

**PRÁCTICA EMPRESARIAL CVG VENALUM**

**PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE  
TRANSFERENCIA DE GRÚAS (GANTRY) EN V LÍNEA DE LA EMPRESA  
CVG VENALUM**

**ALEXIS RENÉ SANABRIA AMAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**Bucaramanga, Septiembre del 2006**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL CVG VENALUM**

**PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE  
TRANSFERENCIA DE GRÚAS (GANTRY) EN V LÍNEA DE LA EMPRESA  
CVG VENALUM**

**ALEXIS RENÉ SANABRIA AMAYA**

**Este proyecto es presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Electrónico**

Director:

**ING. JOSE ALEJANDRO AMAYA PALACIO UIS**

Tutor industrial:

**ING. JOEL VILLANUEVA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**Bucaramanga, Septiembre del 2006**

## **DEDICATORIA**

Le dedico este logro a Dios sobre todas las cosas por darme las fuerzas para seguir adelante cada día, y darme la oportunidad de continuar con mis planes de vida, compartiendo diariamente con las personas que me rodean y que me enseñan a ser mejor cada día.

A mis padres, Moraima Amaya y Fernando Sanabria por ser el pilar fundamental en mi vida y por ayudarme en todo.

A mis tíos por su apoyo constante e incondicional.

Al resto de mi familia por estar siempre a mi lado cuando lo necesité.

A mis compañeros y amigos, quienes me prestaron su colaboración para hacer posible este logro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que tengo para darles las gracias. En realidad si me colocaré a redactar el nombre de cada una de ellas, está hoja sería insuficiente, ya que todo lo que he aprendido durante estos 25 años, se lo debo a una infinidad de personas con las que interactué y he interactuado, brindándome la oportunidad de aprender lo mejor de cada una de ellas, porque pienso que siempre se puede aprender algo de cualquier persona sin importar su condición social o económica o su grado de estudio.

A los Srs:

Juan Pabón. Sus consejos y comentarios siempre me sirvieron y me alegraron cada día.

Renny Torres. Su sencillez me mostró un buen ejemplo a seguir cada día.

Leoncio Amaya. Ya que sin la ayuda de él no había podido desarrollar este proyecto e igualmente con su sencillez y humildad me mostró un buen camino a seguir cada día.

A los demás trabajadores de Quinta Línea, ya que pude aprender muchas cosas de cada uno de ellos.

A mi Tutor Académico: Ing. José Alejandro Amaya

A mi Tutor Industrial: Ing. Joel Villanueva

A la empresa CVG VENALUM. Por la oportunidad que me brindó al desarrollar mi actividad de pasantía en sus instalaciones.

A la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, por haberme formado como ingeniero y como persona.

**¡A todos ustedes muchas GRACIAS!**

## RESUMEN

### TÍTULO:

PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS (GANTRY) EN V LÍNEA DE LA EMPRESA CVG VENALUM\*

### AUTOR:

ALEXIS RENÉ SANABRIA AMAYA\*\*

### PALABRAS CLAVE:

Transferidor de grúa, Gantry, PLC, variador de velocidad, panel view, interfaz inalámbrica de transmisión de datos, control inalámbrico.

### DESCRIPCIÓN:

En el siguiente trabajo se realiza una propuesta de rediseño, del sistema de transferencia de grúas (*Gantry*), que opera en la empresa CVG VENALUM en el área de Quinta Línea. Actualmente el *Gantry* presenta problemas, tales como la detección y corrección de fallas, debido a obsolescencia del sistema implantado, los cuales dificultan el mantenimiento del sistema y por tanto el traslado de las grúas (grúa cambiadora de ánodos y grúa cambiadora de cátodo), de una sección a otra.

El sistema *Gantry* se conforma de dos partes, un *Piloto* y un *Monitor*; cada una de ella, esta formada por dos motores de inducción de rotor bobinado. Cada parte se conectan con un robusto cable, enrollado en un carrete, movilizado por otro motor. Este sistema de transferencia de grúa fue diseñado e implementado en 1989 por la compañía holandesa NKM (hoy en día llamada REEL), y funciona con una lógica de relés y contactores.

La propuesta es eliminar el carrete, modernizar y optimizar el sistema de control de los cuatro motores, de forma que se pueda realizar un adecuado mantenimiento preventivo y correctivo, mejorando con ello, el proceso de transferencia de grúa de una sección de Quinta Línea a otra. Cabe resaltar que el sistema *Gantry*, funciona en paralelo con otro sistema llamado "*Lifting Beams*" que significa, levantamiento de vigas, el cuál es simplemente una viga, que proporciona alimentación al sistema *Gantry*. Cuando esta se eleva, realiza un acople entre los rieles de una sección a otra.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Ingeniería Electrónica  
Ing. José Alejandro Amaya

## ABSTRACT

**TITLE:**

PROPOSAL OF MODERNATION OF THE TRANSFERENCE SYSTEM OF CRANES (GANTRY) IN V LINE OF THE CVG VENALUM COMPANY\*.

**AUTHOR:**

ALEXIS RENÉ SANABRIA AMAYA\*\*

**WORDS KEY:**

To transfer of crane, Gantry, PLC, frequency AC drive, panel view, wireless interface of transmission data, wireless control.

**DESCRIPTION:**

In this document, it was made a redesign proposition of the transference system of cranes (*Gantry*), to work in the CVG VENALUM Company in the Fifth Line Area. Actually the Gantry system present many problems, such as the detention and correction of faults, due to obsolescence of the implanted system, that makes it difficult the maintenance of the system and transfer of cranes (transference of anodes crane and transference of cathodes crane), from a section to another one.

The *Gantry* system is made by two parts. A *Pilot* and *Monitor*. Each is driven by two motors. Each part is connected with a robust cable which is coiled in a spool and is moved by a motor. This transference system of cranes was designed and implemented in 1989 for NKM Dutch Company (nowadays call REEL Company), and it works with a relés logic and contacts system.

The proposal is to eliminate this spool, modernize and optimize the system of control of the four motors, so that it can be carried out an appropriate preventive and corrective maintenance. It is necessary to highlight that the Gantry system works in parallel with another system called "*Lifting Beams*", which is simply a beam that provides electricity to the *Gantry* system when the beam is lifted, making an alignment between the rails of the two section.

---

\* Degree Work

\*\* Physics and Mechanics Engineering Collage, Electronics Engineering  
Ing. José Alejandro Amaya

## GLOSARIO

*Alúmina:* es la materia prima de la producción de aluminio, también conocida como óxido de aluminio. La alúmina se extrae de la Bauxita y se descompone en dos partes: oxígeno y aluminio.

*Ánodo:* son los carbones que componen una celda. Mediante ellos fluye una corriente en dirección del catión al anión. Los ánodos son conectados a través de un puente anódico y reemplazados cuando se desgastan.

*Cátodo:* Es la combinación de elementos, fluoruro y electrolito en una cuba, donde serán ubicados los ánodos.

*Celda:* conjunto de elementos, formado principalmente por un ánodo y un cátodo, por donde se hace pasar cierta cantidad de corriente DC, y se forma una reacción electrolítica la cuál conlleva a la transformación de la alúmina en aluminio.

*ControlLogix:* significa la arquitectura completa del PLC Allen Bradley.

*Gantry:* sistema eléctrico y mecánico, el cuál realiza un acople de vías (rieles), por donde van a circular las grúas cambiadoras de ánodos y la grúas cambiadoras de cátodos, de forma que estas puedan desplazarse de una sección a otra.

*Grúa cambiadora de ánodo:* grúa cuya finalidad es apoyar el trabajo de cambio de ánodos, desnatar, surtir alúmina secundaria a la celda, romper el ánodo.

*Grúa cambiadora de cátodo:* es una grúa que cuenta con un gancho que puede levantar hasta 200 toneladas. Se usa para trasladar el puente de la celda, y la cuba.

*Lifting Beam:* sistema que consta de una viga sobre la cuál se encuentran los rieles por donde se transportan las grúas. Además brinda alimentación trifásica al *Gantry*.

*Logix 5550:* es el controlador del PLC. En otras palabras la CPU.

*PLC:* Las siglas PLC significa Programmable Logic Controller, que como su propio nombre indica es un controlador lógico programable. Se compone de un rack principal, una fuente de alimentación, un CPU, tarjetas entradas/salidas digitales, tarjetas entradas/salidas analógicas, tarjetas especiales.

*Puente de grúa:* es la estructura metálica donde esta soportada la grúa, en otras palabras es el chasis de la grúa, el cuál es movido por cuatro motores.

*RSLogix5000:* es el nombre del software de programación para los procesadores del controlador Logix5000.

*Variador de velocidad:* es el driver mediante el cuál se controla uno o varios motores.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	19
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</i>	<i>19</i>
OBJETIVOS.....	20
<i>OBJETIVO GENERAL .....</i>	<i>20</i>
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</i>	<i>20</i>
DELIMITACIÓN .....	21
<b>CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS (GANTRY).....</b>	<b>22</b>
1.1 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS ( <i>GANTRY</i> ).....	26
<b>CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ACTUAL IMPLANTADO EN EL GANTRY.....</b>	<b>28</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD STATOVAR .....	30
2.2 CUADRANTES EN LOS OPERA UN MOTOR.....	32
2.3 EL MOTOR EN LOS DOS PRIMEROS CUADRANTES.....	33
2.4 PUENTE DE POTENCIA CON TIRISTORES .....	33
<b>CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS DE DISEÑO .....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 4: DIAGRAMA GENERAL DEL DISEÑO .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 5: SELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS .....</b>	<b>39</b>

5.1 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD .....	39
5.2 SELECCIÓN DEL PLC.....	46
5.3 SELECCIÓN PANTALLA DE CONTROL .....	49
5.4 SELECCIÓN DEL MÓDULO DE RADIO CONTROL.....	51
5.5 SELECCIÓN DE INTERFAZ DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	55
5.6 ESQUEMA COMPLETO DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR .....	57
<b>CAPÍTULO 6: DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC.....</b>	<b>58</b>
6.1 ENTRADAS AL VARIADOR DE VELOCIDAD .....	58
6.2 ENTRADAS PLC.....	58
6.3 SALIDAS PLC .....	61
<b>CAPÍTULO 7: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DINÁMICA.....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 8: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL VARIADOR DESDE EL HMI (LCD).....</b>	<b>70</b>
8.1 SMART .....	70
8.2 RÁPIDO.....	71
8.3 DETALLADO.....	72
<b>CAPÍTULO 9: ESQUEMA DE MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA GANTRY PROPUESTO A IMPLEMENTAR .....</b>	<b>77</b>
<b>RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>
ANEXO A: PLANOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUALMENTE UTILIZADO .....	89
ANEXO B: PLANOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PROPUESTO A IMPLEMENTAR.....	96
ANEXO C: HOJAS DE DATOS .....	116
ANEXO D: FOTOGRAFÍAS Y GRÁFICAS ADICIONALES .....	117
ANEXO E: DIAGRAMA LADDER DEL PROGRAMA .....	120
ANEXO F: INTERFAZ HMI (SCREENS PANELVIEW) .....	133
ANEXO G: INICIACIÓN RÁPIDA A LA PROGRAMACIÓN DEL PLC ALLEN BRADLEY .....	138

ANEXO H: CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ..	157
ANEXO I: DATOS DE LA EMPRESA .....	164

## **LISTA DE FIGURAS**

<i>Figura #1: Gantry, vista de perfil.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura #2: Motor rotor bobinado, servomotor AC, reductor mecánico.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura #3: Carrete del Gantry.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura #4: Modelo estándar V/Hz .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura #5: Cuadrantes en los que opera un motor .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura #6: Puente de tiristores. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura #7: Esquema general de diseño .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura #8: Variador ABB.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura #9: Variador de la empresa Siemens.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura #10: Variador de velocidad Power Flex.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura #11: PLC Allen Bradley implantado en las grúas cambiadoras de ánodos.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura #12: PanelView 600 Color.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura #13: PanelView 600 Color implantado en las grúas cambiadoras de ánodos. ..</i>	<i>50</i>
<i>Figura #14: Productos ofrecidos por la empresa IKUSI.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura #15: Módulo transmisor Eco M.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura #16: Módulo Receptor FSE 808 .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura #17: Módulo RAD-ISM-900_BD .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura #18: Esquema del sistema completo.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura #19: Reductor tipo KDH 160 .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura #20: Modelo del sistema Gantry con la mitad de la estructura.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura #21: Modelo del sistema Gantry con la mitad de la estructura.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura #22: Sistema de alimentación principal .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura #23: Parada de emergencia y contactores principales.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura #24: Corneta .....</i>	<i>92</i>
<i>Figura #25: Carrete.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura #26: Control del motor, Gantry piloto.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura #27: Control del motor auxiliar, Gantry piloto .....</i>	<i>95</i>
<i>Figura #28: Simbología.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura #29: Alimentación Principal.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura #30: Alimentación Variador de Velocidad.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura #31: Lámparas y cornetas .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura #32: Hoja adicional.....</i>	<i>101</i>

<i>Figura #33: Alimentación DC.....</i>	102
<i>Figura #34: Bornera de control variador de velocidad.....</i>	103
<i>Figura #35: Variadores de Velocidad.....</i>	104
<i>Figura #36: Sistema de Frenado.....</i>	105
<i>Figura #37: Bornera de control, ubicación Monitor.....</i>	106
<i>Figura #38: Termistores .....</i>	107
<i>Figura #39: Módulo RAD-ISM, ubicación Piloto .....</i>	108
<i>Figura #40: Módulo RAD-ISM, ubicación Monitor.....</i>	109
<i>Figura #41: Configuración PLC, ubicación Piloto.....</i>	110
<i>Figura #42: Configuración PLC, ubicación Monitor.....</i>	111
<i>Figura #43: Entradas PLC, ubicación Piloto.....</i>	112
<i>Figura #44: Entradas PLC, ubicación Monitor.....</i>	113
<i>Figura #45: Salidas PLC, ubicación Piloto.....</i>	114
<i>Figura #46: Salidas PLC, ubicación Monitor.....</i>	115
<i>Figura #47: Gantry Piloto.....</i>	117
<i>Figura #48: Gantry y Lifting Beam.....</i>	117
<i>Figura #49: Gantry y grúa vistos de perfil.....</i>	118
<i>Figura #50: Vista superior Gantry.....</i>	118
<i>Figura #51: Vista superior VL.....</i>	119
<i>Figura #52: Ventana de RSLinx.....</i>	139
<i>Figura #53: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado.....</i>	140
<i>Figura #54: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado.....</i>	140
<i>Figura #55: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado.....</i>	141
<i>Figura #56: Ventana de RSLogix 5000 .....</i>	142
<i>Figura #57: Ventana de RSLogix 5000, New Controller.....</i>	142
<i>Figura #58: Ventana de RSLogix 5000 .....</i>	143
<i>Figura #59: Selección de módulo RSLogix 5000.....</i>	144
<i>Figura #60: Selección de módulo de propiedades de módulo de salida.....</i>	145
<i>Figura #61: Controlador de Tags.....</i>	146
<i>Figura #62: Controlador de Tags.....</i>	146
<i>Figura #63: Diagrama escalera.....</i>	148
<i>Figura #64: Barra de herramientas .....</i>	148
<i>Figura #65: Diagrama Ladder.....</i>	148

<i>Figura #66: Creando un nuevo Tag .....</i>	149
<i>Figura #67: Seleccionando el bit de entrada.....</i>	150
<i>Figura #68: Entrada en forma de diagrama Ladder .....</i>	150
<i>Figura #69: Creando un tag como un bit de salida.....</i>	151
<i>Figura #70: Creando una línea de programación en el RSLogix5000.....</i>	151
<i>Figura #71: ventana de propiedades de tarea- General .....</i>	152
<i>Figura #72: ventana de propiedades de tarea- Schedule.....</i>	152
<i>Figura #73: configuración watchdog.....</i>	153
<i>Figura #74: Propiedades programa principal.....</i>	154
<i>Figura #75: Propiedades programa principal-MainRoutine.....</i>	154
<i>Figura #76: Ventana Who Active .....</i>	155
<i>Figura #77: Descarga al controlador .....</i>	155
<i>Figura #78: Bloques de terminales de potencia.....</i>	158
<i>Figura #79: Ejemplo de control del variador de velocidad PowerFlex 700<sup>14</sup> .....</i>	159
<i>Figura #80: Selección de referencias de velocidades .....</i>	160
<i>Figura #81: Puesta en marcha, mediante un variador de velocidad<sup>16</sup> .....</i>	162

## **LISTA DE TABLAS**

<i>Tabla #1: Especificaciones del variador ABB.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla #2: Variador de velocidad AB Seleccionado.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla #3: Entradas PLC, ubicación Piloto.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla #4: Entradas PLC, ubicación Monitor.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla #5: Salidas PLC, ubicación Piloto .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla #6: Salidas PLC, ubicación Monitor .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla #7: Datos técnicos motor Siemens instalado en el Gantry.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla #8: Momento de Inercia del reductor.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla #9: Resistencia dinámica seleccionada.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla #10: Lista de parámetros a configurar en el variador de velocidad.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla #11: Tipos de cables recomendados por Allan Bradley.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla #12: Bastidores de potencia que posee el variador de velocidad PowerFlex 700 .....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla #13: Terminales de control del variador de velocidad. ....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla #14: Tipos de datos del Variador de velocidad.....</i>	<i>163</i>

## INTRODUCCIÓN

Actualmente son más los procesos realizados en diferentes empresas donde se requieren un movimiento amplio de las grúas, para trasladar cargas pesadas y múltiples equipos, que controlan un determinado proceso. Para ello es deseable la automatización de las grúas, facilitando la tarea al operario, y la reducción de costos en mantenimiento, previniendo riesgos a los instrumentos por fallas y accidentes. Las grúas se utilizan en casi todos los procesos industriales, por ejemplo, en los muelles y en las construcciones, y conforman una herramienta fundamental en el desarrollo del proceso que ejecutan. En la empresa CVG VENALUM hay varios tipos de grúa, cada una con una función específica. Para el caso del desarrollo de este proyecto se trabajó en el área de Quinta Línea, la cuál cuenta con una gran variedad de celdas, que funcionan los 365 días del año, y que necesitan estar supervisadas por personal calificado, el cuál se apoya en las grúas, para garantizar la producción requerida por la demanda mundial y nacional. Para movilizar las grúas a través de toda Quinta Línea se requiere de varios sistemas especiales que trasladen la grúa de una sección a otra. He aquí la importancia de adaptar dichos sistemas, para que cumplan con tareas específicas. Estos sistemas son: sistema de transferencia de grúas (*Gantry*) y el sistema de levantamiento de viga (*Lifting Beam*).

En los siguientes capítulos se muestra de forma organizada, el desarrollo del proyecto comenzando con el primer capítulo, el cuál relata como se encuentra actualmente implantado el *Gantry* de Quinta Línea; luego se continúa con una breve descripción del proceso, cuya finalidad es aclarar el funcionamiento del *Gantry*. En el capítulo tres se realiza una descripción detallada del funcionamiento del variador implantado actualmente.

Más adelante se describen las bases del proyecto y se seleccionan los equipos que lo integran.

Por último se hace referencia en algunas consideraciones técnicas y a la forma como se va a configurar el variador de velocidad.

En los anexos se encuentran ilustraciones que aclaran los conceptos mencionados en el cuerpo de trabajo y se muestran los manuales de iniciación de programación del PLC seleccionado y un manual de usuario (puesta en marcha) de todo el sistema, propuesto a implementar.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa CVG VENALUM requiere un sistema de automatización moderno y seguro, para movilizar las grúas de una sección a otra, el cuál debe estar sujeto a unas condiciones especiales, tales como altas temperaturas, alta humedad, alta polución, y fuertes campos magnéticos.

Actualmente el sistema de transferencia de grúas (*Gantry*) implantado en Quinta Línea, tiene inconvenientes tales como:

- Dificultad para realizar el mantenimiento del sistema, debido a la difícil consecución de repuestos, ya que la tecnología actualmente implantada está obsoleta.
- Es imposible tener un reporte de fallas del sistema. Además estas son difíciles de detectar y corregir, debido a que el sistema no se encuentra actualizado.
- El sistema actualmente utilizado es inseguro, ya que depende de la habilidad de los operarios para posicionar correctamente las dos estructuras (Piloto y Monitor).

Ya que las grúas son una parte importante en proceso de producción de aluminio, es importante corregir estos problemas lo antes posible. Para ello se opta por rediseñar el sistema e implementar tecnología de punta que preste servicios de supervisión de fallas y un control adecuado de las funciones del *Gantry*.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta para la modernización del sistema de control de transferencia de grúas (*Gantry*) en el área de Quinta Línea de la empresa CVG VENALUM, soportado de un sistema de supervisión que permita implementar labores de operación y mantenimiento del sistema, por medio de HMI.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una propuesta de rediseño para el *Gantry*, que cumpla con los requerimientos de diseño, fijados por la empresa, teniendo en cuenta la tecnología actual que se está utilizando, las especificaciones técnicas de los fabricantes y la seguridad del recurso humano.
- Elegir los componentes adecuados para el rediseño del *Gantry*, tales como variadores de velocidad, autómatas, encoders, frenos etc., justificando los motivos de dicha elección.
- Diseñar un nuevo sistema de control y supervisión del sistema de transferencia de grúas, actualizado y moderno, con las nuevas tecnologías impuestas en el mercado.
- El sistema debe contar con alarmas ópticas y acústicas para indicar los distintos modos de operación y fallas.
- El sistema de supervisor debe incorporar las siguientes funcionalidades:
  - ❖ Capacidad de presentar el estatus operativo de todo el sistema mediante pantallas de interfase.
  - ❖ Capacidad de registrar todos los eventos del sistema.
- Elaborar un manual de puesta en funcionamiento y operación del sistema a implementar.

## **DELIMITACIÓN**

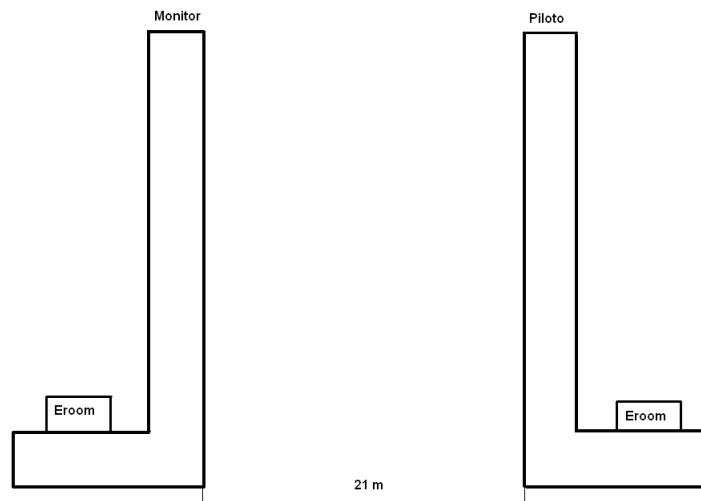
El presente proyecto abarca el rediseño del subsistema de control del *Gantry* ubicado en el área de V Línea de la empresa CVG VENALUM.

## CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS (GANTRY)

El *Gantry* es un sistema eléctrico y mecánico, el cuál realiza un acople de vías (rieles), por donde va a circular la grúa cambiadora de ánodos o la grúa cambiadora de cátodos, de forma que estas puedan desplazarse de una sección a otra.

El *Gantry*, cumple la función de trasladar las grúas ubicadas en V Línea, a la sección de mantenimiento, donde personal calificado evaluará con detenimiento la situación actual de la grúa.

Se hace cuatro tipos de mantenimiento: programado, rutina, preventivo y correctivo.



*Figura #1: Gantry, vista de perfil*

El *Gantry* cuenta con cuatro motores de inducción de rotor bobinado para desplazar las grúas, cada motor con su respectivo tacogenerador, para controlar la velocidad, y un sistema de frenado electromecánico del rotor, que es, en sí, otro motor con dos bandas (servomotor AC) que frenan el rotor de los motores del *Gantry*. También cuenta con un sistema electrónico de

variadores de velocidad (dos variadores tipo *Statovar*), los cuales controlan el arranque, cambio de sentido de giro, velocidad y frenado de los motores. El sistema principal se llama *Piloto* y el sistema auxiliar se llama *Monitor*. El *Piloto* controla todos los motores, y también se puede mover independientemente, en cambio el *Monitor* únicamente se puede movilizar independientemente. Lo anterior se realiza para facilitar el desplazamiento de la grúa en Quinta Línea.



*Figura #2: Motor rotor bobinado, servomotor AC, reductor mecánico*

El sistema cuenta con una alimentación principal trifásica de 460 volts, a una frecuencia 60 Hz, la cuál es suministrada desde la subestación ubicada en la misma planta. De estas líneas trifásicas, se conecta un transformador reductor trifásico de 460/120v 1kVA, debido a que se requiere alimentar relés y dispositivos de seguridad, tales como sirenas, luces y demás. (Véase el Anexo A, figura # 22).

Este sistema cuenta con un circuito de parada de emergencia, el cuál le permite al operador detener el proceso en caso de falla. Este circuito, como se

muestra en el *anexo I*, cuenta con un interruptor de parada de emergencia y un cable conectado por medio de dos plug-in, que energiza el circuito. Todo esto opera con una fase, a una tensión de 120v. También cuenta con un sistema de paneles de luz, por medio del cual se verifica el correcto funcionamiento del sistema *Gantry*. (Véase el Anexo A, Figura#23 y Figura#24).

Para movilizar el robusto cable de control, se utiliza dos carretes, ubicados en los extremos del *Gantry*, los cuales funcionan con dos motores de rotor bobinado, y arrancan manualmente variando la resistencia rotórica, por medio de tres botones. Esta resistencia varía de 50 a 19 Ohms. (Véase el Anexo A, Figura#25).



*Figura #3: Carrete del Gantry*

Para controlar la velocidad de los cuatro motores principales que mueven el puente de la grúa, se usa un lazo de retroalimentación. Para sensar la señal de salida, se utiliza un tacómetro por motor. Esta señal ingresa al variador de velocidad, el cuál determina que debe hacer el motor. El variador de velocidad

posee un conjunto de tiristores, cuya finalidad es cambiar el sentido de giro del motor y controlar la tensión del estator; mediante el circuito control del variador se envían pulsos a las terminales puerta de los tiristores. Así como el circuito del *anexo A, Figura # 26*, este mismo circuito controla un motor auxiliar (*ver anexo A, Figura # 27*), el cuál cuenta con las mismas características técnicas que el motor mencionado anteriormente. Para dicho motor (auxiliar), se requiere que los tiempos de encendido y apagado, estén en sincronismo con el motor principal del *Piloto*.

## **1.1 Descripción actual del funcionamiento del sistema de transferencia de grúas (*Gantry*)**

Como se mencionó anteriormente, el sistema *Gantry*, consiste en movilizar las grúas de una sección a otra. Para dicho proceso mecánico, requiere de los siguientes pasos:

1. Ascender el *Lifting Beams*, para brindar espacio al *Gantry*, y también para suplirle energía. Cuando el *Lifting Beams* se encuentra arriba, las barras de electricidad (tres fases de 460v), se acoplan entre sí y le suministran energía al *Gantry*.<sup>1</sup>
2. Llevar el *Gantry* a la sección donde se encuentra ubicada la grúa que requiere mantenimiento o en el caso contrario que se requiera devolver a su respectivo sitio de trabajo.
3. Montar la grúa al sistema *Gantry*. Para ello se requiere que los motores de la grúa estén operando a una velocidad específica, para evitar el descarrilamiento de la misma.
4. Mediante los motores del *Gantry*, se mueve la grúa (que realmente es el *Gantry*) a la sección requerida.
5. Se descarga la grúa de igual forma como se montó en el sistema *Gantry*.
6. Se regresa el sistema *Gantry* al taller de mantenimiento, para esperar otra grúa si es necesario.

---

<sup>1</sup> Las barras de alimentación del sistema *Gantry* y grúa están perpendiculares entre sí, por lo cuál se requiere de un sistema alterno (*Lifting Beams*) que me acople las secciones.

7. Se hace descender el *Lifting Beams* para acoplar las barras de la grúa movilizada, con las barras de la sección de la V línea.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> En caso que se requiera llevar la grúa a otra sección, se aplica el mismo proceso, ya que entre cada sección se cuenta con un sistema de *Lifting Beams*.

## **CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ACTUAL IMPLANTADO EN EL GANTRY**

Para controlar los cuatro motores, se están utilizando dos variadores de velocidad tipo Statovar cuatro cuadrantes (un variador por dos motores), de la empresa Telemecanique.

El variador de velocidad es un equipo electrónico, que posee elementos de potencia para realizar un control continuo de velocidad en motores de corriente alterna asíncronos. Este control de velocidad logra un importante ahorro de energía, evitando picos elevados de corriente y tensión, protegiendo por tanto la red eléctrica y los equipos alimentados a esta.

¿Como se controla la velocidad de un motor de inducción?

Se puede realizar variando el punto de sincronismo o el deslizamiento S.

Las pérdidas son proporcionales al deslizamiento, por esta razón la variación del deslizamiento no es una alternativa atractiva para realizar control de velocidad.

El punto de sincronismo, puede variarse de dos formas: cambiando el número de polos o variando la frecuencia de la máquina. Dado que la mayor parte de los motores tiene un número fijo de polos, la primera de estas alternativas es poco viable, razón por la cuál el único método disponible para realizar un control de alta eficiencia es variando la frecuencia de alimentación.

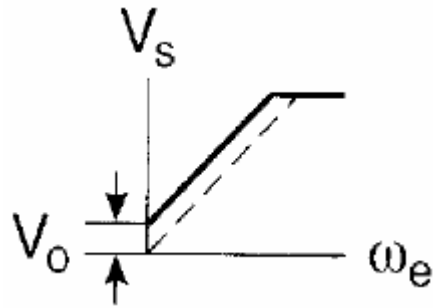
Para variar la frecuencia de alimentación se debe variar la tensión del estator de manera lineal y proporcional con la frecuencia. De esta forma se mantiene el flujo constante.

$$\varnothing(t) = - \frac{Vm \cos(\omega t)}{\omega Np} \quad (1)$$

Si no se mantiene esta proporcionalidad, se satura el acero del núcleo del motor y fluyen corrientes de magnetización excesivas.

De la ecuación (1) se deduce que al disminuir la frecuencia en un 10%, el flujo se incrementa en un 10% y por tanto la corriente de magnetización.

Un modelo estándar es el siguiente:



*Figura #4: Modelo estándar V/Hz*

Nótese que después de la velocidad de sincronismo la tensión se mantiene constante.

La tensión  $V_0$  asegura que halla un par de arranque a una velocidad baja, ya que a una frecuencia baja el flujo se reduce en el entrehierro debido a la reducción de las impedancias del estator, por tanto el voltaje debe incrementarse para mantener el nivel del par del motor.

Para el arranque de los motores, el variador de velocidad Statovar posee un circuito de control que me va eliminando resistencias del rotor, cuya finalidad es tener control del par del motor y la corriente de arranque. Al insertar resistencias extras en el rotor aumenta el par y disminuye la corriente de arranque.

El Statovar por medio de la tarjeta de control de contactores rotóricos determina el arranque. El objetivo de estos contactores es variar la resistencia externa del rotor de  $5,7 \Omega$  a aproximadamente  $0,36 \Omega$ .

Este garantiza que halla un adecuado par de arranque y que la corriente de arranque no valla a dañar la máquina.

## 2.1 Características principales de un variador de velocidad Statovar

Suministra a partir de la red, una tensión alterna de valor eficaz variable y de frecuencia fija, mediante un dispositivo, a tiristores.

La variación de velocidad de los motores se realiza mediante el control de voltaje del estator, ya que el par es proporcional al cuadrado del voltaje de alimentación. Entonces una reducción en la tensión del estator produce una reducción en la velocidad.

$$T_d = \frac{3 \times R_r \times (bV_s)^2}{S\omega_s [(R_s + R_r/S)^2 + (X_s + X_r)^2]}$$

El control de velocidad se hace mediante un lazo cerrado y por tanto, se necesita utilizar un captador de velocidad o una generatriz tacométrica montada en el motor.

La inversión del sentido de rotación y el frenado, es obtenido por contracorriente controlada. Esto asegura un buen funcionamiento de la máquina en los cuatro cuadrantes del plano par-velocidad.

Una función de limitación de intensidad, permite además reducir los picos de corrientes absorbidas por el motor.

El variador de velocidad comprende:

1. Una tarjeta donde se agrupan los circuitos de alimentación estabilizada, de seguridad con señalización de defecto mediante leds y diez etapas de salida, la cuál tiene las siguientes funciones:
  - Alimentación rectificada filtrada dual 26v.
  - Alimentación estabilizadora dual 15v.
  - Circuito de seguridad controlando la alimentación dual 15v; la presencia y el orden de las fases con respecto a un umbral de

sobrevelocidad fijada al 130% de la velocidad nominal. En caso de dispararse la velocidad, este dispositivo corta el relé maestro.

- Tres leds de señalización. Su iluminación confirma la presencia de 15v dual.
- Circuito de adaptación de la señal de retorno, correspondiente a la corriente estática. Rectifica la tensión de los transformadores de corrientes y permite ajustar la señal a 10v cuando la corriente alcanza su valor límite.

2. Una tarjeta donde se agrupan los circuitos de adaptación de la señal retorno de velocidad, de regulación de velocidad, de lógica de inversión, de limitación de corriente; cuya función principal es el control y comprende:

- Un circuito de adaptación de la señal de retorno de tacómetro. Este permite controlar está última a 10v, para la velocidad nominal.
- Un circuito que elabora la señal de referencia, con un control gradual de las velocidades máximas y mínimas en los dos sentidos de giro.
- Un circuito de control con amplificación del error, detención del signo, transformación en valor absoluto.
- Un comparador, que controla la regulación antes de la parada y suministra la señal de corte del freno, cuando la velocidad es inferior al 5% de su valor nominal.

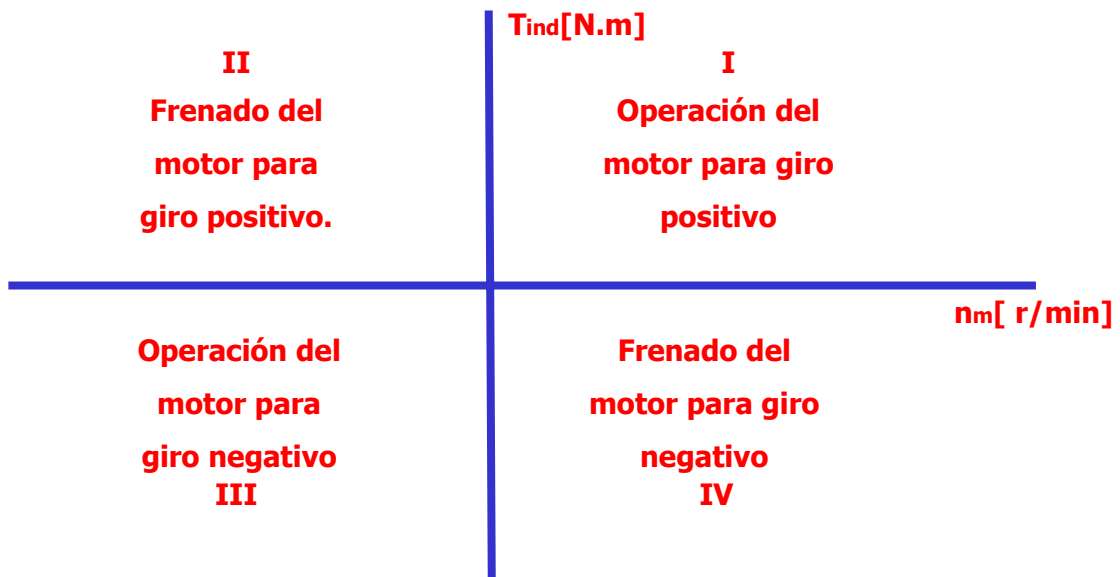
3. Una tarjeta donde se agrupan los circuitos rampa en la señal de "referencia de velocidad" y de mando de los contactores rotóricos; cuya función principal es el mando de los contactores rotóricos y comprende:

- Una rampa regulable en dos formas; independiente para cada sentido de marcha.
- Un circuito lógico de mando del freno. Al recibir la orden de arranque, una señal envía inmediatamente la puesta en tensión del freno.
- Un circuito de mando de los contactores rotóricos. El conjunto de estos contactores se corta cuando la activación es conmutada de un puente a otro.

## 2.2 Cuadrantes en los opera un motor

En la *figura # 5*, se puede apreciar los cuatro cuadrantes, en los cuales opera un motor. En los cuadrantes I y III, la potencia proviene de la red y es positiva.

En los cuadrantes II y IV, la potencia proviene del sistema mecánico. La potencia es negativa (la energía es devuelta a la red o consumida por resistencias).



*Figura #5: Cuadrantes en los que opera un motor*

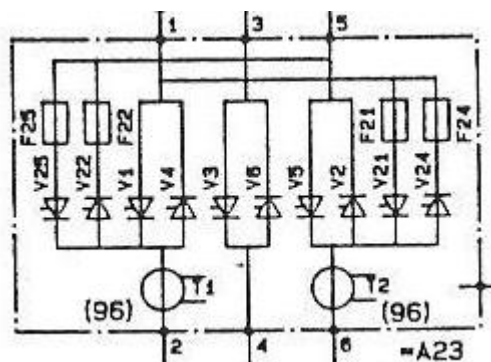
### 2.3 El motor en los dos primeros cuadrantes

Cuando un motor asincrónico es arrancado se induce una tensión en el rotor, creando un flujo en la máquina y una frecuencia en el rotor. En este caso el motor opera en el primer cuadrante. Para frenar el motor se aplica una contracorriente, esto se logra permutando dos fases. Si el motor esta girando en un sentido, se logra un frenado (cuadrante dos y cuatro); si el rotor se encuentra detenido el motor gira en sentido contrario (cuadrante tres).

El caso de un torque de arrastre, es necesario operar un freno mecánico para garantizar una completa estabilidad mientras esta detenido.

### 2.4 Puente de potencia con tiristores

En la *figura # 6*, se observa un puente de potencia, el cuál comprende un puente "directo" que alimenta al estator del motor en un sentido de marcha y un puente "inverso" que permuta dos fases para acoplar el estator en el otro sentido como se había mencionado anteriormente.



