

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS DE AMBAR

S. A.

LUIS G. ESCORCIA OROZCO

ERIKA DEL C. SILVA MENDOZA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CONTROL AUTOMÁTICO

CARTAGENA DE INDIAS

2.002

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS DE AMBAR

S. A.

LUIS G. ESCORCIA OROZCO

ERIKA DEL C. SILVA MENDOZA

**Trabajo para optar el título de
Ingeniero electricista**

**Director
RICARDO GOMEZ
Ingeniero Electricista
MSEE, MSEM**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CONTROL AUTOMÁTICO

CARTAGENA DE INDIAS

2.002

ARTICULO 107

La corporación se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Cartagena de Indias, 15 de Abril del 2002

Señores
Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar
Decanatura de Eléctrica y Electrónica
L. C.

Estimados Señores:
Como director del trabajo de grado titulado “**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS DE AMBAR S. A.**” Hago presentación formal de dicho trabajo de grado. La cual fue revisada en su totalidad, por lo tanto espero que sea de su agrado.

Cordialmente

Director
RICARDO GOMEZ
Ingeniero Electricista
MSEE, MSEM

Cartagena de Indias, 15 de Abril del 2002

Señores
Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar
Decanatura de Eléctrica y Electrónica
L. C.

Estimados Señores:

Cordialmente nos dirigimos a ustedes con el fin de presentar el proyecto de grado titulado **“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS DE AMBAR S. A.”** Como requisito parcial exigido por esta institución para optar el título de Ingeniero Electricista.

Agradecemos de antemano la atención prestada a nuestra solicitud.

Esperamos su colaboración en la tramitación del presente documento.

LUIS G. ESCORCIA O.
COD. 0102855

ERIKA DEL C. SILVA M.
COD. 0102858

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, 15 de Abril del 2.002

A Dios quien me da salud y vida.
A mi madre que me ha inspirado,
Me ha dado esperanza y alientos
para seguir adelante y no dejarme
vencer de los obstáculos que hay
en el camino. A mi bebe Leonardo,
que con su presencia ilumina mi
vida y me da fuerzas para seguir
luchando.

A mi padre

A Juan

A mis hermanos y sobrinos.

Por estar brindándome su apoyo.

ERIKA DEL CARMEN

A Dios, a mi madre y mi padre, a mi
esposa, mi hijo y mi hermana, que
han sido fuente de apoyo
incondicional para realizar este
sueño, y con ellos comparto mi
triunfo.

LUIS GABRIEL

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimiento a:

Ricardo Gómez. Ingeniero Electricista y Director del proyecto.

Jose R. Pabón. Ingeniero Electrónico y Asesor del proyecto.

Myron Abarcas. Gerente de Ámbar.

Yojaira Ramirez. Ingeniera industria

Por su gran colaboración en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	PÁG
INTRODUCCIÓN	29
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	30
1.1. NOMBRE Y LOCALIZACIÓN	30
1.2. OBJETO SOCIAL	30
1.3. RESEÑA HISTORICA	30
1.3.1. Planta de Película.	31
1.3.2. Planta de Vasos.	31
1.3.3. Planta de Rotomoldeo.	32
1.3.4. Planta de Láminas.	32
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO	33
2.1. SITUACIÓN INICIAL	33
2.2. EVALUACION ELECTRICA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA	34
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	34

3.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS	36
3.1.1. Materia Prima	36
3.1.1.1. Historia del Poliestireno.	36
3.1.1.2. Poliestireno Expansible	36
3.1.1.3. Sistemas de Distribución del Poliestireno	37
3.1.2. Proceso de Moldeado de Vasos	37
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE UTILIDADES	38
3.2.1. Sistema de Generación de Aire Comprimido	39
3.2.2. Sistema de Generación de Vapor	41
3.2.3. Sistema de Distribución de Agua	43
3.2.4. Sistema de Tratamiento de Agua	45
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE INSTRUMENTOS	49
4.1. TRANSMISORES DE PRESIÓN	49
4.1.1. Generalidades	49
4.1.2. Almacenamiento de Datos	51
4.1.3. Comunicaciones	51
4.1.4. Configuración	52

4.2. PRESÓSTATO	53
4.2.1. Generalidades	53
4.2.2. Ventajas	54
4.3. SWITCHE DE NIVEL	55
4.4. TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA	57
4.5. VARIADORES DE VELOCIDAD	60
4.5.1. Principios de Funcionamiento.	60
4.5.2. Curvas de Momento de Torsión – Velocidad.	62
4.5.3. El desempeño del AC Drive	64
4.5.3.1. Control Operador e Interfaz	64
4.5.3.2. Aceleración y Desaceleración	64
4.5.3.3. Rango de Velocidad	65
4.5.3.4. La Regulación de Velocidad	65
4.5.3.5. Límite de Corriente	66
4.5.3.6. La Compensación IR	66
5. MEMORIAS DE CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	68
5.1. TRANSMISIÓN DE PRESIÓN	68

5.1.1. Memorias de Cálculo	68
5.1.2. Especificaciones	70
5.1.3. Diagrama de Construcción	71
5.1.4. Diagrama de Conexiones	71
5.1.5. Diagrama de Montaje	72
5.2. PRESÓSTATOS	73
5.1.1. Memorias de Cálculo	73
5.1.2. Especificaciones	74
5.1.3. Diagrama de Construcción	76
5.1.4. Diagrama de Conexión	77
5.1.5. Diagrama de Montaje	77
5.3. SWITCH DE NIVEL	78
5.3.1. Especificaciones	78
5.3.2. Diagrama de Construcción	79
5.3.3. Diagrama de Conexiones	79
5.3.4. Diagrama de Montaje	80
5.4. TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA	81

5.4.1. Memorias de cálculo	81
5.4.2. Especificaciones	83
5.4.3. Diagrama de Montaje	84
5.5. TABLERO DE CONTROL	85
6. TEORÍA DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE	88
6.1 GENERALIDADES	88
6.1.1. Modos de operación	88
6.1.2. Ciclo de Funcionamiento	89
6.1.3. Configuración del PLC	90
6.1.4. Programación	90
6.2. PROCESADOR	91
6.2.1. Descripción de la Unidad	92
6.2.2. Dimensiones de Montaje	92
6.2.3. Esquema de Bloques de Terminales	93
6.2.4. Especificaciones Generales	93
6.2.5. Clasificaciones de los Contactos de Relé	94
6.2.6. Tensión de Trabajo	94

6.3. MÓDULOS DE ENTRADA/SALIDA	95
6.3.1. Entradas Digitales	95
6.3.1.1. Entradas Digitales de la Base	96
6.3.1.2. Entradas Digitales de Los Módulos de Expansión	98
6.3.2. Salidas Digitales	102
6.3.2.1. Diagrama de Cableado General	102
6.3.2.2. Supresores de Sobrecarga	103
6.3.2.3. Especificaciones Generales	104
6.4. VENTAJAS DEL AUTÓMATA	104
7. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	106
7.3. GENERALIDADES	106
7.1.1. Modos de Operación.	106
7.1.2. Ciclo De Funcionamiento	107
7.1.3. Configuración del PLC	108
7.1.3. Programación	108
7.4. INTERPRETACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL	108
7.4.1. Variables.	108

7.4.2. Asignación de Direcciones.	108
7.4.3. Configuración del PLC.	111
7.4.3.1. Configuración del Sistema de Comunicaciones.	111
7.4.3.2. Definición De Módulos de E/S.	111
7.4.3.3. Introducción del Programa Lógico.	112
7.4.3.4. Verificación del Programa Lógico.	112
7.4.3.5. Descarga de Programas en el Controlador.	112
7.4.4. Software de Programación RSLogix 500	112
7.4.4.1. Editor de Programación	113
7.4.4.2. Configuración de E/S	114
7.4.4.3. Editor de Bases de Datos	114
7.4.4.4. Herramientas de Diagnóstico y Resolución de Problemas	114
7.2 MÓDULOS DE E/S ANALÓGICAS	117
7.2.1. Entradas Análogas Módulo Expansión	117
7.2.1.1. Descripción del Módulo	117
7.2.1.2. Interruptor de Alimentación Externa	118
7.2.1.3. Cableado de Entradas Diferenciales	119

7.2.1.4.	Cableado de Sensores/Transmisores Unipolares	120
7.2.1.5.	Cableado de Transmisores Mixtos	121
7.2.1.6.	Asignación de Memoria de E/S	122
7.2.3.7.	Especificaciones Para las Entradas	124
7.2.2.	Salidas Análogas	125
7.2.2.1.	Descripción del Módulo	125
7.2.2.2.	Interruptor de Alimentación Eléctrica Externa	126
7.2.2.3.	Cableado de Los Dispositivos de Salida	127
7.2.2.4.	Asignación de Memoria de E/S	127
7.2.2.5.	Especificaciones Generales	131
7.2.3.	Módulo de Salidas RTD	133
7.2.3.1.	Descripción General del Módulo	133
7.2.3.2.	Asignación de Memoria de E/S	135
7.2.3.3.	Especificaciones Generales	139
7.2.3.4.	Especificaciones de Entrada	140
7.3.	ARCHIVOS DE ESTADO DEL SISTEMA	141
7.4.	MÉTODO DE AJUSTE DE PARÁMETROS	143

7.5. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN 145

8. COSTO TOTAL DEL PROYECTO 150

9. CONCLUSIONES 154

10. RECOMENDACIONES 156

11. BIBLIOGRAFÍA 157

ANEXOS

LISTA DE CUADROS

	PÁG
Cuadro 1. Clasificación del Agua con Relación a la Dureza	46
Cuadro 2. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión 2088	70
Cuadro 3. Especificaciones Física Transmisor de Presión 2088	71
Cuadro 4. Especificaciones de Presión del Presóstato	74
Cuadro 5. Especificaciones Técnicas del Presóstato	75
Cuadro 6. Especificaciones Técnicas del Switch de Nivel	78
Cuadro 7. Características de Sondas de Resistencias	83
Cuadro 8. Especificaciones Generales	93
Cuadro 9. Clasificaciones del Contacto de Relé	94
Cuadro 10. Tensión de Trabajo	94
Cuadro 11. Especificaciones de Entrada de la Base	97
Cuadro 12. Archivos de Datos de Entradas digitales	100

Cuadro 13. Especificaciones Generales de las Entradas digitales	100
Cuadro 14. Especificaciones de Entrada Digitales	101
Cuadro 15. Salida – Corriente Máxima Continua	104
Cuadro 16. Direcciones de Memoria	110
Cuadro 17. Funciones del RSLogix	116
Cuadro 18. Archivo de Datos de Entradas de las Entrada Análogas	122
Cuadro 19. Archivo de Datos de Configuración Entradas Análogas	123
Cuadro 20. Especificaciones Para las Entradas Análogas	124
Cuadro 21. Archivo de Datos de Salida Análogas	127
Cuadro 22. Archivo de Datos de Entrada de las Salidas Análogas	128
Cuadro 23. Archivo de Datos de Configuración Salidas Análogas	129
Cuadro 24. Palabras de Configuración de Canal Salidas Análogas	130
Cuadro 25. Especificaciones Generales Salidas Análogas	131
Cuadro 26. Especificaciones Para las Salidas Análogas	131
Cuadro 27. Archivo de Datos de Entrada de la Salida DTR	135
Cuadro 28. Configuración de Datos de la Salida DTR	137
Cuadro 29. Configuración de Datos de la Salida DTR	138

Cuadro 30 Palabra de Configuración de la Salida DTR	139
Cuadro 31. Especificaciones Generales	139
Cuadro 32. Especificaciones de Entrada de la Salida RTD	140
Cuadro 33, Archivo de Estado	142

LISTA DE FIGURAS

	PÁG
Figura 1. Tablero de distribución principal	35
Figura 2. Fotografía de los Productos Terminados de la Planta de Vasos	38
Figura 3. Diagrama de Bloques del Proceso del Sistema de Utilidades	39
Figura 4. Diagrama Secador de Aire	40
Figura 5. Esquema de Funcionamiento del Transmisor	50
Figura 6. Onda Senoidal	52
Figura 7. Esquemas del Funcionamiento de los Transductores de Nivel	57
Figura 8. Tipos de Sondas de Resistencia.	59

Figura 9. Gráfica Resistencia – Temperatura	59
Figura 10. Conexión de Pt100 A Tres Hilos.	60
Figura11. Diagrama de Bloque Para un Típico Drive PWM	62
Figura 12. Forma de Ondas de un Típico PWM	62
Figura 13. Curva de Torque – Velocidad Para un Motor Diseño B NEMA	63
Figura 14. Porcentaje de Torsión – Frecuencia	64
Figura 15. Esquema Medidas Tanque TK4	68
Figura 16. Diagrama de Construcción del Transmisor de Presión	71
Figura 17. Esquema de Conexiones del Transmisor de Presión	71
Figura 18. Diagrama de Montaje del Transmisor de Presión	72
Figura 19. Diagrama de Montaje del Cabezal de Vapor	72
Figura 20. Montaje del Presóstato	74
Figura 21. Diagrama de Construcción del Presóstato	76
Figura 22. Diagrama de Conexiones Switch de Presión	77
Figura 23. Diagrama del Montaje del Presóstato	77
Figura 24. Diagrama de Construcción del Switch de Nivel	79
Figura 25. Diagrama de Conexiones Cableado A la Base del Sensor	79

Figura 26. Diagrama de Conexiones a las Cavidades	80
Figura 27. Diagrama de Montaje Switch de Nivel TK2	80
Figura 28. Diagrama de Montaje Switch de Nivel TK4	81
Figura 29. Curva Resistencia – Temperatura de Varios Metales.	83
Figura 30. Montaje de Los Transductores de Temperatura	84
Figura 31. Esquema Montaje del Cabezal de Vapor	85
Figura 32. Palabras del Procesador	91
Figura 33. Descripción de la Unidad Base	92
Figura 34. Dimensiones del Montaje de la Base	92
Figura 35. Esquema Para El Bloque de Terminal	93
Figura 36. Diagrama de Cableado Base 1764 - 24AWA	97
Figura 37. Descripción del Módulo Entradas Digitales	98
Figura 38. Diagrama de Cableado Módulo Entradas Digitales	99
Figura 39. Diagrama de Cableado Salidas Digitales	102
Figura 40. Supresores de Sobrecarga Salidas digitales	103

Figura 41. Supresor de Sobrecarga Red RC	104
Figura 42. Interfaz Gráfica de Rslogix 500	113
Figura 43. Muestra Símbolos para Construir la Lógica de Escalera	115
Figura 44. Descripción del Módulo Entradas Análogas	117
Figura 45. Interruptor de Alimentación Externa Entradas Análogas	118
Figura 46. Cableado de Entradas Diferenciales	119
Figura 47. Cableado de Sensores/Transmisores Unipolares	120
Figura 48. Cableado de Transmisores Mixtos	121
Figura 49. Descripción del Módulo Salidas Análogas	125
Figura 50. Interruptor de Alimentación Externa Salidas Análogas	126
Figura 51. Cableado de Los Dispositivos de Salida Análogas	127
Figura 52. Descripción del Modulo Salidas RTD	134
Figura 53. Barra de Herramienta del Editor de la Aplicación	146
Figura 54. Interfaz Gráfica del Programa Factory Link	147
Figura 55. Ventana Tagname	149
Figura 56. Flujo de Caja del Proyecto	152

ANEXOS

	PÁG
Anexo A. Variables del PLC de Planta Vasos	161
Anexo B. Asignación de Direcciones	163
Anexo C. Descripción de Archivos de Programa	167
Anexo D. Costo del Proyecto	170
Anexo E. Tableros	173
Anexo F. Diagrama de Control de las Bombas	176
Anexo G. Descripción de Bornes	183
Anexo H. Descripción de Entradas y Salidas del PLC	186
Anexo J. Programación del PLC	196
Anexo K. Configuración del Factory Link	205
Anexo L. Diagrama de Procesos	213
Anexo M. Plano P&D	217
Anexo N. Rutas de Cableado Instrumentos	219
Anexo Ñ. Diagrama de Control Compresor	221

Anexo P. Diagrama de Control Caldera	223
Anexo Q. Secador Delta	225
Anexo R. Diagrama Alambrado Tablero	227

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. NOMBRE Y LOCALIZACIÓN

La empresa AMBAR S. A. Fue constituida en 1.992. Está ubicada en el sector Mamonal, Km. 11 de la ciudad de Cartagena de Indias.

1.2. OBJETO SOCIAL

Esta empresa se dedica a la fabricación, importación y exportación de películas flexibles de PVC, vasos de espuma, tanques y láminas.

1.3. RESEÑA HISTORICA

La empresa en sus inicios fue constituida como maquila de Ajoover S.A, en cuanto a la fabricación de película flexible de PVC.

Actualmente, está conformada por varias plantas de procesamiento de plásticos de diferente naturaleza.

1.3.1. Planta de Película. Creada en el año de 1992, se dedica a la fabricación de película flexible transparente, utilizada para el recubrimiento de alimentos y envoltura de diversos productos (Wrap).

Inicialmente contaba con una línea de producción de película termoextendible (Stretch) y una línea de película termoencogible (Shrink).

La materia prima esencial en esta planta, la constituye el policloruro de vinilo (PVC), mezclado con líquidos plastificantes que le imparten propiedades específicas como brillo, transparencia, adherencia y facilidades de procesabilidad entre otras.

1.3.2. Planta de Vasos. Creada en 1994, centra su actividad en la fabricación de vasos de espuma con capacidades entre 3 y 32 onzas a partir del procesamiento de poliestireno expandido y tapas plásticas de polietileno.

En sus inicios, contaba con cinco máquinas moldeadoras de vasos, las cuales para su operación necesitan del suministro de aire comprimido para el accionamiento de los cilindros neumáticos, vapor sobrecalentado para la fusión del poliestireno, agua fría para la refrigeración de los moldes.

Actualmente tiene 35 máquinas y se planean varios proyectos de ampliación de las capacidades de producción.

1.3.3. Planta de Rotomoldeo. Es una planta creada en 1995, y se dedica a la fabricación de tanques plásticos para almacenamiento de agua, con capacidades entre 450 y 5000 litros. También produce barreras u hormigones plásticos utilizados como divisores de carriles en las carreteras, estibas para transporte y manejo de arrumes de materiales (pallets), contenedores con ruedas de 450 y 650 litros de capacidad.

La materia prima básica es también el polietileno.

1.3.4. Planta de Láminas. Se dedica a la fabricación de láminas de polietileno utilizadas como elementos decorativos en divisiones para baño, difusores para lámparas instaladas en cielos rasos, etc.

En el año de 1998, Ámbar S.A recibió la certificación ISO 9002, en lo referente a la producción, venta y comercialización de productos.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1. SITUACIÓN INICIAL

En la planta de fabricación de vasos se observan inicialmente los siguientes problemas:

- ◆ Gasto de energía innecesaria en la operación continua de equipos.
- ◆ Falta de instrumentos necesarios para determinar los valores de las variables.
- ◆ Registro de variables deficiente.
- ◆ Imposibilidad de realizar seguimiento descriptivo de los valores de las variables. (Análisis de tendencias).
- ◆ Pérdida de materia prima por paradas de planta no programadas.
- ◆ Atraso en la elaboración de las órdenes de producción de los productos.

- ◆ Falta de programas efectivos de mantenimiento preventivo de los equipos.
- ◆ Falta de tiempo de reacción de los operadores para la solución de los problemas.

El desarrollo del proyecto estuvo orientado a satisfacer las necesidades del departamento de producción respecto a solucionar todos estos problemas.

2.2. EVALUACIÓN ELECTRICA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA

El suministro de energía para el circuito de control diseñado, está provisto desde el centro de control de motores (MCC) de vasos.

El tablero de distribución principal es alimentado desde la subestación de la planta de rotomoldeo a través de un cable de 600 MCM y es protegido por un totalizador de 500 A. Ver descripción de las cargas de la figura 1.

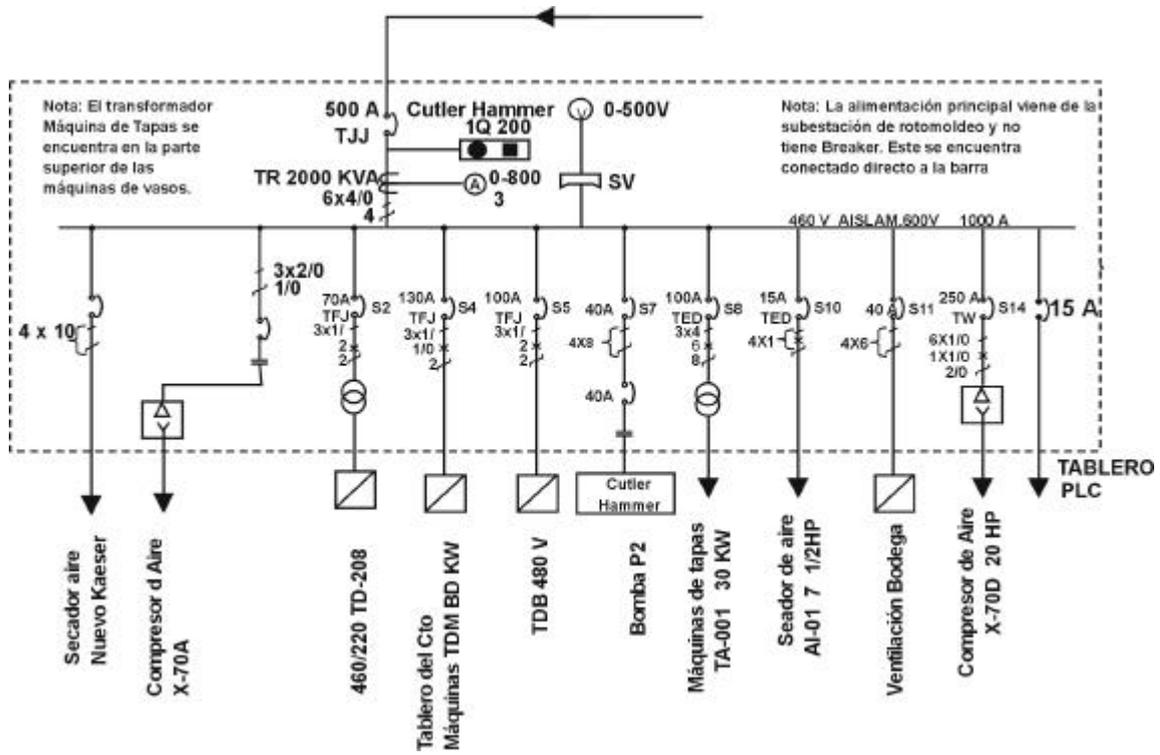


Figura 1. Tablero de Distribución Principal

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

2.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS

2.1.1. Materia Prima. La materia prima para la fabricación de vasos es el poliestireno.

3.1.1.1. Historia del Poliestireno. El poliestireno expansible fue desarrollado entre 1920 y 1930 en Alemania. Después de la recuperación de la 2da Guerra Mundial, comenzaron a fabricar la espuma de poliestireno con gran éxito comercial debido a que resultó ser un magnífico material impacto, así como aislante térmico y acústico, por lo que con el tiempo se le reconoció como un excelente material para empaçar, proteger y aislar térmicamente.

En 1965 se empezó a procesar en México la espuma de poliestireno.

3.1.1.2. Poliestireno Expansible. El poliestireno expansible es obtenido por la polimerización del monómero de estireno durante el cual se le agregan aditivos y agentes expansores, principalmente pentano.

Tanto el monómero de estireno como el pentano, son hidrocarburos puros derivados del petróleo y están constituidos solamente por hidrógeno y carbono.

Por su bajo peso y bajo factor de conductividad térmica es usado principalmente

como aislante en la industria de la construcción y como material de embalaje por su ligereza y excelente poder amortiguador de impactos, entre otras muchas aplicaciones.

3.1.1.3. Sistemas de Distribución de Poliestireno. Para la fabricación de vasos se utiliza como materia prima el poliestireno, el cual es distribuido a las máquinas moldeadoras, a través de un sistema de tuberías en anillo de 2 ½" de diámetro (cabezal).

2.1.2. Proceso de Moldeado de Vasos. El producto es sometido a una temperatura de 90 °C para fundirlo; Luego es inyectado en los moldes, cuidando de mantener constante la temperatura para desmoldar los vasos. Posteriormente se enfrían con agua y se inyecta aire para desprender los vasos de los moldes. Después de moldeado, los vasos son transportados por un ducto impulsados por aire desde un blower y se depositan en el área de empaque.

Para la operación de la máquina moldeadora de vasos, se requiere del suministro de agua a una temperatura entre 35 – 40 °C, de vapor sobrecalentado a una presión de 80 psig y de aire comprimido a 120 psig.



Figura 2. Fotografía de los Productos Terminados de la Planta de Vasos

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE UTILIDADES

En general el proceso de fabricación de vasos plásticos en ÁMBAR S. A., exige el suministro controlado de ciertos servicios auxiliares que hacen posibles la transformación física de la materia prima en producto terminado.

El conjunto de los insumos indirectos que son requeridos como energía eléctrica, aire comprimido, vapor sobrecalentado, agua fría, gas natural, etc. se conoce como sistema de utilidades de la planta y es necesario realizar sobre éste un estricto control y seguimiento para que el elemento principal del proceso (máquina moldeadora de vasos), cumpla satisfactoriamente con las funciones propias de inyección y moldeo.

El sistema de utilidades de la planta de vasos puede describirse en términos generales como la interrelación entre varios subsistemas como se ilustra en el diagrama de la figura 3.

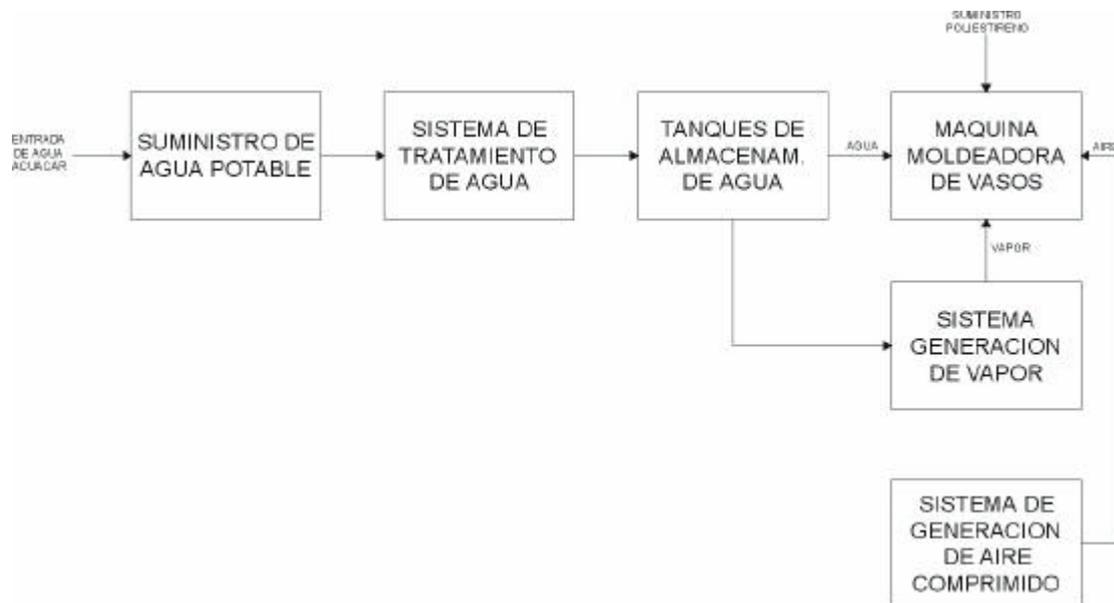


Figura 3. Diagrama de Bloques del Proceso del Sistema de Utilidades

2.2.1. Sistema de Generación de Aire Comprimido. Esta conformado por un banco de compresores centrífugos lubricados. En el cabezal de aire comprimido la presión del aire no puede ser menor de 100 psig, además el aire que entre a los compresores debe estar libre de humedad, para esto tiene un sistema de secadores de aire.

En el anexo Ñ se encuentra diagrama de control del compresor.

♦ **Sistema de Secadores de Aire.** En la planta, las máquinas moldeadoras requieren del suministro de aire comprimido seco para garantizar la correcta

operación de los cilindros neumáticos, por tanto, existen dos secadores que tienen la función de quitar la humedad del aire generado en los compresores.

