

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL CALDERO GENERADOR DE VAPOR DE LA TINTORERÍA INDUSTRIAL “PROCESOS & COLORES”

**PROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

REALIZADO POR:

RAMIRO FABRICIO MANTILLA BRITO

DIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA

CODIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO

Sangolquí, 25 de Febrero del 2009

CERTIFICACIÓN

Certifico que el siguiente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Ramiro Fabricio Mantilla Brito, bajo la dirección y supervisión del Ing. Luis Echeverría como director del proyecto y el Ing. Fernando Olmedo como codirector de tesis, como requerimiento previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Sangolquí, 25 de Febrero del 2009

Ing. Luis Echeverría
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Fernando Olmedo
CODIRECTOR DEL PROYECTO

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL CALDERO GENERADOR DE VAPOR DE LA TINTORERÍA INDUSTRIAL “PROCESOS & COLORES”

ELABORADO POR:

Ramiro Fabricio Mantilla Brito

CC: 1716750714

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Emilio Tumipamba.

COORDINADOR DE LA CARRERA

Sangolquí, 2009-02-25

DEDICATORIA

Como no podía ser de otra manera a mis padres, Ramiro Mantilla y Myriam Brito, ellos, que han sido para mi el soporte y los cimientos de lo que soy ahora, gracias por enseñarme a luchar, por estar conmigo en los momentos importantes, por darme la confianza suficiente pero no excesiva para poder demostrar que puedo ser un hombre de bien, ustedes han sabido a mi y a mis hermanos sacarnos adelante, darnos la oportunidad de caminar mejores senderos y han dedicado su vida a mejorar la nuestra, este trabajo es una mínima muestra de la gran obra que han hecho con nosotros.

Quiero dedicar también este trabajo a mi persona, porque a lo largo de los años de estudio solo yo puedo comprender la importancia y el sacrificio que implica obtener las tan ansiadas tres letras antes del nombre.

RAMIRO FABRICIO MANTILLA BRITO

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mi Dios, por haberme permitido culminar una más de mis metas en la vida, por haberme bendecido con todo aquello que me rodea, y poder gracias a el escribir estas pocas pero sinceras palabras.

A mi noble Carrera de Ingeniería Mecánica, por haberse cruzado en mi camino, por imponer su ciencia en mis venas, y por hacer de mi vida una pasión por sus principios.

Un sincero agradecimiento a la Tintorería Industrial “Procesos & Colores”, al Ing. Nelson Tello, al Sr. Omar Calvopiña, ya que gracias a su apoyo económico y humano se ha podido culminar con éxito el presente proyecto.

Y por ultimo y no menos importante a Linda Villacís, por su entereza y paciencia y amor a lo largo del tiempo que fue y que vendrá, además a todos aquellos que compartieron mi vida universitaria, profesores, compañeros, amigos, enemigos, conocidos y desconocidos, ha pasado el tiempo pero no ha pasado el legado que de una u otra manera dejan en mi alma, en fin, a mi hermosa universidad, la Escuela Politécnica del Ejercito, que con orgullo siempre llevare en mi corazón.

RAMIRO FABRICIO MANTILLA BRITO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
LISTADO DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	I

INDICE

Contenido	Pag
CAPITULO 1: GENERALIDADES	
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.2.1 Descripción general de los procesos de producción de la empresa	2
1.2.1.1 Datos de la empresa	2
1.2.1.2 Infraestructura	3
1.2.1.3 Suministro de Energía Eléctrica	6
1.2.1.4 Suministro de Agua	6
1.2.1.5 Alcantarillado	6
1.2.1.6 Recolección de Basura	7
1.2.1.7 Descripción de las Actividades de la Empresa	7
1.2.1.7.1 Materias Primas, Insumos y Auxiliares	8
1.2.1.7.2 Proceso Productivo	9
1.2.1.7.3 Información sobre los procesos de la empresa	11

