

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



***Diseño del Sistema Eléctrico y de Control para una Máquina de pruebas  
hidrostáticas bajo la norma AWWA C900***

**TechShop Internacional S.A**

**Informe final**

**Proyecto de Graduación**

**para optar por el título de Ingeniero en Electrónica**

**con el grado académico de Licenciatura**

**José Pablo Espinoza Fallas**

**Cartago, 7 de agosto de 2008**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**TRIBUNAL EVALUADOR**

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

**Miembros del Tribunal**

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Eduardo Interiano Salguero

Profesor lector

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Adolfo Chaves Jiménez

Profesor lector

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Badilla Corrales.

Profesor asesor

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

Cartago, 7 de agosto de 2008

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 7 de agosto de 2008

A handwritten signature in black ink, reading "José Pablo Espinoza Fallas". The signature is stylized with large, flowing letters and a prominent flourish at the end.

José Pablo Espinoza Fallas

Cédula: 401820823

## Resumen

Hoy en día el uso de tuberías de PVC para el transporte de aguas, especialmente de agua potable, es por eso que se da una constante búsqueda de mejores tecnologías de fabricación, que conlleven a la obtención de nuevos y novedosos sistemas de tuberías.

Los procesos de producción de tubería de PVC están regulados por normas internacionales que garantizan la calidad en este tipo de productos, especialmente cuando se trata del agua, tan necesaria para la supervivencia de la vida.

La ejecución de este proyecto se encuentra directamente relacionado con el proceso de producción de tubería de PVC de alta presión, más específicamente la que se encuentra regulada por la norma C900 de la Asociación Americana de Trabajos del Agua AWWA. En este proyecto se desarrolló el diseño eléctrico para una máquina de pruebas hidrostáticas para tubería de agua potable a alta presión. Entre los alcances del proyecto se encuentra la obtención del diseño de la instalación eléctrica par la máquina, además de ello el sistema de control, el cual se basa en un PLC, se dio la selección de componentes de acuerdo a los requerimientos del diseño .

Finalmente, se realizó una simulación con el fin de comprobar el cumplimiento de los requisitos del diseño realizado.

**Palabras Clave:** Tubería de PVC, Norma C900, Automatización, Pruebas hidrostáticas, simulación

## **Abstract**

Nowadays the use of PVC pipes for the distribution of water, specially drinking water, are therefore that is given a search full-time of better technologies of manufacture, that share in bearing to obtain new and novel systems.

The production process of PVC pipes are regulated by international guidelines that guarantees the quality in this type of products, specially when it is trade of the water, so necessary for the survival of the life.

The execution of this project is directly related with the production process of high - pressure PVC pipes, more specifically she who finds to him regulated for the C900 standard of the American Water Works Association (AWWA). When manufactures a PVC tube, this tight curl for a series of processes that guarantees the fulfillment with the quality standards.

In this project the electric design for a test hydrostatic machine is developed for high pressure drinking water pipes, this test type is applied in order to check the resistance of the tube in work situations that may be experienced by the pipe.

Between the reaches of the project finds to him the obtaining of the design of the electric setup couple the machine, besides it the system of control, which bases in a PLC, it gave the selection of components according to the requirements of the design.

Finally, a simulation was done, in order to verify the fulfillment of the requirements of the design

**Keywords:** PVC pipes, automation, PLC, C900 Standard, simulation, hydrostatic test.

## DEDICATORIA

*A mis papás, porque este Proyecto de Graduación es el resultado de toda una  
vida de esfuerzo y dedicación.*

*A mis hermanos, porque este logro es también de ellos.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A los Profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica, que durante mi carrera ayudaron no solo en mi formación académica sino también como persona.*

*Al Ing. Hernán Bastos Matarrita, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, en el Departamento de Diseño de TechShop BellTech*

*Al Ing. Luis Víquez Brenes y al señor Rodolfo Lizano quienes me brindaron su conocimiento y experiencia, por su aporte invaluable para el buen término de este proyecto.*

## Índice General

<b>Capítulo 1: Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Descripción de la empresa.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Problemática existente e importancia de su solución.....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Proceso de producción de tubería de PVC.....	5
1.2.2 Descripción del problema y su importancia. ....	9
<b>Capítulo 2: Meta y objetivos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Meta .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Objetivo general .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 3: Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Descripción del proceso de prueba hidrostática .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Requerimientos de la empresa .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Antecedentes.....</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo 4: Procedimiento metodológico .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Obtención y análisis de información.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....</b>	<b>28</b>
<b>Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1 Análisis de opciones y solución propuesta.....</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Descripción del hardware seleccionado.....</b>	<b>37</b>
5.2.1 Hardware de potencia.....	37



5.2.1.1	Calculo de corrientes de sobrecarga .....	39
5.2.1.2	Corriente en la acometida principal .....	40
5.2.1.3	Calibres y tipo de cable.....	41
5.2.1.4	Protecciones para los dispositivos de potencia .....	42
5.2.2	Hardware de control.....	46
5.2.2.1	Controlador lógico programable (PLC) .....	46
5.2.2.2	Interfaz Humano Máquina (HMI).....	51
5.2.2.3	Sistema de historial de prueba (Chart recorder).....	53
5.2.2.4	Sensores.....	54
5.2.2.5	Salidas .....	60
5.2.2.5	Cableado.....	60
5.2.2.6	Panel.....	61
<b>5.3</b>	<b>Descripción del software .....</b>	<b>62</b>
5.3.1	Herramientas de software utilizadas.....	62
5.3.1.1	RSLogix 500 .....	63
5.3.1.2	PanelBuilder32.....	64
5.3.1.3	Autodesk Autocad 2008.....	66
5.3.1.4	Autodesk Inventor 11 Professional .....	67
5.3.1.5	Automation studio. ....	68
5.3.2	Software desarrollado.....	70
5.3.2.1	Programa de Control (PLC) .....	70
5.3.2.2	Panel View (HMI) .....	76

5.3.2.3 Simulación .....	78
<b>Capítulo 6: Análisis de Resultados .....</b>	<b>82</b>
<b>6.1 Resultados .....</b>	<b>82</b>
6.1.2 Documentación .....	85
6.1.2 Simulación.....	93
<b>6.2 Análisis.....</b>	<b>98</b>
<b>Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>104</b>
7.1 Conclusiones .....	104
7.2 Recomendaciones.....	106
<b>Capítulo 8: Bibliografía.....</b>	<b>107</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>109</b>
Apéndice A.1 .....	109
A.1.1 Glosario .....	109
A.1.2 Simbología.....	110
<b>Anexos.....</b>	<b>112</b>
A.1 Hoja de información del Proyecto.....	112
Información del estudiante.....	112
A.2 Hojas de datos .....	113

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Máquina Campaneadora para tubería C900 de 8.....	4
<b>Figura 2.</b> Diagrama General del proceso de producción de tubería PVC .....	6
<b>Figura 3.</b> Tuberías PVC C900 con sistema Rieber. ....	8
<b>Figura 4a.</b> Etapa de recepción / Acumulador de tubos. ....	14
<b>Figura 4b.</b> Pieza encargada de controlar el paso de tubos hacia la máquina. ....	14
<b>Figura 5.</b> Brazos de carga para el tubo. ....	15
<b>Figura 6a.</b> Tubo colocado sobre el carro de transporte. ....	16
<b>Figura 6b.</b> El carro de transporte lleva el tubo hasta la entrada del tanque.....	16
<b>Figura 7.</b> El tubo es levantado por las abrazaderas inferiores y los carros de transporte son retraídos.....	17
<b>Figura 8a.</b> El tubo sale del tanque y las rampas de salida son extendidas.....	19
<b>Figura 8b.</b> El tubo rueda por las rampas y sale de la máquina.....	19
<b>Figura 9a.</b> Proyecto desarrollado anteriormente por la empresa: Hydrotester para tubería C905.....	25
<b>Figura 9b.</b> Diseño mecánico de un Hydrotester para tubería C905.....	25
<b>Figura 10.</b> Diagrama General de la solución propuesta para el diseño eléctrico de un Hydrotester para tubería PVC bajo la norma C900.....	32
<b>Figura 11.</b> Modelo de conexión para combinar contactor con guardamotor Fuji Electric. ....	44
<b>Figura 12.</b> PLC Micrologix 1500 de Allen Bradley.....	48
<b>Figura 13.</b> Vista frontal del PanelView 300 Monochrome, dispositivo HMI seleccionado. ....	50
<b>Figura 14.</b> Vista frontal del Chart Recorder Fuji PHF.....	52
<b>Figura 15.</b> Sensor inductivo de proximidad Allen Bradley 872C-D8NE18-A2.....	56
<b>Figura 16.</b> Sensor ultrasónico en modo opuesto.....	57
<b>Figura 17.</b> Sensor ultrasónico en modo difuso.....	58
<b>Figura 17a.</b> Vista frontal del panel seleccionado.....	60

<b>Figura 18.</b> Ventana Principal del Programa RSLogix500.....	63
<b>Figura 19.</b> Ventana Principal del Programa PanelBuilder32 .....	64
<b>Figura 20.</b> Ventana Principal del Programa AutoCAD 2008. ....	65
<b>Figura 21.</b> Ventana Principal del Programa Inventor 11 Professional.....	66
<b>Figura 22.</b> Ventana Principal del Programa Automation Studio .....	68
<b>Figura 23.</b> Lógica utilizada para el reset y expulsión del tubo.....	72
<b>Figura 24.</b> Lógica utilizada para auto-diagnóstico de señales de sensores.....	74
<b>Figura 25.</b> Ventana del importación de base de datos de variables del programa desde PanelBuilder32. ....	75
<b>Figura 26.</b> Incorporación de los componentes de potencia.....	77
<b>Figura 27.</b> Construcción del sistema hidráulico y colocación de sensores del hydrotester.....	78
<b>Figura 28.</b> Incorporación de los módulos de entrada salida de PLC.....	79
<b>Figura 29.</b> Incorporación de las secuencias de los ladders o secuencias de funcionamiento .....	80
<b>Figura 30.</b> Simulación del sistema virtual.....	81
<b>Figura 31.</b> Características de los planos de potencia dibujados. ....	85
<b>Figura 32.</b> Conexiones de controles de la puerta del panel. ....	86
<b>Figura 34.</b> Plano de Construcción del panel. ....	88
<b>Figura 35.</b> Conexión de las señales de entrada al PLC. ....	89
<b>Figura 36.</b> Conexión de las señales de salida desde el PLC. ....	89, 90
<b>Figura 37.</b> Conexión de las señales de salida a las cajas intermedias. ....	91
<b>Figura 38.</b> Simulación del proceso de recepción de tubo .....	93
<b>Figura 39.</b> Simulación del proceso ingreso del tubo al tanque y realización de la prueba.	94
<b>Figura 40.</b> Simulación del proceso de salida del tanque y expulsión del tubo .....	95

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Características Generales para el desarrollo del Hydrotester .....	21
<b>Tabla 2</b> Variables de entrada para el sistema de control .....	34
<b>Tabla 3</b> Variables de salida para el sistema de control .....	35
<b>Tabla 4</b> Datos de placa de los motores de las bombas del Hydrotester .....	37
<b>Tabla 5</b> Valores de corriente de sobrecarga para los circuitos.....	39
<b>Tabla 6</b> Calibre y tipo de cable seleccionado .....	41
<b>Tabla 7</b> Protecciones y contactores para las bombas del hydrotester .....	43
<b>Tabla 8</b> Información recopilada sobre PLC's Allen Bradley.....	46
<b>Tabla 9</b> Módulos de expansión de entrada – salida para el PLC seleccionado. ....	49
<b>Tabla 10</b> Módulos de expansión de entrada – salida para el PLC seleccionado .....	48

## Capítulo 1: Introducción

### 1.1 Descripción de la empresa

La empresa TechShop Internacional S.A. ([www.tsicr.com](http://www.tsicr.com)), es una empresa metalmeccánica que se dedica a la fabricación de piezas de alta precisión, moldes, empaques, herramientas, también al diseño y fabricación de maquinaria y equipo para la producción de tubos de PVC.

Sus operaciones se iniciaron hace más de 20 años, como una división de una compañía más grande llamada Hules Técnicos (HULTEC), dedicada a la producción y distribución de empaques y otros productos de hule, tanto en los mercados de Estados Unidos como de Europa.

En ese tiempo la división era responsable del diseño de productos así como de la producción y mantenimiento de los moldes utilizados en la producción de tales empaques de hule, cierta maquinaria y otras partes de precisión requeridas para atender las necesidades de la compañía, haciendo uso de materiales de alta calidad y resistencia, como:

- Aluminio
- Acero Inoxidable
- Inconel
- Titanio
- Cobre Berilio

- Otras aleaciones de níquel

Durante los años 90, la compañía incursionó exitosamente en la manufactura de partes de precisión en diferentes aleaciones para diferentes industrias, tales como:

- Industria petrolera
- Industria aeroespacial
- Industria de transmisión/radiodifusión
- Industria de Telecomunicaciones
- Eléctrica/Electrónica
- Automotora
- Bienes de Consumo
- Sellos de hule
- Otros

Más adelante, a raíz del crecimiento alcanzado, se decidió separar la operación y crear entidades independientes- TechShop y BellTech - que, de ahí en adelante, suplieran bienes y servicios al mercado.

Entonces a inicios del año 2000, es cuando a través de Belltech, la empresa lanza al mercado su propia marca de soluciones de acampanado de tuberías,

aplicando para ello sus 20 años de experiencia al diseño y manufactura de las más modernas máquinas automáticas de campaneado, para un mercado cada vez más exigente.

Desde el año 2001, TechShop - BellTech opera bajo el Régimen Zona Franca en sus instalaciones en La Uruca, San José, Costa Rica, sirviendo a sus clientes en diferentes países alrededor del mundo.

BellTech ofrece a sus clientes maquinaria diseñada para cumplir con los requerimientos específicos de cada línea de producción, para lo cual provee novedosas soluciones.

Como parte de la experiencia adquirida por la empresa en la implementación de maquinaria, se han desarrollado proyectos dentro y fuera del país, concentrándose en diseño, instalación de equipos y brindar servicios como:

- *Tooling* (Conjunto de partes que permiten el procesamiento de un tubo según sea la longitud del diámetro y el tipo de campana)
- Mandriles
- Máquinas campaneadoras
- Conversión de máquinas campaneadoras al sistema Rieber.
- Asistencia Técnica
- Maquinaria para la fabricación de tubería de diámetros grandes
- Máquinas de pruebas hidrostáticas y equipo de manejo de tubería.





**Figura 1.** Máquina Campaneadora para tubería C900 de 8"

En la figura anterior se muestra una máquina campaneadora, para tubería C900 de hasta 8", desarrollada por la empresa. Entre los países en que la empresa ha desarrollado importantes proyectos están:

- Costa Rica
- Estados Unidos
- Canadá
- España

- Argentina
- Brasil Mexico
- Colombia
- Holanda
- Panamá

La mayoría de los proyectos que se encuentra desarrollando actualmente la empresa están destinados al mercado estadounidense, para las más importantes compañías dedicadas a la producción de tubería de PVC, una de ellas es *National Pipe Corporation* (NAPCO). En Costa Rica, se ha desarrollado proyectos para la empresa Amanco.

## **1.2 Problemática existente e importancia de su solución**

### **1.2.1 Proceso de producción de tubería de PVC**

La producción de tubería de PVC engloba una serie de procesos mediante los cuales se garantiza la obtención del producto final de la mejor calidad.

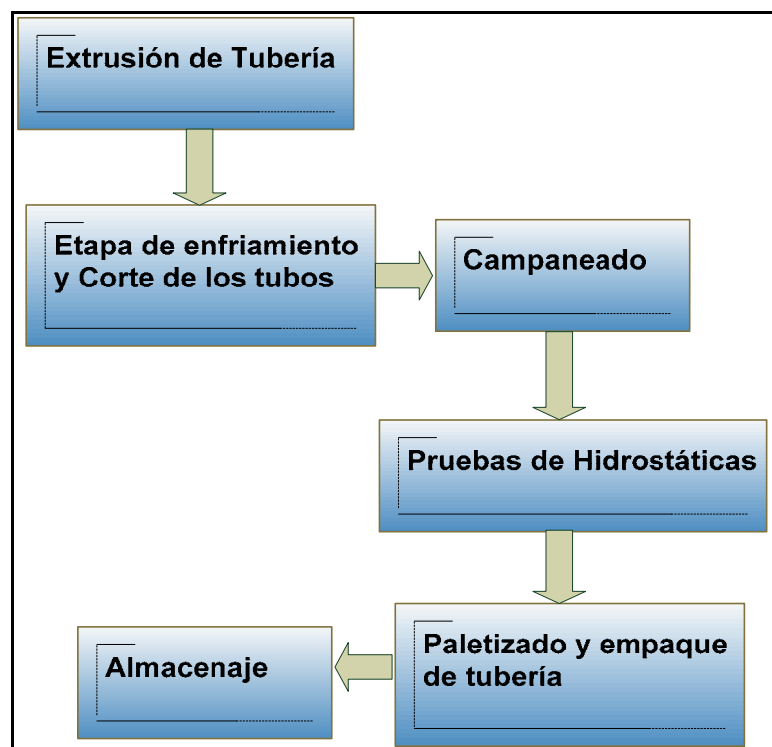
Los tipos de tubería convencionales de PVC:

- Sewer 3034 (Desagüe o aguas servidas).
- IPS 2241 Presión media.

- C900 Alta Presión.
- C905 Alta presión Tubería de diámetros grandes (más de 12”).

Primeramente, en una línea de extrusión de tubería de PVC, está la máquina extrusora, a partir de la cual se diseña, dimensiona y configuran las demás máquinas involucradas en el proceso.

Hoy en día las máquinas extrusoras poseen gran capacidad de producción, lo que implica que cada uno de los procesos implicados debe ser realizado con mayor rapidez y eficiencia.



**Figura 2.** Diagrama General del proceso de producción de tubería PVC

El desarrollo del proyecto se relaciona directamente con el proceso de fabricación de tubería de PVC de alta presión para diámetros pequeños, cuya producción se encuentra regulada por la norma C900 de la Asociación Americana de trabajos del Agua (AWWA), para el transporte de agua potable.

Siguiendo el diagrama mostrado en la figura 2, cuando la máquina extrusora ha producido suficiente producto con la longitud correspondiente a un tubo, este se corta para pasar luego a la parte de campaneado.

La campana es la sección del tubo que se utiliza para el acople de tuberías, como el campaneado normal, mediante el cual se unen los tubos con pegamento para PVC. También está el campaneado Rieber, para tuberías de alta presión, por lo que es el utilizado en este caso y que se muestra en la figura 3.

El sistema *RIEBER* (Junta Integrada), consiste en un campaneado especial de los tubos, donde básicamente se incorpora un empaque metálico revestido de hule, esto permite el acople entre tubos sin necesidad de pegamento, acoplando los dos extremos mediante presión.



**Figura 3.** Tuberías PVC C900 con sistema Rieber.

Cuando el tubo se ha campaneado, se encuentra listo para ser sometido a las pruebas correspondientes, con el fin de verificar el cumplimiento de la norma C900. Luego de pasar satisfactoriamente las pruebas, el tubo pasa a un equipo de manejo que se encarga de acomodarlo de acuerdo a los patrones establecidos para el paletizado de los tubos.

BellTech diseña y fabrica máquinas para estas líneas de producción a partir de la etapa de corte del tubo, campeo, máquinas de pruebas y sistemas de manejo, giratubos y paletizadores.

### **1.2.2 Descripción del problema y su importancia.**

El desarrollo del presente proyecto se relaciona directamente con la etapa de pruebas hidrostáticas que se realizan a la tubería de PVC. Después del proceso de campaneo, el tubo es sometido a una prueba hidrostática con el fin de determinar la resistencia que éste tiene ante la aplicación de presión interna.

La máquina utilizada para la aplicación de esta prueba se conoce como Hydrotester, este se encarga de recibir el tubo de la línea para luego sumergirlo en un tanque con agua, esto por motivos de seguridad, ya que existe el riesgo de explosión del tubo y con ello, se pueden ver afectadas las personas que se encuentran alrededor, además de ello, cuando el tubo se sumerge, esto debe hacerse de manera inclinada, para evitar que burbujas de aire queden atrapadas dentro del tubo.

Luego el tubo es asegurado dentro del tanque, se tapa por ambos lados, por el lado de la campana se introduce un mandril, éste es hueco y es a través de él que se inyecta agua hasta llegar a la presión de prueba. Finalizada la prueba el tubo se descarta o sigue en la línea según sea el resultado de la misma.

El diseño y construcción de la máquina, requiere de un extenso trabajo multidisciplinario, por lo que el proyecto se delimitó al diseño eléctrico de la máquina.

BellTech ha desarrollado varias máquinas que se encargan de realizar este tipo de pruebas en tuberías con diámetros grandes (15" a 48"), en este caso se trata del diseño de una nueva versión prototipo, para tubería de diámetros pequeños (de 4" a 8"), donde es de suma importancia la rapidez de la máquina para realizar la prueba, ya que este tipo de tubos son producidos en mayor volumen por la extrusora.

Cuando se inició con el desarrollo del proyecto sólo se contaba con un diseño mecánico preliminar, por lo que se tuvo que realizar el diseño de parte eléctrica de la máquina, el cual debería abarcar los siguientes aspectos:

- Diseño de la parte de potencia.
- Diseño del sistema de control.
- Diseño del panel de control
- Diseño del cableado de la máquina

Cada uno de estos aspectos tuvo que ser analizado antes de su posterior desarrollo, de manera que mediante la solución dada, se pudiese proporcionar un funcionamiento sistemático y repetitivo a la máquina, y que se apegara a los requerimientos de calidad, tanto del cliente como de la empresa.

## **Capítulo 2: Meta y objetivos**

### **2.1 Meta**

Lograr un diseño e implementación de una máquina de pruebas hidrostáticas para tubería de PVC, que tenga un funcionamiento adecuado, de manera que satisfaga los requerimientos de la empresa NAPCO, y que además cumpla con los estándares tanto nacionales como internacionales para el control de calidad para este tipo de tubería.

### **2.2 Objetivo general**

Realizar el diseño eléctrico completo de una máquina de prueba hidrostática (Hydrotester) para tubería PVC de 4 a 8 pulgadas de diámetro, bajo la norma C900.

Este diseño debe incluir las acometidas, controles y protecciones para los componentes de potencia de la máquina así como el diseño del sistema de control para la máquina, conforme a los requerimientos del cliente y los propios del proceso.

El sistema diseñado debe permitir realizar las pruebas de resistencia en tubos de PVC de una manera automatizada, tomar en cuenta aspectos como seguridad para el operario, incluir alarmas de operación de la máquina y



cumplir con los requerimientos de secuencia y temporización establecidos por el equipo de trabajo multidisciplinario responsable del diseño e implementación de la máquina como un todo.

### **2.3 Objetivos específicos**

- a.** Especificar los componentes eléctricos y electrónicos necesarios requeridos para la implementación del diseño eléctrico y de control de la máquina de pruebas hidrostáticas, con base en los parámetros de operación especificados en el diseño mecánico de dicha máquina, con su respectivo presupuesto.
  
- b.** Deducir y dibujar los planos eléctricos, de potencia, de control y de cableado, correspondientes para el diseño eléctrico y de control de la máquina de pruebas hidrostáticas.
  
- c.** Desarrollar el programa de control que incluya la integración de los diferentes dispositivos y la respectiva interfaz de usuario/operador para la máquina de pruebas hidrostáticas que permita un funcionamiento sistemático y repetitivo acorde con los requerimientos establecidos.
  
- d.** Realizar una simulación de la parte hidráulica del sistema diseñado, por medio del cual que permita visualizar el movimiento y la respectiva temporización, en tiempo real, de los cilindros y verificar las diferentes secuencias de operación programadas.

## **Capítulo 3: Marco teórico**

### **3.1 Descripción del proceso de prueba hidrostática**

El proceso de prueba hidrostática por realizar por la máquina objeto de este proyecto fue diseñado por el equipo de trabajo multidisciplinario encargado, el cual definió diferentes aspectos relacionados con el funcionamiento mecánico, eléctrico, de control y de seguridad, todos relativos de manera integral a la operación del Hydrotester.

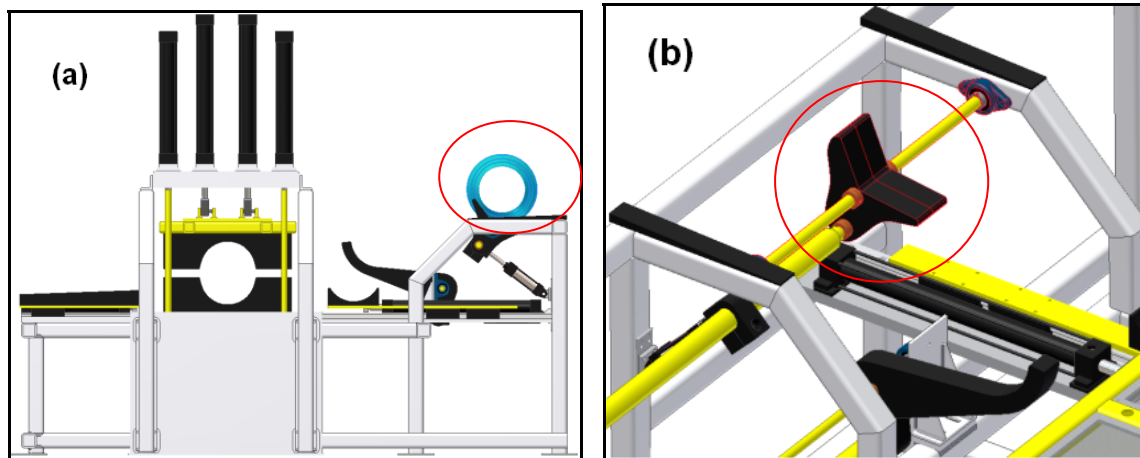
Producto de las especificaciones definidas por el equipo de trabajo multidisciplinario, la parte que correspondió desarrollar como Proyecto de Graduación involucró el diseño eléctrico, tanto de potencia, como de control de un hydrotester para tubería de PVC de diámetros pequeños. En este caso fue muy importante tomar en cuenta el tiempo que se tarda en realizar la prueba, esto para no provocar saturación en la línea de producción.

A continuación se procede a detallar el proceso de prueba que debe realizar la máquina.

#### **1. Recepción de los tubos**

En esta etapa, los tubos son transferidos desde una máquina campaneadora, en este caso el paso de los tubos hacia el hydrotester se da de manera

directa, sin necesidad de algún equipo de transporte o manipulación manual por parte de algún operario. Cuando se transfiere un tubo, este queda en espera en la etapa de recepción de la máquina, que funciona como acumulador de tubos. Esta etapa de la máquina se muestra en la figuras 4a y 4b.