El principio de funcionamiento de los secadores es como sigue:

Los secadores de aire comprimido usan enfriamiento por refrigeración para condensar la humedad presente en la corriente de aire del proceso. Está conformado por dos circuitos: El circuito del refrigerante (amoniaco) y el circuito del aire comprimido que irá hacia el proceso.

El circuito del refrigerante está constituido por un compresor, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión térmica.

El circuito de aire comprimido está conformado por un tanque que aloja un intercambiador térmico aire – aire donde ocurre la transferencia de calor entre el aire comprimido y el refrigerante, el enfriamiento condensa la humedad arrastrada.

El condensado se elimina de la corriente de aire por un separador a gravedad y se descarga a través de una válvula de drenaje automática, ver figura 4.

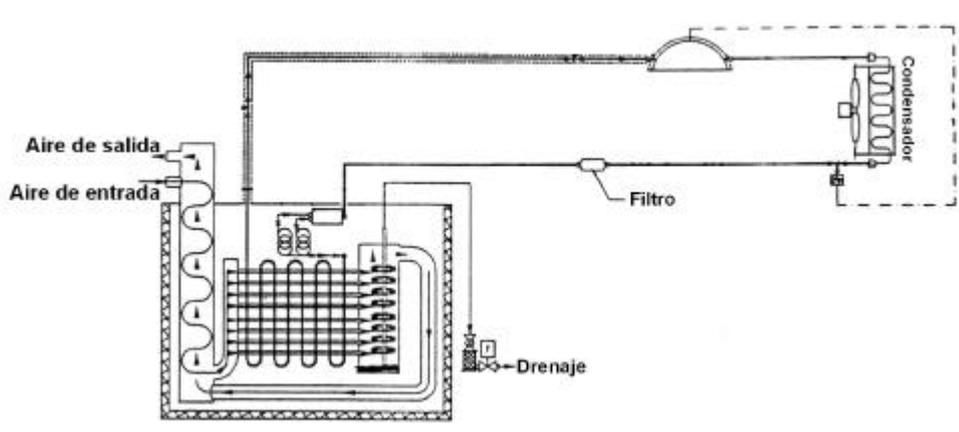


Figura 4. Diagrama Secador de Aire

♦ **Las Especificaciones de los Secadores son:**

- Secador X – 70 D

Marca Ingersoll – Rand, modelo TM 800 (Termal Mass), Presión es de 225 psi, voltaje de 460 Vac, frecuencia 60 Hz, potencia de compresor de 4.5 Hp, potencia del ventilador ¼ Hp.

- Secador X – 70 A

Marca Kaiser modelo KRD 680, Presión es de 220 psi, voltaje de 460 Vac, frecuencia 60 Hz, potencia de compresor de 5 Hp, potencia del ventilador ¼ Hp.

En los anexos Q y R se muestra el diagrama de control del secador y diagrama del alambrado del tablero del mismo.

2.2.2. Sistema de Generación de Vapor.

◆ **Caldera.** Este equipo es utilizado para generar vapor a partir de la evaporación de agua con un tratamiento adecuado, mediante la combustión de gas natural. Está conformada por las siguientes partes:

1. El horno, donde se quema el combustible y del cual se transmite el calor de las superficies de calentamiento.
2. La caldera propiamente, consiste en un cilindro cerrado capaz de soportar y mantener altas presiones y que al iniciarse el proceso de evaporación contiene agua de la cual genera el vapor. Contiene un conjunto de colectores conectados por tubos a través de los cuales circulan los gases de la combustión transfiriendo su energía térmica.
3. La caja de humo, a través de la cual pasan los gases de la combustión después de entregar su calor, al agua, se dirige luego a la chimenea y a la atmósfera.
4. Las tuberías interiores y conexiones exteriores, a través de las cuales se suministra el agua de alimentación.
5. Válvula de control de combustible. Controla la cantidad de combustible entregado a la caldera de acuerdo a la señal del modulador.

6. Válvula de relación de combustible – aire. Aquella que regula la cantidad de aire de entrada para mantener la mezcla de combustible y aire.
7. Blower. Encargado de succionar aire del ambiente e inyectarlo al interior de la caldera.
8. Modulador. Equipo encargado de controlar el consumo de combustible de acuerdo a la presión de vapor a la salida de la caldera.

◆ **Especificaciones de la caldera.** Tiene una capacidad de 200 BHP, 150 psig y está alimentada con gas natural. Tiene a su salida de vapor una válvula reductora de presión de 110 a 85 psig, para suministrar vapor ligeramente sobrecalentado al cabezal de todas las máquinas de vasos.

El anexo P muestra el diagrama de control de la caldera.

2.2.3. Sistema de Distribución de Agua. El tanque de agua (TK6) con una capacidad de almacenamiento de 5 metros cúbicos con control de nivel tipo flotador; En esta etapa inicial, el agua contiene cierta cantidad de impurezas que pueden ocasionar deterioro de las tuberías por corrosión, fricción con partículas sólidas y problemas de calidad en la máquina de vasos.

- **Tanques de Almacenamiento** En el área se encuentran tres tanques con capacidad de 3.3 metros cúbicos, independientes para almacenar agua, que debido al proceso se mantienen en temperaturas diferentes; Se denominan

TK1(tanque de agua caliente), TK2 (tanque de agua tibia) y TK3 (tanque de agua fría).

La temperatura de TK1 es aproximadamente de 80 °C en proceso estable y alimenta el sistema de generación de vapor (caldera); Además dispone de un retorno de agua caliente que proviene de la máquina de vasos. Este tanque debe mantenerse a un nivel de 1.4 metros de altura. En operación normal este tanque rebosa al tanque TK2.

Al tanque de agua tibia (TK2) llega directamente el agua suavizada. Este se debe mantener a una altura de 1.0 metros y temperatura de 45 °C; Tiene un control de alto nivel de 1.5 metros y de bajo nivel de 0.5 metros. El tanque tiene una alarma de bajo nivel, cuando es menor de 0.5 metros y de alto nivel cuando el nivel es mayor de 1.5 metros. Se tiene una indicación de temperatura.

El agua almacenada en este tanque circula a través de la torre de enfriamiento de vasos (E1) y la deposita al tanque TK3.

El tanque de agua fría (TK3) debe mantenerse a un nivel de 1.4 m de altura. Debe tener una alarma de bajo nivel, cuando es menor de 0.5 m. En operación normal, este tanque rebosa al tanque TK2. Debe mantener la temperatura entre 35 y 40 °C. El sistema de distribución de agua fría desde el tanque TK3 a las máquinas moldeadoras está conformado por una tubería recta de 4" de

diámetro y un anillo hecho de tubería de 4" del que sale una derivación de ¾" a cada máquina. Este sistema de distribución tiene una longitud de 85 metros.

- **Torre de Enfriamiento.** Es un equipo para enfriamiento de agua conformado por un ventilador asociado a un variador de velocidad, y un controlador de temperatura, que tiene la función de mantener constante la temperatura del agua proveniente de los rociadores, de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente. El agua a una temperatura de 32 °C, es enviada al tanque de agua fría (TK3).

Las bombas son las encargadas de mandar el agua de un tanque a otro estas son:

Bomba P9: Marca Siemens de 9 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 11.3 Amp, 3.600 rpm, caudal de 126 Pm.

Bomba P2 A/B: Marca Siemens de 50 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 62 Amp, 3.535 rpm.

Bomba P4 A/B: Marca Siemens de 20 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 26.5 Amp, 1700 rpm.

Bomba P5 A/B: Marca Siemens de 3.6 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 5.4 Amp, 3.450rpm.

Bomba P8: Marca Siemens de 12 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 9.4 Amp, 1750 rpm.

En el anexo F se muestra los diagramas de control de las bombas P5A, P5B, P9.

2.2.4. Sistema de Tratamiento de Agua. Uno de los aspectos más importantes de la planta de vasos, lo constituye el constante monitoreo de la calidad del agua del proceso, debido a que afecta notablemente la eficiencia del proceso de transporte a través de tuberías, la eficiencia y condiciones de seguridad de la caldera y el estado y buen funcionamiento de las máquinas moldeadoras.

Teniendo en cuenta que uno de los equipos más importantes del proceso es el generador de vapor o caldera, se tiene implementado en la planta un programa de tratamiento de agua para reducir los riesgos de falla.

Objetivos del Tratamiento de Agua.

- ◆ Prevención de formación de incrustaciones o depósitos.
- ◆ Desaireación o remoción de gases disueltos.
- ◆ Protección contra la corrosión.
- ◆ Eliminación de arrastres.
- ◆ Precauciones contra fragilidad cáustica.
- ◆ Eliminación de paradas innecesarias por fallas relativas al agua de caldera.
- ◆ Mantenimiento de la operación eficiente sin pérdidas de combustibles por reducción de los coeficientes de transferencia de calor.

Los aspectos a tener en cuenta en el programa de tratamiento de agua son los siguientes:

1. Dureza: Se refiere a la cantidad total de las más comunes incrustaciones de sales que se encuentran en el agua. La tabla siguiente muestra una clasificación del agua con relación a su dureza:

Cuadro 1. Clasificación del Agua con Relación a la Dureza

DUREZA (ppm CaCO₃)	CLASIFICACIÓN
Menor de 15	Muy suave
15 – 50	Suave
51 – 100	Dureza media
101 – 200	Dura
Mayor de 200	Alta dureza

Los constituyentes más comunes del agua que afectan su dureza son los siguientes:

- 1.1. Incrustantes: Son materias insolubles que se depositan formando incrustaciones o costras duras en la superficie de los equipos, como la sílice, óxidos de hierro y aluminio, iones de calcio y de magnesio.
- 1.2. Solubles: Materias solubles disueltas en el agua que bajo condiciones normales de temperatura y presión no se precipitan pero que pueden hacerlo en altas concentraciones. Por ejemplo el cloruro de sodio.
- 1.3. Corrosivos: Materiales que pueden causar ataques destructivos a las superficies metálicas. Se incluyen ácidos, sulfatos de hierro y aluminio, cloruros y nitratos, y gases como el oxígeno disuelto o dióxido de carbono.

1.4. Espumantes: Aquellas sustancias que promueven la formación de burbujas durante la formación de vapor, y al ocupar el espacio de éste, ocasiona que exista una inapropiada separación del vapor en la superficie del agua, presentándose un arrastre de estas burbujas que producen a su vez la presencia de sales en el vapor.

2. Sólidos en el agua.

2.1. Sólidos en suspensión: Estos constituyen una medida gravimétrica de la materia no disuelta en el agua, que origina taponamiento en las líneas y depósitos en la caldera y equipos de intercambio de calor. La concentración máxima permisible es de 100 ppm.

2.2. Sólidos disueltos: Constituyen una medida de la cantidad total de materia disuelta, determinable por evaporación.

3. PH del agua. Denota el grado de acidez o alcalinidad del agua y es utilizado para evaluar la posibilidad de ocurrencia de corrosión y formación de depósito. El valor de PH del agua de alimentación se fija en un rango entre 7.5 y 9.5.

En el anexo M se describe el proceso y la distribución del sistema de utilidades.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

3.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE VASOS

3.1.1. Materia Prima. La materia prima para la fabricación de vasos es el poliestireno.

3.1.1.1. Historia del Poliestireno. El poliestireno expansible fue desarrollado entre 1920 y 1930 en Alemania. Después de la recuperación de la 2da Guerra Mundial, comenzaron a fabricar la espuma de poliestireno con gran éxito comercial debido a que resultó ser un magnífico material impacto, así como aislante térmico y acústico, por lo que con el tiempo se le reconoció como un excelente material para empacar, proteger y aislar térmicamente.

En 1965 se empezó a procesar en México la espuma de poliestireno.

3.1.1.2. Poliestireno Expansible. El poliestireno expansible es obtenido por la polimerización del monómero de estireno durante el cual se le agregan aditivos y agentes expansores, principalmente pentano.

Tanto el monómero de estireno como el pentano, son hidrocarburos puros derivados del petróleo y están constituidos solamente por hidrógeno y carbono.

Por su bajo peso y bajo factor de conductividad térmica es usado principalmente como aislante en la industria de la construcción y como material de embalaje por su ligereza y excelente poder amortiguador de impactos, entre otras muchas aplicaciones.

3.1.1.3. Sistemas de Distribución de Poliestireno. Para la fabricación de vasos se utiliza como materia prima el poliestireno, el cual es distribuido a las máquinas moldeadoras, a través de un sistema de tuberías en anillo de 2 ½" de diámetro (cabezal).

3.1.2. Proceso de Moldeado de Vasos. El producto es sometido a una temperatura de 90 °C para fundirlo; Luego es inyectado en los moldes, cuidando de mantener constante la temperatura para desmoldar los vasos. Posteriormente se enfrían con agua y se inyecta aire para desprender los vasos de los moldes. Después de moldeado, los vasos son transportados por un ducto impulsados por aire desde un blower y se depositan en el área de empaque.

Para la operación de la máquina moldeadora de vasos, se requiere del suministro de agua a una temperatura entre 35 – 40 °C, de vapor sobrecalentado a una presión de 80 psig y de aire comprimido a 120 psig.



Figura 2. Fotografía de los Productos Terminados de la Planta de Vasos

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE UTILIDADES

En general el proceso de fabricación de vasos plásticos en ÁMBAR S. A., exige el suministro controlado de ciertos servicios auxiliares que hacen posibles la transformación física de la materia prima en producto terminado.

El conjunto de los insumos indirectos que son requeridos como energía eléctrica, aire comprimido, vapor sobrecalentado, agua fría, gas natural, etc. se conoce como sistema de utilidades de la planta y es necesario realizar sobre éste un estricto control y seguimiento para que el elemento principal del proceso (máquina moldeadora de vasos), cumpla satisfactoriamente con las funciones propias de inyección y moldeo.

El sistema de utilidades de la planta de vasos puede describirse en términos generales como la interrelación entre varios subsistemas como se ilustra en el diagrama de la figura 3.

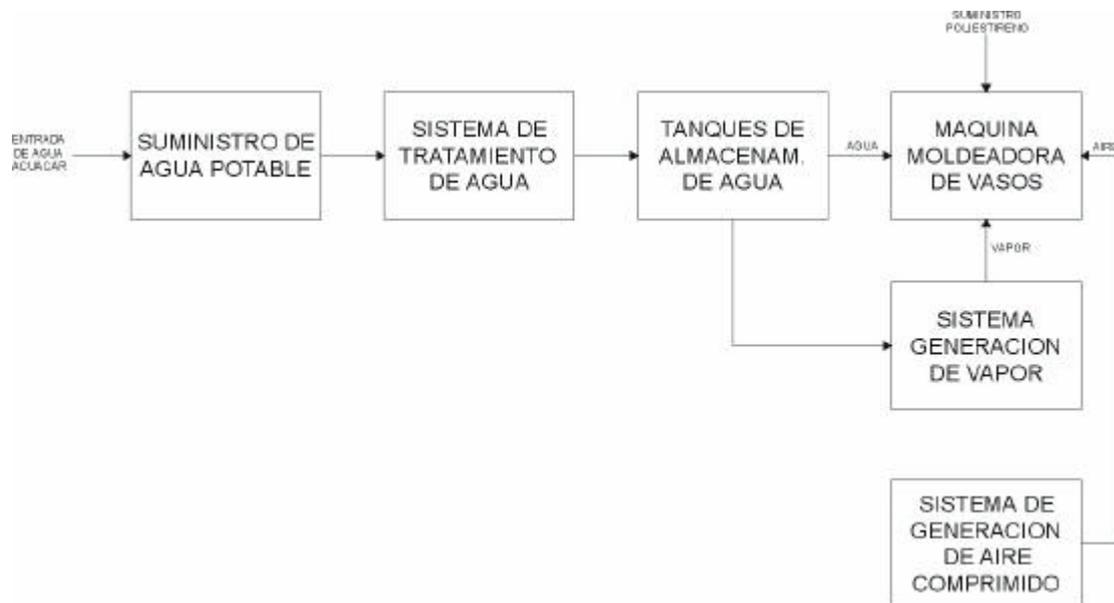


Figura 3. Diagrama de Bloques del Proceso del Sistema de Utilidades

3.2.1. Sistema de Generación de Aire Comprimido. Esta conformado por un banco de compresores centrífugos lubricados. En el cabezal de aire comprimido la presión del aire no puede ser menor de 100 psig, además el aire que entre a los compresores debe estar libre de humedad, para esto tiene un sistema de secadores de aire.

En el anexo Ñ se encuentra diagrama de control del compresor.

♦ **Sistema de Secadores de Aire.** En la planta, las máquinas moldeadoras requieren del suministro de aire comprimido seco para garantizar la correcta

operación de los cilindros neumáticos, por tanto, existen dos secadores que tienen la función de quitar la humedad del aire generado en los compresores.

El principio de funcionamiento de los secadores es como sigue:

Los secadores de aire comprimido usan enfriamiento por refrigeración para condensar la humedad presente en la corriente de aire del proceso. Está conformado por dos circuitos: El circuito del refrigerante (amoníaco) y el circuito del aire comprimido que irá hacia el proceso.

El circuito del refrigerante está constituido por un compresor, un condensador, un evaporador y una válvula de expansión térmica.

El circuito de aire comprimido está conformado por un tanque que aloja un intercambiador térmico aire – aire donde ocurre la transferencia de calor entre el aire comprimido y el refrigerante, el enfriamiento condensa la humedad arrastrada.

El condensado se elimina de la corriente de aire por un separador a gravedad y se descarga a través de una válvula de drenaje automática, ver figura 4.

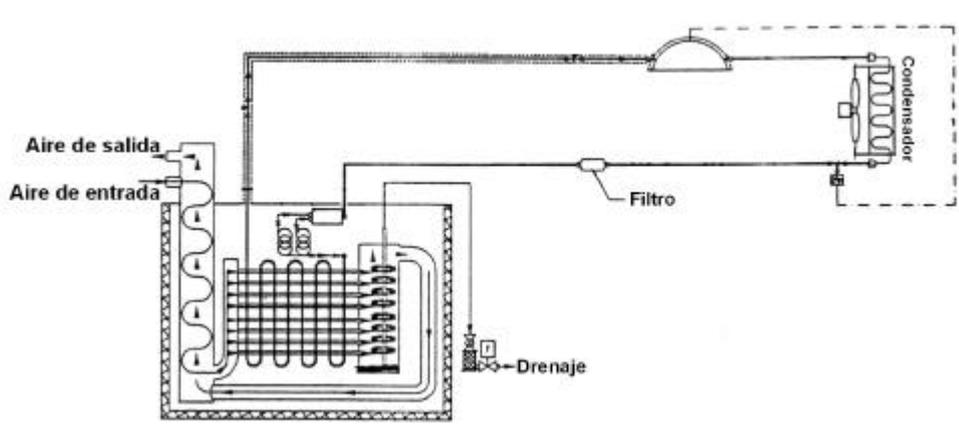


Figura 4. Diagrama Secador de Aire

♦ **Las Especificaciones de los Secadores son:**

- Secador X – 70 D

Marca Ingersoll – Rand, modelo TM 800 (Termal Mass), Presión es de 225 psi, voltaje de 460 Vac, frecuencia 60 Hz, potencia de compresor de 4.5 Hp, potencia del ventilador ¼ Hp.

- Secador X – 70 A

Marca Kaiser modelo KRD 680, Presión es de 220 psi, voltaje de 460 Vac, frecuencia 60 Hz, potencia de compresor de 5 Hp, potencia del ventilador ¼ Hp.

En los anexos Q y R se muestra el diagrama de control del secador y diagrama del alambrado del tablero del mismo.

3.2.2. Sistema de Generación de Vapor.

◆ **Caldera.** Este equipo es utilizado para generar vapor a partir de la evaporación de agua con un tratamiento adecuado, mediante la combustión de gas natural. Está conformada por las siguientes partes:

9. El horno, donde se quema el combustible y del cual se transmite el calor de las superficies de calentamiento.
10. La caldera propiamente, consiste en un cilindro cerrado capaz de soportar y mantener altas presiones y que al iniciarse el proceso de evaporación contiene agua de la cual genera el vapor. Contiene un conjunto de colectores conectados por tubos a través de los cuales circulan los gases de la combustión transfiriendo su energía térmica.
11. La caja de humo, a través de la cual pasan los gases de la combustión después de entregar su calor, al agua, se dirige luego a la chimenea y a la atmósfera.
12. Las tuberías interiores y conexiones exteriores, a través de las cuales se suministra el agua de alimentación.
13. Válvula de control de combustible. Controla la cantidad de combustible entregado a la caldera de acuerdo a la señal del modulador.

14. Válvula de relación de combustible – aire. Aquella que regula la cantidad de aire de entrada para mantener la mezcla de combustible y aire.

15. Blower. Encargado de succionar aire del ambiente e inyectarlo al interior de la caldera.

16. Modulador. Equipo encargado de controlar el consumo de combustible de acuerdo a la presión de vapor a la salida de la caldera.

◆ **Especificaciones de la caldera.** Tiene una capacidad de 200 BHP, 150 psig y está alimentada con gas natural. Tiene a su salida de vapor una válvula reductora de presión de 110 a 85 psig, para suministrar vapor ligeramente sobrecalentado al cabezal de todas las máquinas de vasos.

El anexo P muestra el diagrama de control de la caldera.

3.2.3. Sistema de Distribución de Agua. El tanque de agua (TK6) con una capacidad de almacenamiento de 5 metros cúbicos con control de nivel tipo flotador; En esta etapa inicial, el agua contiene cierta cantidad de impurezas que pueden ocasionar deterioro de las tuberías por corrosión, fricción con partículas sólidas y problemas de calidad en la máquina de vasos.

- **Tanques de Almacenamiento** En el área se encuentran tres tanques con capacidad de 3.3 metros cúbicos, independientes para almacenar agua, que debido al proceso se mantienen en temperaturas diferentes; Se denominan

TK1(tanque de agua caliente), TK2 (tanque de agua tibia) y TK3 (tanque de agua fría).

La temperatura de TK1 es aproximadamente de 80 °C en proceso estable y alimenta el sistema de generación de vapor (caldera); Además dispone de un retorno de agua caliente que proviene de la máquina de vasos. Este tanque debe mantenerse a un nivel de 1.4 metros de altura. En operación normal este tanque rebosa al tanque TK2.

Al tanque de agua tibia (TK2) llega directamente el agua suavizada. Este se debe mantener a una altura de 1.0 metros y temperatura de 45 °C; Tiene un control de alto nivel de 1.5 metros y de bajo nivel de 0.5 metros. El tanque tiene una alarma de bajo nivel, cuando es menor de 0.5 metros y de alto nivel cuando el nivel es mayor de 1.5 metros. Se tiene una indicación de temperatura.

El agua almacenada en este tanque circula a través de la torre de enfriamiento de vasos (E1) y la deposita al tanque TK3.

El tanque de agua fría (TK3) debe mantenerse a un nivel de 1.4 m de altura. Debe tener una alarma de bajo nivel, cuando es menor de 0.5 m. En operación normal, este tanque rebosa al tanque TK2. Debe mantener la temperatura entre 35 y 40 °C. El sistema de distribución de agua fría desde el tanque TK3 a las máquinas moldeadoras está conformado por una tubería recta de 4" de

diámetro y un anillo hecho de tubería de 4" del que sale una derivación de ¾" a cada máquina. Este sistema de distribución tiene una longitud de 85 metros.

- **Torre de Enfriamiento.** Es un equipo para enfriamiento de agua conformado por un ventilador asociado a un variador de velocidad, y un controlador de temperatura, que tiene la función de mantener constante la temperatura del agua proveniente de los rociadores, de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente. El agua a una temperatura de 32 °C, es enviada al tanque de agua fría (TK3).

Las bombas son las encargadas de mandar el agua de un tanque a otro estas son:

Bomba P9: Marca Siemens de 9 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 11.3 Amp, 3.600 rpm, caudal de 126 Pm.

Bomba P2 A/B: Marca Siemens de 50 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 62 Amp, 3.535 rpm.

Bomba P4 A/B: Marca Siemens de 20 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 26.5 Amp, 1700 rpm.

Bomba P5 A/B: Marca Siemens de 3.6 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 5.4 Amp, 3.450rpm.

Bomba P8: Marca Siemens de 12 hp de potencia, voltaje 460 Vac, corriente 9.4 Amp, 1750 rpm.

En el anexo F se muestra los diagramas de control de las bombas P5A, P5B, P9.

3.2.4. Sistema de Tratamiento de Agua. Uno de los aspectos más importantes de la planta de vasos, lo constituye el constante monitoreo de la calidad del agua del proceso, debido a que afecta notablemente la eficiencia del proceso de transporte a través de tuberías, la eficiencia y condiciones de seguridad de la caldera y el estado y buen funcionamiento de las máquinas moldeadoras.

Teniendo en cuenta que uno de los equipos más importantes del proceso es el generador de vapor o caldera, se tiene implementado en la planta un programa de tratamiento de agua para reducir los riesgos de falla.

Objetivos del Tratamiento de Agua.

- ◆ Prevención de formación de incrustaciones o depósitos.
- ◆ Desaireación o remoción de gases disueltos.
- ◆ Protección contra la corrosión.
- ◆ Eliminación de arrastres.
- ◆ Precauciones contra fragilidad cáustica.
- ◆ Eliminación de paradas innecesarias por fallas relativas al agua de caldera.
- ◆ Mantenimiento de la operación eficiente sin pérdidas de combustibles por reducción de los coeficientes de transferencia de calor.

Los aspectos a tener en cuenta en el programa de tratamiento de agua son los siguientes:

4. Dureza: Se refiere a la cantidad total de las más comunes incrustaciones de sales que se encuentran en el agua. La tabla siguiente muestra una clasificación del agua con relación a su dureza:

Cuadro 1. Clasificación del Agua con Relación a la Dureza

DUREZA (ppm CaCO₃)	CLASIFICACIÓN
Menor de 15	Muy suave
15 – 50	Suave
51 – 100	Dureza media
101 – 200	Dura
Mayor de 200	Alta dureza

Los constituyentes más comunes del agua que afectan su dureza son los siguientes:

- 4.1. Incrustantes: Son materias insolubles que se depositan formando incrustaciones o costras duras en la superficie de los equipos, como la sílice, óxidos de hierro y aluminio, iones de calcio y de magnesio.
- 4.2. Solubles: Materias solubles disueltas en el agua que bajo condiciones normales de temperatura y presión no se precipitan pero que pueden hacerlo en altas concentraciones. Por ejemplo el cloruro de sodio.
- 4.3. Corrosivos: Materiales que pueden causar ataques destructivos a las superficies metálicas. Se incluyen ácidos, sulfatos de hierro y aluminio, cloruros y nitratos, y gases como el oxígeno disuelto o dióxido de carbono.

4.4. Espumantes: Aquellas sustancias que promueven la formación de burbujas durante la formación de vapor, y al ocupar el espacio de éste, ocasiona que exista una inapropiada separación del vapor en la superficie del agua, presentándose un arrastre de estas burbujas que producen a su vez la presencia de sales en el vapor.

5. Sólidos en el agua.

5.1. Sólidos en suspensión: Estos constituyen una medida gravimétrica de la materia no disuelta en el agua, que origina taponamiento en las líneas y depósitos en la caldera y equipos de intercambio de calor. La concentración máxima permisible es de 100 ppm.

5.2. Sólidos disueltos: Constituyen una medida de la cantidad total de materia disuelta, determinable por evaporación.

6. PH del agua. Denota el grado de acidez o alcalinidad del agua y es utilizado para evaluar la posibilidad de ocurrencia de corrosión y formación de depósito. El valor de PH del agua de alimentación se fija en un rango entre 7.5 y 9.5.

En el anexo M se describe el proceso y la distribución del sistema de utilidades.

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPOS

4.1. TRANSMISORES DE PRESIÓN

4.1.1. Generalidades. Los transmisores de presión adquiridos para el proyecto son de tipo digital y tienen la denominación de inteligentes (Smart Transmitter), lo que indica que el dispositivo tiene incorporadas funciones adicionales que se añaden a las propias de la medida exclusiva de la variable. Estas funciones adicionales son proporcionadas por un microprocesador.

Básicamente estos transmisores son del tipo de semiconductores que aprovecha las propiedades eléctricas de los semiconductores al ser sometidos a tensiones. El modelo del semiconductor difundido está fabricado a partir de una delgada película de silicio y utiliza técnicas de dopaje para generar una zona sensible a los esfuerzos mecánicos. Se comporta como un circuito dinámico de puente de Wheatstone aplicable a la medida de presión, presión diferencial y nivel, formados por una pastilla de silicio difundido en el que se hallan embebidas las resistencias R_A , R_B , R_C , R_D del puente.