*Figura #6: Puente de tiristores.<sup>3</sup>*

El puente "directo" comprende seis tiristores formando dos montajes en oposición, montados y refrigerados (mediante coolers) de igual forma que los anteriores y protegidos por cuatro fusibles ultra rápidos.

<sup>3</sup> Pie de foto. Tomado de planos Eléctricos *Gantry VL*

El puente de potencia comprende otros accesorios, entre los cuales están:

- Diez tarjetas de cebado(disparo)
- Siete tarjetas de protección conteniendo los circuitos RC de los tiristores y ubicados en los circuitos cebadores.
- Dos transformadores de corriente que miden la corriente absorbida por el motor.

### CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

- ✓ Los equipos a proyectar deben funcionar adecuadamente bajo las siguientes condiciones ambientales:

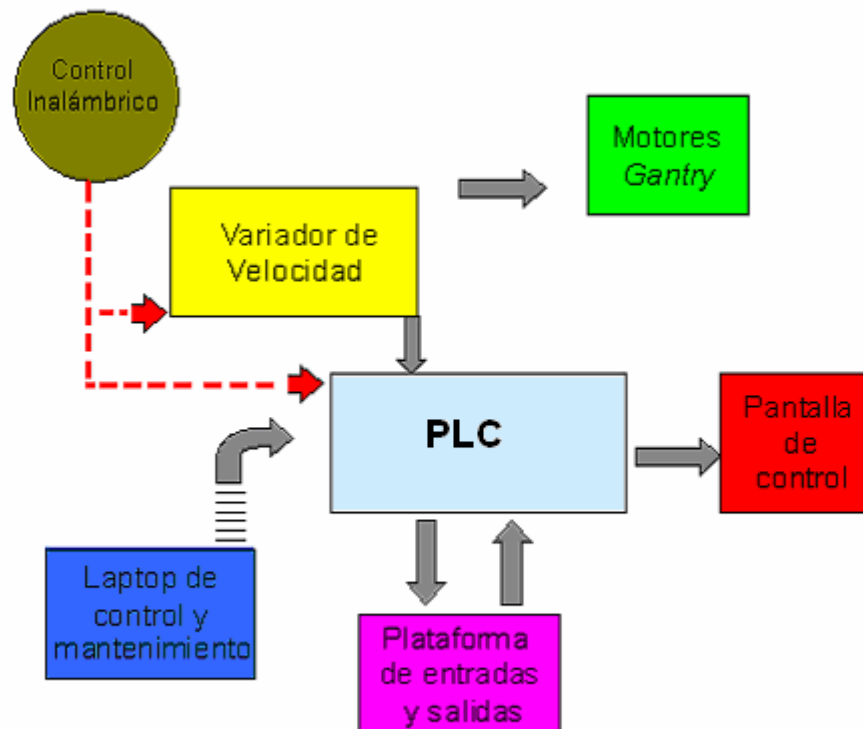
• Temperatura	máxima: 50°C Promedio: 36 °C
• Humedad relativa	máxima: 95% Promedio: 78%
• Campo magnético	máximo 100G
• Polución:	Alta (Partículas de Alúmina -45µm)

- ✓ La ingeniería de modernización del sistema de transferencia de grúas (*Gantry*), debe contar con mecanismos de seguridad adicionales al sistema original, enfocados a la protección de personas e integridad del sistema.
- ✓ Diseñar un nuevo sistema de control y supervisión del sistema de transferencia de grúas, actualizado y moderno, con las nuevas tecnologías impuestas en el mercado.
- ✓ Realizar el control de los motores del sistema *Gantry* mediante variadores de velocidad, evitando picos elevados de corriente y tensión, teniendo en cuenta la protección de la red eléctrica y los equipos alimentados a esta.
- ✓ El sistema debe contar con alarmas ópticas y acústicas para indicar los distintos modos de operación y fallas.

- ✓ El sistema supervisor debe prever una ampliación futura a través de una red EtherNet.
  
- ✓ El sistema de supervisor debe incorporar las siguientes funcionalidades:
  - ❖ Capacidad de presentar el estatus operativo de todo el sistema mediante pantallas de interfase.
  - ❖ Capacidad de registrar todos los eventos del sistema.

## CAPÍTULO 4: DIAGRAMA GENERAL DEL DISEÑO

El esquema general consiste básicamente de un controlador (PLC), una Interfaz Humano-Máquina, un módulo de entradas y salidas, y el variador de velocidad, el cuál desempeña una función importante en el desarrollo del sistema y por tanto se le prestará más importancia para el análisis del mismo.



*Figura #7: Esquema general de diseño*

El controlador (PLC) es el cerebro del sistema y será seleccionado mas adelante, teniendo en cuenta las funciones y aplicaciones del sistema.

Mediante la o las pantallas de control, o Interfaz Humano-Máquina (HMI), se verifica el correcto funcionamiento del sistema y también se chequean con precisión las posibles fallas que pueda presentar el sistema, corrigiéndolas a tiempo, con la finalidad de optimizar el proceso de transferencia de las grúas. Ya que un retardo en el desplazamiento de las grúas, acarrea una disminución de la producción de aluminio y por tanto pérdidas económicas para la empresa.

Para realizar un mantenimiento al software del sistema, se utiliza una computadora, que se conecta por medio de un puerto de comunicaciones, por tanto el PLC debe contar con protocolos de comunicaciones.

Mediante el radio-control se puede maniobrar el *Gantry*, ofreciendo otra alternativa al operador de realizar el proceso de transferencia de grúa.

Más adelante (en la sección 5.6) se muestra un esquema detallado del sistema completo con los componentes ya seleccionados y con los buses de datos, señalando el direccionamiento de información de un módulo a otro.

## **CAPÍTULO 5: SELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE GRÚAS**

### **5.1 Selección del variador de velocidad**

Los motores que se van a utilizar son motores de rotor bobinado, que son los mismos motores que se encuentran operando en la actualidad. No se considera el reemplazo ya que los motores están en perfecto estado, y adicionalmente considerar la sustitución de los cuatro motores, conlleva a un cambio en la estructura del *Gantry*, y lo cuál acarrea costos.

Los cuatro motores que movilizan el *Gantry*, poseen las siguientes características:

- Para el *Piloto*: Dos motores; cada motor es marca Siemens y poseen las siguientes características:

P=2.8 kW

RPM=1200

Tensión del estator=460V

Tensión del rotor=169V

Corriente del rotor=12.5 A

- Para el *Monitor*: Dos motores; cada motor es marca Siemens y poseen las siguientes características:

P=2.8 kW

RPM=1200

Tensión del estator=460V

Tensión del rotor=160V

Corriente del rotor=12 A

Ya que el variador de velocidad es un instrumento importante para el control de los motores, es fundamental seleccionar un variador que cumpla con los requerimientos de diseño y que pueda controlar varios

motores de inducción al mismo tiempo. Para este caso, dos motores a la vez.

Los modelos de variadores de velocidad utilizados hoy en día, incluyen dos modos de control: *control escalar* y *control vectorial*. El variador que se va a seleccionar debe contar con estas dos técnicas de control de motores, y controlar varios tipos, tales como motores sincrónicos y asíncrónicos.

- Control escalar: Este control está basado en la regulación de tensión del estator en función de la frecuencia, en forma proporcional, cuya finalidad es mantener el flujo constante y por tanto tener control sobre la corriente de magnetización.
- Control Vectorial: en este tipo de control se referencia (cambio de ejes) el sistema trifásico de corrientes del estator a un sistema de coordenadas no estacionario. Estas corrientes referenciadas se descomponen en dos componentes; una colineal con el campo rotórico y una componente en cuadratura. La primera es responsable del flujo magnético y se llama "corriente de magnetización", la segunda genera el par motriz (torque) y se llama "corriente activa". Para la transformación de coordenadas, se debe conocer el ángulo del vector flujo del rotor.

Dentro de la infinidad de variadores de velocidad que se encuentran actualmente suministrados en el mercado, se inspeccionó tres fabricantes, ya que estas compañías poseen experiencia en el control de motores AC. Estas son: ABB, Siemens, Allen Bradley.

**Variadores de velocidad de la empresa ABB:**

Esta compañía ofrece convertidores de frecuencia de baja tensión, los cuales se utilizan para el control de velocidad y el par en motores de inducción estándar. ABB es líder mundial tanto en convertidores de frecuencia como en motores lo cuál puede resultar ventajoso al implementar un sistema nuevo, ya que cuenta con el motor y el variador del mismo fabricante.

De acuerdo a las especificaciones de los motores instalados en planta, el variador que cumple con estos requerimientos es el siguiente:

PRODUCT FEATURES	
Product Series	ACS800-04
Input Voltaje	380...500 volts
Output Power, Normal Use	11 kilowatt
Output Current, Normal Use	19 amps
Output Power, Light-Overload Use	11 kilowatt
Output Current, Light-Overload Use	18 amps
Output Power, Heavy-Duty Use	7.5 kilowatt
Output Current, Heavy-Duty Use	13 amps
Number of Phases	3 phase
Enclosure Class	IP20
Mounting Type	Module for cabinet assembly

*Tabla #1: Especificaciones del variador ABB*



*Figura #8: Variador ABB<sup>4</sup>*

### **Variadores de velocidad de la empresa SIEMENS:**

#### SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control

- Este variador sirve para controlar la velocidad de motores que realizan movimientos horizontales y verticales (cargas suspendidas), posee un sensor que monitorea el ángulo del vector flujo del rotor, lo cuál le da más exactitud al control de velocidad.
- Posee un control totalmente integrado, permitiéndolo operar las tres fases, de motores asíncronos hasta una entrada de 690 v.
- Posee tarjetas de conexión Plug-in y módulo de conexión ProfiBus, el cuál permite conectarse a una red de comunicaciones de este mismo tipo.
- Posee un amplio rango variadores, según la potencia entregada al motor, de 0.55 kW a 6000 kW.
- Los variadores están certificados por IEC//EN/UL/CSA.
- Se pueden tener control sobre uno o varios motores.

---

<sup>4</sup> Tomado de <http://www.abb.com>

- Están diseñados para operar todos los motores de inducción, todos los sectores industriales y todas las aplicaciones.
- Se puede establecer un control adecuado con encoder o sin él.
- Es robusto.



*Figura #9: Variador de la empresa Siemens*

### **Variadores de velocidad de la empresa Allen Bradley:**



*Figura #10: Variador de velocidad Power Flex<sup>5</sup>*

---

<sup>5</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

Este variador:

- Soporta hasta 20kW, y 24.8 A.
- La alimentación máxima en alterna es de 480V.
- Maneja señales digitales las cuales pueden ser necesarias al establecer un protocolo de comunicaciones y un bus de datos.
- Posee comunicación EtherNet, ControlDevice y ControlNET los cuales son protocolos que hoy en día se están utilizando para el control de procesos industriales.
- Controla el torque máximo a velocidad cero, aceleración y desaceleración del motor. También el cambio de giro por puentes contruidos con tecnología IGBT, lo cuál garantiza una alta impedancia a la entrada, alta velocidad de conmutación y una baja caída de tensión en conducción, que es propia de los BJT`s.
- Este variador de velocidad permite diagnosticar fallas de forma rápida y avanzada, facilitando el mantenimiento de los equipos.
- Es de fácil montaje y operación.
- Cumple con la directiva de baja tensión (LV) y la directiva de compatibilidad electromagnética.

Low voltage directive (LV)(73/23/EEC):

\*EN50178 Electronic equipment for use in power installations (Equipo electrónico para el uso en instalaciones de alimentación eléctricas).

\*EN60204-1 Safety of machinery – Electrical equipment of machines

(Seguridad de maquinaria – equipo eléctrico de máquinas).

Directiva EMC (89/336/EEC)

\*EN61800-3 Adjustable speed electrical power drive system (sistemas de variadores eléctricos de potencia de velocidad

variable): Estándar de productos EMC incluyendo métodos de prueba específicos.

*Proceso de selección del variador de velocidad:*

De los tres modelos mencionados anteriormente, todos cumplen con los requerimientos y son adecuados para implementar en este proyecto, sin embargo se seleccionó el variador de la empresa Allen Bradley debido a los protocolos de comunicaciones que utiliza, tales como EtherNet y ControlNet, los cuales son los más utilizados actualmente en la industria. Por ejemplo por medio del protocolo EtherNet puedo tener acceso a la configuración del variador y de todos los elementos conectados a la red, lo cuál brinda una buena opción, para chequear fallas y configurar el sistema desde una estación remota o terminal. Adicionalmente los equipos AB implantados en la empresa, han brindado confiabilidad y robustez en el área industrial.

Según el número de catálogo el variador seleccionado es el siguiente:

Variador de Velocidad Número de Catálogo	Bastidor	Capacidad Nominal kW/HP		Capacidades Nominales de Entrada		Amps. Salida			Fusible de Retardo de Elemento Doble		Fusible sin Retardo		Disyuntor <sup>(3)</sup>	Protector del Circuito de Motor <sup>(4)</sup>
		SN	SP	Amps	kVA	Cont.	1 Min.	3 Seg.	Min. <sup>(1)</sup>	Máx. <sup>(2)</sup>	Min. <sup>(1)</sup>	Máx. <sup>(2)</sup>	Amps	Amps
<b>Entrada de CA 480V</b>														
20BD2P1	0	1	-	1.6	1.4	2.1	2.4	3.2	3	6	3	8	15	3
20BD3P4	0	2	1.5	2.6	2.2	3.4	4.5	6.0	4	8	4	12	15	7
20BD5P0	0	3	2	3.9	3.2	5.0	5.5	7.5	6	10	6	20	20	7
20BD6P0	0	5	3	6.9	5.7	8.0	8.8	12	10	15	10	30	30	15
20BD011	0	7.5	5	9.5	7.9	11	12.1	16.5	15	20	15	40	40	15
20BD014	1	10	7.5	12.5	10.4	14	16.5	22	17.5	30	17.5	50	50	20
20BD022	1	15	10	19.9	16.6	22	24.2	33	25	50	25	80	80	30
20BD027	2	20	15	24.8	20.6	27	33	44	35	60	35	100	100	50
20BD034	2	25	20	31.2	25.9	34	40.5	54	40	70	40	125	125	50
20BD040	3	30	25	36.7	30.5	40	51	68	50	90	50	150	150	50
20BD052	3	40	30	47.7	39.7	52	60	80	60	110	60	200	200	70

*Tabla #2: Variador de velocidad AB Seleccionado.*

## 5.2 Selección del PLC

Los modelos de PLC's utilizados hoy en día incluyen módulos de comunicaciones, los cuales permiten llevar y recibir información a través de buses de datos. Entre los protocolos de comunicaciones utilizados a nivel industrial tenemos: *Profibus*, *EtherNet*, *ControlNet*, *DeviceNet* etc. El PLC que se va a seleccionar debe contar con estas características.

Dentro de la gran cantidad de PLC's que se encuentran actualmente suministrados en el mercado, se inspeccionó dos fabricantes ya que estas compañías poseen experiencia en el control de procesos industriales, estas son: Siemens y Allen Bradley.

PLC de la empresa SIEMENS:

Posee diferentes tipos de controladores tales como:

SIMATIC S7-200: Es un PLC económico. Utilizado debido a su tamaño en lugares remotos y de difícil acceso y en donde no se requiere de demasiadas funciones.

SIMATIC S7-300 y SIMATIC S7-400: Posee opciones a nivel industrial, tales como el control de procesos. Adicionalmente posee comunicación Profibus, lo cual es un protocolo de comunicaciones de los más utilizados en la actualidad. Esto garantiza que se puedan conectar otros dispositivos a una red de comunicaciones, tales como transmisores de presión, sensores de nivel y otros PLC's redundantes, por medio de buses de datos.

Es un sistema modular. Posee tarjetas de entradas y salidas, tarjeta de controlador o CPU, y Backplane adicionales para conectar mas tarjetas, en caso que el proceso lo requiera.

El controlador puede desarrollar una gran variedad de tareas tales como contar, medir, control de lazo cerrado y abierto, control de motores etc.

Debido a su confiabilidad reduce el riesgo de fallas de operación en determinado proceso industrial.

Posee altos niveles de seguridad para el recurso humano y para el ambiente.

#### **PLC de la empresa Allen Bradley:**

- Es un sistema evolutivo, se pueden añadir tarjetas (módulos), si es requerido, analógicas, digitales y especiales, tales como de comunicación (*ControlNet, RS232, DF1 y EtherNet*), contadores de pulsos (HSC<sup>6</sup>) para los encoders.
- Cada módulo agregado al Backplane posee una configuración de software específica modificable dependiendo de la aplicación que se requiera.
- Posee un Backplane de diferentes tamaños, dependiendo de la aplicación, lo cuál hace aprovechar un espacio de instalación determinado.
- Se puede recargar el programa fácilmente conectándose desde una Laptop.
- El software es en ambiente Windows (alto nivel) y compatibles con plataformas utilizadas hoy en día tales como Linux, Windows XP, Windows 2003 etc.

---

<sup>6</sup> Hight Speed Counter: Tarjeta contadora de pulsos de alta velocidad.

- Este PLC es ideal para aplicaciones que requieran conexión entre varios PLC's, comunicados través de un bus de datos.
- Se pueden diagnosticar fácilmente los módulos de entrada y de salida.

*Proceso de selección del PLC:*

De los dos modelos mencionados anteriormente, ambos cumplen con los requerimientos y son adecuados para implementar en este proyecto, sin embargo se seleccionó el PLC de la empresa Allen Bradley debido a la experiencia y confiabilidad de los equipos implantados en la empresa.



*Figura #11: PLC Allen Bradley implantado en las grúas cambiadoras de ánodos.*

### **5.3 Selección pantalla de control**

Para controlar el PLC externamente se utilizará una pantalla táctil. Para seleccionar el fabricante de dicha pantalla, se tomó como parámetro la confiabilidad de los equipos instalados en la planta. Adicionalmente ya que se está utilizando el PLC y el variador de velocidad de la empresa AB, también se puede recurrir a este mismo fabricante, ya que ofrece un buen soporte técnico.

EL *PanelView 600 Color Touch Only* posee las siguientes características:

- Comunicación EtherNet, ControlNet, DeviceNet y RS232.
- Se pueden mostrar las alarmas y corregir el proceso en caso de falla.
- Se pueden controlar procesos de forma rápida y eficaz.
- Es de fácil operación y manejo.
- Posee una calidad de resolución de 76,8 Kpixels.
- Facilita el mantenimiento de equipos.
- Posee funciones de registro de datos.
- Posee una memoria interna de 240 Kbytes, mediante el cuál se puede cargar el programa diseñado por software. Además posee una ranura de extensión de memoria flash, que complementa su memoria interna.

### Touch Screen Terminal

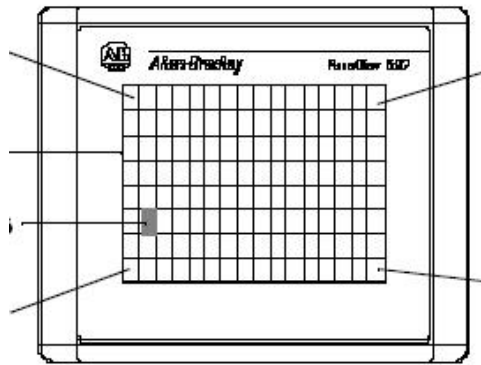


Figura #12: PanelView 600 Color

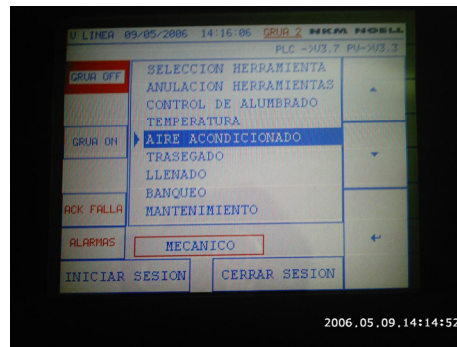


Figura #13: PanelView 600 Color implantado en las grúas cambiadoras de ándodos.

#### **5.4 Selección del módulo de radio control**

Para facilitar el traslado de las grúas de una sección a otra, se propone utilizar un módulo de comunicaciones inalámbrico.

Del gran conjunto de empresas que ofrecen productos de transmisión de datos inalámbricos se seleccionaron las siguientes:

##### **Empresa IKUSI:**

- Ikusi dispone de una gama de telemandos tan completa como variadas son las necesidades de sus clientes.
- Sus botoneras han sido diseñadas teniendo en cuenta las más estrictas normativas de seguridad, buscando la máxima ergonomía, con un amplio abanico de prestaciones y están pensados para facilitar y reducir al máximo los tiempos de asistencia.
- Los equipos de telemando con transmisor de botonera TM60 han sido especialmente diseñados para reemplazar a las botoneras de cable en máquinas de elevación.
- La ergonomía de su diseño y su bajo peso se traducen en un incremento de la seguridad, disminución de la fatiga y aumento de la productividad.
- Además, su probada robustez permite a las botoneras soportar ambientes severos tanto interiores como exteriores, lo que permite su utilización en aplicaciones industriales y de construcción.



*Figura #14: Productos ofrecidos por la empresa IKUSI<sup>7</sup>*

Ikusi [Telecontrol] cuenta con soluciones adaptadas a diferentes necesidades, desde equipos estándares de pocas órdenes, hasta sistemas personalizados de gran capacidad, pudiendo ser la transmisión de órdenes por radio o infrarrojos. Esta amplia gama de equipos permite su aplicación a gran número de máquinas de accionamiento eléctrico o electrohidráulico como grúas industriales, grúas de construcción, grúas sobre camión o camiones bomba de hormigón entre otras.

#### **Empresa HBCradiomatic:**

Según los requerimientos del proyecto me pueden servir los siguientes módulos:

- Un transmisor inalámbrico *Eco M*:
  - Posee un amplio rango de frecuencias de operación y modulación FSK.
  - Posee 16 salidas, una llave de on-off, y un botón giratorio de parada de emergencia.
  - Puede operar hasta 12 horas continuas, con una batería recargable de 6v DC.
  - Es ergonómico y posee un joystick, el cuál me facilita el desplazamiento del *Gantry* en las dos direcciones.
  - No se necesita de una antena externa para transmitir.

---

<sup>7</sup> Pie de foto. Tomado de la página del fabricante. <http://www.ikusi.com>

- Soporta temperaturas entre  $-25^{\circ}\text{C}$  hasta  $+70^{\circ}\text{C}$ , lo cuál lo hace ideal para ser implementado en Quinta Línea.
- Posee un led, ubicado en la mitad del módulo, cuya función es mostrar el estado de la batería del transmisor y el envío de datos.

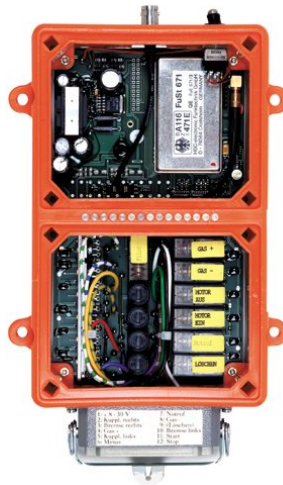


*Figura #15: Módulo transmisor Eco M<sup>8</sup>*

- Un módulo receptor FSE 808:
  - Puede recibir hasta 12 señales de entrada.
  - Posee una sensibilidad de recepción de señal RF, de 0.5mV.
  - Se puede instalar una antena externa. El fabricante recomienda una FL 30 o FL 70.
  - Se puede alimentar con tensión de 8-30 v DC.
  - Soporta temperatura hasta de  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$ .
  - Posee led´s que indican el estado del equipo.
  - Es de fácil instalación.

---

<sup>8</sup> Pie de foto. Tomado de la página del fabricante.  
[http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home\\_ie.htm](http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home_ie.htm)



*Figura #16: Módulo Receptor FSE 808<sup>9</sup>*

*Proceso de selección del módulo de control inalámbrico:*

Aunque ambas empresas ofrecen alternativas viables para implementar en este proyecto, se seleccionó la empresa *HBCradiomatic* debido a que ofrece más información acerca de sus productos (venden el transmisor y el receptor adecuado y garantizado por la empresa). Adicionalmente esta compañía posee confiabilidad y experiencia, demostrada a través de los años en los equipos instalados en el área de Quinta Línea.

---

<sup>9</sup> Pie de foto. Tomado de la página del fabricante.

## 5.5 Selección de interfaz de comunicación inalámbrica

Debido a que se desea eliminar los carretes, y el motor que mueve los carretes, se debe utilizar un sistema de comunicación inalámbrico, para obtener control entre el *Piloto* y el *Monitor*.

De múltiples módulos que ofrecen en el mercado, tales como los ofrecidos por la empresa *Industrial Interface Research Ltd*, se seleccionó el módulo RAD-ISM-900-BD de la empresa *PhoenixContact* debido a:

- Es un módulo bi-direccional. Podemos enviar datos del monitor al piloto y del piloto al monitor.
- Posee tarjetas de entrada y de salida expandibles.
- No requiere un software de programación.
- Es de fácil manejo e implementación.
- Se pueden trabajar hasta 33 señales analógicas o 66 señales discretas en una sola dirección.
- Se puede implementar diferentes tipos de antenas, en caso de que se requiera enviar datos a sitios remotos.
- Opera en rango de 902-928MHz, lo cuál no interfiere con otros módulos inalámbricos instalados en la planta.
- Los módulos son de fácil direccionamiento.
- Posee un orificio RSSI<sup>10</sup>, en el cuál se puede medir con un multímetro la potencia recibida y transmitida.
- Posee un rango de hasta 305 metros, sin utilizar una antena especial, lo cuál es óptimo para el caso de enlazar el *Piloto* con el *Monitor*, ya que la distancia entre ellos es de 21 metros.
- El módulo posee una potencia de transmisión de un Watt y una sensibilidad de recepción de -105 dBm, lo cuál lo hace óptimo para esta aplicación.

---

<sup>10</sup> Received Signal Strength Indicator

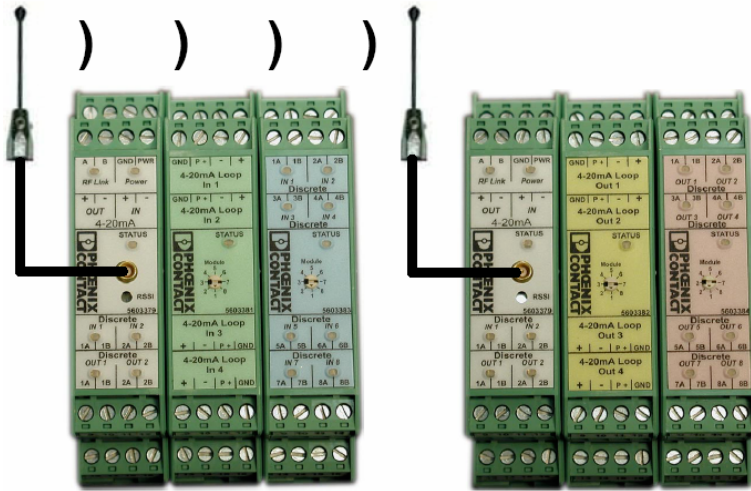
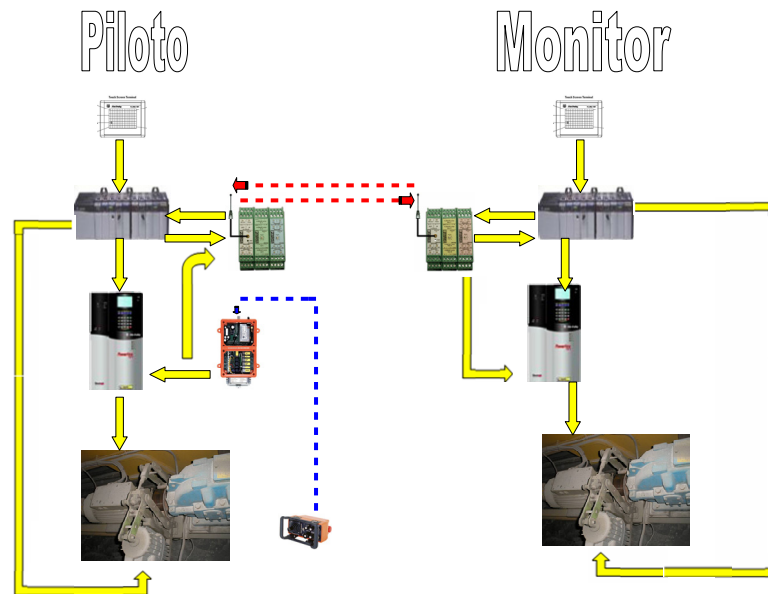


Figura #17: Módulo RAD-ISM-900\_BD<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Pie de foto. Tomado de la página del fabricante.  
[http://www.phoenixcontact.com/com/index\\_1024.htm](http://www.phoenixcontact.com/com/index_1024.htm)

## 5.6 Esquema completo del sistema a implementar



*Figura #18: Esquema del sistema completo*

En la figura anterior se muestran los buses de datos y sus respectivas direcciones del sistema completo. Nótese que la comunicación del módulo RAD-ISM es bidireccional, debido a que se requiere operar el *Monitor* desde el *Piloto*, y debe retornar (al *Piloto*) una señal que me detenga las dos estructuras (*Piloto* y *Monitor*) al mismo tiempo, cuando estén en la posición correcta.

El PLC tiene tres buses de datos de salida y dos de entrada. Los de salida hacen referencia a la activación del servomotor AC, la activación del variador (desde el PanelView), y las señales enviadas al *Monitor*, para acoplar las dos estructuras.

Según el esquema anterior el sistema se puede colocar en funcionamiento de dos formas, mediante el PanelView, y mediante el radio-control.

## **CAPÍTULO 6: DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC**

### **6.1 Entradas al variador de velocidad**

- Bastidor de potencia:

Alimentación trifásica de 460 voltios de la línea. Terminales R,S,T.

Resistencia dinámica. Terminales BR1 , BR2.

- Terminal Auxiliar:

Tensión auxiliar DC. Vd=750 Vdc

- Terminales de control:

Señal analógica de 4-20mA. Terminales 17 y 18.

Alimentación 24 Vdc. Terminal 24.

Señal de paro. Terminal 27.

Señal de arranque. Terminal 28.

Señal de cambio de sentido de giro. Terminal 29.

Señal referencia de velocidad 1. Terminal 30.

Señal referencia de velocidad 2. Terminal 31.

Señal referencia de velocidad 3. Terminal 32.

Como son dos variadores de velocidad (dos motores por variador), ubicados en el Piloto y Monitor, las entradas para cada variador son iguales.

### **6.2 Entradas PLC**

El Piloto cuenta con 35 entradas y 22 salidas.

El Monitor cuenta con 38 entradas y 21 salidas.

*Ubicación Piloto:*

<i>Descripción</i>	<i>Ubicación y Bit</i>
Termistor. Motor Piloto principal	Local:8:I.DATA.0
Termistor. Motor Piloto Auxiliar	Local:8:I.DATA.1
Termistor. Motor Monitor principal	Local:8:I.DATA.2
Termistor. Motor Monitor auxiliar	Local:8:I.DATA.3

Fusibles de alimentación principal	Entradas_breaker.Data.0
Breaker Termo-magnético 1F21	Entradas_breaker.Data.1
Breaker Termo-magnético 1F24	Entradas_breaker.Data.2
Breaker Termo-magnético 1F24A	Entradas_breaker.Data.3
NA. Activa la corneta cuando los motores se energizen	Entradas_breaker.Data.5
Breaker de transformador reductor de 4kVA. Primario.	Entradas_breaker.Data.6
Breaker de transformador reductor de 4kVA. Secundario	Entradas_breaker.Data.7
Breaker del convertidor AC/DC. i=3A	Entradas_breaker.Data.8
Breaker del convertidor AC/DC. i=3A	Entradas_breaker.Data.9
Breaker del convertidor AC/DC. i=3 <sup>a</sup>	Entradas_breaker.Data.10
Breaker del convertidor AC/DC. i= 4 A	Entradas_breaker.Data.11
Breaker convertidor AC/DC. I=3A.Para salidas de 24v	Entradas_breaker.Data.12
Breaker del transformador reductor. 250VA	Entradas_breaker.Data.13
Señal FSE piloto-monitor	Entradas_Principales.DATA.14
Entrada control inalámbrico para acoplar monitor y piloto	Entradas_Principales.DATA.17
Parada de emergencia	Entradas_Principales.DATA.18
Entrada Sensor de recorte 1	Entradas_Principales.DATA.19
Entrada del sensor de recorte2	Entradas_Principales.DATA.20
Señal FSE piloto	Entradas_Principales.DATA.21
Señal FSE monitor	Entradas_Principales.DATA.22
Interruptor de encendido de corneta manualmente	Entradas_Principales.DATA.24
Parada de emergencia	Entradas_Principales.DATA.25
Interruptor de inicio	Entradas_Principales.DATA.26
Parada del motor.Entrada de la botonera	Entradas_Principales.DATA.27
Inicio de mov. Desde el control inalámbrico	Entradas_Principales.DATA.28
Inicio de mov. desde panelView	panel_view.INICIO_DEL_MOTOR
Para el control manual NA	panel_view.TIPO_DE_CONTROL
Entrada del panel view	panel_view.PILOTO_MONITOR
Entrada del panel view	panel_view.PILOTO
Entrada del panel view	panel_view.MONITOR

Parada de emer. desde panel view	panel_view.PARADA_DE_EMERGENCIA
----------------------------------	---------------------------------

Tabla #3: Entradas PLC, ubicación Piloto

Ubicación Monitor:

<i>Descripción</i>	<i>Ubicación y Bit</i>
Selección v. media desde piloto	Local:8:I.DATA.4
Selección v. alta desde piloto	Local:8:I.DATA.5
Selección v. baja desde piloto	Local:8:I.DATA.6
Velocidad por defecto	Entradas_panel_view.SELECCION_DE_VELOCIDAD_1
Fusibles de alimentación principal	Entradas_breaker.Data.0
Breaker Termo-magnético 1F21	Entradas_breaker.Data.1
Breaker Termo-magnético 1F24	Entradas_breaker.Data.2
Breaker Termo-magnético 1F24A	Entradas_breaker.Data.3
Entrada del plug	Entradas_breaker.DATA.4
NA. Activa corneta cuando los motores se energizen	Entradas_breaker.Data.5
Breaker de transformador reductor 4kVA. Primario.	Entradas_breaker.Data.6
Breaker de transformador reductor 4kVA. Secundario	Entradas_breaker.Data.7
Breaker del convertidor AC/DC. I=3A	Entradas_breaker.Data.8
Breaker del convertidor AC/DC. I=3A	Entradas_breaker.Data.9
Breaker del convertidor AC/DC. I=3 <sup>a</sup>	Entradas_breaker.Data.10
Breaker del convertidor AC/DC. i= 4 A	Entradas_breaker.Data.11
Breaker convertidor AC/DC. I=3A.Para salidas de 24v	Entradas_breaker.Data.12
Breaker del transformador reductor. 250VA	Entradas_breaker.Data.13
Señal FSE pilotor-monitor	Entradas_Principales.DATA.14
Control manual desde piloto	Entradas_Principales.DATA.15
Inicio desde el piloto	Entradas_Principales.DATA.16
Me detiene el monitor desde piloto	Entradas_Principales.DATA.17
Parada de emergencia	Entradas_Principales.DATA.18

Entrada Sensor de recorte 1	Entradas_Principales.DATA.19
Entrada del sensor de recorte2	Entradas_Principales.DATA.20
Señal FSE piloto	Entradas_Principales.DATA.21
Señal FSE monitor	Entradas_Principales.DATA.22
Interruptor de encendido de corneta manualmente	Entradas_Principales.DATA.24
Parada de emergencia	Entradas_Principales.DATA.25
Interruptor de inicio	Entradas_Principales.DATA.26
Parada del motor.Entrada de la botonera	Entradas_Principales.DATA.27
Inicio de mov. desde el control inalámbrico	Entradas_Principales.DATA.28
Inicio de mov. desde panelView	panel_view.INICIO_DEL_MOTOR
Para el control manual NA	panel_view.TIPO_DE_CONTROL
Entrada del panel view	panel_view.PILOTO_MONITOR
Entrada del panel view	panel_view.PILOTO
Entrada del panel view	panel_view.MONITOR
Parada de emer. desde panel view	panel_view.PARADA_DE_EMERGENCIA

*Tabla #4: Entradas PLC, ubicación Monitor*

### 6.3 Salidas PLC

*Ubicación Piloto:*

<i>Descripción</i>	<i>Ubicación y Bit</i>
Indica que la CPU no se encuentra en modo run	Local:3:O.Data.0
Corneta	salida.DATA.0
Lámpara	salida.DATA.1
Me activa el contacto Parada de emergencia	salida.DATA.2
Me activa el servomotor AC	salida.DATA.3
Establece el control manual del monitor desde el piloto	salida.DATA.13
Me activa el módulo FSE	salida.DATA.15

Pulso al contactor inalam. Para enganchar moni con pilo	salida.DATA.16
Envia un pulso al contactor inalambrico para poner a funcionar el piloto	salida.DATA.17
Envia un pulso al contactor inalambrico para poner a funcionar el Monitor	salida.DATA.18
Salida enviada al RAD-ISM	salida.DATA.20
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.21
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.22
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.23
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.24
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.25
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.26
Parada del motor. A la terminal #27	salida.DATA.27
Va al terminal de control #28	salida.DATA.28
Selecciona la velocidad 1	salida.DATA.29
Selecciona la velocidad 2	salida.DATA.30
Selecciona la velocidad 3	salida.DATA.31

*Tabla #5: Salidas PLC, ubicación Piloto*

*Ubicación Monitor:*

<i>Descripción</i>	<i>Ubicación y Bit</i>
La activación indica que la CPU no se encuentra en modo run	Local:3:O.Data.0
Corneta	salida.DATA.0
Lámpara	salida.DATA.1
Me activa el contacto Parada de emergencia	salida.DATA.2
Me activa el sevomotor AC	salida.DATA.3
Me activa el módulo FSE	salida.DATA.15
Envia un pulso al contactor inalambrico para enganchar el monitor con el piloto	salida.DATA.16

Envia un pulso al contactor inalambrico para poner a funcionar el piloto	salida.DATA.17
Envia un pulso al contactor inalambrico para poner a funcionar el Monitor	salida.DATA.18
Salida enviada al RAD-ISM	salida.DATA.20
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.21
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.22
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.23
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.24
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.25
Señal enviada al RAD-ISM	salida.DATA.26
Parada del motor. A la terminal #27	salida.DATA.27
Va a la terminal de control #28	salida.DATA.28
Selecciona la velocidad 1	salida.DATA.29
Selecciona la velocidad 2	salida.DATA.30
Selecciona la velocidad 3	salida.DATA.31

*Tabla #6: Salidas PLC, ubicación Monitor*

## CAPÍTULO 7: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DINÁMICA

Cuando el rotor gira más rápido que la velocidad de sincronismo, el motor transforma la energía mecánica en energía eléctrica, y es transferida al motor o al variador. Este proceso se llama regeneración.