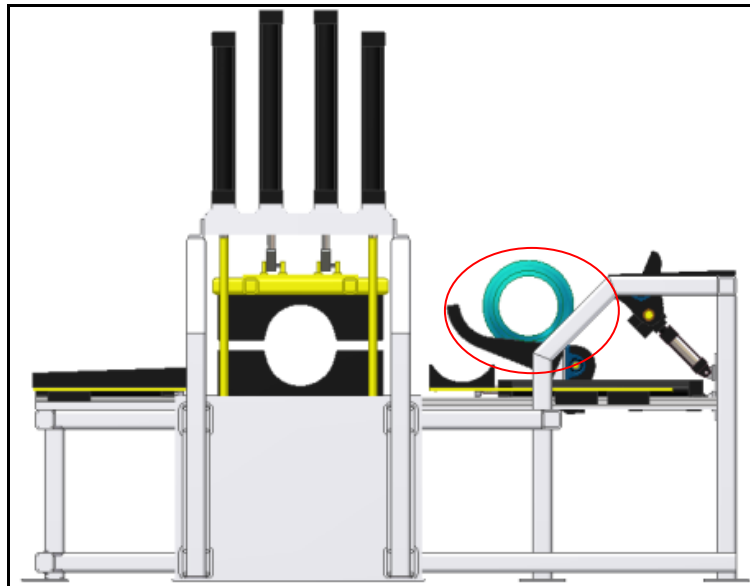


**Figura 4a.** Etapa de recepción / Acumulador de tubos.

**Figura 4b.** Pieza encargada de controlar el paso de tubos hacia la máquina.

## 2. Ingreso de los tubos a los brazos de carga

Cuando la máquina se encuentra, lista para realizar el proceso de prueba, se deja pasar el tubo y este queda posado sobre unos brazos de carga, como se muestra en la figura 5.



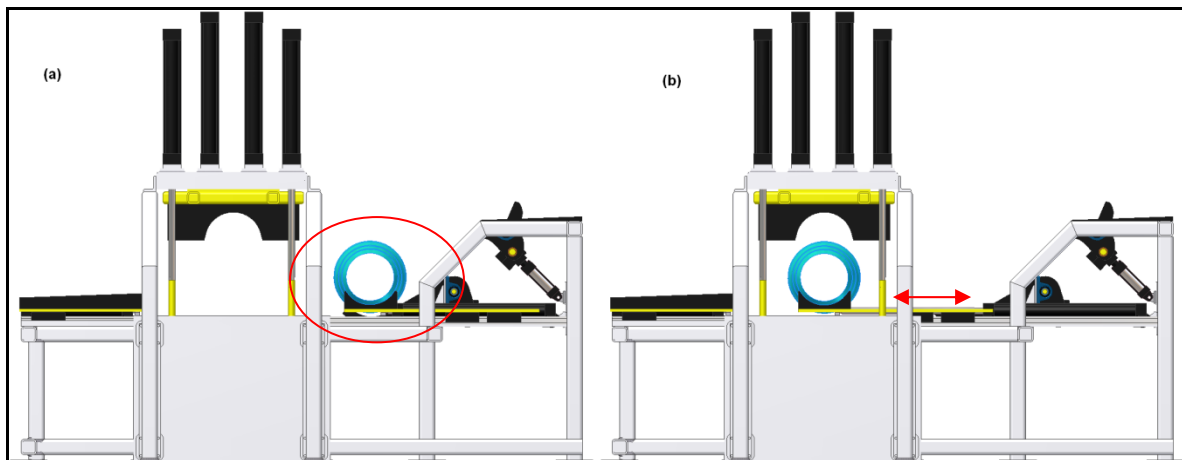
**Figura 5.** Brazos de carga para el tubo.

### **3. Traslado de los tubos a los carros de transporte**

Seguidamente el tubo es bajado hasta ser colocado en los carros de transporte, el cual se encarga de llevar el tubo hasta una posición adecuada para ser introducido en el tanque. Esta acción se muestra en las figuras 6a y 6b.

Las abrazaderas inferiores se encuentran debajo del nivel del agua del tanque, y como se muestra en la figura 7, cuando el tubo está posicionado, éstos deben ascender, con el fin de levantar el tubo y sacar lo de los carros de transporte, que luego son retraídos para vuelven a su posición original.

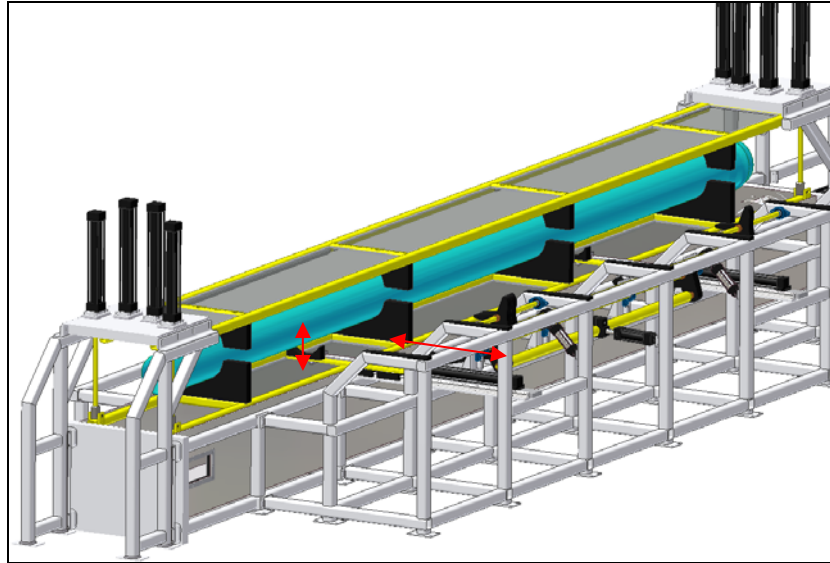
Luego de ello, las abrazaderas inferiores bajan hasta aprisionar el tubo y asegurarlo en conjunto con las inferiores, luego de ello se sumerge el tubo de la siguiente manera: primero se procede a descender el lado opuesto al de la campana, esto con el fin de dar la inclinación que permita el ingreso del agua y la salida del aire que se encuentra en el interior del tubo, ya que la presencia de burbujas de aire dentro del tubo durante la prueba puede afectar el resultado de la misma. Luego de ello, se sumerge el lado de la campana.



**Figura 6a.** Tubo colocado sobre el carro de transporte.

**Figura 6b.** El carro de transporte lleva el tubo hasta la entrada del tanque.

Cuando el tubo está dentro del tanque se debe esperar un tiempo de aproximadamente 8 segundos, para enfriar el tubo antes de proceder con la prueba, ya que tiene poco tiempo de ser extruido y además en el proceso de campaneó fue calentado.



**Figura 7.** El tubo es levantado por las abrazaderas inferiores y los carros de transporte son retraídos.

Transcurrido el tiempo de enfriamiento, se inicia la prueba. Dentro del tanque hay un mandril, este se extiende y entra en la parte campaneada del tubo, éste también es empujado y de esta manera el otro lado es introducido dentro de un empaque; así el tubo queda asegurado, sellado y listo para ser sometido a presión.

Mediante una bomba, se empieza a inyectar agua a presión dentro del tubo. Es importante señalar que el mandril es hueco, lo que permite lo anterior ya que es mediante éste que el agua ingresa al tubo. En este punto existe una

diferencia de presiones entre el interior y el exterior del tubo, y que emula las condiciones de trabajo a las que será sometido.

Es importante señalar que según la norma C900, para este tipo de tubería, la prueba se realiza con valores de presión de cuatro veces el valor normal especificado para la tubería de acuerdo con el diámetro de ésta.

La presión de prueba es mantenida dentro del tubo por 5 segundos, luego de esto se obtiene el resultado, esto manteniendo un monitoreo de la presión dentro del tubo durante el transcurso de la prueba. Es importante mencionar que según la norma C900, la presión de prueba que se aplica debe tener un valor de cuatro veces la presión normal de trabajo especificada para el tipo de tubo que se esté probando.

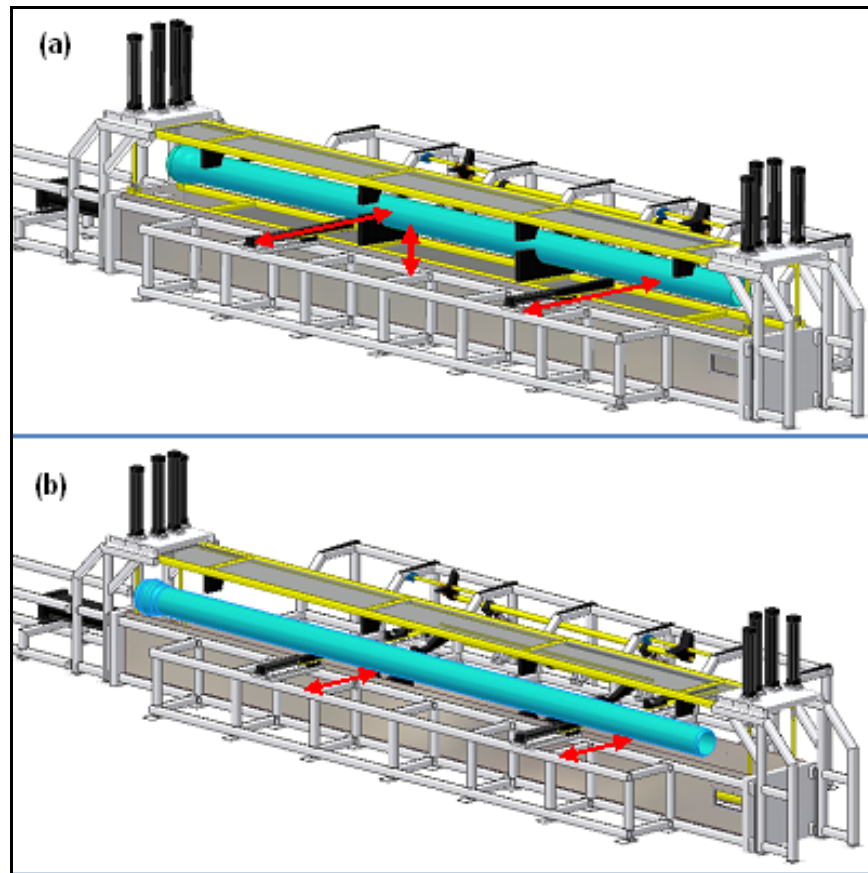
La prueba falla cuando se detectan fluctuaciones en el valor de presión registrado, esto se puede deber, por ejemplo, a una explosión del tubo, que el tubo cede ante la presión y como consecuencia de ello aparecen fisuras, que ocasionan que el tubo no sea apto para su utilización y deba ser descartado.

Cuando la prueba es superada satisfactoriamente, se retira el mandril y el tubo es sacado del tanque, también de manera inclinada, para sacar el agua que queda dentro del mismo. Después de drenar el agua, las abrazaderas superiores son retraídas, luego, se extienden unas rampas de salida para el tubo son extendidas.

Las abrazaderas inferiores son extendidas, por lo tanto descienden bajo el nivel del agua del tanque, y con ello colocando el tubo sobre las rampas de salida. Seguido de esto, el tubo rueda hacia la parte de salida de la máquina. Este proceso se ilustra en las figuras 8a y 8b.

Luego que el tubo ha salido, las rampas de salida son retraídas, por lo que la máquina se encuentra en una posición inicial, y con ello, queda lista para procesar un nuevo tubo.





**Figura 8a.** El tubo sale del tanque y las rampas de salida son extendidas.

**Figura 8b.** El tubo rueda por las rampas y sale de la máquina.

### 3.2 Requerimientos de la empresa

La empresa TechShop – BellTech requirió del diseño eléctrico completo para la máquina de pruebas hidrostáticas, cuyos alcances son los siguientes:

- a.** Diseño de acometidas, controles y protecciones para los componentes de potencia de la máquina.
- b.** Diseño del sistema de control para la máquina, con el que se pretende la automatización de la misma según los requerimientos del cliente y los propios del proceso.
- c.** Diseño del panel de control, así como de la interfaz para el usuario/operador.
- d.** Elaboración de los planos de potencia de la máquina.
- e.** Elaboración de los planos de control para la máquina.
- f.** Elaboración de los planos de cableado.

Los proyectos anteriores desarrollados por la empresa cuentan con sistemas de control basados en PLC, por lo que requirió que preferiblemente el sistema de control debería estar basado en este tipo de dispositivo. Además de ello, como parte del diseño, se debió escoger la totalidad de los componentes necesarios, tanto para potencia, control, alambrado y para la implementación del panel.

El diseño de esta máquina se da de acuerdo con las características específicas de la línea de producción con la que el cliente cuenta. En la tabla 1 se muestra algunas de estas características, y requerimientos mecánicos, estos datos son los que se tomaron en cuenta como parte de los criterios de diseño utilizados para el desarrollo del proyecto.

En cuanto a la documentación requerida por la empresa, fue necesario dibujar los planos eléctricos, así como los diagramas de secuencia de la máquina y además de ello, el desarrollo del manual de usuario para la máquina. Se tuvo que desarrollar, en cuanto a planos y manuales, un material que fuera fácil de interpretar por parte de los demás funcionarios de la empresa, tanto en diseño, como en producción.

Un aspecto importante es el presupuesto, por lo que se requiere la definición de la lista de materiales necesarios para la posterior implementación del diseño, en esto es importante destacar que se cuenta con un presupuesto inicial de \$15000

**Tabla 1** Características Generales para el desarrollo del Hydrotester

<b>Diámetro de la tubería</b>	4" a 8"
<b>Longitud del tubo</b>	20 ft + long de la campana
<b>Longitud de la campana</b>	Mín 5.25" Máx 7.25"
<b>Presión de agua aplicada al tubo</b>	Mín 400 psi Máx 800 psi
<b>Peso del tubo</b>	Mín 34 lb ( 4") Máx 209 lb (8")
<b>Velocidad de Extrusión</b>	700 lb/h
<b>Altura para recepción del tubo</b>	1 100 mm
<b>Tiempo disponible para la prueba</b>	2 min 54 s

Para poder realizar la prueba, en conjunto con el diseñador mecánico se fijaron los siguientes tiempos de acuerdo a la etapa de proceso:

- Recibo del tubo: 10s
- Paso del tubo hacia los brazos cargadores: 10s
- Descenso del tubo en el brazo: 15s
- Transporte del tubo por el carro de transporte: 25s
- Introducción en el tanque y prueba: 30s
- Salida del tanque: 30s
- Expulsión del tubo: 20s

Estos tiempos se fijaron como punto de referencia para el diseño del sistema de control.

El mercado de destino para esta máquina es el norteamericano, por lo cual se debe tomar en cuenta distintos reglamentos y estándares, que son requeridos para el funcionamiento de este tipo de maquinaria en ese país. Como se ha señalado la fabricación de tubería PVC de alta presión está regulada por la norma C900 de la AWWA, que es una entidad dedicada al mejoramiento de calidad de agua potable. Fué fundada en 1881 y actualmente cuenta con aproximadamente 60,000 miembros a nivel mundial.

La AWWA desarrolla las normas para la industria, buscando un constante mejoramiento de procesos y prácticas concernientes al manejo del agua, y que se relaciona directamente con la higiene pública y seguridad. El programa de normas de AWWA ha proveído normas desde 1908 y es reconocida internacionalmente como la fuente para el desarrollo científico y como referencia en el manejo de recursos de agua potable.

En la escogencia de los componentes y materiales necesarios, es muy importante tomar en cuenta que estos cuenten con la certificación UL (*Underwriters Laboratories Inc*). El cual es un ente privado de EE.UU, se encarga de desarrollar normas y procedimientos de prueba para los productos, materiales, componentes, ensambles, herramientas y equipo, principalmente tratando sobre seguridad de productos, especialmente en lo que concierne a dispositivos eléctricos.

El NEC (*National Electric Code*) es desarrollado por NFPA (*National Fire Protection Association*) en el código eléctrico nacional, que consiste de 20 paneles de elaboración de código y un comité técnico. El NEC está aprobado en EEUU como una norma nacional por los Instituto nacional americano de normalización (ANSI). Ello se identifica formalmente como ANSI/NFPA 70.

En cuanto a la programación del sistema de control es importante referirse al estándar IEC 61131-3, que fija una pauta a seguir en cuanto a los lenguajes de programación y estructura de programas en sistemas de automatización.

### 3.3 Antecedentes

Como ya se ha mencionado, la empresa ya ha desarrollado máquinas de pruebas hidrostáticas para tubería de PVC de diámetros grandes, y que están reguladas por la norma C905 de la AWWA. En las figura 9a se ilustra un Hydrotester para este tipo de tubería, en cuanto a diseño y en proceso de construcción.

Aunque el diseño y las secuencias de funcionamiento de estos proyectos anteriores son bastante distintos al que se requirió para el prototipo de Hydrotester para tubería C900, éstos fueron tomados como referencia, y contar con un punto de partida para el desarrollo del nuevo diseño.



**Figura 9a.** Proyecto desarrollado anteriormente por la empresa: Hydrotester para tubería C905.

Como ya se ha mencionado, el desarrollo de maquinaria en BellTech se da siguiendo las especificaciones del fabricante, a la medida de los requerimientos de su línea de producción, lo que le brinda ventaja competitiva ante otras empresas dedicadas a la fabricación de maquinaria para PVC.

Este tipo de maquinaria para pruebas de presión en tubería también es desarrollada por otras empresas, entre las que se destacan SICA (<http://www.sica-italy.com>) e IPM (<http://www.ipm-italy.it>), dos empresas italianas, y que cuentan con muchos años de experiencia en el campo del desarrollo de maquinaria. También hay algunas empresas chinas se encargan de fabricar este tipo de máquinas.

## **Capítulo 4: Procedimiento metodológico**

En este capítulo se describe el proceso seguido en el desarrollo del diseño para el hidrotester, se hace referencia a las actividades realizadas para llegar a plantear las alternativas de solución y como se evaluaron para discriminar entre estas alternativas para llegar a la síntesis de un diseño final.

Como ya se mencionó, cuando se inició el proyecto, la empresa sólo contaba con un diseño mecánico preliminar y una idea del posible funcionamiento de la máquina de pruebas hidrostáticas, por lo que no se contaba con un diseño eléctrico concreto que complementara la parte mecánica, y que permitiera gobernar los movimientos que ésta debe realizar.

### **4.1 Obtención y análisis de información**

La información correspondiente sobre la secuencia de funcionamiento se obtuvo mediante reuniones con los ingenieros encargados de realizar el diseño, tanto mecánico, como hidráulico de la máquina, a partir de ello, se obtuvo una secuencia de funcionamiento base, la cual ya se ha especificado en el capítulo 3.



Esta secuencia se tomó como punto de partida, para luego proceder con el análisis y fuese requerido, realizar las modificaciones necesarias para hacer posible el cumplimiento de los requisitos mostrados en la tabla 1.

Fue muy importante también la obtención de información acerca de los reglamentos que necesariamente debían ser tomados en el desarrollo del proyecto.

#### **4.2 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución**

A partir de los datos recopilados en cuanto a la selección de los dispositivos de potencia, que para esta máquina corresponden a los motores de las bombas y la alimentación para todos los sistemas de la máquina. Se procedió a escoger en primera instancia, el tipo y calibre del cable que se utilizará. Además de ello, se procedió a realizar el cálculo de las protecciones tanto para los dispositivos de potencia, como para la parte de control, esto utilizando el NEC. Luego de esto se procedió a dibujar los planos correspondientes para la parte de potencia.

Seguidamente se procedió con el análisis de las secuencias de funcionamiento, en donde a partir de la información recopilada fue posible obtener los diagramas de secuencia para el funcionamiento de la máquina.

Luego de tener estos diagramas, se procedió a realizar un análisis con el fin de determinar si las secuencias harían que se cumpliera realmente con los requerimientos previamente establecidos. Después de un estudio de lo anterior, en cuanto al funcionamiento de la máquina surgieron dos opciones, sobre las cuales se tuvo que decidir con el fin de obtener la secuencia definitiva.

La primera opción, ya mostrada en el capítulo 3, consiste en que la máquina realiza el proceso de prueba, incluyendo la recepción del tubo, introducción del tubo al tanque, sumergir el tubo, realizar la prueba y la salida del tubo. En este caso, la secuencia es lineal, y por lo tanto el proceso no vuelve a iniciar hasta que el tubo haya sido expulsado de la máquina.

La segunda opción consiste en dividir el proceso en dos etapas independientes: una etapa de recepción de tubo y la etapa del tanque. La etapa de recepción se encarga de controlar el paso del tubo y el movimiento del brazo de carga, de manera que el tubo queda colocado sobre el carro de transporte, esperando que el tanque se encuentre listo para la recepción de un nuevo tubo. En la secuencia del tanque, se realiza el resto de la operación: entrada del tubo en el tanque, tiempo de enfriamiento, aplicación de presión de prueba, salida del tubo del tanque y posteriormente de la máquina.

En conjunto con el equipo de trabajo multidisciplinario se decidió que la segunda opción será la que se utilizara para el diseño del sistema de control, ya que esta permite disminuir el tiempo de espera de un tubo en el acumulador para ser probado, además permite mantener más de un tubo dentro de la máquina, esto permite aumentar la rapidez con que se realiza el proceso de prueba, lo que ayuda en la búsqueda de cumplir con el tiempo disponible para la prueba, proporcionado por la tabla 1.

A partir de las secuencias de funcionamiento definidas, se procedió con el diseño del sistema de control, el cual, como ya se mencionó, está basado en un PLC de la marca Allen Bradley, esto a solicitud del cliente. Seguidamente, se procedió a definir las variables, tanto entradas y salidas necesarias.

Teniendo definidas las secuencias y variables de control, se procedió a la selección del hardware para el sistema de control, para lo cual fue necesario realizar, en primera instancia un estudio de los tipos de variables y la forma de detección de las mismas. Se procede después a dibujar, tanto los planos de control, como los de conexión. Posteriormente se dibujó el plano para la elaboración del panel, el cual contiene la distribución espacial de los componentes que serán colocados dentro de él, esto tomando como base el diagrama que se muestra en la figura 10.

La programación del PLC se realiza utilizando el lenguaje de escalera (Ladder logic), el cual está descrito en el estándar IEC 61131-3. El desarrollo del programa se da siguiendo la estructura planteada en los diagramas de secuencia obtenidos y dibujados siguiendo la lógica de flujo de datos (SFC), este tipo de diagrama también está definido por el estándar IEC 61131-3.

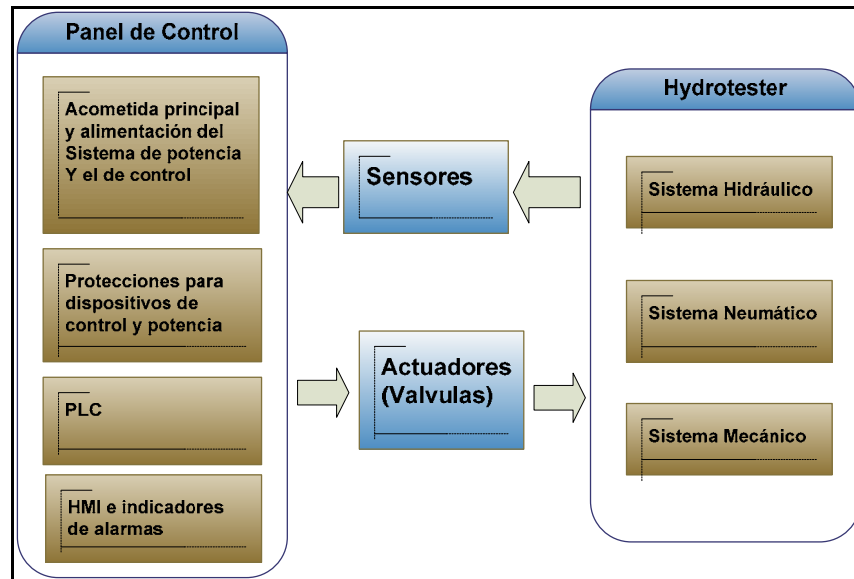
Finalmente, el sistema hidráulico, neumático, eléctrico y el de control, fueron simulados, mediante un software de simulación de sistemas de automatización, que da la facilidad de simular la interacción de estos tres tipos de sistemas, en conjunto y que permitió comprobar la validez del diseño realizado y con ello el cumplimiento de los objetivos planteados.

## **Capítulo 5: Descripción detallada de la solución**

Este capítulo explica detalladamente el diseño eléctrico realizado para la máquina de pruebas hidrostáticas. Se realiza el análisis de las diferentes soluciones propuestas y de la selección final, así, se describen las características tanto del hardware seleccionado, como del software en cuanto a herramientas y software desarrollado implementado. En la sección de apéndices se muestran los planos diseñados y dibujados, tanto de control, potencia y cableado.

### **5.1 Análisis de opciones y solución propuesta.**

La solución propuesta consistió en comprender el proceso de prueba de tubería de PVC C900, esto lograr obtener las secuencias que le permitan a la máquina realizar la prueba adecuadamente. El diagrama de bloques propuesto para la solución se muestra a continuación en la figura 10.



**Figura 10.** Diagrama General de la solución propuesta para el diseño eléctrico de un Hydrotester para tubería PVC bajo la norma C900.

También se tuvo que realizar el análisis los requerimientos de potencia de la máquina, especialmente de los motores, que en este caso corresponden a las bombas. Éstas fueron dimensionadas como parte del diseño mecánico, ya que para esto es muy importante tener en cuenta parámetros como: fuerzas, presiones, potencias, flujos, caudales, etc.

Como se puede observar en el diagrama de la figura 10, en la propuesta para el desarrollo del diseño, se pretendió la interacción entre la parte mecánica y la parte de control de la máquina, cuya parte central se encuentra en el panel. Este panel se subdivide en dos partes: potencia y control.

La parte de potencia corresponde al control de los dispositivos de potencia como las bombas y controles de temperatura para el agua en el tanque (la tensión de operación utilizada es de 480VAC), a sus respectivas protecciones y alimentación para el sistema de control (alimentación 120VAC y 24VDC).

El sistema de control se basó en un PLC de la marca *Allen Bradley*. Como se observa, se tienen las variables de control, entradas y salidas que permitirán la realización de las secuencias de funcionamiento planteadas para la máquina.

El desarrollo del diseño incluyó la escogencia de la totalidad de los componentes necesarios, por lo que se elaboró la lista de materiales eléctrico, esto con su respectivo presupuesto.

La documentación del proyecto debió incluir los planos eléctricos obtenidos a partir del diseño desarrollado que incluyera potencia, control, cableado y ubicación de los sensores, además se debe incluir las secuencias de funcionamiento, un manual de usuario, y el programa de control para el PLC.

Un aspecto importante de destacar es que en el desarrollo de la totalidad de las partes del diseño se involucran varios reglamentos y estándares tanto nacionales, como internacionales, lo que tiene que ver directamente con la escogencia de componentes, dibujo de planos y programación.

Como ya se mencionó, a partir de los datos de los dispositivos de potencia seleccionados se procedió a obtener calibres, protecciones y acometidas para alimentar tanto el control de la máquina, como la parte de potencia.

Se escogió la secuencia de funcionamiento que subdivide el proceso en la máquina en etapas, lo que permite mejorar en cuanto a tiempo y aprovechamiento de la estructura de la misma. A partir de esta secuencia escogida, se procedió a realizar los diagramas SFC para la representación de las secuencias de funcionamiento.