El desequilibrio del puente originados por los cambios en la variable, da lugar a una señal de salida de 4 – 20 mA C.C.

De acuerdo a la figura No 5, cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2 son iguales, y al aplicar la presión del proceso, R_B y R_C disminuyen su resistencia y R_A

y R_D la aumentan, dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 .

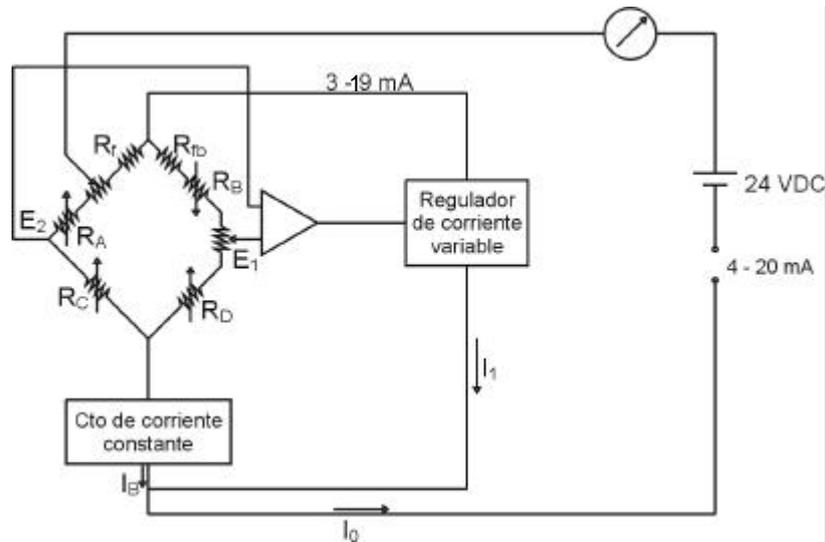


Figura 5. Esquema de Funcionamiento del Transmisor

Estas diferencias se aplican a un amplificador de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA C.C. con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA C.C. Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} , y eleva E_1 a una tensión equivalente a E_2 y equilibra nuevamente el puente.

Como la caída de tensión producida a través de R_{fb} es proporcional a R_{2b} , esta resistencia fija el rango de medida (SPAN) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho del puente (cero fino).

El microprocesador compensa las no linealidades de los elementos o sensores, convierte las señales analógicas a impulsos y calcula mediante datos prefijados de fábrica y almacenados en su memoria, a un valor digital de salida que es transformado posteriormente a la señal de salida analógica de 4 – 20 mA.

4.1.2. Almacenamiento de Datos. Los datos de la configuración son almacenados en la memoria de EEPROM, no volátil en el módulo electrónico del transmisor. Los datos son almacenados aún cuando se presenten interrupciones en la alimentación eléctrica.

4.1.3. Comunicaciones. Estos transmisores pueden ser configurados utilizando un terminal de programación o comunicador basado en el protocolo de comunicación HART (High Way – Adresseable – Remote – Transducer) desarrollado por Rosemount. Este protocolo agrupa la información digital sobre la señal digital sobre la señal analógica clásica de 4 – 20 mA C.C.

La señal digital, usa dos frecuencias individuales, 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 (ver figura 6) y que forman una onda senoidal que se superpone sobre el lazo de corriente de 4 – 20 mA C.C. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente C.C. a la señal analógica de 4 – 20 mA.

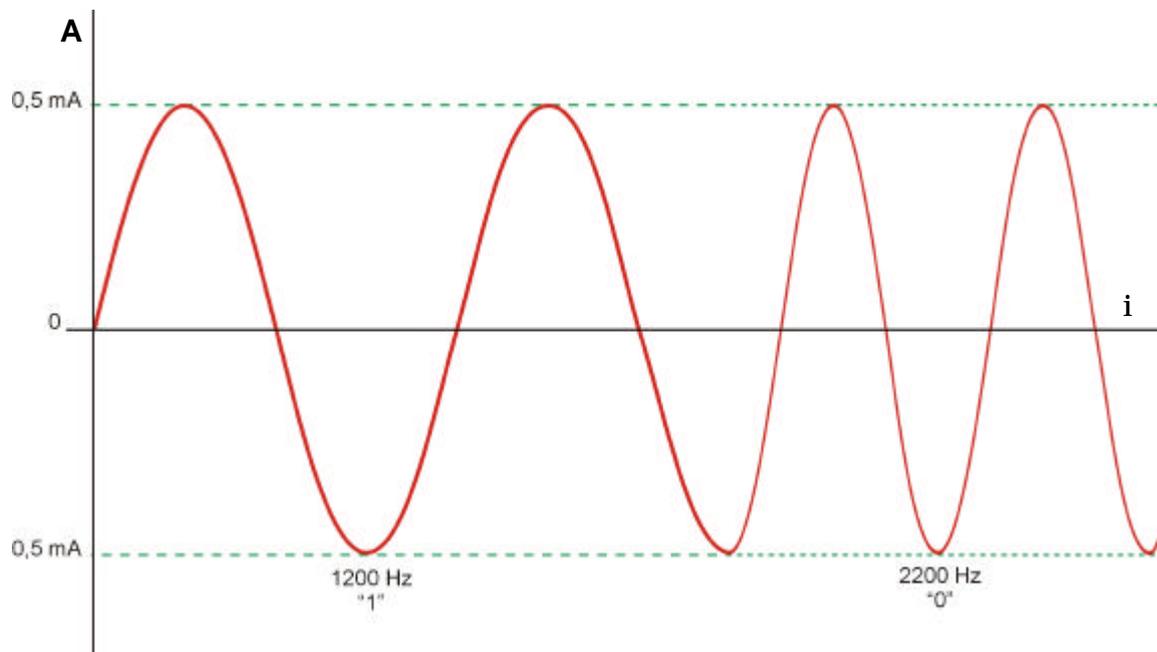


Figura 6. Onda Senoidal

El protocolo HART permite soportar hasta 256 variables, y todos los transmisores pueden conectarse entre si a través de un bus de campo.

4.1.4. Configuración. La configuración se realiza con el comunicador HART en dos etapas:

5. Ajustes de parámetros operacionales:

5.1.1. Ajustes de cero.

5.1.2. Ajustes del alcance.

5.1.3. Ajustes DAMPING.

5.1.4. Selección de la unidad de ingeniería.

6. Datos de identificación:

6.1.1. Tag (nombre de identificación del proceso).

6.1.2. Descripción.

6.1.3. Mensaje.

6.1.4. Fecha de configuración.

4.2. PRESÓSTATO

4.2.1. Generalidades. También recibe la denominación de switch de presión. Es un dispositivo mecánico capaz de conmutar unos contactos cuando en su conexión con el proceso detecta un valor determinado de presión. Está conformado por un diafragma, un sistema mecánico de fuelles y un par de contactos eléctricos. El sistema de contactos, dispone de función de ruptura brusca. El fuelle reacciona cuando se han alcanzado los valores de conexión/desconexión. El fuelle está en contacto con las variaciones de presión del sistema, a través de una toma de presión.

Este presóstato se utiliza para sistemas de regulación, monitoreo y alarma en el proceso, para medios líquidos y gaseosos.

Los presóstatos están provistos de un conmutador inversor unipolar (SPDT). El conmutador funciona de acuerdo con el ajuste del presóstato y de la presión presente en la conexión de entrada. Tienen asociados otro fuelle para ajuste de la banda diferencial.

Este dispositivo posee un rearme automático, es decir, se ponen de nuevo en marcha automáticamente después de una parada.

4.2.2. Ventajas

- Amplia gama de regulación.
- Se puede utilizar para bombas y compresores.
- Pequeñas dimensiones Ahorra espacio y es sencillo de montar en paneles.
- Seguro contra vibraciones y golpes.
- Tiempos de disparo ultracortos. Limita el desgaste al mínimo absoluto y aumenta la fiabilidad.
- La conexión eléctrica se efectúa por la parte delantera del aparato. Esto facilita el montaje en batería y ahorra espacio.
- Adecuados para C.A y C.C.
- Entradas de cable de 6 -14 mm de diámetro.

- Las entradas de cable son sencillas de cambiar por entradas estándar roscadas.

4.3. SWITCH DE NIVEL

Generalidades. El switch de nivel que utiliza el tanque TK2 es de tipo ultrasónico y tiene función doble, detección de condiciones de alto y bajo nivel.

Un switch ultrasónico es un dispositivo que usa el sonido inaudible de alta frecuencia (ultrasonido), para detectar la presencia o ausencia de un líquido en un punto determinado de un tanque o tubería del proceso. El dispositivo consiste en una unidad electrónica y un sensor.

Los switches de nivel ultrasónicos usan los principios de transmisión de sonidos en el vapor y líquidos para detectar el nivel. Cuando los sonidos viajan en el aire, se tiene pérdida de la potencia de la señal. Cuando viaja en el líquido, es mínima la pérdida de potencia de la señal.

Para detectar el nivel de líquido, se debe determinar primero si hay un líquido o gas (el aire) en la cavidad, debido a que todos los líquidos tienen una densidad superior que el aire y es más fácil transmitir el sonido a través de un líquido que a través de un gas. Limitando la cantidad de energía usada para excitar el transductor, se transmite el ultrasonido a través de un líquido, pero no tiene

suficiente energía para transmitir a través del aire. El término atenuación se usa para describir el efecto de pérdida de la energía ultrasónica cuando se transmite a través de un gas. En otros términos, en un switch ultrasónico, la energía sonora se atenúa en el aire.

El sensor del switch ultrasónico contiene dos discos cerámicos piezo-eléctricos que tienen la habilidad de convertir la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Cuando la energía eléctrica se aplica a los transductores, ellos se comprimen; cuando se corta la corriente, se expanden. Estas compresiones y expansiones, ejecutadas a una alta de velocidad, producen energía mecánica en forma de vibración. Un switch de nivel ultrasónico tiene transductores que vibran a una alta frecuencia (aproximadamente 1MHz).

La figura 7 muestra dos sensores conformados por dos partes, un transmisor y un receptor. Una señal electrónica es enviada al transmisor, mientras causa una vibración para transmitir el sonido. La energía ultrasónica viaja a través del líquido en la cavidad hasta el receptor, causando una vibración que crea una fuerte señal electrónica. Esta señal fluye a un circuito detector y causa la salida para indicar la presencia de nivel. Cuando el líquido deja la cavidad, la cantidad de energía sensada por el transductor receptor disminuye y reduce la fuerza de la señal electrónica enviada al circuito detector. Esta disminución en la fuerza de la señal causa la salida para indicar la ausencia de líquido en la cavidad.

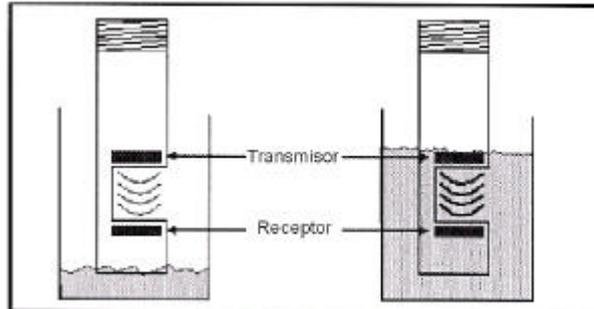


Figura 7. Esquemas del Funcionamiento de los Transductores de Nivel

4.4. TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Los detectores de temperatura resistivos (RTD) son sensores pasivos de tipo analógicos basados en el cambio de resistencia como una función de la temperatura eléctrica de ciertos metales como el platino, níquel y cobre.

El elemento de detección (sonda) consiste en un arrollamiento de hilo muy fino de platino, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de cerámica.

El material que conforma el conductor se caracteriza por su **COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA** que impulsa a una temperatura especificada,

la variación de resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia la temperatura.

La ecuación que expresa el comportamiento de las sondas con las temperaturas es:

$$R = R_0 [1 + \alpha T]$$

Donde R = Resistencia de la sonda

α = Coeficiente térmico de resistencia.

T = Temperatura de la sonda

Las sondas industriales se construyen generalmente a base de platino, cuyo coeficiente térmico es de $0.00385 \Omega/\Omega \cdot ^\circ\text{C}$. Estas sondas tienen un valor nominal de 100Ω a 0°C (Pt100).

Las sondas Pt100 son aptas como sensores para un amplio margen de temperaturas que va desde -250°C hasta 850°C y una buena linealidad entre -200°C y 500°C .

Las bobinas que llevan arrollado el hilo de resistencia, están encapsuladas y situadas dentro de un tubo de protección o vaina de material resistente al fluido de proceso (en este caso, acero inoxidable 316). Ver figura 8.

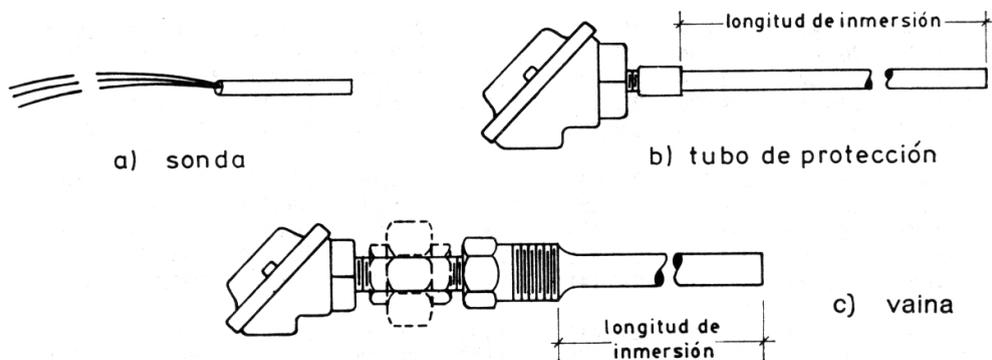


Figura 8. Tipos de Sondas de Resistencia.

Debido a que las termorresistencia son elementos pasivos, se requiere una alimentación externa para suministrar una señal variable según la temperatura a que se encuentre sometida.

Esta alimentación consiste en la tensión medida en las en una rama de un puente de Wheatstone, con la Pt100 colocada en una rama. Por consiguiente, la tensión de desequilibrio entre ramas da una indicación de la temperatura (ver figura 10).

En la figura 9 se muestra una gráfica de resistencia, en función de la temperatura.

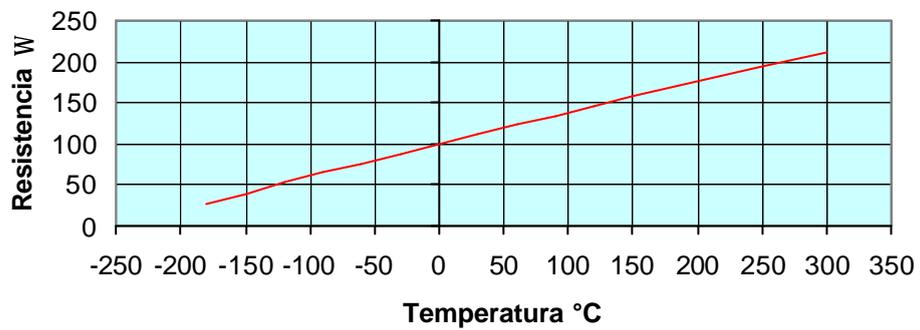


Figura 9. Gráfica Resistencia - Temperatura

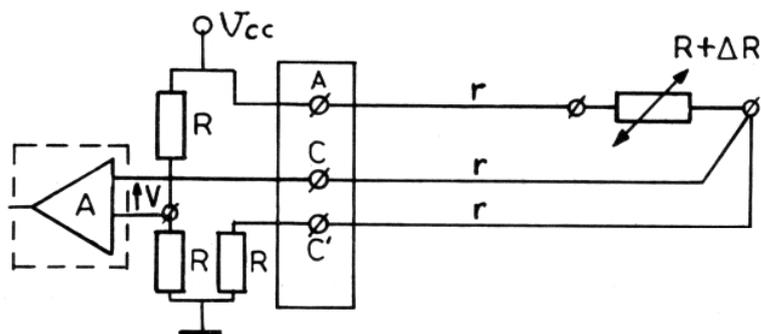


Figura 10. Conexión de Pt100 A Tres Hilos.

4.5. VARIADORES DE VELOCIDAD

La planta de fabricación de vasos cuenta con tres variadores de velocidad marca CUTLER-HAMMER serie SV9000 para controlar la operación de bombas P2 A/B, P4 A/B y para el ventilador de la torre de enfriamiento.

4.5.1. Principios de Funcionamiento. Los variadores de velocidad VARIADOR (Adjustable Frequency Drive) utilizan la técnica de modulación de ancho de pulso que consiste en un controlar la frecuencia y el voltaje de la energía que se entrega al motor, este accionamiento en lazo abierto sin realimentación de velocidad del rotor en aplicaciones de control de ventiladores y bombas.

En general los variadores de velocidad AC (A.C. Drive) manejan motores de inducción jaula de ardilla diseño B NEMA, con voltajes nominales de 220 y 460 V, 3 fases de operación a 60 Hz.

El variador es esencialmente una unidad de conversión de energía de estado sólido que recibe una potencia de entrada a 480 V, 3f, 60 Hz y proporciona potencia al motor con tensión y frecuencia variable.

El variador regula el voltaje de salida para entregar una relación constante tensión frecuencia de salida para entregar una relación constante Tensión/Frecuencia como es requerido por las características y comportamiento de los motores AC, para evitar saturación del núcleo magnético y sus correspondientes recalentamientos.

En la figura 11 se muestra un diagrama de bloque de un variador PWM y en la figura 12 la forma de onda de corriente y voltajes típicos.

La velocidad real de operación es la velocidad síncrona menos el deslizamiento. El deslizamiento es típicamente 3% de la velocidad base para un motor de diseño B.

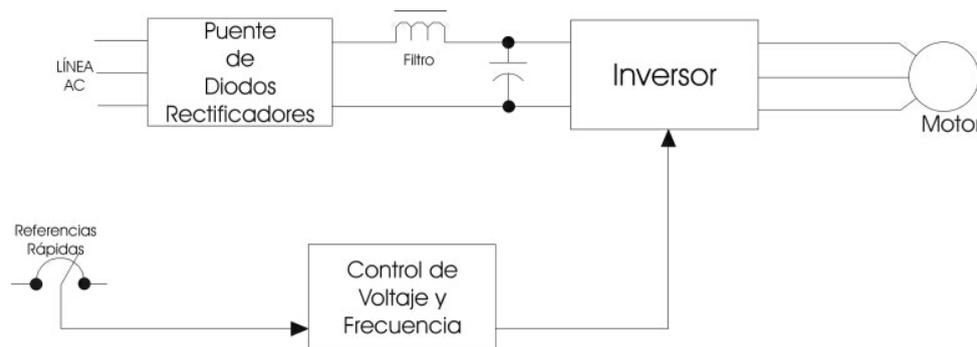


Figura 11. Diagrama de Bloque Para un Típico Drive PWM

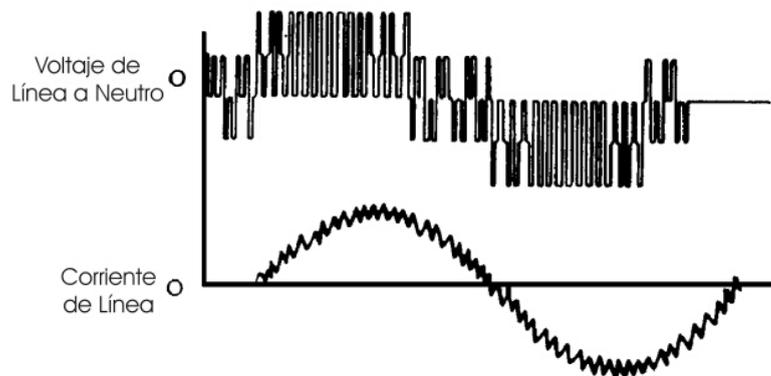


Figura 12. Forma de Ondas de un Típico PWM

4.5.2. Curvas de Momento de Torsión – Velocidad. La velocidad operación de un motor del AC es determinada por la frecuencia de la fuente de poder y el número de polos creada por los bobinados del estator. Figura 13 muestra la curva de torsión - velocidad para un motor de diseño B NEMA normal. La no carga, o la velocidad síncrona se da por:

$$\text{rpm síncrono} = \frac{120 \times \text{Frecuencia}}{\text{Número de polos del motor}}$$

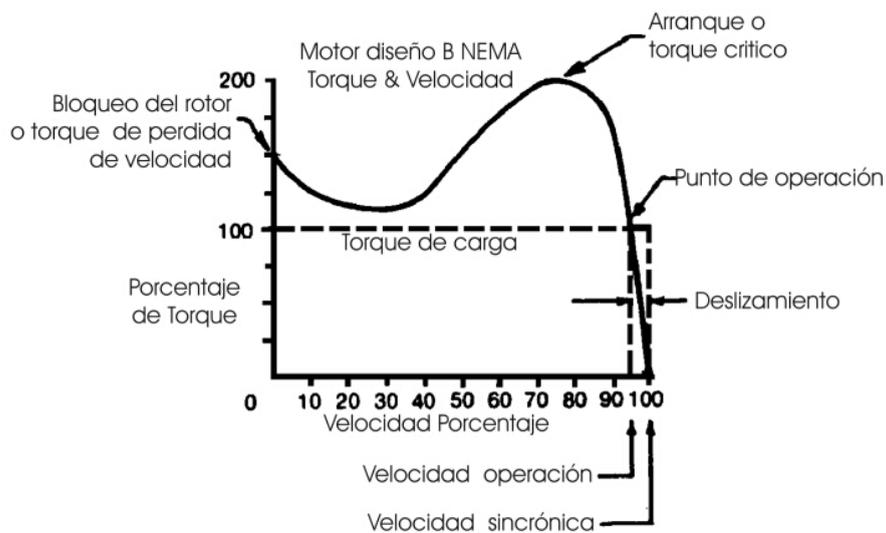


Figura 13. Curva de Torque – Velocidad Para un Motor Diseño B NEMA

La figura 14, muestra una familia ideal de curvas de velocidad-torsión para un motor impulsado con una fuente de poder de frecuencia ajustable. La figura muestra una serie de curvas idénticas con velocidades síncronas diferentes que corresponden a varias frecuencias de operación. Cada curva tiene el mismo valor

de torsión máximo y el mismo valor rpm de deslizamiento dado el nivel de la torsión de operación. las fracciones de curvas de operación normal Se muestran como una serie de sólidas líneas paralelas.

Los motores operados desde un variador, normalmente nunca son operados en la fracción punteada de la curva.

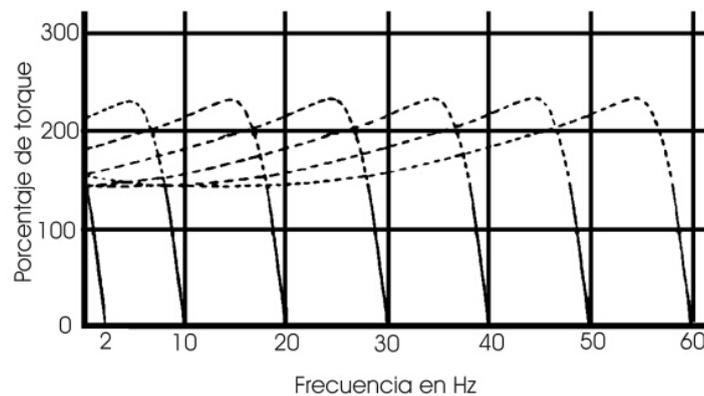


Figura 14. Porcentaje de Torque – Frecuencia

4.5.3. Desempeño del AC Drive

4.5.3.1. Control Operador e Interfaz. Los controles del operador están a menudo disponibles a través de un teclado conectado al AC Drive. En otras situaciones, una estación del operador o control remoto puede utilizarse. Si estos

requisitos no pueden conseguirse montando el pequeño teclado remotamente, se proporcionan bloques terminales con la capacidad de interfaz digital y analógica.

4.5.3.2. Aceleración y Desaceleración. Los variadores están provistos con la función de ajustar las rampas de aceleración y desaceleración. Las rampas de aceleración y desaceleración deben ajustarse para satisfacer las características de la carga para prevenir parada de los motores debido a sobrecorriente o sobrevoltaje.

Incrementando el tiempo de aceleración o desaceleración disminuirán proporcionalmente el requisito de la torsión.

4.5.3.3. Rango de Velocidad. Las características del motor normalmente determinan el rango de velocidad de un AC Drive. El rango de frecuencia de salida del variador es normalmente más amplio que el rango que puede ser utilizado eficazmente por el motor.

4.5.3.4. La Regulación de Velocidad. La regulación de velocidad de lazo abierto de un AC Drive es determinada por el deslizamiento de motor. Los motores diseño B NEMA normalmente tienen un deslizamiento del 3% o menos, a 60 Hz y el rango de regulación de velocidad de la carga del variador es del 3%.

Los variadores están equipados con compensación del deslizamiento o control de vector de flujo de que puede proporcionar regulación de velocidad la cual es mejor que la regulación del lazo abierto del motor. La compensación del deslizamiento y control de vector de flujo mejora la regulación de velocidad por incremento y disminución de la frecuencia de operación por una pequeña cantidad como la carga incrementada y disminuida.

Una mejora en la regulación de velocidad en estado estable, puede obtenerse usando un tacho – generador para proporcionar la velocidad de retroalimentación a un regulador de velocidad en lazo cerrado, o un dispositivo externo tal como el Durant Strider.

4.5.3.5. Límite de Corriente. Si un AC Drive no estuviera provisto con el límite de corriente, los circuitos disparador de sobrecorriente apagarían el Drive, conllevaría a que el motor consumiera una excesiva corriente debido a una sobrecarga o también a un rango rápido de aceleración. El límite de corriente proporciona una manera de mantener el control del Drive bajo estas condiciones.

Si la corriente de salida alcanza el límite de corriente fijado mientras el Drive está funcionando a plena velocidad, el Drive desacelerará y alcanzará una menor velocidad. Si es posible, la velocidad disminuirá a cualquier velocidad de operación que es requerida para prevenir el exceso del Límite de corriente fijado.

Si corriente de salida alcanza el límite de corriente fijado mientras el Drive está acelerando, el Drive se desviará de la rampa de aceleración programada y acelerará a una proporción que impedirá a la corriente exceder el límite determinado.

4.5.3.6. La Compensación IR. Un variador puede proporcionar un alto torque de arranque y una capacidad de sobrecarga a baja velocidad si el voltaje de ajuste (boost) se cambia automáticamente para compensar la condiciones de cambio de la carga. Esta característica se llama la compensación IR. Sin la compensación IR, es difícil de conseguir el máximo torque posible del motor, porque el voltaje de ajuste requerido (boost) para el máximo torque puede causar saturación del núcleo del motor y consumo excesivo de corriente cuando el motor tiene una carga liviana. El circuito compensación IR sensa la carga del motor y reduce el voltaje ajuste cuando el motor está ligeramente cargado.

Un control de flujo del AC Drive proporciona un resultado similar modificando su voltaje y frecuencia instantáneos para permitir al motor que desarrolle el torque requerido por la carga.

En los anexos F se encuentran los diagramas de control y de fuerza del variador de velocidad.

7. MEMORIAS DE CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

5.1. TRANSMISOR DE PRESIÓN

5.1.1. Memorias de Cálculo. Criterios de selección:

- Rango de presión.
- Naturaleza del fluido.
- Temperatura del fluido.

Cálculo del rango de presión.

La presión hidrostática de un líquido cualquiera en un punto esta definido por la formula:

$P = \rho \times g \times h$, donde

P = Presión hidrostática (pascales).

ρ = Densidad del líquido (Kg/m^3).

g = Valor de la gravedad (m/sg^2).

h = Altura del nivel del líquido (m).

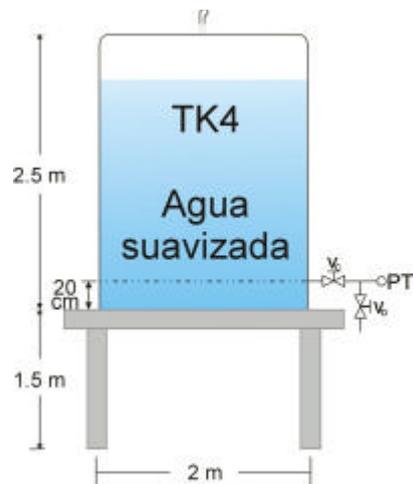


Figura 15. Esquema Medidas Tanque TK4

En la Figura 15, se usan las siguientes convenciones:

V_C = Válvula de corte V_D = Válvula de descarga

PT = Transmisor de presión

Para el valor máximo de presión se tiene:

$$P_{Máx} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{Sg^2} \times 2.5m$$

$$P_{Máx} = 24500 Pa$$

Convirtiendo a unidades del sistema ingles:

$$P_{Máx} = 24500 Pa \times \frac{1.45 \times 10^{-4} psi}{1 Pa}$$

$$P_{Máx} = 355 psi$$

Por lo tanto la presión de agua detectada por el instrumento se encuentra en un rango entre 0 y 3.5 psi (100% del nivel del tanque).

