////Enrollador////////////////////

//indica alarma de tension del enrollador
if (TensionEnrolladorAlta==1){
    ContTensionEnrollador:=1;

}
else
ContTensionEnrollador:=0;
if (TensionEnrolladorBaja==1){
    ContTensionEnrollador:=2;

}
else
ContTensionEnrollador:=0;

//indica alarma de espesor de anillo
if (EspesorAnilloAlta==1){
    ContEspesor:=1;

}
else
ContEspesor:=0;

// esta programada se usa para indicar que dispositivo esta fallando

//indica alarma de bomba de lubricacion enrollador
ABombaEn :=0;
if (BombaEnrollador==1){
for (ABombaEn:=0;ABombaEn<2002;ABombaEn++){
    if(ABombaEn>=1000)
        ContBombaLuEnrollador:=1;
}
}

```

```

        else
            ContBombaLuEnrollador:=2;

    }
    ABombaEn:=0;
    }
    else
    ContBombaLuEnrollador:=0;

//indica alarma de ventilador del enrollador
AVentiladorEn :=0;
if (VentiladorEnrollador==1){
for (AVentiladorEn:=0;AVentiladorEn<2002;AVentiladorEn++){
    if(AVentiladorEn>=1000)
        ContVentiladorEn:=1;
    else
        ContVentiladorEn:=2;

}
AVentiladorEn:=0;
}
else
ContVentiladorEn:=0;

////////////////////Fundicion////////////////////

//indica alarma de error en panel de resistencias del Sniff
ASniff :=0;
if (ResistensaSniff==1){
for (ASniff:=0;ASniff<2002;ASniff++){
    if(ASniff>=1000)
        ContRSniff:=1;
    else
        ContRSniff:=2;

}
ASniff:=0;
}
else
ContRSniff:=0;

//indica alarma de error el Spray
ASpray :=0;
if (SprayDisparado==1){
for (ASpray:=0;ASpray<2002;ASpray++){
    if(ASpray>=1000)
        ContSpray:=1;
    else
        ContSpray:=2;

}
ASpray:=0;

```

```
}
else
ContSpray:=0;