Para evitar que esta energía dañe el variador, se utiliza una resistencia de frenado dinámico cuya función es convertir la energía eléctrica en térmica.

Un freno dinámico consiste en un interruptor, unos dispositivos de control y una resistencia de frenado dinámico.

El interruptor es un IGBT, el cuál cuando se encuentra encendido (ON) eleva la tensión DC de bus y desvía la energía a la resistencia de frenado dinámico. Cuando esta apagado (OFF), aísla la resistencia del bus DC.

La tensión de control regula la tensión DC del bus durante el proceso de regeneración.

350 Vdc → 240 Vac

750 Vdc → 480 Vac

Datos técnicos de los motores:

Tamaño: 132M

Tipo= 1LA9 134-6KA70

P = 2,8kW

V<sub>est</sub>= 460V

$$\omega_b = 1200 \text{ RPM} = 2 \times \pi \times \frac{1200}{60} \text{ rad/s} = 125,6637 \text{ rad/s}$$

$$\omega_o = 0 \text{ RPM} = 2 \times \pi \times \frac{0}{60} \text{ rad/s} = 0 \text{ rad/s}$$

## Momento de inercia de los motores Siemens<sup>12</sup>,

Rated output	Size	Order No. Order No. supplement for voltage and type of construction, see table below	Operating data at rated output				Rated current at 460 V	Rated torque	Starting torque For direct-on-line starting as multiple of the rated torque	Starting current	Stalling torque	Torque class	Moment of inertia J	Weight
			Rated speed	Nominal efficiency	Power factor p.f.	Rated current								
HP			rpm	%		A	Nm		current	torque	KL	kg m <sup>2</sup>	kg	
Energy-saving motor according to EPACT, IP55 degree of protection, temperature class F												CC 032A		
1200 rpm, 6-pole, 60 Hz														
1	90 S	1LA9 090-6KA ..	1140	80.0	0.66	1.78	6.2	3.0	5.6	3.0	16	0.0033	16	
1.5	90 L	1LA9 096-6KA ..	1150	85.5	0.64	2.55	9.3	3.7	6.4	3.7	16	0.0050	19	
2	100 L	1LA9 106-6KA ..	1160	86.5	0.68	3.20	12	3.5	7.2	3.8	16	0.0065	25	
3	112 M	1LA9 113-6KA ..	1160	87.5	0.66	4.85	18	2.9	7.5	3.7	16	0.014	37	
5	132 M	1LA9 133-6KA ..	1160	87.5	0.77	6.90	31	3.0	7.9	3.6	16	0.025	49	
7.5	132 M	1LA9 134-6KA ..	1160	89.5	0.73	10.8	46	3.7	8.4	4.3	16	0.034	64	
10	160 M	1LA9 163-6KA ..	1165	89.5	0.70	15.0	61	2.4	6.4	2.8	16	0.063	98	
15	160 L	1LA9 166-6KA ..	1165	90.2	0.77	20.0	92	3.1	8.3	3.8	16	0.072	105	
20	180 L	1LA9 186-6WA ..	1175	90.2	0.75	27.5	121	2.2	7.1	2.8	16	0.19	144	
25	200 L	1LA9 206-6WA ..	1175	91.7	0.75	34.0	152	2.8	7.1	2.8	16	0.28	183	
30		1LA9 207-6WA ..	1175	91.7	0.75	41.0	182	2.8	7.2	2.8	16	0.36	214	

Tabla #7: Datos técnicos motor Siemens instalado en el Gantry

De la tabla anterior, se obtiene el momento de inercia del motor:

$$J_m = 0,034 \text{ [Kgm}^2\text{]} \text{ por motor.}$$

Ya que necesitamos calcular el momento de inercia de la carga, pero el rotor se encuentra acoplado a un reductor mecánico, entonces el momento de inercia de la carga es el momento de inercia del reductor mecánico más el momento de inercia de la estructura referenciado al motor.

El reductor es un elemento mecánico, compuesto por engranajes. Su función es disminuir la velocidad a cambio de obtener ganancia en el torque de salida.

En el *Gantry* hay un reductor por cada motor (4 reductores), los datos técnicos son los siguientes:

Fabricante: Thyssen

Tipo de reductor: KDH 160

K= Unidad de caja reductora de ataque helicoidal

D= reducción cuádruple (cuatro etapas).

H= con pie (apoyado en una base), con rotor hueco.

<sup>12</sup> Tabla tomada de la página del fabricante del motor. [www.siemens.com](http://www.siemens.com)

160: Hace referencia al tamaño del reductor.

$i_N = 160 \rightarrow$  Relación de Transmisión

$n_1 = 1098 \text{ min}^{-1}$   $n_2 = 7 \text{ min}^{-1}$   $P_m = 3,8 \text{ kW}$

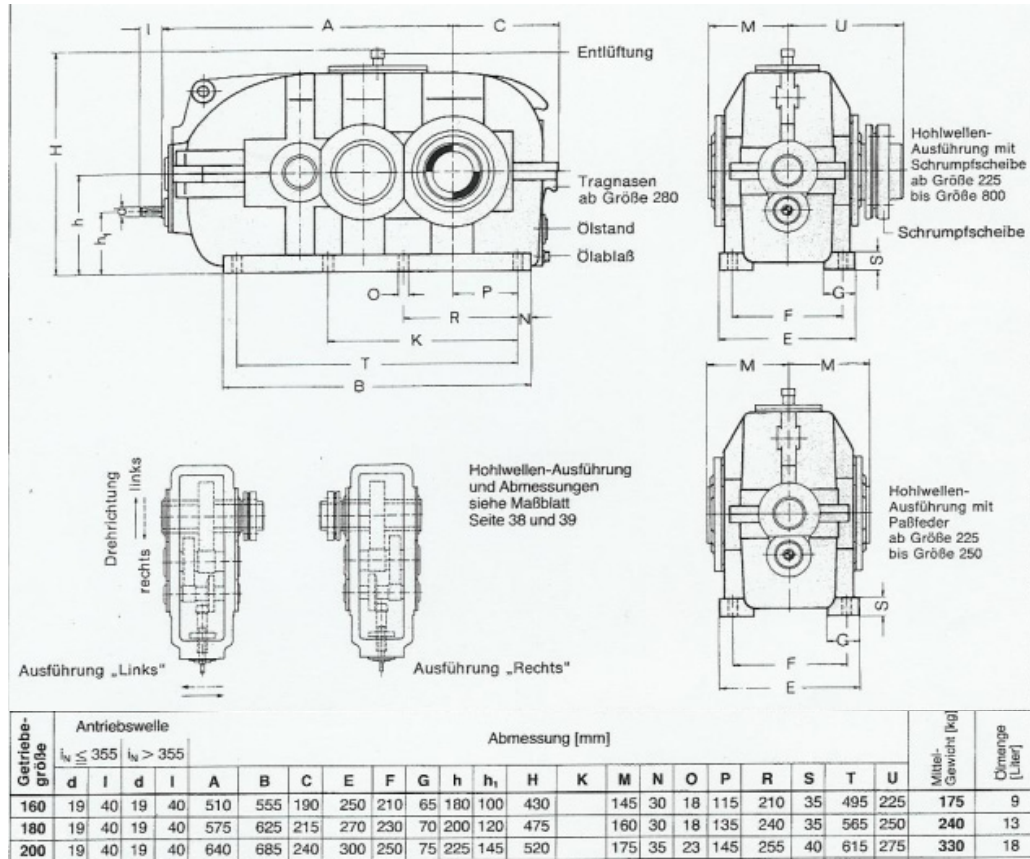


Figura #19: Reductor tipo KDH 160

Bauart KDN/KDH/KDA

Getriebe- größe	Übersetzung																	
	100	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710
160	0,0010	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
180	0,0013	0,001	0,0009	0,0010	0,0008	0,0009	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
200	0,0018	0,0014	0,0012	0,0013	0,001	0,0011	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003
225	0,0032	0,0026	0,0023	0,0023	0,0018	0,0020	0,0016	0,0011	0,001	0,0010	0,0009	0,0005	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0006	0,0006
250	0,0057	0,0045	0,004	0,0040	0,0033	0,0035	0,0028	0,0020	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0012	0,0010	0,0008
280	0,0108	0,0081	0,0071	0,0078	0,0058	0,0068	0,0049	0,0034	0,0031	0,0029	0,0028	0,0026	0,0025	0,0025	0,0025	0,0021	0,0017	0,0016
315	0,0186	0,0143	0,0126	0,0133	0,0102	0,0113	0,0086	0,0061	0,0056	0,0053	0,0050	0,0048	0,0046	0,0046	0,0045	0,0036	0,0030	0,0030
355	0,0324	0,0252	0,0222	0,0229	0,0177	0,0193	0,0149	0,0105	0,0097	0,0090	0,0085	0,0082	0,0078	0,0078	0,0076	0,0061	0,0052	0,0051
400	0,0585	0,0440	0,0389	0,0403	0,0312	0,0342	0,0264	0,0189	0,0176	0,0165	0,0156	0,0150	0,0144	0,0144	0,014	0,0113	0,0095	0,0093
450	0,1012	0,0789	0,0698	0,0719	0,0559	0,0608	0,0472	0,0335	0,0311	0,0291	0,0275	0,0263	0,0252	0,0252	0,0245	0,0212	0,0173	0,0170
500	0,2068	0,1639	0,1397	0,123	0,1231	0,0981	0,0820	0,0752	0,0577	0,0533	0,0498	0,0471	0,0449	0,043	0,0418	0,0343	0,0291	0,0285
560	0,3676	0,2900	0,2476	0,2183	0,2212	0,1747	0,1452	0,1333	0,1047	0,097	0,0908	0,086	0,0822	0,0789	0,0768	0,0624	0,0522	0,0510
630	0,6905	0,5487	0,4647	0,4059	0,4010	0,3208	0,2663	0,2423	0,1889	0,1736	0,1615	0,1522	0,1448	0,1391	0,1344	0,1091	0,0921	0,0898
710	1,2745	1,0103	0,8575	0,7405	0,7243	0,5772	0,4772	0,4313	0,3359	0,3065	0,2837	0,2653	0,2512	0,2393	0,2314	0,1882	0,1594	0,1550
800	2,2789	1,8094	1,5127	1,3039	1,2629	1,0094	0,8338	0,7515	0,5865	0,5339	0,4918	0,4583	0,4326	0,4128	0,3991	0,3287	0,2752	0,2675

Tabla #8: Momento de Inercia del reductor<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Grobe: Es el tamaño del reductor.

De la tabla anterior se obtiene el momento de inercia del reductor mecánico,

$$J_R = 0,0007 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

$$m = 100000 \text{ [Kg]}$$

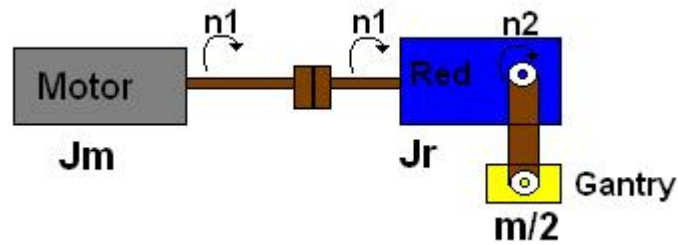


Figura #20: Modelo del sistema Gantry con la mitad de la estructura

$$J_{1m} = J_m + \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2 \times \left[ J_R + \left( \frac{m}{2} \right) \times r^2 \right]$$

$$= 0,034 + (0,006375)^2 \times [0,0007 + (50000)(0,115)^2] = 0,060875 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

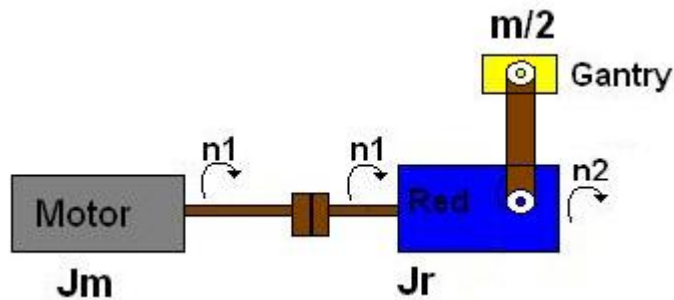


Figura #21: Modelo del sistema Gantry con la mitad de la estructura

---

Übersetzung: Es la relación de transmisión ( $i_N$ )

$$J_{2m} = J_m + \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2 \times \left[ J_R + \left( \frac{m}{2} \right) \times r^2 \right]$$

$$= 0,060875 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

Tiempo de desaceleración ( $t_s$ )= 1,32 seg.

Periodo (T)= 50 seg.

Potencia de frenado ( $P_b$ )

$$P_{b1} = J_T \times \frac{[W_b \times (W_b - W_o)]}{t_s} =$$

$$0,060875 \times \frac{[125,6637 \times (125,6637 - 0)]}{1,32} = 728,25706 \text{ Watts}$$

$P_{b2} = 728,25706 \text{ Watts}$

$P_b = P_{b1} + P_{b2} = 1456,5141 \text{ W}$

Potencia promedio de frenado ( $P_{av}$ )

$$P_{av} = \left[ \frac{t_s}{T} \right] \times \frac{P_b}{2} \times \left[ \frac{W_b + W_o}{W_b} \right] = \left( \frac{1,32}{50} \right) \times \left( \frac{1456,5141}{2} \right) \times 1 = 19,2259 \text{ Watts}$$

Debido a que no se pudo contar con las curvas del variador de velocidad, se usa una resistencia externa, por seguridad del variador PowerFlex 700.

La resistencia de frenado dinámica externa será:

$$R_{db1} = \frac{[0,9 \times (V_d)^2]}{P_b} = \frac{0,9 \times (750)^2}{1456,5141} = 347,5764 \Omega.$$

Entre más rápido se desacelere los motores, la resistencia dinámica debe disipar más potencia. Para este caso la potencia máxima que puede disipar la resistencia es de 1456,5141 W.

Resistor Selection for 480V AC Drives					
Ohms	Watts	Catalog Number	Ohms	Watts	Catalog Number
615	242	442-1	128	874	442-6A
615	404	445-1A	128	1162	442-6
615	602	440-1A	128	1951	445-6A
615	605	445-1	128	2906	445-6
615	915	440-1	128	2912	440-6A
615	180	442-1A	128	4395	440-6
439	254	442-2A	81	4629	440-7A
439	339	442-2	81	6944	440-7
439	568	445-2A	81	4592	445-7
439	847	445-2	81	1837	442-7
439	848	440-2A	81	1389	442-7A
439	1281	440-2	81	3102	445-7A
342	329	442-3A	56	6702	440-8A
342	1645	440-3	56	2010	442-8A
342	1096	440-3A	56	10045	440-8
342	1088	445-3	56	6642	445-8
342	435	442-3	56	4490	445-8A
342	734	445-3A	56	2657	442-8
237	473	442-4A	44	3381	442-9
237	628	442-4	44	5720	445-9A
237	1057	445-4A	44	8454	445-9
237	1570	445-4	44	8537	440-9A
237	1577	440-4A	44	12784	440-9
237	2373	440-4	44	2561	442-9A
181	2068	440-5A	29	5130	442-10
181	2055	445-5	29	8487	445-10A
181	620	442-5A	29	12667	440-10A
181	822	442-5	29	12826	445-10
181	3108	440-5	29	19396	440-10
181	1385	445-5A	29	3800	442-10A

*Tabla #9: Resistencia dinámica seleccionada*

Según la tabla anterior, suministrada por el fabricante Allen Bradley, la resistencia adecuada es de 342  $\Omega$ , la potencia máxima disipada es de 1645 W, y el número de catálogo es 440-3.

## **CAPÍTULO 8: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL VARIADOR DESDE EL HMI (LCD)**

Ya que el variador de velocidad PowerFlex 700, posee una pantalla LCD versátil y de fácil acceso, se puede configurar con gran facilidad la operación del variador para controlar los motores del *Gantry*.

Desde el LCD se configuran los parámetros más importantes para poner en marcha el variador y los demás quedan el valor por defecto.

Para colocar en funcionamiento tenemos los siguientes modos de operación:

### **8.1 SMART**

En este modo el variador pregunta:

- Ingrese la unidades de velocidad: **Hz** ó RPM
- Introduzca los valores para seleccionar la entrada digital.
- Ingrese el modo de paro:
  - Inercia
  - **Rampa**
    - Ajuste los límites de velocidad(Vel.Mín.=0 y Vel.Max=50)
    - Tiempo de aceleración (5 seg.)
    - Tiempo de Desaceleración (1,3 seg.)
    - Seleccione ref. de Vel A ( Ent. Analógica 1)
    - Amps. Placamotor(12 A)
    - Hz sobre carga motor (20 Hz)
    - Factor sobre carga motor (1)
  - Rampa y retroceso
  - Frenado CC

## 8.2 Rápido

En este modo el variador pregunta:

- Control de motor
  - Vectorial S
  - **V/Hz**
  - FVC(Velocidad estrecha)
  - Mas información
  
- Dato Motor/Rampa
  - Unidades de potencia( HP ó **kW**)
  - Potencia de placa = 2.8kW
  - Amp. de la placa = 12 A
  - Voltaje Placa = 460 V
  - Hz Placa = 60 Hz
  - RPM Placa Motor = 1200 RPM
  - Polos del motor = 6
  - Tiempo de aceleración = 5 seg.
  - Tiempo de desaceleración = 1,3 seg.
  
- Pruebas del motor
  - Entradas digitales
    - Prueba de dirección
    - Auto ajuste<sup>14</sup>
    - Prueba de inercia<sup>20</sup>
    - Listo
  - HMI Pto 1 Local
  - HMI remoto

---

<sup>14</sup> Si se ajusta el control V/Hz este no requiere pruebas

- Límites de velocidad
  - Velocidad Máxima: 50 Hz
  - Velocidad Mínima: 0 Hz
- Control velocidad/Torque
 

Seleccione una fuente de referencia:

  - Entrada analógica
 

Introduzca la señal de entrada:

    - Entrada analógica 1: (**Tensión** ó Corriente)
    - Entrada analógica 2: (**Tensión** ó Corriente)
  - HMI Pto 1 Local
- Marcha y paro E/S
  - Se requiere invertir el giro desde una entrada digital (**sí** o no)
  - Introduzca el modo de control (**Trifilar** o Bifilar)
- Salir

### 8.3 Detallado

Se recomienda utilizar este modo, ya que se puede obtener una configuración más detallada para controlar el motor.

- Control del motor
  - Vectorial S
  - **V/Hz**
    - Definir curva (**Si** o no)
      - Ingresar selección Paro (H o **IH**)
      - Refuerzo de marcha = 5.1 VAC
      - Ref. arranque/Aceleración = 5.1 VAC
      - Tensión de Ruptura = 115 VAC
      - Frecuencia de Ruptura = 15 Hz
      - Tensión Máxima = 460 VAC
  - FVC
  - Mas información

- Datos del motor/Rampa
  - Unidades (HP o **kW**)
  - Potencia de placa = 2,8 kW
  - Amp. de placa = 12 A
  - Voltaje de placa = 460 V
  - Hz de placa = 60 Hz
  - RPM de placa = 1200 RPM
  - Polos = 6
  - Ingrese el modo de paro
    - Inercia
      - Tiempo de aceleración = 5 seg.
      - % Curva-S = 10 %
    - **Rampa**
      - Tipo de sistema de frenado ( Interno o **Externo**)
      - Tiempo de aceleración = 5 seg.
      - Tiempo de desaceleración = 1,3 seg.
      - % Curva-S = 10 %
    - Rampa y retroceso
    - Frenado CC
- Pruebas del motor
- Límites de velocidad
  - Veloc. Máx = 50 HZ
  - Veloc. Mín = 0 HZ
- Control Vel./Torque
  - Entrada Analógica
  - Veloc. Preseleccionada 1 = 5 Hz
  - Entrada digitales
    - Veloc. Pres. 1: 5 Hz
    - Veloc. Pres. 2: 10 Hz
    - Veloc. Pres. 3: 20 Hz

- Veloc. Pres. 4: 30 Hz
    - Veloc. Pres. 5: 40 Hz
    - Veloc. Pres. 6: 45 Hz
    - Veloc. Pres. 7: 50 Hz
  - Módulo de comunicaciones
    - Pto 5: Interno
    - Pto 2: Externo
    - Pto 3: Externo
    - Pto 4: Externo
  - HMI Pto 1
  - HMI remoto
- Marcha y Paro E/S
  - Fuente de inicio
    - **Entrada digital**
      - **Configuración Sencilla**
        - Se requiere inv. De giro motor:
          - **Si**
            - **Trifilar**
            - Bifilar
          - No
        - Configuración Personalizada
          - Solo HIM/DPI
    - Entrada digital
    - Salida digital
    - Salida analógica
    - Listo
- Aplicación
  - Arranque /Marcha
    - Habilitar arranque sobre la marcha:

- Si
  - Ganancia arranque mov.=4000
- No
  - Arranque Auto
  - Listo
- Salir

Los Parámetros a configurar se resumen en la siguiente tabla:

#	Parameter N...	Value	Units	Internal Va...	Default	Min	Max
40	Tipo de motor	Inducción		0	Inducción	Inducción	Sincr. PM
41	Volt placa motor	460.0	VAC	4600	460.0	0.0	690.0
42	Amps placa motor	12.0	Amps	120	8.0	0.0	3200.0
43	Hz placa motor	60.0	Hz	600	60.0	5.0	24000.0
44	RPM placa motor	1200.0	RPM	12000	1750.0	60.0	25200.0
45	Pot. placa motor	2.80		280	0.00	0.00	1000.00
46	Unid. pot. mtr.	kW		1	HP	HP	Convertir kW
47	Hz sobrcrg. mtr.	0.0	Hz	0	0.0	0.0	24000.0
48	Fac. sbrcg. Mtr.	1.00		100	1.00	0.20	2.00
49	Polos motor	6		6	4	2	40
53	Modo rend. par	V/Hz person.		2	Vect sin enc	Vect sin enc	FVC Vector
54	Tensión máxima	460.0	VAC	4600	460.0	60.0	690.0
55	Frecuencia máx.	60.0	Hz	600	130.0	5.0	25200.0
56	Compensación	000000000000...		3	0000000000...	000000000000...	00000000000000...
57	Mdo. magnetizac.	Automático		1	Manual	Manual	Automático
58	Tmpo. magnetizac	0.654	Secs	654	0.000	0.000	5.000
59	Filtr refuerz SV	500		500	500	0	32767
61	Autoajuste	Preparado		0	Calcular	Preparado	Calcular
62	Caída Volts IR	17.6	VAC	176	20.0	0.0	690.0
63	Ref. Intens fluj	18.50	Amps	1850	26.00	0.10	32000.00
64	Caída tens Induc	113.3	VAC	1133	0.0	0.0	690.0
66	Autoaj Par	50.0	%	500	50.0	0.0	150.0
67	Autoaj inercia	Listo		0	Listo	Listo	Ajuste Inerc
69	Rfz arranq/accel	3.0	VAC	30	5.0	0.0	115.0
70	Refuerzo marcha	2.0	VAC	20	5.0	0.0	115.0
71	Tens. ruptura	200.0	VAC	2000	115.0	0.0	690.0
72	Frec. ruptura	25.0	Hz	250	15.0	0.0	24000.0
79	Unid. Veloc.	Hz		0	Hz	Hz	Convert RPM
80	Modo velocidad	Lazo abierto		0	Lazo abierto	Lazo abierto	Simulador
81	Veloc. mínima	0.0		0	0.0	0.0	24000.0
82	Veloc. máxima	50.0		500	60.0	5.0	24000.0
83	Lím. sobreveloc.	10.0		100	10.0	0.0	1200.0
84	Frec. salto 1	0.0		0	0.0	-24000.0	24000.0
85	Frec. salto 2	0.0		0	0.0	-24000.0	24000.0
86	Frec. salto 3	0.0		0	0.0	-24000.0	24000.0
87	Int. frec. salto	0.0		0	0.0	0.0	1800.0
88	Speed/Torque Mod	Reg Veloc		1	Reg Veloc	Par Tors Cer	Absoluto
90	Sel. ref. vel. A	Vel. presel1		11	Ent. anlg. 2	Ent. anlg. 1	Bloq esc 4

100	Veloc. Impuls 1	10.0		100	10.0	-24000.0	24000.0
101	Veloc. presel. 1	5.0		50	5.0	-24000.0	24000.0
102	Veloc. presel. 2	10.0		100	10.0	-24000.0	24000.0
103	Veloc. presel. 3	20.0		200	20.0	-24000.0	24000.0
104	Veloc. presel. 4	30.0		300	30.0	-24000.0	24000.0
105	Veloc. presel. 5	40.0		400	40.0	-24000.0	24000.0
106	Veloc. presel. 6	50.0		500	50.0	-24000.0	24000.0
107	Veloc. presel. 7	60.0		600	60.0	-24000.0	24000.0
140	Tiempo acel. 1	5.0	Secs	50	10.0	0.0	3600.0
141	Tiempo acel. 2	3.0	Secs	30	10.0	0.0	3600.0
142	Tiempo decel. 1	1.3	Secs	13	10.0	0.0	3600.0
143	Tiempo decel. 2	3.0	Secs	30	10.0	0.0	3600.0
155	Modo Paro/Fren A	Rampa		1	Rampa	Inercia	Frenado CC
163	Tip resist freno	Res. Externa		1	Ninguna	Res. Interna	Ninguna
320	Config. ent anlg	000000000000...		1	0000000000...	000000000000...	00000000000000...
321	Raz cuad en anlg	000000000000...		0	0000000000...	000000000000...	00000000000000...
322	Lm sup en anlg 1	10.000		10000	10.000	-10.000	20.000
323	Lm inf en anlg 1	4.000		4000	0.000	-10.000	20.000
324	Pérd. en anlg 1	Deshabilit.		0	Deshabilit.	Deshabilit.	Ret. Frccsl.
325	Lm sup en anlg 2	10.000		10000	10.000	-10.000	20.000
326	Lm inf en anlg 2	0.000		0	0.000	-10.000	20.000
327	Pérd. en anlg 2	Deshabilit.		0	Deshabilit.	Deshabilit.	Ret. Frccsl.
340	Config. sal anlg	000000000000...		1	0000000000...	000000000000...	00000000000000...
341	Val abs sal anlg	000000000000...		1	0000000000...	000000000000...	00000000000000...
342	Sel. sl anlg 1	Frec. salida		0	Frec. salida	Frec. salida	Cont parám
343	Lm sup sl anlg 1	10.0		100	10.0	-10.0	20.0
344	Lm inf sl anlg 1	0.0		0	0.0	-10.0	20.0
345	Sel. sl anlg 2	Frec. salida		0	Frec. salida	Frec. salida	Cont parám
346	Lm sup sl anlg 2	10.0		100	10.0	-10.0	20.0
347	Lm inf sl anlg 2	0.0		0	0.0	-10.0	20.0
354	Esc Sal Anlg 1	0.0		0	0.0	0.0	800.0
355	Esc Sal Anlg 2	0.0		0	0.0	0.0	800.0
361	Sel. ent digit 1	Paro - BF		4	Paro - BF	No se usa	Parad rápida
362	Sel. ent digit 2	Arranque		5	Arranque	No se usa	Parad rápida
363	Sel. ent digit 3	Avance/retr		6	Auto/Manual	No se usa	Parad rápida
364	Sel. ent digit 4	Sel. vel. 1		15	Sel. vel. 1	No se usa	Parad rápida
365	Sel. ent digit 5	Sel. vel. 2		16	Sel. vel. 2	No se usa	Parad rápida
366	Sel. ent digit 6	Sel. vel. 3		17	Sel. vel. 3	No se usa	Parad rápida

Tabla #10: Lista de parámetros a configurar en el variador de velocidad

## **CAPÍTULO 9: ESQUEMA DE MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA GANTRY PROPUESTO A IMPLEMENTAR**

El sistema Gantry consta de diferentes elementos, los cuales fueron descritos en el contenido del trabajo realizado. Cada elemento o parte cuenta con su respectivo manual de usuario, suministrado por el fabricante, el cual describe clara y detalladamente la operación de cada módulo por separado y que rutina se debe seguir en caso de falla.

Ahora se busca dar una pequeña inducción del trabajo realizado por completo y comparar con lo actualmente implementado en planta, justificando las ventajas de la realización del proyecto.

### **Manejo del sistema (Puesta en marcha)**

El *Gantry* está diseñado para operar el *Piloto* y *Monitor* por separado, pero la opción por defecto es que funcionen las dos estructuras en sincronismo, y llegado el caso extremo de que no hubiese una correcta alineación de los rieles, se diseñó la opción de operar separadamente las dos estructuras; desde el radio control o desde el PanelView.

Hay dos formas de operar el sistema:

1. Mediante el radio control.(Opción por defecto)
2. Mediante el PanelView.

#### *1. Mediante el radio control.*

En el radio control hay un interruptor de tres posiciones. La primera posición representa la opción de movimiento del *Gantry Piloto* y *Gantry Monitor* al mismo tiempo, la segunda posición, mueve el *Gantry Piloto* (únicamente), y la tercera el *Gantry monitor*.

Anteriormente se requería de dos operadores para poner en funcionamiento el sistema, ahora se redujo a la mitad.

Desde el radio control se tiene dominio de velocidad y frenado de las dos estructuras. El joystick, es un potenciómetro variable, que me permite mover el *Gantry* a la velocidad que se desee (fijada en el variador), y cambiar el sentido de giro de los motores, invirtiendo la dirección del joystick. Cuando este se encuentre referenciado a la mitad, en otras palabras se encuentre "libre", los motores se detendrán por una rampa de desaceleración de 1,3 segundos, y cuando lleguen a una velocidad mínima determinada se activará el servomotor AC, utilizado para el frenado.

El radio control posee una parada brusca de emergencia, que me desenergiza el sistema en su totalidad. También posee una llave, la cuál coloca en funcionamiento el sistema.

En las vigas de Quinta Línea se encuentran ubicados sensores de recorte, cuya finalidad es detener el Gantry sin necesidad de que el operador lo frene mediante la parada de emergencia o mediante la liberación del potenciómetro. El sistema anterior posee, la desventaja de que no hay una buena alineación de rieles, y por tanto los operadores cuadran las estructuras usando su campo visual, y confiando de su habilidad.

## *2. Mediante el PanelView.*

La otra manera secundaria de operar el *Gantry*, es por medio del PanelView<sup>15</sup>. En este, debemos seguir los siguientes procedimientos para tener una

---

<sup>15</sup> El PanelView es el "cerebro" del sistema ya que el me determina como voy a controlar las estructuras, por ejemplo, si quiero controlar desde el panel o desde el radio control; sin embargo la opción por defecto, como ya se había mencionado antes, es que se controle primariamente desde el radio control.

configuración óptima. Los pasos son sencillos y enunciados en los siguientes puntos:

1. En la pantalla principal o screen principal debemos seleccionar el tipo de control. Hay dos opciones Manual o Inalámbrico. El valor por defecto es Inalámbrico (para operar desde el control remoto como se mencionó anteriormente), sin embargo por cuestiones de seguridad, también se puede utilizar el botón freno del Panel aunque se esté operando desde el radio control.
2. Seleccionamos la referencia de velocidad. Hay tres opciones, velocidad baja, media y alta. Por defecto se encuentra la velocidad baja.
3. Elegir cuál estructura se requiere mover. Dentro de las opciones tenemos, *Piloto y Monitor, Piloto o Monitor*. El valor por defecto es *Piloto y Monitor*.
4. Revisar la pantalla de las alarmas. Para evitar cualquier posible falla, siempre se debe revisar el estado anterior de *Gantry*.
5. Oprimir el botón inicio. En esta pantalla se selecciona primero que todo el sentido de giro de los motores. Hay dos opciones adelante (movimiento hacia el sur), y atrás (movimiento hacia norte). Se puede chequear la velocidad en un medidor analógico en el lado derecho de la pantalla.
6. Por último se oprime el botón de encender. El *Gantry* se detendrá solo, sin embargo en caso de una emergencia posee la opción de frenar los motores, e incluso si esto no funciona se recurre a la brusca parada de emergencia, la cuál corta la alimentación de los cuatro motores.

Una de las grandes ventajas con respecto al sistema actual instalado en la planta es la manera rápida de detectar una posible falla en el sistema. Con el sistema actual no se puede detectar muy fácilmente e incluso para programar algún tipo de mantenimiento era algo complicado, debido a que el sistema es inestable y la electrónica utilizada, se encuentra desactualizada. Con la

pantalla de las alarmas se puede actuar rápidamente, evitando cualquier retraso que afecte el proceso de producción.

## RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- Es importante tener en cuenta que la tecnología avanza a pasos de gigante, y que en un futuro hay que buscar una mejora del diseño realizado, por ejemplo, como alternativa se podría plantear un sistema de comunicaciones basado completamente en el protocolo EtherNet, de manera que pueda supervisar todo el *Gantry* desde una estación remota (una oficina, fuera de la planta), e implementar buses de datos inalámbricos, que cuenten con dicho protocolo, evitando consigo las pérdidas de información por cableado, y las posibles fallas del mismo sistema por contaminación de alúmina, todo apuntando a que el manteniendo se haga cada vez más sencillo, aumentando la efectividad del sistema como tal, y por tanto la producción de aluminio, ya que el *Gantry* y las grúas, son un factor directamente proporcional que afectan el desarrollo de la empresa. No se implementó esta alternativa ya que requería de un software adicional y más tiempo para programar este tipo de aplicación.
- Se recomienda redibujar los planos eléctricos propuestos y anexados en el presente trabajo, por medio de una herramienta, tal como AutoCad utilizado por los dibujantes.
- Realizar el cableado sugerido por el fabricante (en este caso por Allen Bradley), para evitar posibles fallas por impedancia y el daño del mismo.

## CONCLUSIONES

- El sistema *Gantry* diseñado cuenta con las siguientes ventajas con respecto al sistema implantado:
  - Se espera simplificar la operación, ya que con el diseño se reduce el funcionamiento del sistema de dos a un operario.
  - Con el diseño se espera poder diagnosticar fallas con facilidad, visualizadas en el HMI. Actualmente es muy complicado encontrar y corregir posibles fallas, debido a la difícil consecución de repuestos, ya que la tecnología actualmente implantada está obsoleta.
  - El sistema se puede operar de dos formas, por radio control y por el *PanelView*. Actualmente se opera por medio de una botonera enviando la señal a través de cables, los cuales pueden generar posibles fallas debido al deterioro que sufren estos por la contaminación de alúmina, causando pérdidas de información y por tanto mal funcionamiento del sistema.
  - El sistema actual es inestable y la electrónica utilizada se encuentra desactualizada, esto genera pérdidas en la producción. Con el nuevo diseño se espera corregir este problema, ya que los variadores de velocidad y PLC AB dan alta confiabilidad para aplicaciones industriales de este tipo. Eso lo han demostrado en los equipos AB instalados en las grúas de V Línea.
- El variador de velocidad es uno de los elementos de mayor importancia a considerar en el diseño propuesto, ya que este realiza el proceso de control de velocidad de los motores de inducción. Para la selección se tuvo en cuenta tres empresas que fabrican variadores: *ABB*, *AB* y *Siemens*. Con cualquier equipo de las tres compañías se puede contar ya que poseen tecnología de punta acerca del control de motores, suministrando una gran variedad de funciones, de acuerdo a la aplicación a desarrollar. Se

seleccionó la empresa AB, ya que cuenta con protocolos de comunicaciones industriales tales como *DeviceNet*, *ControlNet*, *EtherNet*. Este es un criterio importante a tener en cuenta, ya que otros dispositivos vigentes en el mercado tales como PLC's, adaptadores de FO etc., cuentan con estos protocolos de comunicaciones. Hoy en día hay dos grandes vertientes en la parte de comunicaciones industriales. Estos son *ProfiBus* y *EtherNet*. La primera es propia de la empresa *Siemens* y la segunda de AB. Esta última posee un HMI de fácil manejo y opciones de configuración del variador por medio de software, tal como el programa *DriveExecute*. Por medio de este programa y de un protocolo de comunicaciones tales como *ControlNet* o *EtherNet*, se puede tener acceso a la configuración y colocar en funcionamiento el variador, ya sea de forma local o remota. Esta opción me pareció muy importante ya que se puede tener acceso al variador, evaluar su estado actual, sus fallas, cambiar la configuración desde cualquier parte del mundo, simplemente teniendo acceso a una red pública (tal como Internet) o a una red local.

- Para evitar el sobrecalentamiento de los variadores y fallas o averías en los motores, se planteó el uso de una resistencia de frenado dinámico externa. El variador AB posee una resistencia interna de frenado dinámico, cuya función es disipar la potencia en forma de calor, ya que cuando el rotor gira más rápido que la velocidad de sincronismo, el motor transforma la energía mecánica en energía eléctrica transferida al eje del motor. Esta energía puede ser regresada al variador. Este proceso es llamado regeneración. Una solución efectiva a este problema, es usar una resistencia, la cuál me transforma la energía eléctrica a energía térmica. Este proceso es llamado frenado dinámico.

No se pudo tener información completa de las gráficas del variador para determinar si la resistencia interna soporta una potencia máxima de 1456,5141 W. Debido a eso, se optó, por seguridad, agregar una

resistencia externa de frenado dinámico la cuál se calculó en el capítulo 8. El criterio de selección se basó en la potencia que se requiere disipar.