La temperatura del agua del tanque TK4 se encuentra entre 35 a 40 °C.

Se selecciona el transmisor de presión Rosemount, modelo 2088 SMART AIS22.

5.1.2. Especificaciones

Cuadro 2. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión 2088

Servicio	El transmisor 2088 SMART puede usarse en aplicaciones con líquidos, gases y vapores.
Rango	Para el transmisor de presión del tanque TK4 rango: 0– 8 psi. Para el transmisor de presión del cabezal de vapor rango: 0 – 150 psi
Tipo de salida	4 – 20 mA (códigos S).
Resistencia máxima	Depende del voltaje de alimentación. Para 24 VDC, R = 587 Ohmios
Voltaje de alimentación	10.5 – 36 VDC, con protección contra inversión de polaridad.
Limite de sobrepresión	120 psi y 150 psi.
Tiempo de respuesta	Constante de tiempo: 200 msg. Tiempo muerto: Menores de 50 msg. Rata de actualización: 20 veces por segundo.
Limites de temperatura	Proceso: – 40 – 250 °F. Ambiente: – 40 – 185 °F. Almacenamiento: – 50 – 230 °F.
Protecciones contra tensiones transientes	IEEE 587 categoría B 6 KV pico (1.2 m x 50µs) 3 KV pico (8 m x 20µs) 6 KV pico (0.5µs a 100 KHz). IEEE 472 2.5 KV pico, 1MHz

Cuadro 3. Especificaciones Físicas Transmisor de Presión 2088

Conexiones eléctricas	1/2 – 14 NPT.
Conexión del proceso	1/2 – 14 NPT hembra.
Diafragma de aislamiento	316 L stainless steel.
Conector de proceso	316 stainless steel.
Peso	2.44 Lb (1.11 Kg).

5.1.3. Diagramas de Construcción

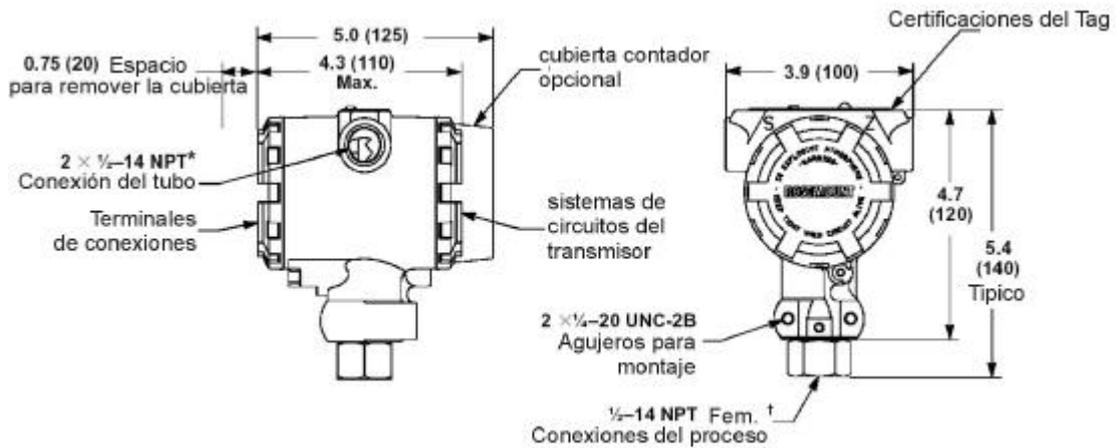


Figura 16. Diagrama de Construcción del Trasmisor de Presión

5.1.4. Diagrama de Conexiones

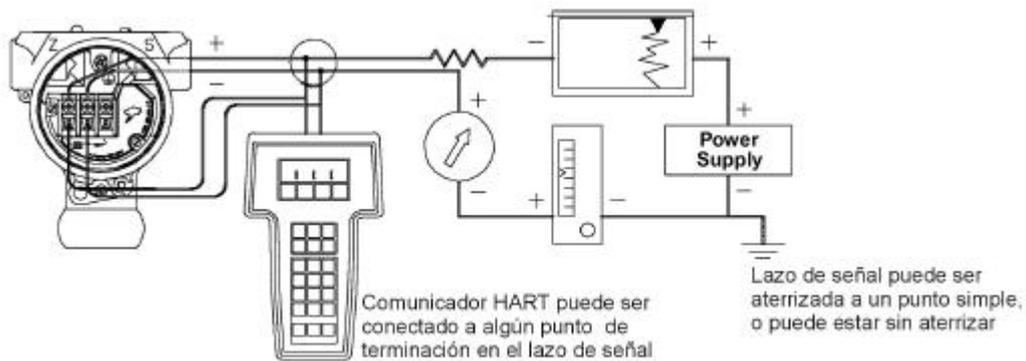


Figura 17. Diagrama de Conexiones del Transmisor de Presión

5.1.5. Diagrama de Montaje

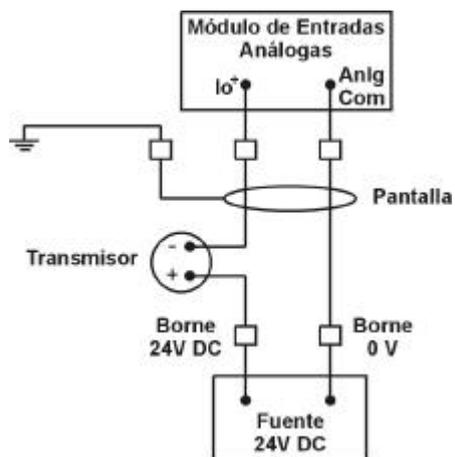


Figura 18. Diagrama de Montaje del Transmisor de Presión

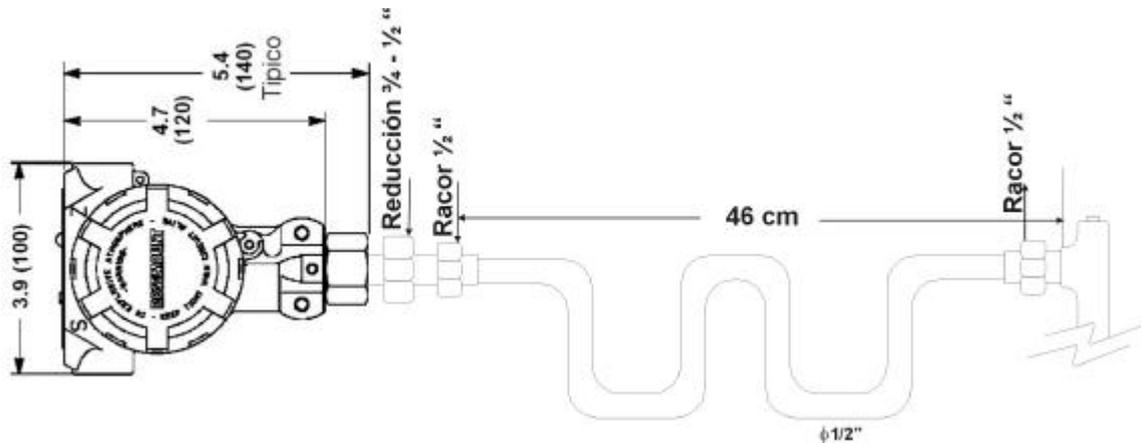


Figura 19. Diagrama de Montaje del Cabezal de Vapor

5.2. PRESÓSTATO

5.2.1. Memorias de Cálculo

Presóstato línea de suministro del tanque TK6.

Para seleccionar el switch de presión instalado en la tubería de alimentación del tanque TK6, se realizaron mediciones periódicas del valor de la presión de agua en ese punto.

La presión de agua de entrada depende de la presión de la bomba de agua potable que abastece a toda la planta y de las caídas de presión debidas a las

derivaciones en la línea de suministro. Estas derivaciones corresponden a la alimentación del tanque TK7 (bodega Ajoover) y al suministro de agua potable para los servicios sanitarios de la planta.

La presión máxima a la entrada es de 80 psi, pero cuando se habilita el consumo hacia las derivaciones se tiene una presión resultante de 30 psi.

En el momento que el nivel del tanque TK6 desciende, se abre la válvula con flotador a la entrada y la presión se reduce a 10 psi. El instrumento por tanto requiere de un set point ajustable entre 0 y 10 psi.

Se selecciona el switch de presión marca Danfoss con un rango ajustable entre 0.2 y 8 bar (2.9 – 116 psi). El set point fue ajustado en 7psi, banda diferencial de cero (1 psi), ver esquema de montaje en la figura 20.

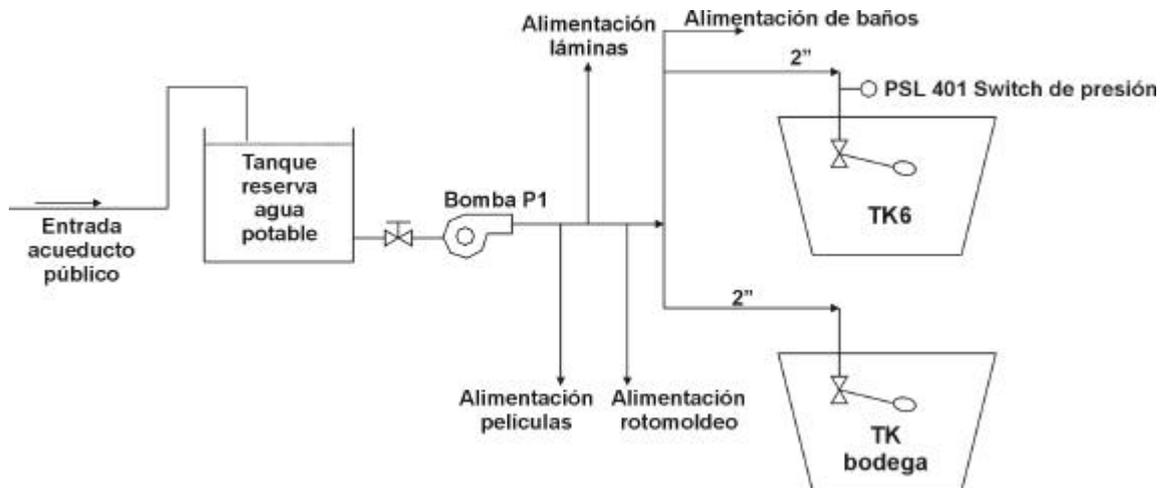


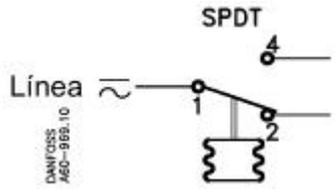
Figura 20. Montaje del Presóstato

5.2.2. Especificaciones

Cuadro 4. Especificaciones de Presión del Presóstato

Gama de Regulación P_e [bar]	Diferencial [bar]	Presión de trabajo admisible P_B [bar]	Presión de prueba máx. [bar]	Toma de presión	Material de los contactos
2 → 14	0.7 → 4	17	22	G 1/4 A	Ag Au
4 → 12	0.5 → 1.6	17	22	G 1/4 A	Ag Au

Cuadro 5. Especificaciones Técnicas del Presóstato

Característica	KP	
Temperaturas ambientales	°C -40 °C - +65 °C (durante cortos periodos hasta +80 °C)	
Temperatura del fluido	°C -40 °C - +100 °C	
Tipo de fluido	Medios gaseosos	
Partes en contacto con el fluido	Elemento de fuelle	Bronce al estaño W. nr. 2.1020 según DIN 17662
	Toma de presión	Acero mecanizable W. nr. 1.0719 según DIN 1651
Sistema de contactos	<p>Contactor del tipo de inversor unipolar (SPDT)</p> 	
Carga de los contactos, juego de contactos Material de los contactos AgCdO	<p>Corriente alterna: AC-1: 16 A, 400 V Ag AC-3: 16 A, 400 V AC-15: 10 A, 400V</p> <p>Corriente continua DC-13: 12 W, 220 V</p>	
Protección IP 33	Este grado de protección se obtiene cuando la unidad está montada en una superficie plana o en un soporte. El soporte debe estar sujeto en la unidad de tal manera que todos los agujeros no utilizados estén cubiertos.	
Protección IP 44	Montado como IP 33 más placa superior, núm. de código 060-1097	
Conexión por cable	Entrada para cables de 6-14 mm de diámetro	
Montado en placas trasera/soporte de pared	A prueba de vibraciones en la escala de 0 - 1000 Hz, 4 g (1 g = 9.81 m/s ²)	
Montado en soporte angular	No recomendable donde haya vibraciones	
Homologaciones	EN 60947-4,-5 RINA, Registro Italiano Navale MRS, Maritime Reg. of Shipping, Russia Homologación UL suministrable	
Peso	0.3 Kg	

5.2.3. Diagramas de Construcción

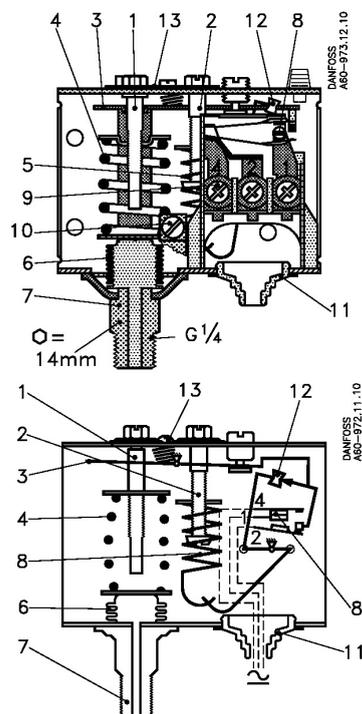
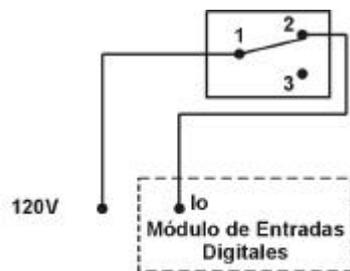


Figura 21. Diagrama de Construcción del Presóstato

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Vástago de ajuste | 9. Bornes de conexión |
| 2. Vástago de ajuste diferencial | 10. Borne de tierra |
| 3. Brazo principal | 11. Entrada de cable |
| 4. Muelle principal | 12. Muelle en forma de Ω (KPI) |
| 5. Muelle diferencial | 12. Interruptor basculante (KP) |
| 6. Elemento de fuelle | 13. Tornillo de fijación (KPI) |
| 7. Toma de presión | 13. Platina de fijación |
| 8. Sistema de contactos | |

5.2.4. Diagramas de Conexión



1-2 : Contacto normalmente cerrado
sin presión

Figura 22. Diagrama de Conexiones Switch de Presión

5.2.5. Diagrama de Montaje

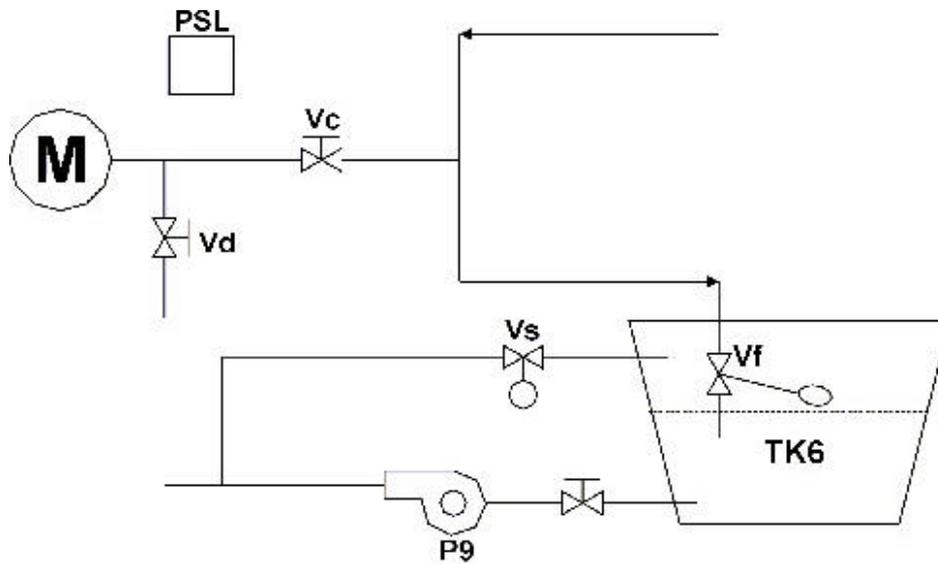


Figura 23. Diagrama del Montaje del Presóstato

5.3. SWITCH DE NIVEL

5.3.1. Especificaciones

Cuadro 6. Especificaciones Técnicas del Switch de Nivel

Item	Especificación
Potencia de entrada	120Vac, 50/60Hz, 240Vac, 50/60Hz, 24Vdc
Tipo de salida	10A PDT, 250Vac 10A DPDT, 30Vdc, Proporción de DC mostrada para las cargas resistivas
Repetitividad	0.078" 2mm

Seguridad	Campo ajustable	
Corriente máxima trazada	24Vdc	280mA
	120 Vac	120mA
	240Vac	60mA
Respuesta de Tiempo	On	250 mSec
	Off	250 mSec
Tipo de anexos del Medio ambiente	NEMA 4X; IP65	
Conexión de la canalización	1" NPT	
Distancia Remota máxima del Sensor	50 pies (15.2m)	
Rango de Temperatura ambiente	-40 °F a 60 °F (-40 °C a 71 °C)	
Rango de temperaturas del Proceso	-40 °F a 250 °F (-40 °C a 121 °C)	
Presión del Proceso máxima	2000 (138 barra)	
Peso del embarque	7 lbs (3.2kg) + 10.5 lbs (4.8kg) para molde Caja de hierro + 2 lbs (1 Kg) para remoto	
Clasificación eléctrica	Clase I, Grupos C y D Clase II, Grupos E, F y G Clase III, División 1	

5.3.2. Diagrama de Construcción

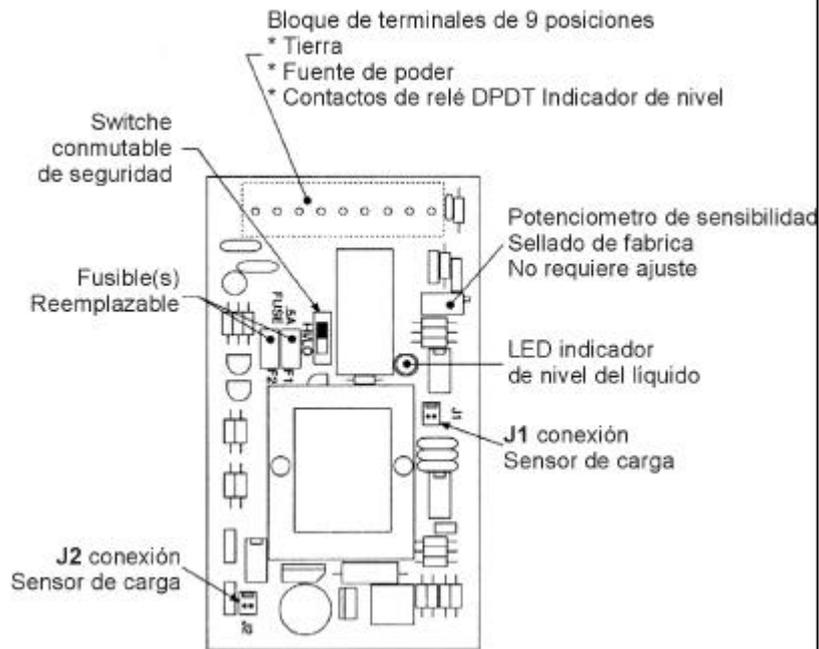


Figura 24. Diagrama de Construcción del Switch de Nivel

5.3.3. Diagrama de Conexiones

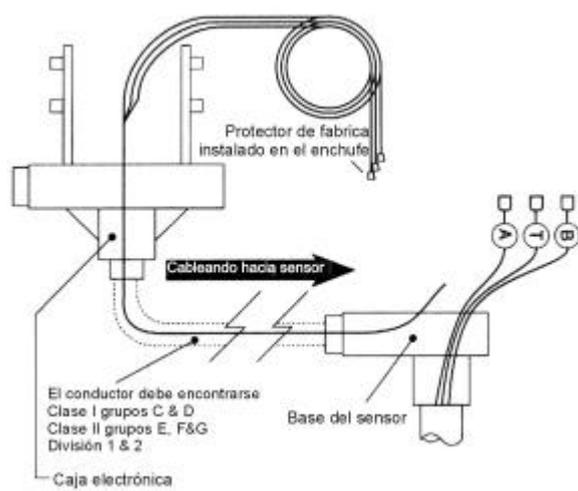


Figura 25. Diagrama de Conexiones Cableado A La Base del Sensor

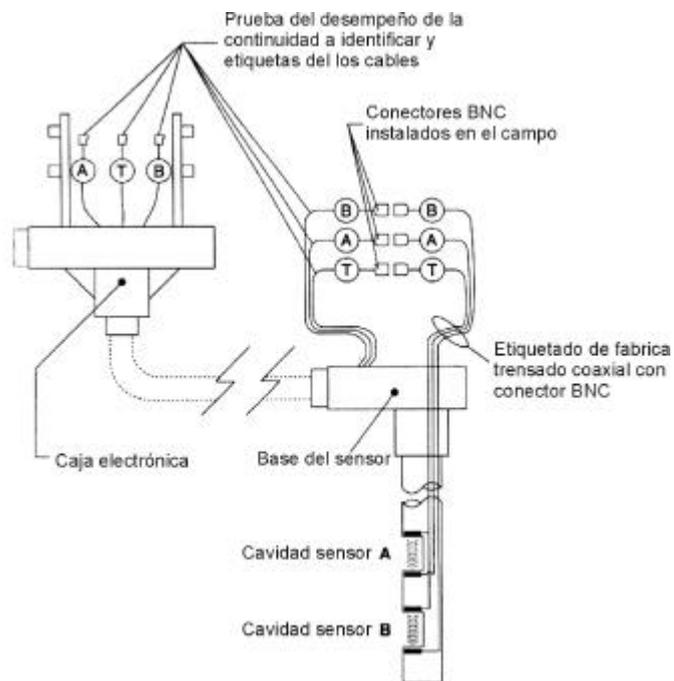


Figura 26. Diagrama de Conexiones a las Cavidades

5.3.4. Diagrama de Montaje

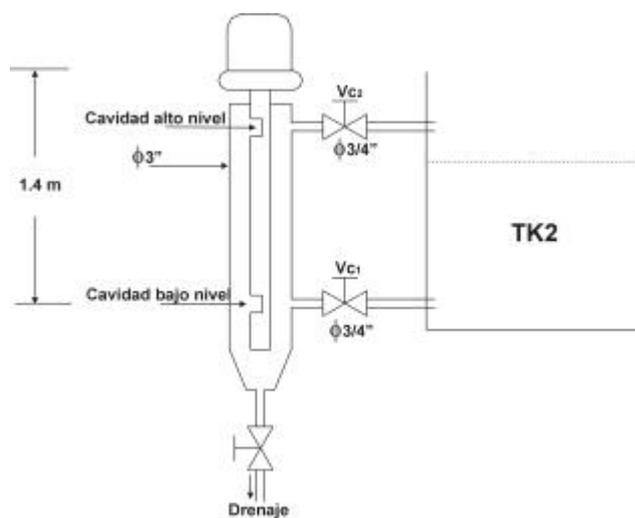


Figura 27. Diagrama de Montaje Switch de Nivel TK2

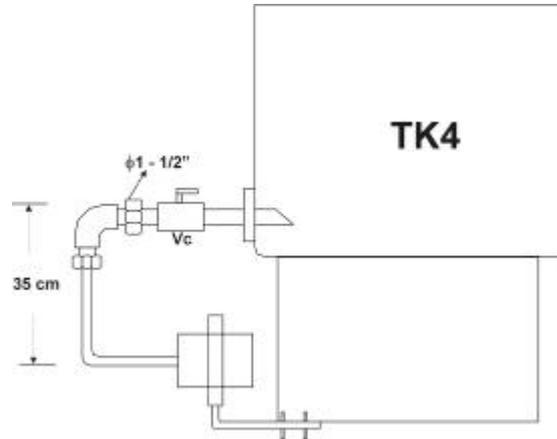


Figura 28. Diagrama de Montaje Switch de Nivel TK4

5.4. TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

5.4.1. Memoria de Cálculo. Para la selección de los detectores de temperatura se tuvieron en cuenta los siguientes criterio:

- Rangos de temperatura del producto en el proceso.
- Distancia desde los puntos de instalación de los sensores de temperatura hasta el PLC.
- Las características de linealidad entre la resistencia y la temperatura para los diferentes metales usados para la detección de la temperatura.

◆ Rangos de Temperaturas

- La temperatura mínima medida en el agua del tanque de agua caliente (TK1) es de 40 °C cuando se encuentra parada la planta, tiene un valor promedio de 69 °C cuando la operación de la planta es normal y un máximo de 79 °C.
- La temperatura del tanque TK2 tiene un rango de 39 – 43 °C.
- La temperatura del vapor en el cabezal se encuentra entre 95 °C y 120 °C.
- La temperatura del agua en la cabeza de agua fría se encuentra entre 35 – 38 °C.

Las distancias desde el punto de inserción de las sondas hasta el tablero del PLC son las siguientes:

- Sonda en el tanque TK1: 19.5 m.
- Sonda en el tanque TK2: 22.3 m.
- Sonda en el cabezal de vapor: 19.1 m.
- Sonda en el cabezal de agua fría: 9.4 m.

Para estas distancias no es recomendable usar termopares (termocuplas) como elementos de detección de temperatura debido al tipo de salida que tiene

(milivoltios), lo cual, puede producir caídas de tensión hasta 0.1 mV, lo que afectaría notablemente la medición de la variable también puede verse afectado negativamente por la susceptibilidad de otros sensores al ruido eléctrico industrial.

5.4.2. Selección de los Detectores de Temperatura. Realizando un análisis comparativo entre los tipos más comunes de termorresistencias, se encuentra que el platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y estabilidad; ver figura 29 donde se muestran las curvas características de resistencia – temperatura de varios metales.

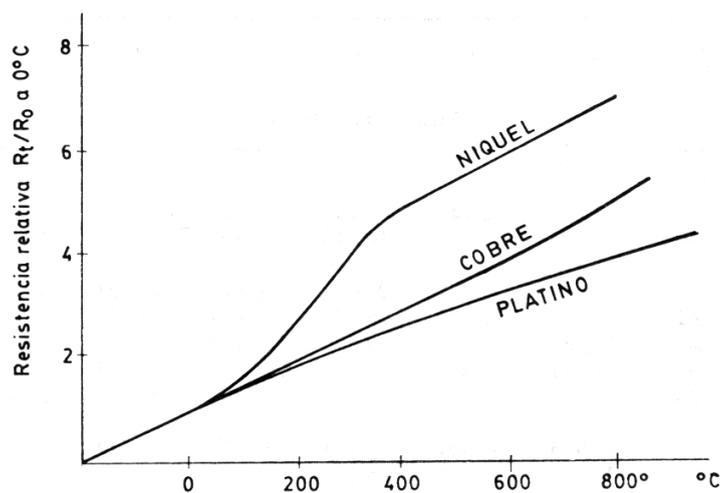


Figura 29. Curva Resistencia – Temperatura de Varios Metales.

Cuadro 7. Características de Sondas de Resistencias

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coefficiente de temperatura $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de Temp. $^\circ\text{C}$	ϕ mínimo de hilo mm	Coste relativo	Resis. Sonda a 0°C ohmios	Precisión $^\circ\text{C}$
Platino	9.83	0.00385	-200 a 950	0.5	Alto	25, 100, 130	0.01

Níquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-150 a 300	>>	Medio	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	>>	bajo	10	0.10

Debido a los inconvenientes que se presentan en los termopares con respecto a las caídas de tensión, perturbaciones en las conexiones de los cables, susceptibilidad a las fuentes de calor próximas y al ruido eléctrico, se seleccionan para el proyecto las termorresistencias de platino (Pt100) que tienen un rango de temperaturas de -220 °C a 850 °C protegido por cápsula de acero inoxidable.