El sistema de control planteado se basa en un PLC. Se obtuvieron las variables, tanto de entrada como de salida, estas se muestran en las tablas 1 y 2

**Tabla 2** Variables de entrada para el sistema de control

<b>Variable</b>	<b>Description</b>	<b>Descripción</b>
FCD3	Pipe on Carrier1	Tubo en el Carrier
FCD4	Pipe on Carrier2	Tubo en el Carrier
PS1	Descent arm up	Brazo receptor extendido
PS2	Descent arm down	Brazo receptor retraído
PS3	Pipe carrier extended 1	Carrier del tubo extendido 1
PS25	Pipe carrier extended 2	Carrier del tubo extendido 2
PS4	Pipe carrier retracted 1	Carrier del tubo retraído 1
PS26	Pipe carrier retracted 1	Carrier del tubo retraído 1
PS5	Upper clamp 1 extended	Clamp superior 1 extendido
PS6	Upper clamp 2 extended	Clamp superior 2 extendido
PS7	Upper clamp 1 mid pos	Clamp superior 1 media carrera
PS8	Upper clamp 2 mid pos	Clamp superior 2 media carrera
PS9	Upper clamp 1 retracted	Clamp superior 1 retraído
PS10	Upper clamp 2 retracted	Clamp superior 2 retraído
PS11	Lower clamp 1 extended	Clamp inferior 1 extendido
PS12	Lower clamp 2 extended	Clamp inferior 2 extendido
PS13	Lower clamp 1 mid pos	Clamp inferior 1 media carrera
PS14	Lower clamp 2 mid pos	Clamp inferior 2 media carrera
PS15	Lower clamp 1 retracted	Clamp inferior 1 retraído
PS16	Lower clamp 2 retracted	Clamp inferior 2 retraído
PS17	Ejector extended A	rampa de salida 1 extendida

PS27	Ejector extended 2	rampa de salida 2 extendida
PS18	Ejector retracted 1	rampa de salida 1 retraída
PS28	Ejector retracted 2	rampa de salida 2 retraída
PS19	Mandrel Extended	Mandril extendido
PS20	Mandrel Retracted	mandril retraído
PS24	Mandrel Position	Mandril en posición de prueba
FRL	Pipe inside tank	Tubo en el tanque
PS21	Stops retracted 1	stops retraídos 1
PS29	Stops retracted 2	stops retraídos 2
PS22	Stops extended 1	Stops extendidos 1
PS30	Stops extended 2	Stops extendidos 2
FCD1	Pipe ready 1	Tubo en acumulador 1
FCD2	Pipe ready 2	Tubo en acumulador 2
HOLC	Hydraulic pump level switch	Nivel de aceite bomba hidráulica
CNI	Water level low	Nivel de agua bajo en el tanque
CNS	Water level high	Nivel de agua alto en el tanque
CNP	Drain pump safety level	Nivel bomba de drenado
GM1	Hydraulic pump overload	Sobrecarga bomba hidraulica
HOTC	Hydraulic pump temperature switch	Switch de calentamiento bomba hyd
GM2	Pressure pump overload	Sobrecarga bomba de presión
GM3	Filter pump overload	Sobrecarga bomba de filtro
PE1	Emergency stop on main panel	Paro de emergencia
MM	Manual mode	Modo manual
AM	Automode	Modo automático
RES	Reset	Botón de reset
GM4	Drain pump overload	Sobrecarga bomba de drenado
CUR_PRESS	Current press inside pipe (analog)	Presión dentro del tubo (analógica)

**Tabla 3** Variables de salida para el sistema de control

Variable	Description	Descripción
SVN1	Stops Down	Bajar stops
SVH3A	Loading arm up	Subir brazo cargador
SVH3B	Loading arm down	Bajar brazo cargador
SVH5A	Extend pipe carrier	Extender carro de transporte del tubo
SVH5B	Retract pipe carrier	Retraer carro de transporte del tubo
SVH7A	Extend upper clamp 1	Extender abrazadera superior 1



SVH7B	Retract upper clamp 1	Retraer abrazadera superior 1
SVH8A	Extend upper clamp 2	Extender abrazadera superior 2
SVH8B	Retract upper clamp 2	Retraer abrazadera superior 2
SVH9A	Extend Lower clamp 1	Extender abrazadera inferior 1
SVH9B	Retract Lower clamp 1	Retraer abrazadera inferior 1
SVH10A	Extend Lower clamp 2	Extender abrazadera inferior 2
SVH10B	Retract Lower clamp 2	Retraer abrazadera inferior 2
SVH11A	Extend Ejector	Extender rampa de salida
SVH11B	Retract Ejector	Retraer rampa de salida
SVH13A	Extend Mandrel	Extender mandril
SVH13B	Retract Mandrel	Retraer mandril
SVH14	Hyd Pressure relief valve	Valvula de Alivio bomba hdraulic
SVN3	Test pressure relief	Valvula de alivio presión de prueba
SVN4	Water refill	Valvula para llenado del tanque
K1	Hydraulic pump	Habilita bomba hidráulica
K2	Pressure pump	Habilita bomba de presión
K3	Filter pump	Habilita bomba de filtro
K4	Drain fill pump	Habilita bomba de drenado
LV	stack light green	Luz indicadora verde
LR	stack light red	Luz indicadora roja

Como se ha mencionado, el proceso de diseño se realizó tomando en cuenta los reglamentos y estándares ya mencionados. En la selección de los sensores, fue muy importante tomar en cuenta el tipo de variable que se debía detectar, además de ello, aspectos como tipo de materiales y colores. Esto se especifica en las secciones siguientes.

Otro aspecto importante es la comprobación del diseño realizado mediante la simulación de la interacción del sistema.

## **5.2 Descripción del hardware seleccionado**

Este proyecto se enfoca en el diseño eléctrico, por lo que no se da una implementación física, del sistema. La implementación se dará más adelante como una nueva etapa que forma parte del desarrollo de la máquina de pruebas, y que busca su implementación completa.

Por esta razón, en esta sección se proporciona información acerca de los dispositivos más importantes seleccionados para la posterior del diseño, además de ello se brindan los criterios tomados en cuenta para realizar dicha selección. Además, en la sección de anexos se adjuntan las hojas de datos proporcionadas por el fabricante para los dispositivos seleccionados.

### **5.2.1 Hardware de potencia.**

En este proyecto, el hardware de potencia es considerado, como todo aquel componente o dispositivo cuyo funcionamiento se da a 480VAC. Este valor de tensión es el usado para la alimentación de la máquina, la cual es trifásica.

Inicialmente se cuenta con la información referente a las bombas, que son los principales dispositivos de potencia que utiliza la máquina, estos datos se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4** Datos de placa de los motores de las bombas del Hydrotester

Dispositivo	Datos de placa del motor			
	Tensión alimentacion	Fases	Corriente nominal	Potencia
Bomba hidráulica	480VAC	3	19A	15HP
Bomba de presión	480VAC	3	10A	7.5HP
Bomba de filtro	480VAC	3	2.7A	2HP
Bomba de drenado	480VAC	3	3A	3HP

Además de ello se debe alimentar un transformador para la parte de control, cotizado con el proveedor *Automation Direct*, y cuyo número de parte es PH500MQMJ, éste cuenta con la certificación UL, y cuenta con las siguientes características:

- Potencia: 500VA
- Tensión Primario: 480VAC
- Corriente primario: 1A
- Tensión Secundario: 120VAC
- Corriente en el secundario: 4A

A partir de la información contenida en la tabla 4 y de la información del transformador para la alimentación de la parte de control, se procede a realizar los cálculos de amperajes, dimensionamiento de sobrecarga y calibre de los cables.

### 5.2.1.1 Calculo de corrientes de sobrecarga

Estas corrientes son calculadas con el fin de proteger los dispositivos presentes en la instalación eléctrica, de acuerdo con el NEC, en el apartado 210.20 (A), estas corrientes corresponden al 125% de la corriente del dispositivo.

A partir de esta información, se realiza el cálculo de las corrientes de sobrecarga para todas las bombas. Según el NEC:

$$\text{Overcurrent} = I_{\text{Device}} * 125\% \quad (1)$$

Los valores calculados se muestran a continuación en la tabla 5.

**Tabla 5** Valores de corriente de sobrecarga para los circuitos

Dispositivo	Corriente nominal	Corriente sobrecarga	Tipo de carga
Bomba hidráulica	19A	23.75A	continua
Bomba de presión	10A	12.5A	discontinua
Bomba de filtro	2.7A	3.37A	discontinua
Bomba de drenado	3A	3.75A	discontinua
Transformador de control	1A	1.25A	continua

### 5.2.1.2 Corriente en la acometida principal

Según el apartado 210.20 *Overcurrent protection*, inciso (A), si la carga a un circuito es continua o una combinación entre continua y discontinua, la corriente de sobrecarga no debe ser menor a la suma de las cargas discontinuas sumada al 125% de la carga continua.

En este caso se cuenta con cargas continuas, que corresponden a la bomba hidráulica y el transformador de control, que siempre se mantienen encendidos, en el caso de las bombas de filtro, drenado y la de presión, estas normalmente se mantienen apagadas y entran en funcionamiento por períodos relativamente cortos de tiempo, durante el proceso de prueba.

Por esto el valor de la corriente es:

$$I_{\text{Acometida}} = \sum I_{\text{carga continua}} * 125\% + \sum I_{\text{carga discontinua}}$$

(2)

$$I_{\text{Acometida}} = (I_{\text{Bomb hid}} + I_{\text{trafo}}) * 1.25 + (I_{\text{Bomb dren}} + I_{\text{bomb pres}} + I_{\text{bomb filtro}})$$

$$I_{\text{Acometida}} = (19\text{A} + 1\text{A}) * 1.25 + 10\text{A} + 2.7\text{A} + 3\text{A}$$

$$I_{\text{Acometida}} = 40.7\text{A}$$

### 5.2.1.3 Calibres y tipo de cable

A partir de los datos de corriente de sobrecarga, dados por la tabla 5, se puede calcular el calibre del cable, para esto, se utiliza la tabla 3.10-16 del NEC, esta indica el calibre del cable según sea la cantidad de corriente que conduce (Ampacidad), el tipo de cable se escoge de acuerdo con el tipo de cableado que se hace del dispositivo.

Se utilizará cable Phelps Dodge, el cual cuenta con certificación UL. A continuación, en la tabla 6 se detalla el calibre y el tipo de cable escogido para cada dispositivo

**Tabla 6** Calibre y tipo de cable seleccionado.

<b>Dispositivo</b>	<b>corriente sobrecarga</b>	<b>Calibre del cable</b>	<b>tipo de cable</b>
Acometida principal	41A	10AWG	THHN
Bomba hidráulica	23.75A	14AWG	TGP
Bomba de presión	12.5A	14AWG	TGP
Bomba de drenado	3A	14AWG	TGP
Bomba de filtro	2.7A	14AWG	TGP
Transformador de control	1.12A	14AWG	THHN

El cable THHN tiene aislamiento de alta temperatura, según las especificaciones del fabricante, el conductor THHN es adecuado para usos industriales en la conexión de motores, tableros de control y en acometidas eléctricas. Este cable

es seleccionado para la acometida principal y para el transformador de control, ya que estos se sitúan en el panel.

Acerca del cable TGP multiconductor, según las especificaciones del fabricante, tiene una cubierta de PVC y está protegido por una cubierta de Nylon. Tiene un relleno desgarrable y es resistente a la intemperie. Este cable se utiliza en las conexiones de salida para las bombas, ya que estas se encontrarán fuera del panel.

#### **5.2.1.4 Protecciones para los dispositivos de potencia**

Es importante proteger los dispositivos, tanto de potencia, como de control. A continuación se presenta la selección de dispositivos de protección para acometidas y motores.

Para la protección de la acometida principal, se utiliza un *breaker* termomagnético, el cual se encarga de proteger contra cortocircuitos y calentamiento del conductor, lo que permite, que si se da esta situación, el cable no se dañe o pierda totalmente, ya que el costo de éste es muy elevado.

De acuerdo con la corriente de la acometida calculado anteriormente, se procedió a seleccionar el *breaker* de protección. El valor de corriente es de 41A, pero se debe seleccionar de acuerdo con los valores que es posible encontrar en el comercio, por lo que se escoge uno de 50A. Se seleccionó un *breaker*

EATON – *Cutler Hammer*, de la familia Fi (Fi50), ya que este cuenta con certificación UL y el fabricante es mundialmente reconocido por su trayectoria en la fabricación de dispositivos eléctricos.

Luego se procedió a escoger el guardamotor para cada bomba, estos son disyuntores termomagnéticos, especialmente diseñados para proteger motores eléctricos. Estos dispositivos son diseño más robustos ante a las sobrecargas transitorias de los arranques de los motores. Los dispositivos de protección para motores seleccionados son de la marca Fuji *Electric*, los cuales permiten manejar tensiones industriales trifásicas (480VAC), son certificados, mediante algunos accesorios, pueden utilizarse para generar señales de sobrecarga para el sistema de control.

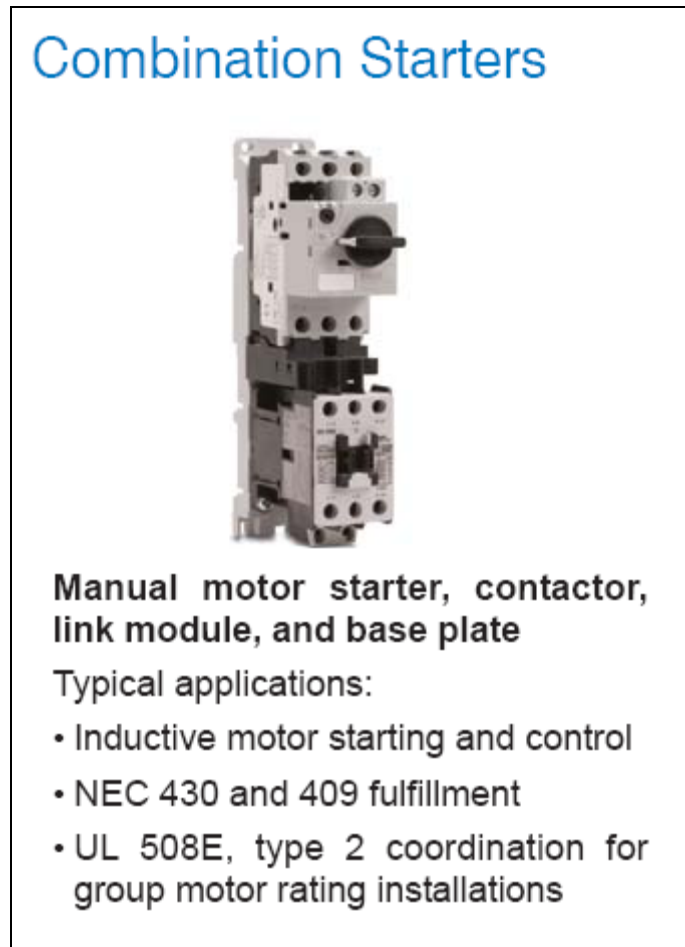
Otra ventaja que ofrecen es que pueden ser combinados con contactores para el encendido de motores, formando un conjunto compacto, lo que es un beneficio, en cuanto al espacio que se utiliza en el panel. La selección se realiza tomando en cuenta los datos de corriente de sobrecarga mostrados en la tabla 5. En la tabla 7 se muestran los guardamotor seleccionados. También se muestra el contactor seleccionado y los accesorios para generar señales de control.



**Tabla 7** Protecciones y contactores para las bombas del hydrotester.

<b>Dispositivo</b>	<b>corriente sobrecarga</b>	<b>Guardamotor</b>	<b>Rango corriente GM</b>	<b>Contactador</b>	<b>Accesorio</b>	<b>Base de montaje</b>
Bomba hidráulica	41A	BM3RHB-025	19-25A	SC-XX-110VAC	BZOWUABL	BZ0LRE22AA
Bomba de presión	23.75A	BM3RHB-016	11-16A	SC-EXX-110VAC	BZOWUABL	BZ0LRE22AA
Bomba de drenado	12.5A	BM3RHB-004	2.5-4A	SC-XX-110VAC	BZOWUABL	BZ0LRE22AA
Bomba de filtro	3A	BM3RHB-004	2.5-4A	SC-XX-110VAC	BZOWUABL	BZ0LRE22AA

En la figura 11, se muestra el esquema de conexión para el conjunto de contactor-guardamotor, la selección de éstos se realiza tomando en cuenta rangos de corriente, como se muestra en la tabla 7, la selección se hizo con dispositivos que soportaran corrientes entre los rangos que se encuentran las corrientes de sobrecarga para los motores de las bombas.



**Figura 11.** Modelo de conexión para combinar contactor con guardamotor Fuji Electric.

Finalmente la protección para el transformador de control se realiza mediante fusibles, para ello se hace referencia nuevamente al NEC, en la tabla 450.3(B), que indica la manera de calcular la protección necesaria, tanto en el primario, como en el secundario. Según la tabla, para tensiones menores a 600V, la protección del primario debe ser de un 250% de la corriente en el primario,

mientras que para el secundario, debe ser de un 167% de la corriente. Dado esto, las protecciones para el transformador son:

- Primario: Fusible 2A de 10 x 38 mm
- Secundario Fusible de 6A de 10 x 30mm

## **5.2.2 Hardware de control.**

El hardware de control del sistema es el necesario para lograr la puesta en marcha y adecuado funcionamiento de la máquina. Como ya se mencionó, el sistema de control para la máquina de pruebas hidrostáticas se basa en un PLC de la marca Allen Bradley. Seguidamente se procede a especificar el hardware seleccionado para la etapa de control de la máquina.

### **5.2.2.1 Controlador lógico programable (PLC)**

A petición del cliente, el controlador de la máquina debe ser Allen Bradley, por lo que en primera instancia se procedió a realizar la comparación entre los modelos más utilizados, realizando un análisis de los requerimientos, específicos para este diseño.

A partir de las referencias de proyectos anteriores se conoce que la empresa ha utilizado controladores de las familias Micrologix y SLC.

Al principio se manejaron dos opciones, el Micrologix 1500 y el SLC 5/03, a partir de la información mostrada en la tabla 8, como se puede observar, las

características de estos dos son muy similares, las diferencias radican en la cantidad de memoria, y de entradas y salidas.

Se estudió el manual de direccionamiento para este tipo de controladores, de donde se pudo corroborar que el modo de direccionamiento es el mismo, además de ello el set de instrucciones para estos dispositivos es muy similar y cuenta con instrucciones muy poderosas.

La diferencia más importante entre estos dos PLC's radica en el costo, el precio de un controlador SLC (\$1500) fácilmente puede llegar al doble que el de un Micrologix (\$720), además el SLC es más voluminoso que el Micrologix, y además, para agregar módulos de expansión, es necesario incorporar rack's de expansión.

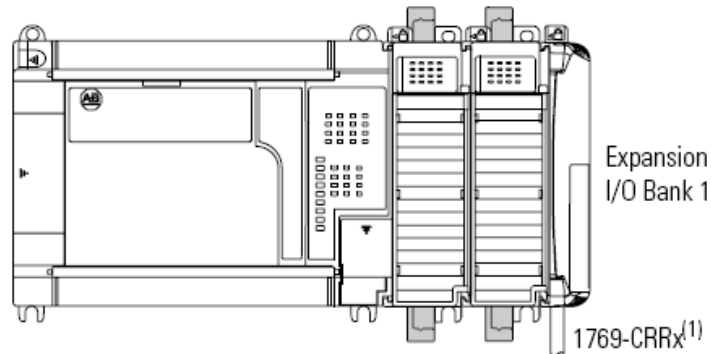
**Tabla 8** Información recopilada sobre PLC's Allen Bradley.

Aspecto	Micrologix 1000	Micrologix 1500		SLC 500
		LSP	LRP	
<b>Memoria</b>				
1K	x			
7K		x		
14K			x	
16, 32, 64K				x
<b>I/O</b>				
32	x			
128		x		
256			x	
8192				x
<b>Funciones</b>				
Expansion		x	x	x

PID			x	x
PWM		2	2	x
<b>Tensión de operación</b>				
120/240 VAC	x	x	x	x
24 VDC	x	x	x	x

Por estas razones se escogió el Micrologix 1500 LRP. El tamaño físico de este controlador es beneficioso en el sentido que ocupa un espacio reducido en el panel. La capacidad de direccionamiento de entradas/salidas permite manejar hasta 4096 entradas digitales y 4096 salidas digitales. En la figura 12 se muestra una imagen del Micrologix 1500 con fines de ilustración.

El Micrologix 1500 está constituido por varias partes: la base, que contiene entradas y salidas, y que define el número y el tipo de entradas y salidas, también el tipo de alimentación, y la unidad procesadora o CPU. Hay tres tipos de base para este controlador. En cuanto al procesador, existen dos tipos: LSP y la LRP, y hay tres tipos de bases. Este control de lógica programable tiene características avanzadas y puede ser usado en muchas aplicaciones, en las que es necesario utilizar un controlador más grande. Ya que incorporando módulos de expansión para entradas y salidas, se brindan opciones de expansibilidad al sistema basado en PLC's Micrologix 1500.



**Figura 12.** PLC Micrologix 1500 de Allen Bradley.

La configuración de PLC seleccionada para el sistema de control del Hydrotester es la siguiente:

- Procesador LRP serie C, con 12K words de memoria configurable para el programa los datos, puerto RS232
- Base 1764-24BWA con 12 entradas digitales de 24V y 12 salidas tipo relé con alimentación de 120VAC.

Otro aspecto importante es que soporta hasta un máximo de 16 módulos de expansión, módulo de comunicación *DeviceNet* y las actualizaciones de sus predecesores, y otras más. El aumento de la cantidad de más de ocho módulos implica dividir en bancos, con un máximo de ocho módulos más una fuente de poder, un cable de expansión y es posible extenderse hasta tres bancos como máximo. Además, se debe utilizar una tapa final (*End Cap*) después del último módulo, para que se dé la comunicación entre los módulos y el Micrologix. Esto

cierra el bus de datos cuando se utiliza módulos de expansión sin importar el número de bancos por configurar.

La base utilizada con este controlador tiene incorporadas entradas y salida, pero, como se muestra en los datos proporcionados por las tablas 2 y 3, se tienen 48 entradas, de las cuales 47 son digitales y 1 analógica. También se cuenta con 25 salidas digitales. Por esto que se menciona es necesario la incorporación de módulos de expansión de entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

En la tabla 9 se muestra los módulos de expansión escogidos para el manejo de las variables de control.

**Tabla 9** Módulos de expansión de entrada – salida para el PLC seleccionado.

<b>Módulo</b>	<b># de módulo</b>	<b>tipo</b>	<b>Descripción</b>
1769-IQ32	1	Entrada digital	32 entradas digitales, 24VDC
1769-IQ16	2	Entrada digital	16 entradas digitales, 24 VDC
1769-OB32	3	Salida digital	32 salidas digitales, 24 VDC
1769-IF4	4	Entrada analógica	4 Canales de entrada analógicos

Con la utilización de los módulos de expansión mostrados en la tabla 9, se cubre el requerimiento de entradas y salidas, además se sobredimensiona, esto con el fin de, tener posibilidades de expansión en el futuro, después de que se dé la implementación del diseño.

Como parte del diseño, hay un relé de control maestro debe ser instalado de manera que proporcione un medio confiable para la desactivación de emergencia del controlador. Este es de gran importancia desde el punto de vista

de seguridad. Esto se encarga de interrumpir la alimentación eléctrica a los circuitos de los dispositivos de salida.

### 5.2.2.2 Interfaz Humano Máquina (HMI)

Como parte del diseño, se incorpora un dispositivo HMI, *PanelView* 300 de Allen Bradley, éste cuenta con certificación UL. Este dispositivo se muestra en la figura 13.

El Panel View o panel de operador de teclado posee opciones para graficar, puerto de comunicación DH-485 y RS-232, ambos con protocolo DH-485. Utiliza un *display* de tipo LCD monocromático, maneja ocho teclas de funciones para entrada de datos, reloj de tiempo real y un teclado extendido para el ingreso de datos numéricos





**Figura 13.** Vista frontal del PanelView 300 Monochrome, dispositivo HMI seleccionado.

El *PanelView* es capaz de leer direcciones directamente del programa que se esté ejecutando en el controlador, e incluso puede enviar datos a controlador, para lo cual utiliza sus dos diferentes teclados.

La conexión entre el PLC y el *PanelView* deberá ser realizada por el puerto RS232 utilizando el protocolo DH485.

Desde este dispositivo, que se ubicará en la puerta del panel, se podrán monitorear las distintas señales de control, además se podrá realizar el control de la máquina en modo manual y se proporcionará al operador de la máquina, información sobre las alarmas que acontezcan.

### 5.2.2.3 Sistema de historial de prueba (*Chart recorder*)

El *chart recorder* es un dispositivo que permite mantener un registro de las pruebas que se han realizado. Este dispositivo se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Vista frontal del Chart Recorder Fuji PHF

Se trata de un soporte de papel registrador que muestra los datos analógicos de presión dentro del tubo medidos en la pantalla LCD, en tiempo real y almacena los datos en una memoria *CompactFlash*.

Cuenta con tres canales de registro, para el Hydrotester solo se necesita monitorear una variable: la presión dentro del tubo, esto mientras se realiza la prueba, esto permite tener la posibilidad y facilidad de llevar un registro de alguna otra variable en el sistema que se necesite monitorear en un futuro.

Los datos almacenados en la memoria pueden ser regenerados en la pantalla, y el uso de software de apoyo suministrado permite que los datos para puedan ser transferidos y visualizados en una PC.

#### **5.2.2.4 Sensores**

En seleccionar los sensores para el sistema de control, fue necesario realizar un análisis de varios factores, como el tipo de señal (analógica o digital), lugar de ubicación, lo que incluye las condiciones del entorno, debido a la ubicación espacial del dispositivo (sensor) dentro de la máquina.

Las señales producidas por los sensores son entradas para el sistema de control, primero se definieron las variables de entrada, las cuales se muestran en la tabla 2.

La mayor parte de las variables de entrada consisten en señales que indican cuando algún ensamble de la máquina se encuentra extendido o retraído, esto por acción de un pistón. El otro tipo de señales, son los de reconocimiento de tubo en alguna posición, necesario en algunos casos para poder seguir con la secuencia, según sea la estación del proceso en la máquina en que se encuentre.

Los sensores utilizados a partir de los tipos de variables que se tienen se detallan a continuación.

Sensor de proximidad:

Este tipo de sensores indican cuando alguna parte mecánica de la máquina se encuentra en una posición, la cual está determinada por las necesidades en cuanto a información y señalización que requiere el software del PLC. Se utilizan principalmente para la detección de posición en los pistones hidráulicos, ya sea extendidos o retraídos, o si se requiere, a media carrera del pistón, la mayor parte de señales de posición en la máquina, se relacionan directamente con el estado de uno de estos pistones, ya que el movimiento de la máquina se da a través de ellos.

También están las señales directas de posición de partes móviles en las cuales es necesario, detectar el estado de acuerdo con la ubicación de la estructura en cuestión. Para el tipo de señales mencionadas se utilizaron sensores inductivos de proximidad, para este caso inductivos, ya que la máquina se construirá casi en su totalidad de acero y materiales metálicos.

Los sensores inductivos de proximidad sirven para detectar materiales metálicos ferrosos. Comúnmente son utilizados en aplicaciones industriales, tanto para aplicaciones de posicionamiento, como para detectar la presencia de objetos metálicos en un determinado entorno de trabajo.

Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado. Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, éste es detectado cuando hay pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él, objetos de detección férricos.

En su arquitectura básica, este tipo de sensores tiene una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida. Cuando se acerca un objeto metálico, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF".

Los sensores de proximidad inductivos fueron seleccionados porque, entre otras ventajas, permiten que la señal sea activada, o desactivada según sea el caso, únicamente por la presencia de la parte mecánica de la máquina, o por la guía de un pistón, y no por efectos de agentes externos a la máquina, como suciedad o insectos, ya que se asegura el accionamiento del contacto sólo cuando la parte metálica que se desea detectar está próxima al sensor.