//indica alarma de error en un driver2
ATitanio :=0;
if (AlarmaTitanioBoro==1){
for (ATitanio:=0;ATitanio<2002;ATitanio++){
    if(ATitanio>=1000)
        ContTitanio:=1;
    else
        ContTitanio:=2;
}
ATitanio:=0;
}
else
ContTitanio:=0;
```

## A4. Tablas de comparación

Las siguientes tablas muestran la comparación de la velocidad teórica en RPM en contraposición con las velocidades medidas de la retroalimentación mediante el encoder. Basado en las tablas 6.1 y 6.2.

**Tabla A4.1**  
Porcentaje de error entre la velocidad teórica y la retroalimentación con el diámetro de rodillo de 876 [mm].

Velocidad teórica (RPM)	Velocidad de retroalimentación (RPM)	% Error
437.494	451.3	3.155700421
	423.5	3.198672439
656.24	670.5	2.172985493
	642.6	2.078507863
874.989	888.4	1.532704983
	860.6	1.644477816
1093.74	1107.4	1.248925704
	1079.2	1.329383583
1312.48	1326.3	1.052968426
	1299.1	1.019444106
1531.23	1545.7	0.944991935
	1516.9	0.935848958
1749.98	1763.5	0.772580258
	1736.7	0.758865816

**Tabla A4.2**  
 Porcentaje de error entre la velocidad teórica y la retroalimentación  
 con el diámetro de rodillo de 979 [mm].

<b>Velocidad teórica (RPM)</b>	<b>Velocidad de retroalimentación (RPM)</b>	<b>% Error</b>
399.63	413.4	3.445687261
	385.7	3.485724295
599.45	613.6	2.360497122
	585.4	2.343815164
799.26	813.5	1.781648024
	784.8	1.809173485
999.075	1013.2	1.413807772
	985.9	1.318719816
1198.89	1212.1	1.101852547
	1184.7	1.183594825
1398.7	1411.9	0.943733467
	1383.9	1.058125402
1598.52	1612.8	0.893326327
	1584.5	0.877061282

## **A5. CVG ALUNASA**

La empresa ALUNASA fue fundada en el año 1978 en la República de Venezuela, posteriormente por acuerdos comerciales entre Costa Rica y este país, la empresa realiza la apertura de una sede en el país, consolidándose como una empresa única en su tipo. En 1990 la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) adquirió el 100% de las acciones de dicha empresa, de ahí su nombre actual CVG ALUNASA.

Esta empresa se dedica a la manufactura y mercadeo de productos de aluminio terminados y semiterminados a partir del lingote primario. Se encuentra ubicada en el cantón de Esparza, provincia de Puntarenas, Costa Rica.

Es la única empresa de su género en Centroamérica, el Caribe y Panamá. Produce alrededor de 12 mil toneladas anuales, exportando más de un 80% a terceros mercados en Norteamérica, Centroamérica, Suramérica, Europa y el Caribe.

Como se mencionó, la producción de la empresa depende directamente del aluminio (con su respectiva aleación) y de la maleabilidad de este para poder obtener diferentes productos. Este proceso consta de fundir los lingotes de aluminio, y mezclar el aluminio fundido con las aleaciones necesarias en la lámina para así obtener las características deseadas en el material, para después laminar con diferentes tamaños y grosor; posteriormente las láminas se cortan y tratan según el producto que se desee obtener; ya sea el producto semiterminado o terminado.

En el área de producto semiterminado, CVG ALUNASA tiene amplia experiencia en la fabricación de foil industrial, discos, flejes, lámina embobinada, lámina rectangular y fin stock. El foil industrial consiste en la elaboración de empaques flexibles, blíster, moldes desechables, aislantes térmicos, membranas impermeabilizantes y otros más.

En el área de producto terminado, CVG ALUNASA se especializa en la fabricación del foil institucional, foil doméstico, hojas interfoliadas y beauty foil.

El proyecto fue realizado en la tutela del departamento de Coordinación de proyectos e ingeniería de planta. El cual es el encargado de la realización y estudio de innovaciones a los procesos y maquinaria dentro de la empresa mediante proyectos.

# Anexos



# AC890 Engineering Reference

Product Manual : Frames E & F with STO SIL3/PLe

HA469315U004 Issue 2

Compatible with Software Version 3.7 onwards

	<p>2010 Parker SSD Drives, a division of Parker Hannifin Ltd.</p> <p>All rights strictly reserved. No part of this document may be stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means to persons not employed by a Parker SSD Drives company without written permission from Parker SSD Drives, a division of Parker Hannifin Ltd . Although every effort has been taken to ensure the accuracy of this document it may be necessary, without notice, to make amendments or correct omissions. Parker SSD Drives cannot accept responsibility for damage, injury, or expenses resulting therefrom.</p> <p><b>WARRANTY</b></p> <p>Parker SSD Drives warrants the goods against defects in design, materials and workmanship for the period of 24 months from the date of manufacture, or 12 months from the date of delivery (whichever is the longer period), on the terms detailed in Parker SSD Drives Standard Conditions of Sale IA500504.</p> <p>Parker SSD Drives reserves the right to change the content and product specification without notice.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 3-4 Product Overview