La longitud de la sonda se escoge de acuerdo al diámetro de la tubería donde será instalada de tal manera que la longitud del sensor ocupe el 75 % del diámetro de la tubería.

Se relacionan 4 termorresistencias Pt100, tres de ellas de 4" y una de 6" de longitud.

5.4.5. Diagrama de Montaje

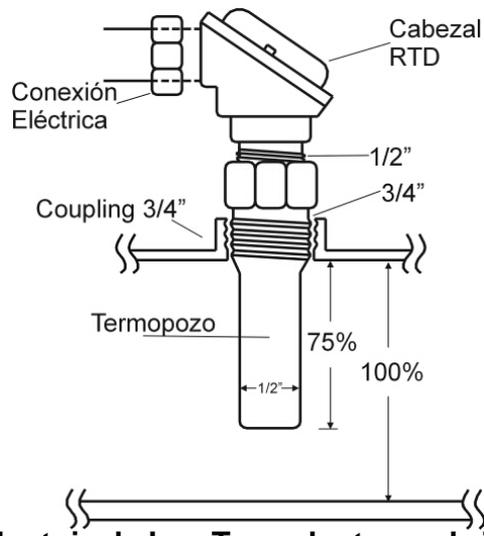


Figura 30. Montaje de Los Transductores de Temperatura

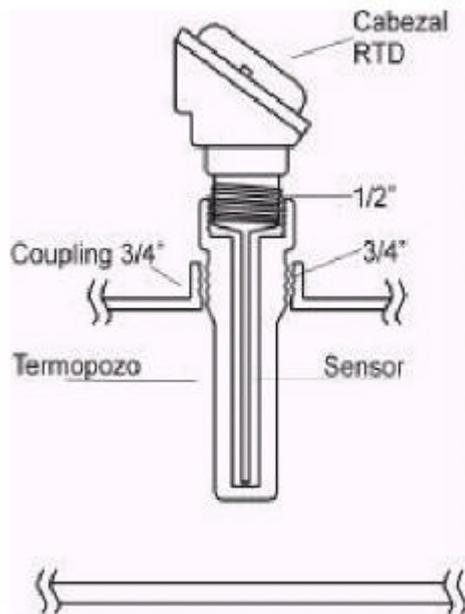


Figura 31. Esquema Montaje del Cabezal de Vapor

5.5. TABLERO DE CONTROL

Para llevar a cabo las metas del proyecto fue necesario crear la infraestructura de soporte

- Diseño del tablero de control. Donde estaría ubicado el PLC
- Diseño de las rutas de cableado y ubicación de instrumentos, caja de paso
- Conexiones de los equipos existentes.
- Conexiones del PLC al computador.

La vista frontal del tablero de control diseñado es el que muestra en la figura. El diseño fue realizado teniendo en cuenta varias consideraciones importantes:

1. Tener especial precaución de independizar los elementos y cables de potencia y control, es decir, señal analógicas 4-20mA y señal digital de 110 Vac, 460Vac; para evitar perturbaciones, ruido eléctrico, inducción de voltaje.
2. Todos los cables de control (señales analógicas y cables de comunicación) deben tener blindaje o pantalla debidamente aterrizada para evitar ruido eléctrico que altere los niveles de las señales, alterando la indicación.
3. Las señales de potencia se ubicaron a la izquierda y control preferiblemente a la derecha los cables no deben cruzarse.

4. Las protecciones de los circuitos de entrada y salida de los módulos del PLC se realizó teniendo en cuenta la máxima corriente que puede soportar los terminales del módulo y se agruparon en un breaker cada 4 señales. Las señales están protegidas con breaker unipolar de 0.5 Amp.
5. El cableado de los instrumentos con señales analógicas se realizó por tubería conduit desde cada instrumento hasta el tablero de control, completamente independiente de las señales digitales de 110V.
6. Para las señales digitales se utilizó una caja de paso ubicada en el MCC de vasos para recoger la mayoría de las señales de campo, y se enviaron al tablero PLC a través de cables multipares de 24 hilos.
7. Los cables de señales digitales se enviaron a través de tubería y bandejas portacables existentes.
8. La alimentación al tablero PLC se hizo desde MCC vasos 460 Vac.
9. Para la conexión del PLC al computador se usó cable Belden apantallado a través de un módulo de interface de comunicación.

También se tuvo en cuenta las dimensiones de cada equipo, respetando los mínimos requerimientos de espacio dados por el fabricante. Y dejando un margen de reserva para nuevos equipos se que necesiten colocar.

En el anexo E se encuentra el diagrama del tablero de control y del tablero de arrancadores.

En el anexo N se muestra la ruta de cableado desde cada uno de los instrumentos hasta el tablero de control.

7. TEORIA DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

6.1. GENERALIDADES.

Los Controladores lógicos programables son dispositivos secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando señales de mando a partir de señales de entrada leídas en la planta.

Al detectar cambios en las señales de entrada, el PLC reacciona de acuerdo al programa para producir las señales de salidas requeridas. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

El procesador del PLC realiza una serie de acciones predeterminadas para garantizar la seguridad en el funcionamiento como los chequeos de memoria, de CPU, comprobación del reloj de guarda (watchdog) y estado de las comunicaciones con otros dispositivos.

6.1.1. Modos de Operación. Un PLC energizado se puede encontrar en uno de los siguientes estados de funcionamiento:

- ◆ **Ejecución (RUN)** : El PLC ejecuta normalmente el programa de usuario almacenado en su memoria.

- ◆ Programación (PROGRAM): En este estado el operador introduce las instrucciones codificadas del programa de usuario.
- ◆ Error: Se detiene la ejecución del programa por error de funcionamiento y queda bloqueado hasta que se corrige el error. Las salidas pasan a estado off.
- ◆ Prueba (TEST): El procesador ejecuta el programa sin energizar los terminales de salida de la sección de E/S.

6.1.2. Ciclo de Funcionamiento. El ciclo de funcionamiento del PLC es de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones se realizan en un orden estricto y se repiten continuamente mientras el PLC se encuentra energizado.

La secuencia de operaciones es la siguiente:

1. Rutina de chequeo del hardware
 - Integridad del bus de conexión de las unidades de E/S.
 - Nivel de la batería.
 - La conexión de las memoria internas.
2. Iniciación de variables internas.
 - Se borran los archivos de memorias internas.
 - Se borran todos los contadores y temporizadores.

3. Ciclo de operación.

- Comprobación del reloj de guarda
- Ejecución del programa de usuario
- Servicio a periféricos.

6.1.3. Configuración Del PLC. El sistema físico (hardware) del PLC debe adaptarse a las particularidades de la aplicación, es decir, debe definirse el número de entradas/ salidas del sistema, la ubicación de E/S respecto al procesador, la potencia de cálculo y la capacidad de almacenamiento.

6.1.4. Programación. La introducción de las instrucciones del programa en la memoria del PLC se realiza bajo un lenguaje de tipo gráfico denominado LADDER o escalera, en el cual, las instrucciones se agrupan en “escalones”.

El terminal de programación puede ser una consola, un PC de escritorio o un PC portátil que contenga el software de programación suministrado por el fabricante del PLC.

El controlador programable puede dividirse en dos partes principales: la sección del procesador y la entrada/salida.

6.2. PROCESADOR

El procesador 1764-LSP cuenta con una memoria de 7 K. La memoria puede usarse para archivos de programa y archivos de datos. La capacidad de memoria de datos es 4 K palabras, tal como se muestra en la Figura 32.

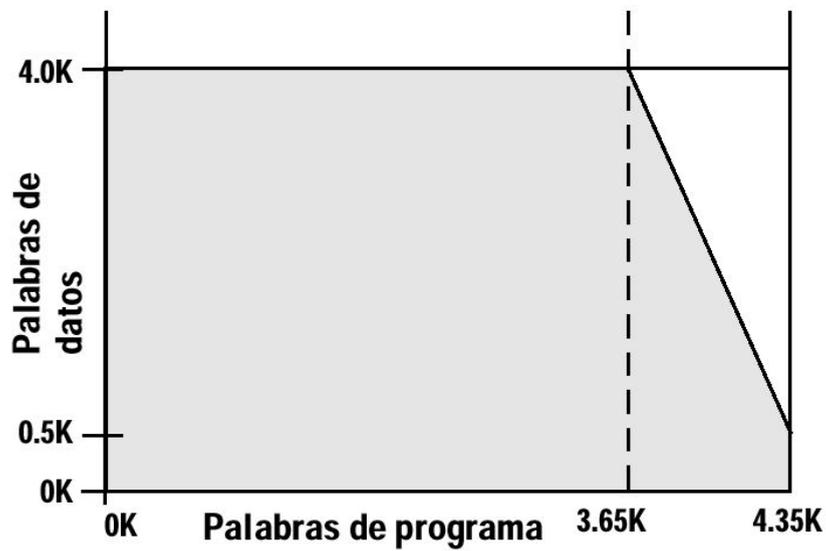


Figura 32. Palabras del Procesador

6.2.1. Descripción de la Unidad

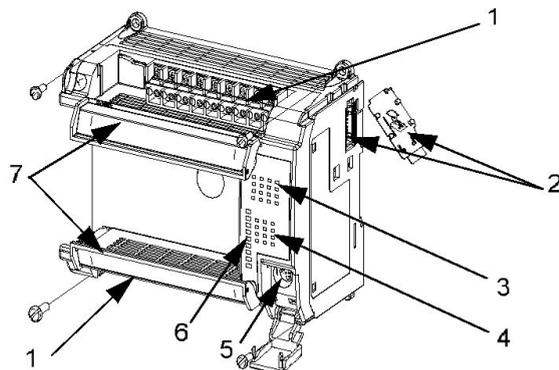
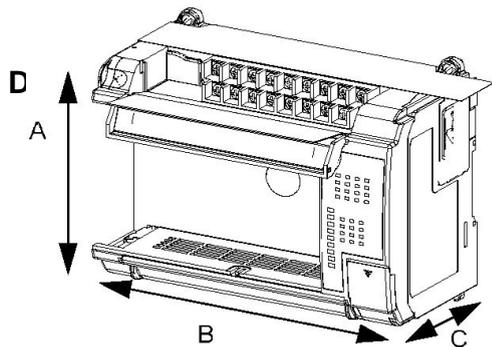


Figura 33. Descripción de la Unidad Base

Leyenda	Descripción
1	Bloque de Terminal desmontable
2	Interface a la Expansión de E/S, Etiqueta ESD
3	LEDs de Entrada
4	LEDs de Salida
5	Puertos de Comunicaciones (CH0)
6	LEDs de Estado
7	Puertas y Etiquetas del terminal

6.2.2. Dimensiones de Montaje



Dimensión

1764-24AWA

Alto (A)	138 mm (5,43 pulg.)
Ancho (B)	168 mm (6,62 pulg.)
Profundidad (C)	87 mm (3,43 pulg.)

Figura 34. Dimensiones del Montaje de la Base

6.2.3. Esquema de Bloques de Terminales

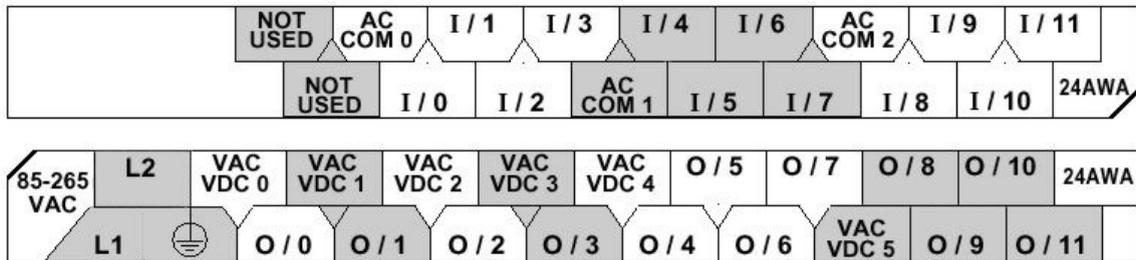


Figura 35. Esquema Para El Bloque de Terminal

6.2.4. Especificaciones Generales

Cuadro 8. Especificaciones Generales

Descripción	4-24AWA 1764
Número de E/S	12 entradas/12salidas
Alimentación	85/265V CA
Corriente de entrada de la alimentación	120V CA = 25 A por 8 ms 240V CA = 40 A por 4 ms
Salida de energía del usuario	ninguno
Tipo del Circuito de entrada	120 VCA 24V CC, drenador/surtidor
Tipo del Circuito de salida	Relé
Temperatura de operación	+0 a +55C (+ 32 a +131F) ambiente
Temperatura de almacenamiento	-40 a +85°C (- 40 a +185°F) ambiente
Humedad	5% a 95% humedad relativa (sin condensar)
Agencias de Certificación	UL 508 C-UL bajo CSA C22.2 núm. 142 Clase I, Div. 2, Grupos A, B, C, D (UL 1604, UL C bajo CSA C22.2 núm. 213) CE marcado para todas las directivas aplicables.

Momento de torsión para tornillo del terminal	Momento de torsión para el cableado = 1.13 Nm (10 lb - pulg.) clasificado; máximo 1.3 Nm (12 lb -pulg.)
---	---

6.2.5. Clasificaciones del Contacto de Relé

Cuadro 9. Clasificaciones del Contacto de Relé

Voltios Máximos	Amperes		Amperes continuos	Voltamperes	
	Cierre	Apertura		Cierre	Apertura
240 VCA	7.5 A	0.75 A	2.5 A	1,800 VA	180 VA
120 VCA	15 A	1.5 A			
125 VCC	0.22 A		1.0 A	28 VA	
24 VCC	1.2 A		2.0 A	28 VA	

6.2.6. Tensión de Trabajo

Cuadro 10. Tensión de Trabajo

Especificación	1764-24AWA
Aislamiento entre la entrada de fuente de Alimentación y el backplane	Verificado por una de las siguientes pruebas dieléctricas: 1836 VAC durante 1 segundo o 2596 VCC durante 1 segundo
	Tensión de trabajo de 265 V (Aislamiento reforzado tipo IEC 2)
Aislamiento entre el grupo de entrada / Backplane y grupo de entrada / grupo de Entrada	Verificado por una de las siguientes pruebas dieléctricas: 151 VCA durante 1 segundo o 2145 VCC durante 1 segundo
	Tensión de trabajo de 132 V (Aislamiento reforzado tipo IEC 2)

Aislamiento entre el grupo de salida / Backplane	Verificado por una de las siguientes pruebas dieléctricas: 1836 VCA durante 1 segundo o 2596 VCC durante 1 segundo
	Tensión de trabajo de 265 V (Aislamiento reforzado tipo IEC 2)
Aislamiento entre el grupo de salida / grupo de salida	Verificado por una de las siguientes pruebas dieléctricas: 1836 VCA durante 1 segundo o 2596 VCC durante 1 segundo
	Tensión de trabajo de 265 V (aislamiento básico). Tensión de trabajo 150 V (Aislamiento reforzado tipo IEC 2).

6.3. SECCION DE ENTRADA/SALIDA

Se encarga de intercomunicar los dispositivos industriales como transductores analógicos y digitales con los circuitos electrónicos de baja potencia que almacenan y ejecutan el programa de control (o de usuario).

El PLC de ALLEN - BRADLEY serie MicroLogix 1500, es de tipo modular, es decir, que divide en distintos módulos dedicados estructuras funcionales de que se disponen, de tal forma que está compuesto por un módulo para el procesador y un Módulo específico independiente para cada tipo de señales de entrada y salida.

6.3.1. Entradas Digitales. Las entradas digitales están compuestas por señales de 120V AC que provienen de diferentes sensores de campo tales como pulsadores, interruptores, contactos de switches de presión, nivel, temperatura,

etc. que son enviadas a los distintos módulos o convertidores digitales para transformarlos en señales de baja potencia compatibles con los circuitos electrónicos del procesador.

Los módulos de entrada del PLC usan convertidores de señal del tipo óptico para llevar a cabo el acoplamiento eléctricamente aislado entre los circuitos de entrada y la CPU.

Cada dispositivo de conmutación (sensor de campo) está conectado a un terminal de entrada de la regleta de conexiones del módulo y a una fuente de voltaje (120 VAC en este caso). Por tanto, si el interruptor de botón está cerrado, aparecen 120 VAC en el terminal de entrada del módulo.

El convertidor de señal contenido en el módulo, convierte este voltaje AC en 1(unos) digital y lo envía al procesador a través de un bus conector. Por el contrario, si el pulsador está abierto, el convertidor envía un 0(cero) digital al procesador.

Para los convertidores de señales digitales el rango de voltaje para los estados activos e inactivos son los siguientes:

INACTIVO (0 Lógico): 0 - 20 VAC

ACTIVO (1 Lógico): 79 - 132 VAC de 47Hz a 63 Hz.

6.3.1.1. Entradas Digitales de la Base (Módulo del Procesador). El PLC MicroLogix 1500 dispone de 12 entradas digitales en el módulo del procesador, conocido como base del PLC, con número de catálogo 1764 - 24AWA (ver figura 36).

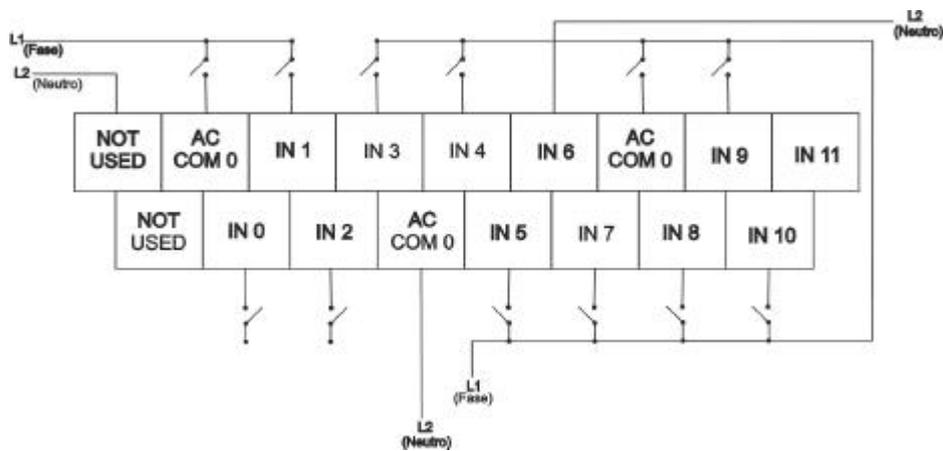


Figura 36. Diagrama de Cableado Base 1764 - 24AWA

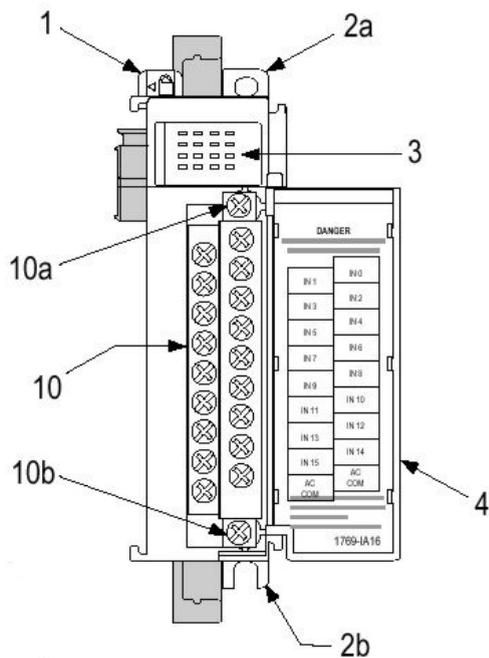
◆ **Especificaciones de Entrada**

Cuadro 11. Especificaciones de Entrada de la Base

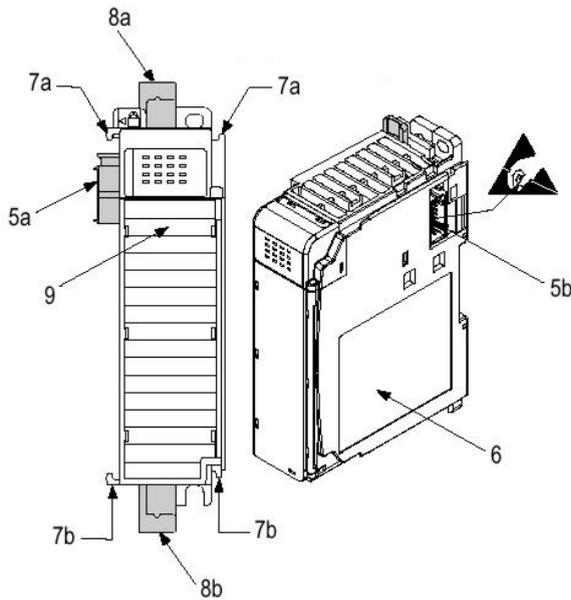
Descripción	1764-24^aWA
Rango del Voltaje en el Estado	79 a 132V CA
Rango del Voltaje en el Estado desactivado	0 a 20V CA
Frecuencia de operación	47 Hz a 63 Hz
Corriente Estado activado:	
• mínimo	5,0 mA a 79V CA
• nominal	12.0 mA a 120V CA
• máximo	16.0 mA a 132V CA
Corriente de fuga del estado desactivado	mínimo 2,5 mA
Impedancia nominal	12k ohms a 50 Hz 10k ohms a 60 Hz
Corriente de entrada (máx.) a 120V CA	250 mA

6.3.1.2. Entradas Digitales de Los Módulos de Expansión

◆ Descripción del Módulo



Nº	Descripción
1	Palanca de bus (con enclavamiento)
2a	Lengüeta superior paramontaje en panel
2b	Lengüeta inferior para montaje en panel
3	EDs de diagnóstico E/S
4	Puerta del módulo con etiqueta identificadora de terminales
5a	Conector de bus móvil con pines hembra
5b	Conector de bus fijo con pines macho



6	Etiqueta identificadora del módulo
7a	Ranuras superiores de machihembrado
7b	Ranuras inferiores de machihembrado
8a	Seguro superior para el riel DIN
8b	Seguro inferior para el riel DIN
9	Etiqueta rotulable (para identificaciones del usuario)
10	Bloque de terminales extraíble (BTE) con cubierta protectora de los dedos
10a	Tornillo superior de retención del BTE
10b	Tornillo inferior de retención

Figura 37. Descripción del Módulo Entradas Digitales

◆ **Diagrama de Cableado**

En la Figura 38 se muestra el cableado básico 1 de los dispositivos de entrada al módulo 1769-IA16.

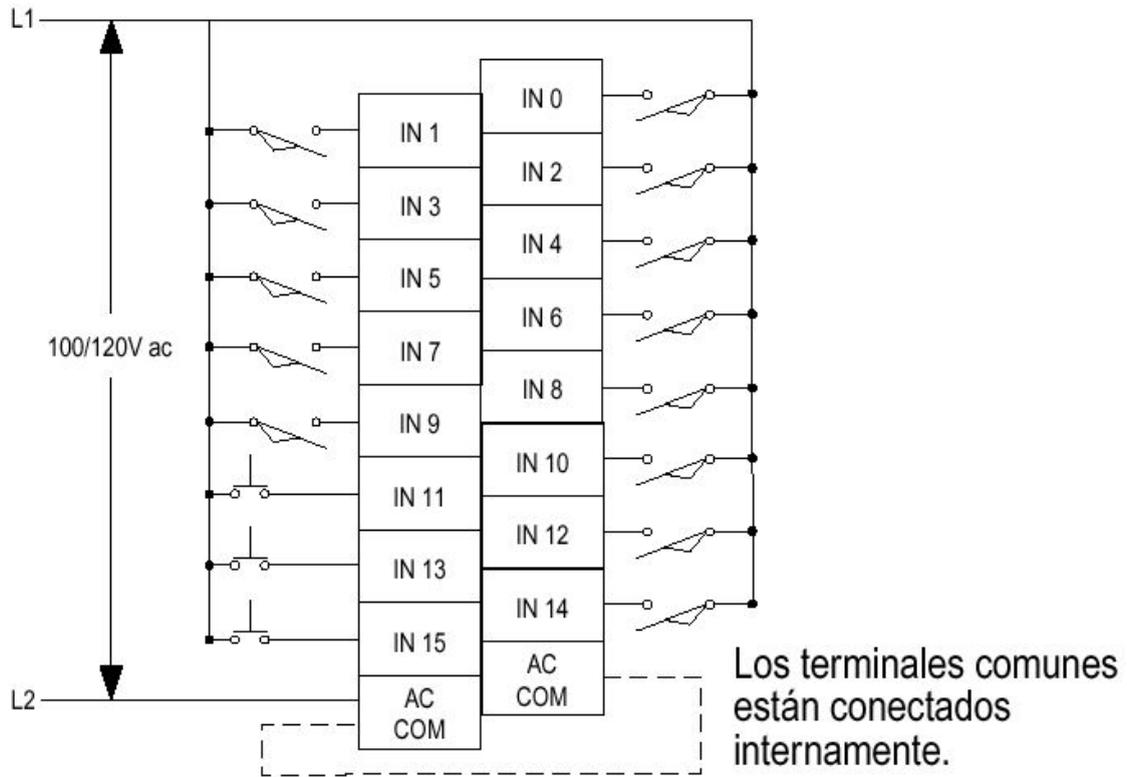


Figura 38. Diagrama de Cableado Módulo Entradas Digitales

◆ **Mapa de Memoria**

Archivos de Datos de Entradas

Para cada módulo de entradas, ranura x, la palabra 0 del archivo de datos de entrada contiene el estado actual de los puntos del campo de entradas.

Cuadro 12. Archivos de Datos de Entradas Digitales

PALABRA	POSICION DE BIT															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	r	r	r	r	R	r	r	r	r	r	r	r	r	R	r	r

r = lectura

◆ **Especificaciones Generales del Módulo**

Cuadro 13. Especificaciones Generales de las Entradas Digitales

Especificación	Valor
Medidas	118 mm (alto) x 87 mm (profundo) x 35 mm (ancho) la altura, incluidas las lengüetas de montaje, es de 138 mm.
Peso aproximado (con embalaje)	280 g
Temperatura de almacenaje	de -40°C a +85°C
Temperatura de funcionamiento	de 0°C a +60°C
Humedad de funcionamiento	del 5% al 95%, sin condensación
Altitud de funcionamiento	2000 metros
Certificaciones	Certificación C-UL (bajo CSA C22.2 n° 142) • Incluida en UL 508 • Conforme a todas las directivas relevantes CE
Clasificación eléctrica del área	Clase I, división 2, lugar Peligroso, grupos A, B, C, D (UL 1604, C-UL bajo CSA C22.2 n° 213)
Inmunidad contra descargas	Electrostáticas (IEC1000-4-2) • 4 kV contacto, 8 kV aérea, 4 kV indirecta

◆ **Especificaciones de Entrada**

Cuadro 14. Especificaciones de Entrada Digitales

Especificación	1769-IA16
Tensión de alimentación	100/120 V AC
Margen de tensión de funcionamiento	de 79 V AC a 132 V AC, con frecuencia entre 47 Hz y 63 Hz
Número de entradas	16
Consumo de corriente del bus(máx.)	115 mA a 5 V CC (0,575 W)
Disipación del calor	3,30 vatios totales (los vatios por punto, más los vatios mínimos, con todos los puntos activados)
Retardo de señal (máx.)	Retardo a la conexión: 20,0 ms Retardo a la desconexión: 20,0 ms
Tensión en estado bloqueado (máx.)	20 V AC
Intensidad en estado bloqueado (máx.)	2,5 Ma
Tensión en estado conductor (mín.)	79 V AC
Intensidad en estado conductor	5,0 mA a 79 V AC (mín.) 12 mA a 120 V AC (nominal)
Intensidad de inrush (máx.). ¹	250 mA
Impedancia nominal	12 kW a 50 Hz 10 kW a 60 Hz
Compatibilidad IEC de las entradas	Clase 1+
Distancia respecto a la fuente de alimentación o del controlador)	8 (el módulo no puede estar a más de 8 módulos de distancia respecto de la fuente de alimentación)

1. Para limitar la corriente de inrush se puede utilizar una resistencia limitadora de la corriente; sin embargo, en ese caso se verán afectadas las características de funcionamiento del circuito de entrada AC Si se tiene instalada una resistencia de 6,8 $\kappa\Omega$ (como mínimo 2,5 W) en serie con la entrada, la corriente de inrush se reduce a 35 mA. Con esta configuración, la tensión mínima en estado conductor aumenta a 92 V AC Antes de añadir la resistencia en un entorno peligroso, asegúrese de que la temperatura de funcionamiento de la resistencia y los límites de temperatura del entorno lo permiten. La temperatura de funcionamiento de la resistencia debe permanecer siempre por debajo de límite de temperatura del entorno.