Los sensores de proximidad inductivos seleccionados son de la marca Allen Bradley, número de parte 872C-D8NE18-A2. Éstos cuentan con certificación UL y CE, en la figura 15 se muestra una imagen de estos sensores. Entre sus características están:

- Operación por dos hilos

- Salida NC o NO
- Protección contra inversión de polaridad, cortocircuito, sobrecarga, impulsos falsos y ruido transitorio.
- Pueden ser adaptables para su uso en cilindros o pistones hidráulicos.
- Alimentación de 10 a 30 VDC.
- Alcance 8mm



**Figura 15.** Sensor inductivo de proximidad Allen Bradley 872C-D8NE18-A2

Se puede observar en la figura anterior que el encapsulado de estos sensores, es muy robusto, esto es muy importante, ya que las condiciones en que funcionarán pueden tornarse difíciles, tomando en cuenta que en algunas

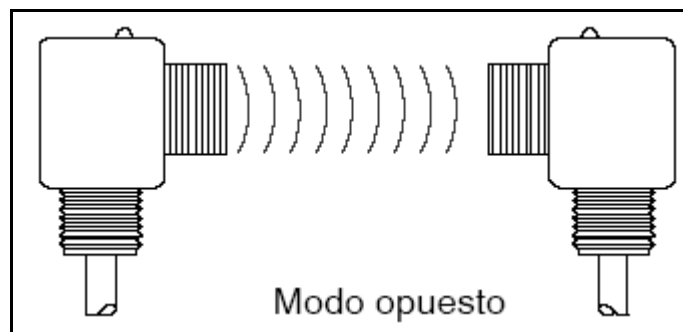
secciones de la máquina se utiliza agua o aceites, que podrían afectar su funcionamiento, de no tener la adecuada robustez.

Fotoceldas Difusas (Sensores Ultrasónicos):

Este tipo de sensores es utilizado para la detección del tubo en determinada estación de la máquina, cuando se requiere, este tipo de sensores son ultrasónicos.

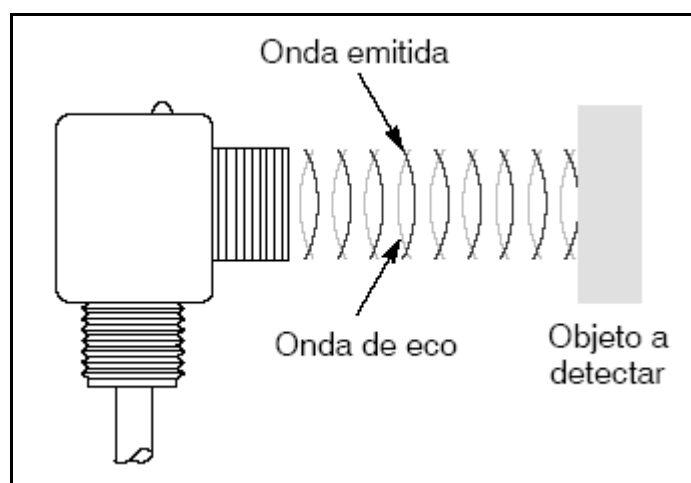
Los sensores ultrasónicos operan emitiendo y recibiendo ondas de sonido de alta frecuencia. Ésta normalmente está en el orden de los 200 kHz, por lo que es muy alta para que el oído humano la perciba.

Existen dos modos de operación para este tipo de sensores: el modo opuesto y el modo difuso. En el modo opuesto, hay un emisor, que es la fuente de una onda de sonido y el receptor, que recibe la onda de sonido, éste se encuentra en el lado opuesto del emisor, como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Sensor ultrasónico en modo opuesto.

En el modo de operación difuso, el mismo sensor funciona como emisor y receptor, se emite la onda de sonido y luego se detecta el eco que un objeto refleja, como se muestra en la figura 17.



**Figura 17.** Sensor ultrasónico en modo difuso.

Para las estaciones de tubo fuera del tanque se utilizarán sensores ultrasónicos difusos, para la detección del tubo dentro del tanque se implementarán sensores ultrasónicos opuestos. Los sensores seleccionados se detallan a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10** Módulos de expansión de entrada – salida para el PLC seleccionado.

Tipo de sensor	Marca	Emisor	Receptor	Alcance	Cerificaciones
Difuso	Allen Bradley	42KL-D1LB-A2	42KL-D1LB-A2	380mm	UL, CSA, CE
Opuesto	EATON Electric	E58-30TS250-HA	E58-30TD250-HL	280m	UL, CSA, CE



Los sensores seleccionados, entre otras características, son robustos, cumplen con los estándares de calidad norteamericanos.

### **5.22.5 Salidas**

Para las salidas de control fue necesaria la utilización de relés, ya que el control de las válvulas hidráulicas requiere de una tensión de 120VAC, por lo que con la utilización de los relés se soluciona, otra forma de hacerlo es utilizando el módulo de expansión con salidas de relé, pero en caso de llegar a dañarse alguno, se debería cambiar el módulo completo, o si se tratara de las salidas de la base, cambiar la base, lo que se traduce en un gasto superior, de tiempo y dinero, que al utilizar relés por separado.

### **5.22.5 Cableado**

En el diseño del cableado de la máquina, especialmente para el sistema de control fue necesario la incorporación de cajas en donde se reúnen las señales que corresponden a distintas secciones de la máquina, esto se da porque la mayoría de los sensores, tienen un cable con un largo entre 1 y 3 metros, por los que en la mayoría de los casos, esta longitud no es suficiente para llegar hasta el panel. Al utilizar estas cajas, las señales serán reunidas y llevadas hasta el panel por medio de un cable multiconductor de control.

### 5.22.6 Panel

Para la elaboración del panel se seleccionó la estructura N412603612C, de la marca HUBBEL, ésta cuenta con certificación UL. En la figura 17a se muestra la vista frontal de este panel. Es importante que tanto el *PaneView*, el *Chart recorder* y los botones de mando, como el reset y paro de emergencia, también se cuenta con luces indicadoras del estado de la máquina (luz verde y luz roja), además la selección de la totalidad de material para el panel, así como la totalidad del material eléctrico necesario se muestra en el apéndice A.5.



**Figura 17a.** Vista frontal del panel seleccionado.

### **5.3 Descripción del software**

En el desarrollo de este proyecto se utilizaron varios paquetes de software, todos con un propósito específico para la realización de distintas tareas del proyecto.

En algunos de estos se utilizan lenguajes de programación, los cuales siguen el estándar IEC 61131-3, permiten la configuración y programación del sistema de control que se desarrolló. Además se realizó una simulación de este sistema de control, con el fin de comprobar la validez del diseño en cuanto al cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

#### **5.3.1 Herramientas de software utilizadas.**

En esta sección se presentan las herramientas de software utilizadas en el desarrollo del proyecto, la utilización de estas herramientas se dio principalmente en el desarrollo del programa de control para la máquina, además de ello, para la elaboración de planos, diagramas y documentos inherentes a la realización del diseño.

### 5.3.1.1 RSLogix 500

RSLogix 500, es un software de programación para controladores lógicos programables; desarrollado por la compañía Rockwell, división Software.

RSLogix 500 permite realizar programación en el lenguaje de programación Ladder (escalera), que forma parte del estándar IEC 61131-3, utilizando mnemónicos o moviendo objetos gráficamente directamente sobre la pantalla de programación. Dependiendo del dispositivo periférico, también es posible realizar programación en línea y poner el dispositivo en modo de ejecución (run).

El software cuenta además con facilidades para la configuración de diferentes tipos de dispositivo en un PLC, como módulos de E/S, módulos de interfaz para redes de comunicación DeviceNet, etc., que se pueden conectar PLC. Esto hace que RSLogix 500, sea un software muy flexible para la programación de controladores.

Una rutina realizada en RSLogix 500 se realiza en un ladder o escalera, pues está formado por una sucesión de instrucciones descendentes al igual que una escalera y que se ejecuta en forma cíclica. Además de ello cumple con el estándar IEC61131-1. La verificación del programa cuenta con tres recorridos para las instrucciones: el primero es el barrido o escaneo de las instrucciones de entradas, luego el escaneo de instrucciones de proceso y ejecución y por último se realiza un escaneo de las salidas.

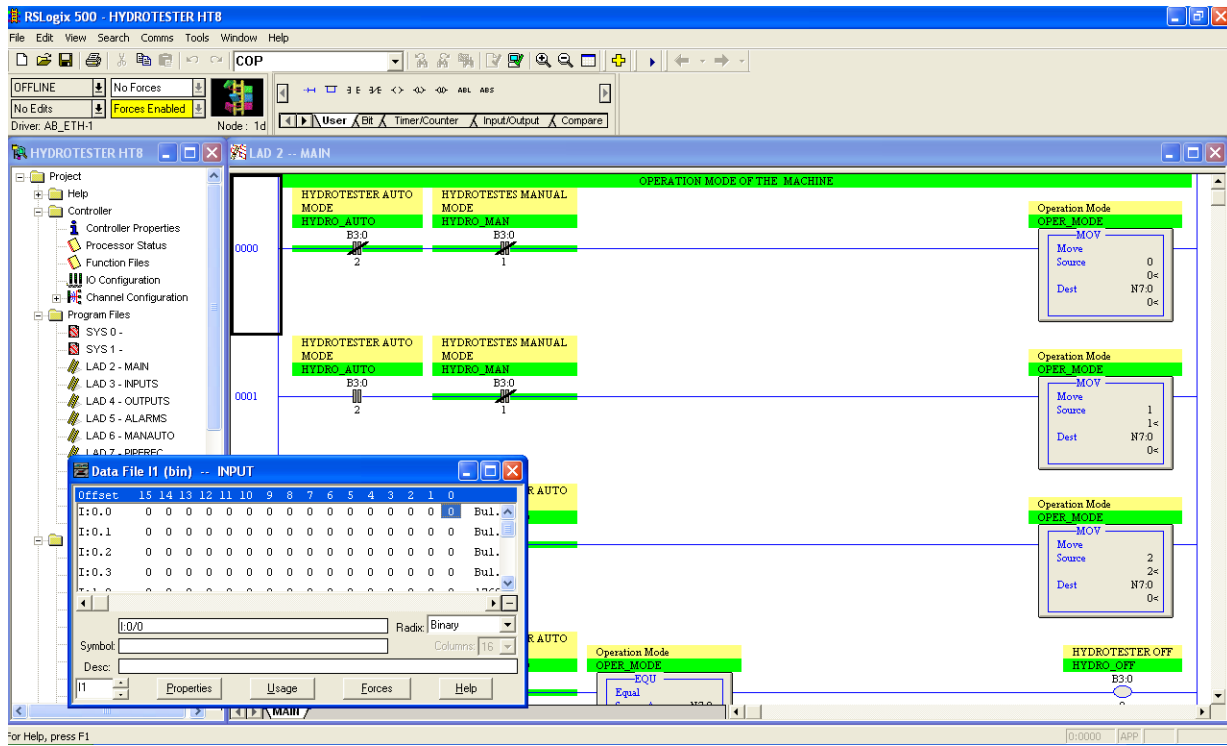


Figura 18. Ventana Principal del Programa RSLogix500.

### 5.3.1.2 PanelBuilder32

PanelBuilder32 es un software que permite desarrollar aplicaciones para los diferentes tipos y versiones de Panel View de la marca Allen-Bradley. Además permite configurar diferentes tipos de paneles de operador, desde el Panel View 300, que es el que se seleccionó para este proyecto, hasta el Panel View 1400.

La programación del dispositivo se realiza gráficamente, mediante la estructuración de pantallas, como se muestra en la figura 19. Cada pantalla que conforma el programa se realiza directamente en PanelBuilder y luego se descargan al panel.

Para la realización de las pantallas se cuenta con una serie de herramientas, éstas permiten simular gráficamente el comportamiento físico de dispositivos como pulsadores, botones, flip-flop, etc. Lo anterior como tipos de botones, que pueden ser momentáneos, mantenidos.

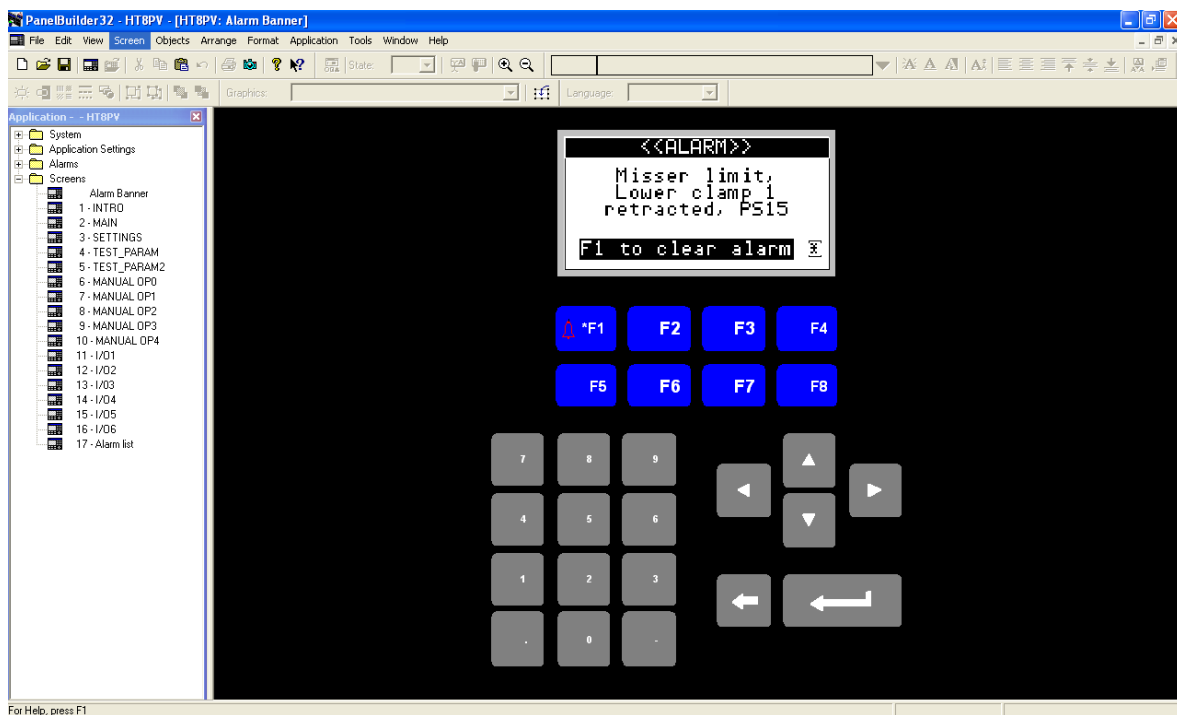


Figura 19. Ventana Principal del Programa PanelBuilder32.

### 5.3.1.3 Autodesk Autocad 2008

AutoCAD 2008 es el software utilizado para dibujar los planos a partir diseño desarrollado

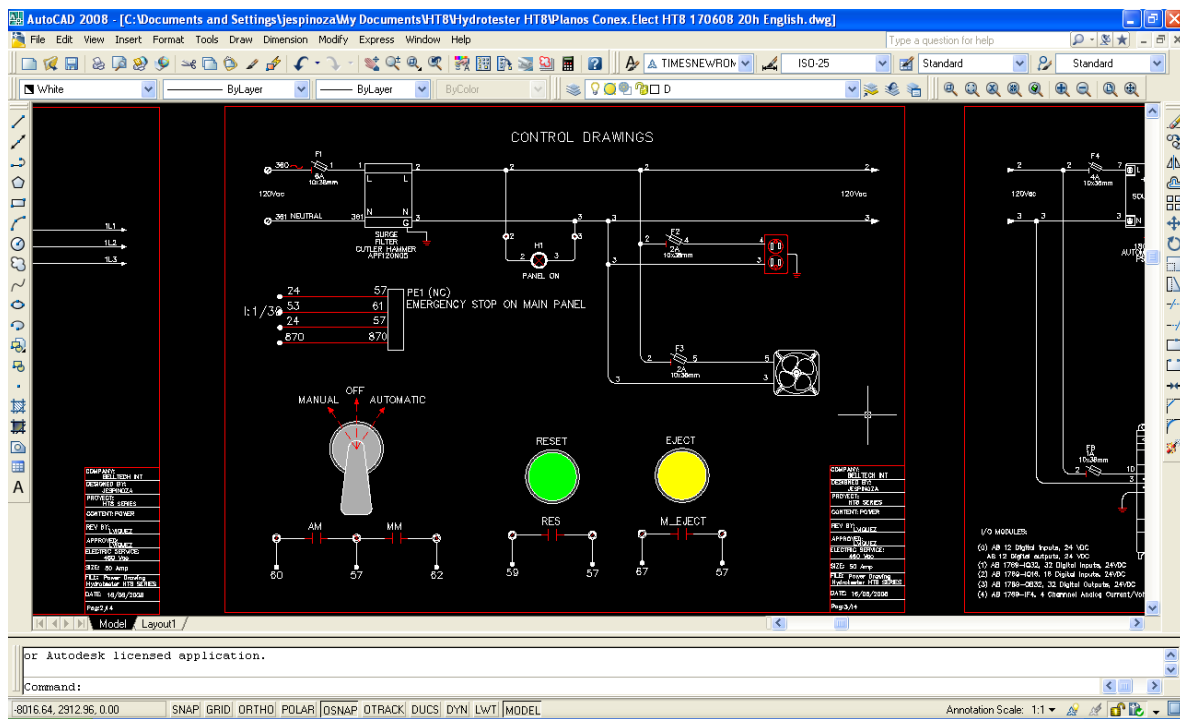


Figura 20. Ventana Principal del Programa AutoCAD 2008.

### 5.3.1.4 Autodesk Inventor 11 Professional

Este software es utilizado por la empresa para el diseño y edición de los ensambles mecánicos de los proyectos que se realizan.

El programa permite tener una perspectiva en tres dimensiones, y en el caso de este proyecto, fueron de mucha utilidad para comprender el modo de funcionamiento y los movimientos de cada sección de la máquina de pruebas hidrostáticas

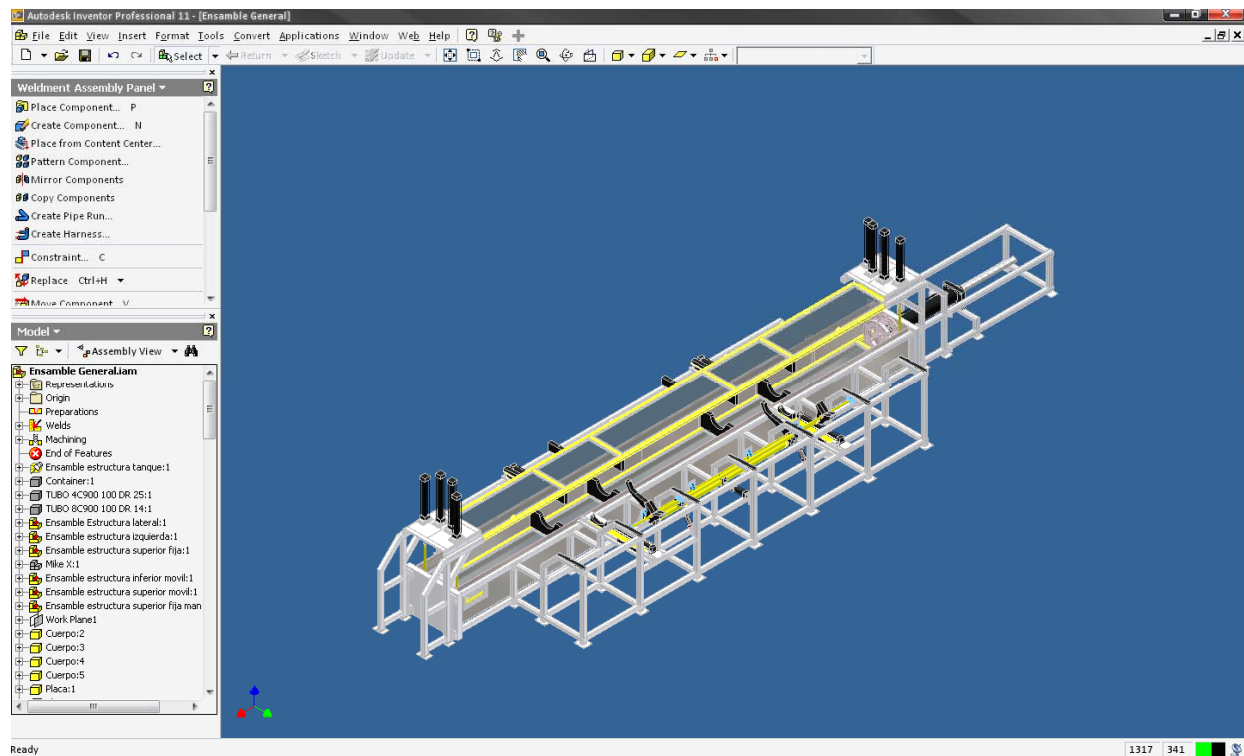


Figura 21. Ventana Principal del Programa Inventor 11 Professional.



### **5.3.1.5 Automation studio.**

Automation Studio es un software completamente integrado que permite diseñar, documentar, simular y animar circuitos que consisten en varias tecnologías incluyendo hidráulica, neumática, controles eléctricos, PLC, diagrama de funciones secuenciales (SFC/Grafcet/Ladder).

La versión del software utilizada es de evaluación, por lo que sus funciones están restringidas, pero permite realizar la simulación en conjunto de la parte hidráulica, que es la que proporciona el movimiento a la máquina, con la parte eléctrica de potencia y el sistema de control basado en PLC Allen Bradley.

El sistema permite incorporar las secuencias de funcionamiento tal y como fueron programadas en el software RSLogix500 con el lenguaje ladder IEC61131-3, además es posible agregar los módulos de entrada/salida e incorporarlos al sistema simulado. En la figura 22 se muestra la ventana principal del programa Automatio Studio.

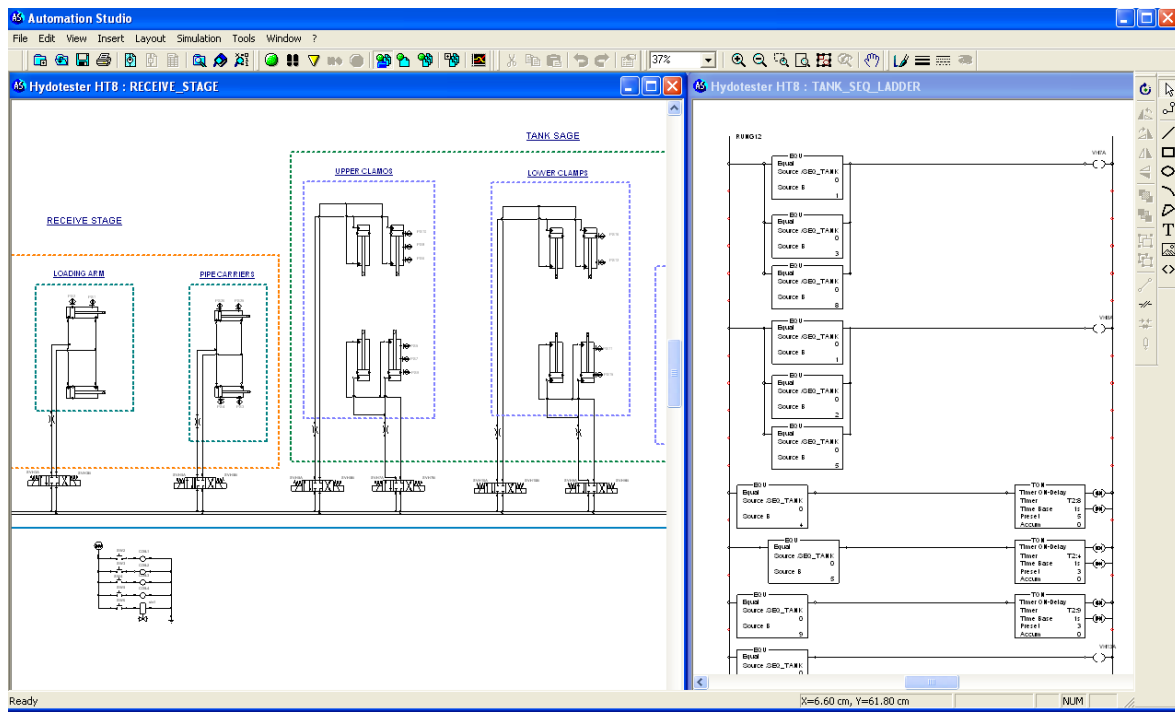


Figura 22. Ventana Principal del Programa Automation Studio

Otras herramientas utilizadas para el desarrollo de documentación, diagramas, listas de materials y planos son: Microsoft Word, Excel, y Visio, que forman parte de Microsoft Office 2007. También se utilizó el software Adobe Acrobat 6, como generador de documentos en formato PDF.

### **5.3.2 Software desarrollado.**

En esta sección se trata el software desarrollado como parte del proyecto, el desarrollo del mismo se enfoca principalmente en tres aspectos: rutinas de control, Interfaz humano-máquina y simulación. Estos aspectos abarcados se detallan a continuación.

#### **5.3.2.1 Programa de Control (PLC)**

El programa de control fue desarrollado mediante el software RSLogix500. En el desarrollo del programa de control, primero se debió realizar el análisis de las secuencias de funcionamiento de la máquina, además de las opciones que surgieron y que podían ayudar a mejorar el desempeño del hidrotester, y asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Hecho el análisis, se plantearon las secuencias de funcionamiento para la máquina. Estas secuencias pueden ser observadas en el apéndice A.4, y a partir de ellos se empezó con la programación. Es importante destacar que los diagramas de secuencia fueron elaborados siguiendo el estándar IEC 61131-3 en la especificación diagramas de flujo de secuencia (SFC).

El programa de control está organizado en ladders, o archivos de procedimientos. Esto quiere decir que el funcionamiento de la máquina fue

dividido en rutinas (o ladders) con el fin de facilitar el proceso de edición y depuración del programa. Las rutinas o ladders presentes en el programa son las siguientes:

- Ladder principal
- Entradas
- Salidas
- Alarmas
- ManAuto
- PipeRec
- PipeCarry
- TankSeq
- Bypass
- ManuaEject

Hay un procedimiento principal, el cual se encarga de realizar el escaneo de los demás, además de ello es el encargado de mantener las funciones básicas de la máquina, como se detalla a continuación.

En el procedimiento principal se realiza la lógica de modo de operación, de acuerdo con el que será seleccionado por el operador, además de ello, se incorporaron salidas para luces indicadoras que indican el modo de operación actual de la máquina. En el modo manual, hay una luz verde que se mantiene intermitente, en el modo apagado no hay luces encendidas, durante las alarmas la luz roja es intermitente y en paro de emergencia se mantiene encendida.

En el modo manual el operador tiene la facilidad de realizar los movimientos de los mecanismos de la máquina, de una manera segura. En el estado apagado no hay ningún movimiento, y en el modo automático, la máquina realiza la secuencia de prueba por sí misma.

También está el modo bypass, el cual realiza la secuencia automáticamente, pero no la prueba, este modo puede ser de utilidad cuando no es necesario realizar la prueba en determinado lote de tubería. En este modo, la secuencia del tanque se realiza en forma resumida, sin prueba y sin sumergir el tubo en el tanque. En la sección de apéndices (A.4) se puede observar la secuencia seguida en el tanque para el modo bypass.