### 890CS/890CD Selection

The required rating for the 890CS input stage can be calculated by adding up the sum of the motor currents attached to the associated output stages. Refer to Appendix E: "Electrical Ratings: : 890CS - Calculation"

### 890SD Standalone Drive

	FRAME E	
	30 – 55kW 40 – 75 HP  Maximum 87A Constant Maximum 105A Quadratic nominal full load output current	55 – 110 kW 75 – 150 HP  Maximum 180A Constant Maximum 205A Quadratic nominal full load output current

# Functional Diagrams

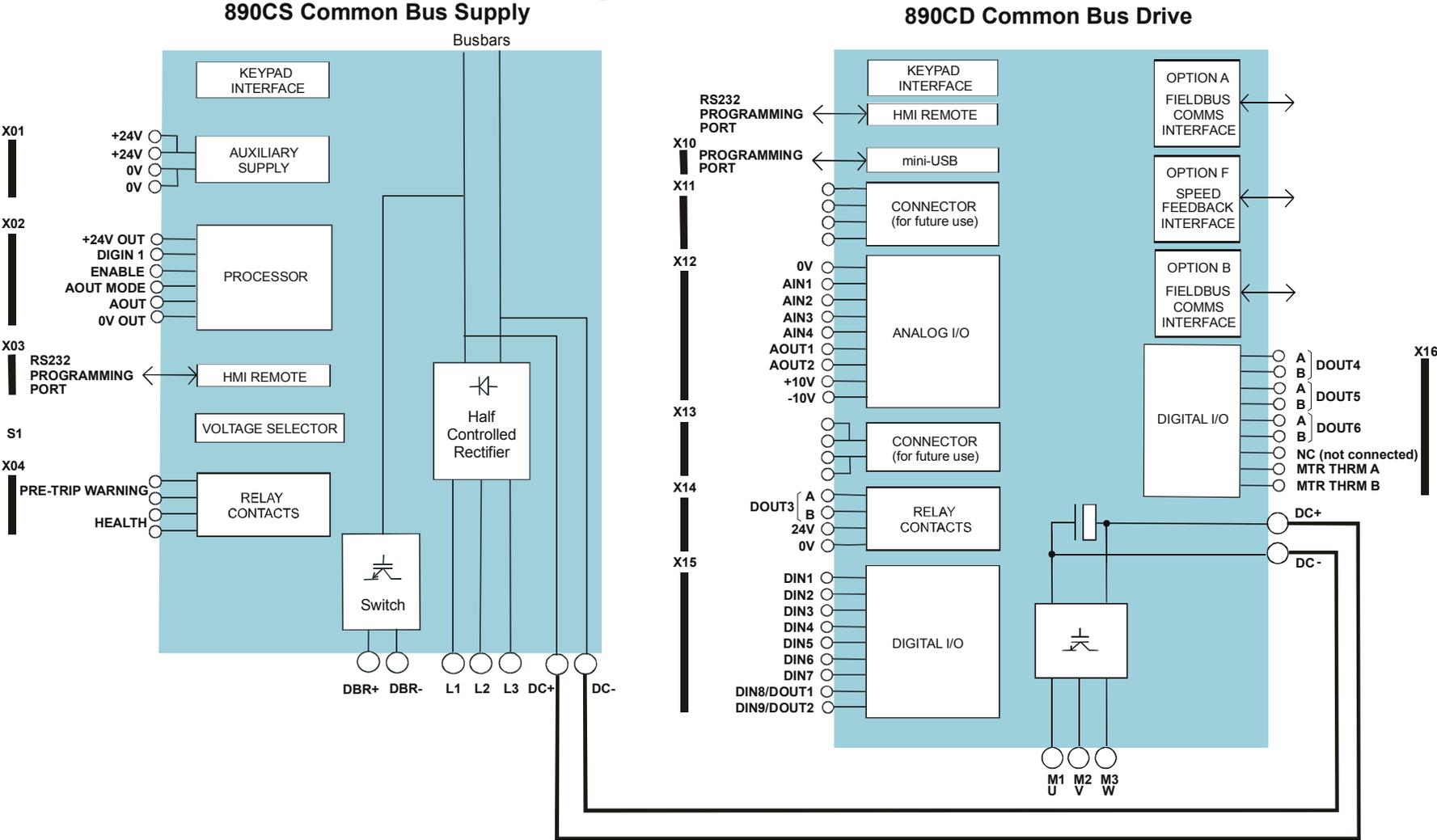


Figure 3.1 Functional Block Diagram of 890CS Common Bus Supply & 890CD Common Bus Drive

890CS Common Bus Supply - Frames B & D; 890CD Common Bus Drive and 890SD Standalone Drive - Frames E & F

## Option Cards

The 890CD Common Bus Drive and 890SD Standalone Drive can be fitted with a range of Option Cards. They are plugged into the removable Control Board.

- Feedback Board : Resolver type, Encoder type
- Fieldbus Comms - all major protocols

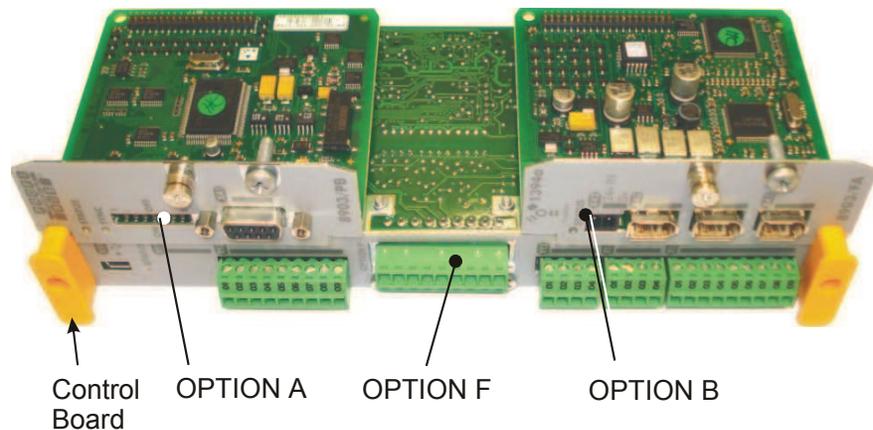
These are easily fitted to the plug-in Control Board.

For full details of the options available refer to Appendix A.

### Control Board Access

You can access this board from the front of the unit by removing the lower front cover.

- It contains a Processor that provides a range of analog and digital inputs/outputs, together with their reference supplies.
- It has connections for the range of Option Cards.
- There is a mini USB port for connection to a PC. Use Parker SSD Drives' DSE 890 (Drive Systems Explorer) Configuration Tool to graphically program and configure the drive.



**Figure 3.3** Diagram showing Option Cards fitted to the Control Board

## 5-4 890SD Standalone Drive

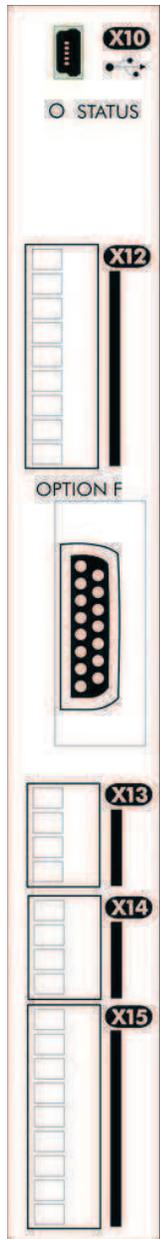
### Enclosure/Environmental Information

The information here will help you to specify the enclosure to house the 890(s).

890 Operating Conditions									
Operating Temperature	<p>Operating temperature is defined as the ambient temperature to the immediate surround of the drive, when the drive and other equipment adjacent to it is operating at worst case conditions.</p> <p>CONSTANT: 0°C to 45°C (32°F to 113°F), derate up to a maximum of 50°C</p> <p>QUADRATIC: 0°C to 40°C (32°F to 104°F) derate up to a maximum of 50°C</p> <p>Output power is derated linearly at 2% per degree centigrade for temperature exceeding the maximum rating ambient for the drive.</p>								
Product Enclosure Rating	IP20 - UL (c-UL) Open Type (North America/Canada) Type 1 Suitable for cubicle mount only								
Cubicle Installation	The 890 must be installed to EN60204 Standard in the cubicle. For USA, the cubicle shall meet the requirements of UL50.								
Cubicle Rating	<p>Cubicle to provide the following attenuation to radiated emissions:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>EMC Enclosure Standard</i></th> <th><i>Attenuation to RF in spectrum 30-1000MHz</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EN61800-3 Category C3</td> <td>NONE</td> </tr> <tr> <td>EN61800-3 Category C2 Restricted Distribution EN61000-6-3</td> <td>10db</td> </tr> <tr> <td>EN61800-3 Category C1 Unrestricted Distribution EN61000-6-4</td> <td>20db</td> </tr> </tbody> </table>	<i>EMC Enclosure Standard</i>	<i>Attenuation to RF in spectrum 30-1000MHz</i>	EN61800-3 Category C3	NONE	EN61800-3 Category C2 Restricted Distribution EN61000-6-3	10db	EN61800-3 Category C1 Unrestricted Distribution EN61000-6-4	20db
	<i>EMC Enclosure Standard</i>	<i>Attenuation to RF in spectrum 30-1000MHz</i>							
	EN61800-3 Category C3	NONE							
	EN61800-3 Category C2 Restricted Distribution EN61000-6-3	10db							
EN61800-3 Category C1 Unrestricted Distribution EN61000-6-4	20db								

890 Operating Conditions	
Altitude	If greater than 1000m above sea level, derate by 1% per 100m to a maximum of 2000m
Humidity	Maximum 85% relative humidity at 40°C (104°F) non-condensing
Atmosphere	Non flammable, non corrosive and dust free
Climatic Conditions	Class 3k3, as defined by EN50178