- El PLC es otro de los elementos fundamentales del diseño. En el mercado existen múltiples empresas que ofrecen soluciones a distintos problemas a nivel industrial. Las empresas que se tuvieron en cuenta fueron *Siemens* y *AB*. La más conocida es *Siemens* y utiliza el protocolo de comunicaciones *ProfiBus*. Como el variador seleccionado no utiliza este protocolo, entonces se optó por el PLC de la compañía *AB*, teniendo en cuenta el número de entradas y salidas que se maneja y la gran variedad de módulos que se pueden adicionar tales como *HSC (High Speed Counter)*, módulo de comunicaciones tales como *DeviceNet*, *ControlNet*, *EtherNet* y demás. Adicionalmente la experiencia en el área de *Quinta Línea* con esta empresa afianza la confiabilidad y robustez del PLC. Al igual como se planteó con el variador de velocidad, el protocolo *EtherNet* brinda acceso remoto al PLC. Por ejemplo, teniendo acceso a Internet se puede diagnosticar fallas, el estado actual del PLC, cambiar su configuración, tener acceso a sensores y demás dispositivos conectado a este tipo de red.
- Se planteó una propuesta de diseño para la modernización del sistema de grúas de transferencia (*Gantry*), que cumpliera con los requerimientos fijados anteriormente, teniendo en cuenta la tecnología actual que se está utilizando, las especificaciones técnicas de los fabricantes y la seguridad del recurso humano.
- Se seleccionaron los componentes adecuados para el desarrollo del diseño, apoyado en las especificaciones técnicas brindadas por los respectivos fabricantes y soportado en la experiencia de los ingenieros del *Área de Quinta Línea* de CVC VENALUM.
- Se realizó una inspección minuciosa del *Área de Quinta Línea* y de la estructura del *Gantry*, cuya finalidad era buscar y encontrar posibles fallas; y también buscar nuevas alternativas de control del sistema, tales como la sustitución del carrete, tener control del sistema completo desde el

PanelView, la inclusión de un sistema inalámbrico de control y demás alternativas.

- Se elaboró un manual de puesta en funcionamiento del sistema, y adicionalmente cuando se implemente el sistema, se contará con los respectivos manuales de los fabricantes de cada parte, tales como variadores de velocidad, módulo inalámbrico etc.
- Se documentó el trabajo realizado, permitiéndole a otros estudiantes la facilidad de aprensión de conocimientos, adquiridos en esta práctica, y que les sirva como punto de referencia para elaborar sus proyectos de grado, dado el caso que estén relacionados con este proyecto.
- Se diseñó un sistema de supervisión que me permitirá implementar labores de operación y mantenimiento del sistema por medio de HMI. Este sistema es práctico y de fácil operación, y también le permite al operador trabajar desde un punto remoto, ya que cuenta con tecnología de radio control.
- En la parte de los anexos, se realizó una breve introducción a la programación del PLC de la familia Allen Bradley (controlador ControlLogix 5550), cuya finalidad es familiarizar al lector con el software del mismo, y con el sistema HMI.
- Se culminó de manera satisfactoria el período de pasantía en CVG VENALUM, presentando un informe final acorde al trabajo realizado en la misma y cumpliendo con los requerimientos propuestos por el tutor en la empresa.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALLEN BRADLEY. PowerFlex 700 Adjustable Frequency AC Drive. User Manual. Rockwell Automation. 196 p.

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/36265/1323285/>

ALLEN BRADLEY. PowerFlex Communications. ControlNet Adapter. User Manual. Rockwell Automation. 159p.

<http://www.rockwellautomation.com/>

ALLEN BRADLEY. Puente ControlNet ControlLogix. Instrucciones de operación. Número de catálogo 1756-CNB, serie C. 22 p.

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/>

ALLEN BRADLEY. ControlLogix High Speed Counter Module. 1756-HSC. User Manual. Rockwell Automation. 114p.

<http://www.rockwellautomation.com/>

ALLEN BRADLEY. Sistema ControlLogix. Manual de usuario. Rockwell Automation. 422p.

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/360807/>

ALLEN BRADLEY. PanelBuilder32. Application Development Software for PanelView Standard Terminals. Rockwell Automation. 166 p.

<http://www.rockwellautomation.com/>

ALLEN BRADLEY. PanelView Standard Operator Terminals. User Manual. Rockwell Automation. 260p.

<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/1239781/>

GUTIÉRREZ BRERO, Elena. Curso de automatización industrial con prácticas de Autómatas Programables Industriales por Internet . Barcelona, España. 57 p. Trabajo de grado (Ingeniero Eléctrico). Universidad Politécnica de Cataluña. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona (ETSEIB- UPC).  
<http://www.citcea.upc.edu/projecte/labremot/index.htm>

IRVING L. KOSOW. Máquinas Eléctricas y transformadores. México, 1991. 727p.

PHOENIX CONTACT. Wireless Interface RAD-ISM-900-BD. User Manual. 8 p.  
<http://www.phoenixcon.com/Wireless/>

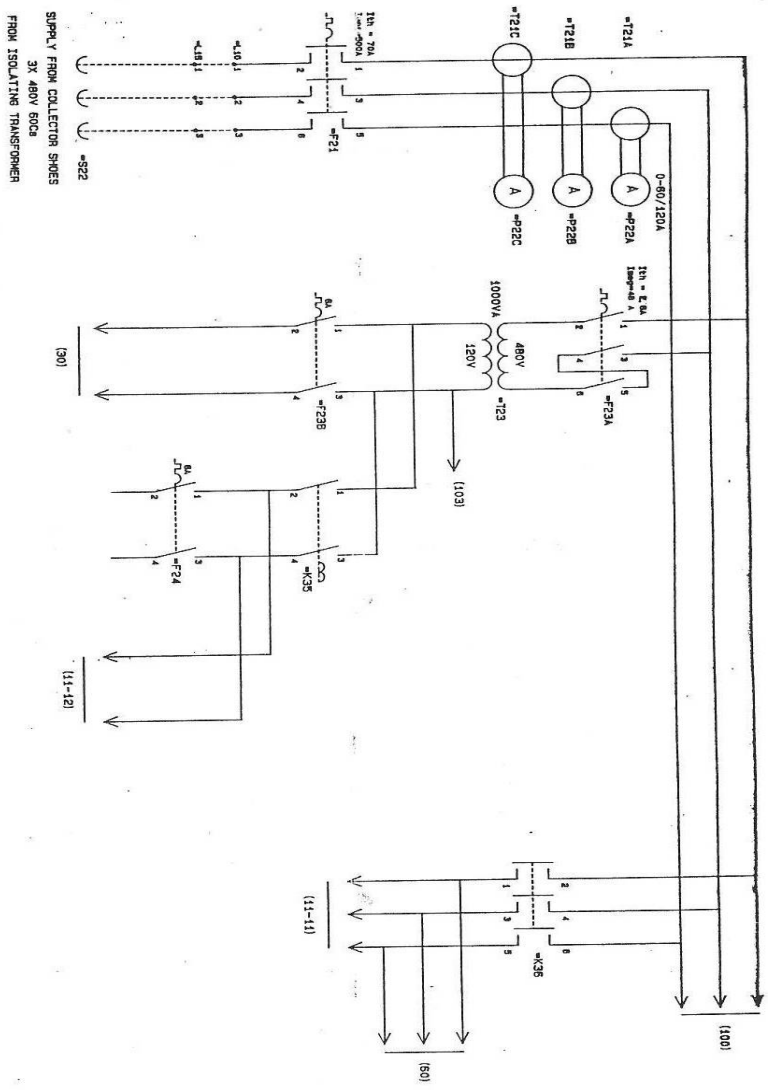
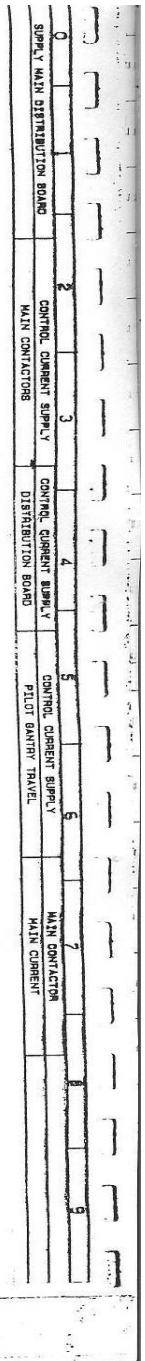
SIEMENS. Generalidades de motores trifásicos de inducción. 30 p.  
<http://www.siemens.com/>

THYSSEN. TGW THYSSEN GETRIEBE-UND. DURUDRIVE STIRNRAD-UND KEGELSTIRNRADGETRIEBE BIS GROVE 250. Revista de datos técnicos de diferentes tipos de reductores Thyssen. 43 p.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A: Planos del sistema eléctrico actualmente utilizado**

Debido al gran contenido de los planos eléctricos, del diseño actualmente implantado en el *Gantry*, se seleccionaron los más importantes.



REMARK  
 = : PRE-CODE  
 PILOT GANTRY = WEST GANTRY

PRE-CODE = 10

PANEL K10	MAIN CURRENT PILOT GANTRY	76A		order no	3025-03-4
9841	MAIN DISTRIBUTION BOARD			page no	10-2
1278	REV. B		19-04-1989	10181	
				10928	

Figura #22: Sistema de alimentación principal

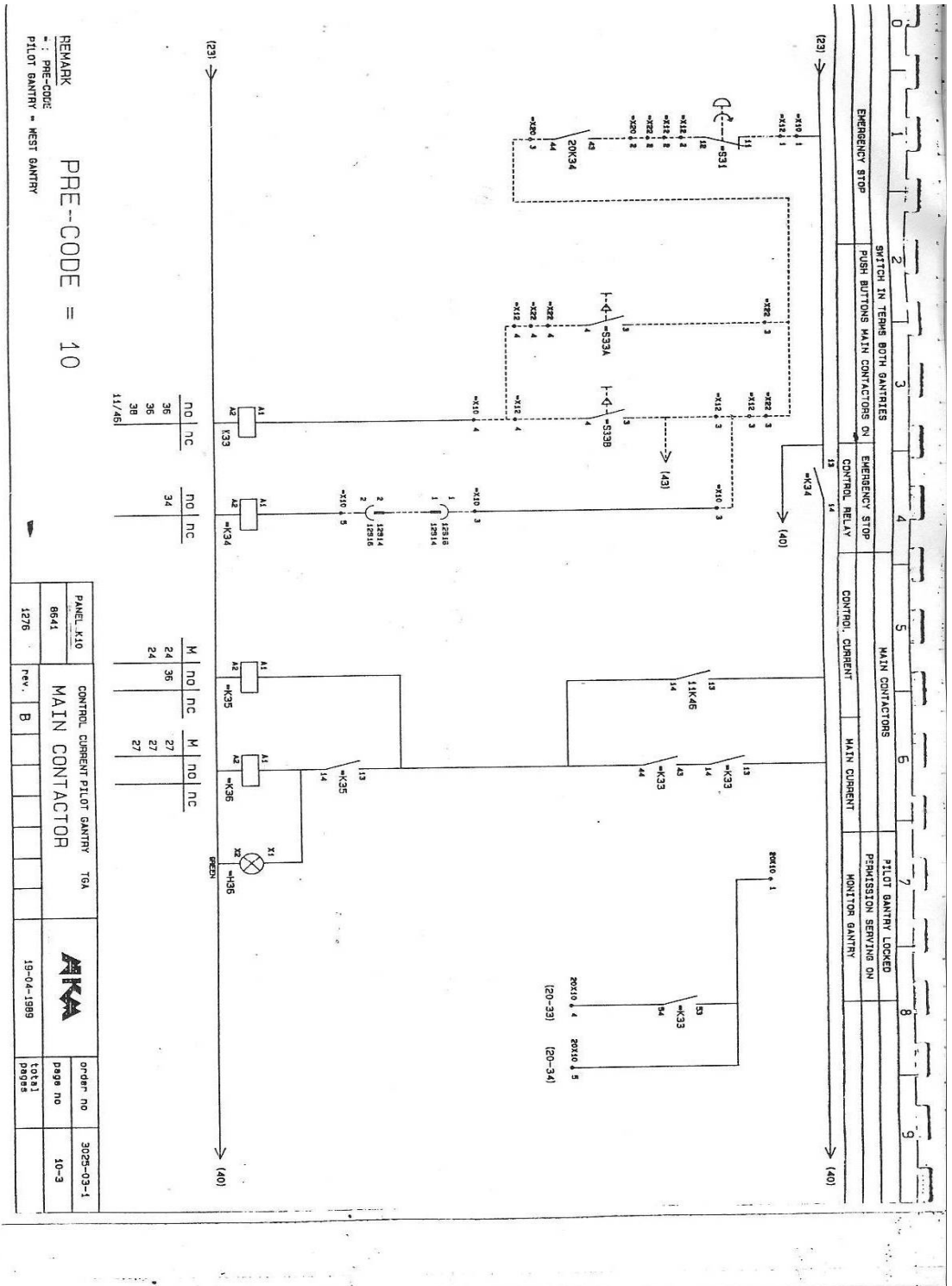
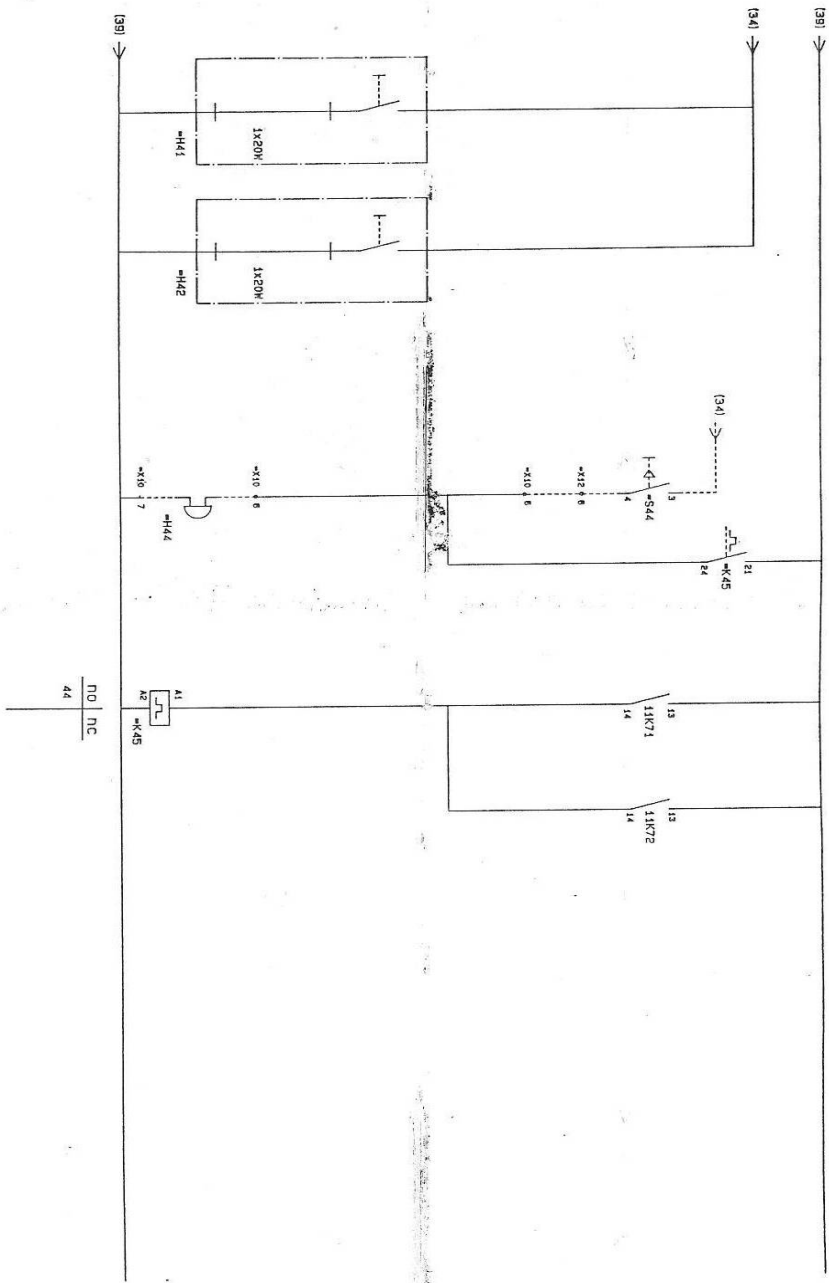


Figura #23: Parada de emergencia y contactores principales

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MAIN DISTRIBUTION		TRAVEL PANEL		BELL	TRAVEL SIGNAL				

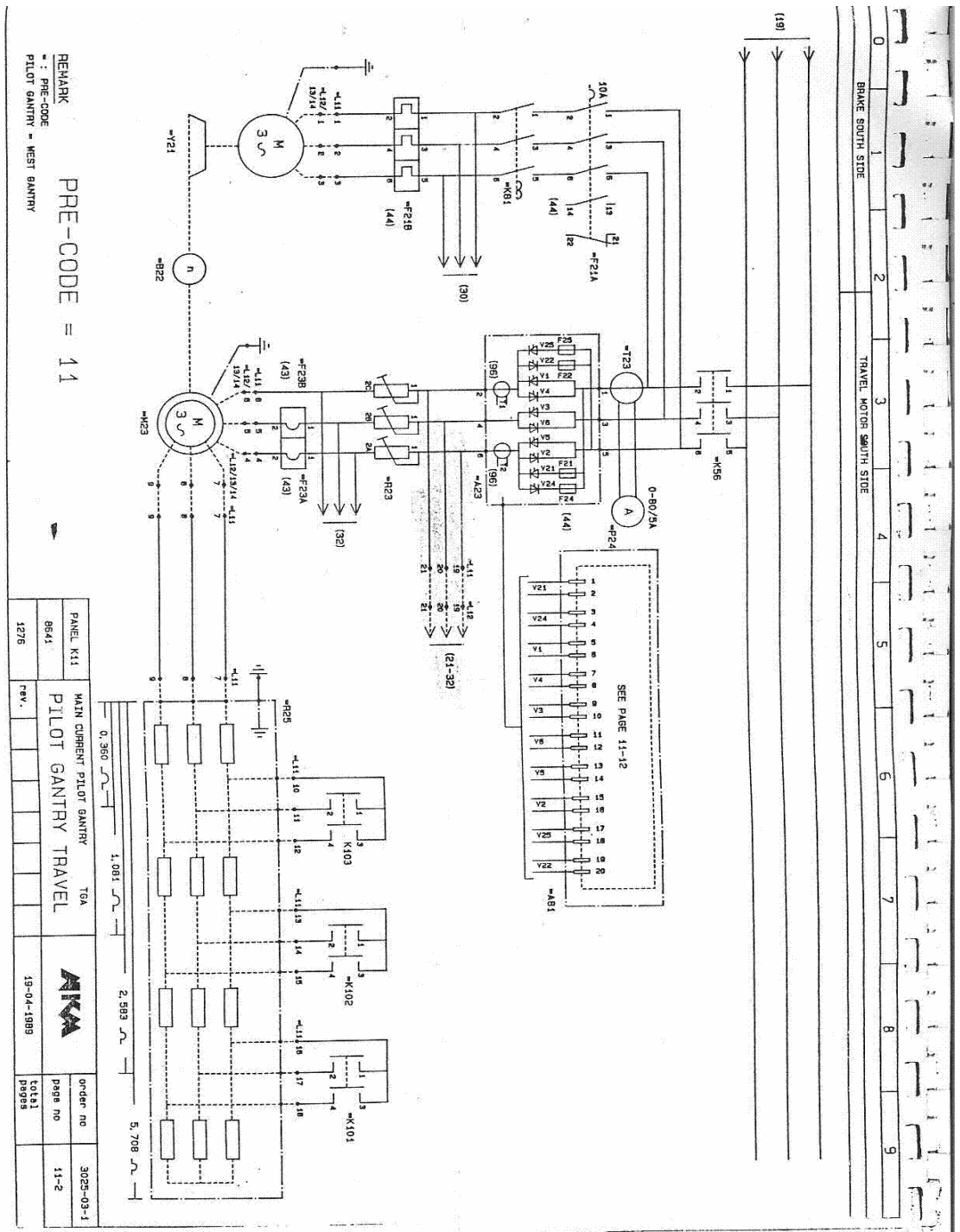


REMARK PRE-CODE = 10  
 - : PRE-CODE  
 PILOT GANTRY - WEST GANTRY

PANEL K10	CONTROL CURRENT PILOT GANTRY	TGA		order no	3025-03-1
8641	PANELS LIGHTING			page no	10-4
1276	REV.		19-04-1988	total pages	

Figura #24: Cometa





REMARK  
 = : PRE-CODE  
 PILOT GANTRY = WEST GANTRY

PRE-CODE = 11

PANEL K11	MAIN CURRENT PILOT GANTRY	T0A	<b>NKA</b>	order no	3025-03-1
8641	PILOT GANTRY TRAVEL			page no	11-2
1276	rev.		19-04-1989	total pages	

Figura #26: Control del motor, Gantry piloto



## **ANEXO B: Planos del sistema eléctrico propuesto a implementar**

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

Número de Folio:

Es el número de página y se encuentra integrado por dos números.

Por ejemplo: 1-2 → Hace referencia al capítulo uno, página dos.

Respecto al código de los elementos, se puede tener como referencia el siguiente ejemplo:

3k42 → Hacer referencia al capítulo tres, k debido a que es un contacto, el número de página es cuatro, y se encuentra ubicado en la columna dos.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11		CONTACTO ABIERTO							
2		CONTACTO CERRADO							
3		RELE O CONTACTOR BUBINA							
4		CONTACTO ABIERTO ATRASADO							
5		CONTACTO CERRADO ATRASADO							
6		CON. RELE. A RETRASO							
7		CONTACTO ABIERTO DIF. ATRASADO							
8		CONTACTO CERRADO DIF. ATRASADO							
9		"RE" RELE. A RETRASO							
10		BILOQUEO MECANICO PARA CONTACTOR							
11		PROTECCION TERMICA							
12		FUSIBLE							
13		FUSIBLE AISLADO							
14		DISYUNTOR							
15									
16		PARADA DE EMERGENCIA							
17		PULSADOR ABIERTO							
18		PULSADOR CERRADO							
19		COMUNICADOR BUZINE							
20		CRUZ DE MUYA							
21		CONTACTO DE TEMPERATURA							
22		CONTACTO DE PRESION							
23		ROTATIVO SWITCH							
24		CONTACTO PROXIMIDAD							
25		MAGNETICO & TERMICO MOTOR CIRCUITO FRENO							
26		MAGNETICO MOTOR CIRCUITO FRENO							
27									
28									
29									
30									
31		CONCRETA							
32		ALARMADO							
33		PANEL ALARMADO							
34		ALARMADO							
35		VOLTIMETRO							
36		DIODO							
37		RESISTENCIA							
38		CONDENSADOR							
39		PLUG							
40		DIR. DEL CORRIENTE TERMINAL							
41		TERMINAL PRINCIPAL CORRIENTE							
42		FILTRO RC							
43		TRANSFORMADOR DE CORRIENTE							
44		TRANSFORMADOR							
45		ALIMENTACION CONTINUA							
46		ELECTROVALVULA							
47		MOTOR CON SHAFT ABRIELLA							
48		MOTOR CON SHAFT ABRIELLA							
49		MOTOR CON SHAFT ABRIELLA							
50		FRENO							
51		TERMISTOR							
52		EXCITACION							
53									
54									
55									
56									

Simbología

2-0

Folio

Figura #28: Simbología

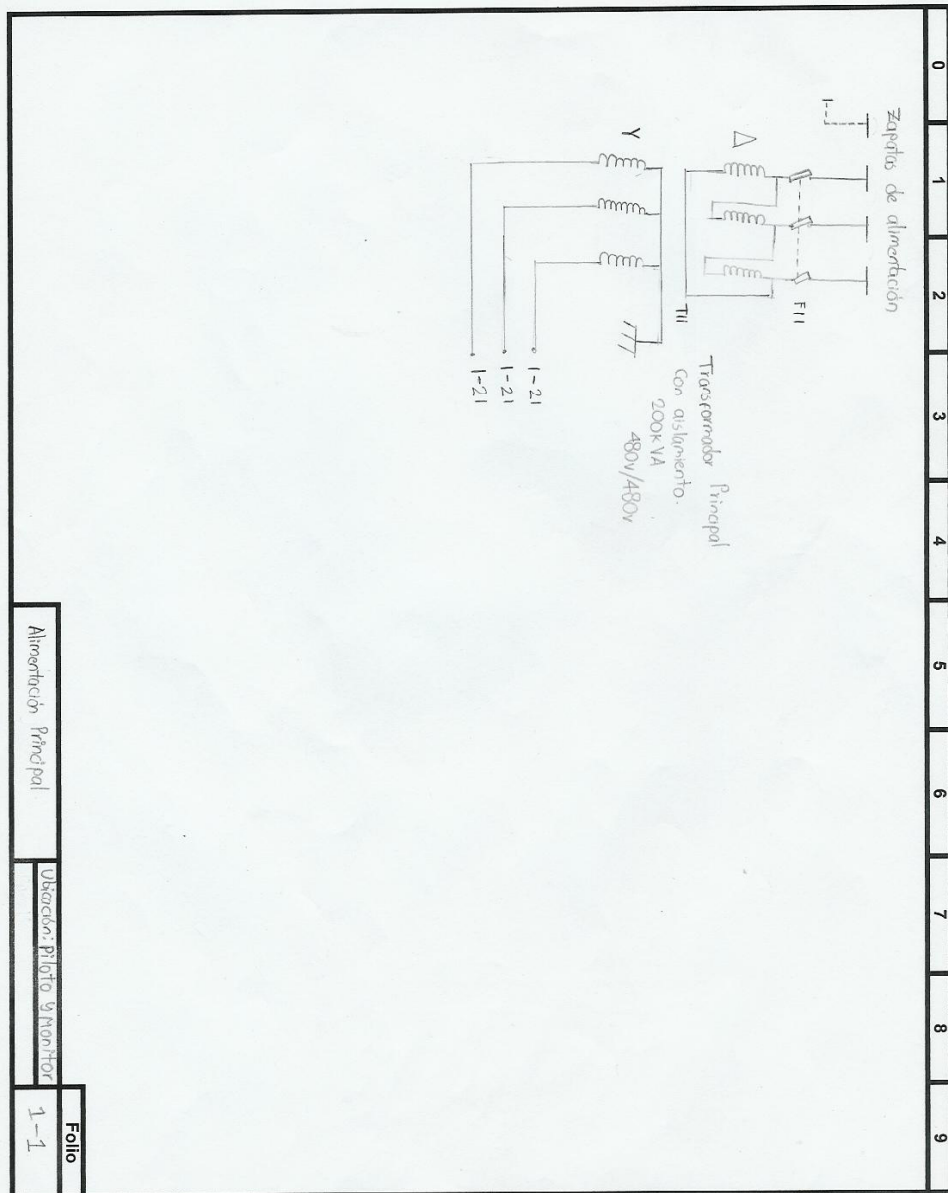
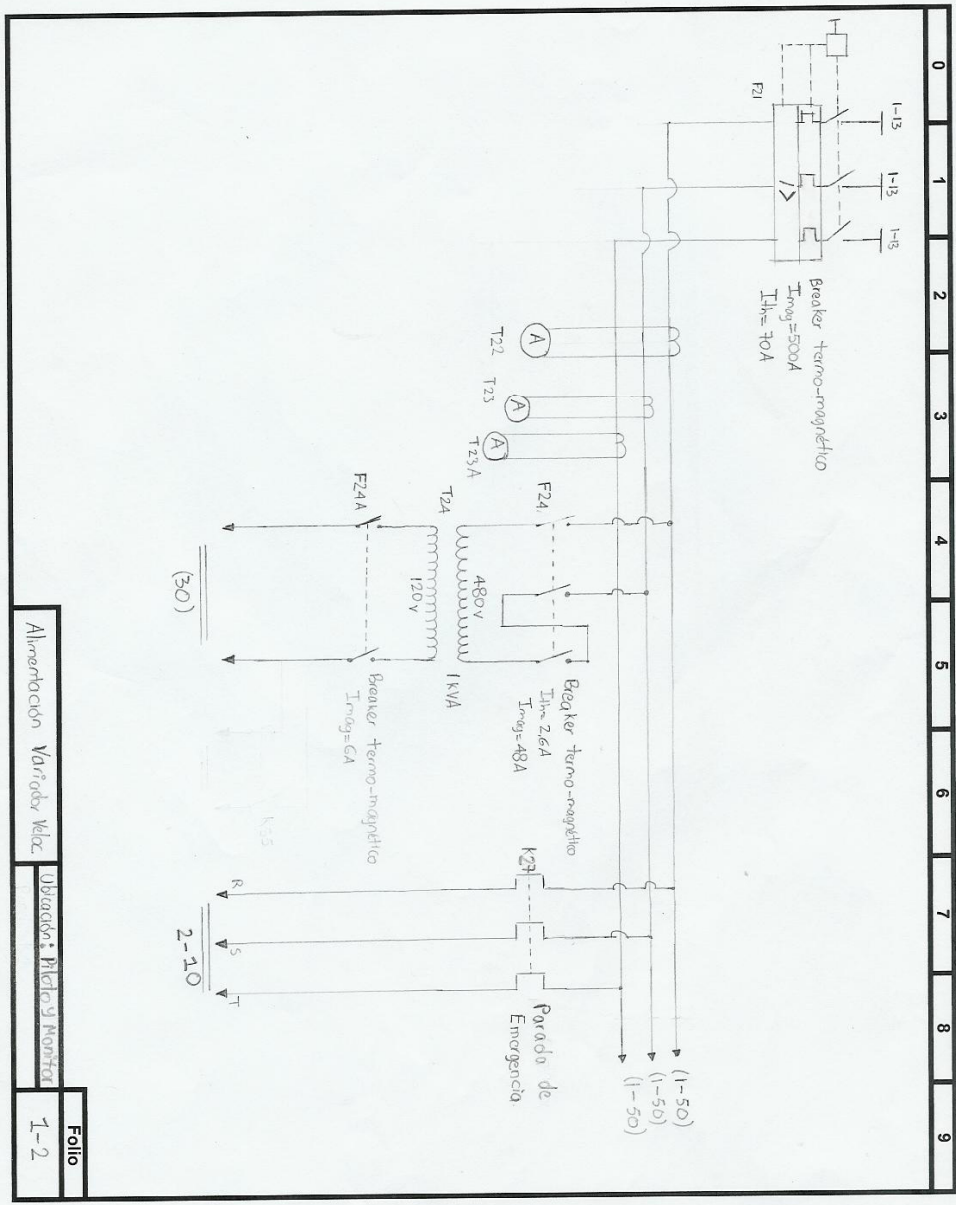