En el procedimiento principal se encuentra también la lógica del reset, como se muestra en la figura 23. En esta máquina hay dos tipos de reset, el primero, que se acciona con una breve presión en el botón de reset, es el que se encarga de restablecer las alarmas, cuando estas se dan, y esto es un requisito para poder continuar con la secuencia. El otro tipo es el main reset o reset principal, se activa manteniendo presionado el botón de reset durante 3 segundos, este se encarga de detener las secuencias que se encuentra realizando la máquina, restablece los secuenciadores y automáticamente lleva todos los mecanismos de la máquina a la posición inicial o "home position".

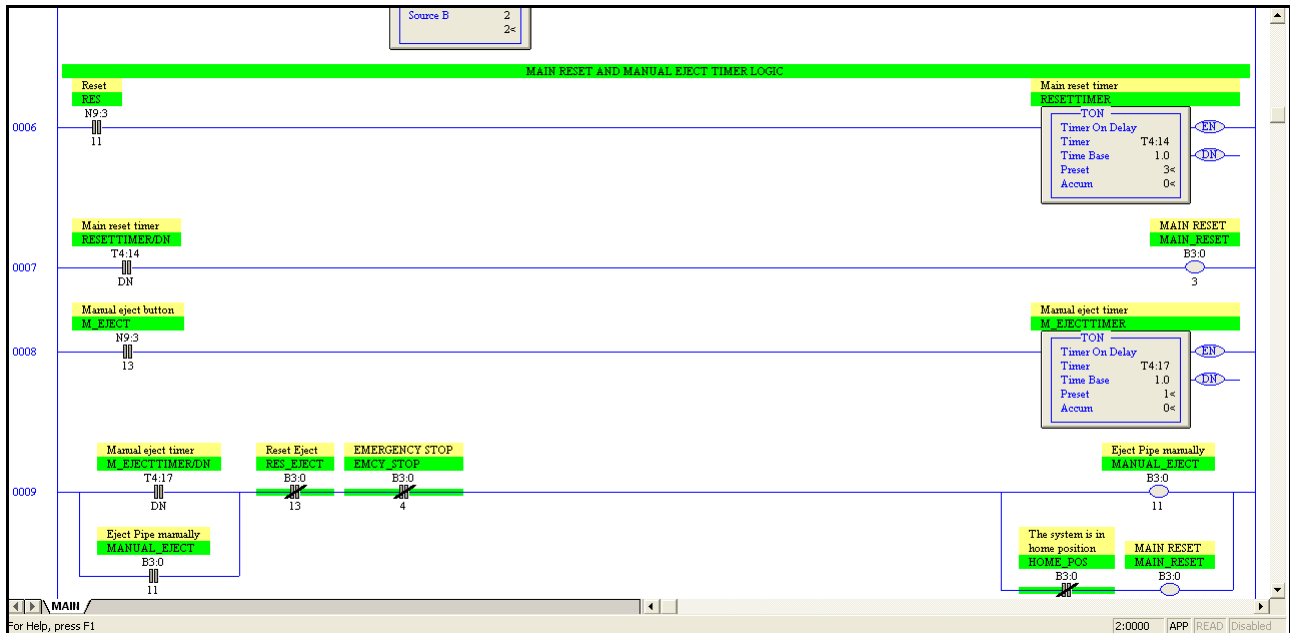


Figura 23. Lógica utilizada para el reset y expulsión del tubo.

Cuando se realiza la prueba y esta no es aprobada, se acciona una alarma, que detiene la secuencia del tanque, en este caso, el tubo tiene ser retirado por el operador, ya que no se puede tener la certeza del estado del tubo, esto porque puede explotar, se puede fracturar, puede tener un desprendimiento de la campana, u otro tipo de situación que dificulta la síntesis de una secuencia de extracción del tubo automáticamente.

Debido a ello se ha incorporado una rutina de expulsión manual del tubo, esta rutina tiene la misma lógica del main reset (como se muestra en la figura 23), llevando todos los mecanismos a una posición inicial, y luego realiza una rutina

de expulsión del tubo, esta rutina será activada por un botón de Eject, que se encontrará en la puerta del panel principal.

El procedimiento ManAuto contiene los enclavamientos, los cuales permiten el movimiento sólo si el mecanismo, se encuentra adecuadamente posicionado, y los mecanismos cercanos a él no obstruyen el libre movimiento de éste. Esta lógica se incorpora como seguridad, tanto para el operador, como para la máquina.

Las alarmas generadas por el sistema pueden ser de varios tipos. El primero de ellos es cuando la prueba falla, se activa una alarma, la cual detiene la secuencia del tanque, para que el operador decida si descarta el tubo, o si lo vuelve a probar. En algunas ocasiones el tubo puede quedar atrapado en el tanque, por el lado opuesto al de la campana, esto provoca que el tubo no pueda salir automáticamente, y para liberarlo es necesario activar una válvula neumática que activa un cilindro que lo empuja, el cual es conocido como stripper.

Se ha incorporado una lógica de auto-diagnóstico para las señales de entrada provenientes de los sensores, la cual permite monitorear el estado de la señales, e identificar cuando se ha perdido alguna, esto activa la alarma de pérdida de señal. Esta lógica utilizada se ilustra en la figura 24.

También hay una alarma que se activa cuando el mandril se extiende demasiado por la pérdida de un sensor, esto implica daño al tubo que se encuentra en

proceso de prueba. Cuando ocurre una sobrecarga en los dispositivos de potencia, como las bombas, se activa una alarma de sobrecarga.

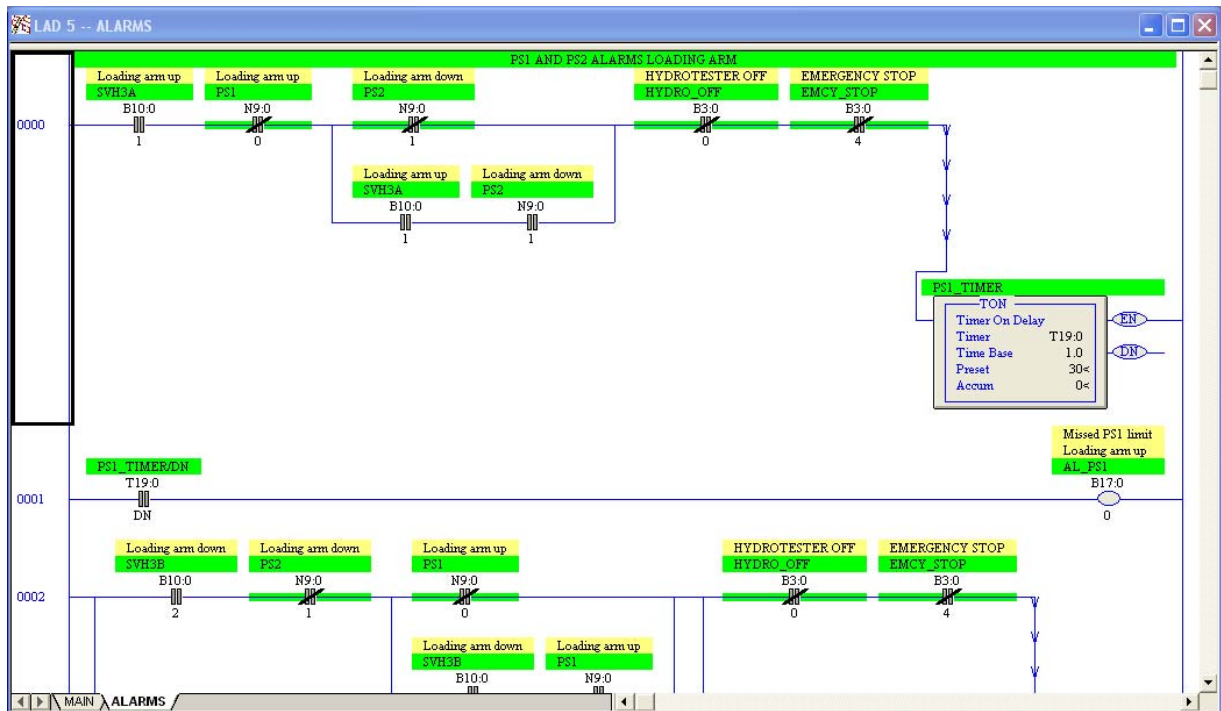


Figura 24. Lógica utilizada para auto-diagnóstico de señales de sensores

Los ladders: PipeRec, PipeCarry, TankSeq y Bypass, llevan la misma lógica de secuencia observada en los diagramas del apéndice A.4. Estas secuencias son las de rutinas obtenidas, analizadas y aprobadas para el funcionamiento de la máquina de pruebas hidrostáticas.



Los procedimientos inputs y outputs se utilizan para asignar las variables de entrada y salida a las entradas o salidas físicas de la base del PLC o de los módulos de expansión.

### **5.3.2.2 Panel View (HMI)**

La programación del dispositivo HMI (PanelView 300) se realizó, como ya se ha mencionado utilizando el software PanelBuilder 32. El modo de desarrollar el programa para el dispositivo es mediante estructuración de pantallas. El primer paso en la elaboración del programa fue la importación de la base de datos de las variables del programa del PLC, ya que este software tiene la capacidad de realizarlo, luego de ello se pueden asignar estas variables a los botone y demás controles con que cuenta cada pantalla del programa.

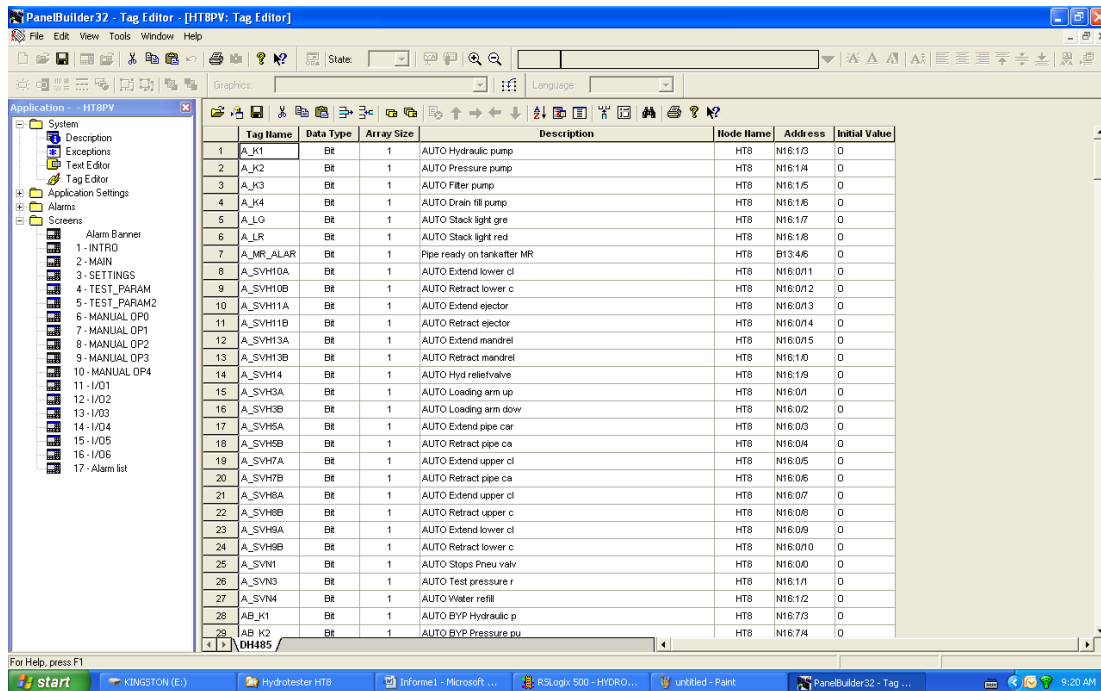


Figura 25. Ventana del importación de base de datos de variables del programa desde PanelBuilder32.

Seguido de ello, se procedió estructurar cada una de las pantallas, incluyendo una de presentación, configuración de valores de prueba, visualización de señales, visualización de descripciones de alarmas, historiales de alarma. La totalidad de pantallas desarrolladas para el PanelView pueden ser observadas en el apéndice A.3 de Manual de Usuario.

### 5.3.2.3 Simulación

La simulación del sistema fue de gran importancia, ya que permitió observar el comportamiento, tanto del sistema de control diseñado, sino también el funcionamiento de los componentes de potencia.

El software utilizado para la realización de la simulación fue Automation Studio, que es un software para el diseño, simulación, evaluación y depuración de sistemas de automatización. Se utilizó una versión de evaluación, que cuenta con funciones un poco limitadas, pero que permiten evaluar el funcionamiento del diseño mediante simulación. Este programa, en esta versión de evaluación brinda la facilidad de ejecutar una simulación, en conjunto de sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos, tanto de potencia, como de control, lo que proporciona una perspectiva muy cercana al funcionamiento del sistema en la realidad.

El primer paso para el desarrollo de la simulación, fue la construcción del sistema virtual, como ya se mencionó, el software permite la interacción de los distintos sistemas que componen la máquina, como se muestra en las figuras 26, 27 y 28.

Seguidamente, se procedió a incorporar las secuencias de funcionamiento, el software permite ingresar programas en el lenguaje Relay ladder logic del estándar IEC61131-3, por lo que las secuencias se pudieron ingresar idénticas al programa desarrollado para el PLC, tal y como se muestra en la figura 29.

Finalmente, se realizó la simulación, en donde además de un funcionamiento de los sistemas en conjunto, es posible monitorear las variables del programa de control, así como el estado de las entradas y salidas del PLC, a partir de estos datos que se pueden obtener, se pudo realizar un proceso de comprobación del diseño desarrollado, como se muestra en la figura 30.

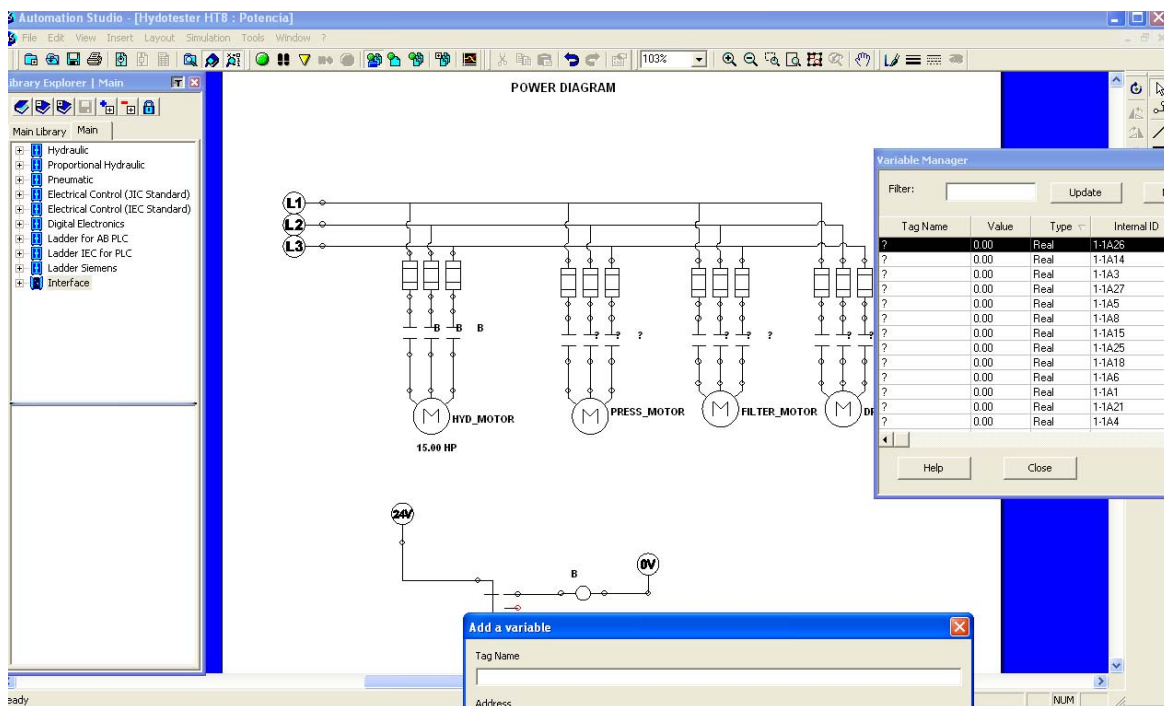


Figura 26. Incorporación de los componentes de potencia.

# Diseño del Sistema Eléctrico y de Control para una máquina de Pruebas Hidrostáticas bajo la Norma AWWA C900

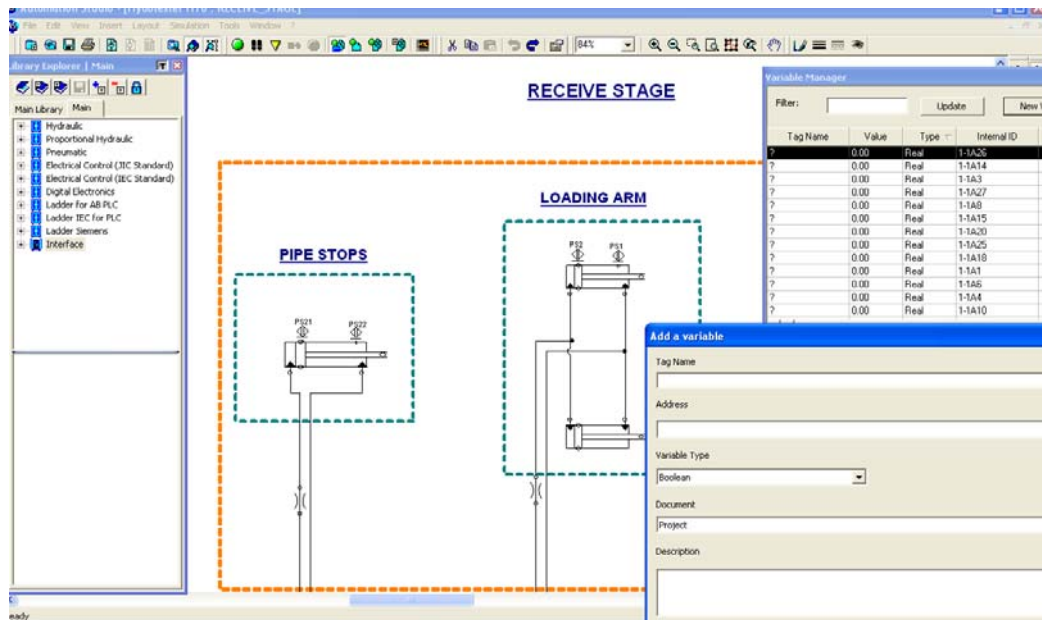


Figura 27. Construcción del sistema hidráulico y colocación de sensores del hydrotester.

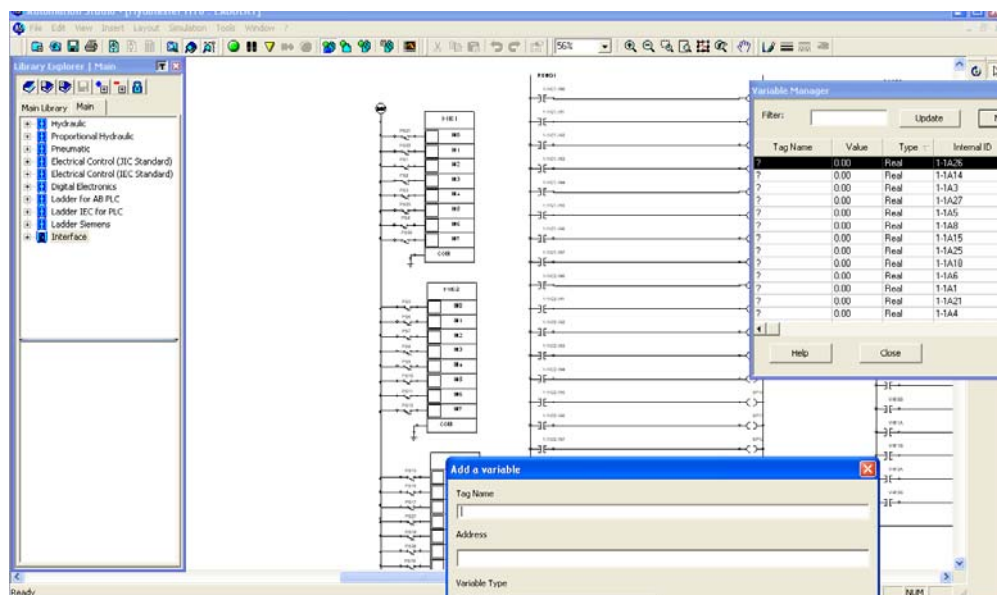


Figura 28. Incorporación de los módulos de entrada salida de PLC

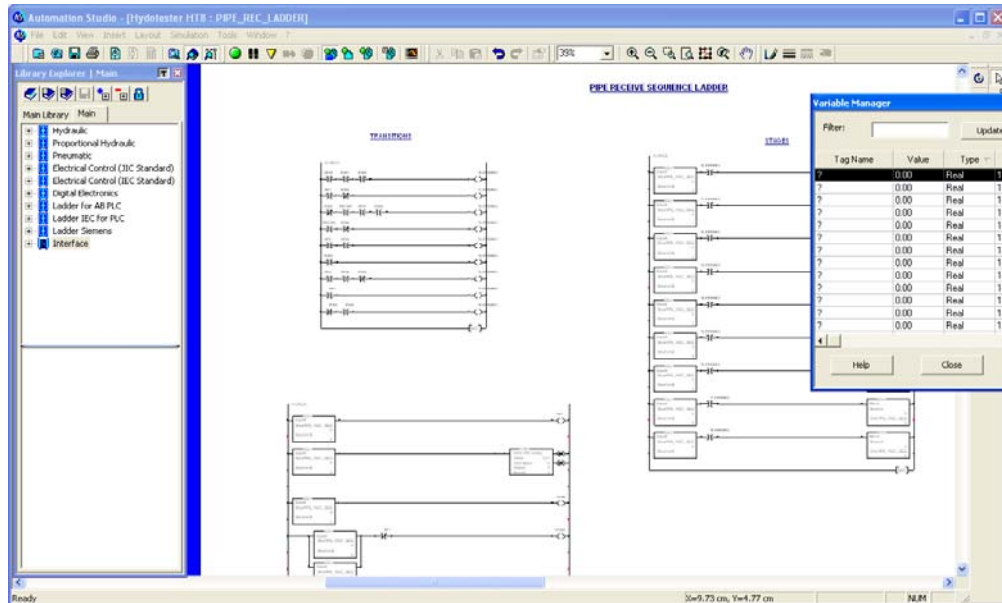


Figura 29. Incorporación de las secuencias de los ladders o secuencias de funcionamiento.

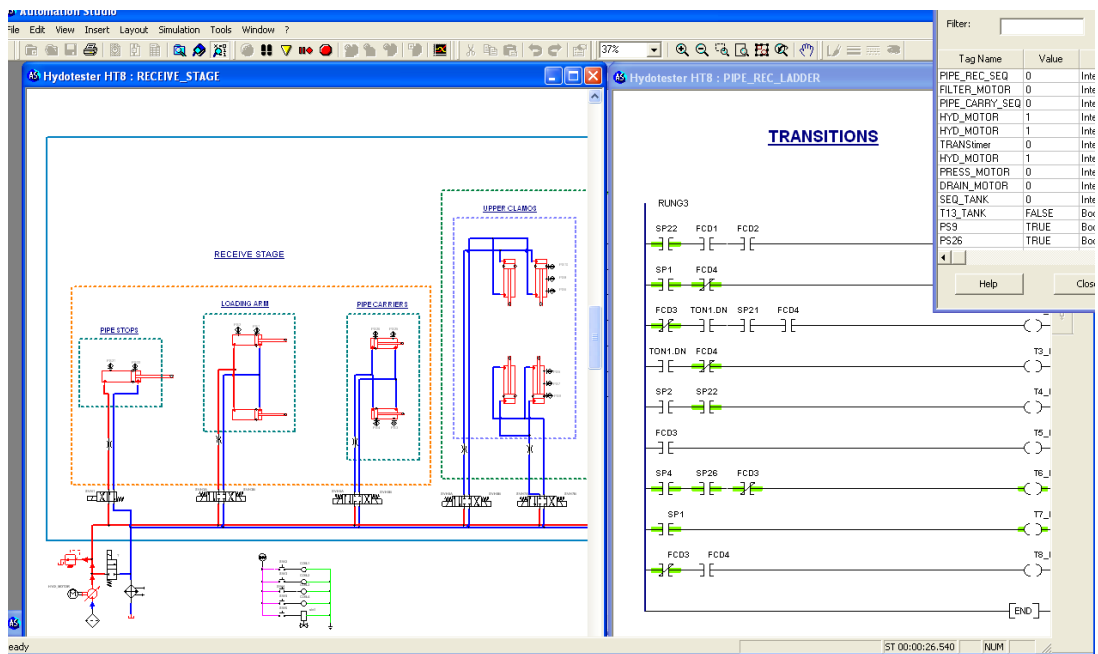


Figura 30. Simulación del sistema virtual.

## Capítulo 6: Análisis de Resultados

Después de detallar el proceso seguido para el desarrollo del diseño, ahora se procederá a presentar los resultados obtenidos, además de ello se analizarán estos de acuerdo al cumplimiento de los objetivos planteados.

### 6.1 Resultados

En el desarrollo del proyecto, a partir de un análisis realizado con los demás miembros que conforman el equipo de trabajo de desarrollo de la máquina de pruebas hidrostáticas, se obtuvieron las secuencias preliminares de funcionamiento, que es similar al proporcionado en el capítulo 3, después de ello se realizó una propuesta para mejorar el las secuencias de operación en función del tiempo del proceso. La versión definitiva utilizada para el control de máquina se muestra en la sección de apéndices (A.3)

Se realizó un análisis de los requerimientos eléctricos de potencia, los cuales corresponden al diseño de acometidas para la alimentación de bombas, y del sistema de control, además de ello, esto incluye dimensionar los dispositivos de protección para todo el sistema eléctrico, incluyendo potencia y control. Es importante destacar el uso de distintos reglamentos, tales como el NEC para el diseño del sistema eléctrico, ya que este fue uno de los requerimientos de la empresa para el desarrollo del proyecto, ya que el cliente para el que se desarrolla la máquina es estadounidense.

Utilizando el National Electric Code, fue posible obtener los dispositivos de protección, calibre y tipos de cables. Además de ello se obtuvieron valores de corrientes de sobrecarga, todo esto apegado a la reglamentación estadounidense, sumado a esto, entre los criterios para la escogencia de los componentes eléctricos, se tomó en cuenta las certificaciones con que éstos cuentan. La anterior se detalla en el capítulo anterior.

En cuanto al sistema de control, éste se basó en un PLC, de la marca Allen Bradley de la familia Micrologix, en este caso 1500. Se realizó la programación del sistema de control utilizando el estándar IEC61131-3, en el lenguaje de lógica de relés, soportada por el software RSLogix500.

La programación completa del control de la máquina, además de las rutinas de las rutinas de funcionamiento obtenidas, abarca control de aspectos como alarmas, operación manual a y automática de la máquina, rutinas de verificación de señales de entrada, como una manera de evaluar las condiciones de la máquina y alertar en caso de error.