Vibration	The product has been tested to the following specification: Test Fc of EN60068-2-6 10Hz ≤ f ≤ 57Hz sinusoidal 0.075mm amplitude 57Hz ≤ f ≤ 150Hz sinusoidal 1g 10 sweep cycles per axis on each of three mutually perpendicular axis
Safety	
Pollution Degree	Pollution Degree II (non-conductive pollution, except for temporary condensation)
Europe	When fitted inside an enclosure, this product conforms with the Low Voltage Directive 2006/95/EC using EN50178 to show compliance.
North America/ Canada	Complies with the requirements of UL508C as an open-type drive.
Conformal Coated Product	Conformal coating increases the product's resistance to certain climatic conditions.  Note conformal coating, where effective, will only mitigate the effects being considered.

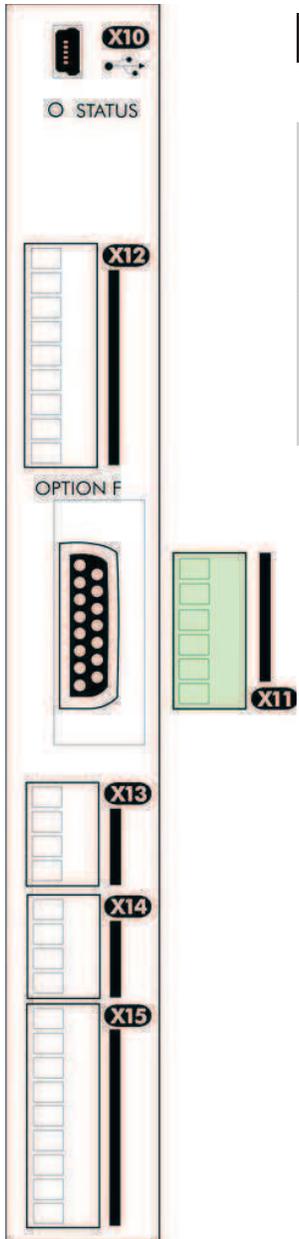
## 5-24 890SD Standalone Drive



### Control Connections - 890SD Standalone Drive

The table below shows the factory defaults.

Mini USB Port			
	Name	Range	Description
X10	USB		This Mini USB port provides a serial communications link to a host computer running the DSE 890 Configuration Tool. Use an approved USB lead: A to mini-B.



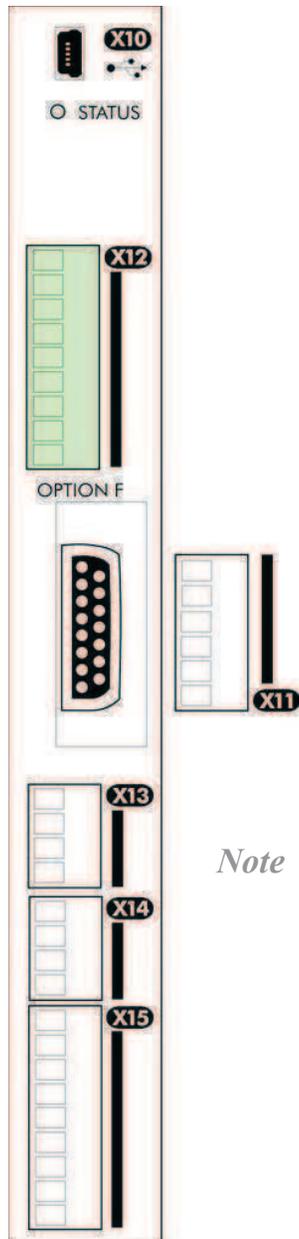
**SAFE TORQUE OFF (STO)**

	Name	Range	Description
X11	01	STO A	To disable STO: connect to X14/03
	02	STO 0V	To disable STO: do not connect
	03	STO B	To disable STO: connect to X14/03
	04	STO 0V	To disable STO: connect to X14/04
	05	STATUS -	To disable STO: do not connect
	06	STATUS +	To disable STO: do not connect



To use the STO feature, the user must read and fully understand chapter 6 (Safe Torque Off) of this manual.

## 5-26 890SD Standalone Drive



ANALOG I/O			
	Name	Range	Description
	01	0V	0V reference for analog I/O
	02	AIN1	0-10V, $\pm 10V$
	03	AIN2	0-10V, $\pm 10V$
X12	04	AIN3	$\pm 10V$ , 0-10V, 0-20mA, 4-20mA
	05	AIN4	$\pm 10V$ , 0-10V, 0-20mA, 4-20mA
	06	AOUT1	$\pm 10V$ (10V = 100% speed)
	07	AOUT2	$\pm 10V$ (10V = 200% torque)
	08	+10V REF	+10V (output)
	09	-10V REF	-10V (output)

**Note** *AIN1 and AIN2 are fitted with a link to ensure no noise pick-up when not in use. These terminals can be used as a differential  $\pm 10V$  input (which we call AIN5), but AIN1 and AIN2 must remain within  $\pm 10V$  relative to 0V. AIN5 has a direct input into the Speed Loop providing a fast speed or torque demand for servos.*

All analog inputs/outputs are configurable using the DSE 890 (Drive System Explorer) Configuration Tool supplied on disk. The table above shows the factory defaults. These analog connections require  $\pm 10V$  DC which is supplied at terminal X12/08 and X12/09 respectively. For further information refer to the DSE 890 Configuration Tool.

**USER 24V DC INPUTS**

	Name	Range	Description		
X13	01	24V INPUT	24V DC	User +24V (2A per unit)	Functionality only available when used in frames B, C & D.
	02	24V INPUT	24V DC	User +24V (2A per unit)	
	03	0V INPUT	0V	0V (24V) input	
	04	0V INPUT	0V	0V (24V) input	

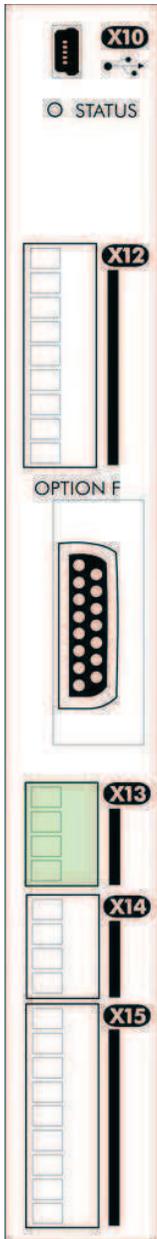
*Note* These connections are not necessary for normal operation of the drive.

Following paragraphs are only valid when the control card is used on frames B, C & D:-

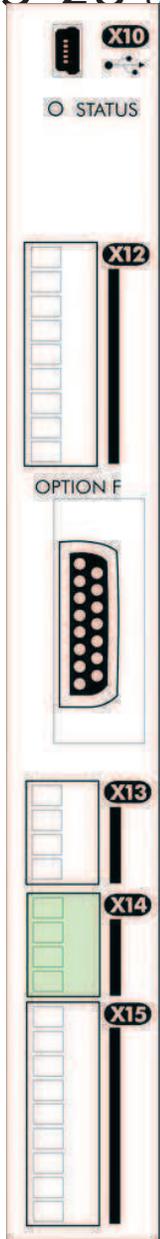
This 24V DC control supply allows for configuration and commissioning of the system without the DC supply being present. The drive will operate with this supply but will not turn a motor.

Connection is not required when the DC supply is present, but the connection can be safely left connected.

If you have more than four 890SDs, use a 24V rail and wire as shown in the Wiring Diagram on page 5-12 (terminals - 8A maximum).



# 5-28 890SD Standalone Drive



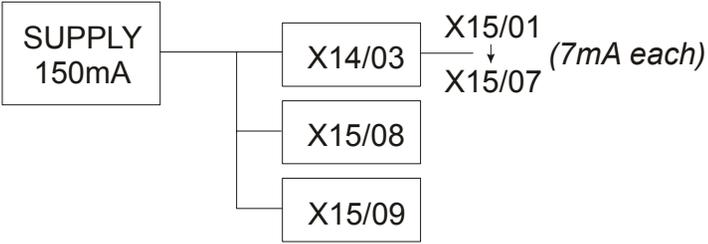
## RELAY CONTACTS

	Name	Range	Description
X14	01 DOUT3A	0-24V DC	Relay Output: normally-open, volt-free, 24V DC 1A resistive load or use down to 1mA, 12V levels (DOUT3 closed = HEALTH)
	02 DOUT3B	0-24V DC	Relay Output: normally-open, volt-free, 24V DC 1A resistive load or use down to 1mA, 12V levels (DOUT3 closed = HEALTH)
	03 USER 24V	0-24V DC	24V DC Output, 150mA maximum load
	04 0V	0-24V DC	0V reference for USER 24V output



*Note*

*The maximum permissible sum of currents from X14/03, X15/08, X15/09 is 150mA. An Alert message will be displayed if exceeded.*

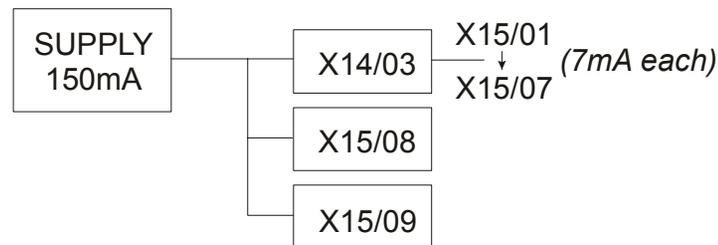


## DIGITAL I/O

	Name	Range	Description	
X15	01	DIN1	0-24V DC	Digital Input 1 (default = JOG)
	02	DIN2	0-24V DC	Digital Input 2 - (default = RUN)