Figura #29: Alimentación Principal

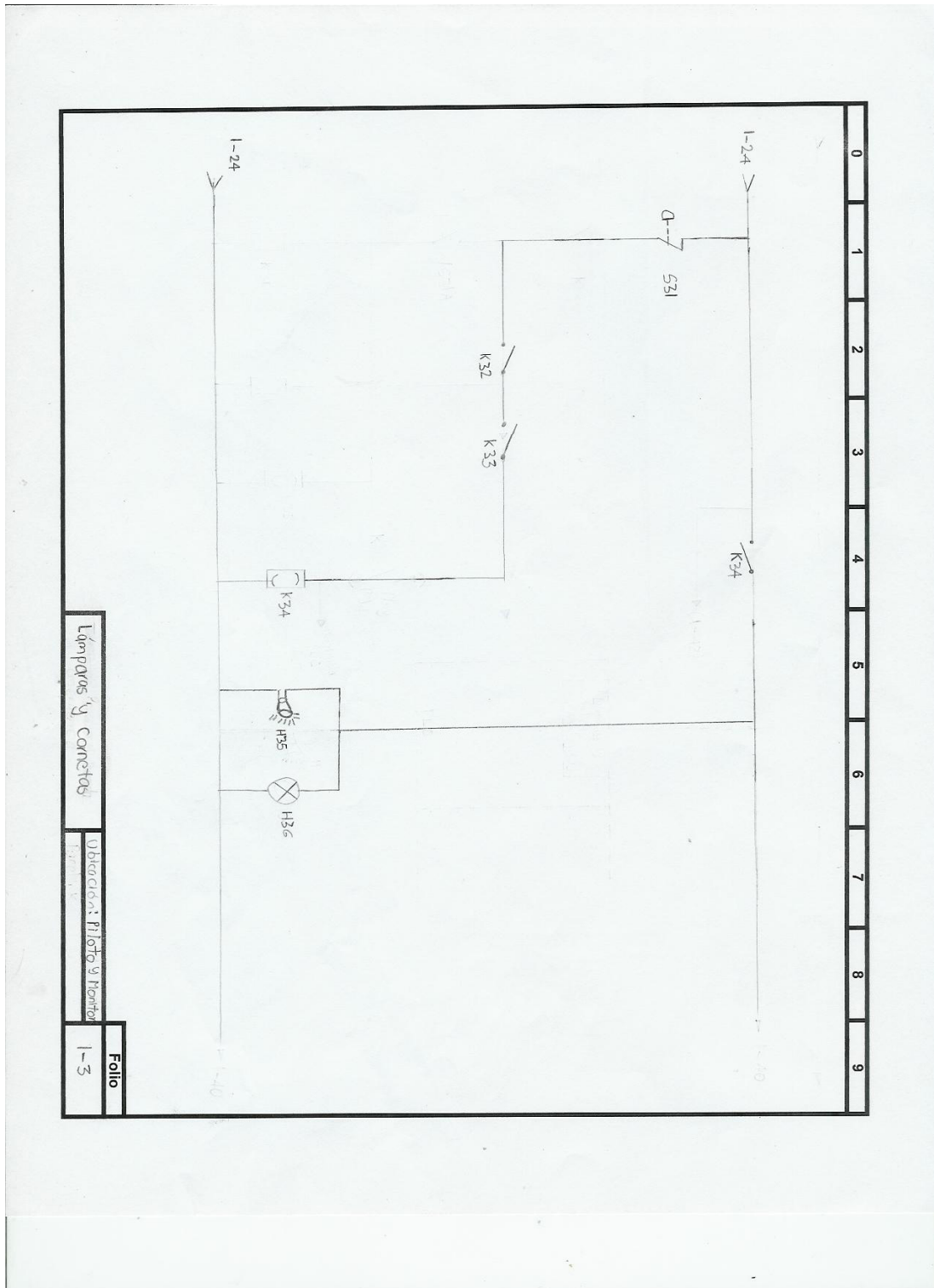


Alimentación Variador Velocidad

Obra: Mictroy Monitor

Folio 1-2

Figura #30: Alimentación Variador de Velocidad



Lámparas y Cornetas

Operación: Pilotó y Monitor

1-3

Folio

Figura #31: Lámparas y cornetas

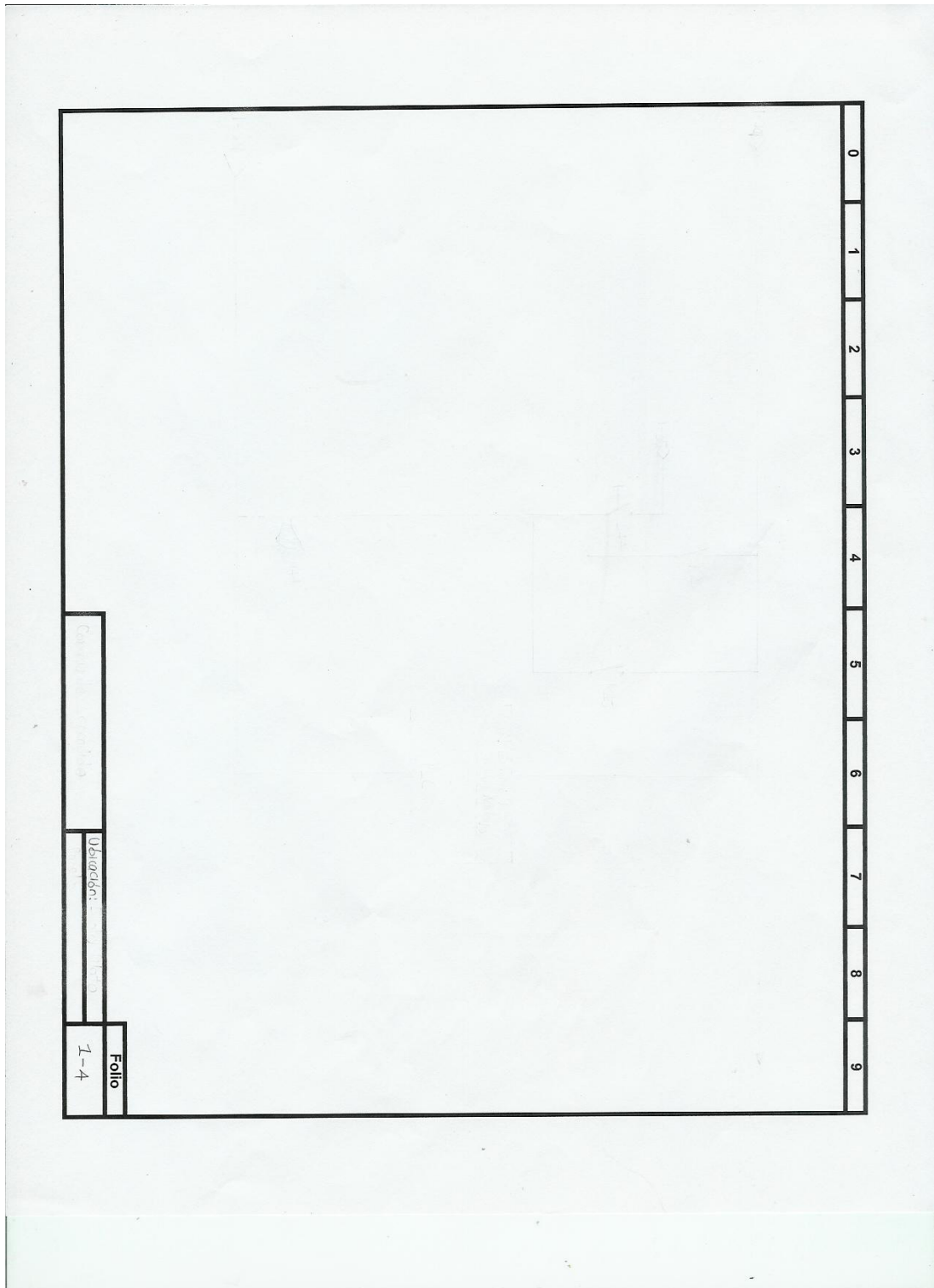


Figura #32: Hoja adicional

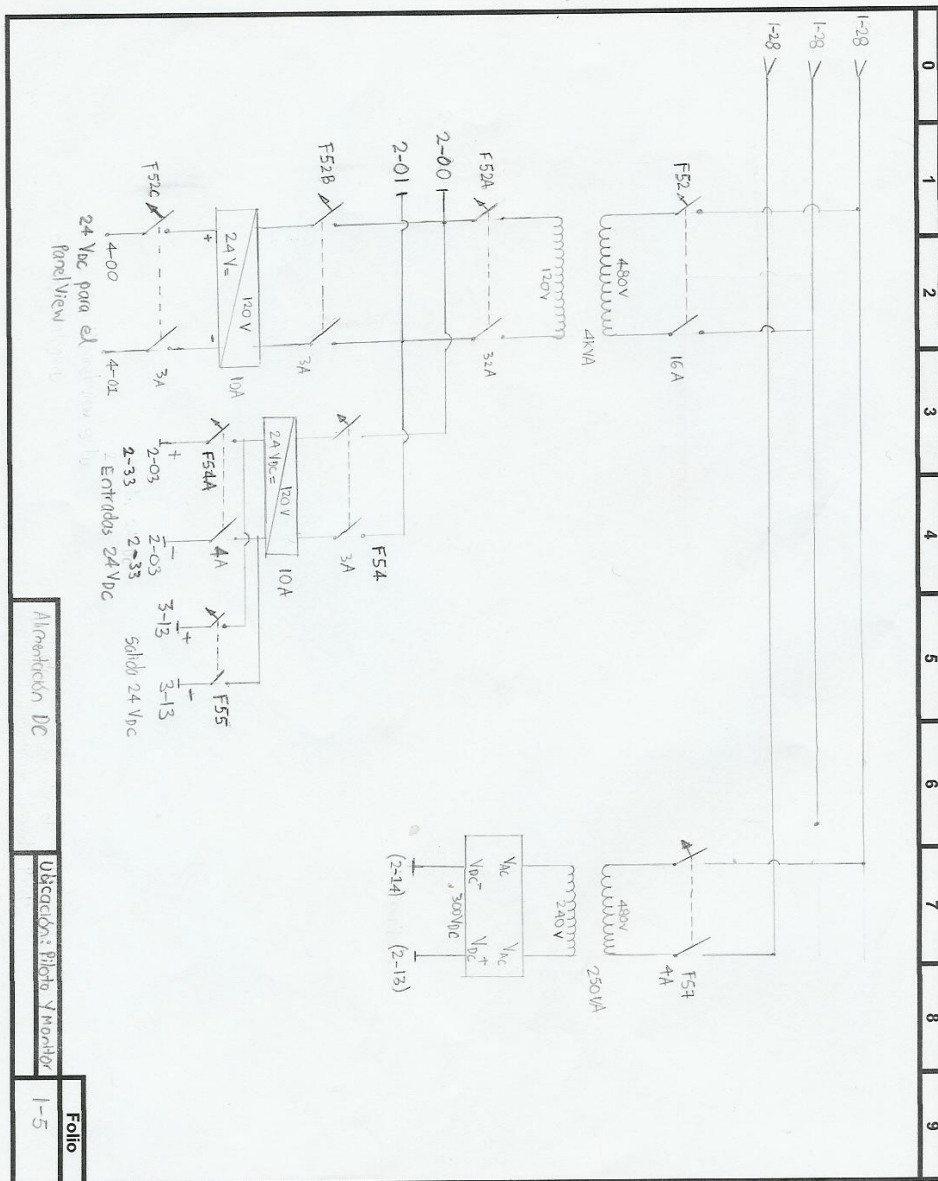
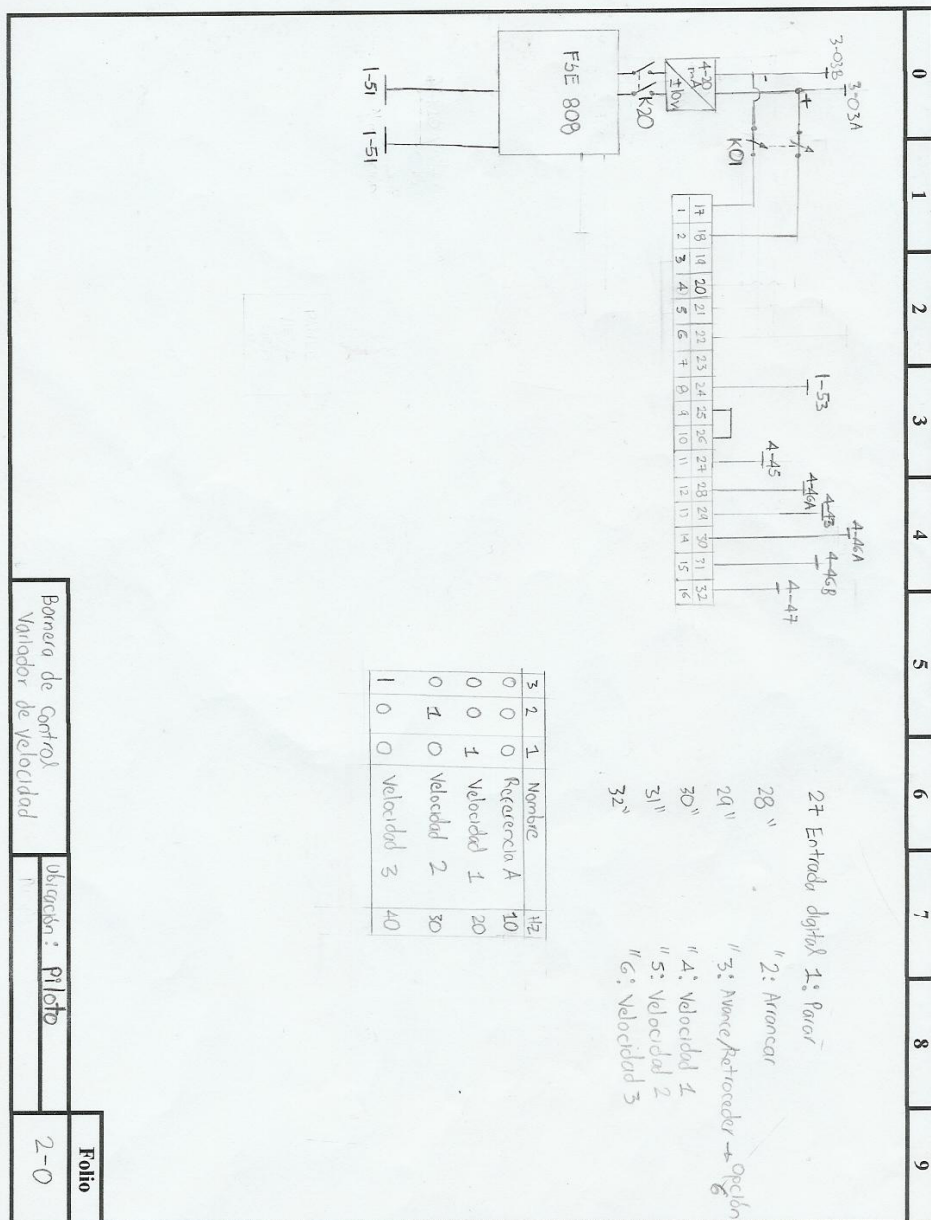


Figura #33: Alimentación DC



Bornera de Control  
Variador de Velocidad

Ubicación: Piloto

Folio  
2-0

Figura #34: Bornera de control variador de velocidad

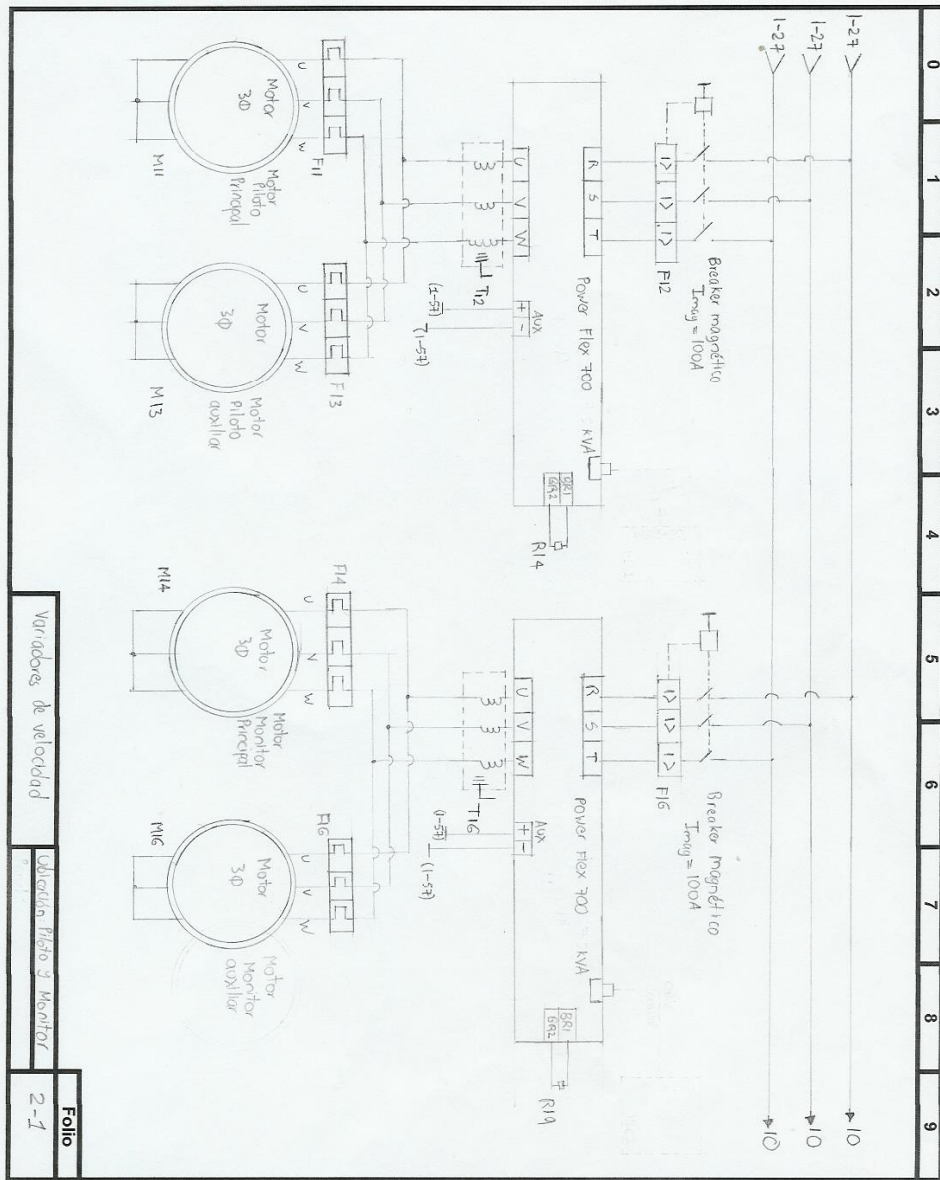


Figura #35: Variadores de Velocidad

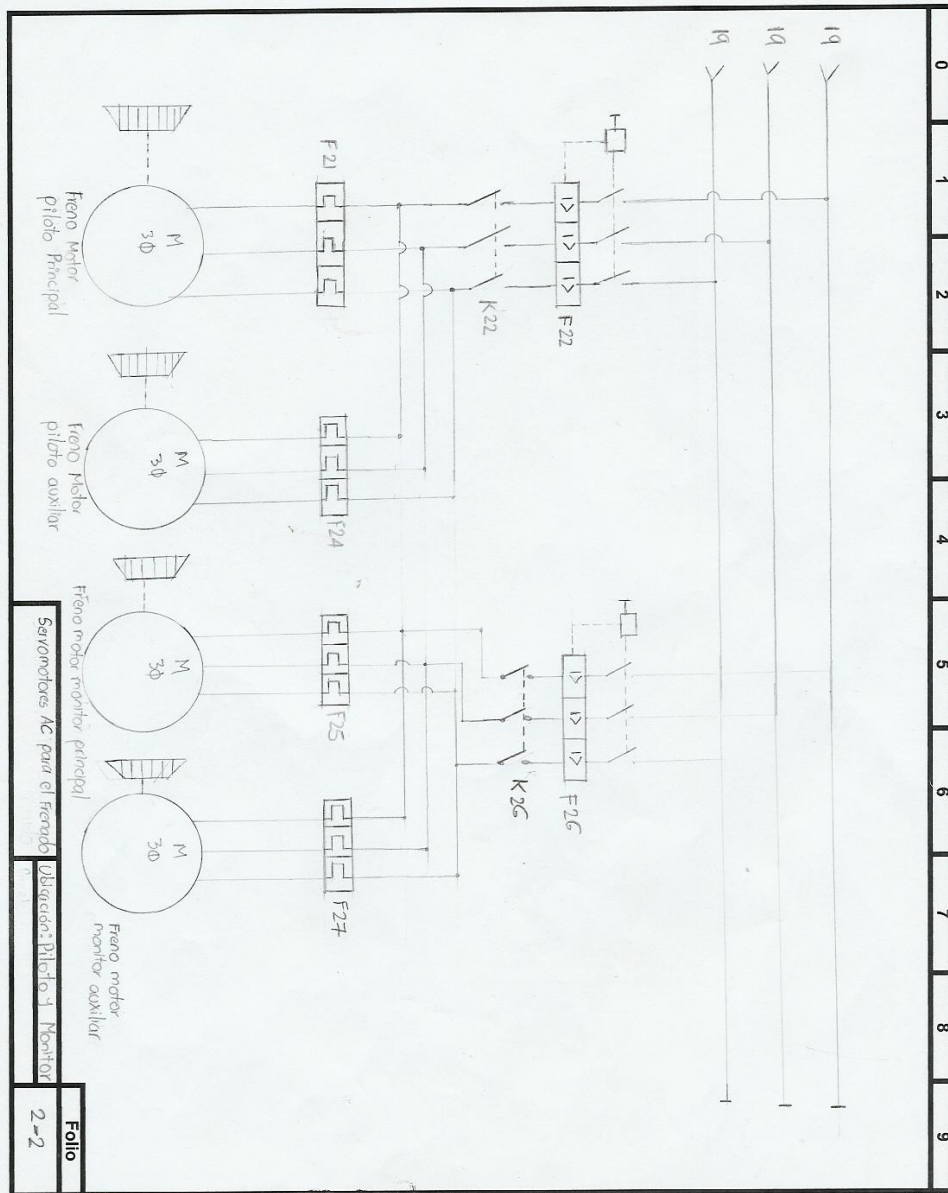
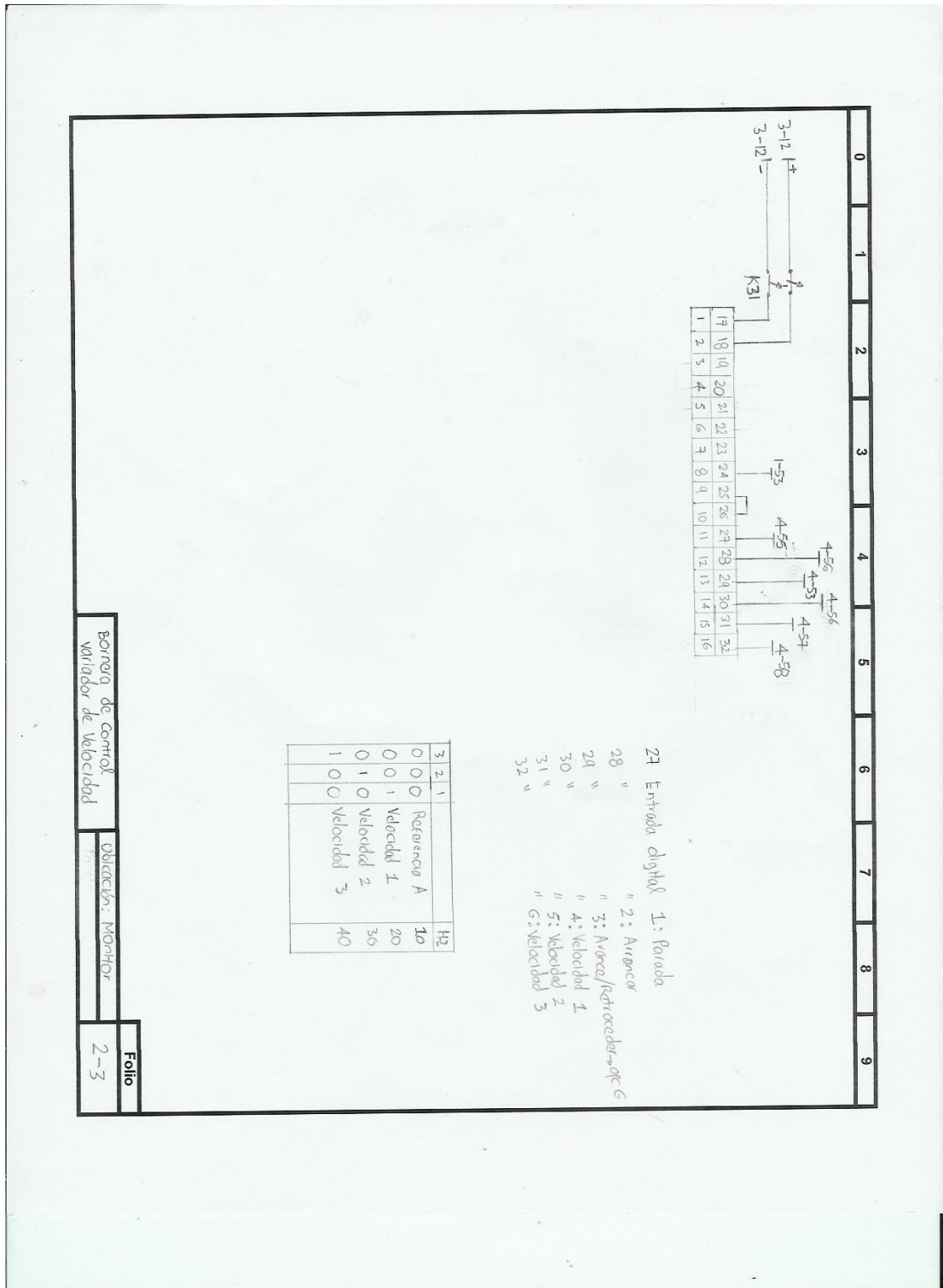


Figura #36: Sistema de Frenado

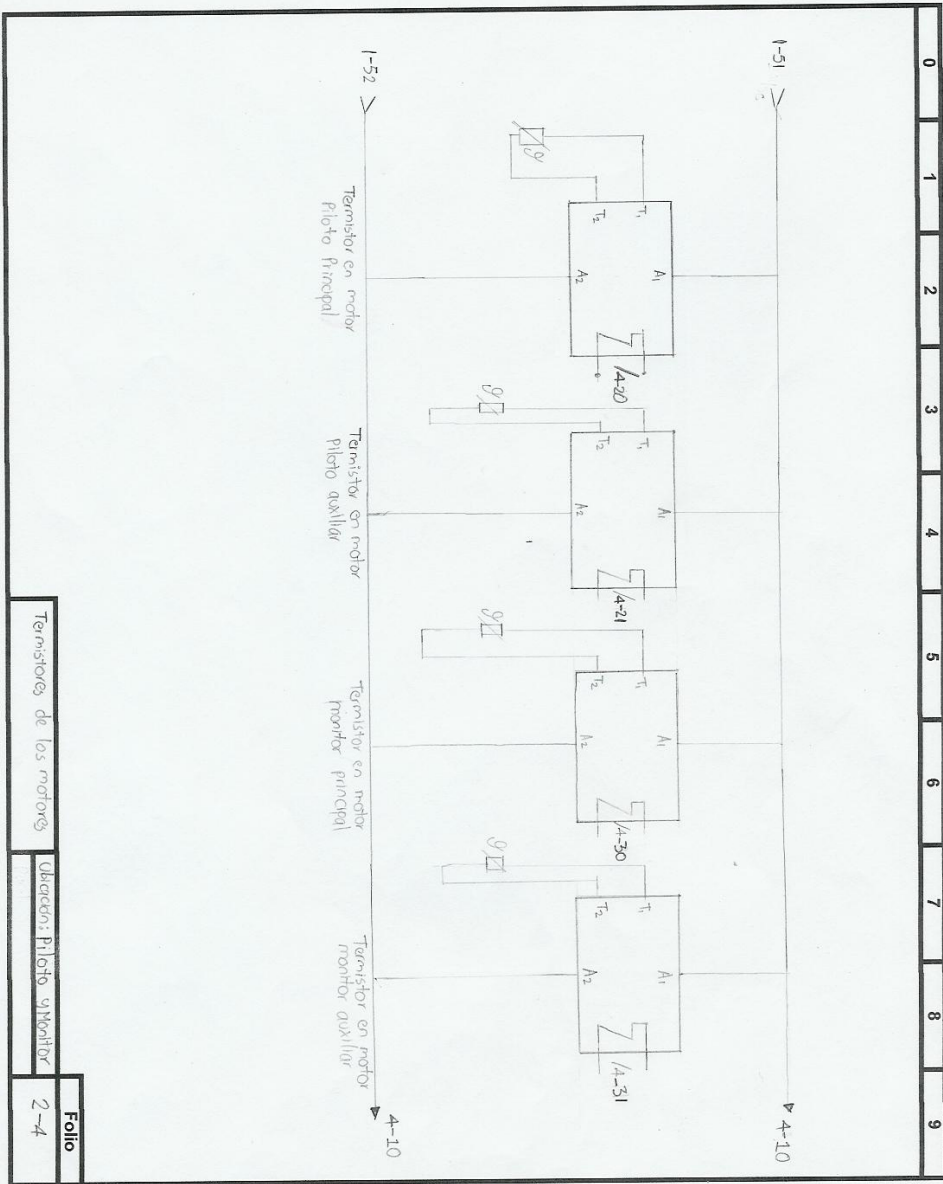


Bornera de control  
variador de Velocidad

Ubicación: MONITOR

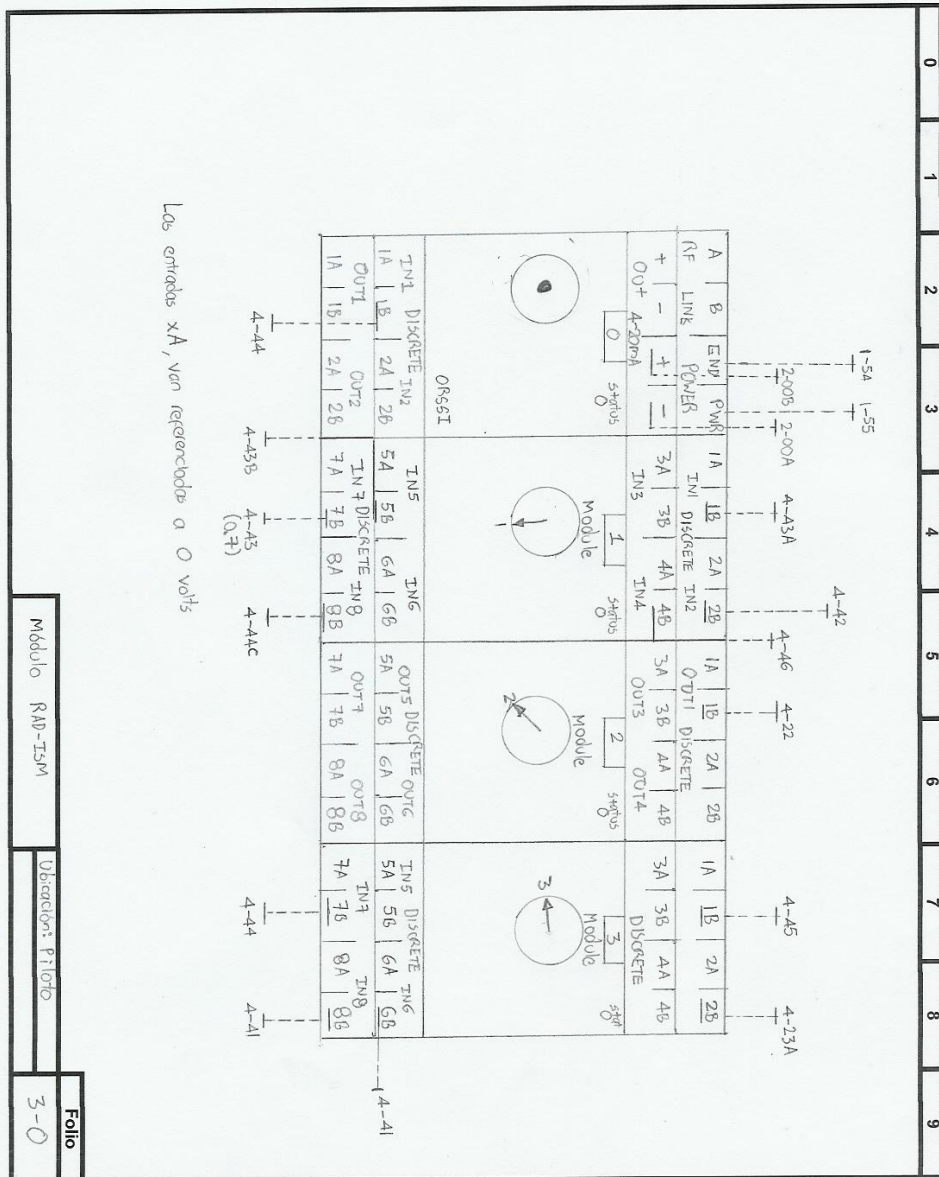
Folio  
2-3

Figura #37: Bornera de control, ubicación Monitor



Folio 2-4  
 Dirección: Piloto y Auxiliar  
 Termistores de los motores

Figura #38: Termistores



Las entradas xA, van referenciadas a 0 volts

Módulo RAD-ISM

Ubicación: Piloto

Folio 3-0

Figura #39: Módulo RAD-ISM, ubicación Piloto

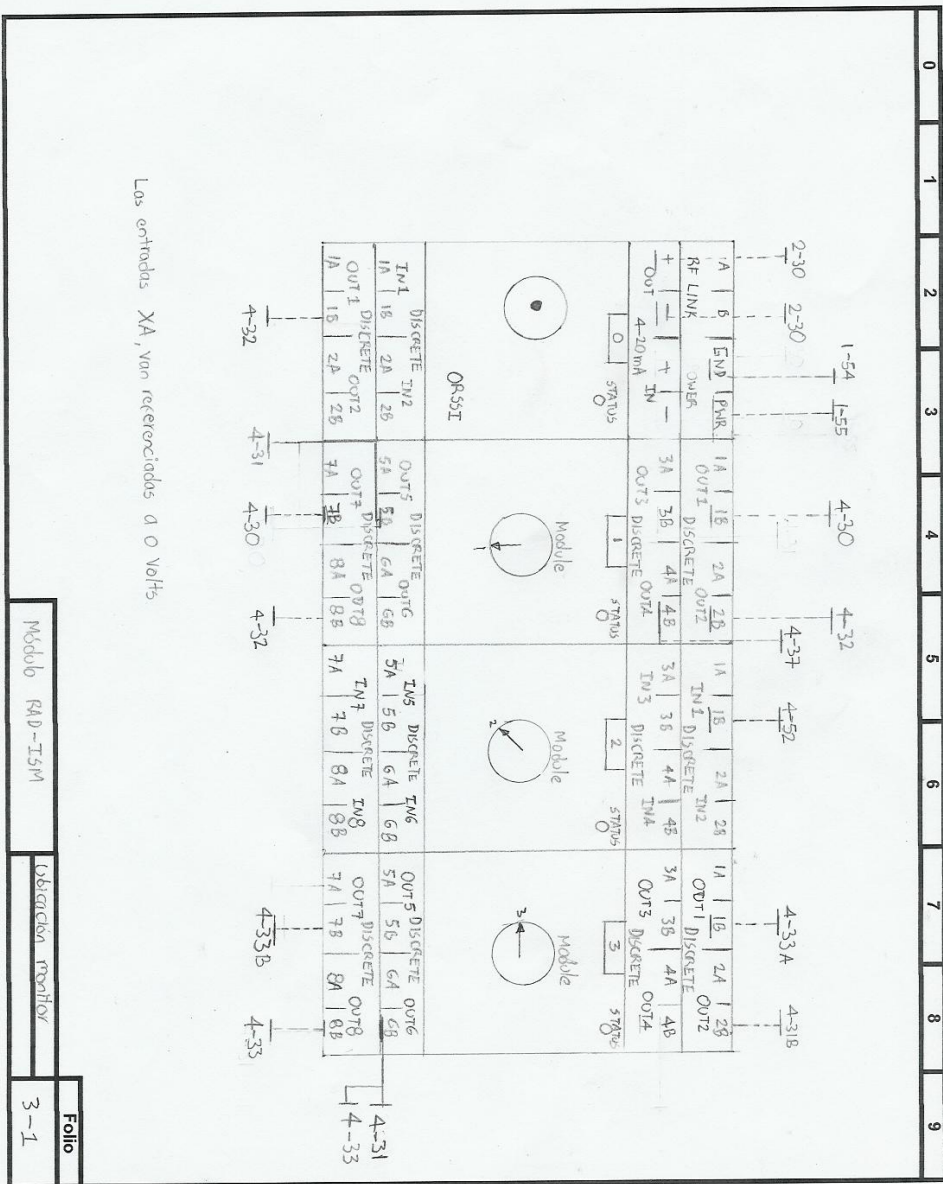


Figura #40: Módulo RAD-ISM, ubicación Monitor

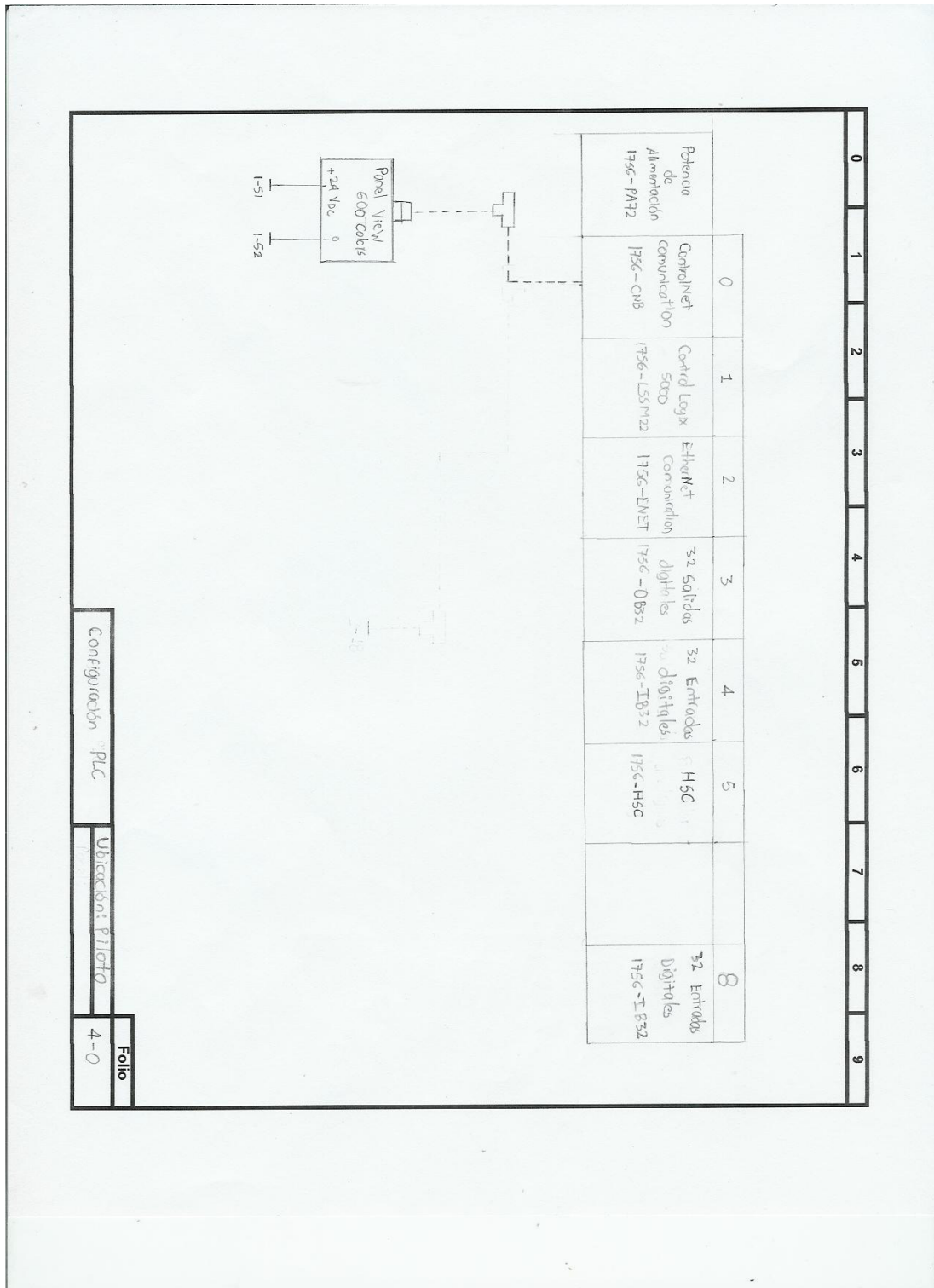


Figura #41: Configuración PLC, ubicación Piloto

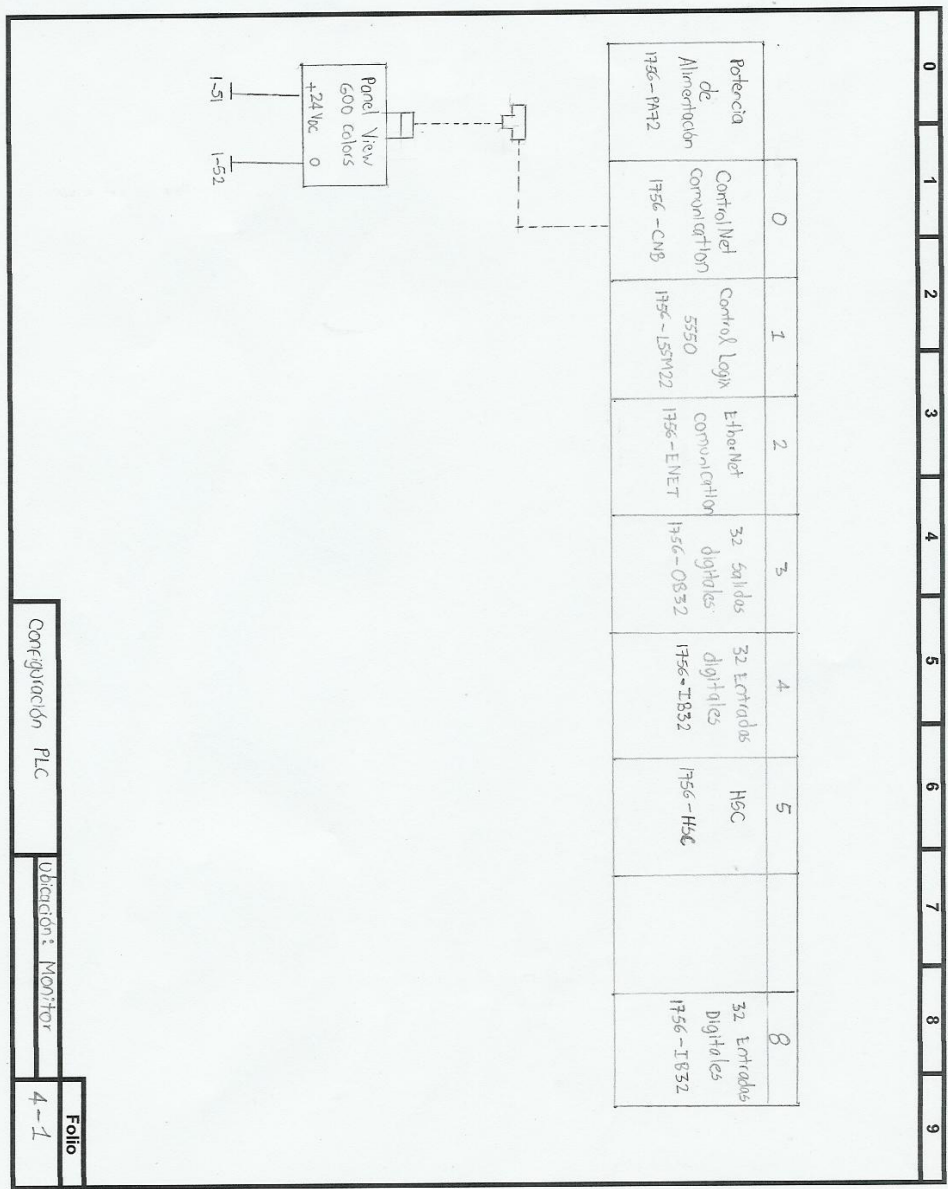


Figura #42: Configuración PLC, ubicación Monitor









## **ANEXO C: Hojas de datos**

PHOENIX CONTACT. Analog, Digital and Pulse I/O Expansion Modules. Data sheet 1927D March 2006. 2 p.

<http://www.phoenixcon.com/Wireless/>

HBC-RADIOMATIC. ECO M Module. Data sheet.

[http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home\\_ie.htm](http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home_ie.htm)

HBC-RADIOMATIC. FSE 808 Module. Data sheet.