Se definió que la máquina contara con tres módulos de operación: manual, automático y apagado. En el modo manual, el operador podrá ejecutar cualquier acción siempre y cuando no se cumplan las restricciones o enclavamientos definidos para cada mecanismo de la máquina. Este modo se utilizaba principalmente cuando se ha originado un paro de emergencia y se requiere reiniciar la operación automática. Permite colocar manualmente la máquina a su estado de reposo antes de reiniciar el proceso de campaneado. En el modo de



operación automático se ejecuta todo el proceso de prueba hidrostática sin la intervención del operador.

Se tiene la señal de reset, la cual puede ser de dos tipos: el main reset restaura el sistema a su estado original. Reinicializa todas las variables del sistema de control y lleva los mecanismos de la máquina hasta el estado inicial.

Se incorpora el paro de emergencia a la máquina, si ocurre una emergencia (emergency stop button = 1) Todas las acciones que estaban ejecutándose hasta el momento se detendrán instantáneamente. Para restablecer el proceso es necesario que la condición sea restaurada (emergency stop button = 0), además, para reiniciar la operación automática desde el principio, es necesario estar en modo manual para colocar la máquina a su estado de reposo. Y luego seleccionar el modo automático.

En cuanto al hardware de control, éste fue escogido de acuerdo con los requerimientos del sistema, a partir de las variables de control y el tipo de señal que se desea detectar, se procedió a seleccionar dispositivos como módulos de expansión para el PLC, sensores, que en algunos casos son de tipo inductivo, en lo que se refiere a movimientos mecánicos de la máquina y ultrasónicos para la detección del tubo en las distintas etapas de la máquina. Se diseñó la distribución espacial y los materiales necesarios para la construcción del panel de la máquina.

### **6.1.2 Documentación**

De acuerdo con los requerimientos de la empresa, se desarrollaron una serie de documentos, los cuales cumplen con los requerimientos de la empresa, ya que, en especial los planos eléctricos, deben ser interpretados por todas las personas involucradas con el desarrollo del proyecto, por lo que se cuenta con una simbología predeterminada, formatos de cajetín, conexiones, rotulación, entre otras. A continuación se presenta una descripción de los planos dibujados a partir del diseño realizado.

Siguiendo los estándares de la empresa, los planos contienen información acerca de los números de hilo, número de parte de cada uno de los componentes, así como el tipo y calibre de cable. Tal y como se muestra en la figura 31.

En los planos de control se detallan las conexiones de dispositivos mediante los cuales el operador puede interactuar con la máquina, además la conexión del PLC. Lo anterior se ilustra en las figuras 32 y 33.

En la figura 34 se muestra el plano de distribución espacial y de construcción para el panel de la máquina.

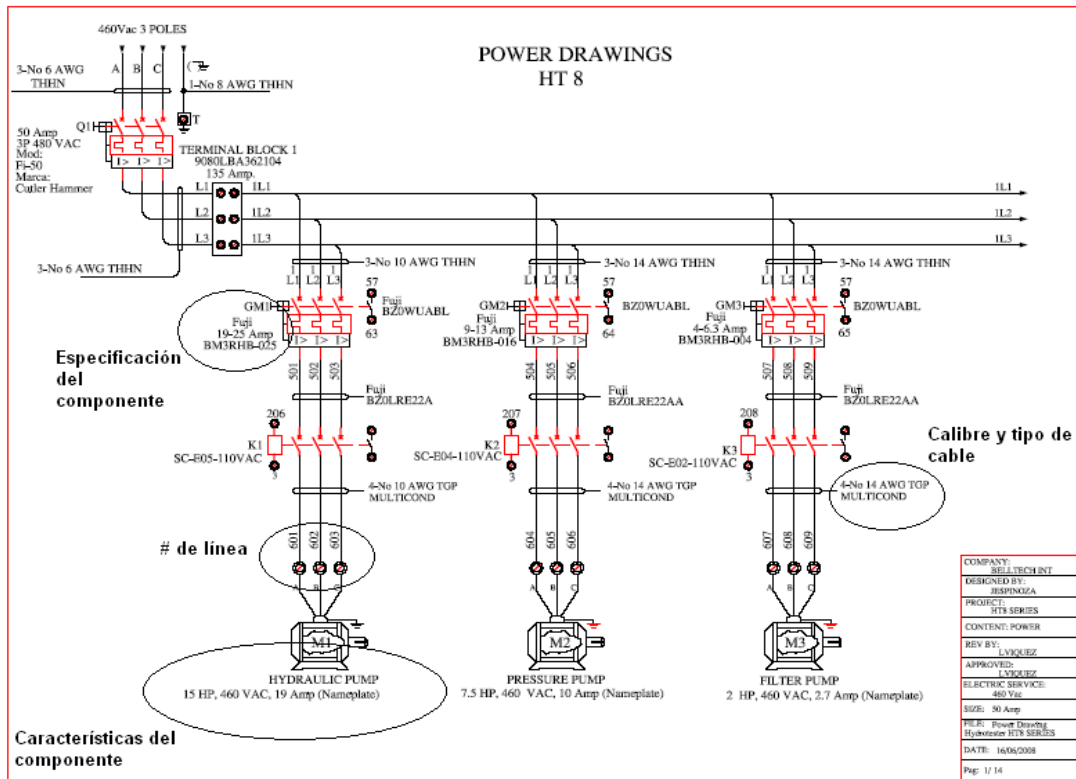


Figura 31. Características de los planos de potencia dibujados.

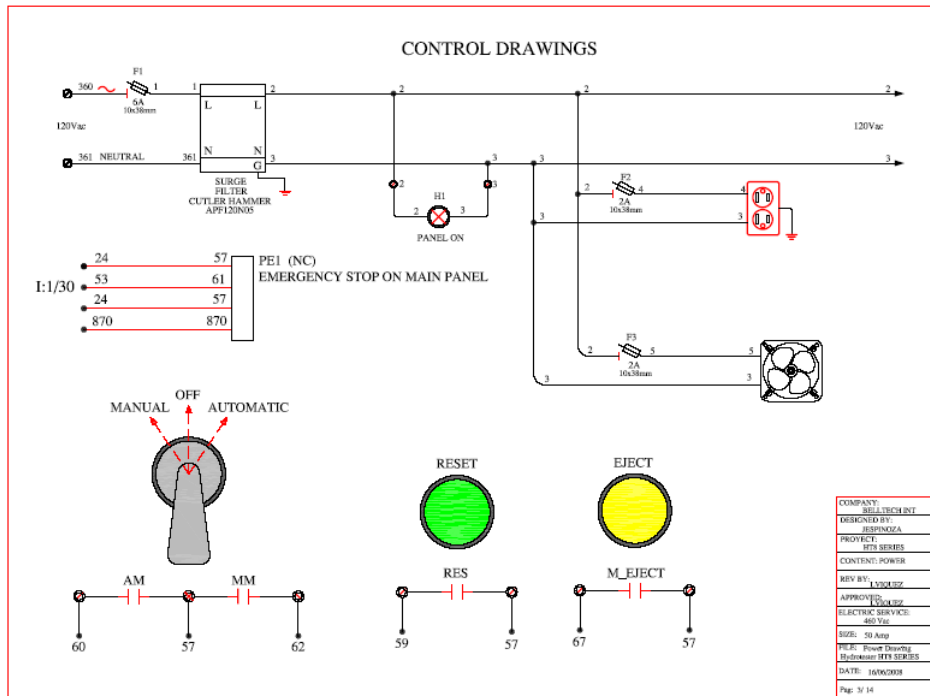
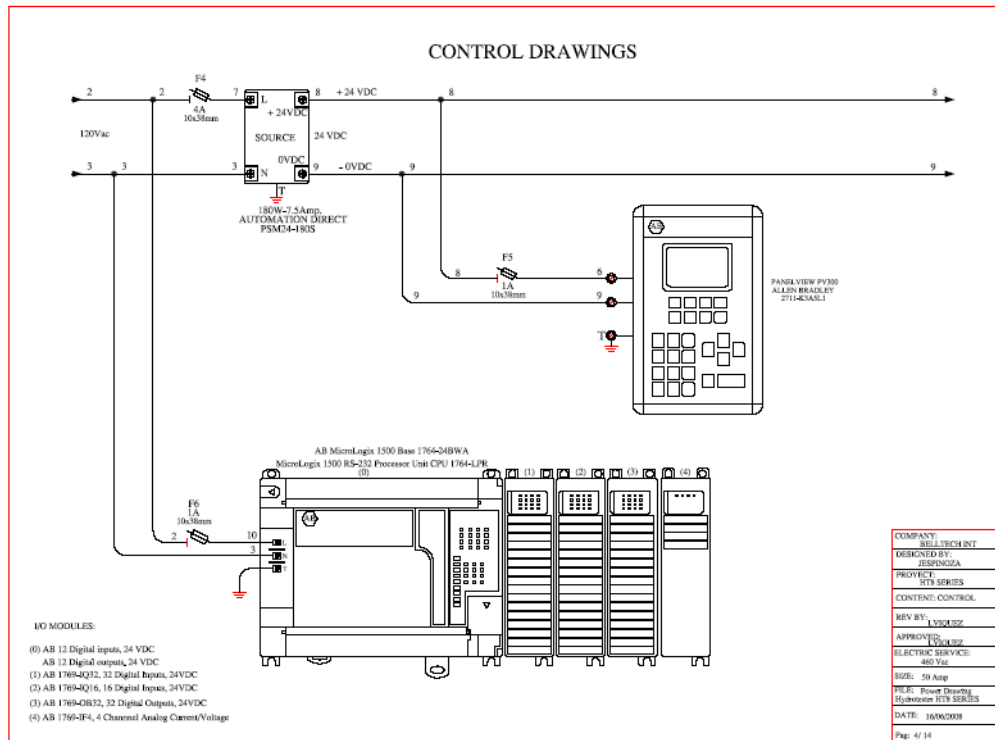
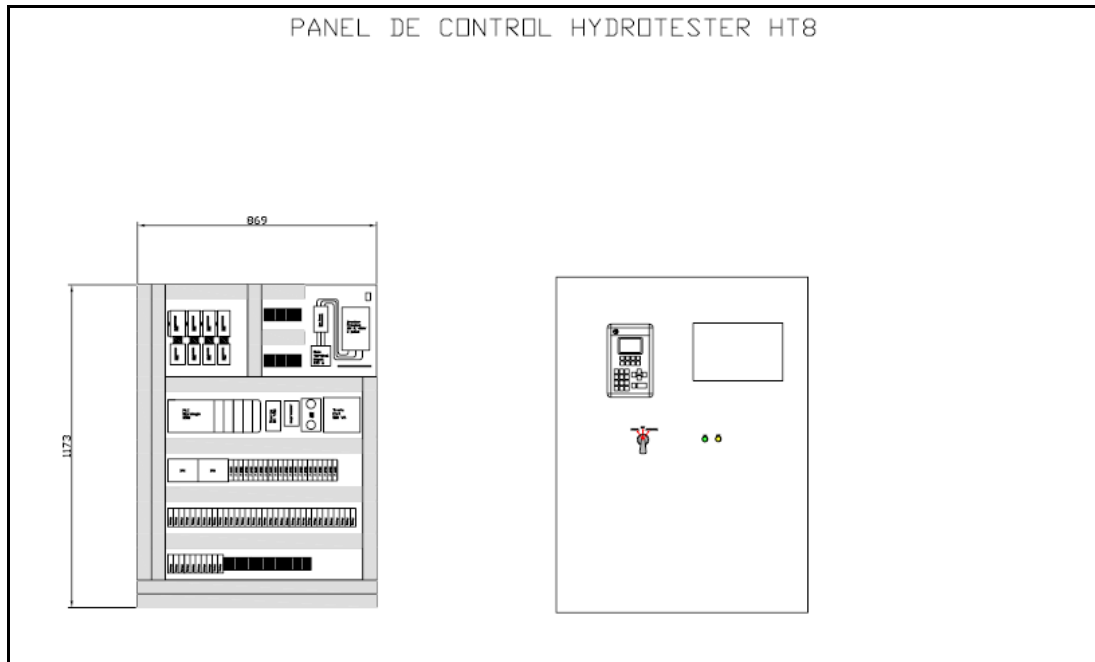


Figura 32. Conexiones de controles de la puerta del panel.



**Figura 32.** Conexiones de PLC y Panel View.



**Figura 34.** Plano de Construcción del panel.

Como se observa en la figura 34, los dispositivos de protección para la parte de potencia y para la parte de control van dentro del panel, en la puerta del panel se coloca el dispositivo HMI (PanelView), y los botones de selección de modo, además se coloca el chart recorder.

En los planos de control se detalla la conexión de las señales que provienen de los sensores, estas se manejan con tensión de 24VDC, por lo que pueden ser directamente conectadas a la entrada del módulo del PLC, como se muestra en la figura 35.

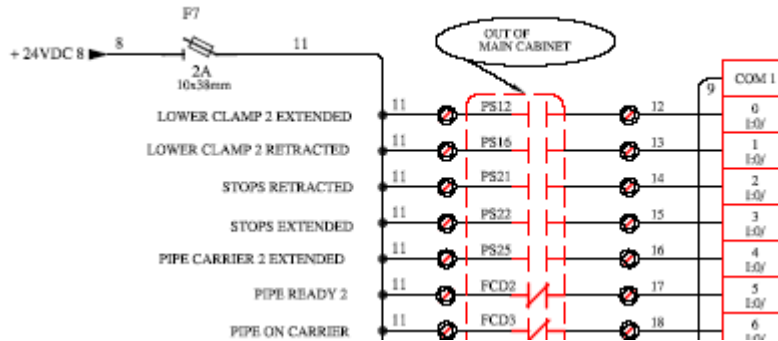


Figura 35. Conexión de las señales de entrada al PLC.

Como ya se mencionó se utilizaron relés para el control de las válvulas hidráulicas, por lo que la salida del PLC controla la bobina del relé, y éste activa el solenoide de la válvula. Estas conexiones se ejemplifican en las figuras 36 y 37.

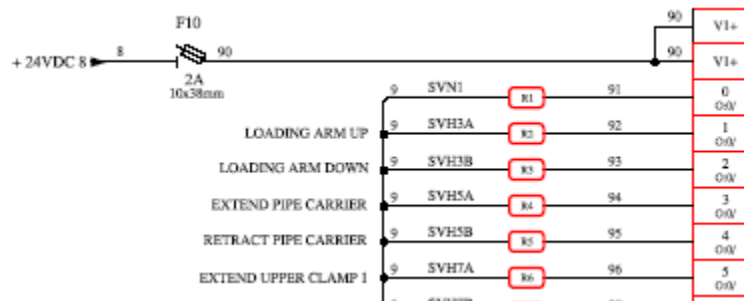


Figura 36. Conexión de las señales de salida desde el PLC.

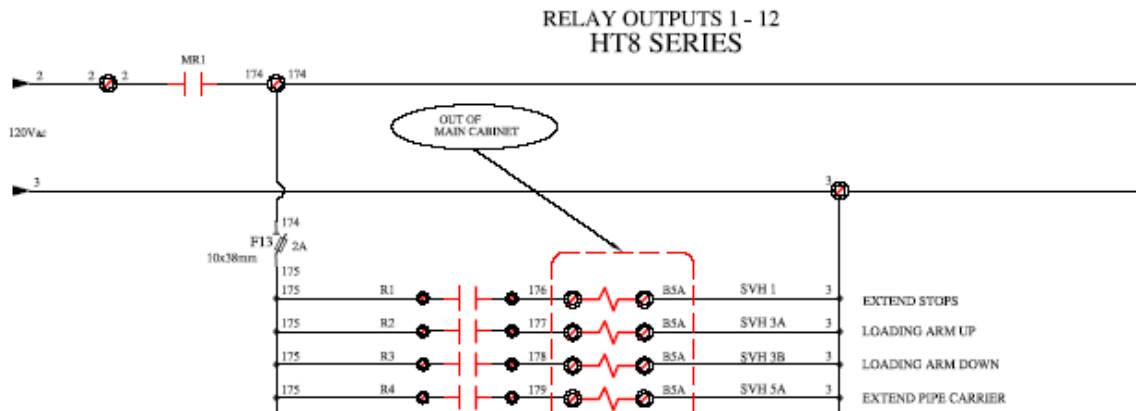


Figura 36. Conexión de las señales de salida desde el PLC.

Para realizar la conexión de los sensores hasta el panel, es necesario la utilización de cajas de conexión, éstas sirven como intermediario entre los sensores y el panel, ya que el cable de los sensores es de 2m en promedio, por lo que se dificulta el cableado directo hasta el panel, por lo que la conexión se realiza a la caja, y luego las líneas de las señales que llegan a la caja son llevadas por un cable multiconductor hasta el panel, en el caso de las salidas, se maneja de la misma manera. En la figura 37 se muestra un ejemplo de conexión en una de estas cajas.



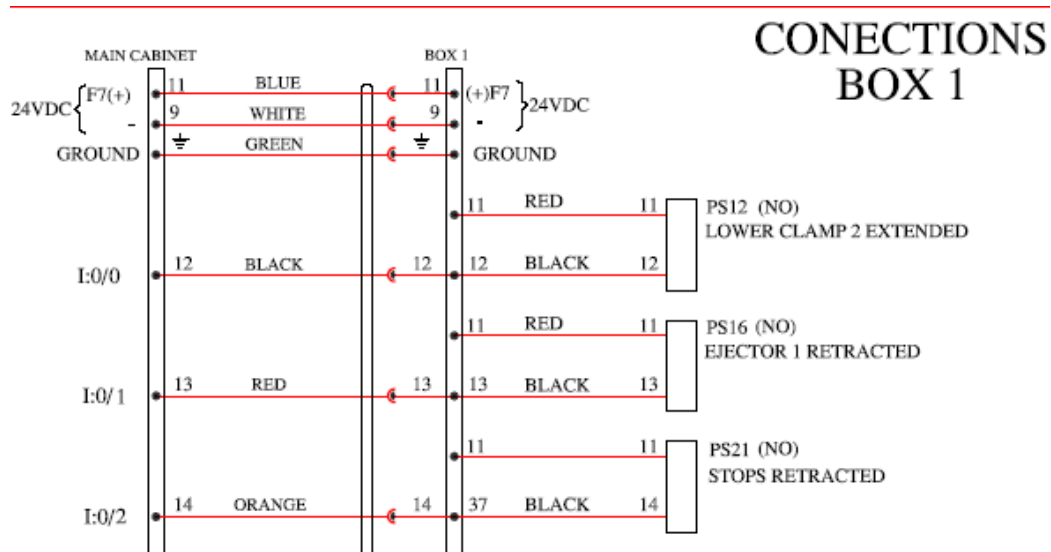


Figura 37. Conexión de las señales de salida a las cajas intermedias.

Se desarrolló el manual de usuario para la máquina de pruebas hidrostáticas el cual se adjunta en la sección de apéndices, este manual contiene los principios básicos de funcionamiento, modos de operación, alarmas, operación manual, ajuste de parámetros de prueba, etc. En este manual se adjuntan las secuencias de funcionamiento de la máquina. La lista completa de materiales también se adjunta en la sección de apéndices, en ella se abarca la totalidad de materiales eléctricos previstos para la implementación del diseño eléctrico, desde cableado, componentes, materiales para la construcción del panel, etc.

### 6.1.2 Simulación

La comprobación del diseño realizado se realizó mediante una simulación, el software utilizado permitió observar el funcionamiento del sistema de control en conjunto con la parte de potencia y el sistema hidráulico de la máquina. Este sistema es el que le da movilidad a todos los mecanismos de la máquina.

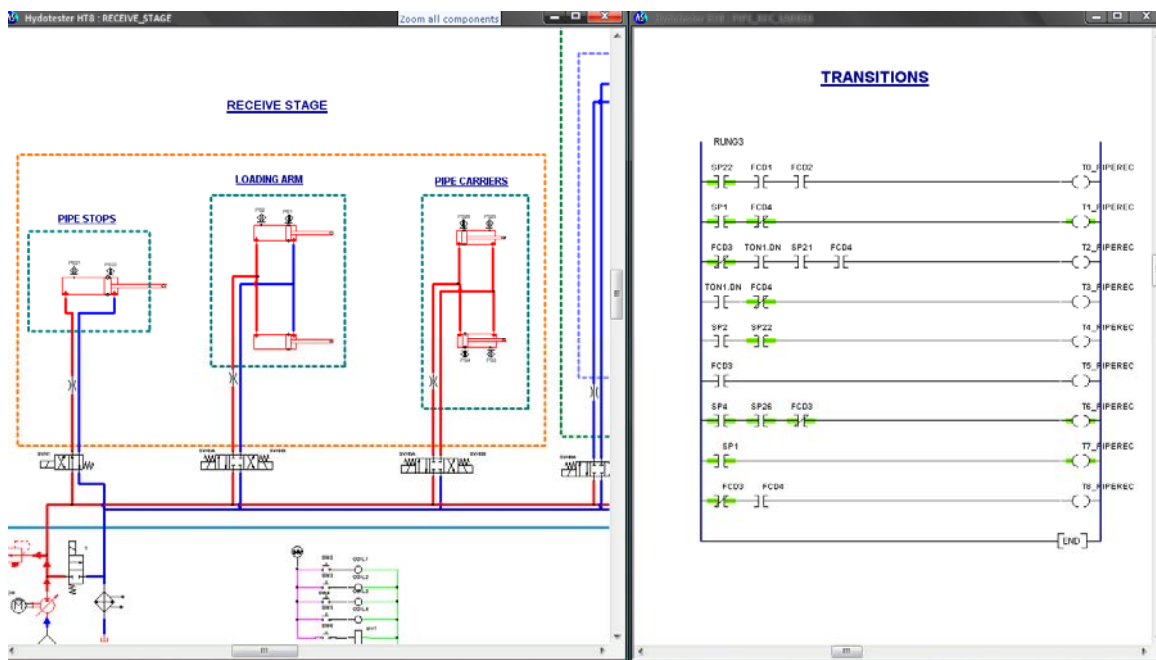
Como ya se mencionó en el capítulo anterior, primero se construyó cada uno de los sistemas que se simularon en conjunto: sistema eléctrico de potencia, el control de la máquina y la parte hidráulica. Mediante la asignación de variables internas del programa se logra enlazar cada uno de estos sistemas. En el sistema de control introducido se utiliza el mismo lenguaje de programación, utilizado para el PLC, por lo que se comprueba directamente la validez de la lógica de control empleada, ya que en la simulación se permite seguir paso a paso los valores de las variables y los accionamientos, tanto de entradas como de salidas de control, como se muestra en la figura 30 del capítulo anterior.

La razón de realizar una simulación del sistema es el de comprobar que efectivamente las secuencias programadas cumplen con los requerimientos de funcionamiento fijados para realizar la prueba hidrostática a cada tubo, esto se debe de hacer de manera automática según los diagramas definitivos de funcionamiento de la sección de apéndices.

En la realización de la simulación se procedió a poner especial atención al funcionamiento del conjunto de sistemas en cada etapa de la prueba y tomando en cuenta la información de temporización del capítulo 3. La cual será tomada

como base para la comparación con los valores obtenidos al simular la secuencia.

En la figura 38 se muestra la ventana de simulación y también se muestra el ladder o procedimiento de recepción de tubo, se hace énfasis en la recepción de tubo, pues es la etapa del que se quiere analizar mediante simulación.



**Figura 38.** Simulación del proceso de recepción de tubo

Se observó en esta primera etapa que en un estado inicial, el sistema espera la llegada de un tubo, el cual se simula mediante un botón, cuando se da la señal de llegada de tubo, el cilindro del controlador de paso se retrae, esto indica que

el mecanismo que controla el paso, deja pasar un tubo hacia los brazos cargadores, luego de ello hay una temporización, programada para la estabilización del tubo en los brazos, seguidamente los brazos bajan, indicado cuando se retraen los pistones señalados como Loading arm, en la figura 28. Cuando estos brazos han bajado, el tubo se encuentra posado sobre los carros de transporte. La temporización obtenida en esta parte del proceso se muestra en la tabla 10.

La segunda parte de la simulación consiste en la simulación del proceso de entrada del tubo al tanque y la realización de la prueba, la ventana de simulación, así como el procedimiento programado se muestra en la figura 39.

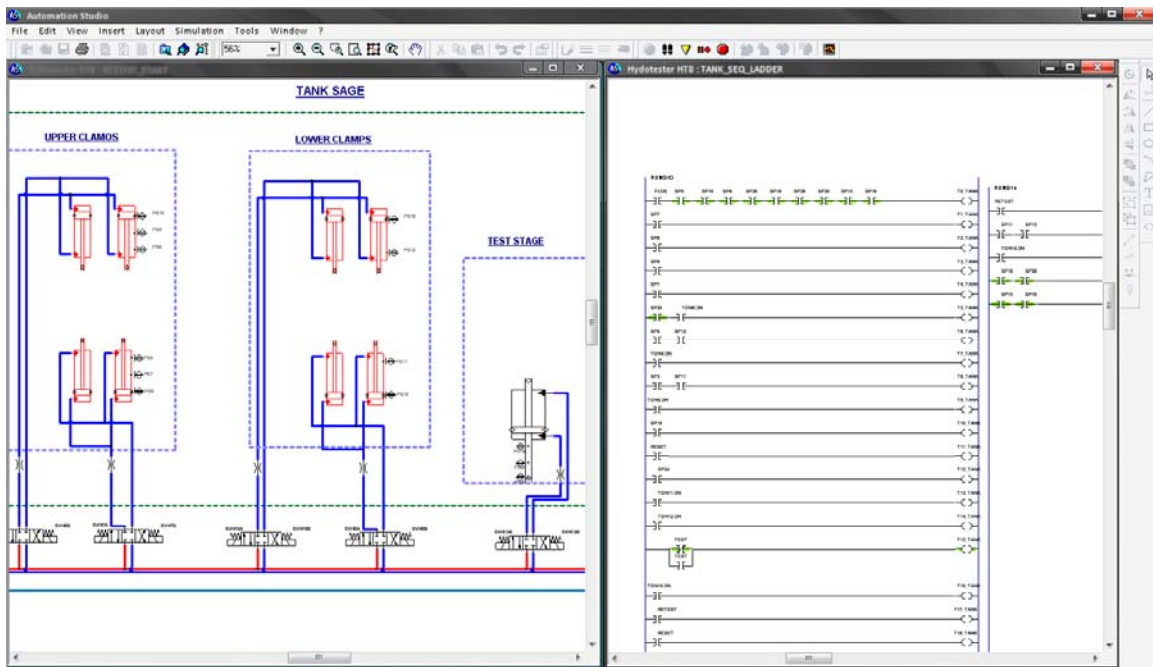


Figura 39. Simulación del proceso ingreso del tubo al tanque y realización de la prueba.

Se pudo observar que efectivamente la secuencia de acciones y temporizaciones realizadas corresponde al comportamiento esperado, además de ello, el tiempo tomado para realizar estas secuencias se acerca mucho al tiempo planteado para la realización de las mismas, estos tiempos son mostrados en la tabla 11.

Finalmente se simuló la salida del tubo del tanque y la expulsión del mismo (figura 40), las secuencias efectivamente se ejecutaron de acuerdo al comportamiento establecido para el comportamiento de la máquina de pruebas hidrostáticas.