	03	DIN3	0-24V DC	Digital Input 3 - (default = STOP)
	04	DIN4	0-24V DC	Digital Input 4 - (default = REVERSE)
	05	DIN5	0-24V DC	Digital Input 5 - (default = unassigned). Refer to I/O TRIPS::EXT TRIP MODE for special function.
	06	DIN6	0-24V DC	Digital Input 6 - (default = unassigned)
	07	DIN7	0-24V DC	Digital Input 7 - (default = unassigned)
	08	DIN8/DOUT1	0-24V DC	Digital Input/output 1 - (default = digital output: RUNNING)
	09	DIN9/DOUT2	0-24V DC	Digital Input/output 2 - (default = digital output: ZERO SPEED)

All digital inputs/outputs are configurable using the DSE 890 (Drive System Explorer) Configuration Tool supplied on disk. The table shows the factory defaults. The digital inputs require 24V DC which is supplied at terminal X14/03. For further information refer to the DSE 890 Configuration Tool.

**Note** *The maximum permissible sum of currents from X14/03, X15/08, X15/09 is 150mA. The load on X15/08 & X15/09 connects from these pins to X14/04 (0V). An Alert message will be displayed if exceeded.*



## 5-36 890SD Standalone Drive

### Set-up Parameters

The drive has several control modes:

Control Modes		
V/Hz	VOLTS / HZ	<p>Set-up as an Open-Loop Drive (V/F Fluxing) - <i>low performance applications (fan, pump). Simplest method involving no speed feedback and no compensation for load changes.</i></p> <p><b><i>Autotune is not required.</i></b></p>
SV	SENSORLESS VEC	<p>Set-up using the Sensorless Vector Fluxing Mode - <i>medium performance applications where the drive uses an electrical model of the motor to automatically compensate for load changes.</i></p> <p>The drive must be tuned to the motor in use by matching the motor parameters in the drive to those of the motor being controlled.</p> <p><b>You MUST use the Autotune feature after entering your parameter values.</b></p>
CLV	CLOSED-LOOP VEC	<p>Set-up using the Closed-Loop Vector Mode - <i>high performance applications where the drive uses external sensors (encoders) to automatically compensate for load changes.</i></p> <p>In this mode, speed feedback signals from the motor shaft encoder are processed to determine the rotational speed of the shaft. A PI algorithm within the software uses this information to produce varying gate drive signals to the drive circuits. These signals cause the drive to output the required voltage and frequency for a particular motor speed.</p> <p><b>You MUST use the Autotune feature after entering your parameter values.</b></p>

## 4.2: Configure the 890SD Standalone Drive

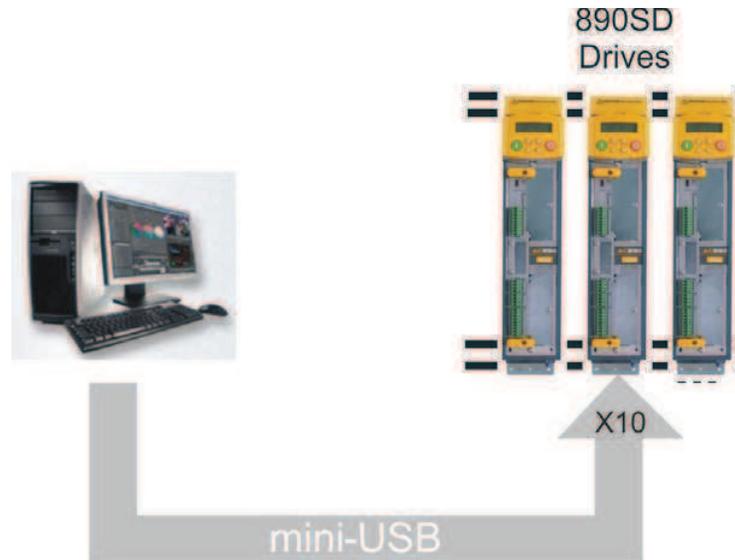
You must now configure each 890SD Standalone Drive to your application. This is done using the DSE 890 Configuration Tool supplied on the CD, or the keypad.

### Using the DSE 890 Configuration Tool

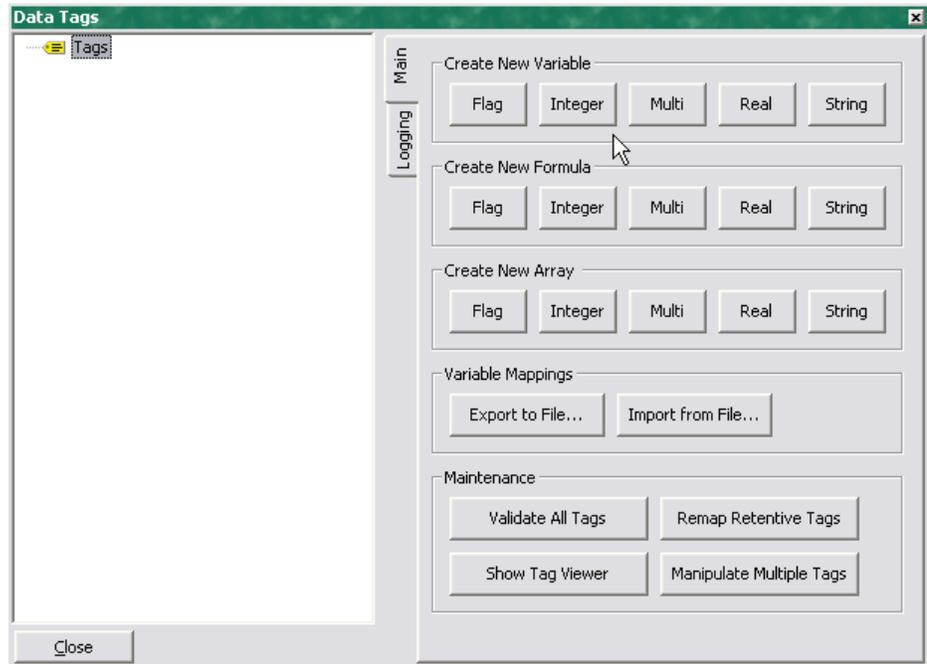
The DSE 890 (Drive System Explorer) Configuration Tool has a full Help system. Insert the DSE 890 disk into your PC and follow the on-screen instructions. Use the tool to set-up the I/O connectivity so that it meets the requirements for each 890SD Standalone Drive. When connected, enter the set-up parameters as discussed on page 5-36.

### Connecting to a PC

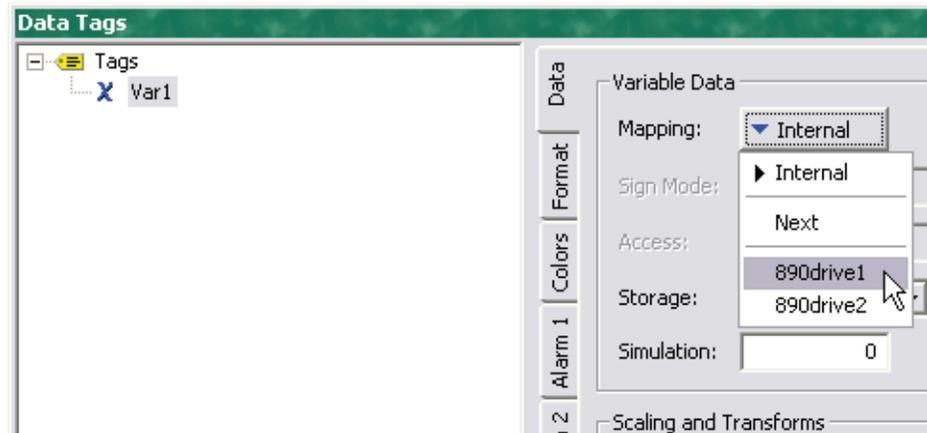
Connect the 890SD Standalone Drive to your PC using an approved mini-USB lead. You can order this lead from Parker SSD Drives: part number CM471050 (3m long) or CM465778 (1m long).

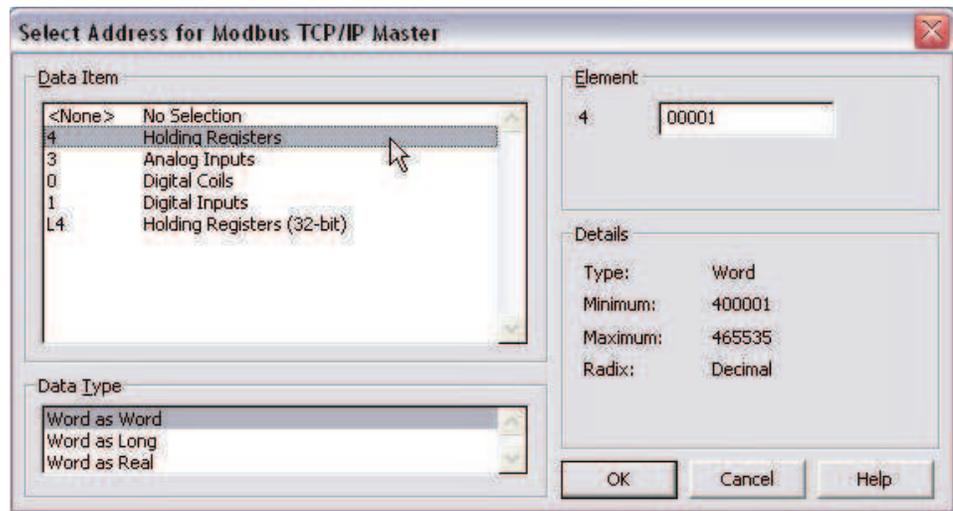


4. Create Tags for reading and writing variables.



Create either an Integer or a Real variable and map it to the correct Slave.



**Data Item:**

Always select **Holding Registers** for both 16-bit and 32-bit data types. **DO NOT SELECT "Holding Registers (32-bit)"**.

**Element:**

Set to **00001** to write to the first Input variable declared in DSE.

Set to **00257** to read the first Output variable declared in DSE.

The element number then increments by 1 if the Data Type of the previous variable is **Word as Word**, otherwise it increments by 2.

**Data Type:**

Set as follows:

DSE Type	TS8000 Data Type
SINT16	Word as Word
UINT16	
SINT32	Word as Long
UINT32	
REAL	Word as Real

## Ethernet/IP

### Allen Bradley ControlLogix

1. Start a new program and select the PLC processor and chassis type that is used in your project. Our example uses a 1756-L55A processor and 1756-A7/B rack. Remain Offline until you are ready to download the program.
2. Using the I/O Configuration insert the Ethernet interface that will be installed. Right click on the I/O Configuration, select New Module. Our example uses 1756-ENBT/A. Input the desired IP address and slot in the PLC..