6.3.2.2. Supresores de Sobrecarga. Los dispositivos de carga inductivos tal como arrancadores e interruptores magnéticos, requieren que se use algún tipo de supresor de sobrecarga para proteger los contactos de salida del controlador. Conmutar las cargas inductivas sin supresión de sobretensión puede reducir de la vida útil de los contactos de relé. Para prolongar la vida de los contacto de entrada y salida se usa un dispositivo de supresión adicional a través de la bobina de un dispositivo inductivo. También puede reducir los efectos de carga momentánea causados por la interrupción de corriente a ese dispositivo, y reduce el ruido eléctrico en el sistema de cableado.

El siguiente diagrama muestra una salida con un dispositivo de supresión.

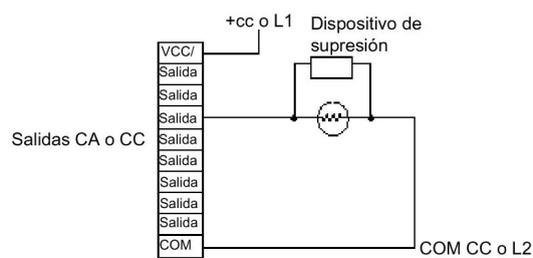


Figura 40. Supresores de Sobrecarga Salidas digitales

Los dispositivos adecuados para supresión de sobrecarga para cargas inductivas en AC incluyen un varistor; una red RC, o un supresor de sobrecarga (ver figura 31).

Estos componentes deben ser clasificados apropiadamente para suprimir la chispa de descarga del dispositivo inductivo particular.

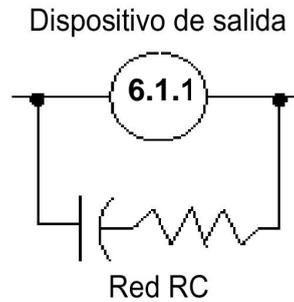


Figura 41. Supresor de Sobrecarga Red RC

6.3.2.3. Especificaciones Generales

Cuadro 15. Salida – Corriente Máxima Continua

Especificación		1764-24AWA
Corriente por común		8 ^a
Corriente por controlador	a 150 V máximo	24 ^a
	a 240 V máximo	20 ^a

6.4. VENTAJAS DEL AUTÓMATA

El autómata programable posee las siguientes ventajas:

- Sistema programable con una gran potencia de cálculo.
- Gran cantidad de software estándar para manipulación de datos y gestión de la producción.

- Interfaces estándar de ordenador para estaciones gráficas, utilizadas para monitorizar el proceso.
- Control descentralizado con inteligencia distribuida, sin interrumpir todo el proceso cuando hay fallos del control central.
- Sistemas de comunicaciones estándar LAN o WAN.
- Facilidad de interfaz con la planta.
- Mantenimiento fácil por secciones.
- Disponibilidad de herramientas de test y mantenimiento.
- Posibilidad de visualizar el proceso en tiempo real.
- Programación fácil a nivel de secciones.
- Flexibilidad para realizar cambios.

7. DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA Y CONTROL

7.1. GENERALIDADES

Los Controladores lógicos programables son dispositivos secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando señales de mando a partir de señales de entrada leídas en la planta. Al detectar cambios en las señales de entrada, el PLC reacciona de acuerdo al programa para producir las señales de salidas requeridas. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

El procesador del PLC realiza una serie de acciones predeterminadas para garantizar la seguridad en el funcionamiento como los chequeos de memoria, de CPU, comprobación del reloj de guarda (watchdog) y estado de las comunicaciones con otros dispositivos.

7.1.1. Modos de Operación. Un PLC energizado se puede encontrar en uno de los siguientes estados de funcionamiento:

- **Ejecución (RUN):** El PLC ejecuta normalmente el programa de usuario almacenado en su memoria.

- Programación (PROGRAM): En este estado el operador introduce las instrucciones codificadas del programa de usuario.
- Error: Se detiene la ejecución del programa por error de funcionamiento y queda bloqueado hasta que se corrige el error. Las salidas pasan a estado off.
- Prueba (TEST): El procesador ejecuta el programa sin energizar los terminales de salida de la sección de E/S.

7.1.4. Ciclo De Funcionamiento. El ciclo de funcionamiento del PLC es de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones se realizan en un orden estricto y se repiten continuamente mientras el PLC se encuentra energizado.

La secuencia de operaciones es la siguiente:

4. Rutina de chequeo del hardware
 - Integridad del bus de conexión de las unidades de E/S.
 - Nivel de la batería.
 - La conexión de las memoria internas.
5. Iniciación de variables internas.
 - Se borran los archivos de memorias internas.
 - Se borran todos los contadores y temporizadores.
6. Ciclo de operación.
 - Comprobación del reloj de guarda

- Ejecución del programa de usuario
- Servicio a periféricos.

7.1.3. Configuración del PLC. El sistema físico (hardware) del PLC debe adaptarse a las particularidades de la aplicación, es decir, debe definirse el número de entradas/ salidas del sistema, la ubicación de E/S respecto al procesador, la potencia de cálculo y la capacidad de almacenamiento.

7.1.4. Programación. La introducción de las instrucciones del programa en la memoria del PLC se realiza bajo un lenguaje de tipo gráfico denominado LADDER o escalera, en el cual, las instrucciones se agrupan en “escalones”.

El terminal de programación puede ser una consola, un PC de escritorio o un PC portátil que contenga el software de programación suministrado por el fabricante del PLC.

7.2. INTERPRETACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL

7.2.1. Variables. El primer paso para desarrollar la estrategia de control, consiste en la determinación de las variables de proceso y familiarización con los requerimientos de control expuestos por el departamento de producción. Ver Cuadro en anexo A, variables del PLC de planta Vasos.

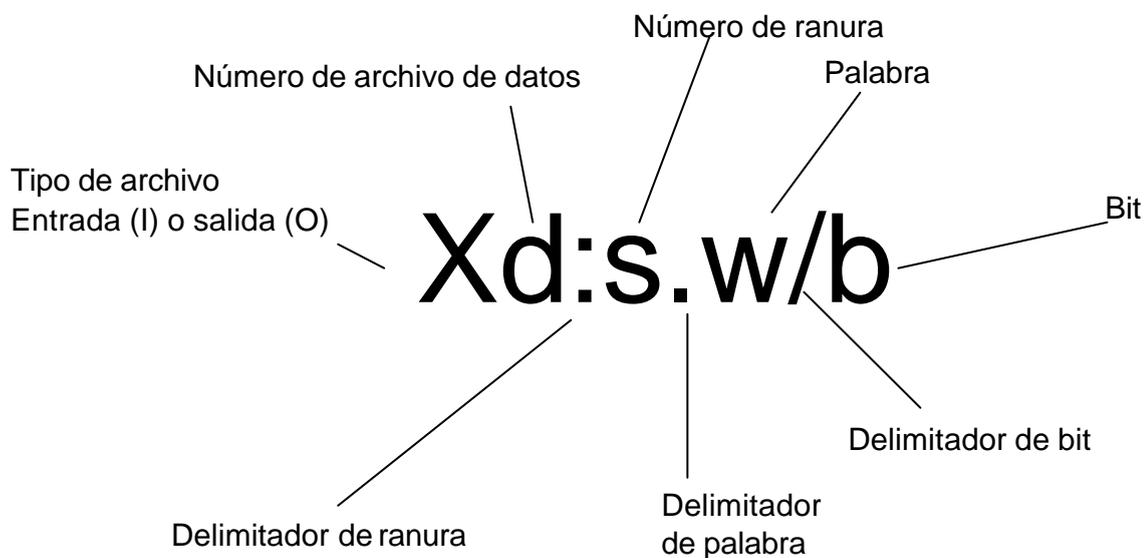
7.2.2. Asignación de Direcciones. El siguiente paso, consiste en la selección de las direcciones de memoria para las señales de entrada y salida del sistema.

Estas direcciones se asignan de acuerdo a las restricciones del esquema de direccionamiento de ALLEN-BRADLEY.

En los archivos de imágenes de E/S se especifica la dirección completa, que identifica un bit individual de la memoria. La especificación de una dirección completa, tiene dos partes:

- La dirección de palabra.
- El número de bit en la palabra.

En general, el direccionamiento de un archivo de la memoria, se especifica de la siguiente forma:



Ver Cuadro en el anexo B asignación de direcciones de memoria para entradas y salidas.

El programa en lenguaje LADDER se realizó en tres fases:

- a) Asignación de señales de entrada/salida a archivos de Bits (B) para su posterior procesamiento.
- b) Desarrollo de lazo de control de arranque – parada de la bomba P9 (de suministro de agua potable), de acuerdo a la condición de nivel del tanque TK4.
- c) Configuración de los PID para el control de las bombas P2 A/B y ventilador de la torre de enfriamiento.

Los parámetros de ajuste más importantes de los PID son los siguientes:

- Kc. Ganancia del controlador.
- TI. Término integral (restablecimiento).
- TD. Término derivativo (régimen).
- AM. Bit automático / Manual de control del lazo.

En la Cuadro 16 de las direcciones de memoria de los parámetros de ajuste.

Cuadro 16. Direcciones de Memoria

PID	PARÁMETROS DE AJUSTE PID	DIRECCIÓN DE MEMORIA
Bomba P2 A/B Control de presión en cabezal de agua fría	PD9: 0. KC PD9: 0. Ti PD9: 0. TD PD9: 0. LUT	N7: 25 N7: 26 N7: 27 N7: 28
Bombas P4 A/B Control temperatura Tanque TK2	PD9: 1. KC PD9: 1. Ti PD9: 1. TD	N7: 33 N7: 34 N7: 35

	PD9: 1. LUT	N7: 36
Control ventilador	PD9: 2. KC	N7: 41
TORRE E1	PD9: 2. Ti	N7: 42
Control temperatura	PD9: 2. TD	N7: 43
cabezal agua fría	PD9: 2. LUT	N7: 44

Los cuatro parámetros anteriores son llevados a una posición de memoria definida para poder accederlas desde la pantalla de Factory link, de modo, que se puedan codificar o realizar ajustes finos a los PID's sin interrumpir el proceso normal.

Ver la Cuadros en el anexo C donde se muestra la descripción de los archivos de programa.

En el anexo J se encuentra la lógica de escalera correspondiente a éste proyecto.

7.2.3. Configuración del PLC. Antes de iniciar la programación es preciso introducir en la memoria del procesador toda la información referente a su constitución física.

7.2.3.1. Configuración del Sistema de Comunicaciones. Después de instalar el software en el PC portátil se procede a establecer la comunicación del PC con el PLC de tal modo que se garantice la correcta descarga del programa.

Esto se realiza seleccionando el tipo de controlador de la aplicación (Micrologix 1500) en el archivo de comunicaciones del sistema en el árbol de proyectos.

7.2.3.2. Definición De Módulos de E/S. En este paso se le indica al procesador, los tipos de módulos de E/S y la posición del slot en los que están ubicados. Esto se realiza en el cuadro de dialogo de “ configuración de entrada / Salida”.

7.2.3.3. Introducción del Programa Lógico. Las instrucciones del programa de usuario se introducen en el archivo de programas del árbol de proyecto principal. Inicialmente, al abrir la pantalla de trabajo en LADDER, aparece el renglón de fin de instrucciones. Mediante la selección de cada tipo de instrucciones del cuadro de barra de herramientas, se construye el esquemate control en lenguaje de escalera.

Ver anexo C , donde se muestra el programa lógico resultante.

7.2.3.4. Verificación del Programa Lógico. Después de introducir una parte o la totalidad del programa, es posible hacer uso de la función de verificación del programa del software, como método de detección de errores de sintaxis.

7.2.3.5. Descarga de Programas en el Controlador. Para descargar el programa desarrollado en el PC al controlador, se deben definir inicialmente los parámetros de configuración de canales como velocidad de transmisión (baud-rate), tipo de protocolo empleado y método de comunicación (directo, por red o MODEM). La velocidad seleccionada es 19200 baudios para obtener máxima velocidad de transferencia.

7.2.4. Software de Programación RSLogix 500. El paquete de programación de lógica de escalera RSLogix 500 maximiza el rendimiento, reduce el tiempo necesario para desarrollar un proyecto y mejora la productividad. Este producto funciona en los sistemas operativos Windows ® 95, Windows ® 98 y Windows NT™ de Microsoft a 32 bits.

RSLogix 500 es compatible con las familias de procesadores MicroLogix y SLC 500 de Allen-Bradley y fue el primer software de programación PLC en ofrecer inmejorable productividad con una interface de usuario líder en la industria.

La figura 42 muestra la interfaz del programa

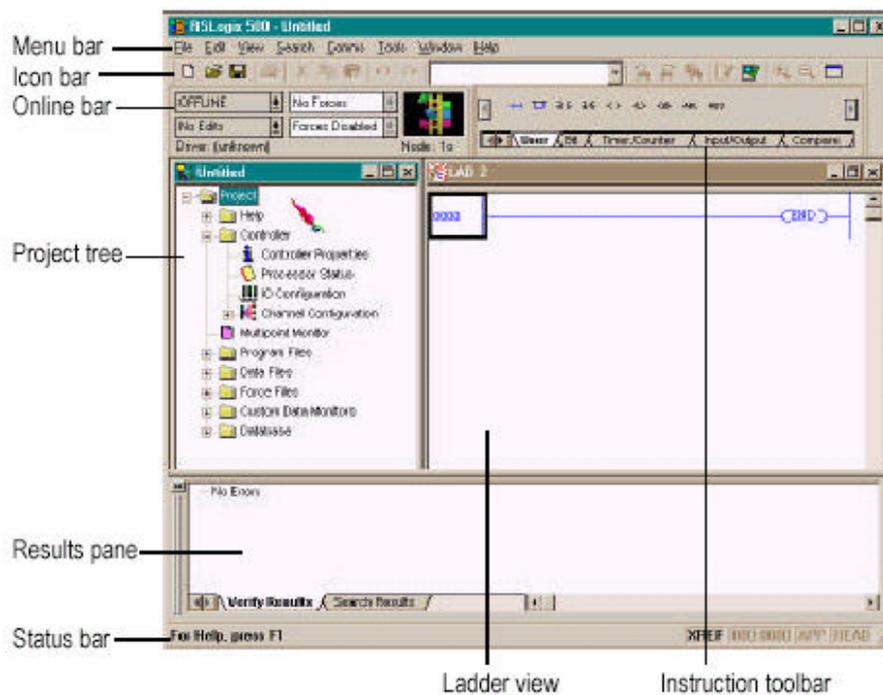


Figura 42. Interfaz Gráfica de Rsllogix 500

7.2.4.1. **Editores de programación.** Los editores de programa flexibles permiten crear programas de aplicación sin preocuparse por la sintaxis cuando crea el programa. Un Verificador del proyecto crea una lista de errores por la cual se navega para efectuar correcciones según lo desee. Arrastrar y soltar ediciones permite transferir o copiar instrucciones de un renglón a otro dentro de un proyecto, renglones de una subrutina o proyecto a otro o elementos de la Cuadro de datos de un archivo de datos a otro.

Tiene acceso rápido a las herramientas de software comunes haciendo clic con el botón derecho del mouse en las direcciones, los símbolos, los renglones o los otros objetos de aplicación. Esta utilidad proporciona toda la funcionalidad necesaria para llevar a cabo una tarea dentro de un solo menú.

7.2.4.2. Configuración de E/S. El configurador de E/S fácil de usar permite hacer clic o arrastrar y colocar un módulo de una lista global a fin asignarle una ranura en la configuración.

La configuración avanzada, la cual es requerida para los módulos especiales y analógicos, ofrece acceso fácil. Estos métodos útiles aceleran la entrada de datos de configuración. También está disponible una función de configuración automática de E/S.

7.2.4.3. Editor de Bases de Datos. Con el Editor de grupo de símbolos se crea y clasifica grupos de símbolos a fin de poder seleccionar fácilmente porciones de los documentos registrados para cada proyecto.

Con el selector de dirección/símbolo se direcciona fácilmente las instrucciones en la lógica de escalera haciendo clic en las direcciones o los símbolos para asignarlos a las instrucciones de lógica de escalera.

7.2.4.4. Herramientas de Diagnóstico y de Resolución de Problemas. Se examina simultáneamente el estado de bits, temporizadores, contadores, entradas

y salidas en una sola ventana mediante el Monitor de datos personalizado. Cada proyecto de aplicación que se crea puede tener su propia ventana Monitor de datos personalizado.

Repasa fácilmente los establecimientos de bits de estado que son específicos a su programación de aplicación incluso información de Tiempo de escán, información Registro matemático, parámetros de interrupción y más con las pantallas con fichas de estado.

La tabla a continuación muestra los diferentes tipos de variables que se tiene al trabajar con este programa.

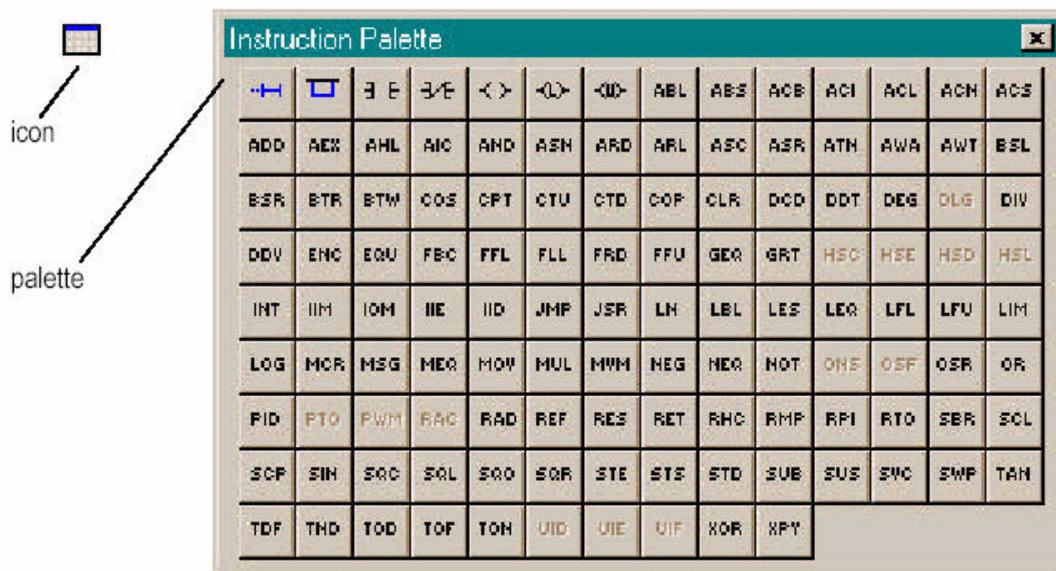


Figura 43. Muestra Símbolos para Construir la Lógica de Escalera

Cuadro 17. Funciones del RSLogix

Grupo de funciones	Descripción
Tipo relé (bit)	Las instrucciones tipo relé (bit) monitorean y controlan estado de los bits. XIC, XIO, OTE, OTL, OTU, OSR, ONS, OSF
Temporizador y contador	Las inst. de temporizador y contador controlan las operaciones basadas en tiempo o en el número de eventos. TON, TOF, RTO, CTU, CTD, RES
Comparación	Las instrucciones de comparación comparan valores usando una operación de comparación específica. EQU, NEQ, LES, LEQ, GRT, GEQ, MEQ, LIM
Matemáticas	Las instrucciones matemáticas realizan operaciones matemáticas. ADD, SUB, MUL, DIV, NEG, CLR, SQR, SCL, SCP
Conversión	Las inst. de conversión realizan el multiplexado y demultiplexado de datos y realizan conversiones entre valores binarios y decimales. DCD, ENC, TOD, FRD
Lógicas	Las instrucciones lógicas realizan operaciones lógicas bit o bit en las palabras. AND, OR, XOR, NOT
Transferencia	Las instrucciones de transferencia modifican o mueven palabras. MOV, MVM
Archivo	Las instrucciones de archivo realizan operaciones en datos de archivo. COP, FLL, BSL, BSR, FFL, FFU, LFL, LFU
Secuenciador	Las instrucciones de secuenciador se usan para controlar Máquinas de ensamblaje automático que tienen operaciones Repetitivas. SQC, SQO, SQL
Control de Programa	Las instrucciones de flujo del programa cambian el flujo de la Ejecución del programa de lógica de escalera. JMP, LBL, JSR, SBR, RET, SUS, TND, MCR, END
Entrada y salida	Las instrucciones de entrada y salida permiten actualizar datos selectivamente sin esperar los escanes de la entrada y salida. IIM, IOM, REF
Interrupción de Usuario	Las instrucciones de interrupción de usuario permiten interrumpir el programa en base a eventos definidos. STS, INT, UID, UIE, UIF
Control de Proceso	Las instrucciones de control de proceso proporcionan control de lazo cerrado. PID
Comunicaciones	Las instrucciones de comunicación leen o escriben datos a otra estación. MSG, SVC
Contador de alta Velocidad	Las instrucciones de contador de alta velocidad configuran, controlan y monitorean los contadores de hardware del controlador. HSL, RAC
Salidas de alta Velocidad	Las instrucciones de alta velocidad permiten controlar y monitorear las funciones PTO y PWM, las cuales controlan las salidas físicas de alta velocidad. PTO, PWM
ASCII (1)	Las instrucciones ASCII usan el canal de comunicación para recibir o transmitir datos y manipular los datos de cadena.

10b	Tornillo inferior de retención del BTE
-----	--

Figura 44. Descripción del Módulo Entradas Análogas

7.2.1.2. Interruptor de Alimentación Externa

Este módulo tiene un interruptor de alimentación externa de 24 VCC que le permite utilizar una fuente de alimentación externa.

El interruptor se encuentra en la parte inferior izquierda de la tarjeta de circuitos, tal como se muestra en la figura adjunta. Cuando el interruptor se encuentra hacia arriba (posición predeterminada), se consumirán 24 VCC de la fuente de alimentación del sistema 1769 a través del bus de E/S 1769. Si el interruptor está hacia abajo, los 24 VCC se consumirán de la fuente de alimentación externa.

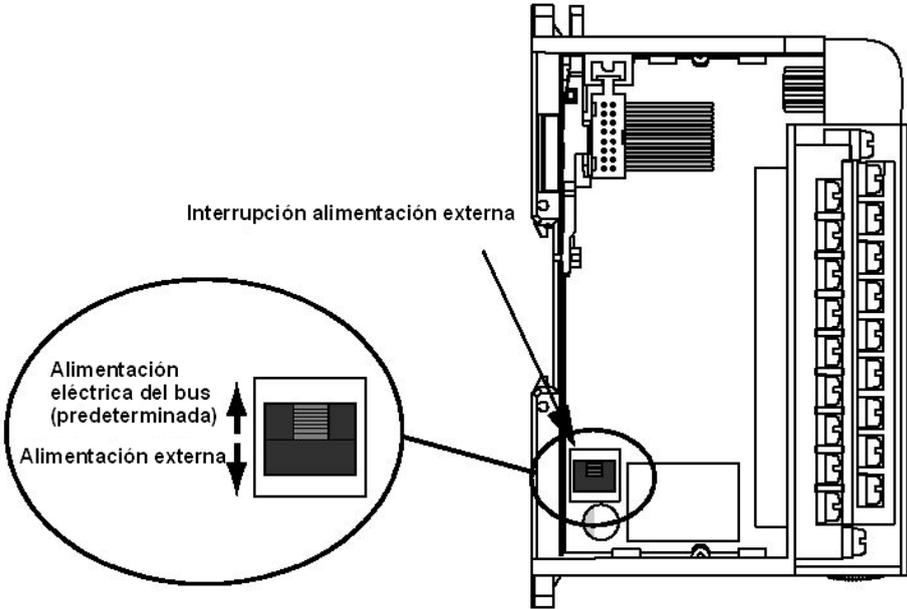


Figura 45. Interruptor de Alimentación Externa Entradas Análogas

7.2.1.3. Cableado de Entradas Diferenciales

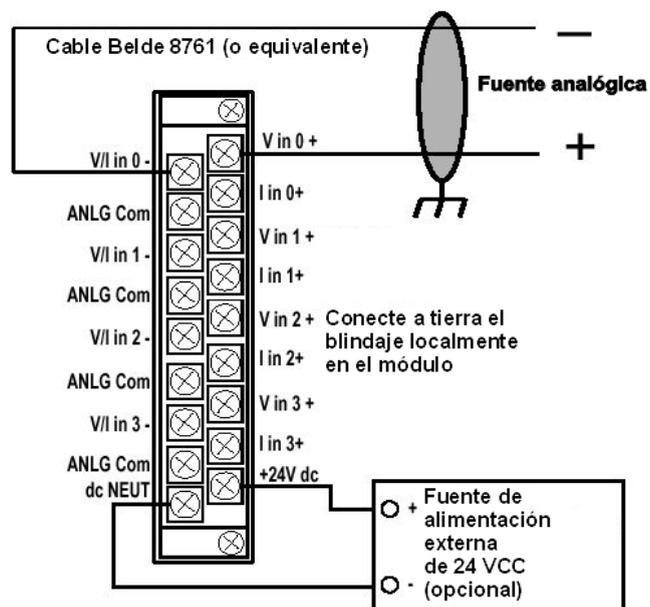


Figura 46. Cableado de Entradas Diferenciales

(1) La fuente de alimentación externa debe estar clasificada como Clase 2, con un rango de 24 VCC entre 20.4 y 26.4 VCC y un mínimo de 60 mA.

(2) Los módulos de serie B y posterior proporcionan esta opción.

7.2.1.4. Cableado de Sensores/Transmisores Unipolares

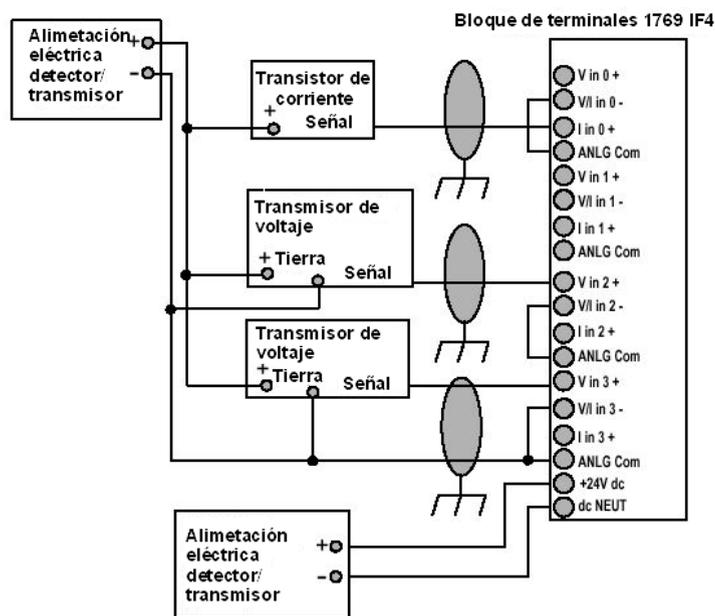


Figura 47. Cableado de Sensores/Transmisores Unipolares

(1) La fuente de alimentación externa debe estar clasificada como Clase 2, con un rango de 24 VCC entre 20.4 y 26.4 VCC y un mínimo de 60 mA.

(2) Los módulos de serie B y posterior proporcionan esta opción.

7.2.1.5. Cableado de Transmisores Mixtos

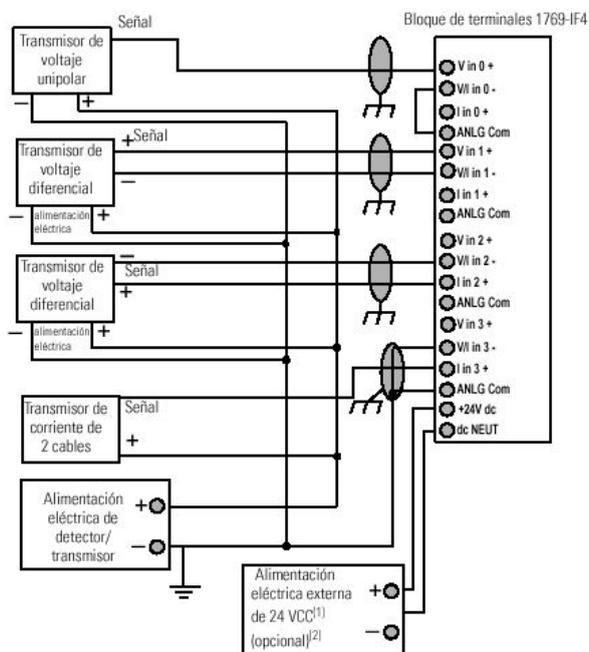


Figura 48. Cableado de Transmisores Mixtos

(1) La fuente de alimentación externa debe estar clasificada como Clase 2, con un rango de 24 VCC entre 20.4 y 26.4 VCC y un mínimo de 60 mA.