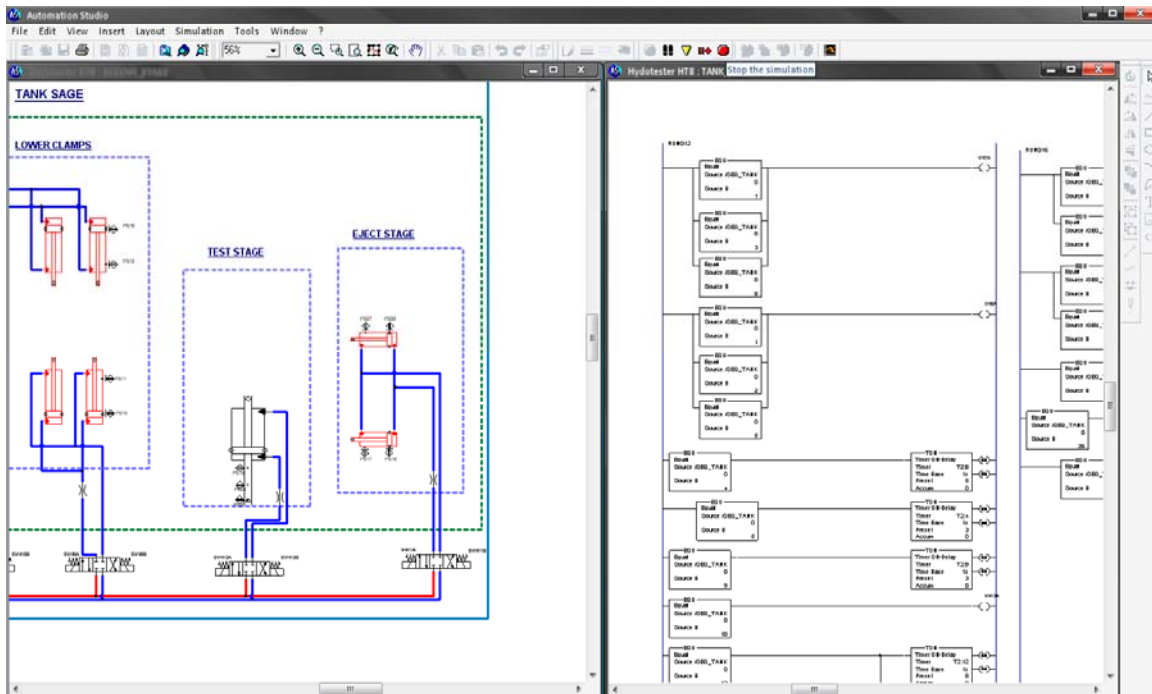


Figura 40. Simulación del proceso de salida del tanque y expulsión del tubo.

A partir de los tiempos obtenidos en la ejecución de la simulación, se ha elaborado la tabla 11, la cual muestra a modo de comparación, el tiempo teórico fijado para la ejecución de cada secuencia, y el tiempo tomado en la simulación, esta comparación de datos es parámetro muy importante para la comprobación del diseño realizado.

Es importante mencionar además, que los tiempos tomados, así como la suma de los mismos, corresponde a la duración de un tubo en el proceso, seguidamente se realizó la simulación ingresando varios tubos con intervalos de

tiempo de 90 segundos, con el fin de determinar, el porcentaje de mejora en cuanto a tiempo se refiere de utilizar una división de la máquina, haciendo referencia a la secuencia, para que sea capaz de recibir un tubo mientras realiza la prueba a otro.

**Tabla 11** Comparación de tiempos fijados y tomados durante la simulación

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Tiempo Fijado</b>	<b>Tiempo tomado</b>
Recibo del tubo	10s	8s
Paso del tubo hacia los brazos cargadores	10s	7s
Descenso del tubo en los brazos	15s	10s
Acarreo del tubo hacia el tanque	25s	23s
Entrada al tanque y prueba	30s	29s
Salida del tanque	30s	26s
Expulsión del tubo	20s	18s
total	2 min 20 s	2 min 1 s

El tiempo obtenido entre expulsiones de tubo, realizando la secuencia de recibo en paralelo con la de prueba, es de 1 min 13 s.

## 6.2 Análisis

A partir del diseño realizado y los resultados mostrados anteriormente, se procede a realizar el análisis de estos de acuerdo con los objetivos propuestos para la realización del proyecto. Al tratarse de un proyecto de diseño, es muy importante la documentación que se genere, ya que esta es la base y guía en el momento en que se realizará la implementación.

El objetivo principal de este proyecto consiste en el diseño eléctrico para una máquina de pruebas hidrostáticas en tubería de PVC, el proceso metodológico utilizado se ha detallado en el capítulo 4. Como se puede observar, en primera instancia, se tomaron referencias de otros proyectos realizados por la empresa, además de ello se mantuvieron reuniones con el resto de integrantes del equipo multidisciplinario encargado del desarrollo de esta máquina. También se realizaron trabajos de campo, en proyectos que en ese momento se encontraban en proceso de implementación, esto con el fin de, mediante observación poder llegar a tener un panorama más amplio en cuanto los estándares y forma de trabajo de la empresa.

La primera parte del diseño consistió en el análisis del funcionamiento, con el fin de plantear las secuencias de funcionamiento, como producto de este análisis, en conjunto con el equipo de trabajo, como ya se ha mencionado, se obtuvo una secuencia preliminar de tipo lineal, y posteriormente una que permite la ejecución en paralelo de la secuencia de prueba y la recepción del tubo. Con fines de documentación se realizaron los diagramas de secuencia, presentados en la sección de apéndices. Es importante destacar que estos diagramas son la base del programa de control desarrollado.

En cuanto a diseño eléctrico de potencia, se dimensionaron los dispositivos de protección para los motores de las bombas, haciendo uso del NEC, reglamentación utilizada en los Estados Unidos, como se mencionó el destino de la máquina es ese país. La selección de componentes, como se detalla en el



capítulo 5, fue realizada tomando en cuenta las certificaciones del dispositivo y además de ello sus características en contraste con los requerimientos eléctricos para un funcionamiento adecuado del sistema. Además fueron tomados en cuenta otros factores como precio, proveedores, disponibilidad y tiempos de envío.

El sistema de control diseñado está basado en un PLC de la marca Allen Bradley a petición del cliente. La escogencia de este dispositivo se realizó tomando en cuenta características como cantidad de entradas y salidas, memoria, dimensiones físicas, entre otras. Se seleccionó el dispositivo de la familia Micrologix, serie 1500, el cual ofrece un espacio físico reducido, un set de instrucciones muy poderoso, además de ello el software de programación está disponible en la empresa. En un sistema de control, los sensores son parte muy importante, ya que a través de ello se puede tener la noción de las acciones realizadas por el control, la selección de sensores se realizó tomando en cuenta los aspectos explicados en la descripción del software de control. Con la escogencia de estos sensores se busca que las señales sean robustas, especialmente las que se generan en partes de la máquina donde las condiciones de trabajo para este tipo de dispositivos se tornen difíciles. Se busca que las señales no se vean afectadas por contaminación, por partículas de PVC, o por insectos, situaciones que se pueden presentar en el entorno de una planta de producción.

A partir del diseño, tanto de potencia, como de control, se dibujaron los planos, que incluyen las conexiones de potencia, control y el cableado. El desarrollo de

estos planos se realizó de acuerdo con el estándar utilizado en la empresa, ya que es muy importante el mantener uniformidad, en cuanto a las características del plano como rotulaciones, cajetín, información sobre componentes, etc. En los planos mostrados en la sección de apéndices se puede observar que estos contienen la mayor información disponible, sin llegar a saturarlo, esto con el fin de ayudar en el proceso de implementación, de manera que el plano pueda ser interpretado claramente.

Luego de tener los requerimientos eléctricos, el sistema de control y las selección de componentes, se procedió al diseño del panel principal de la máquina, el cual contiene los dispositivos de protección para los componentes de potencia, la alimentación principal entra al panel (480VAC), también las señales de entrada y salida de control, en la sección de apéndices se muestra el plano de construcción y distribución espacial de los componentes en el panel.

En la programación del sistema de control, como se detalla en el capítulo 5, además de las secuencias de operación obtenidas, se tomaron en cuenta aspectos como seguridad y alarmas que el sistema debe proporcionar, como se explica, el sistema tiene tres modos de operación, lo que permite la ejecución de la secuencia, tanto manual como automática, además cuenta con un paro de emergencias en caso de presentarse alguna situación imprevista, el sistema de alarmas brinda la facilidad de conocer el motivo de una interrupción en una secuencia o de un funcionamiento inadecuado de la máquina, se cuenta además con un lógica de auto-diagnóstico, la cual se encuentra en constante ejecución,

ésta informa mediante alarmas, cuando se ha perdido una señal de entrada al PLC.

Se incorporaron además al diseño dispositivos de visualización de información de visualización de los parámetros de la prueba, un chart recorder, dispositivo que almacena el historial de las pruebas realizadas por la máquina. Un dispositivo HMI, el cual permite la visualización y control de las secuencias de la máquina, el control manual y el monitoreo de alarmas por parte del operador. Es importante destacar la definición de una lista de materiales eléctricos para la posterior implementación del proyecto, constituido como uno de los objetivos del mismo. Esta lista, mostrada en la sección de apéndices, se detallan los números de parte de la totalidad de los componentes y materiales seleccionados, además de ello el presupuesto preliminar, el cual no sobrepasa el valor inicial con el que se cuenta, esto es importante, porque permite contar con presupuesto en caso de algún imprevisto en la implementación.

Con el fin de comprobar el cumplimiento del diseño realizado, con los requerimientos presentados para el desarrollo del mismo. El software utilizado, pese a ser una versión de evaluación, permitió observar el comportamiento de las secuencias de funcionamiento programas, en operación conjunta con los sistemas de potencia eléctrica e hidráulico. La simulación permite ver animadamente el movimiento de los cilindros hidráulicos del sistema, éstos son los que proporcionan la movilidad a cada uno de los mecanismos de la máquina.

En primera instancia se procedió a verificar el adecuado funcionamiento de las secuencias programas con respecto a los diagramas de operación,

seguidamente se verificaron los tiempos de ejecución de acuerdo a la temporización teórica fijada. Como se muestra en los resultados obtenidos, y los datos de la tabla 11, las secuencias simuladas realmente corresponden al comportamiento esperado, además de ello se muestra que la temporización obtenidas es acorde a los requerimientos de tiempo, ya que al tratarse de un proceso de prueba de tubería de diámetro pequeño la rapidez con la que se realiza el proceso es de mucha importancia.

Los datos mostrados en la tabla 11 corresponden al proceso completo de un tubo, según los requerimientos de la tabla 1, el tiempo máximo disponible para la realización de la prueba es de 2 min 54 s, y el tiempo tomado en la simulación es de 2 min 1s, con lo que efectivamente se cumple el requisito de temporización, adicionalmente, se realizó la simulación ejecutando las acciones de manera que se presentara un tubo cuando se realizaba la prueba de otro, la temporización obtenida entre las salidas de cada tubo fue de 1min 13s, con lo que se disminuye considerablemente, y comprueba la efectividad de proceso en la máquina, cuando tiene estaciones separadas: de recibo y de prueba.

Con esta información obtenida de la simulación, además tanto del software, como del hardware, se comprueba teóricamente y en la práctica mediante la simulación, la validez del diseño realizado, que además toma en cuenta estándares y reglamentos, tanto internacionales, nacionales y propios de la empresa para el desarrollo de este proyecto.

## Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

A continuación se brindan las conclusiones y recomendaciones obtenidas al analizar los resultados producto del trabajo realizado en el diseño eléctrico para la máquina de pruebas hidrostáticas.

### 7.1 Conclusiones

- a) De acuerdo con los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, y de la simulación realizada, se comprueba el cumplimiento de los requerimientos planteados para el diseño del sistema eléctrico y de control para la máquina de pruebas hidrostáticas.
  
- b) El diseño obtenido de potencia y de control de la máquina de pruebas hidrostáticas, sigue los lineamientos internacionales, tanto en el procedimiento de diseño, como en la escogencia de los materiales eléctricos seleccionados, cumple con los reglamentos y estándares vigentes, válidos tanto en nuestro país, como en el país de destino cuando el proyecto se implemente.
  
- c) Producto de un análisis realizado a partir de las especificaciones de prueba en la norma C900, y mediante el trabajo de un equipo multidisciplinario, fue posible la obtención de la secuencia necesaria para

- llevar a cabo la prueba hidrostática, y su posterior verificación mediante simulación.
- d) Mediante la división del funcionamiento de la máquina en dos etapas de recepción y prueba, se mejora el tiempo tomado en la realización de la prueba de cada tubo.
  - e) La simulación realizada sirve como base de comprobación de futuros proyectos que sean realizados por la empresa, ya que anterior a la realización de este proyecto no se incluía, un proceso de simulación posterior al diseño.
  - f) Se definió la totalidad de componentes eléctricos necesarios para la implementación de la máquina, además de ello, se brindó información sobre proveedores y costos, el presupuesto requerido no excede al presupuesto que la empresa tiene destinado para elementos eléctricos, además se cuenta con un margen para imprevistos.
  - g) Se generó la documentación necesaria para iniciar la implementación, además de ello, se brinda la posibilidad de expansión y mejoras que se deseen realizar en un futuro a la máquina.

## 7.2 Recomendaciones

- a) Entre las especificaciones del cliente no se cuenta con funciones adicionales como la conexión a una red de área local, el diseño realizado cuenta con la posibilidad de realizar esta conexión en un futuro, si el cliente lo requiriese, los componentes utilizados como PLC, pantalla HMI (*PanelView*), y el dispositivo *Chart recorder* cuentan con la interfaz necesaria para realizarla.
  
- b) Puede ser incorporada una válvula hidráulica controlada eléctricamente al pistón que se encarga de liberar el tubo en caso que este quede atrapado, de esta manera se podría controlar su funcionamiento e incluirlo en la secuencia con el fin de realizar esta tarea automáticamente.

## Capítulo 8: Bibliografía

[1] National Fire Protection Association. National Electric Code. August 2, 2002. Copyright © 2001.

[2] Claudio Mataix. Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas. Editorial Harpper & Row. España 1970.

[3] H.W.King y E.F. Brater; "Handbook of Hydraulics"; McGraw-Hill Book Co.; New York; 1963.

[3] Allen Bradley and Rockwell Automation; Micrologix 1500 Programmable Controller with Compact I/O for Expansion; User Manual; March 2000.

[4] Rockwell Software. RSLogix500 Guetting Results Guide. Junio 1998, Milwaukee, E.U.

[5] Balcells, Joseph. Autómatas Programables. Alfaomega & Marcombo, México. 1982.

[6] Editors of Modern Plastics Encyclopedia. 1976. Guide to Plastics. EE. UU.

[7] Unibell, 1981. Maintenance of PVC Sewer Pipe. Unibell Palstics Pipe Association. EE.UU.

[8] Unibell, 1990. Recommended Practice for Low-Pressure Air Testing of Installed Sewer Pipe. Unibell Plastics Pipe Association. UNI-B-6-90. EE. UU.

[9] Unibell. 1982. Handbook of PVC Pipe, Design and Construction. Unibell Plastics Pipe Association. EE. UU.

[10]Festo, 1986. Manual de diseño y mantenimiento neumático. Primera Edición.

[11] Rockwell Automation; RSLogix 500; User Manual; July 2000. Disponible en: [www.rockwellsoftware.com](http://www.rockwellsoftware.com).



[12] Allen Bradley; Compact Expansion Power Supplies; User Manual; October 2000.

[13] UL508A, Standard for Industrial Control Panels. First Edition. April 25, 2001.

[14] Allen Bradley, SLC 500 and Micrologix family of Programmable controllers. Addressing Reference Manual. Manual. 1995.

## Apéndices

### Apéndice A.1

#### A.1.1 Glosario

**DH +:** Protocolo de comunicación para redes industriales con características de alta velocidad.

**DH-485:** protocolo de comunicación utilizado en la implementación de redes industriales.

**Guardamotor:** Breaker termomagnético de protección para motores.

**HMI:** Interfaz humano-máquina

**Ladder:** Metodología utilizada en los PLC para subdividir el programa principal en procedimientos, parte del estándar IEC61131-3

**Mandril:** Molde utilizado para el proceso de campaneado, para dar forma a la campana, utilizado también para las pruebas hidrostáticas en tuberías de PVC.

**Panelview:** Modelo de la pantalla, funciona como dispositivo HMI.

**Panelbuilder:** Software utilizado para el desarrollo de la interfaz a través de la pantalla de tacto.

**PVC:** Cloruro de Polivinilo

**RSlogix:** Software especializado para la programación de los controladores lógicos programables (PLC).

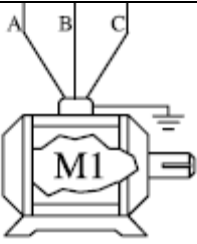

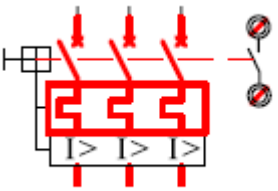
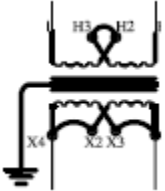
**TAG (etiqueta):** se refiere a una variable dentro del sistema.

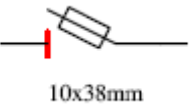




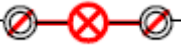
**Corriente:** Movimiento de las cargas en un conductor. Su unidad es amperios

**Modulo I/O:** Modulo de entradas / salidas, es una colección de circuitos electrónicos que proveen las condiciones para conectar a un dispositivo de entradas o salidas a un controlador.

### A.1.2 Simbología

Simbología utilizada en los planos.

	Motor, bomba.
	Contactor
	Guardamotor
	Transformador

 <p>10x38mm</p>	Fusible
	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Bobina de relé
	Solenoid
	Luz indicadora

## **Anexos**

### **A.1 Hoja de información del Proyecto**

#### Información del estudiante

Nombre: José Pablo Espinoza Fallas

Cédula o No. Pasaporte: 4-0182-0823

Carné ITCR: 200222991

Dirección de su residencia en época lectiva: San Pablo de Heredia, Costado Sur de la Iglesia Nueva, Católica, casa blanca con árboles de cipres al frente.

Dirección de su residencia en época no lectiva: la misma

Teléfono en época lectiva: 88153018

Teléfono época no lectiva: 22382865

Email: jespinoza@tsicr.com

Fax:

#### Información del Proyecto

Nombre del Proyecto: Diseño del sistema eléctrico y de control para una máquina de pruebas hidrostáticas bajo la norma C900.

Profesor Asesor: Ing. Carlos Badilla Corrales

Horario de trabajo del estudiante: L,M y V de 7:30 a.m. a 5:00 p.m

#### Información de la Empresa

Nombre: TechShop Intenational S.A.

Zona: La Uruca

Dirección: 200m al norte de la agencia mazda

Teléfono: 22996900

Fax:

Apartado:

Actividad Principal: Mecánica de precisión, diseño y fabricación de maquinaria para líneas de producción de tuberías de PVC.

## **A.2 Hojas de datos**

The 1764-LRP processor has all of the advanced features of the 1764-LSP processor with the following additional functionality.

- The 1764-LRP processor provides you with an even larger memory size (12K user program capacity) to solve a variety of applications. Configurable user data allows data elements to be selected according to the individual application requirements. 100% retentive data ensures data integrity even during power loss.
- Communications are extremely flexible with a built-in isolated 9-pin D-shell RS-232C port on the processor unit (in addition to the port on the base unit). Both ports support: DFI Full-Duplex and Half-Duplex Slave; DH-485; Modbus RTU Slave; and ASCII. The RS-232 port allows for direct connection of programming and operator interface devices, remote programming, peer-to-peer communications, and SCADA/RTU networking. Modbus RTU Slave allows for easy integration with existing SCADA/RTU installation utilizing Modbus protocol. This additional RS-232 communication port provides programming access, direct connection to operator interface and other devices and networking, independent of the base communication port.
- Two additional memory modules are available for larger 1764-LRP programs.
- Data logging instruction stores up to 48K bytes of data records. Allows critical data to be stored for later analysis. The new data logging instruction is also great for SCADA/RTU applications where a stand-alone controller must collect information for later retrieval.
  - The memory used for data logging is independent of processor memory. Within this memory, you can define up to 256 data logging queues. Each queue is configurable by size (maximum number of records stored), and by length (up to 80 characters). The length and the maximum number of records determine how much memory is used by each queue. You can choose to have one large queue or multiple smaller ones.
  - Each record is stored when the DLG instruction is executed and is stored in non-volatile memory (battery-backed) to prevent loss during power-down.
  - The configuration of the DLG instruction allows you to optionally include time stamping, data stamping, and a configurable separator character with the data words that are stored.
  - New records are appended to the end of the file - FIFO (first in, first out) as the DLG instruction is triggered (by an event, timer, counter, real-time clock, etc.)
  - Data logging records may be uploaded using a number of free tools available on the MicroLogix Internet site <http://www.ab.com/micrologix>. Tools are available for Palm OS, Windows CE, Windows<sup>®</sup> 95, Windows<sup>®</sup> 98, and Windows NT<sup>™</sup> (v4.0) devices to upload the data directly from the controller through comms. The information may be imported directly into spreadsheet, word processing, or other applications as a .CSV or .TXT file.



### Expansion I/O Module Specifications



#### Discrete Input Specifications

Specification	1769-IM12	1769-IA16	1769-IQ16	1769-IA8I
Voltage Category	200/240V ac	100/120V ac	24V dc (sink/source)	100/120V ac
Voltage Range	159 to 265V ac at 47 Hz to 60 Hz	79 to 132V ac at 47 Hz to 63 Hz	10 to 30V dc at 30°C (86°F) 10 to 26.4V dc at 60°C (140°F)	79V ac to 132V ac at 47 Hz to 63 Hz
Number of Inputs	12	16	16	8
Number of Commons per Module	2 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup>	2	8
Input Compatibility	IEC Type 1+			

(1) This module has two internally connected common terminals.

#### Discrete Output Specifications

Specification	1769-OA8	1769-OB16	1769-OB16P	1769-OV16	1769-OW8	1769-OW8I
Voltage Category	100 to 240V ac	24V dc		24V dc	AC/DC normally open relay	
Operating Voltage Range	85 to 265V ac at 47 to 63 Hz	20.4 to 26.4V dc (source)		20.4 to 26.4V dc (sink)	5 to 265V ac	5 to 125V dc
Number of Outputs	8	16			8	
Number of Commons per Module	2	1			2	8
Continuous Current per Point (max.)	0.25A at 60°C (140°F) 0.5A at 30°C (86°F)	0.5A at 60°C (140°F) 1.0A at 30°C (86°F)			2.5A	
Continuous Current per Common (max.)	n/a				8A	2.5A
Continuous Current Per Module (max.)	2.0 A at 60°C (140°F) 4.0 A at 30°C (86°F)	4.0A at 60°C (140°F) 8.0A at 30°C (86°F)			16A	



## N412C

### ULTIMATE SERIES ENCLOSURES NEMA 4 & 12 SINGLE DOOR WALL-MOUNT



N41216206C

#### Industry Standards

UL 508, Types 4, 12, & 13  
CSA Certified, Types 4, 12, & 13  
NEMA/EEMAC Type 4, 12, & 13  
JIC EL-1-71

UL Files E64791

CSA File LL66078

### FEATURES-SPECIFICATIONS

#### Applications

Hubbell Wiegmann N412C ULTIMATE Series Enclosures are designed to house and protect electrical and electronic components from harsh, dirty environments. For use in installations where dirt, dust, oil, water, or other contaminants are present. Streamlined styling, flush latching, and attractive durable finish complement any high tech electronic equipment.