[http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home\\_ie.htm](http://www.hbc-funksteuerung.de/english/home_ie.htm)

## ANEXO D: Fotografías y gráficas adicionales



*Figura #47: Gantry Piloto*



*Figura #48: Gantry y Lifting Beam*

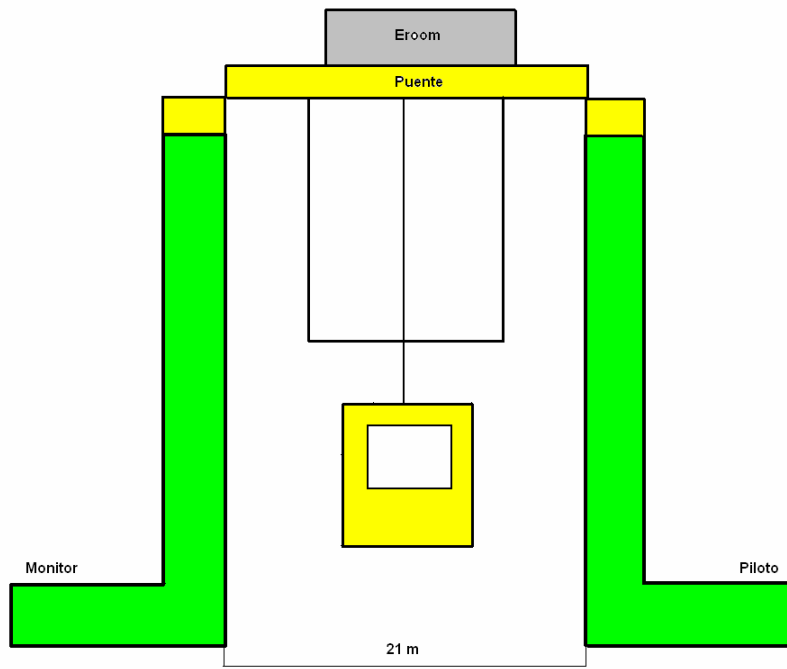


Figura #49: Gantry y grúa vistos de perfil

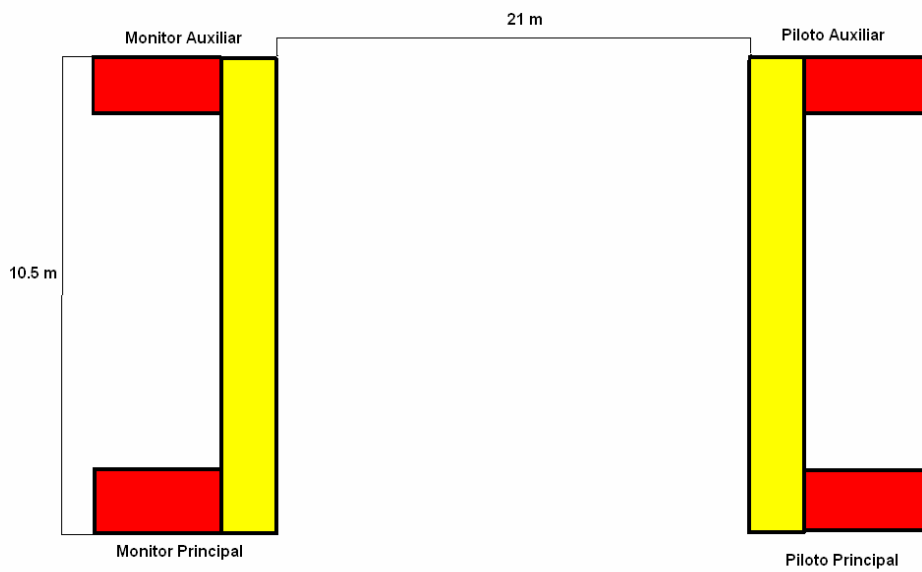
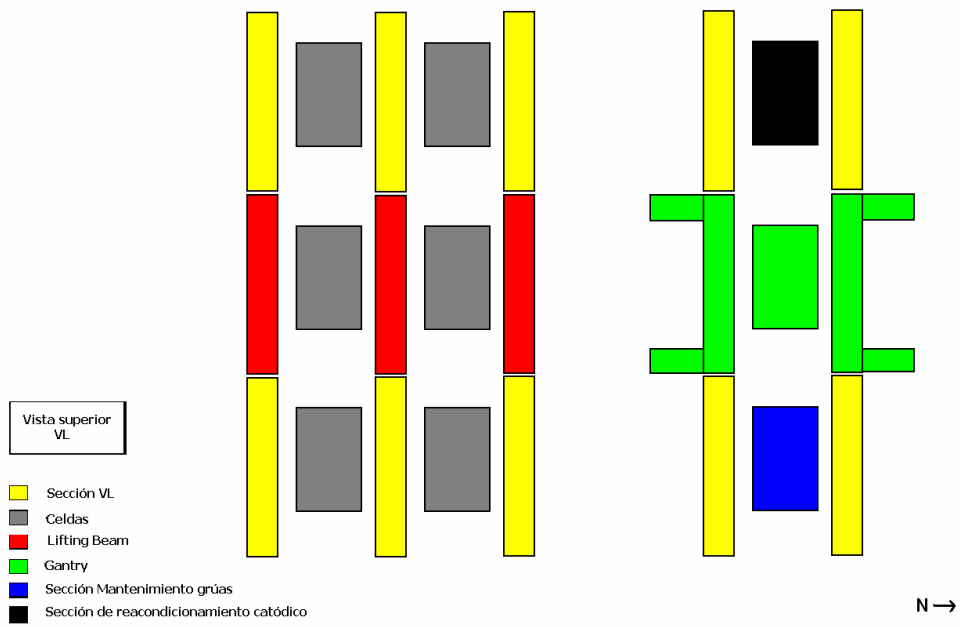


Figura #50: Vista superior Gantry

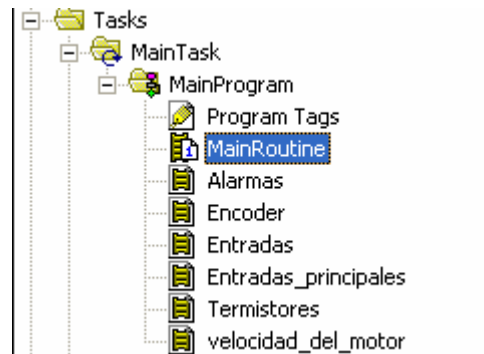


*Figura #51: Vista superior VL.*

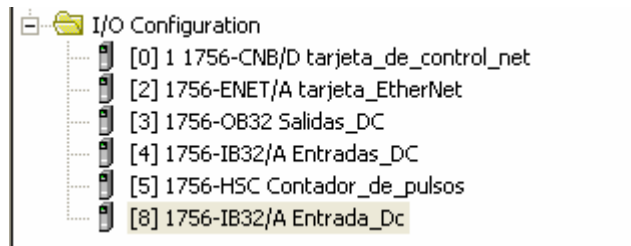
## ANEXO E: Diagrama Ladder del programa

- Programa para el PLC ubicado en el Gantry Piloto.

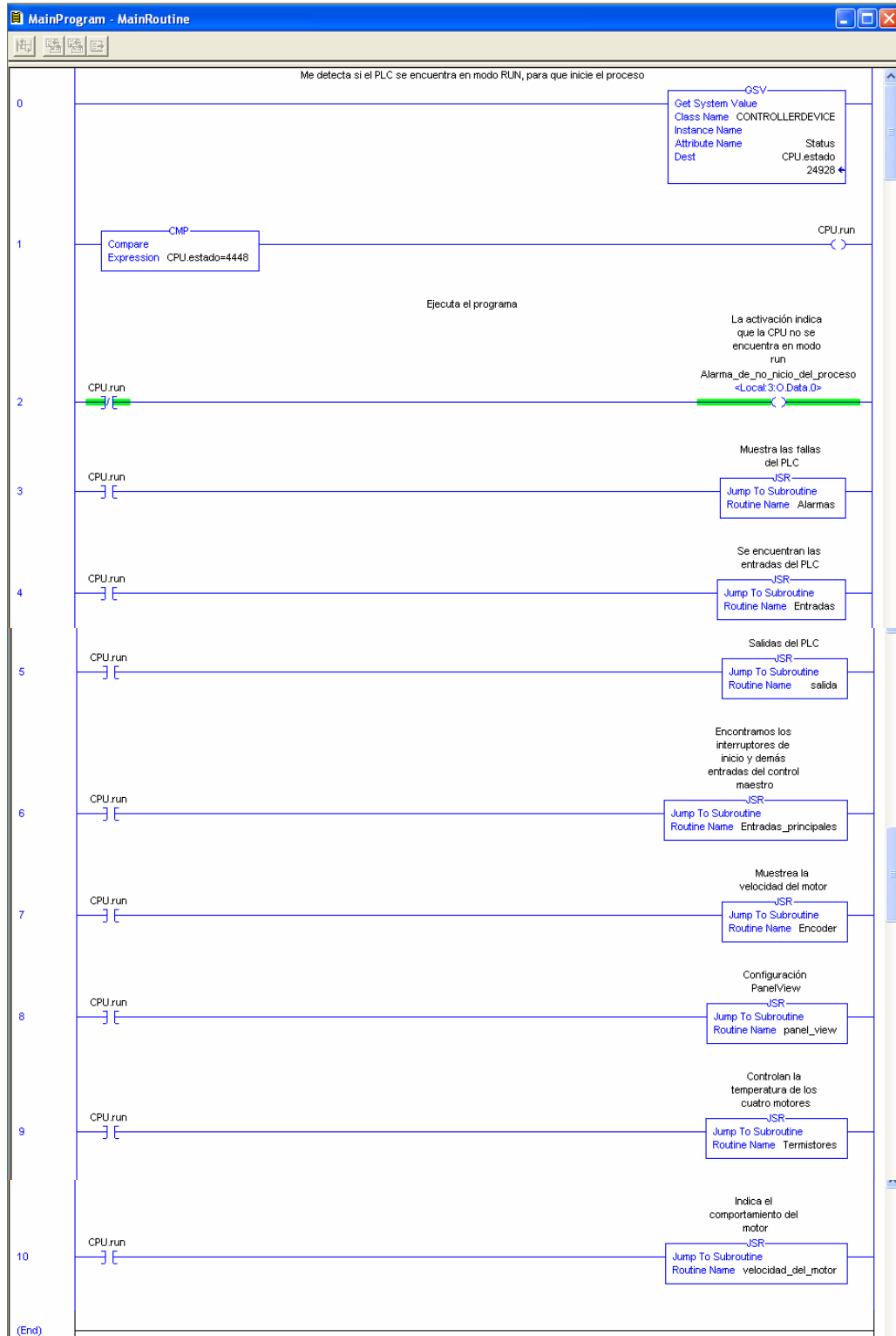
### Rutinas del Programa



### Módulos instalados

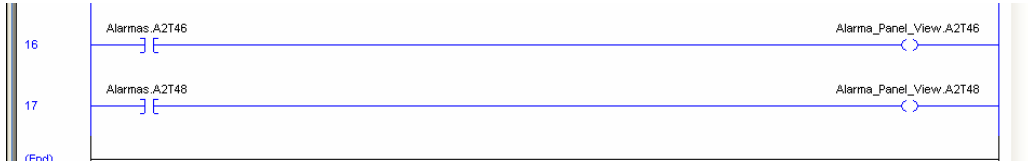


## Rutina Principal

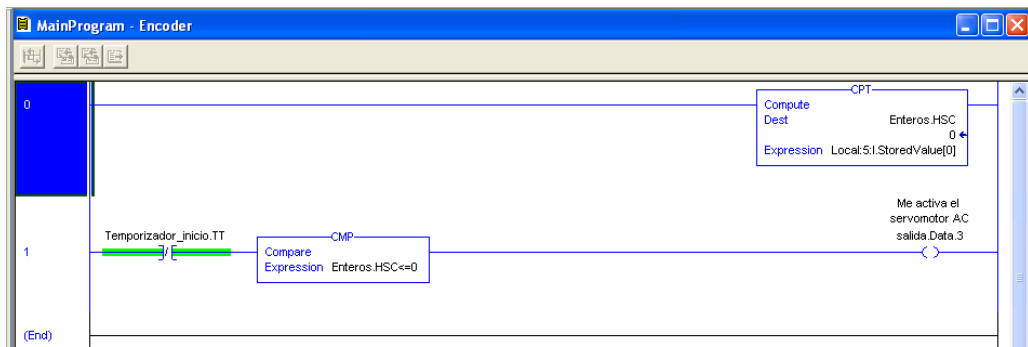


## Rutina Alarmas



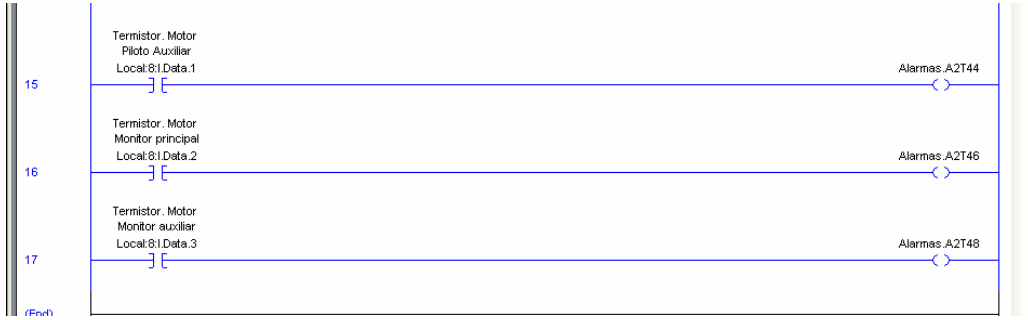


### Rutina Encoder

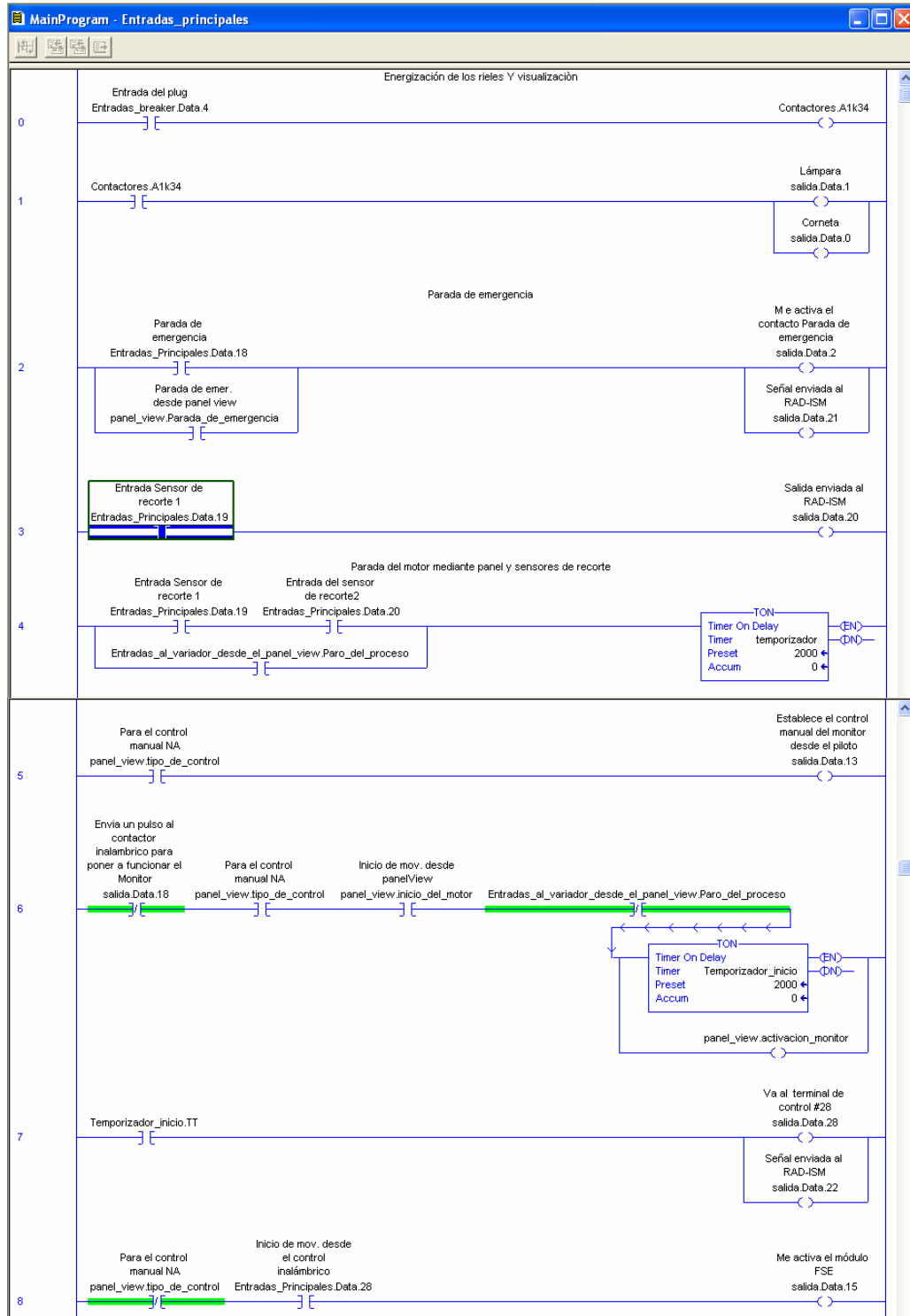


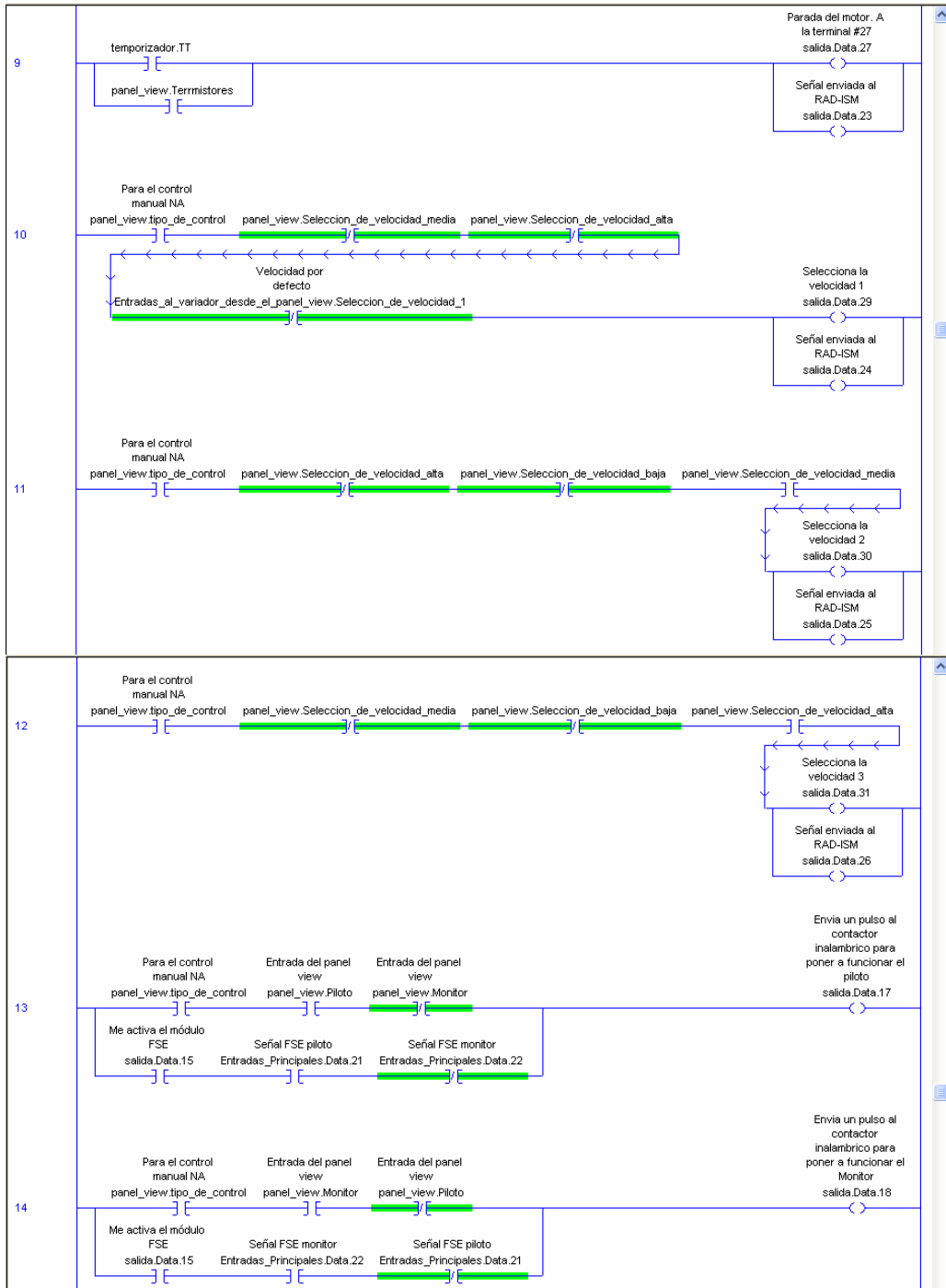
## Rutina Entradas

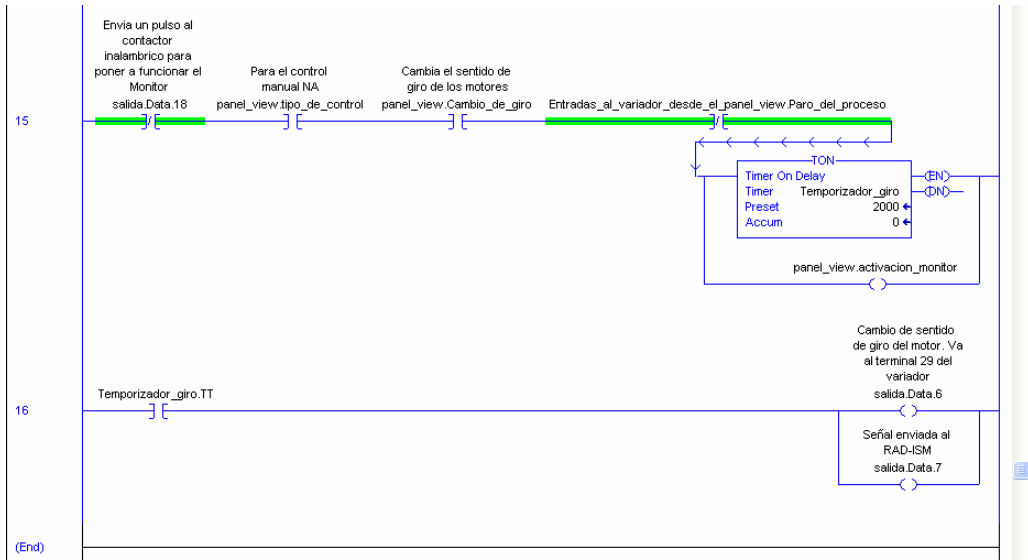




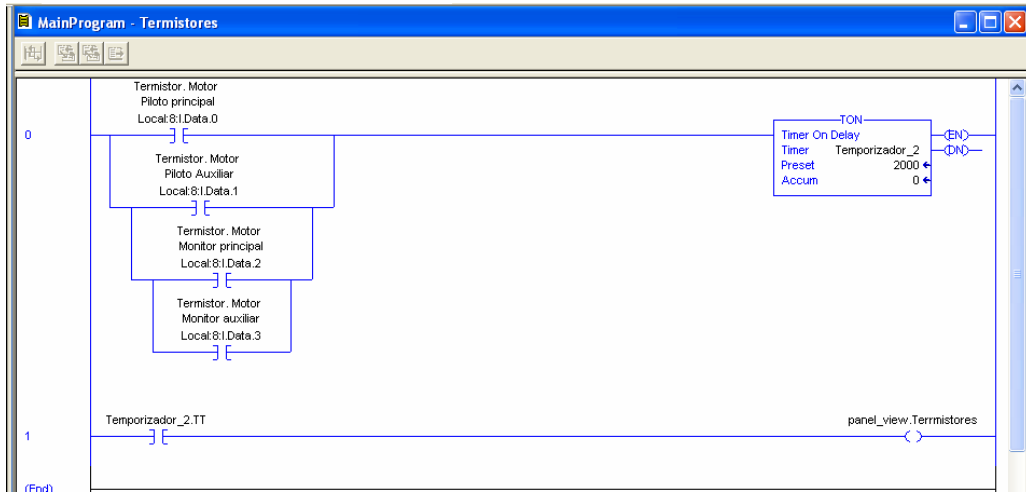
## Rutina Entradas\_Principales



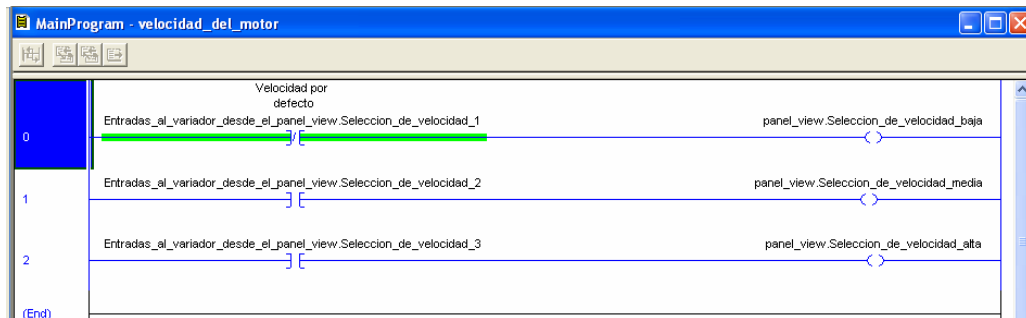




### Rutina Termistores



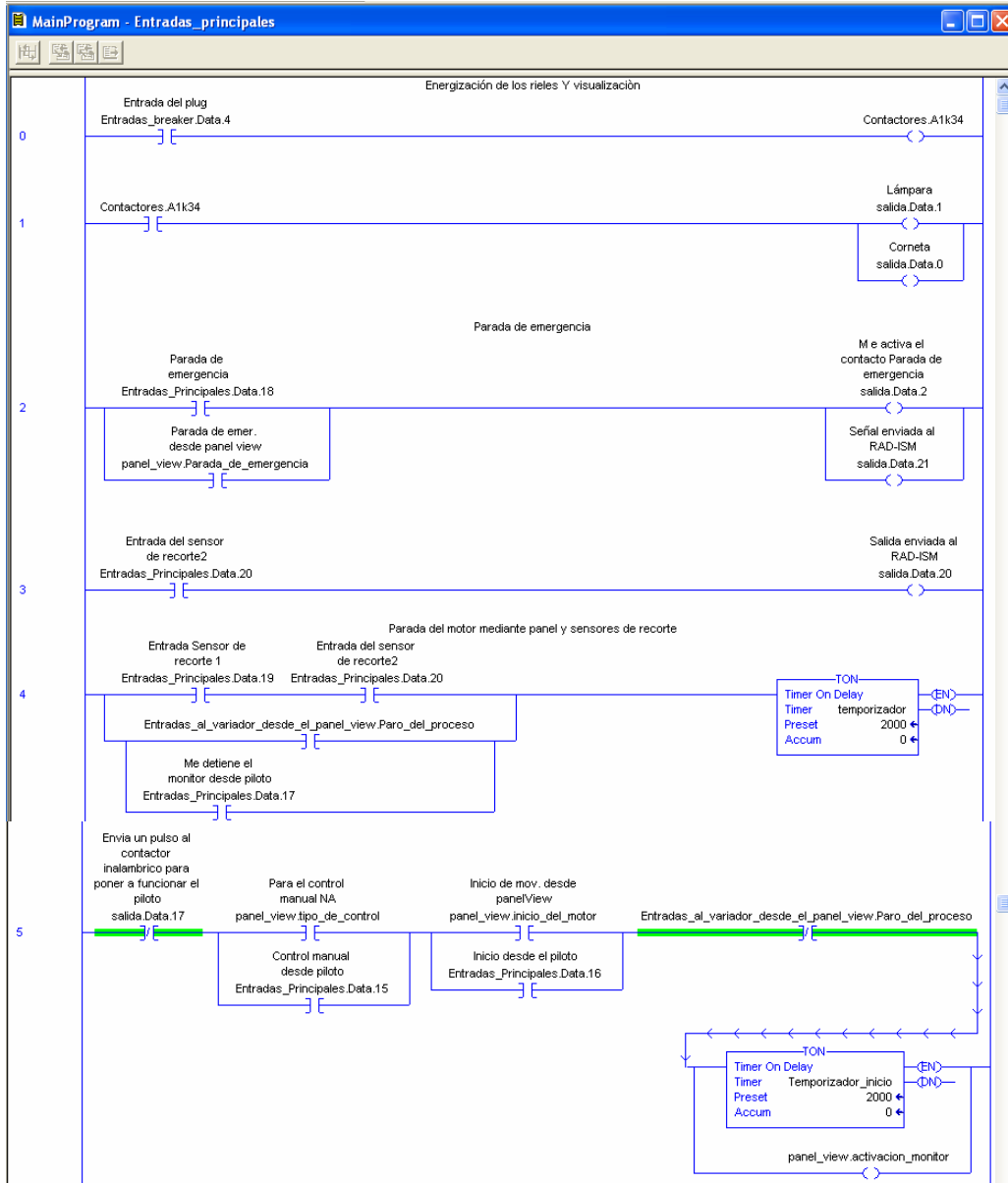
### Rutina Velocidad\_del\_motor

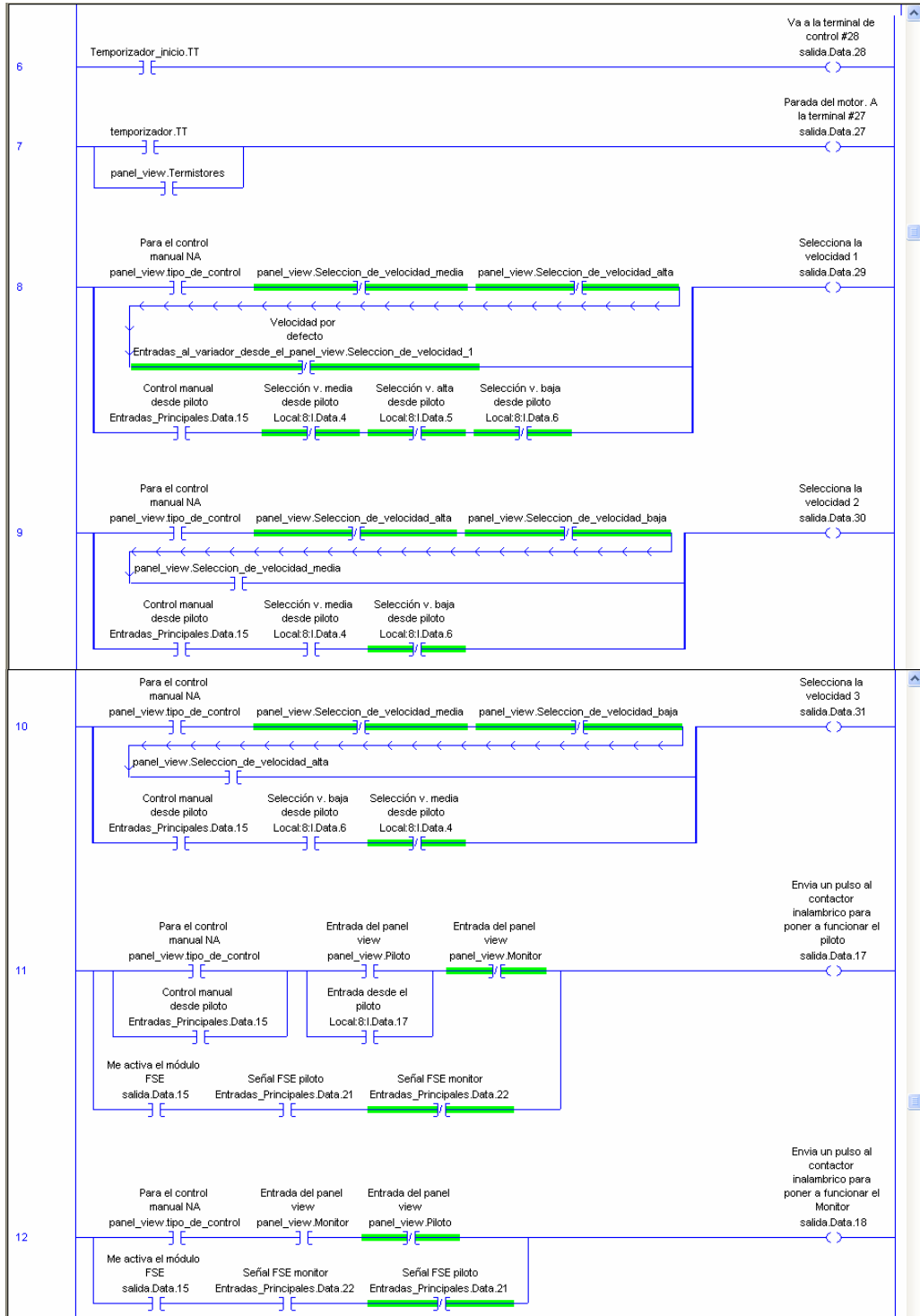


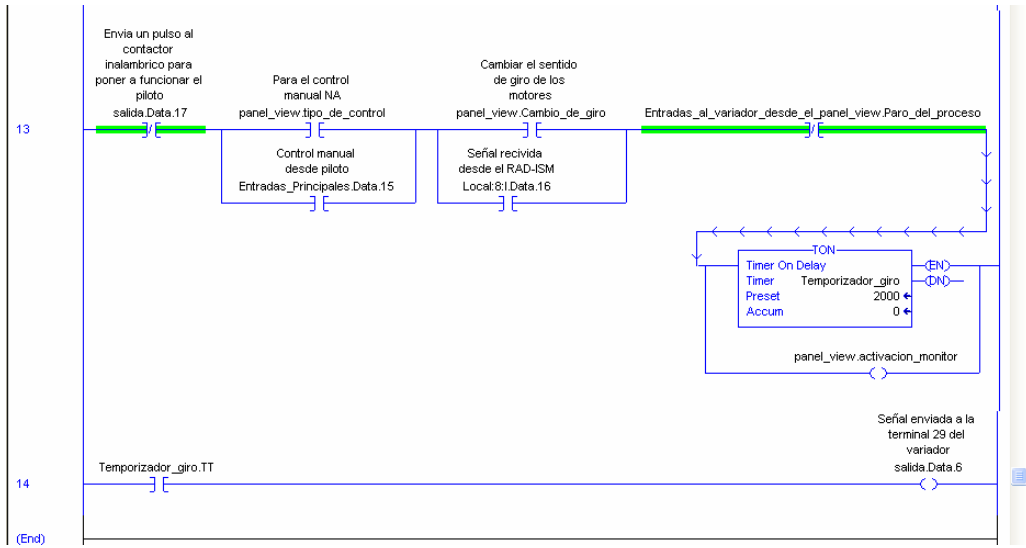
- *Programa para el PLC ubicado en el Gantry Monitor.*

Este programa es similar al anterior. Todas las rutinas y subrutinas son semejantes, excepto la rutina llamada Entradas Principales.

## Rutina Entradas Principales

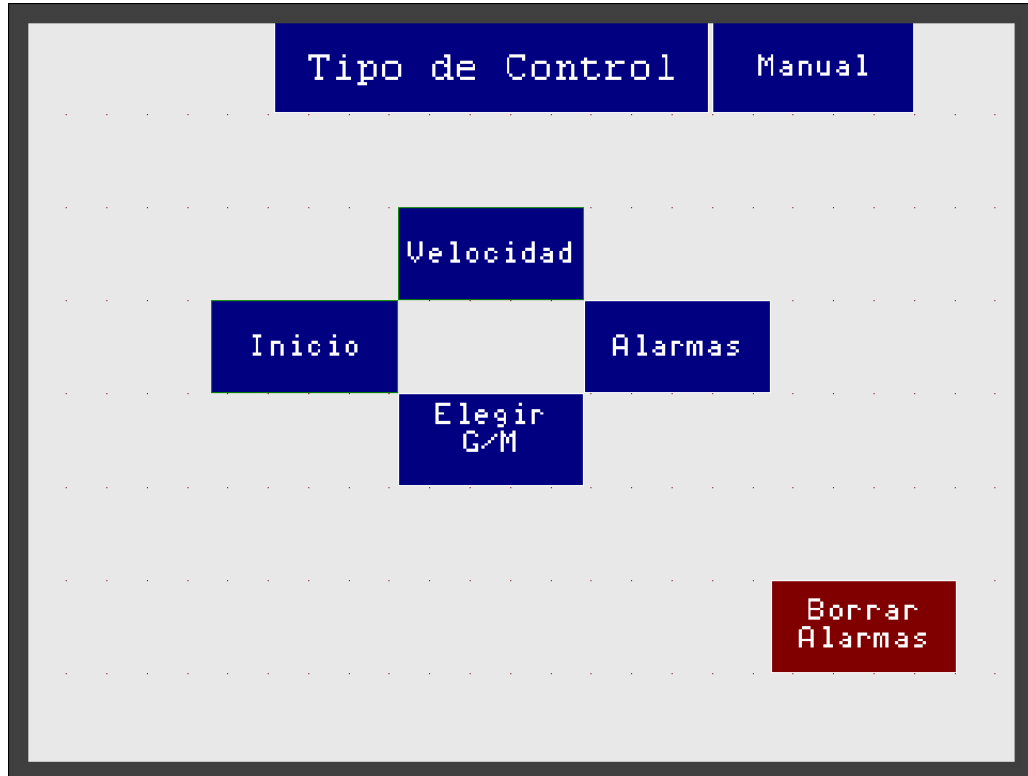






## ANEXO F: Interfaz HMI (Screens PanelView)

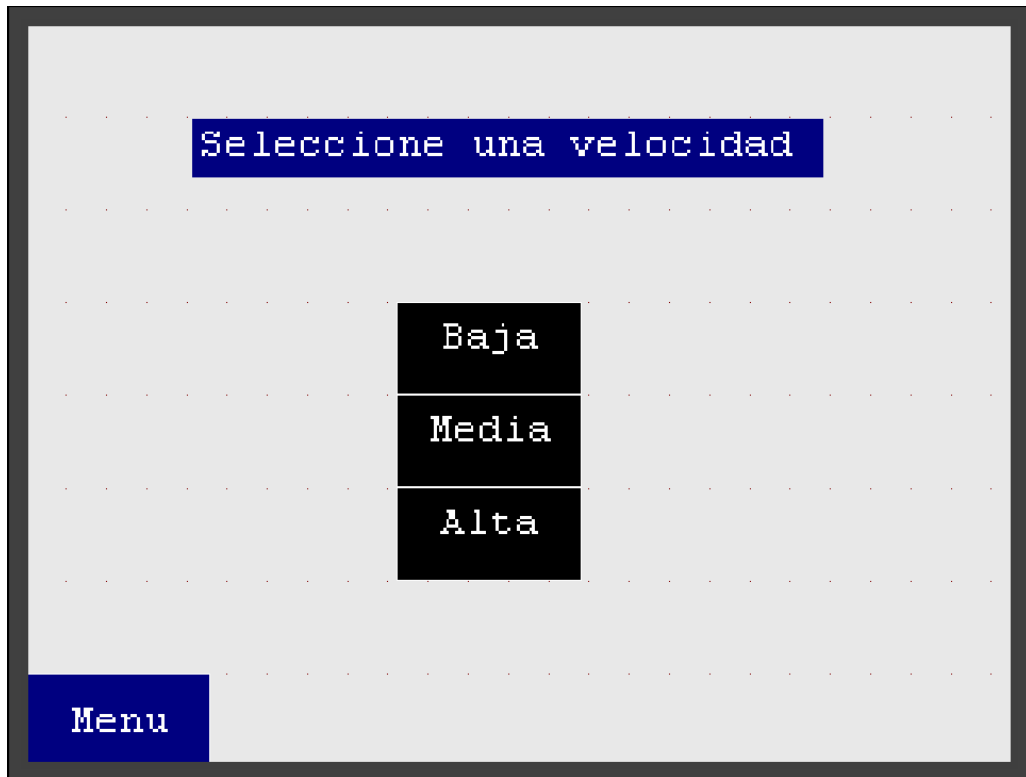
*Screen Principal*



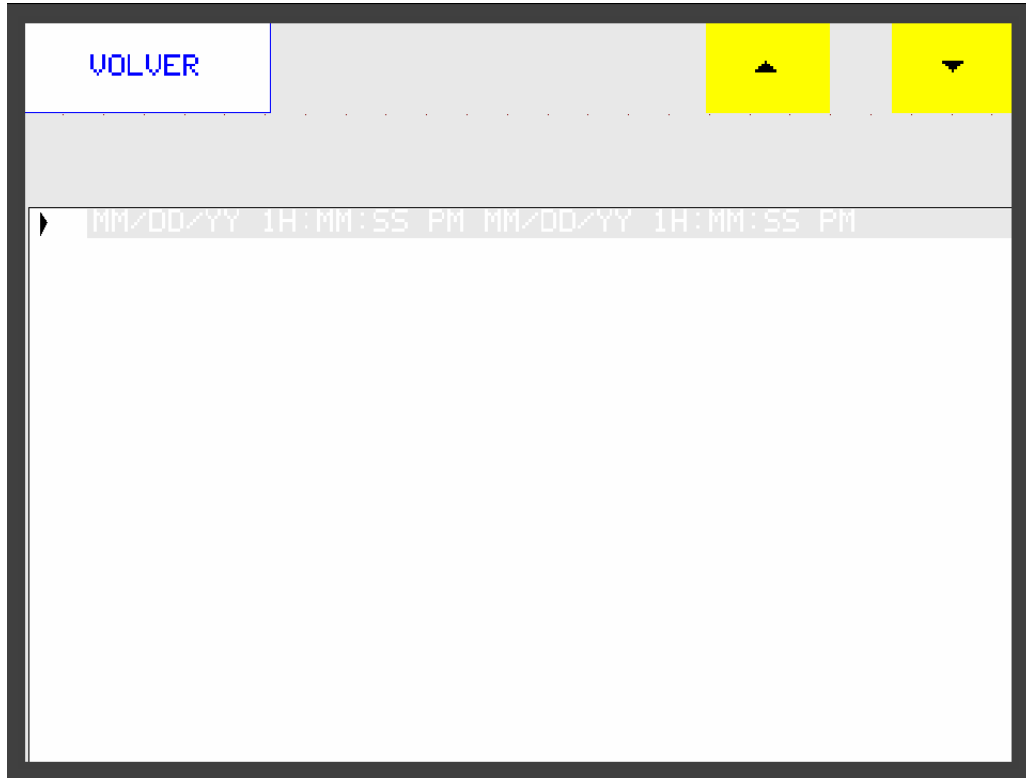
*Screen Elección Gantry*



*Screen Selección de Velocidad*



*Screen Alarms*



*Screen Inicio del Proceso*



## **ANEXO G: Iniciación rápida a la programación del PLC Allen Bradley**

Para el proceso de iniciación se debe tener instalado en la computadora el software RSLogix 5000, RSLinx, y Windows (98, 2000, XP, 2003). Para el hardware se necesita<sup>16</sup>:

- Un chasis (1756-A10/A) con fuente de poder (1756-PA72).
- Procesador (1756-L1). Instalarlo en el slot #1.
- Módulo de salida (1756-OB16D) de 16 puntos. Instalar en slot #3.
- Módulo de entrada (1756-IB16D) de 16 puntos. Instalar en slot #4.
- Módulo de comunicaciones ControlNet (1756-CNB). Instalar en slot# 0.
- Módulo de comunicaciones EtherNet (1756-ENET/A). Instalar en slot#2.