(2) Los módulos de serie B y posterior presentan esta característica.

7.2.1.6. Asignación de Memoria de E/S

- **Archivo de Datos de Entrada**

Para cada módulo de entrada, en la ranura x, las palabras 0-3 del archivo de datos de entrada contienen los valores analógicos de las entradas.

Cuadro 18. Archivo de Datos de Entradas de las Entrada Análogas

PALABRA	POSICION DE BIT														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0	SGN	Canal de datos de entrada analógica 0													
1	SGN	Canal de datos de entrada analógica 1													
2	SGN	Canal de datos de entrada analógica 2													
3	SGN	Canal de datos de entrada analógica 3													
4	No se usa											S3	S2	S1	S0
5	U0	O0	U1	O1	U2	O2	U3	O3	Establecer a 0						

Los bits están definidos del siguiente modo:

- **SGN** = Bit de signo en el formato de complemento a dos.

	Rango de porcentaje	0	1	1									
	Disponibles												
Habilitar canal	Habilitado	0											
	Inhabilitado	1											

7.2.1.7. Especificaciones Para las Entradas

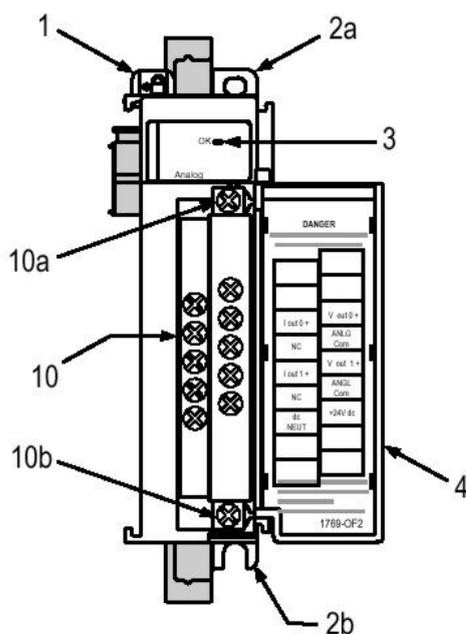
Cuadro 20. Especificaciones Para las Entradas Análogas

Especificación	1769-IF4 (serie B o posterior)
Rangos de operación analógica normal	Voltaje: ± 10 VCC, de 0 a 10 VCC, de 0 a 5 VCC, de 1 a 5 VCC Corriente: de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA
Escala completa de rangos analógicos	Voltaje: ± 10.5 VCC, de -0.5 a 10.5 VCC, de 0.5 a 5.25 VCC, de 0.5 a 5.25 VCC Corriente: de 0 a 21 mA, de 3.2 a 21 mA
Número de entradas	4 diferenciales o unipolares
Consumo de corriente del bus (máx.)	120 mA a 5 VCC 60 mA a 24 VCC (6)
Disipación del calor	2.52 watts totales (watts por punto, más los vatios mínimos, con todos los puntos activados)
Tipo de convertidor	Delta Sigma
Resolución (máx.)	14 bits (unipolar) 14 bits con signo (bipolar)
Impedancia de entrada	Terminal de voltaje: 220 K Ω (típico) Terminal de corriente: 250 Ω
Precisión general	Terminal de voltaje: $\pm 0.2\%$ de la escala completa a 25 °C Terminal de corriente: $\pm 0.35\%$ de la escala completa a 25 °C

Rango de fuente de alimentación	Clase 2 de 24 VCC opcional de 20.4 V a 26.4 VCC
Configuración de canales de entrada	Mediante pantalla de software de configuración o programa de usuario (escribiendo un patrón de bits único en el archivo de configuración del módulo). Consulte el manual de usuario del controlador para conocer si es compatible la configuración mediante programas del usuario.
LED indicador del módulo	Encendido: el módulo recibe alimentación eléctrica, ha superado el diagnóstico interno y se está comunicando a través del bus. Apagado: no se cumple alguna de las condiciones anteriores.
Temperatura de almacenaje	de -40 °C a +85 °C
Temperatura de funcionamiento	de 0 °C a +60 °C
Certificaciones	<ul style="list-style-type: none"> · Certificación C-UL (bajo CSA C22.2 nº 142) · Lista UL 508 · Conforme a todas las directivas relevantes de la CE
Cable recomendado	Belden™ 8761 (blindado)

7.2.2. Salidas Análogas

7.2.2.1. Descripción del Módulo



Nº	Descripción
1	Palanca de bus (con enclavamiento)
2a	Lengüeta superior para montaje en panel
2b	Lengüeta inferior para montaje en panel
3	Indicador LED de estado del módulo
4	Puerta del módulo con etiqueta identificadora de terminales
5a	Conector de bus móvil con pines hembra
5b	Conector de bus fijo con pines macho

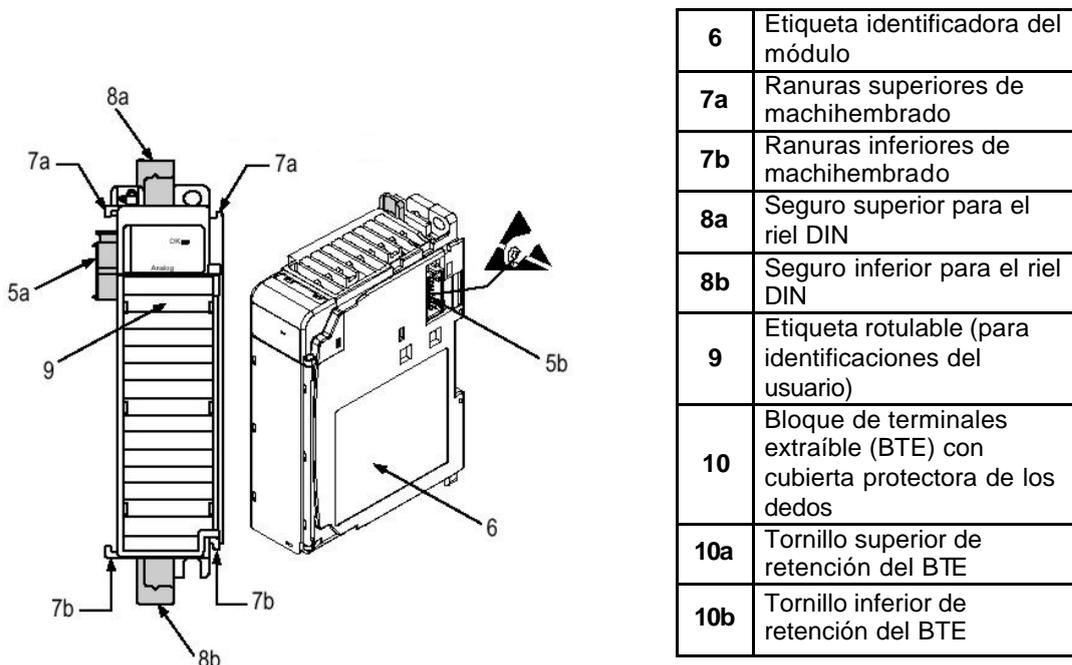


Figura 49. Descripción del Módulo Salidas Análogas

7.2.2.2. Interruptor de Alimentación Eléctrica Externa. El módulo 1769-OF2 (serie B o posterior) cuenta con un interruptor de alimentación eléctrica externa de 24 VCC, el cual proporciona al usuario la opción de usar una fuente de alimentación eléctrica externa. El interruptor se encuentra en la parte inferior izquierda de la tarjeta de circuitos del módulo, según se muestra a continuación. Cuando este interruptor se encuentra en la posición hacia arriba (opción predeterminada), la alimentación eléctrica de 24 VCC suministra desde la fuente de alimentación eléctrica del sistema 1769 mediante el bus de E/S 1769. Cuando el interruptor se encuentra en la posición hacia abajo, la energía eléctrica de 24 VCC es provista desde la fuente de alimentación eléctrica externa. La fuente de

alimentación eléctrica externa debe ser Clase 2 con un rango de 24 VCC de 20.4 a 26.4 VCC y 120 mA mínimo.

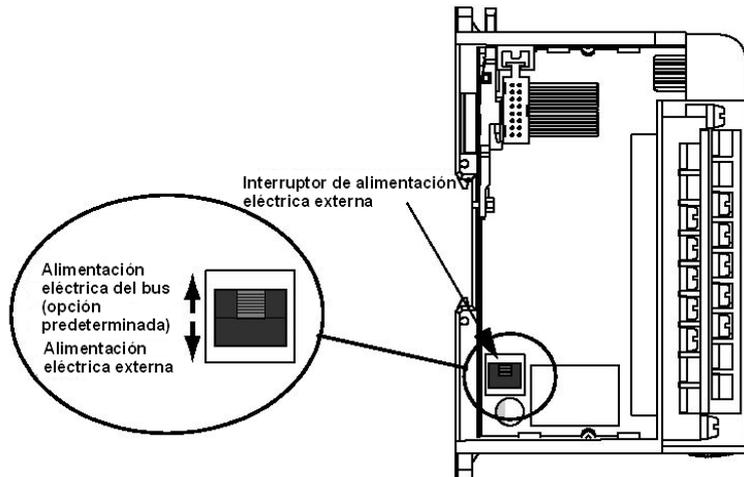


Figura 50. Interruptor de Alimentación Externa Salidas Análogas

7.2.2.3. Cableado de Los Dispositivos de Salida. En el esquema siguiente se muestra el cableado básico de los dispositivos de salida.

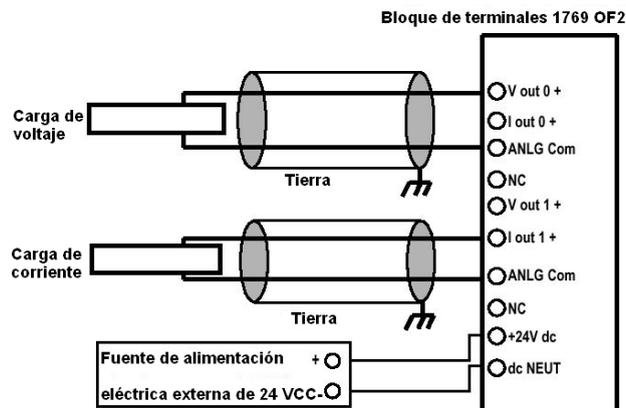


Figura 51. Cableado de Los Dispositivos de Salida Análogas

7.2.2.4. Asignación de Memoria de E/S

- **Archivo de Datos de Salida.** Para cada módulo, ranura x, las palabras 0 – 1 del archivo de datos de salida contiene los datos de salida de los canales 0 y 1.

Cuadro 21. Archivo de Datos de Salida Análogas

Palabra	Posición de bit															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	SGN	Datos de salida analógica canal 0														
1	SGN	Datos de salida analógica canal 1														

•SGN = Bit de signo en el formato de complemento a dos

- **Archivo de Datos de Entrada.** Para cada módulo, ranura x, las palabras 2 – 3 contienen el estado de las palabras 0 – 1 del archivo de datos de salida del módulo (eco de los datos de salida). Durante el funcionamiento normal, estas palabras de entrada representan los valores analógicos a los cuales son dirigidas las salidas por el programa de control. Éstas también dependen de:

- la configuración del modo programa (si lo acepta el controlador)
- la configuración del modo fallo de (si lo acepta el controlador)

Cuadro 22. Archivo de Datos de Entrada de las Salidas Análogas

PALABRA	POSICIÓN DE BIT															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	D0	H0	D1	H1	No se usa (Bits establecidos a 0)										S1	S0
1	U0	O0	U1	O1	Bits establecidos a 0											
2	SGN	lazos de datos de salida/canal de eco 0														
3	SGN	lazos de datos de salida/canal de eco 1														

Los bits están definidos del siguiente modo:

- **Dx** = Bits de diagnóstico. Cuando están establecidos, indican que hay un cable de salida roto o una resistencia de carga alta (no se utilizan en salidas de voltaje).

- **Hx** = Bits de retención del último estado. Cuando están establecidos, indican que el canal se encuentra en condición de retención del último estado.

- **Sx** = Bits de estado general. Cuando están establecidos, estos bits indican un error (sobrerrango, bajo rango, o un bit de diagnóstico) asociado a ese canal o un error de hardware del módulo.

- **Ux** = Bits indicadores bajo rango.

- **Ox** = Bits indicadores de sobrerrango.

- **SGN** = Bit de signo en el formato de complemento a dos.
- **Archivo de Datos de Configuración.** La manipulación de los bits mediante este archivo normalmente se realiza usando el software de programación (por ejemplo, RSLogix 500, RSNetwork para DeviceNet, etc.) durante la configuración inicial del sistema. El programador proporciona pantallas de gráficos que simplifican la configuración. Sin embargo, algunos sistemas, como el adaptador DeviceNet 1769-ADN, también permite el cambio de los bits como parte del programa de control usando renglones de comunicación. En tales casos, es necesario tener nociones de la configuración de bits. Las palabras de configuración de canal, palabras 0 y 1.

Cuadro 23. Archivo de Datos de Configuración Salidas Análogas

Palabra /bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Palabra 0	Véase "palabras de configuración de canal" en pagina siguiente															
Palabra 1	Véase "palabras de configuración de canal" en pagina siguiente															
Palabra 2	S	Valor de fallo – canal 0														
Palabra 3	S	Valor de programa (inactividad) – Canal 0														
Palabra 4	S	Valor de fallo – Canal 1														
Palabra 5	S	Valor de programa (inactividad) – Canal 1														

- **Palabras de Configuración de Canal.** Las palabras 0 a 1 del archivo de configuración permiten modificar los parámetros de cada uno de los canales. Por ejemplo, la palabra 0 corresponde al canal 0.

Cuadro 24. Palabras de Configuración de Canal Salidas Análogas

Defina	Estas configuraciones de bits												Indique lo siguiente			
	15	14	13	12	11	10	9	8	4-7	3	2	1		0		
Programa (inactivo) para habilitar fallos									No se utiliza					0	Datos del modo programa (inactivo) aplicados	
										1	Datos del modo de fallos aplicados					
No se usa															reserva	
Modo de Programa (inactivo)												0			Retención del último estado	
												1			Valor definido por el usuario	
Modo de fallo													0		Retención del último estado	
													1		Valor de fallo definido por el usuario	
Seleccionar rango de salida					0	0	0	0								de -10 VCA a +10 VCC
					0	0	0	1								de 0 a 5 VCC
					0	0	1	0								de 0 a 10 VCC
					0	0	1	1								de 4 a 20 mA
					0	1	0	0								de 1 a 5 VCC
					0	1	0	1								de 0 a 20 mA
																Libre
Seleccionar Datos de salida		0	0	0												Datos no procesados/ proporcionales
		0	0	1												Unidades de ingeniería
		0	1	0												Según escala para PID
		0	1	1												Rango de porcentaje
																Libre
Habilitar canal	1															Habilitado
	0															Inhabilitado

7.2.2.5. Especificaciones Generales

Cuadro 25. Especificaciones Generales Salidas Análogas

Especificación	Valor
Medidas	118 mm (alto) x 87 mm (profundidad) x 35 mm (ancho) la altura, incluyendo las lengüetas de montaje, es de 138 mm. 4.65 pulgadas (alto) x 3.43 pulgadas de profundidad) x 1.38 pulgadas (ancho) la altura, incluyendo las lengüetas de montaje, es de 5.43 pulgadas.
Peso aproximado de envío (con caja)	300 g (0.65 libras)
Temperatura de almacenaje	de -40 °C a +85 °C
Temperatura de funcionamiento	De -40 °C a +60 °C
Certificaciones	Certificación C-UL (bajo CSA C22.2 n° 142) Lista UL 508 Cumple con todas las directivas CE relevantes
Clasificación eléctrica Del área	clase I, división 2, lugar peligroso, grupos A, B, C, D (UL 1604, C-UL bajo CSA C22.2 n° 213)

- **Especificaciones Para las Salidas**

Cuadro 26. Especificaciones Para las Salidas Análogas

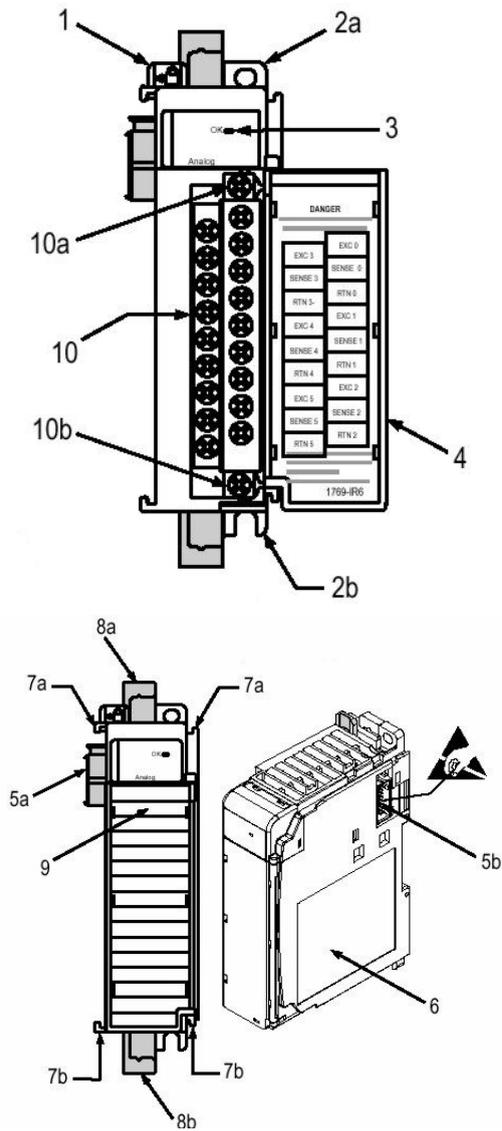
Especificación	1769-OF2 (serie B o posterior)
Rangos de operación analógica normal	Voltaje: ± 10.5 VCC, de -0.5 a 10.5 VCC, de -0.5 a 5.25 VCC, de 0.5 a 5.25 VCC de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA
Rangos analógicos de escala total	Voltaje: ± 10.5 VCC, de -0.5 a 10.5 VCC, de -0.5 a 5.25 VCC, de 0.5 a 5.25 VCC Corriente: -15 dB a 50 Hz, -18 dB a 60 Hz
Número de salidas	2 unipolares
Corriente del bus (máx.)	120 mA a 5 VCC 120 mA a 24 VCC (2)
Disipación del calor	2.63 watts en total (watts por punto más valor mínimo de watts con todos los puntos activados).
Tipo de convertidor	Sigma-Delta
Resolución digital en todo el rango	14 bits (unipolares); 14 bits plus signo (bipolares) ± 10 VCC: Signo + 14 bits, 0.64 mV 0 a +5 VCC: Signo + 13 bits, 0.64 mV 0 a +10 VCC: Signo + 14 bits, 0.64 mV +4 a +20 mA: Signo + 14 bits, 1.28 μ A +1 a +5 VCC: Signo + 13 bits, 0.64 mV 0 a +20 mA: Signo + 14 bits, 1.28 μ A

Especificación	1769-OF2 (serie B o posterior)
Índice de conversión (todos los canales)	2.5 ms (máx.)
Respuesta de paso al 63 %	2.9 ms
Carga de corriente en salida de voltaje	10 mA máx.
Carga resistiva en salida de voltaje	de 0 a 500Ω (incluye la resistencia del cable)
Rango de carga en salida de voltaje	> 1 kΩ a 10 VCC
Carga inductiva máx. (Salidas de cte.)	0.1 mH
Carga capacitiva máx. (Salidas de volt)	1 μF
Calibrado de campo	No se requiere ninguno
Precisión general (4)	Terminal de voltaje: ±0.5 % de escala total a 25 °C Terminal de cte.: ±0.35 % de la escala completa a 25 °C
Desviación de la precisión con la temperatura	Terminal de voltaje: ±0.0086 % FS por °C Terminal de corriente: ±0.0058 % FS por °C
Rango de fluctuación (5) de salida de 0 a 50 kHz (ref. rango salida)	±0.05 %
Capacidad de repetición (porcentaje según la escala completa)	±0.05 %
Error de módulo en rango de Temperatura completa (0 a 60 °C [+32 °F a +140 °F])	Voltaje: ±0.8 % Corriente: ±0.55 %
Error de offset de salida (0 a 60 °C [+32 °F a +140 °F])	±0.05 %
Impedancia de salida	15 Ω(típico)
Protección contra circuitos abiertos y Cortocircuitos	Sí
Corriente máx. de Cortocircuito	21 mA
Protección de sobretensión de salida	Si
Respuesta de salida al momento del encendido y desactivación del sistema	Pico de ± 0.5 VCC durante < 5 ms
Voltaje nominal operativo	30 VCA/30 VCC
Grupo de salidas al aislamiento de bus	500 VCA ó 710 VCC durante 1 minuto (prueba de calificación) Voltaje operativo 30 VCA/30 VCC (aislamiento reforzado IEC Clase 2)
Diagnóstico de canales	Sobrealcance o bajo rango mediante comunicación por bits Rotura de cable de salida o resistencia de carga elevada mediante comunicación por bits (sólo en modo de corriente)

7.2.3. Módulo de Salidas RTD

7.2.3.1. Descripción General del Módulo. El módulo 1769-IR6 recibe y almacena datos analógicos digitalmente convertidos de otros RTD u otras entradas de resistencia, tales como potenciómetros. El módulo acepta conexiones de cualquier combinación de hasta 6 RTD u otras entradas de resistencia. Vea las especificaciones de entrada, para obtener los tipos de RTD y resistencia compatibles, los rangos de temperatura de los mismos y los rangos de señal de entrada analógica que cada canal acepta.

Cada uno de los 6 canales de entrada es individualmente configurable para un dispositivo de entrada específico y ofrece indicación de circuito abierto o cortocircuitos y Sobrealcance o bajo rango.



Nº	Descripción
1	palanca de bus (con enclavamiento)
2a	lengüeta superior para montaje en panel
2b	lengüeta inferior para montaje en panel
3	Indicador LED de estado del módulo
4	puerta del módulo con etiqueta identificadora de terminales
5a	conector de bus móvil con pines hembra
5b	conector de bus fijo con pines macho
6	etiqueta identificadora del módulo
7a	ranuras superiores de machihembrado
7b	ranuras inferiores de machihembrado
8a	seguro superior para el riel DIN
8b	seguro inferior para el riel DIN
9	etiqueta rotulable (para identificaciones del usuario)
10	bloque de terminales extraíble (BTE) con cubierta protectora de los dedos
10a	tornillo superior de retención del BTE
10b	tornillo inferior de retención del BTE

Figura 52. Descripción del Modulo Salidas RTD

7.2.3.2. Asignación de Memoria de E/S

◆ **Archivo de Datos de Entrada.**

Las seis primeras palabras (0 a 5) del archivo de datos de entrada contienen los valores analógicos de RTD o resistencia de las entradas. Las palabras 6 y 7 proporcionan retroalimentación de estado del detector/canal que se puede usar en el programa de control según se muestra a continuación.

Cuadro 27. Archivo de Datos de Entrada de La Salida RTD

PALABRA	POSICION DE BIT															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Canal 0 de datos de entrada RTD/resistencia															
1	Canal 1 de datos de entrada RTD/resistencia															
2	Canal 2 de datos de entrada RTD/resistencia															
3	Canal 3 de datos de entrada RTD/resistencia															
4	Canal 4 de datos de entrada RTD/resistencia															
5	Canal 5 de datos de entrada RTD/resistencia															
6	No se usa	OC5	OC4	OC3	OC2	OC1	OC0	No se usa	S5	S4	S3	S2	S1	S0		
7	U0	O0	U1	O1	U2	O2	U3	O3	U4	O4	U5	O5	No se usa			

Los bits de estado de las palabras 6 y 7 se definen así:

- **Sx** = Bit de estado general para los canales 0 a 5. Este bit se establece (1) cuando existe un error para dicho canal (sobrerrango o bajo rango, circuito abierto o datos de entrada no válidos). Una condición de datos de entrada no válidos es determinada por el programa del usuario. Esta condición ocurre cuando la primera conversión analógica a digital todavía está en progreso al momento del encendido o después de enviarse una nueva configuración al módulo. Vea el documento *RTD/resistence Input Module User Manual*, número de publicación 1769-UM005A-EN-P para obtener más detalles.
- **OCx** = Bit de detección de circuito abierto para los canales 0 a 5. Estos bits se establecen (1) cuando se detectan una entrada abierta o en cortocircuito para las entradas RTD o una entrada abierta para las entradas de resistencia.
- **Ux** = Bits indicadores de bajo rango para los canales 0 a 5, usando las entradas RTD solamente. Estos bits se pueden usar en el programa de control para detectar errores. No hay un error de bajo rango para una entrada de resistencia directa puesto que 0 es un número válido.
- **Ox** = Bits indicadores de sobrerrango para los canales 0 a 5, usando entradas RTD o de resistencia. Estos bits se pueden usar en el programa de control para detectar errores.
- ◆ **Archivo de Datos de Configuración.** La manipulación de los bits mediante este archivo normalmente se realiza usando el software de programación (por ej., RSLogix 500, RSNetworx para DeviceNet, Etc.) durante la configuración inicial del

sistema. La herramienta de programación proporciona pantallas de gráficos que simplifican la configuración. Sin embargo, algunos sistemas, como el adaptador DeviceNet 1769-ADN, también permite el cambio de los bits como parte del programa de control usando renglones de comunicación. En tales casos, es necesario tener nociones de la configuración de bits.

Las palabras 0 a 5 del archivo de configuración permiten modificar los parámetros de cada uno de los canales. Por ejemplo, la palabra 0 corresponde al canal 0, la palabra 1 corresponde al canal 1, etc. La configuración funcional de los bits se muestra a continuación para una sola palabra/canal.

Cuadro 28. Configuración de Datos de la Salida RTD

Defina		Estas configuraciones de bits															
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Frecuencia de filtro	10 Hz														1	1	0
	60 Hz														0	0	0
	50 Hz														0	0	1
	250 Hz														0	1	1
	500 Hz														1	0	0
	1 kHz														1	0	1
Corriente de excitación	1.0 mA													0			
	0.5 mA													1			
Compensación de cable cíclica	Habilitación												0				
	Inhabilitación												1				

	Inhabilitación	1																	
--	----------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- ◆ **Palabra de configuración del módulo.** La palabra 5 del archivo de datos de configuración contiene el bit de habilitar/inhabilitar calibración cíclica de habilitación/inhabilitación según se muestra en la Cuadro siguiente.