#### Construction

- Bodies and doors fabricated from 14 gauge steel
- Continuously Plasma welded seams
- Increased tub opening for better access

- Concealed hinges
- Doors are interchangeable and easily removable
- Grounding provisions provided
- 1/4-turn semi-flush oil tight latches are supplied to hold door securely closed
- Print pocket is provided
- Doors are sealed with poured-in-place polyurethane gasket\*\*
- Mounting holes in rear of enclosure
- Studs for mounting **optional** back panel (the Ultimate back panels have increased in size to accommodate larger foot-print installations)

#### Finish

- ANSI 61 gray polyester powder inside and out over phosphatized surfaces

- **Optional** back panels are white polyester powder over phosphatized surfaces

#### Accessories

- Back panels (see reference tables)
- Window door (see reference tables)
- Other accessories see Pages 12-15 & Section J1-J18
- **Optional** N412MFK mounting foot kit must be ordered separately

N412C ULTIMATE SERIES SINGLE DOOR ENCLOSURES							
CATALOG NUMBER	BODY/DOOR STEEL GAUGE	ENCLOSURE SIZE H X W X D	BACK PANEL CATALOG NUMBER*	DOOR & BOX STIFFENERS	BACK PANEL SIZE A & B	C	E
N412121206C ◀	14/14	12.00x12.00x6.00 (305x305x152)	NP1212C	No	10.2x10.2 (259x259)	6.00 (152)	—
N412161206C ◀	14/14	16.00x12.00x6.00 (406x305x152)	NP1612C	No	14.2x10.2 (361x259)	8.00 (203)	—
N412161606C ◀	14/14	16.00x16.00x6.00 (406x406x152)	NP1616C	No	14.2x14.2 (361x361)	8.00 (203)	—
N412162006C ◀	14/14	16.00x20.00x6.00 (406x508x152)	NP2016C	No	14.2x18.2 (361x462)	8.00 (203)	—
N412201606C ◀	14/14	20.00x16.00x6.00 (508x406x152)	NP2016C	No	18.2x14.2 (462x361)	10.00 (254)	—
N412202006C ◀	14/14	20.00x20.00x6.00 (508x508x152)	NP2020C	No	18.2x18.2 (462x462)	10.00 (254)	—
N412241606C ◀	14/14	24.00x16.00x6.00 (610x406x152)	NP2416C	No	22.2x14.2 (564x361)	12.00 (305)	—
N412242006C ◀	14/14	24.00x20.00x6.00 (610x508x152)	NP2420C	No	22.2x18.2 (564x462)	12.00 (305)	—
N412242406C ◀	14/14	24.00x24.00x6.00 (610x610x152)	NP2424C	No	22.2x22.2 (564x564)	4.00 (102)	16.00 (406)
N412161208C ◀	14/14	16.00x12.00x8.00 (406x305x203)	NP1612C	No	14.2x10.2 (361x259)	8.00 (203)	—
N412161608C ◀	14/14	16.00x16.00x8.00 (406x406x203)	NP1616C	No	14.2x14.2 (361x361)	8.00 (203)	—
N412162008C ◀	14/14	16.00x20.00x8.00 (406x508x203)	NP2016C	No	14.2x18.2 (361x462)	8.00 (203)	—
N412201608C ◀	14/14	20.00x16.00x8.00 (508x406x203)	NP2016C	No	18.2x14.2 (462x361)	10.00 (254)	—
N412241608C ◀	14/14	24.00x16.00x8.00 (610x406x203)	NP2416C	No	22.2x14.2 (564x361)	12.00 (305)	—
N412202008C ◀	14/14	20.00x20.00x8.00 (508x508x203)	NP2020C	No	18.2x18.2 (462x462)	10.00 (254)	—
N412242008C ◀	14/14	24.00x20.00x8.00 (610x508x203)	NP2420C	No	22.2x18.2 (564x462)	12.00 (305)	—
N412302008C ◀	14/14	30.00x20.00x8.00 (762x508x203)	NP3020C	No	28.2x18.2 (716x462)	4.00 (102)	22.00 (559)
N412202408C ◀	14/14	20.00x24.00x8.00 (508x610x203)	NP2420C	No	18.2x22.2 (462x564)	10.00 (254)	—

Continued on next page



DATA SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

Inductive Proximity Sensors

**872C 2-Wire DC**

Plastic Face/Threaded Nickel-Plated Brass Barrel



872C DC Cable Style  
12, 18, 30mm  
page 2-50



872C DC Micro  
Quick-Disconnect Style  
12, 18, 30mm  
page 2-50



**Features**

- 2-wire operation
- 2-conductor or 4-pin connection
- 10–30V DC
- Normally open or normally closed output
- Reverse polarity, short circuit, overload, false pulse, and transient noise protection
- UL listed, c–UL listed, and CE marked for all applicable directives

**Specifications**

Load Current	≤100mA
Minimum Load Current	5mA
Leakage Current	≤0.9mA
Operating Voltage	10–30V DC
Voltage Drop	≤6V
Repeatability	≤2%
Hysteresis	10% typical
Reverse Polarity Protection	Incorporated
Transient Noise Protection	Incorporated
Short Circuit Protection	Incorporated
Overload Protection	Incorporated
False Pulse Protection	Incorporated
Approvals	UL listed, c–UL certified for Canada, and CE marked for all applicable directives
Enclosure	NEMA 1, 2, 3, 4, 6P, 12, 13 IP67 (IEC529) Nickel-plated brass barrel, plastic face (PBT)
Connections	Cable: 2m (6.5ft) length, 4.4mm (0.175in) diameter, 2-conductor #26AWG PVC Quick-Disconnect: 4-pin micro style
LED	Red: Output energized, 360° visibility
Operating Temperature	–25°C to +70°C (–13°F to +158°F)
Shock	30g, 11ms
Vibration	55Hz, 1mm amplitude, 3 planes

**Correction Factors**

Target Material	Correction Factor
Steel	1.0
Stainless Steel	0.7–0.8
Brass	0.4–0.5
Aluminum	0.3–0.4
Copper	0.2–0.3

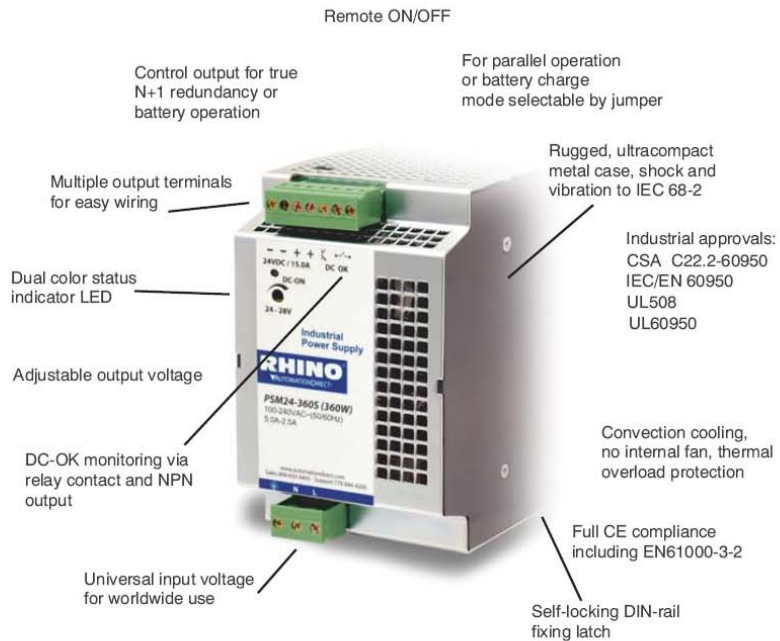
# RHINO PSM Series Power Supplies

## Versatile switching power supplies are DIN-rail mountable

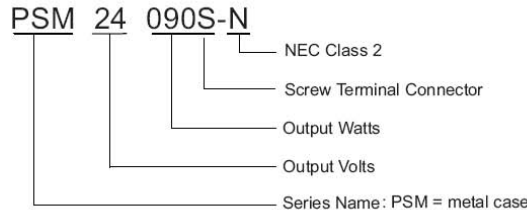
AUTOMATIONDIRECT offers the most practical industrial control power supplies available. The RHINO PSM series power supplies are industrial grade switching DC output supplies with a sturdy steel case to withstand harsh environments. Autoselect inputs for 115 VAC or 230 VAC and international agency approvals make the RHINO PSM series suitable for worldwide use. RHINO PSM power supplies are available in 12 or 24 VDC output, with adjustable output voltages, and feature low output ripple along with overload and overtemperature protection. The seven models offer power ratings from 78W to 600W, and up to 25A output current.

### Features

- Industrial grade design
- Sturdy metal case to withstand harsh industrial environments
- Model PSM24-090S-N meets NEC Class 2
- Universal 100/230 VAC input voltage
- Adjustable output voltage
- Low output ripple
- Short-circuit, overvoltage and overtemperature protection
- Power Good signal
- Remote ON/OFF
- Optional wall mounting
- Specialty modules for redundancy, power backup and UPS
- Terminal connectors included
- 3-year product warranty



### Part Numbering System



RHINO PSM Industrial Power Supplies			
Part Number	*Output Voltage ( $V_{nom}$ )	**Output Current ( $I_{max}$ )	***Output Power ( $P_{max}$ )
PSM12-078S	12 VDC	6.5 A	78 W
PSM24-090S	24 VDC	3.75 A	90 W
PSM24-090S-N	24 VDC	3.75 A	90 W
PSM12-156S	12 VDC	13.0 A	156 W
PSM24-180S	24 VDC	7.5 A	180 W
PSM24-360S	24 VDC	15.0 A	360 W
PSM24-600S	24 VDC	25.0 A	600 W

\*12V models adjustable from 12 to 14 VDC. 24V models adjustable from 24 - 28 VDC

\*\*Maximum current at nominal output voltage

\*\*\*Up to an operating temperature of +40°C

← BACK

NEXT →

## ALPHA WIRE Communication and Control Cable



**MULTICONDUCTOR, UNSHIELDED**

Alpha Wire

Alpha Part No.	No. of Cond.	Conductor		O.D. (in.)	100' Spools		500' Spools		1000' Spools	
		AWG	Strand		MOUSER STOCK NO.	Price Per 100'	MOUSER STOCK NO.	Price Per 500'	MOUSER STOCK NO.	Price Per 1000'
UL Type CM, UL AWM 2574, CSA CMG FT4, 300V										
1172C	2	22	7 x 30	.16	602-1172C-100	35.92	602-1172C-500	106.40	602-1172C-1000	171.11
1173C	3	22	7 x 30	.17	602-1173C-100	46.94	602-1173C-500	142.80	602-1173C-1000	229.08
1174C	4	22	7 x 30	.19	602-1174C-100	51.97	602-1174C-500	162.23	602-1174C-1000	267.56
1175C	5	22	7 x 30	.20	602-1175C-100	62.90	602-1175C-500	206.95	602-1175C-1000	362.44
1176C	6	22	7 x 30	.21	602-1176C-100	69.78	602-1176C-500	241.74	602-1176C-1000	440.81
1177C	7	22	7 x 30	.21	602-1177C-100	74.96	-----	-----	602-1177C-1000	90.76
1178C	8	22	7 x 30	.22	602-1178C-100	89.49	602-1178C-500	292.43	602-1178C-1000	569.17
1180C	10	22	7 x 30	.26	602-1180C-100	104.50	602-1180C-500	357.09	602-1180C-1000	696.98
1181C	12	22	7 x 30	.28	602-1181C-100	132.48	602-1181C-500	526.40	602-1181C-1000	970.07
1181/15C	15	22	7 x 30	.30	602-1181/15C-100	210.24	602-1181/15C-500	770.83	602-1181/15C-1000	1161.62
1181/25C	25	22	7 x 30	.36	602-1181/25C-100	190.68	602-1181/25C-500	693.30	602-1181/25C-1000	1251.61
UL Type CM, UL AWM 2569, UL CSA CMG FT4, 300V										
1896C	2	20	7 x 28	.18	602-1896C-100	42.76	602-1896C-500	142.63	602-1896C-1000	258.23
1898C	3	20	7 x 28	.19	602-1898C-100	55.11	602-1898C-500	194.26	602-1898C-1000	350.04
1896/4C	4	20	7 x 28	.21	602-1896/4C-100	64.79	602-1896/4C-500	215.25	602-1896/4C-1000	394.32
1896/5C	5	20	7 x 28	.23	602-1896/5C-100	81.09	-----	-----	602-1896/5C-1000	520.55
1896/6C	6	20	7 x 28	.25	602-1896/6C-100	96.34	-----	-----	602-1896/6C-1000	616.00
1896/7C	7	20	7 x 28	.25	602-1896/7C-100	107.83	-----	-----	602-1896/7C-1000	692.42
1896/8C	8	20	7 x 28	.27	602-1896/8C-100	157.99	602-1896/8C-500	553.44	602-1896/8C-1000	1015.16
1896/12C	12	20	7 x 28	.35	602-1896/12C-100	219.45	602-1896/12C-500	757.22	602-1896/12C-1000	1233.78
1897C	2	18	16 x 30	.20	602-1897C-100	54.15	602-1897C-500	197.23	602-1897C-1000	342.81
1898C	3	18	16 x 30	.21	602-1898C-100	75.05	602-1898C-500	260.75	602-1898C-1000	477.96
1898/4C	4	18	16 x 30	.24	602-1898/4C-100	93.48	602-1898/4C-500	333.30	602-1898/4C-1000	596.96
1898/6C	6	18	16 x 30	.29	602-1898/6C-100	196.37	602-1898/6C-500	548.18	602-1898/6C-1000	1005.06
1898/7C	7	18	16 x 30	.29	602-1898/7C-100	196.55	602-1898/7C-500	556.44	602-1898/7C-1000	992.35
1898/8C	8	18	16 x 30	.31	602-1898/8C-100	217.36	602-1898/8C-500	763.00	602-1898/8C-1000	1399.36
1898/9C	9	18	16 x 30	.34	602-1898/9C-100	262.77	602-1898/9C-500	904.14	602-1898/9C-1000	1493.75
1898/10C	10	18	16 x 30	.37	602-1898/10C-100	305.53	602-1898/10C-500	1071.00	602-1898/10C-1000	1964.69
1898/12C	12	18	16 x 30	.38	602-1898/12C-100	316.83	602-1898/12C-500	1107.84	602-1898/12C-1000	1892.75
1898/15C	15	18	16 x 30	.44	-----	-----	602-1898/15C-500	1468.43	602-1898/15C-1000	2649.62
1898/19C	19	18	16 x 30	.47	602-1898/19C-100	531.72	602-1898/19C-500	1897.89	602-1898/19C-1000	3328.80
1898/25C	25	18	16 x 30	.56	602-1898/25C-100	798.87	602-1898/25C-500	2818.44	602-1898/25C-1000	4756.60
1899C	2	16	19 x .0117	.22	602-1899C-100	96.74	602-1899C-500	311.50	602-1899C-1000	569.17

**Specifications:**

- Jacket: Gray PVC
- Insulation: Color-Coded PVC
- Conductor: Stranded Tinned Copper

UL   SF

Recommend Heat Shrink  
Alpha **HT221**

Recommend Heat Shrink  
Alpha **HT321**

**MULTICONDUCTOR, SHIELDED**

Alpha Part No.	No. of Cond.	Conductor		O.D. (in.)	100' Spools		500' Spools		1000' Spools	
		AWG	Strand		MOUSER STOCK NO.	Price Per 100'	MOUSER STOCK NO.	Price Per 500'	MOUSER STOCK NO.	Price Per 1000'
Foil Shield, UL Type CM, UL AWM 2092, 2093, 2094, CSA CMG FT4, 300V										
2461C	2	22	7 x 30	.13	602-2461C-100	57.20	602-2461C-500	158.26	602-2461C-1000	312.89
2400C	2	24	7 x 32	.16	602-2400C-100	38.55	602-2400C-500	146.63	602-2400C-1000	221.21
2401C	2	22	7 x 30	.17	602-2401C-100	47.96	602-2401C-500	170.26	602-2401C-1000	302.05
2403C	3	22	7 x 30	.18	602-2403C-100	53.31	602-2403C-500	201.16	602-2403C-1000	393.47
2404C	4	22	7 x 30	.20	602-2404C-100	60.09	602-2404C-500	229.83	602-2404C-1000	360.27
2411C	2	20	7 x 28	.18	602-2411C-100	66.65	602-2411C-500	244.10	602-2411C-1000	476.75
2413C	3	20	7 x 28	.20	602-2413C-100	64.52	602-2413C-500	216.19	602-2413C-1000	403.08
2414C	4	20	7 x 28	.22	602-2414C-100	91.23	602-2414C-500	313.78	602-2414C-1000	567.85
2421C	2	18	16 x 30	.21	602-2421C-100	66.34	602-2421C-500	232.22	602-2421C-1000	417.88
2423C	3	18	16 x 30	.23	602-2423C-100	86.61	602-2423C-500	321.48	602-2423C-1000	609.28
2424C	4	18	16 x 30	.25	602-2424C-100	136.24	602-2424C-500	442.49	602-2424C-1000	865.47
2432C	2	16	19 x .0117	.24	602-2432C-100	106.34	602-2432C-500	346.03	602-2432C-1000	666.96
2433C	3	16	19 x .0117	.26	602-2433C-100	196.37	602-2433C-500	501.29	602-2433C-1000	994.25
Foil Shield, UL Type CM, UL AWM 2574, CSA CMG FT4, 300V										
1213C	3	24	7 x 32	.17	602-1213C-100	137.09	602-1213C-500	289.93	602-1213C-1000	425.01
1214C	4	24	7 x 32	.18	602-1214C-100	109.45	602-1214C-500	227.83	602-1214C-1000	316.11
1219/10C	10	24	7 x 32	.23	602-1219/10C-100	206.02	602-1219/10C-500	576.10	602-1219/10C-1000	848.39
1219/12C	12	24	7 x 32	.27	602-1219/12C-100	243.30	602-1219/12C-500	757.22	602-1219/12C-1000	1115.80
1219/15C	15	24	7 x 32	.28	602-1219/15C-100	309.47	602-1219/15C-500	957.34	602-1219/15C-1000	1414.58
1219/25C	25	24	7 x 32	.33	602-1219/25C-100	230.95	602-1219/25C-500	630.52	602-1219/25C-1000	2239.35

**Specifications:**

- Jacket: Gray PVC
- Insul.: Color-Coded Polyethylene (PE)
- Shield: Aluminum/Polyester Tape (100% coverage)
- Conductor: Stranded Tinned Copper

UL   SF

Recommend Heat Shrink  
Alpha **HT221**

Recommend Heat Shrink  
Alpha **HT321**

© Copyright 2001 Mouser Electronics

1018

[www.mouser.com/alphawire](http://www.mouser.com/alphawire)



(800) 346-6873

© Copyright 2001 Mouser Electronics

← BACK

Mouser Catalog Download

NEXT →

◀ BACK

## HAMMOND NEMA Enclosures

NEXT ▶



### Common Specifications:

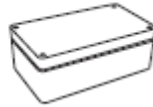
- Ideal y suited for mounting printed circuit boards or DIN rail mounted components.
- Color is light gray (RAL 7035).
- Gasketed lid with two piece tongue & groove construction provides protection against access of oil, dust, and water.
- Gasket is factory poured using High temperature U.L. listed - silicon gasket material.

- Designed to meet IP 66 & NEMA 4, 4X, 12 & 13 ratings.
- Lid is secured with self tapping - 18 stainless steel machine screws (included).
- Mounted into integral stainless steel bushings (for positive assembly & disassembly).
- All stainless steel hardware to avoid corrosion caused by dissimilar metals.

### WATERTIGHT POLYCARBONATE ENCLOSURES WITH FLAT LID

#### Specifications:

- Material - Polycarbonate (material carries a U.L. flammability rating of UL94 V0).
- Recommended for outdoor use.
- Internal DIN rail mounting tabs: molded in all (except 1554C2GY).
- Vertical P.C. card guides (for 1.5 mm thick P.C. boards) are molded in all but the smallest size enclosure (1554B2GY).



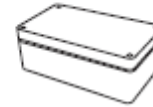
For quantities of 25 and up, call for quote.

MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Dimensions: in.			Price Each		
		L	W	H	1	5	10
546-1554B2GY	1554B2GY	2.6	2.6	1.6	8.56	7.13	6.59
546-1554C2GY	1554C2GY	4.7	2.6	1.6	12.03	10.02	9.25
546-1554D2GY	1554D2GY	4.7	2.6	2.4	12.97	10.02	9.98
546-1554E2GY	1554E2GY	3.5	3.5	2.4	13.21	11.01	10.16
546-1554F2GY	1554F2GY	4.7	3.5	2.4	14.98	12.48	11.53
546-1554G2GY	1554G2GY	4.7	3.5	3.2	17.49	14.58	13.46
546-1554J2GY	1554J2GY	6.3	3.5	2.4	18.08	15.07	13.92
546-1554K2GY	1554K2GY	6.3	3.5	3.5	19.39	16.16	14.92
546-1554N2GY	1554N2GY	4.7	4.7	2.4	16.76	13.97	12.89
546-1554P2GY	1554P2GY	4.7	4.7	3.15	21.42	17.86	16.47
546-1554H2GY	1554H2GY	7.1	4.7	2.4	21.07	17.96	16.21
546-1554R2GY	1554R2GY	6.3	6.3	2.4	27.48	22.91	21.14
546-1554S2GY	1554S2GY	6.3	6.3	3.5	26.04	20.89	19.27

### WATERTIGHT ABS PLASTIC ENCLOSURES WITH FLAT LID

#### Specifications:

- Material - General purpose ABS plastic (material carries a U.L. flammability rating of UL94 HB).
- Not recommended for outdoor use (please see the polycarbonate 1554 series).
- Internal DIN rail mounting tabs: molded in all (except 1554C2GY).
- Vertical P.C. card guides (for 1.5 mm thick P.C. boards) are molded in all but the smallest size enclosure (1554B2GY).



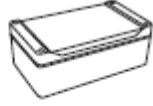
For quantities of 25 and up, call for quote.

MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Dimensions: in.			Price Each		
		L	W	H	1	5	10
546-1554B2GY	1554B2GY	2.6	2.6	1.6	7.57	6.31	5.82
546-1554C2GY	1554C2GY	4.7	2.6	1.6	8.33	6.94	6.41
546-1554D2GY	1554D2GY	4.7	2.6	2.4	8.45	7.04	6.50
546-1554E2GY	1554E2GY	3.5	3.5	2.4	9.40	7.83	7.23
546-1554F2GY	1554F2GY	4.7	3.5	2.4	11.43	9.53	8.79
546-1554G2GY	1554G2GY	4.7	3.5	3.2	11.79	9.83	9.06
546-1554J2GY	1554J2GY	6.3	3.5	2.4	13.00	11.50	10.62
546-1554K2GY	1554K2GY	6.3	3.5	3.5	15.24	12.71	11.73
546-1554N2GY	1554N2GY	4.7	4.7	2.4	14.27	11.89	10.98
546-1554P2GY	1554P2GY	4.7	4.7	3.15	15.24	12.71	11.73
546-1554H2GY	1554H2GY	7.1	4.7	2.4	15.72	13.10	12.09
546-1554R2GY	1554R2GY	7.1	4.7	3.5	15.86	13.22	12.19
546-1554S2GY	1554S2GY	6.3	6.3	2.4	20.71	17.26	15.94

### WATERTIGHT POLYCARBONATE ENCLOSURES WITH "STYLED" LID

#### Specifications:

- "Styled" lid version has three main advantages over the flat lid (1554 series): smooth recessed surface on lid for a membrane keypad or label; standoffs molded in the interior of the lid (except for 1556B2GY); more modern "styled" look vs. our traditional flat lid (1554 series).
- Material - Polycarbonate (material carries a U.L. flammability rating of UL94 V0).
- Recommended for outdoor use.
- Internal DIN rail mounting tabs: molded in all (except 1556B2GY).
- Vertical P.C. card guides (for 1.5 mm thick P.C. boards) are molded in all but the smallest size enclosure (1556B2GY).



For quantities of 25 and up, call for quote.

MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Dimensions: in.			Price Each		
		L	W	H	1	5	10
546-1556B2GY	1556B2GY	2.6	2.6	1.6	8.56	7.13	6.59
546-1556C2GY	1556C2GY	4.7	2.6	1.6	12.03	10.02	9.25
546-1556D2GY	1556D2GY	4.7	2.6	2.4	12.97	10.02	9.98
546-1556E2GY	1556E2GY	3.5	3.5	2.4	13.21	11.01	10.16
546-1556F2GY	1556F2GY	4.7	3.5	2.4	14.98	12.48	11.53
546-1556G2GY	1556G2GY	4.7	3.5	3.2	17.49	14.58	13.46
546-1556J2GY	1556J2GY	6.3	3.5	2.4	18.08	15.07	13.92
546-1556K2GY	1556K2GY	6.3	3.5	3.5	19.39	16.16	14.92
546-1556N2GY	1556N2GY	4.7	4.7	2.4	16.76	13.97	12.89
546-1556P2GY	1556P2GY	4.7	4.7	3.15	21.42	17.86	16.47
546-1556H2GY	1556H2GY	7.1	4.7	2.4	21.07	17.96	16.21
546-1556R2GY	1556R2GY	6.3	6.3	2.4	27.48	22.91	21.14
546-1556S2GY	1556S2GY	6.3	6.3	3.5	26.04	20.89	19.27

### WATERTIGHT ABS PLASTIC ENCLOSURES WITH "STYLED" LID

#### Specifications:

- "Styled" lid version has three main advantages over the flat lid (1554 series): smooth recessed surface on lid for a membrane keypad or label; standoffs molded in the interior of the lid (except for 1556B2GY); more modern "styled" look vs. our traditional flat lid (1554 series).
- Material - General purpose ABS plastic (material carries a U.L. flammability rating of UL94 HB).
- Not recommended for outdoor use (please see the polycarbonate 1556 series).
- Internal DIN rail mounting tabs: molded in all (except 1556B2GY).
- Vertical P.C. card guides (for 1.5 mm thick P.C. boards) are molded in all but the smallest size enclosure (1556B2GY).



For quantities of 25 and up, call for quote.

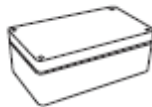
MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Dimensions: in.			Price Each		
		L	W	H	1	5	10
546-1556B2GY	1556B2GY	2.6	2.6	1.6	7.57	6.31	5.82
546-1556C2GY	1556C2GY	4.7	2.6	1.6	8.33	6.94	6.41
546-1556D2GY	1556D2GY	4.7	2.6	2.4	8.45	7.04	6.50
546-1556E2GY	1556E2GY	3.5	3.5	2.4	9.40	7.83	7.23
546-1556F2GY	1556F2GY	4.7	3.5	2.4	11.43	9.53	8.79
546-1556G2GY	1556G2GY	4.7	3.5	3.2	11.79	9.83	9.06
546-1556J2GY	1556J2GY	6.3	3.5	2.4	13.00	11.50	10.62
546-1556K2GY	1556K2GY	6.3	3.5	3.5	15.24	12.71	11.73
546-1556N2GY	1556N2GY	4.7	4.7	2.4	14.27	11.89	10.98
546-1556P2GY	1556P2GY	4.7	4.7	3.15	15.24	12.71	11.73
546-1556H2GY	1556H2GY	7.1	4.7	2.4	15.72	13.10	12.09
546-1556R2GY	1556R2GY	7.1	4.7	3.5	15.86	13.22	12.19
546-1556S2GY	1556S2GY	6.3	6.3	2.4	20.71	17.26	15.94
546-1556T2GY	1556T2GY	6.3	6.3	3.5	22.13	18.45	17.02

Hammond Plastic Boxes

### WATERTIGHT POLYCARBONATE ENCLOSURES WITH CLEAR LID

#### Specifications:

- Clear polycarbonate lid allows for maximum visibility of protected internal components.
- Material - Polycarbonate (material carries a U.L. flammability rating of UL94 V0).
- Recommended for outdoor use.
- Internal DIN rail mounting tabs: molded in all (except 1554C2GYCL).
- Vertical P.C. card guides (for 1.5 mm thick P.C. boards) are molded in all but the smallest size enclosure (1554B2GYCL).



For quantities of 25 and up, call for quote.

MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Dimensions: in.			Price Each		
		L	W	H	1	5	10
546-1554B2GYCL	1554B2GYCL	2.6	2.6	1.6	9.34	7.79	7.19
546-1554C2GYCL	1554C2GYCL	4.7	2.6	1.6	12.96	10.80	9.97
546-1554D2GYCL	1554D2GYCL	4.7	2.6	2.4	13.96	11.62	10.73
546-1554E2GYCL	1554E2GYCL	3.5	3.5	2.4	14.08	11.74	10.82
546-1554F2GYCL	1554F2GYCL	4.7	3.5	2.4	16.21	13.51	12.46
546-1554G2GYCL	1554G2GYCL	4.7	3.5	3.2	18.31	15.26	14.09
546-1554J2GYCL	1554J2GYCL	6.3	3.5	2.4	19.30	16.09	14.86
546-1554K2GYCL	1554K2GYCL	6.3	3.5	3.5	20.67	17.23	15.90
546-1554N2GYCL	1554N2GYCL	4.7	4.7	2.4	20.67	17.23	15.90
546-1554P2GYCL	1554P2GYCL	4.7	4.7	3.15	22.40	18.70	17.25
546-1554H2GYCL	1554H2GYCL	7.1	4.7	2.4	23.67	17.14	15.82
546-1554R2GYCL	1554R2GYCL	6.3	6.3	2.4	23.77	23.98	22.14
546-1554S2GYCL	1554S2GYCL	6.3	6.3	3.5	30.90	25.75	23.77
546-1554T2GYCL	1554T2GYCL	7.9	4.7	3.5	29.27	24.40	22.50

### PANELS FOR WATERTIGHT ENCLOSURES

#### Specifications:

- Heavy duty panels for mounting components.
- Gasketed 1/8" gauge steel.
- Includes mounting hardware for enclosure body (lid mounting of panel requires optional #6 self tapping screws).

\* Series Size printed in BOLD in Hammond Part Number

For quantities of 25 and up, call for quote.

MOUSER STOCK NO.	Hammond Part No.	Use With # Series Size:	Dimensions: in.			Price Each		
			L	W	H	1	5	10
546-1554BPL	1554BPL	B	2.2	2.2	4.52	3.77	3.48	
546-1554CPL	1554CPL	C & D	4.4	2.1	5.26	4.38	4.04	
546-1554EPL	1554EPL	E	3.1	3.1	5.60	4.69	4.32	
546-1554FPL	1554FPL	F & G	4.3	3.1	5.59	4.66	4.29	
546-1554HPL	1554HPL	H & T	6.6	4.2	6.86	5.72	5.28	
546-1554JPL	1554JPL	J & K	5.8	3.0	6.18	5.16	4.75	
546-1554NPL	1554NPL	N & P	4.25	4.2	6.04	5.04	4.65	
546-1554RPL	1554RPL	R & S	5.94	5.8	7.72	6.42	5.95	
546-1554UPL	1554UPL	U	7.6	4.2	7.24	6.04	5.57	
546-1554VPL	1554VPL	V	9.1	5.7	9.28	7.73	7.14	

1844

[www.mouser.com/hammond](http://www.mouser.com/hammond)



(800) 346-6873

◀ BACK

Mouser Catalog Download

NEXT ▶