Teniendo como mínimo los componentes anteriores, se dispone a iniciar la configuración del PLC.

### **PARTE A:**

Primero debemos usar el software RSLinx para configurar el driver que se desea usar para comunicarse con el procesador Logix5550.

- *Abriendo la aplicación del software RSLinx.*

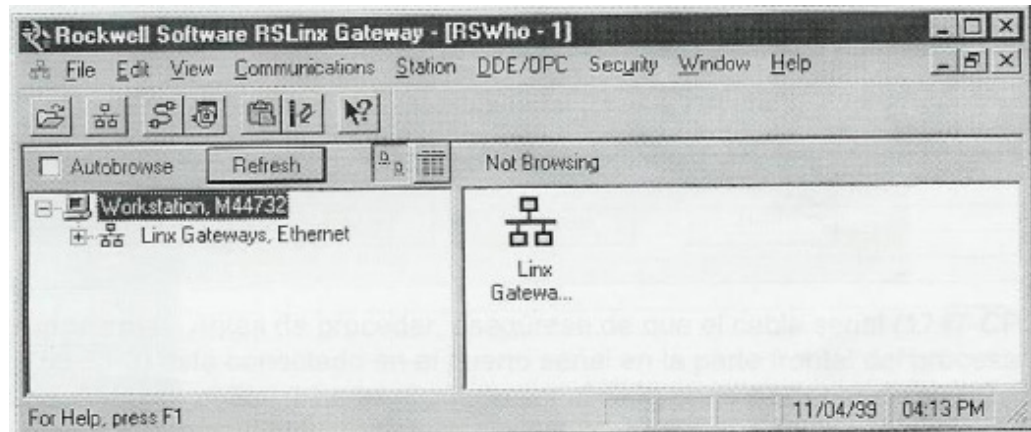


Haga doble click en el ícono de RSLinx en el escritorio para abrir el software del RSLinx.

Aparecerá la ventana de RSLinx Gateway-[RSWho – 1].

---

<sup>16</sup> El hardware mencionado y la ubicación de los módulos, es un ejemplo particular de la configuración de un PLC Allen Bradley.



*Figura #52: Ventana de RSLinx.*

La ventana de RSWho es la interfaz gráfica que me permite ver los nodos activos de la red instalada en la computadora.

La parte izquierda de esta ventana es un árbol jerárquico de control, el cual muestra las redes y dispositivos.

La parte derecha de esta ventana, es una lista de control, que muestra los dispositivos presentes en la red.

Si hubiera un estado de error en la comunicación de un dispositivo, dicho dispositivo aparecerá con una X roja, indicando que el RSWho lo había reconocido previamente, pero ahora ya no.

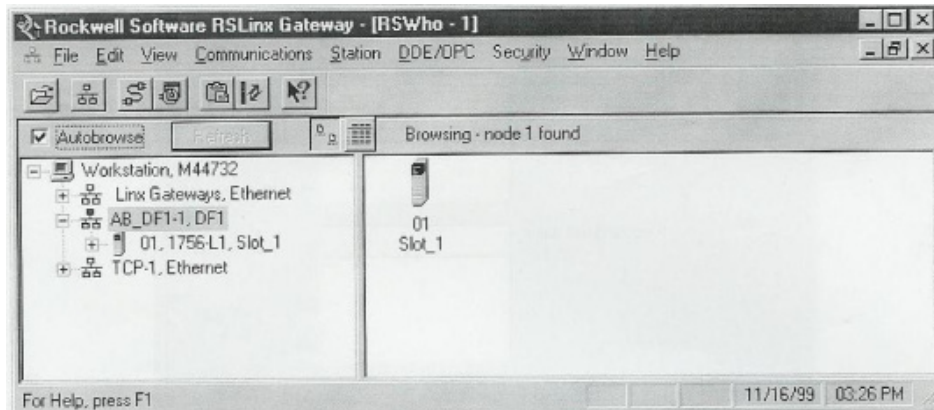
- *Añadir el driver que se va a utilizar*

Desde el menú de *Communications*, seleccione *Configure Drivers*, y agregue el controlador que se va a utilizar; puede ser tipo RS-232, ControlNet, EtherNet, DeviceNet, entre otros.

Antes de elegir alguno de estos controladores, cerciórese de que los cables estén conectados, del módulo del PLC a la computadora.

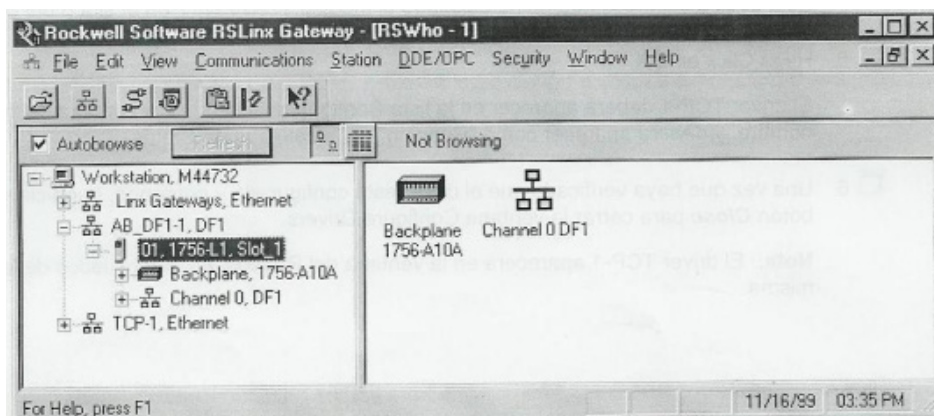
Si es por medio de ControlNet, se requiere tener una tarjeta de interfaz de ControlNet instalada y la computadora. Si es RS-232, se debe tener el cable serial, y si es EtherNet se debe tener un cable EtherNet.

- *Verificando la comunicación con el procesador.*
  1. De la ventana RSWho, haga doble click en el ícono del driver AB\_DF1-1, DF1. Este driver hace referencia al RS-232 agregado en la parte anterior.  
El driver DF1 con nombre AB\_DF1-1 se expande mostrando al controlador Logix5550 en el slot 1.



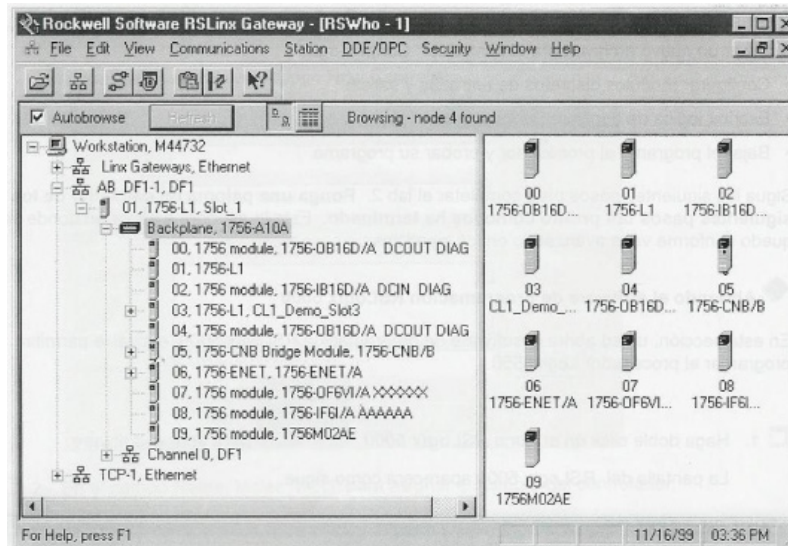
*Figura #53: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado.*

2. Haga doble click en el ícono del controlador 01, 1756-L1, slot\_1.  
El controlador se expandirá para mostrar el chasis del backplane.



*Figura #54: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado.*

3. Haga doble click en el ícono del backplane1 1756-A10A.  
El backplane se expande para mostrar todos los dispositivos conectados a el.



*Figura #55: Ventana de RSLinx, verificación driver instalado*


Los módulos ilustrados en la figura anterior pueden variar dependiendo de la ubicación y el número de las tarjetas (módulos).

4. Verifique que el Led RS232 en el Logix5550 localizado en el slot 1 este parpadeando de color verde. En caso de que se halla instalado el módulo EtherNet, ControlNet o DeviceNet, se procede de la misma forma y los Led's que poseen el módulo deben estar indicando conexión con la computadora.

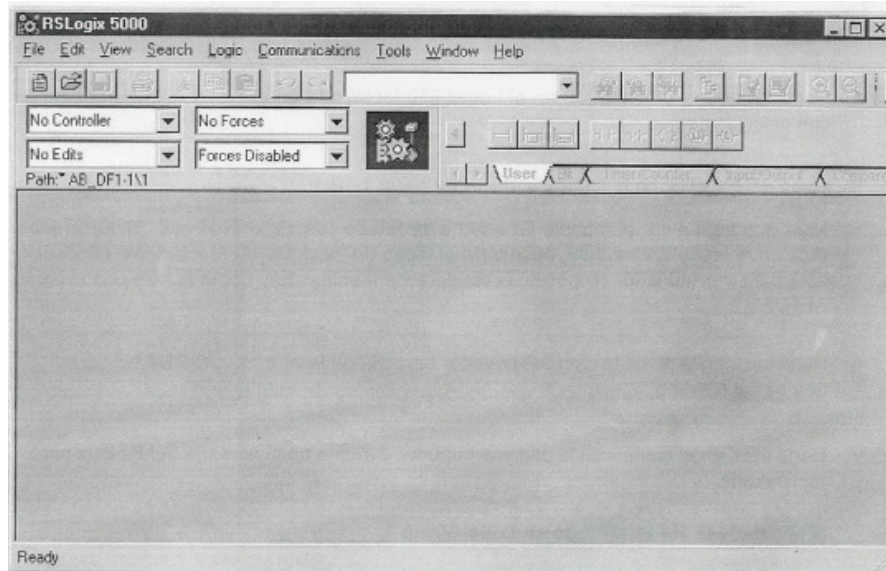
Ahora podemos pasar al software de programación RSLogix 5000.

**PARTE B:**

- Abriendo el software de programación RSLogix5000

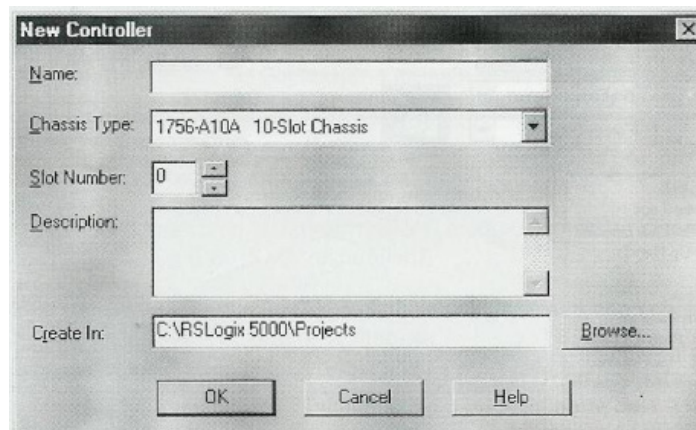
Haga doble click en el ícono RSLogix 5000  para abrir el software.

La pantalla del RSLogix 5000 aparecerá como sigue.



*Figura #56: Ventana de RSLogix 5000*

- Creando un nuevo archivo de controlador para el procesador en el slot1
  1. En el menú *file*, seleccione *New*.  
Aparecerá el cuadro de diálogo *New Controller*.

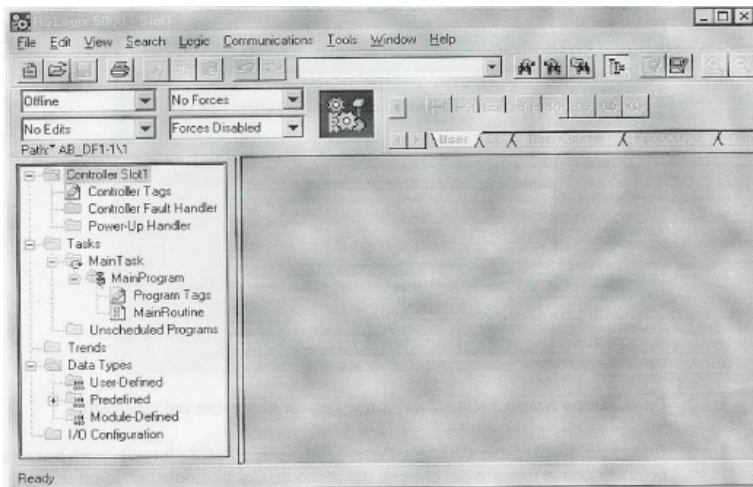


*Figura #57: Ventana de RSLogix 5000, New Controller*

2. En el campo *Name*, teclee "Slot 1" para asignar un nombre al controlador.
3. En la lista desplegable *Chasis Type*, seleccione *10-slot chasis*.

4. En el campo *Slot Number*, seleccione 1 para hacerlo coincidir con la posición del controlador. Los Slots están enumerados de izquierda a derecha, empezando con el slot 0.
5. En el campo *Create In*, seleccione el path donde se va a guardar el proyecto.
6. Haga click en ok.

Aparecerá el organizador de controlador en el lado izquierdo de la ventana de RSLogix 5000, con un folder llamado controller Slot 1. Ahora ha creado su archivo de controlador ControlLogix.



*Figura #58: Ventana de RSLogix 5000*

El organizador de controlador es una representación gráfica del contenido de su archivo de controlador. Este display consiste de un árbol de carpetas y archivos que contiene toda la información acerca de los programas e información en el archivo de controlador actual. Las carpetas por defecto son:

- \*Nombre del archivo del controlador (Controller File Name): contiene los tags del controlador.
- \* Tareas (Tasks): las tareas se muestran en esta carpeta. Cada tarea muestra sus propios programas con rutinas de escalera.

\*Tipos de datos (Data Types): muestra los tipos de datos predefinidos y los definidos por el usuario.

\*Configuración de E/S (I/O Configuration): Contiene la información acerca de la estructura del hardware de este archivo controlador.

- *Configuración del módulo de salidas discretas*

Estando colocado el módulo de salida en el slot # 3, se va agregar el módulo de la siguiente forma:

1. En el *Controller Organizer*, haga click con el botón derecho sobre la carpeta *I/O Configuration* y seleccione *New Module*.

Aparecerá el siguiente cuadro para seleccionar el respectivo módulo de una lista.

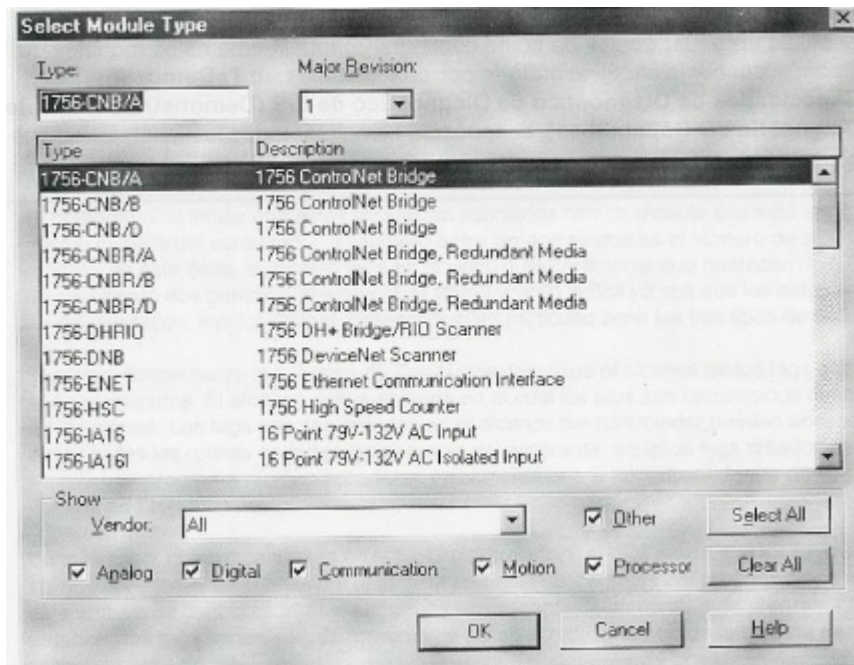
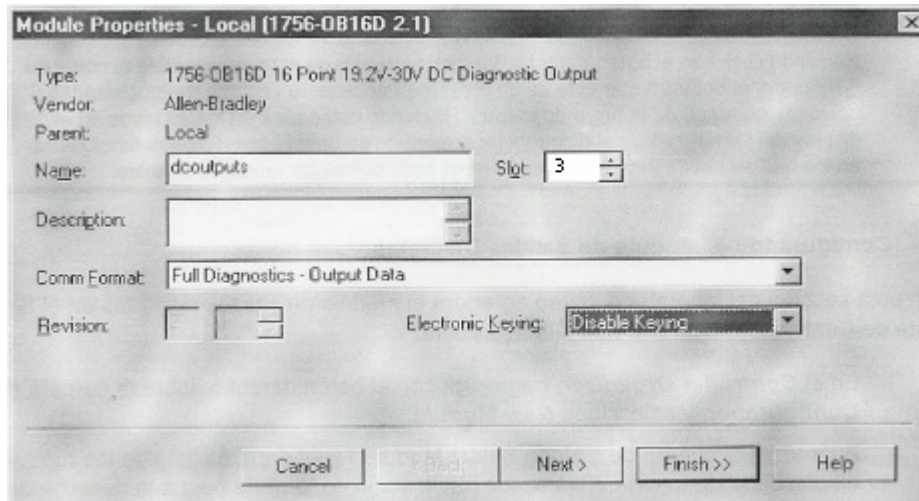


Figura #59: Selección de módulo RSLogix 5000

Se selecciona el módulo hasta llegar al 1756-OB16D.

2. Haga doble click en el módulo 1756-OB16D.

Aparecerá el cuadro de diálogo Module Properties



*Figura #60: Selección de módulo de propiedades de módulo de salida*

3. Teclee los parámetros que se encuentran abajo.

El software de RSLogix 5000, completará la por usted la configuración del módulo, usando los valores por defecto.

o *Viendo los tags*

1. En el *Controller Organizer* haga doble click sobre el ícono de *Controller*

*Tags*.  Controller Tags

Aparecerá el monitor de datos con los tres elementos como se muestra en la siguiente figura.

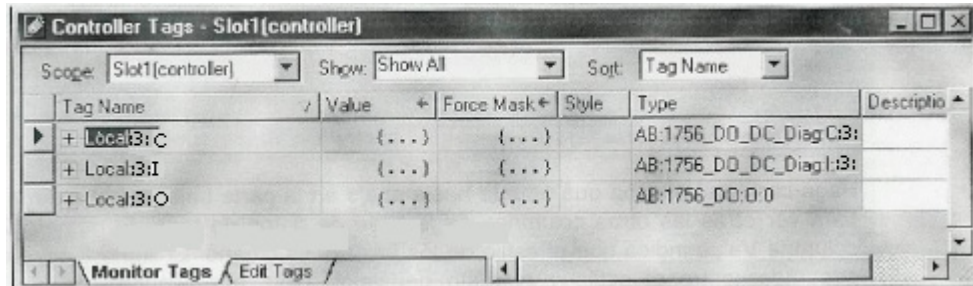


Figura #61: Controlador de Tags

El nombre *Local* indica que estos tags están asociados con un módulo que se encuentra en el mismo chasis del controlador. Después de los dos puntos me dice el número de slot donde está colocado el módulo, es este caso es el tres. Las letras que aparecen después de los últimos dos puntos (por ejemplo C,I,O) indica que los datos son de Configuración, Input ó Output respectivamente.

En el campo *Scope*, me define el rango de los tags que son reconocidos dentro de las rutinas.

2. Haga click en el signo + frente al tag *Local:3:C* para desplegar los tags de la configuración para este módulo.

Deberá aparecer algo similar como:

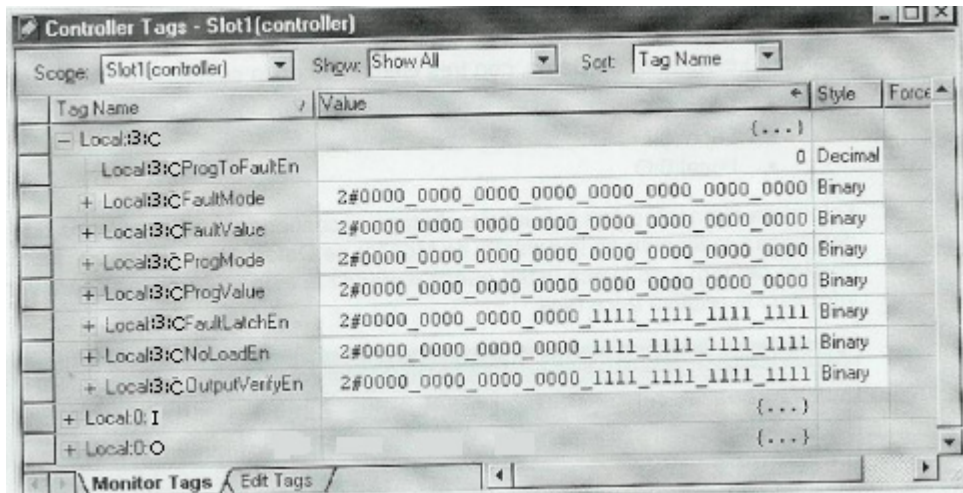


Figura #62: Controlador de Tags

El número dos de la columna indica que el tipo de datos es binario. El signo # sirve como un separador entre el estilo y el resto del valor. Note que los tags consisten de 32 bits, enumerados del cero al 31 de derecha a izquierda.

- *Configurando el módulo de Entradas Discretas*
- Para configurar este módulo se realizan igualmente los pasos de los anteriores puntos (*Configuración del módulo de salidas discretas*)  
A diferencia del punto anterior, acá le asignamos otro slot a la ubicación del módulo, por ejemplo le asignamos el slot número cuatro. Deberá aparecer en el monitor de datos, dos nuevos elementos en la columna *Tag Name*:


\* Local:4:C

\* Local:4:I

En Local:4:C están los tags de configuración para este módulo.

En Local:4:I contiene todos los bits de entrada reales.

Cierre el *Data Monitor* y guarde el programa.

- *Editando la rutina principal*
  1. De el árbol de proyecto o también llamado *Controller Organizer*, haga doble click sobre el ícono de *Main Routine* icono , entonces aparecerá un renglón escalera vacío tal y como se muestra en la siguiente figura.

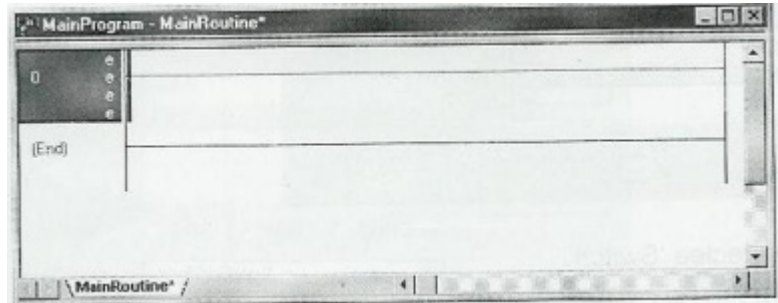


Figura #63: Diagrama escalera

2. De la barra de herramientas, haga click en la pestaña *Bit* como se muestra a continuación.

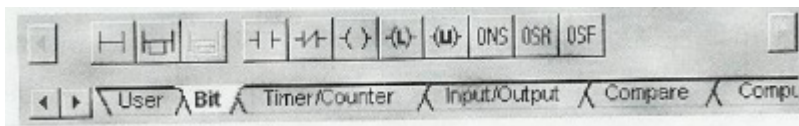



Figura #64: Barra de herramientas

Se notará de inmediato que la barra de íconos de instrucciones cambiará para mostrarle todas las instrucciones correspondientes a operaciones con Bits.

3. Haga click en el icono de contacto abierto XIC  para integrar la función en el renglón escalera. Aparecerá lo siguiente:

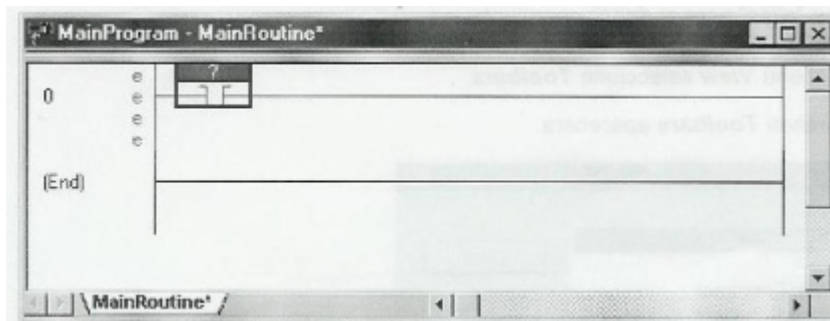


Figura #65: Diagrama Ladder.

4. Con el botón derecho del Mouse, haga click sobre el interrogante en el área azul, arriba de la instrucción XIC y selecciones *Create Tag*. Aparecerá entonces la siguiente ventana:

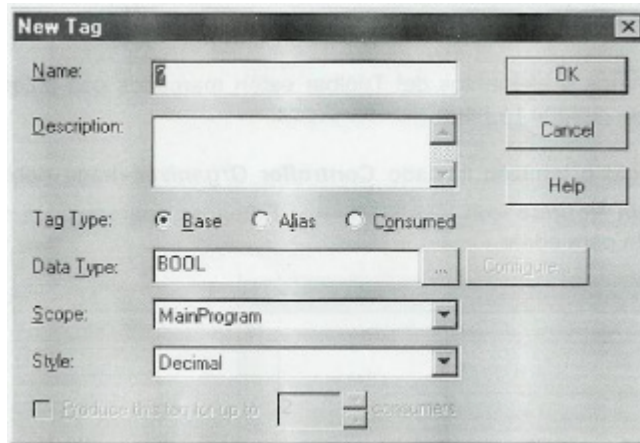


Figura #66: Creando un nuevo Tag

5. En el campo *Name* teclee el nombre que usted desea.  
Verifique que la palabra "MainProgram" aparezca en el campo Scope.
6. En el campo de selección *Tag Type*, marque *Alias*. La ventana de sufrirá una ligera modificación el cuál le mostrará cuatro campos más.
7. Sobre *Alias For* escoja un *Tag* de la lista de tags disponibles.  
Existen dos tipos de ambientes o Scope, *Program-scoped* y *controller-scoped*. Los primeros son accesibles solo para rutinas de un programa específico (se conocen como Variables Locales). Los segundos son accesibles a las rutinas de todos los programas en el controlador. También se conoce como Variables Globales.
7. Haga click sobre el signo más en frente a *Local:4:I*.
8. Haga click sobre el tag *Local:4:I:Data* y después sobre la flecha hacia abajo que aparece enseguida.  
Aparecerá una figura como la siguiente:

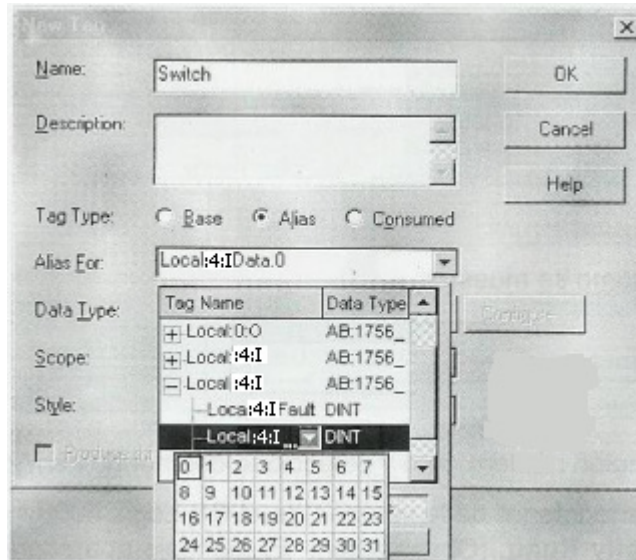


Figura #67: Seleccionando el bit de entrada

9. Haga click sobre el número *cer*. Se hace referencia al primer borne de la tarjeta de entrada, ubicada en el slot cuatro.

10. Haga click sobre *Ok*.

El renglón se deberá ver como esto:

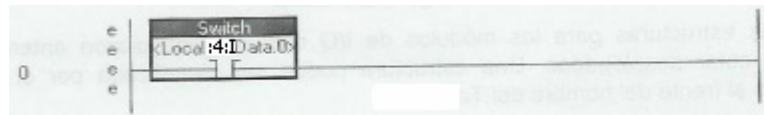

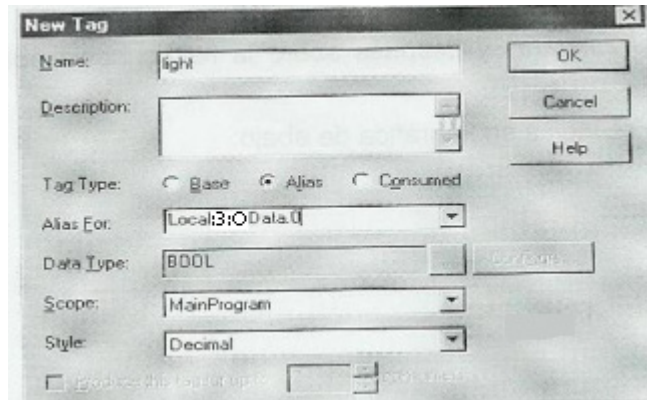


Figura #68: Entrada en forma de diagrama Ladder

11. Haga click y mantenga el botón del Mouse oprimido sobre el icono que referencia a *OTE (Output Energize)*  en la barra de herramientas. Arrástrelo y ubíquelo sobre la línea azul del renglón cero hasta que una marca de color verde aparezca a la derecha de la instrucción *XIC* que se acaba de introducir.

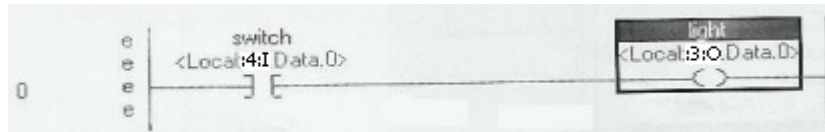
Cuando se haya liberado el botón del Mouse, la instrucción *OTE* será puesta al final del renglón cero.

12. Introduzca los parámetros como se muestra a continuación y haga click en *OK*.



*Figura #69: Creando un tag como un bit de salida*

El renglón deberá lucir como se muestra la siguiente figura:



*Figura #70: Creando una línea de programación en el RSLogix5000*

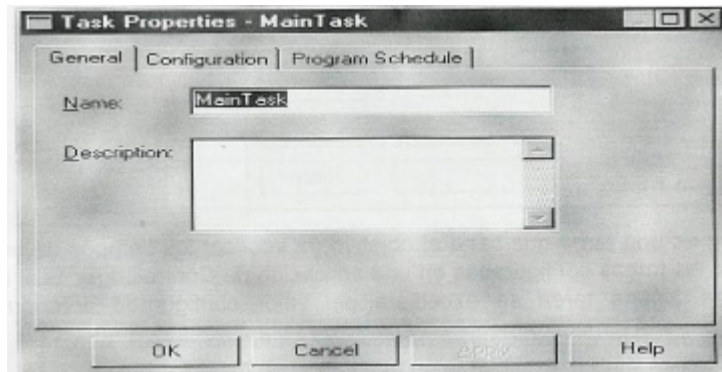
13. Haga click derecho sobre el renglón número cero y seleccione del menú: *Verify Rung*. Un mensaje aparecerá en la parte inferior de la ventana del RSLogix 5000 indicando el resultado del comando *Verify Rung*. Si existiera algún error, deberá corregirse antes. Se puede verificar la rutina completa seleccionando *Verify Routine* del menú *Logic*.

- *Verificando las propiedades de la tarea principal y el programa MainProgram.*

1. Del árbol de proyecto haga click derecho sobre el ícono de *MainTask*

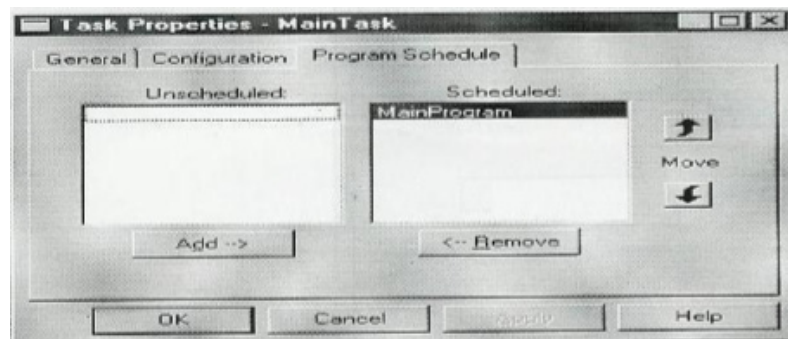


y seleccione *Properties*. La ventana de propiedades de tarea aparecerá.



*Figura #71: ventana de propiedades de tarea- General*

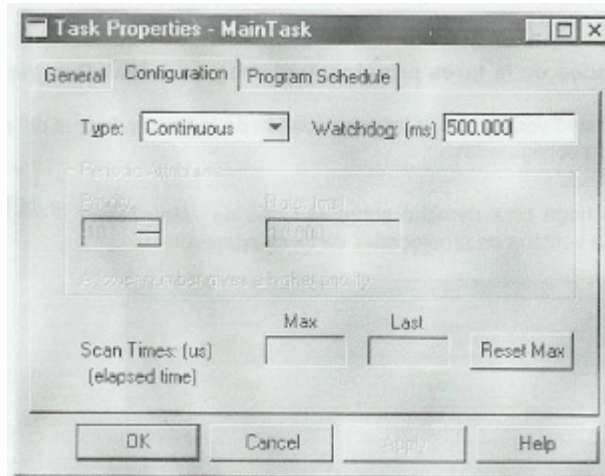
2. Haga click sobre la pestaña *Program Schedule* y verifique que el programa *MainProgram* aparece en área de *Scheduled*.



*Figura #72: ventana de propiedades de tarea- Schedule*


Si un fólder de programa no está configurado en el calendario dentro de una tarea, este no será ejecutado y aparecerá marcado dentro del área *Unscheduled*.

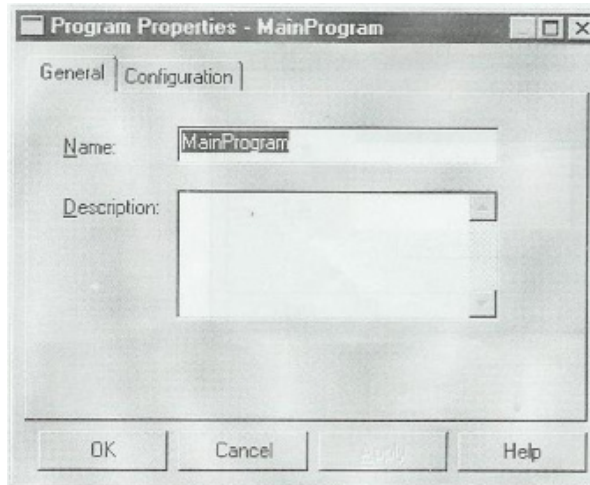
3. Ahora se examina la pestaña de Configuración y se verifica que el campo del Watchdog esté configurado en 500 ms.