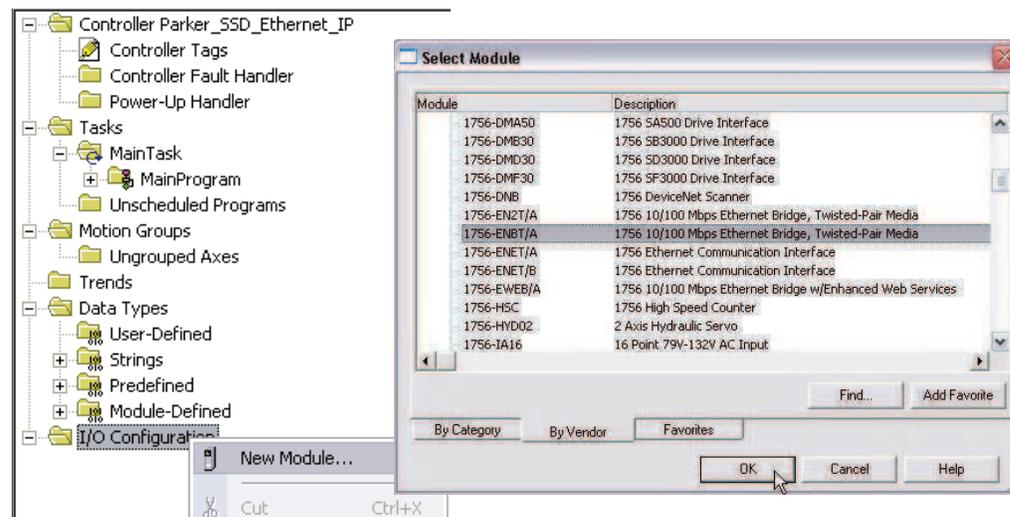


Figure 19. Ethernet Interface Selection

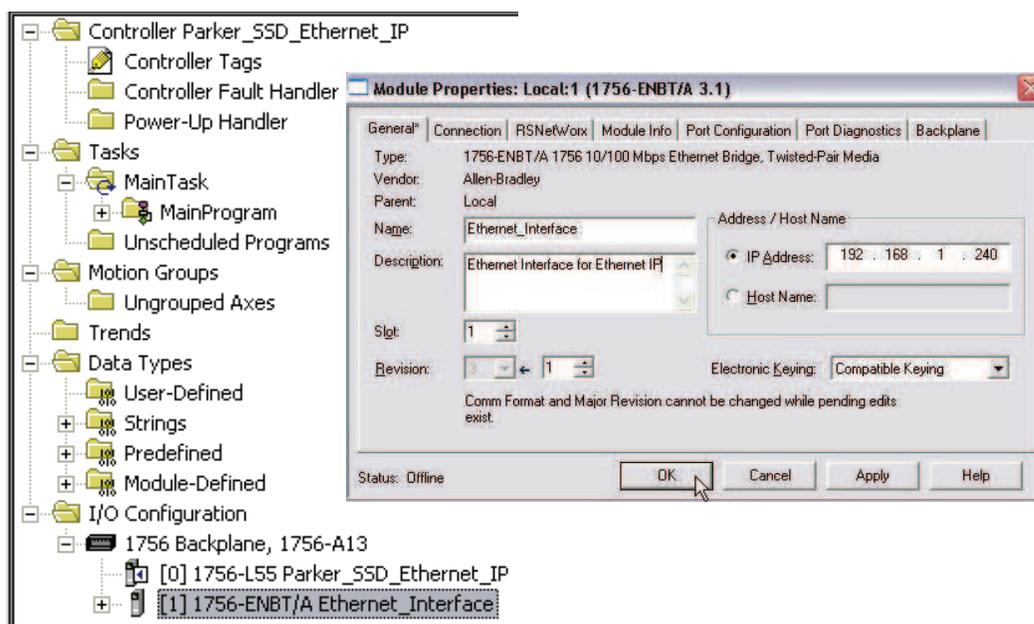
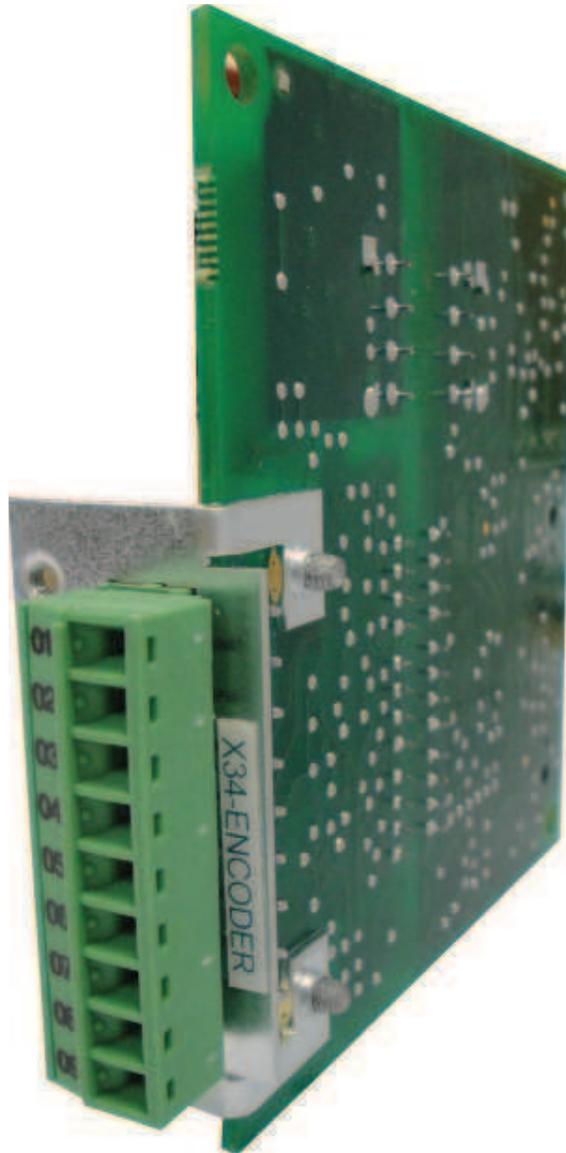


Figure 20. Ethernet Interface Setup



# 8902/EQ

## HTTL Speed Feedback Option

HA469255U001 Issue 4  
Technical Manual

aerospace  
climate control  
electromechanical  
filtration  
fluid & gas handling  
hydraulics  
pneumatics  
process control  
sealing & shielding



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

## Wiring the System

### WARNING!

Disconnect all sources of power before attempting installation.

### Caution

This option contains ESD (Electrostatic Discharge) sensitive parts. Observe static control precautions when handling, installing and servicing this option.

## X34 Connections

For correct operation, A, /A, B and /B **must** be connected as shown. If any is left unconnected, the HTTL speed feedback option will not operate.

*The M input is not normally connected - it is for use with future versions of the drive software.*

*M: for connection to the once-per-revolution marker output from the encoder to verify correct operation of the encoder.*

Take special care wiring the encoders to the Option due to the low level of the signals.

Use twisted-pair, screened cable, preferably with an overall screen and a screen over each individual pair. To ensure compliance with the EMC Directive the overall cable screen should be connected to the encoder body and to the cable clamp.

*Recommended cable:*

3 pairs individually screened, plus overall screen, characteristic impedance 100 to 120Ω, e.g. Belden 8163

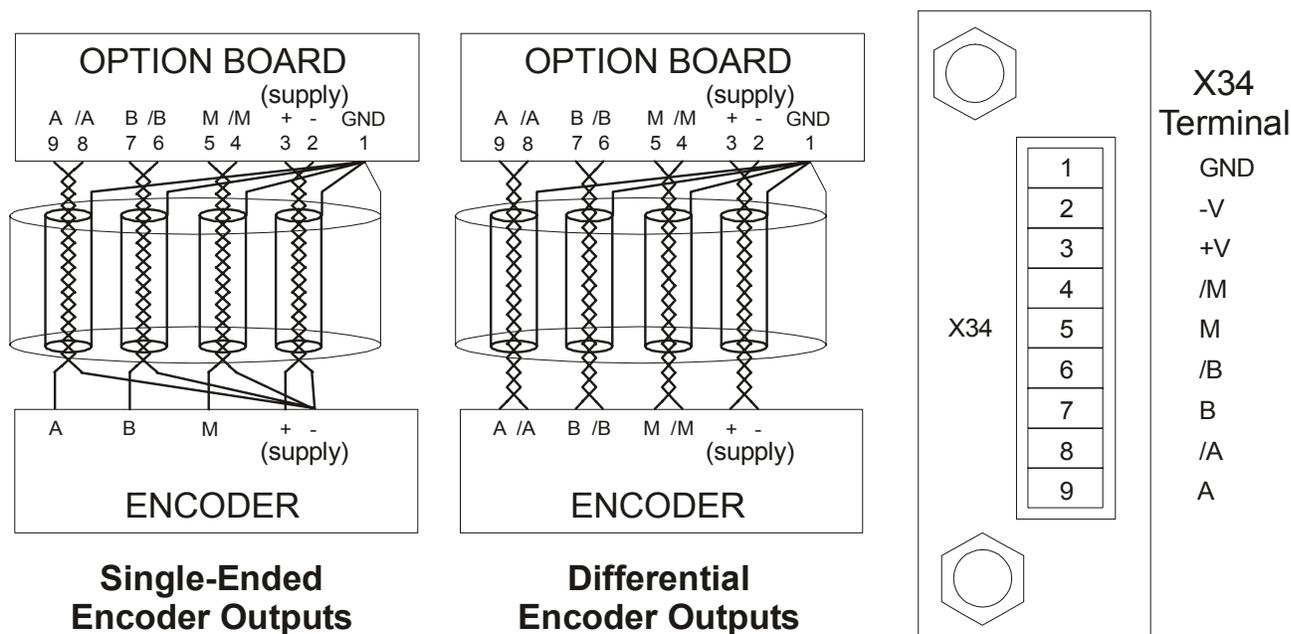


Figure 4 Wiring Diagram

## Initial Set-up

### Configuring the 890 Drive

Use the DSE 890 Configuration Tool to configure the ENCODER function block, as detailed below.

*Note:* The DSE 890 Configuration Tool is Parker SSD Drives' Windows-based block programming software and is supplied with each drive.

### ENCODER Function Block

#### SETUP::MOTOR CONTROL::ENCODER

This block allows Speed Feedback to be measured using a quadrature pulse encoder.

#### Parameter Descriptions

<b>PULSE ENC VOLTS</b>	<i>PREF: 71.01</i>	<i>Default: 10.0 V</i>	<i>Range: 10.0 to 20.0 V</i>
------------------------	--------------------	------------------------	------------------------------

Set this approximately to the supply voltage required by the pulse encoder.

<b>SINCOS ENC VOLTS</b>	<i>PREF: 71.22</i>	<i>Default: 5.0 V</i>	<i>Range: See below</i>
-------------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------

Set the supply volts required by the sin/cos encoder.

*Enumerated Value* : SinCos Encoder Volts

0 : 5V

1 : 10V

<b>ENCODER LINES</b>	<i>PREF: 71.02</i>	<i>Default: 2048</i>	<i>Range: 250 to 262143</i>
----------------------	--------------------	----------------------	-----------------------------

Set the number of lines to match the type of encoder being used. Incorrect setting of this parameter will result in an erroneous speed measurement.

<b>ENCODER INVERT</b>	<i>PREF: 71.03</i>	<i>Default: FALSE</i>	<i>Range: FALSE/TRUE</i>
-----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------------

Used to match the encoder direction to the motor direction. When TRUE, changes the sign of the measured speed and the direction of the position count. Setting the encoder direction should be done as part of the Autotune when running in Closed-loop Vector Mode.

<b>LOAD G'BOX RATIO</b>	<i>PREF: 71.05</i>	<i>Default: 1</i>	<i>Range: 1 to 64</i>
-------------------------	--------------------	-------------------	-----------------------

This parameter can be used to configure absolute position control applications. It must be an integer gear box ratio, e.g. 64:1. If there is a gearbox between the motor and the load, set the gearbox ratio via this parameter. "LOAD POSITION" i.e. the position of the load on the other side of the gearbox, will then be calculated.

<b>ENCODER MECH O/S</b>	<i>PREF: 71.06</i>	<i>Default: 0.0000 deg</i>	<i>Range: 0.0000 to 360.0000 deg</i>
-------------------------	--------------------	----------------------------	--------------------------------------

(encoder mechanical offset)

Use this parameter to enter a mechanical offset of between 0 and 360 degrees to allow the output shaft position to be correctly zeroed. This value is subtracted from the LOAD POSITION which is reported by the encoder.