Cuadro 30. Palabra de Configuración de la Salida RTD

Defina		Estas configuraciones de bits																	
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
Habilitar/Inhabilitar Calibración cíclica	Habilitación																		0
	Inhabilitación																		1

7.2.3.3. Especificaciones Generales

Cuadro 31. Especificaciones Generales

Especificación	Valor
----------------	-------

Medidas	118 mm (alto) x 87 mm (profundidad) x 35 mm (ancho) la altura, incluyendo las lengüetas de montaje, es de 138 mm. 4.65 pulgadas (alto) x 3.43 pulgadas (profundidad) x 1.38 pulgadas (ancho) la altura, incluyendo las lengüetas de montaje, es de 5.43 pulgadas.
Peso aproximado de envío (con caja)	276 g (0.61 lbs.)
Temperatura de almacenaje	de -40 °C a +85 °C
Temperatura de funcionamiento	de 0 °C a +60 °C
Humedad de funcionamiento	del 5 % al 95 %, sin condensación
Altitud de funcionamiento	2000 metros
Vibración En funcionamiento:	de 10 a 500 Hz, 5 g, 0.030 pulg., pico a pico
Funcionamiento de relé:	2 G
Choque	En funcionamiento: 30 G, 11 ms, montaje en panel (20 G, 11 ms, montaje en riel DIN) Funcionamiento de relé: 7.5 G montado en panel (5 G montado en riel DIN) Fuera de funcionamiento: 40 G montado en panel (30 G montado en riel DIN)
Certificaciones	•Certificación C-UL (bajo CSA C22.2 n° 142) •Lista UL 508 •Cumple con todas las directivas CE relevantes
Clasificación eléctrica del área	Clase I, división 2, lugar peligroso, grupos A, B, C, D (UL 1604, -UL bajo CSA C22.2 n° 213)

7.2.3.4. Especificaciones de Entrada

Cuadro 32. Especificaciones de Entrada de la Salida RTD

Especificación	1769-IR6		
Tipos de entrada	100 Ω Platino 385	500 Ω Platino 3916	0 a 150 Ω
	200 Ω Platino	3851000 Ω Platino 3916	0 a 500 Ω
	500 Ω Platino	8510 Ω Cobre 426	0 a 1000 Ω
	1000 Ω Platino 385	20 Ω Níquel 672	0 a 3000 Ω
	100 Ω Platino 3916	120 Ω Níquel 618	
	200 Ω Platino 3916	604 Ω Níquel-hierro 518	
Consumo de corriente del bus (máx.)	100 mA a 5 VCC 45 mA a 24 VCC		
Disipación del calor	1.5 watts en total (watts por punto más valor mínimo de watts con todos los puntos activados.)		
Tipo de convertidor	Sigma-Delta		
Filtro de entrada	Filtro digital de paso bajo con filtro de atenuación programable		

Resolución	Dependiente de filtro de entrada y configuración. Vea el documento 1769-IR6 User Manual, número de publicación 1769-UM005A-E N-P, para obtener más información.	
Rango de voltaje de modo común	±10 VCC máximo por canal	
Rechazo de modo común	110 dB mín. a 50 Hz con el filtro de 10 ó 50 Hz seleccionado 110 dB mín. a 60 Hz con el filtro de 10 ó 60 Hz seleccionado	
Relación de rechazo en modo normal	70 dB mínimo a 50 Hz con el filtro de 10 ó 50 Hz seleccionado 70 dB mínimo a 60 Hz con el filtro de 10 ó 60 Hz seleccionado	
Sin linealidad (expresada en porcentaje de escala completa)	±0.05 %	
Precisión (1) a 25 °C (°F)	±0.5 °C (0.9 °F) para Pt 385 ±0.4 °C (0.72 °F) para Pt 3916 ±0.2 °C (0.36 °F) para Ni ±0.3 °C (0.54 °F) para NiFe ±0.6 °C (1.08 °F) para Cu	±0.15 Ω par rango de 150 Ω ±0.5 Ω par rango de 500 Ω ±1.0 Ω par rango de 1000 Ω ±1.5 Ω par rango de 3000 Ω
Precisión (1) a 0 hasta 60 °C (+32 hasta +140 °F)	±0.9 °C (1.62 °F) para Pt 385 ±0.8 °C (1.44 °F) para Pt 3916 ±0.4 °C (0.72 °F) para Ni ±0.5 °C (0.9 °F) para NiFe ±1.1 °C (1.98 °F) para Cu	±0.25 Ω par rango de 150 Ω ±0.8 Ω par rango de 500 Ω ±1.5 Ω par rango de 1000 Ω ±2.5 Ω par rango de 3000 Ω
Deriva de precisión a 0 hasta 60 °C (+32 hasta +140 °F)	±0.026 °C/°C (0.026 °F/°F) para Pt 385 ±0.023 °C/°C (0.023 °F/°F) para Pt 3916 ±0.012 °C/°C (0.012 °F/°F) para Ni ±0.015 °C/°C (0.015 °F/°F) para NiFe ±0.032 °C/°C (0.032 °F/°F) para Cu	±0.007Ω/°C (±0.013Ω/°F) para 150Ω ±0.023Ω/°C (±0.041Ω/°F) para 500Ω ±0.043Ω/°C (±0.077Ω/°F) para 1000Ω ±0.072Ω/°C (±0.130Ω/°F) para 3000Ω
Capacidad de repetición (1)	±0.01 °C (0.018 °F) para Ni y NiFe ±0.2 °C (0.36 °F) para otras entradas RTD ±0.04Ω para resistencia de 150Ω ±0.2Ω para otras resistencias	
Especificación	1769-IR6	
Tiempo de detección de circuito abierto (2)	6 ms a 303 s	
Tiempo de actualización de canal	Dependiente de filtro de entrada y configuración. Vea el documento 1769-IR6 User Manual, número de publicación 1769-UM005A-E N-P.	
Configuración de canal de entrada	mediante la pantalla de software de configuración o el programa del usuario (escribiendo una configuración única de bits en el archivo de configuración del módulo). Vea el manual del usuario del controlador para determinar si la configuración de programa es compatible.	
Calibración	El módulo realiza la autocalibración en la habilitación de canal y en el cambio de configuración entre los canales. También es posible programar el módulo para calibrar cada cinco minutos.	
Indicador LED Module OK	Encendido: el módulo recibe alimentación eléctrica, ha superado el diagnóstico interno y se está comunicando a través del bus. Apagado Cualquiera de las condiciones anteriores no es cierta.	

Diagnóstico de canales	Sobrerango, bajo rango o entrada interrumpida por generación de informes de bit
Sobrecarga máxima en los terminales de entrada	Voltaje: ± 30 VCC continuos, ± 20 mA Corriente: ± 20 mA continuos, ± 30 VCC
Impedancia máx. de cable	25 Ω
Impedancia de entrada	>10 M Ω

7.3. ARCHIVOS DE ESTADO DEL SISTEMA

El archivo de estado del procesador permite monitorear el funcionamiento controlador y dirigir la forma como el diseñador desea que funcione. Esto se consigue configurando los bits de control y monitoreando los fallos de los dispositivos de hardware y programación y la información de estado.

Descripción general del archivo de estado.

El archivo de estado está conformado por las siguientes palabras.

Cuadro 33, Archivo de Estado

DIRECCIÓN	FUNCIÓN
S:0	Indicadores arrítmicos
S:1	Modo del controlador
S:2	Modo STI
S:2/9	Comparación de programa de módulo de memoria.
S:2/15	Selección de Overflow matemático.
S:3H	Tiempo de escan del temporizador de control (Watchdog)
S:4	Reloj autónomo
S:5	Bits de error menor.
S:6	Código de error mayor.
S:7	Código de suspensión.
S:8	Archivo de suspensión.
S:9	Nodos activos (nodos 0 a 15)

S:10	Nodos activos (nodos 16 a 31).
S:13, S:14	Registro matemático.
S:15L	Dirección de nodo
S:15H	Velocidad en baudios.
S:22	Tiempo de escan máximo.
S:29	Número de archivo de rutina de fallo usuario.
S:30	Punto de ajuste STI.
S:31	Número de archivo STI
S:33	Comunicaciones de canal 0.
S:35	Tiempo de último escan de 100 μ Seg.
S:36/10	Pérdida de protección contra sobreescritura de archivo de datos.
S:37	A o del RTC.
S:38	Mes del RTC.
S:39	Día del mes del RTC.
S:40	Horas del RTC.
S:41	Minutos del RTC.
S:42	Segundos del RTC.
S:53	Día de la semana del RTC.
S:57	Número de catalogo del sistema operativo.
S:58	Serie del sistema operativo.
S:59	FRN del sistema operativo.
S:60	Número de catalogo del procesador.
S:61	Serie del procesador.
S:62	Revisión del procesador.
S:63	Tipo de funcionalidad del programa de usuario.
S:64L	Revisión del compilador – Número de diseño.
A:64H	Revisión del compilador – Versión.

7.4. MÉTODO DE AJUSTE DE PARÁMETROS

El procesador del PLC de Micrologix 1500, dispone de bloques de función PID para control de procesos.

El bloque PID es una instrucción de salida que controla propiedades físicas como temperatura, presión, nivel de líquidos y régimen de flujo, utilizando lazos.

La instrucción controla un lazo cerrado usando entradas provenientes de módulos analógicos y proporcionando una salida a un módulo analógico de salida (4-20 mA).

En el proyecto se desarrollan 3 lazos de control con PID:

- Control de la presión de agua fría en el cabezal. Se dispone a la salida del PLC un variador de velocidad para las bombas P2 A/B.
- Control de la temperatura del agua en el tanque TK2, controlando la velocidad de los motores de las bombas P4 A/B.
- Control de la temperatura del agua en el cabezal, controlando la velocidad del ventilador de la torre de enfriamiento.

La determinación en forma teórica de un modelo matemático que representa el comportamiento del sistema que se desea controlar, es muy complicada y rara vez se obtienen resultados satisfactorios. Esto es debido a que en la práctica, sobre el proceso influyen muchas variables al mismo tiempo que hacen difícil determinar las ecuaciones representativas en el dominio del tiempo o la frecuencia.

Por tanto, para encontrar los valores de los parámetros de los PID en los lazos de control se siguió un método experimental usado frecuentemente a nivel industrial, que arroja buenos resultados en cuanto a criterios de estabilidad. El método práctico se resume a continuación.

➤ AJUSTES DE LAZO CERRADO

Inicialmente, se realiza un ensayo con un control de tipo proporcional solamente ($T_i=0$, $T_D=0$), seguido, se incrementa el valor de la ganancia crítica K_{pc} hasta que la salida empiece a oscilar, después de la aplicación de un paso al valor instrucción por el PID.

Seguir incrementando la ganancia hasta obtener a la salida una oscilación periódica T_c .

Experimentalmente, para un control de tipo PID, se pueden ensayar las siguientes constantes:

$$K_p = K_{pc}/1.7$$

$$T_i = T_c/2$$

$$T_D = T_c/8$$

Este método provee un alto control dinámico.

Para esta primera aproximación a los parámetros del PID, realizar un análisis del efecto de esta salida sobre el proceso. Determinar si el tiempo y los puntos mínimos y máximos obtenidos satisfacen los requerimientos de éste proceso.

Si la respuesta del circuito de control no es la adecuada, se procede a modificar los valores de estas ganancias, con el fin de reducir al mínimo el sobrepaso y el tiempo de recuperación del proceso.

En el anexo E, N y H se muestran la forma como están conectados los dispositivos en el PLC y en los módulos de expansión del mismo.

7.5. SOFTWARE DE SUPERVISIÓN

La automatización de procesos industriales requiere de varios componentes elementales que son los siguientes:

1. Instrumentos de entradas o captadores de señales del proceso. (módulos de entradas).
2. Procesador inteligente (PLC).
3. Actuadores de señales sobre el proceso. (módulos de salidas).

La interrelación de estos componentes puede controlar perfectamente todas las operaciones del proceso, pero es un sistema de control "CIEGO" en lo que se refiere a las comunicaciones con el operador. Entonces es necesario, incluir un cuarto elemento del sistema de control, para realizar actividades de monitoreo general de todas las variables. El software de supervisión empleado es Factory Link versión 6.6.0, que puede trabajar bajo ambientes de window 97, 98, 2000 y window NT. La principal herramienta de Factory Link para diseñar una aplicación, lo constituye el editor de aplicaciones.

- ◆ **El editor de aplicación.** Es una tarea de Factory Link utilizada para diseñar pantallas gráficas de interface de usuario, empleando objetos simples como líneas, círculos, cuadrados y objetos compuestos como figuras predeterminadas, alas cuales se les puede configurar características de animación que responden a cambios en las señales de entradas y/o salidas del PLC.

La figura 53 muestra la barra del editor de aplicación.

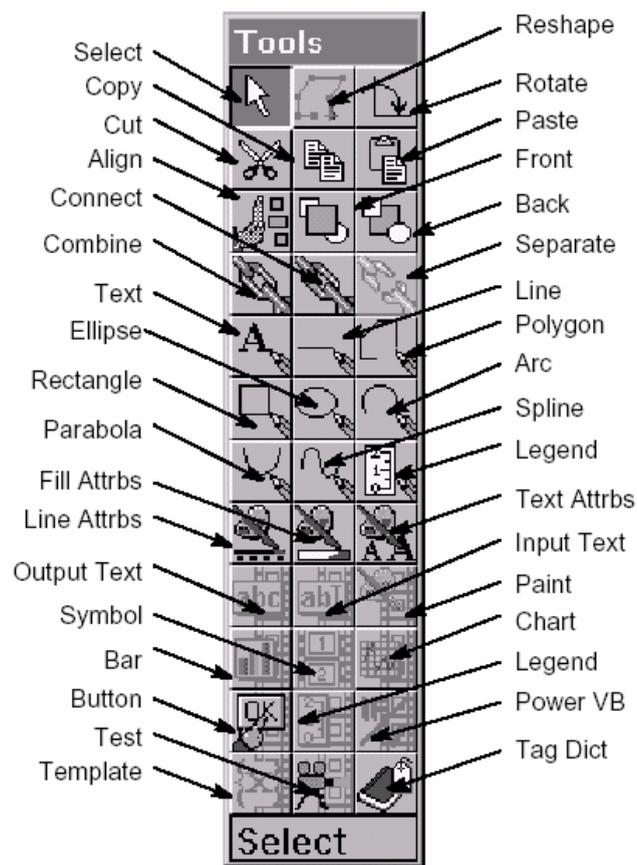


Figura 53. Barra de Herramientas del Editor de la Aplicación

Este programa contiene figuras de equipos como Bombas, tanque, transmisores, lo que hace más sencillo realizar los montajes de los procesos. A estas figura se les puede cambiar los atributos de color, tamaño, valores de voltaje corriente, potencia, caudal, temperatura, etc. Así como las característica de animación (rotar, cambio de un color a otro, mover).

En la figura 54 se muestra la interfaz gráfica del programa.

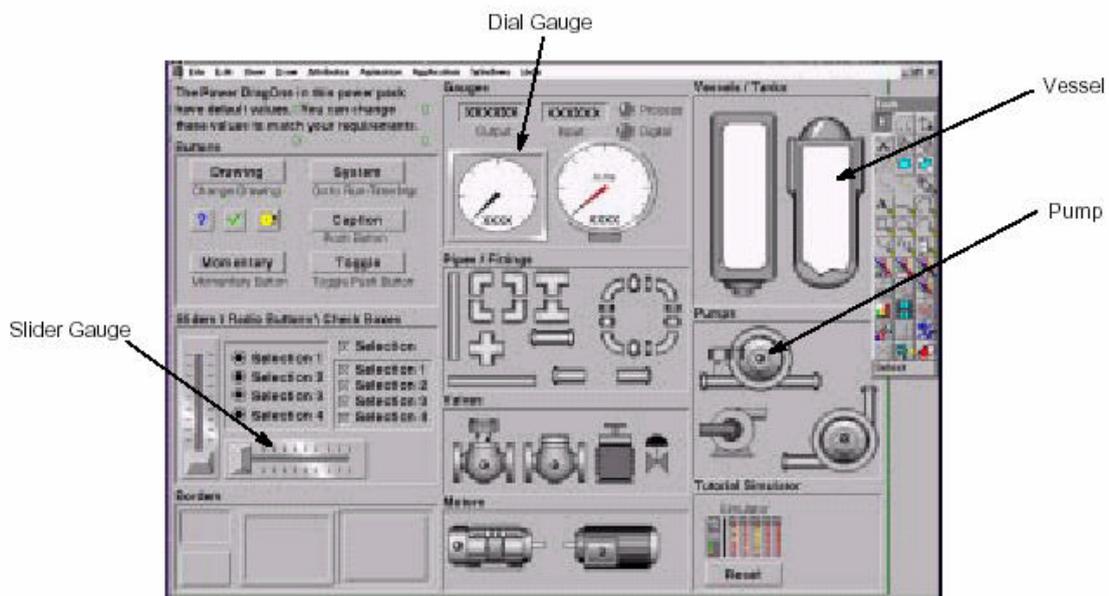


Figura 54. Interfaz Gráfica del Factory Link 1

Tiene diferentes comandos para facilitar el movimiento a través de la pantalla estos comandos son:

- ◆ Grid: cuadrícula de precisión para dibujar.
- ◆ Snap: Magnetismo para la cuadrícula Grid.

- ◆ Zoom: opción para alejar o acercar el objeto.
- ◆ Exporting files: El formato de exportación del archivo es el GX y DXF lo que hace posible la compatibilidad con otros programas de diseño gráfico.
- ◆ Importing files: El formato de importación del archivo es el GX .

En el anexo L se encuentran los diagramas de proceso de Ámbar S. A. realizados en Factory Link.

Al dibujar un proceso solamente arrastra el mouse desde la figura que necesite el usuario hasta la ventana de trabajo, luego se utiliza la opción de conectar figura desde un punto hasta otro y se da doble click sobre la figura y cambia los atributos de la misma.

Para definir las variables se abre el cuadro de dialogo de descripción de Tag's de cada uno de los elementos del proceso. Se introduce la información respectiva para los mismos.

Cada dato u objeto es almacenado en la base de datos en tiempo real y le es asignado a un nombre lógico llamado Tag, el cual es usado para referenciar al elemento. Una variedad de información es asociada con cada dato único del elemento, tal como los limites de alarmas, escalamiento, persistencia e información de entrada/salida. Esta información puede ser almacenada en diferentes tablas de acceso para Factory Link cuando está funcionando una aplicación (Run Time). Cuando se crea una aplicación en el editor, ésta

información puede ser entrada automáticamente y se modifica a través del cuadro de dialogo Tag definition dialog.

Figura 55 muestra la ventana de TAGNAME

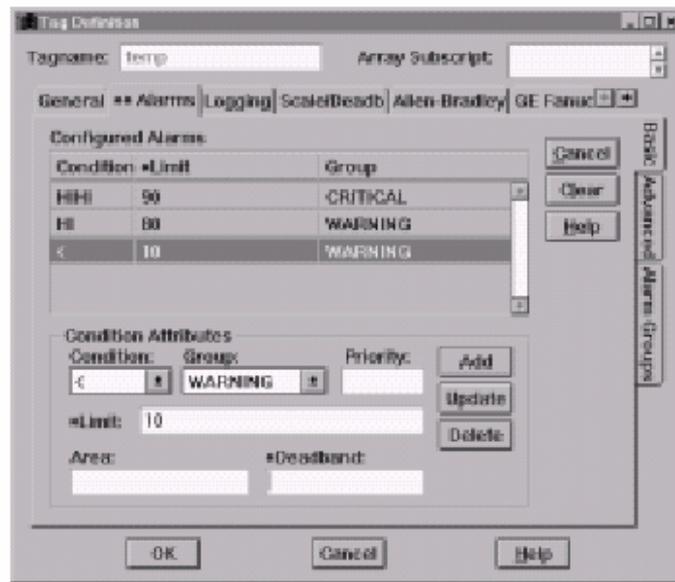


Figura 55. Ventana Tagname

En el anexo K se muestra el configuración del factory link (Tag) de los elementos del diseño.

8. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

8.1. ALTERNATIVAS DE PLC

EQUIPO	ALLEN BRADLEY	TELEMECANIQUE
Procesador Referencia	\$ 1.152.00 (1764-LSP)	\$ 1.149.553 (TSX 3722001)
Módulo de entradas análogas 4-20 mA Referencia	\$ 1.720.720 (1769-IF4)	\$ 2.800.941 (TSX AEX414)
Módulo salidas análogas Referencia	\$ 1.147.140 (1769-0F2)	\$ 1.476.329 (TSX ASZ401)
Módulo entradas digitales Referencia	\$ 632.023 (1769-IA16)	\$ 1.514.260 (TSXDEZ08A4)
Módulo de salida a relé Batería salvaguarda Tapa para emplazamiento Mini-rack de extensión	No es necesario	521.534 (TSXDSZOSRS) (TSXPLP01) (TSXRKAO1) (TSXRKZO2)
TOTALES	4.651.873	7.462.617

Desde el punto de vista técnico, las dos alternativas pueden satisfacer adecuadamente los requerimientos de control, pero los equipos de Allen Bradley presentan una ventaja económica sobre la marca Telemecanique.

Se seleccionan los componentes Allen Bradley.

8.2. COSTO DEL PROYECTO

El costo del proyecto esta dado en el anexo D

El costo total del proyecto es de: \$29.370.961,00

Cálculo del ahorro de energía obtenido del control de operación de la bomba P9.

Con las modificaciones realizadas, el ciclo de funcionamiento de la bomba P9, le permite llenar el tanque TK4 a una razón de $0.045 \text{ m}^3/\text{min}$, lo que equivale a invertir un total de 121 min. (2 horas) para transportar un volumen de 5.5 m^3 de agua. Teniendo en cuenta, que existe un circuito cerrado de circulación de agua, la disminución del nivel del tanque TK4 llevará un tiempo aproximado de 6 horas debido principalmente a pérdidas por evaporación en la caldera.

Lo anterior indica que la bomba tiene un tiempo de reposo de 18 horas al día lo que representa un ahorro mensual de \$487.267, aproximado de acuerdo a la tarifa de consumo de energía vigente a nivel industrial. El ahorro equivalente a un año sería de: \$ 5.847.204.

Para Ámbar S. A. la automatización de la planta de vasos representa una forma de disminución de costos directos representados en materia prima, material en proceso y producto terminado y costos indirectos de fabricación (CFI) energía y agua.

Al momento de la inversión sus criterios de evaluación se basaron no solo en los precios sino en la especificación de los equipos y confiabilidad del fabricante. Los precios de los equipos se muestran en el anexo D.

El costo total de la inversión del proyecto es de \$29.370.961 los cuales fueron efectuados en un solo pago al proveedor.

Las pérdidas por materia prima al trabajar la planta incorrectamente tienen un costo aproximado de \$2.000.000 anuales.

Teniendo en cuenta lo anterior, los costos totales que se ahorra la empresa en materia prima y energía son: \$ 7.847.204 anuales.

El costo por mantenimiento anual es de \$200.000 aproximadamente.

Se requiere determinar el tiempo de recuperación de la inversión, para esto, se realiza un flujo de caja de la siguiente manera:

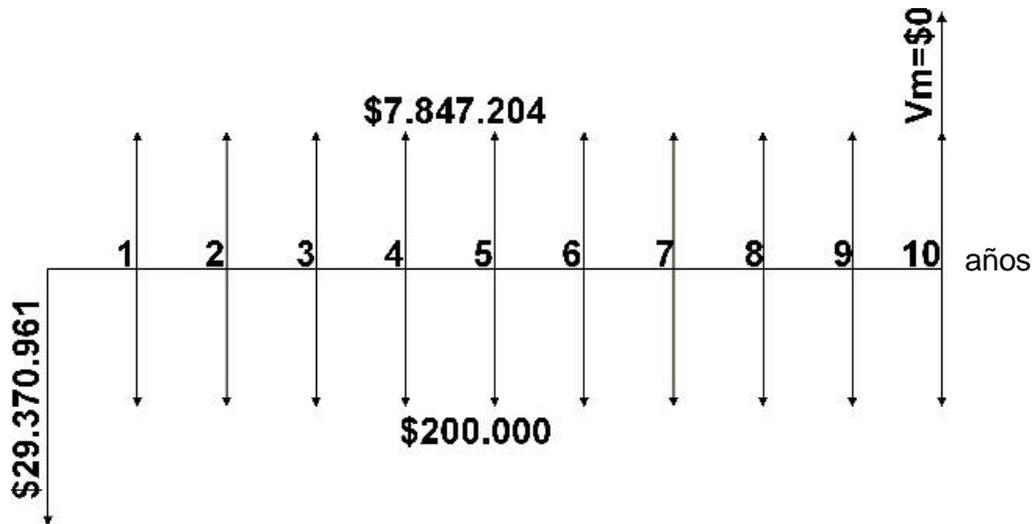


Figura 56. Flujo de Caja

En la gráfica anterior considerando el tiempo de vida útil de los equipos de 10 años, se aplica un flujo de caja así:

$$\text{Egresos} = \text{Ingresos}$$

$$29.370.961(A/P(i,10))+200.000=7.847.204$$

Despejando a $A/P(i,10)$ y realizando las operaciones quedará:

$$A/P(i,10)=0.2603$$

después de un proceso iterativo, obtenemos una tasa de retorno (i) de 23% lo que indica un retorno de la inversión en aproximadamente 5 años.

CONCLUSIONES

El proyecto de automatización expuesto en el presente trabajo, completó su ejecución a principio del mes de febrero del 2.002 en la planta de fabricación de vasos de Ámbar S. A., en la cual, se venían presentando inconformidades en los procesos, debido a la falta de herramientas tecnológicas que permitieran a los operadores tener un mayor control de las operaciones de los mismos.

La inversión en el proyecto también estuvo motivada por el creciente interés de la administración por reducir costos de operación y mejorar las eficiencias de los procesos de todas las plantas.

En general, el proyecto se encaminó a satisfacer las necesidades del departamento de producción en cuanto a la mejora de métodos de control de proceso, de tal manera, que se puedan prever inconvenientes con los equipos antes que afecten negativamente la calidad del producto final y la vida útil de los instrumentos y maquinaria en general.

Otro aspecto importante del proyecto, lo constituye el ahorro de energía logrado con la nueva forma de operación de la bomba de suministro de agua potable (P9). El motor de esta bomba, actualmente sólo consume el 25 % del consumo que se

tenía antes de realizar las modificaciones. Los ahorros de energía también se dieron en los demás motores ya que los variadores consumen menos energía, en los insumos directos (poliestireno) e indirectos (agua, gas, electricidad, etc), puesto que las paradas de la planta debido a fallas se redujeron en un 30 %

El sistema de control implementado, le permite a los operadores conocer en cada momento el estado de todos los motores (ON/OFF) y su condición de trabajo (disparo de las protecciones). Además tiene asociada alarmas para aquellos equipos dobles, de tal manera que los operadores tengan conocimiento inmediato si los dos equipos están apagados al mismo tiempo.

Otro aspecto clave en la solución de problemas del proceso, lo constituye los registros de gráficos de tendencia de los valores de las variables. Anteriormente se tenían registradores análogos dedicados a almacenar en carpetas de papel los datos de las variables diariamente, ahora se dispone de un archivo que almacena los datos de las variables durante un mes. El uso de las tareas de Factory Link posibilita el almacenamiento en la memoria del sistema, y esos datos pueden ser consultados por los ingenieros de producción para efectos de análisis de incidentes relacionados con los procesos.

RECOMENDACIONES

- En este diseño quedaron algunos puntos críticos, tal como, son las bombas P2 A/B las cuales no pueden dejar de trabajar ya que impediría que el agua fría llegue a la moldeadora. Se recomienda colocar bombas de respaldo para que en caso de que falle dos de las bombas la de respaldo lleve la carga.
- Otro punto crítico es la caldera, Puesto que en el momento que haya poca producción de vasos; solo funcionarán unas pocas moldeadoras y debido a su sobredimensionamiento la caldera se apagará, se recomienda poner a recircular el aire caliente para ahorrar energía. Los circuitos a los cuales se les hagan modificaciones deben ser integrado al control automático existente.

BIBLIOGRAFÍA

BALCELLS, Josep. Autómatas programables. 1ª edición, México: Alfaomega – Marcombo, 1998. Pág. 67.

CREUS, Antonio. Instrumentación industrial. 6ª edición, Barcelona – España: Alfaomega – Marcombo, 1997. Pág. 51.

GARCIA, Emilio Moreno. Automatización de procesos industriales. 1ª edición Valencia: Alfaomega – Universidad politécnica de Valencia, 1998. Pág. 78.

HYDE, J y Regue J. Control electroneumático y electrónico. 1ª edición, Barcelona – España: Alfaomega – Marcombo, 1998. Pág. 88.

MALONEY, Timothy J. Electrónica industrial moderna. 3ª edición, México: Prentice Hall, 1997. Pág. 72.

OGATA, Katsuiko. Ingeniería de control moderna. 3ª edición, México: Pretince Hall, 1998, pág. 670

TOCCI, Ronald. Sistemas digitales. 1ª edición, Mexico: Prentice Hall, 1997. Pág. 65.

MANUALES ELECTRONICOS PDF's

ALLEN, Bradley, Manual del usuario Micrologix 1500-1764. Milwaukee – Wisconsin, Febrero de 1.999

CUTLER, Hammer. Manual del usuario Variadores de frecuencia ajustable. Milwaukee – Wisconsin, Enero del 2.000

SOR. Manual del usuario Swiches electrónicos de nivel. Lenexa – Kansas, Abril de 2.000

RECURSOS DE INTERNET

ALLEN, Bradley. www.ab.com

CUTLER, Hammer. www.ch.com

SOR. www.sonric.com

TELEMECANIQUE. www.telemecanique.com

MODICON. www.modicon.com

ROSEMOUNT. www.rosemount.com