*Figura #73: configuración watchdog*

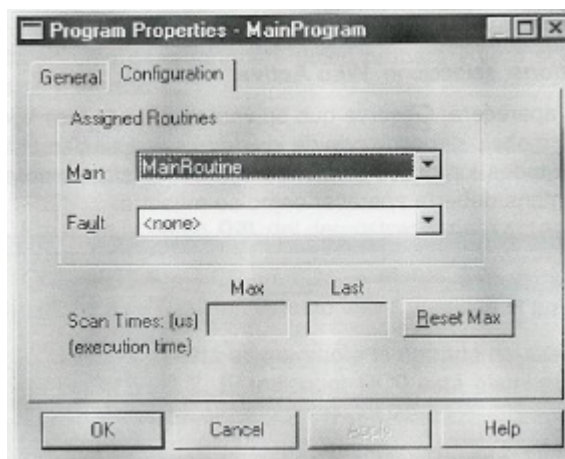
El watchdog es un área cuyo objetivo es verificar los tiempos de proceso de cada una de las tareas configuradas en una aplicación del ControlLogix. Si el tiempo de ejecución de alguna manera se excediera del valor configurado anteriormente, el procesador entraría inmediatamente en estado de falla.

4. Haga click sobre el botón *Ok* para cerrar la ventana *Task Properties*.
5. Localice el árbol de proyecto o *Controller Organizer*, haga click derecho sobre el icono de *MainProgram*  *MainProgram* y seleccione *Properties*. La ventana de *Properties* aparecerá.



*Figura #74: Propiedades programa principal*

6. Haga click sobre la pestaña de *Configuration* y verifique que la rutina *MainRoutine* aparece en el campo de *Main*. Si no es así, haga click sobre la ventana de despliegue de opciones y seleccione *MainRoutine*.



*Figura #75: Propiedades programa principal-MainRoutine*

7. Haga click sobre *OK* y salve el programa.

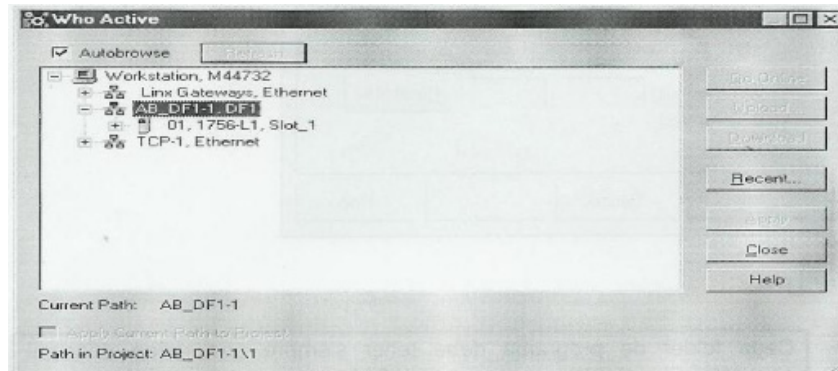
- *Descargando la aplicación del computador al CPU del PLC.*

Para descargar el programa se necesita tener comunicación entre el PLC y la computadora. Para ello verificamos el *WHO*. Cabe resaltar que podemos comunicarnos de diferentes formas, por ejemplo a través del puerto serial

RS-232, a través de ControlNet, DeviceNet o EtherNet, entre otros. Supongamos un caso particular, utilizando el RS-232 con el Driver DF1.

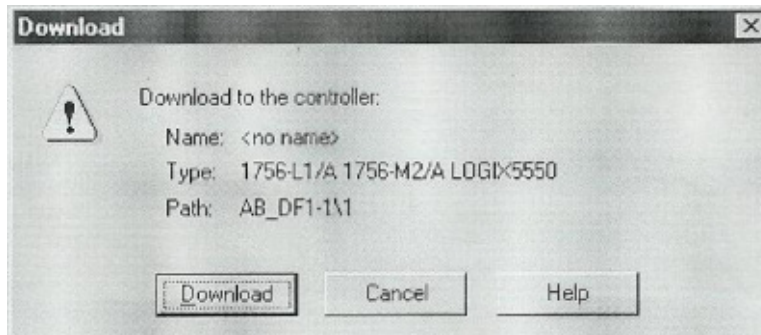
1. Del menú *Communications*, se selecciona *Who Active*.

La ventana *Who Active* aparecerá.



*Figura #76: Ventana Who Active*

2. Haga doble click sobre el icono de AB\_DF1-1, valla expandiendo hasta ver todos los nodos del *Backplane*. Seleccione el slot donde se encuentra ubicado el controlador Logix5550.
3. Haga click sobre el botón *Download*.  
Se verá una ventana de mensaje como la siguiente figura.



*Figura #77: Descarga al controlador*

Este mensaje aparece cuando el procesador se encuentra en modo programación o en modo remoto.


4. Haga click sobre el botón de *Download*.

- *Probando el programa*

1. Para asegurarse de que el programa que se descargó al procesador esté corriendo, gire la llave hacia la posición de RUN y después regrésela a REM.
2. Ingrese una entrada desde una botonera o simúlela desde el programa RSLogix 5000.

Observe que el Led amarillo status del borne cero de las tarjetas ubicadas en el slot tres y cuatro se iluminan cuando se presiona el botón o se induce la entrada desde el software.

Si se tiene desplegada la pantalla *MainRoutine*, se puede observar que las instrucciones *XIC* y *OTE* se colorean de verde.

3. Del árbol de proyecto o *Controller Organizer*, haga doble click sobre el icono de *Program Tags*  *Program Tags* para abrir la ventana de monitoreo de datos o también llamado Data Monitor con el fin de chequear el estado de las entradas y de las salidas On-Line. Se puede ver el estado de los tags como un valor de cero o un valor de uno cuando se active la entrada.

## **ANEXO H: Consideraciones técnicas de la instalación del variador de velocidad**

Como medida de protección contra lesiones personales, o daño de equipos, se debe seleccionar adecuadamente los fusibles. El fabricante recomienda el uso de fusibles de línea o disyuntores especificados en el *apéndice A* del manual de usuario del variador de velocidad.

Se puede usar cable THHN (sin pantalla), debido a que el área no es húmeda. Como una recomendación del fabricante, cualquier cable seleccionado debe tener un grosor de aislamiento mínimo de 15 milésimas de pulgada.

También se puede usar cable apantallado, para llevar las señales. El fabricante recomienda los siguientes tipos de cable:

Ubicación	Capacidad Nominal/Tipo	Descripción
Estándar (Opción 1)	600V, 90° C (194° F) XHHW2/RHW-2 Anixter B209500-B209507, Belden 29501-29507, o equivalente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuatro conductores de cobre estañado con aislamiento XLP.</li> <li>• Pantalla combinada de trenzado de cobre /papel de aluminio y cable drenador de cobre estañado.</li> <li>• Forro de PVC.</li> </ul>
Estándar (Opción 2)	Bandeja con capacidad nominal de 600V, 90° C (194° F) RHH/RHW-2 Anixter OLF-7xxxxx o equivalente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tres conductores de cobre estañado con aislamiento XLPE.</li> <li>• Cinta de cobre helicoidal sencilla de 5 milésimas (traslapo mínimo de 25%) con tres cables desnudos de conexión a tierra en contacto con la pantalla.</li> <li>• Forro de PVC.</li> </ul>
Clase I y II; División I y II	Bandeja con capacidad nominal de 600V, 90° C (194° F) RHH/RHW-2 Anixter 7V-7xxxx-3G o equivalente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tres conductores desnudos de cobre con aislamiento XLPE y coraza impermeable de aluminio corrugado y soldadura continua.</li> <li>• Forro negro completo de PVC resistente a la luz solar.</li> <li>• Tres cables de cobre de conexión a tierra en #10 AWG y menor.</li> </ul>

*Tabla #11: Tipos de cables recomendados por Allan Bradley<sup>17</sup>*

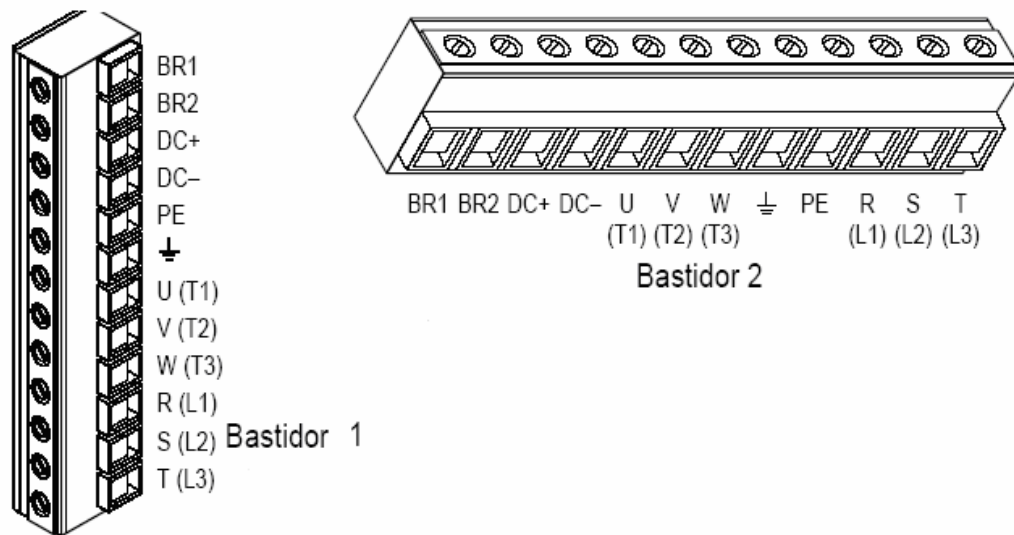
Respecto a la longitud del cable del motor, el fabricante recomienda distancias menores a 91 metros.

---

<sup>17</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

El cable recomendado por el fabricante es de cobre, y debe existir una separación mínima de 0.3 metros (1pie) entre los cables de control y señales, y los cables de alimentación eléctrica.

El variador de velocidad seleccionado posee dos bastidores de potencia. Sus respectivas terminales, se muestran en la siguiente figura:

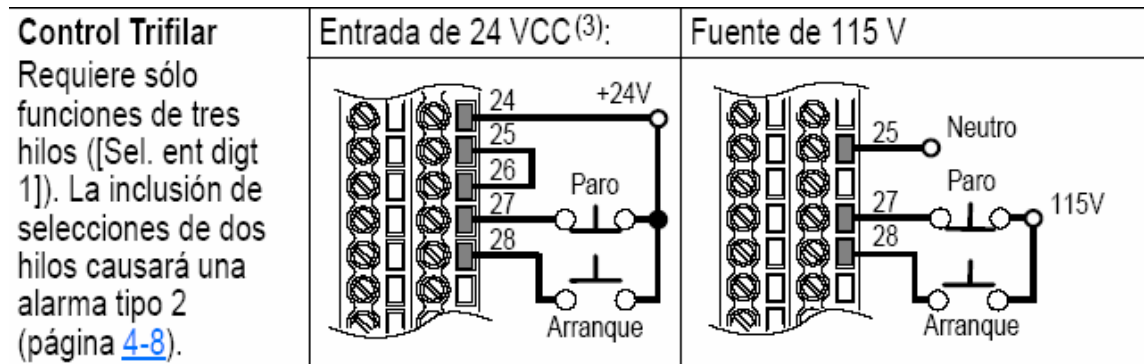


*Figura #78: Bloques de terminales de potencia*

Terminales	Descripción	Notas
BR1	Freno CC (+)	Conexión de Resistencia de Frenado Dinámico (+)
BR2	Freno CC (-)	Conexión de Resistencia de Frenado Dinámico (-)
CC+	Bus CC (+)	
CC-	Bus CC (-)	
PE	Tierra PE	Ubicadas en otro lugar en los variadores de 3 bastidores
$\perp$	Conexión a Tierra del Motor	Ubicadas en otro lugar en los variadores de 3 bastidores
U	U (T1)	Al motor
V	V (T2)	Al motor
W	W (T3)	Al motor
R	R (L1)	Alimentación de Entrada de Línea de CA
S	S (L2)	Alimentación de Entrada de Línea de CA
T	T (L3)	Alimentación de Entrada de Línea de CA

*Tabla #12: Bastidores de potencia que posee el variador de velocidad PowerFlex 700<sup>18</sup>*

Un ejemplo simple de las terminales utilizadas para controlar un motor trifásico, es el siguiente:



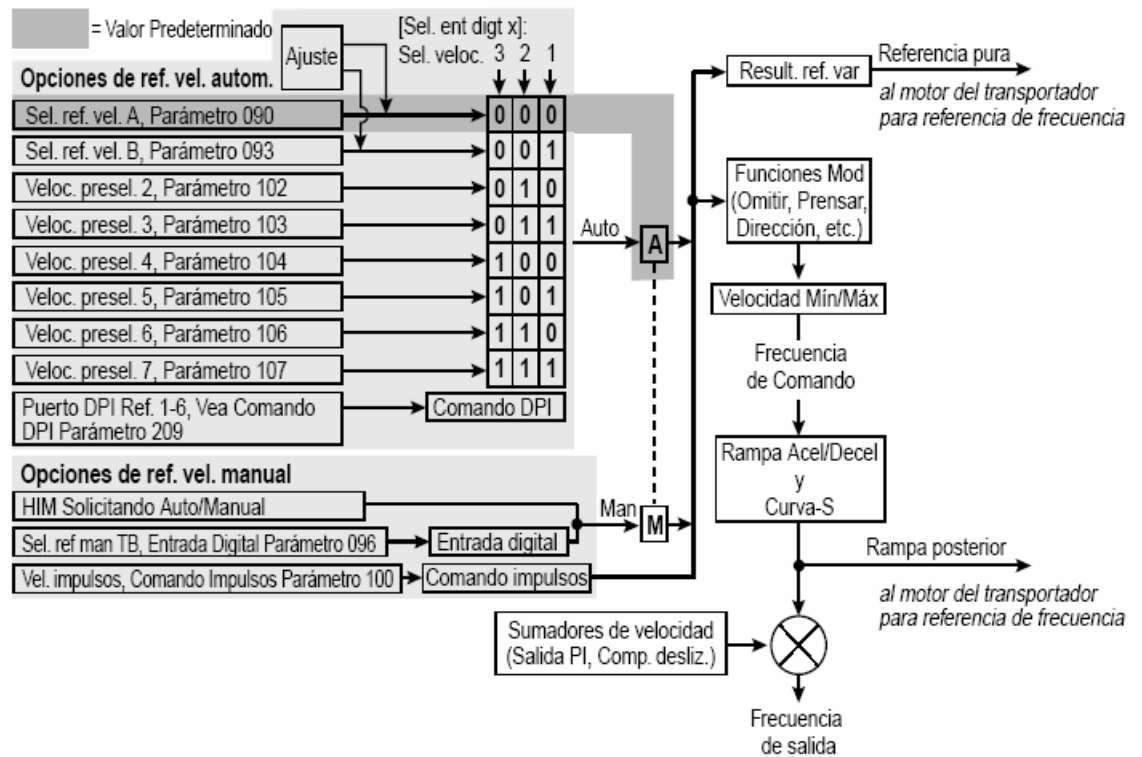
*Figura #79: Ejemplo de control del variador de velocidad PowerFlex 700<sup>14</sup>*

La fuente de 24v, debe ser suministrada por el usuario.

<sup>18</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

Para ajustar la referencia de velocidad del motor, se puede realizar mediante entradas digitales, el comando DPI, el botón de avance por saltos o la operación auto/manual del HMI.

### Gráficos de la Selección de Referencia de Velocidad<sup>(1)</sup>



- (1) Para acceder a Velocidad preseleccionada 1, establezca [Sel. ref. vel. A] o [Sel. ref. vel. B] en "Velocidad preseleccionada 1".

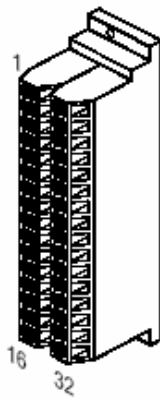
Figura #80: Selección de referencias de velocidades<sup>19</sup>

Para visualizar las entradas y salidas del variador de velocidad, se puede observar la siguiente tabla:

<sup>19</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

### Designaciones Estándar de Terminales de E/S

No.	Señal	Fábrica Valor Predeterminado	Descripción	Relacionado Parám.	
1	Volts Ent. Anlg. 1 (-)	(2)	(3)Aislado, bipolar, diferencial, $\pm 10V$ , 11 bit y signo, impedancia de entrada de 100k ohm.	320 - 329	
2	Volts Ent. Anlg. 1 (+)				
3	Volts Ent. Anlg. 2 (-)	(2)	Aislado(4), bipolar, diferencial, $\pm 10V$ , 11 bit y signo, impedancia de entrada de 100k ohm.		
4	Volts Ent. Anlg. 2 (+)				
5	Pot. Común	-	Para referencias de pot. de 10 V (+) y (-).		
6	Volts Sal. Anlg. 1 (-)	(2)	Bipolar, diferencial, $\pm 10 V$ , 11 bit y signo, carga mínima de 2k ohm.	338 - 346	
7	Volts Sal. Anlg. 1 (+)				
8	Int. Sal. Anlg. 1 (-)	(2)	4 a 20 mA, 11 bit y signo, con carga máxima de 400 ohm.		
9	Int. Sal. Anlg. 1 (+)				
10	Reservado para Uso Futuro				
11	Sal. Digit. 1 – N.C.(1)	Fallo	Carga Resistiva Capacidad Nominal: 2 A a 250 VCA/30 VCC Carga Min.: 10 mA Carga Inductiva Capacidad Nominal: 2 A a 250 VCA/30 VCC Carga Min.: 10 mA	380 - 387	
12	Sal. Digit. Común 1				
13	Sal. Digit. 1 – N.A.(1)	NO hay fallo			
14	Sal. Digit. 2 – N.C.(1)	Alarma			
15	Sal. Digit. Común 2				
16	Sal. Digit. 2 – N.A.(1)	NO hay alarma			
17	Int. Ent. Anlg. 1 (-)	(2)	Aislado(3), 4 a 20 mA, 11 bit y signo, impedancia de entrada de 124 ohm.	320 - 329	
18	Int. Ent. Anlg. 1 (+)				
19	Int. Ent. Anlg. 2 (-)	(2)	Aislado(4), 4 a 20 mA, 11 bit y signo, impedancia de entrada de 124 ohm.		
20	Int. Ent. Anlg. 2 (+)				
21	Ref. Pot. -10 V	-	2k ohm como mínimo, carga máxima de 15 mA.		
22	Ref. Pot. +10 V	-			
23	Reservado para Uso Futuro				
24	+24 VCC	-	Potencia provista por el variador para las entradas lógicas. Carga máxima de 150 mA.(5)		
25	Ent. Digit. Común	-			
26	Común 24 V	-	Potencia provista por el variador para las entradas lógicas. Carga máxima de 150 mA.(5)		



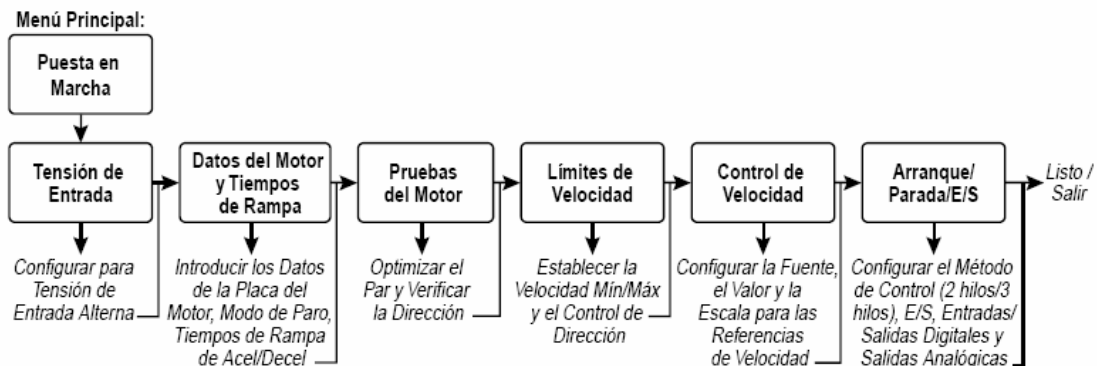
27	Ent. Digit. 1	Paro-BF	<u>115 VCA, 50/60 Hz</u> Optoaislado (250 V) Estado Bajo: menor que 30 VCA Estado Alto: mayor que 100 VCA <u>24 VCA/CC, 50/60 Hz</u> Optoaislado (250 V) Estado Bajo: menor que 5 VCA Estado Alto: mayor que 20 VCA	361 - 366
28	Ent. Digit. 2	Puesta en Marcha		
29	Ent. Digit. 3	Avance por impulsos		
30	Ent. Digit. 4	Sel Veloc 1		
31	Ent. Digit. 5	Sel Veloc 2		
32	Ent. Digit. 6	Sel Veloc 3		

*Tabla #13: Terminales de control del variador de velocidad.<sup>20</sup>*

Este variador de velocidad tiene dos métodos de puesta en marcha, el cual permite al usuario escoger la que se requiera:

- Puesta en marcha SMART: esta rutina permite configurar rápidamente el variador de velocidad, utilizando las funciones más comúnmente utilizadas. Para mayor información consulte el manual de usuario.
- Puesta en marcha asistida: esta rutina solicita información necesaria, con el fin de poner en marcha el variador para la mayoría de las aplicaciones, tales como datos de línea y motor, parámetros ajustados comúnmente y E/S. Para mayor información consulte el manual de usuario.

El esquema general de la puesta en marcha de un motor es el siguiente:



*Figura #81: Puesta en marcha, mediante un variador de velocidad<sup>#6</sup>*

<sup>20</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

El variador de velocidad *PowerFlex 700*, trabaja con tres tipos de parámetros:

- *Parámetros ENUM*: Permite una selección entre dos o más ítems. La pantalla LCD mostrará un mensaje de texto para cada ítem.
- *Parámetros de BIT*: Tienen bits individuales asociados con funciones y condiciones. Si el bit es cero, la función está desactivada y la condición es falsa. Si el bit es uno, ocurre lo contrario.
- *Parámetros numéricos*: tienen un solo valor numérico (por ejemplo 0.1 v).

Como un ejemplo de los parámetros anteriores, se tiene la siguiente tabla:

Valores – Define las diversas características de operación del parámetro. Existen tres tipos.		
ENUM	Valor Predeterminado:	Lista los valores asignados en la fábrica. “Sólo Lectura” = sin valor predeterminado.
	Opciones:	Muestra las selecciones de programación disponibles.
Bit	Bit:	Lista el marcador de posición del bit y la definición de cada bit.
Numérico	Valor Predeterminado:	Lista los valores asignados en la fábrica. “Sólo Lectura” = sin valor predeterminado.
	Min/Máx:	El rango (la configuración más baja y la más alta) posible para el parámetro.
	Indic. Pantalla:	Unidad de medida y resolución según se muestra en el LCD HIM. <b>Importante:</b> Al enviar valores a través de los puertos DPI, sencillamente elimine el punto decimal para llegar al valor correcto (por ejemplo: para enviar “5.00 Hz”, use “500”).

*Tabla #14: Tipos de datos del Variador de velocidad.*<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Pie de foto. Tomado del manual de usuario PowerFlex 700

## **ANEXO I: Datos de la empresa<sup>22</sup>**

En 1969, se inició negociaciones con inversionistas extranjeros como consecuencia de la divulgación del programa de Guayana en el ámbito internacional.

En 1971, La Corporación Venezolana de Guayana recibe de una empresa Japonesa un estudio de factibilidad para instalar una planta reductora de aluminio en lingotes con una capacidad anual de 150.000 toneladas.

La Industria Venezolana de Aluminio, C.A. (CVG VENALUM), se constituyó el 29 de Agosto de 1973, con el objeto de producir aluminio primario en diversas formas con fines de exportación, utilizando la tecnología de la empresa japonesa Showa Denko con una capacidad de 150.000 t/año. El capital social de la compañía era entonces de 34 millones de bolívares, de los cuales 80% fue suscrito por un grupo de seis empresas japonesas asociadas y el 20% restante por la Corporación Venezolana de Guayana.

1974, Producto de la negociación, se modifica la relación accionaria, elevando la participación nacional al 80% y reduciendo la de los japoneses a 20%. Se decide la ampliación de capacidad a 280.000 t/año.

1976, Se termina el movimiento de tierra y paralelamente comienza la construcción y el montaje de las instalaciones, el diseño e ingeniería de detalles y la elaboración y adjudicación de contratos y órdenes de compra.

1977, Se pone en servicio las plantas de tratamiento de aguas servidas, baños y vestuarios. Se pone en servicio la Planta de Cátodos y el Muelle sobre el río Orinoco.

1978, 27 de enero comienza la producción de aluminio primario con la puesta en marcha de la primera celda reducción.

---

<sup>22</sup> Reseña suministrada por la biblioteca de la empresa.

1978, 10 de junio se inauguran oficialmente las instalaciones de la empresa, entran en servicio los edificios de ingeniería, producción y mantenimiento y el complejo administrativo.

1978, 17 de agosto El fondo de inversiones de Venezuela ingresa como accionista.

1978, 27 de septiembre firma del primer contrato colectivo de trabajo entre la empresa y sus trabajadores.

1978, 27 de octubre la Asamblea Extraordinaria acordó aumentar el capital de la compañía a 200 millones para elevarlo a 750 millones de bolívares.

1978, 12 de diciembre por resolución de la Asamblea de Accionistas, el capital fue aumentado nuevamente a 1.000.000.000 bolívares.

1978, 20 de diciembre se efectúa el primer despacho de aluminio a Japón; la obra había sido completada en un 82%. Al terminar el año la inversión total del proyecto alcanzó 2.039 millones de bolívares.

1979 Un ritmo sostenido de producción hizo posible alcanzar la cifra de 112.000 t de aluminio primario, duplicando así en un solo año su producción y dándose a conocer mundialmente como un futuro gran productor de este metal.

1980 se alcanza el 92.50% de la capacidad de planta con una producción bruta de 222.069 t.

1985 Se empieza a construir un complejo de reducción de aluminio que lleva por nombre V línea, el cual estaría formado por 180 celdas electrolíticas de tipo Niágara. La V línea fue terminada de construir en el año 1987 entra en plena operación en 1989, con una capacidad de producción de 1.722 Kg. De aluminio por día, incrementándose la producción en 113.000 t/año, para una capacidad de producción total de más de 400.000 t/año.

1990 se inicia el arranque experimentas de las celdas V-350. Con este proyecto de tecnología 100% venezolana comienza una etapa de consolidación tecnológica de la empresa.

1993 La industria del aluminio CVG Venalum se une administrativamente a CVG Bauxilum.

1996 por primera vez se logra la total utilización de la capacidad instalada en planta, 430.000 t de aluminio primario, un logro sin precedentes, lo cual coloca a esta empresa como líder en el mercado internacional, como la mayor reductora en el mundo occidental.

1998 debido a un siniestro industrial se ponen fuera de servicio 120 celdas reductoras.

2002 se logra superar la capacidad instalada de planta. Este año se alcanza un uso efectivo de la capacidad nominal de planta de 101,11%, de igual forma el mismo año se pudo mantener por varios días la totalidad de las celdas en servicio (905), también este año se alcanza la cifra histórica de producción de 8`000.000 de toneladas de aluminio primario. Se logró récord histórico de producción 436.558 toneladas de aluminio, la mayor producción anual alcanzada hasta la fecha.

2004, 27 de diciembre, CVG Venalum logró un nuevo récord al superar el registro histórico de toneladas brutas del año 2002. Por tercer año consecutivo se sobrepasó la capacidad instalada de producción de 430.130 toneladas, implantado así un nuevo registro en sus 26 años de operaciones al ubicarse la producción bruta total en 442.074 t.

2004, también ese año, en enero CVG Venalum recibe formalmente la certificación ISO 9001-2000 para la línea de producción colada y fabricación de lingotes de aluminio para refusión y cilindros de extrusión. Una vez lograda la certificación la extensión de la misma, la cual fue aprobada en el mes de diciembre a través de una auditoria, culminando exitosamente al no detectarse inconformidades en el sistema, ingresando así como miembro de un selecto grupo de empresas que cuentan con esta importante certificación.

## **LA EMPRESA**

### **Ubicación Geográfica**

CVG VENALUM esta ubicada en la zona Industrial Matanzas en Ciudad Guayana, urbe creada por decreto presidencial el 2 de Julio de 1961 mediante fusión de Puerto Ordaz y San Félix.

La escogencia de la zona de Guayana, como sede de la gran industria del aluminio, no obedece a razones fortuitas:

- Integrada por los Estados Bolívar, Delta Amacuro y Amazonas, esta zona geográfica ubicada al sur del Río Orinoco y cuya porción de 448.000Km<sup>2</sup> ocupa exactamente la mitad de Venezuela, reúne innumerables recursos naturales.
- El agua constituye el recurso básico por excelencia en la región guayanesa, regada por los ríos más caudalosos del país, como el Orinoco, Caroní, Paraguas y Cuyuní, entre otros.
- La presa "Raúl Leoni" en Guri, con una capacidad generadora de 10 millones de Kw, es una de las plantas hidroeléctricas de mayor potencia instalada en el mundo, y su energía es requerida por las empresas de Guayana, para la producción de acero, alúmina, aluminio, mineral de hierro y ferro silicio.
- La navegación a través del Río Orinoco en barcos de gran calado en una distancia aproximada de 184 millas náuticas (314 Km) hasta el Mar Caribe.

### **Descripción de la Empresa**

La empresa CVG VENALUM se encarga de la producción del aluminio, utilizando como materia prima la alúmina, criolita y aditivos químicos (fluoruro

de calcio, litio y magnesio). Este proceso de producir aluminio se realiza en celdas electrolíticas.

Dentro del proceso de producción de la planta industrial, existen mecanismos de alimentación que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la misma, los cuales son: la Planta de Carbón, Planta de Colada, Planta de Reducción e instalaciones auxiliares.

### **Misión:**

CVG Venalum tiene por misión producir y comercializar productos de aluminio con la participación protagónica de sus trabajadores, accionistas, clientes, proveedores y la comunidad organizada, bajo un sistema que garantice productividad, calidad integral, seguridad, salud y la conservación del ambiente a fin de impulsar el desarrollo Endógeno industrializante del país.

### **Visión:**

CVG Venalum se convertirá en el epicentro del desarrollo Endógeno de la industria nacional del aluminio, contribuyendo así a la transformación del modelo económico que garantice la soberanía productiva del país.

### **Objetivos Estratégicos**

- Impulsar el desarrollo de la cadena transformadora nacional
- Contribuir a la transformación del modelo económico
- Facilitar la participación ciudadana en la acción empresarial
- Contribuir a la integración económica en Latinoamérica y el Caribe
- Alcanzar altos niveles de calidad en nuestra gente, procesos y productos

### **Estrategias**

- Medir satisfacción de clientes y mejorar cumplimientos.
- Mantener y mejorar en forma continua el sistema de gestión.
- Disponer de personal capacitado que labore en condiciones seguras.

- Promover el desarrollo y consolidación de proveedores.
- Prestar servicios de muelle, laboratorio y tecnología a los clientes.
- Incrementar capacidad instalada
- Optimizar cesta de productos
- Optimizar Costos
- Realizar Ventas directas a mercados naturales de Latinoamérica y el Caribe
- Establecer Alianzas Estratégicas con los transformadores nacionales
- Desarrollar la responsabilidad social empresarial

## **Políticas de la Empresa**

### ***Productividad y Rentabilidad***

La Empresa deberá orientar su gestión a garantizar la máxima productividad y rentabilidad en armonía con el avance técnico de la industria y la situación del mercado del aluminio, explotando las oportunidades de sinergia de acción que identifiquen los diferentes ámbitos de competencia.

### ***Comercial***

En materia de comercialización, la empresa deberá emprender acciones para garantizar el máximo valor agregado de la cesta de productos, conciliando la excelencia técnico-económica con el máximo retorno de mercado.

### ***Calidad***

Calidad para CVG Venalum significa producir y comercializar aluminio así como prestar servicios relacionados, que satisfagan los requisitos de los clientes, mediante la participación de su personal y sus proveedores en un sistema de gestión de la calidad que estimula el mejoramiento continuo de sus procesos y productos.

### ***Social***

CVG Venalum como empresa del Estado venezolano a fin de contribuir con el desarrollo de la economía nacional, impulsará proyectos de carácter socioeconómicos generadores de empleo y bienestar social para la región, que elevan la calidad de vida de la comunidad que la circunda.

### ***Ambiental***

CVG Venalum empresa productora de aluminio se compromete a incorporar la variable ambiental para el mejoramiento continuo de los procesos, a fin de cumplir con la legislación ambiental vigente y contribuir con la prevención y control de la contaminación.

### ***Desarrollo***

CVG Venalum deberá impulsar el desarrollo integral y sostenido del sector del aluminio, orientando su acción como una extensión regional del Estado en pro de la reactivación, desarrollo y consolidación de la cadena transformadora nacional y del parque metalmecánico conexo.

### **Funciones de la Empresa**

La industria venezolana del aluminio, tiene como principal función producir y comercializar aluminio primario y sus derivados en forma rentable. Para cumplir con este propósito, CVG VENALUM se orienta hacia aquellos productos y mercados que resulten estratégicamente atractivos. Es una empresa dedicada a la excelencia, a los costos más bajos posibles de la industria y participar en aquellos negocios que ofrezcan las mayores posibilidades de crecimientos y utilidad. Entre las funciones que conforman la industrial del aluminio se pueden mencionar:

- Producción: alcanzar el nivel óptimo de productividad, respondiendo a las exigencias del mercado bajo controles de calidad establecidos, asegurando las mejores condiciones de rentabilidad y seguridad, en concordancia con la capacidad instalada y de acuerdo a las exigencias de los mercados internacionales con relación a calidad, costo y oportunidad.
- Comercialización: optimizar la gestión de comercialización para elevar las ventas de la empresa y cumplir oportunamente con los requerimientos y necesidades del mercado.
- Tecnología: establecer y desarrollar la tecnología adecuada para alcanzar una producción eficiente, que aumente la competitividad de la industria del aluminio.
- Mercado y Ventas: maximizar los ingresos de la empresa mediante la venta de productos, cumpliendo oportunamente con los clientes, con la calidad requerida y a precios competitivos.
- Procura: Garantizar la adquisición de materia prima, equipos, insumos y servicios en la calidad y oportunidad requerida a costos competitivos.
- Finanzas: mantener una adecuada estructura financiera que contribuya a mejorar la competitividad y el valor de la empresa.
- Organización: disponer de una óptima estructura organizativa de los sistemas de soportes que faciliten el cabal cumplimiento de los objetivos de la empresa.

- Recursos Humanos: disponer de un recurso humano competente, identificado con la organización de la empresa y asegurar que sea el más efectivo y especializado.

## **Proceso Productivo**

### **Planta de Carbón**

En la Planta de Carbón y sus instalaciones, se fabrican los ánodos que hacen posible el proceso electrolítico. En el Área de Molienda y Compactación se construyen los bloques de ánodos verdes a partir de choqué de petróleo, alquitrán y remanentes de ánodos consumidos. Los ánodos son colocados en hornos de cocción aproximadamente durante 21 días, con la finalidad de mejorar su dureza y conductividad eléctrica. Luego el ánodo es acoplado a una barra conductora de electricidad en la Sala de Envarillado. La Planta de Pasta Catódica produce la mezcla de alquitrán y antracita que sirve para revestir las celdas, que una vez cumplida su vida útil, se limpian, se reparan y reacondicionan con bloques de cátodos y pasta catódica.

### **Reducción**

En las celdas se lleva a cabo el proceso de reducción electrolítica que hace posible la transformación de la alúmina en aluminio, transportada por correas desde la planta de alúmina y almacenado en silos. El procedimiento es similar al de una batería: la carga eléctrica pasa de un polo a su opuesto. En el caso de la celda, el electrolito por el que pasa la carga eléctrica lleva disueltas moléculas de alúmina, las cuales se disocian produciendo aluminio. El oxígeno que se libera en el proceso de reducción se combina con el ánodo (carbón) y otros compuestos (fluoruros), produciendo gases que son recogidos y transportados a las plantas de tratamiento de humos, generándose el beneficio dual de reciclaje de fluoruros a celdas y reducción de emisiones de gases al ambiente. El área de Reducción esta compuesta por Complejo I, II, y V Línea. Cada complejo contiene dos líneas conectadas en serie. Cada línea tiene

dos salas y en cada sala hay 90 celdas. En total son 900 celdas, 720 de tecnología Reynolds (EE.UU) en los complejos uno y dos, y 180 celdas de tecnología Hydro Aluminium-Noruega. Adicionalmente, existen cinco celdas experimentales V-350, un proyecto desarrollado por ingenieros venezolanos al servicio de la empresa en el área de V Línea.

Para producir una tonelada de aluminio se requieren dos toneladas de alúmina y 20Kg de fluoruro de aluminio. Cada 24 horas se extraen aproximadamente 1200 Kg de aluminio de cada celda de los complejos I y II; 1800 Kg de cada celda de Quinta Línea y 2460 Kg de cada celda V-350.

La capacidad nominal de estas plantas es de 430.000 t/año. El funcionamiento de las celdas electrolíticas, así como la regulación y distribución del flujo de corriente eléctrica, son supervisados por un sistema computarizado que ejerce control sobre el voltaje, la rotura de costra, la alimentación de alúmina y el estado general de las celdas.

### **Colada**

El aluminio líquido obtenido en las salas de celdas es trasegado y trasladado en crisoles al área de Colada, donde se elaboran los productos terminados. El aluminio se vierte en hornos de retención y se le agregan, si es requerido por los clientes, las aleaciones que necesitan algunos productos.

Cada horno de retención determina la colada de una forma específica: lingotes de 10 Kg. con capacidad nominal de 20.100 t/año., lingotes de 22Kg. con capacidad de 250.000 t/año, lingotes de 680Kg. con capacidad de 100.000 t/año, cilindros con capacidad para 85.000 t/año y metal líquido. Concluido este proceso el aluminio esta listo para la venta a los mercados nacionales e internacionales.