To zero the shaft position: turn the shaft to the zero position; note the value of the LOAD POSITION parameter, and enter this value into the ENCODER MECH O/S parameter. LOAD POSITION will now read zero.

Note that "load position" refers here to the shaft position on the other side of a gearbox which may be mounted on the motor output. It does not refer to the motor shaft position, unless the output gearbox ratio (LOAD G'BOX RATIO) is set to 1 (i.e. no gearbox fitted).

<b>ENCODER FBK %</b>	<i>PREF: 71.08</i>	<i>Default: —.xx %</i>	<i>Range: —.xx %</i>
----------------------	--------------------	------------------------	----------------------

This parameter shows the mechanical speed of the motor shaft, calculated from the encoder feedback, as a percentage of the user maximum speed setting (MAX SPEED in the REFERENCE function block).

<b>SHAFT POSITION</b>	<i>PREF: 71.09</i>	<i>Default: —.xx deg</i>	<i>Range: —.xx deg</i>
-----------------------	--------------------	--------------------------	------------------------

This diagnostic provides the motor shaft position (before the gear box).

Ignore the setting for this parameter



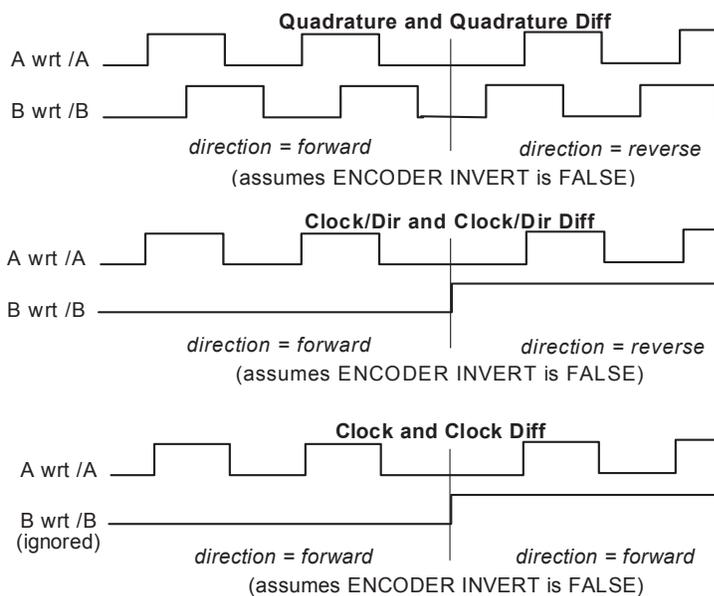
## Parameter Descriptions

**LOAD POSITION**      *PREF: 71.10*      *Default: —.xx deg*      *Range: —.xx deg*

This is the position of a shaft on the other side of a gearbox attached to the motor. If a gearbox is not fitted, set LOAD G'BOX RATIO to 1. This variable is controlled by the position loop, i.e. the position loop will force the load position to equal the demanded position.

**ENCODER TYPE**      *PREF: 71.04*      *Default: 0*      *Range: See below*

This parameter defines the type of encoder being used.



Enumerated Value : Type

0	: QUADRATURE	single-ended pulse encoder
1	: CLOCK/DIR	single-ended pulse encoder
2	: CLOCK	single-ended pulse encoder
3	: QUADRATURE DIFF	differential pulse encoder
4	: CLOCK/DIR DIFF	differential pulse encoder
5	: CLOCK DIFF	differential pulse encoder
6	: SINCOS INC	sin/cos encoder
7	: ABS ENDAT ST	single turn endat absolute encoder
8	: ABS ENDAT MT	multi-turn endat absolute encoder

### Save the Application

Remember to save your new configuration in DSE 890 and install it in the drive. In DSE 890, select "Command→Install At Selected" to install the currently opened configuration into a drive.



# DSE 890 Development Configuration Tool

Software Manual

HA471113U001 Issue 4

Compatible with Version 1.x Software



© Copyright SSD Drives Limited 2006

All rights strictly reserved. No part of this document may be stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means to persons not employed by a SSD Drives company without written permission from SSD Drives Ltd. Although every effort has been taken to ensure the accuracy of this document it may be necessary, without notice, to make amendments or correct omissions. SSD Drives cannot accept responsibility for damage, injury, or expenses resulting therefrom.

## WARRANTY

SSD Drives warrants the goods against defects in design, materials and workmanship for the period of 12 months from the date of delivery on the terms detailed in SSD Drives Standard Conditions of Sale IA058393C. SSD Drives reserves the right to change the content and product specification without notice.

## First Configuration

# Modifying a Configuration

A configuration can be modified by editing blocks and links, and by inserting or deleting blocks.

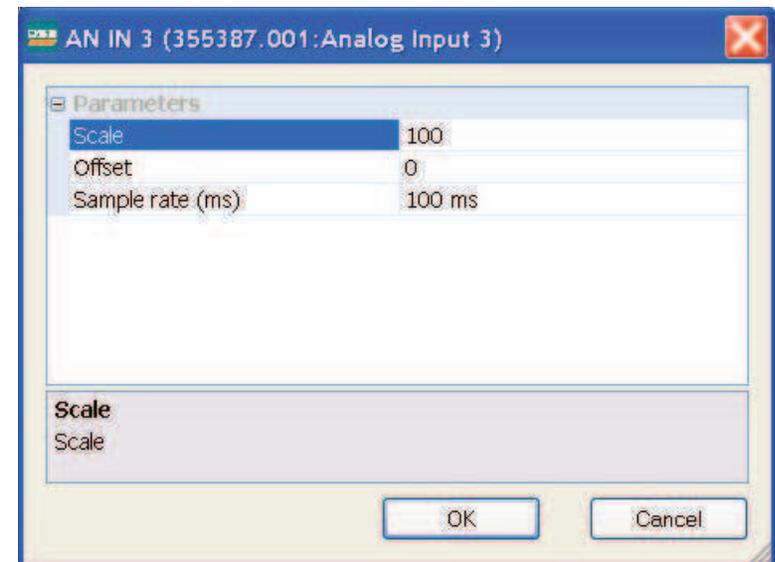
## Editing Blocks

You can view the contents of any function block in the configuration by double-clicking the icon for the block. For example, double click on "AN IN 3" will open the analog input function block 3.

Where a parameter can be edited, click on the relevant sub-menu  to display the options (for enumerated and boolean parameters), or edit the displayed numeric value directly on the screen by clicking on the value.

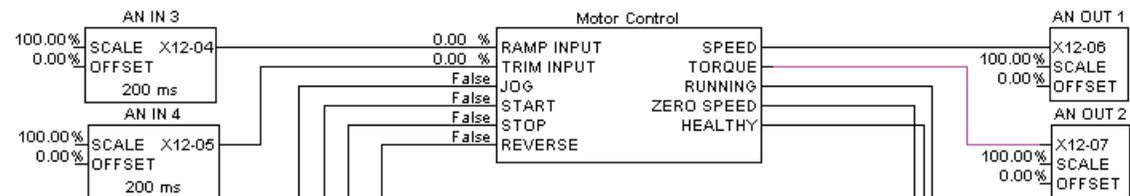
When you have finished editing the block select "OK" to exit the block, otherwise select "Cancel" to exit the block and disregard any changes you may have made.

When you make any changes, save the configuration by clicking on the Save icon , or "File→Save". This will remove the asterisk ( \* ) against the configuration name.



## Editing Links

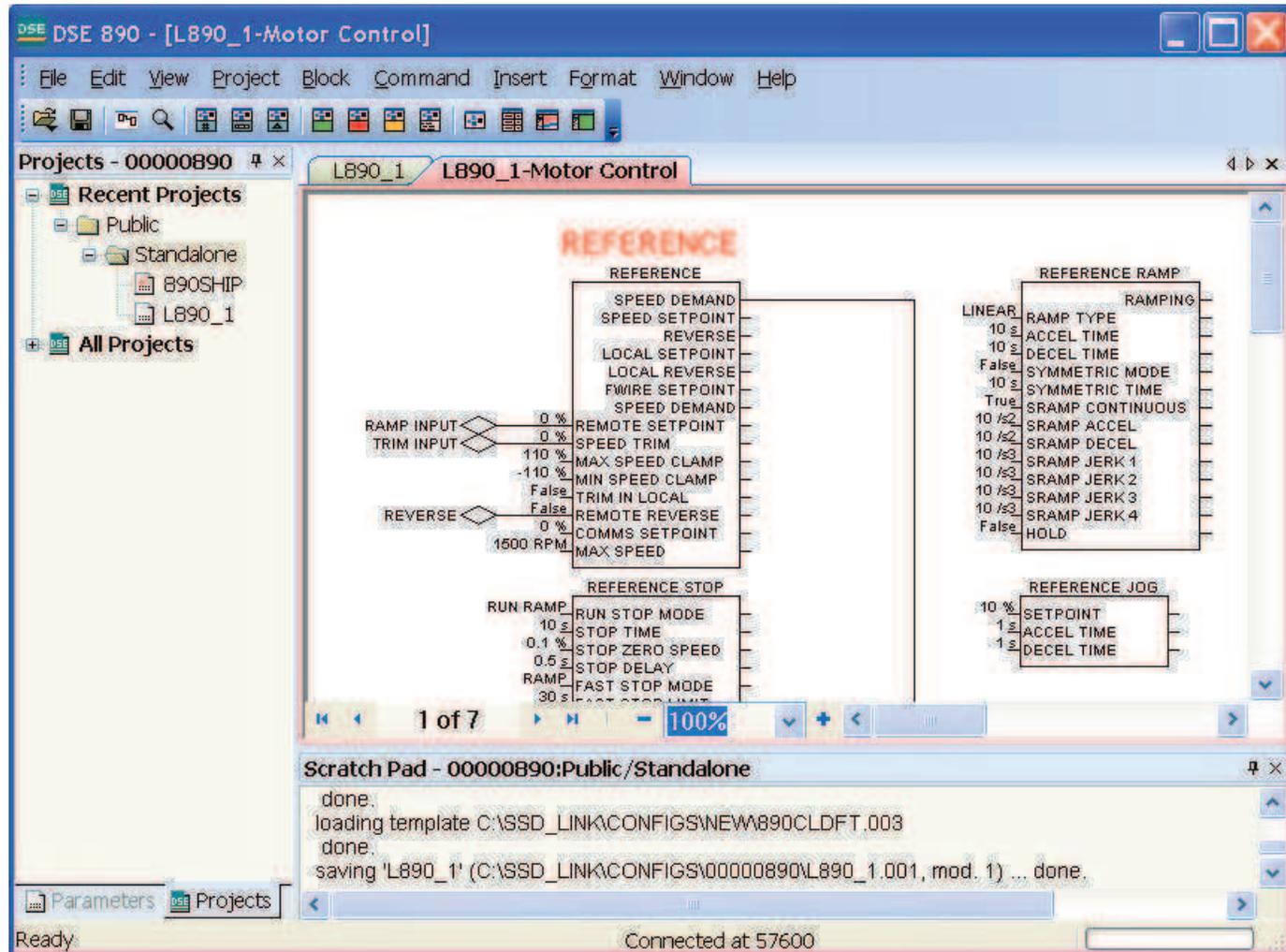
A link transfers the value of an output parameter to an input parameter of another (or the same) block.



## First Configuration

# Editing the Motor Control Block

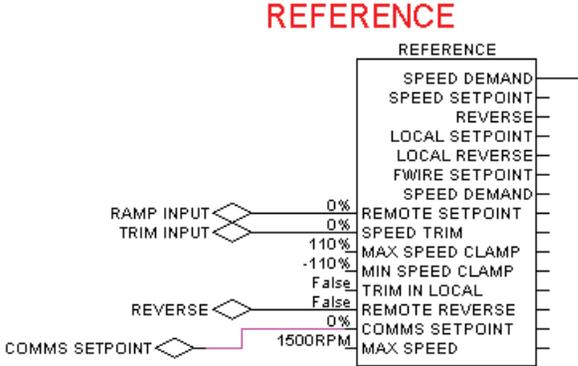
Double-click the Motor Control Block. A new window will display the motor control block diagram.



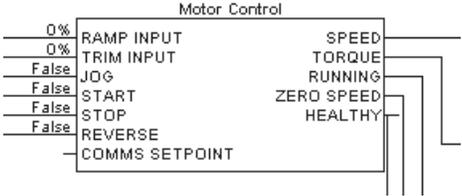
# Connecting Parameters to the Application

If a motor control block has to be written to or read from the application, Inputs and Outputs can be added to the Motor Control block diagram, respectively.

For example, to add a new input parameter called "REVERSE", open the Motor Control Block diagram, add a new input from the Block menu, then rename it to "REVERSE" (shown connected to REFERENCE /REMOTE REVERSE).



On exiting, the motor Control Macro the additional input parameter "SETPOINT" will automatically appear on the Motor Control block as shown on the right.



# TS8000

Getting  
Started

HA471056U001

Issue 2



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

## Installation And Power

The following specifications pertain to the TS8000 series HMI. SSD Drives retains the right to modify specifications at any time, without prior notice.

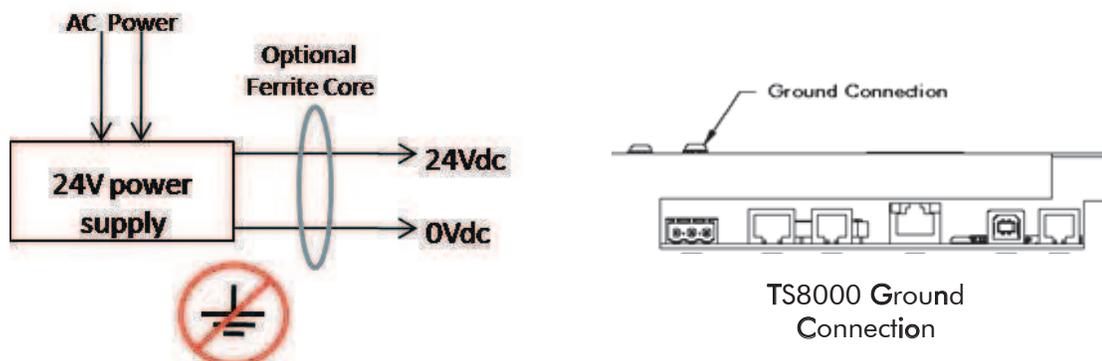
### Mounting Instructions

This operator interface is designed for through-panel mounting. A panel cutout diagram and a template are provided. Care should be taken to remove any loose material from the mounting cut-out to prevent it from falling into the operator interface during installation. A gasket is provided to enable sealing to NEMA 4X/IP66 specifications. Install the provided nuts and tighten evenly for uniform gasket compression. For more Detailed documentation, refer to “Appendix A, B, C, D, and E – Mounting Templates”.

### Connecting To Ground

This protective conductor terminal is bonded to conductive parts of the equipment for safety purposes and must be connected to an external protective grounding system.

Each TS8000 has a chassis ground terminal on the back of the unit. The unit should be connected to ground. The chassis ground is not connected to the signal common of the unit. Maintaining isolation between the ground and the signal common is not required to operate the unit, however, other equipment connected to this unit may require isolation between the ground and the signal common. *To maintain isolation between signal common and ground, care must be taken when connections are made to the unit.* For example, a power supply with isolation between its signal common and ground must be used. Also, plugging in a USB cable may connect signal common to ground.



**Important:** Do not connect the power supply common to ground. The TS8000 has its own chassis ground that should be utilized. To further reduce electrical noise, SSD Drives also recommends the use of a ferrite core on the 24Vdc and 0Vdc leads between the power supply and the TS8000.

## Power Supply Requirements

The TS8000 series requires a 24vdc power supply, rated at 9.5W (TS8003), 14W (TS8006), 24W (TS8008), 33W (TS8010) or 67W (TS8015). The units may draw considerably less than the rated power depending upon the options being used. As additional features are used, the unit will draw increasing amounts of power. Items that could cause increases are: additional communications, optional communications cards, use of the CompactFlash card, and other features programmed through DSI8000.

In any case, it is very important that the power supply is mounted correctly if the unit is to operate reliably. Please take care to observe the following points:

- The power supply must be mounted close to the unit, with usually not more than 6 feet (1.8 m) of cable between the supply and the operator interface. Ideally, the shortest length possible should be used.
- The wire used to connect the operator interface's power supply should be at least 22 gauge wire. If a longer cable run is used, a heavier gauge wire should be used. The routing of the cable should be kept away from large contactors, inverters, and other devices which may generate significant electrical noise.
- A power supply with a Class 2 or SELV rating should be used. A Class 2 or SELV power supply provides isolation to accessible circuits from hazardous voltage levels generated by a mains power supply due to single faults. SELV is an acronym for "safety extra-low voltage." SELV circuits exhibit voltage that are safe to touch both under normal operating conditions and after a single fault, such as a breakdown of a layer of basic insulation or after the failure of a single component has occurred.