1.2.1.7.4	Generación de energía	15
1.2.1.7.5	Principales equipos	15
1.2.1.7.6	Mantenimiento y limpieza	16
1.2.1.7.7	Almacenamiento de materiales (bodega)	16
1.2.1.7.8	Transporte Interno de materiales	17
1.2.1.7.4	Tratamiento de emisiones a la atmósfera	17
1.2.1.8	Productos, subproductos y residuos	17
1.2.1.8.1	Productos y subproductos	17
1.2.1.8.2	Residuos	17
1.2.2	Almacenamiento del combustible	18
1.2.2.1	Consumo de Combustible	19
1.2.3	Proceso de Calentamiento del Combustible	19
1.2.4	Procedimiento de suministro de vapor y su función en el proceso productivo	20
1.2.5	Determinación de las variables importantes del proceso	20
1.2.5.1	Variable de Nivel	20
1.2.5.2	Variable de Temperatura	21
1.3.	Definición del problema	22
1.4.	Objetivos	22
1.4.1	Objetivo General	22
1.4.2	Objetivos Específicos	22
1.5.	Justificación e Importancia	23
1.6.	Alcance	24

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1.	Almacenamiento de Combustibles	25
2.1.1.	Descripción, almacenamiento y uso de los reactivos	25
2.1.2.	Propiedades de sustancias químicas peligrosas	26
2.1.2.1	Inflamabilidad	27
2.1.2.1.1	Almacenamiento	28
2.1.2.2	Corrosividad	29

2.1.2.2.1 Almacenamiento	30
2.1.2.3 Reactividad	30
2.1.2.3.1 Almacenamiento y utilización	31
2.1.2.4 Toxicidad	31
2.1.2.5 Venenos	32
2.1.2.5.1 Almacenamiento y utilización	32
2.1.3. Clasificación de productos	33
2.1.4. Tipos de almacenamiento de combustibles	33
2.1.5. Materiales de construcción de tanques y depósitos	34
2.2. Generalidades de la Automatización	35
2.2.1. Control de Procesos	35
2.2.2. Comunicaciones, Protocolos y Redes	37
2.2.2.1. Interfase Serial	38
2.2.2.2. Interfase IEEE 488	39
2.2.2.3. CAN	41
2.2.2.4. Device Net	41
2.2.2.5. Protocolos y Redes para PLC	41
2.2.3. Adquisición de datos (DAQ)	42
2.2.3.1. Señales	43
2.2.3.1.1 Señales Digitales	43
2.2.3.1.2 Señal Analógica	46
2.2.3.2. Transductores	48
2.2.3.3. Proceso de acondicionamiento de una señal	48
2.2.3.3.1 Amplificación	49
2.2.3.3.2 Linealización	49
2.2.3.3.3 Aislamiento	49
2.2.3.3.4 Excitación de transductores	50
2.2.3.3.5 Filtración	50
2.2.3.4. Consideraciones sobre señales análogas	51
2.2.3.4.1 Tasa de muestreo	51
2.2.3.4.2 Resolución	52
2.2.3.4.3 Rango	53
2.2.3.4.4 Ganancia	53

2.3. Automatización de sistemas de almacenamiento	54
2.3.1. Sistemas automatizados de almacenamiento	54
2.3.1.1. Sistemas automatizados de almacenamiento/recuperación (AS/RS)	55
2.3.1.1.1 Sistema de control	55
2.3.1.2. Sistemas de carrusel	56
2.3.1.2.1 Tipos y diseño de sistemas carrusel	56
2.3.1.2.2 Tecnología de carrusel	56
2.3.2. Ventajas y desventajas de los sistemas automatizados de almacenamiento	57
2.4. Sensores y actuadores	57
2.4.1. Sensores	59
2.4.1.1. Clasificación de los Sensores	60
2.4.1.2. Tipos de Sensores	61
2.4.1.2.1 Final de Carrera	61
2.4.1.2.2 Inductivos	61
2.4.1.2.3 Capacitivos	62
2.4.1.2.4 Ultrasónicos	63
2.4.1.2.5 Analógicos	64
2.4.1.2.6 Digitales	64
2.4.1.2.7 Todo o nada	64
2.4.2. Actuadores	64
2.4.2.1. Actuadores hidráulicos	65
2.4.2.2. Actuadores neumáticos	66
2.4.2.3. Actuadores eléctricos	68
2.4.3. Comparación entre los diferentes tipos de actuadores	69

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

3.1. Diseño del proceso de Instrumentación	70
3.1.1. Sensores	71
3.1.1.1. RTD (Resistance Temperatura Detector)	71

3.1.1.1.1. Fundamentos de operación	71
3.1.1.1.2. Construcción	72
3.1.1.1.3. Materiales	74
3.1.1.2. Termistores	74
3.1.1.2.1. Termistores de coeficiente positivo (PTC)	75
3.1.1.2.2. Termistores de coeficiente negativo (NTC)	75
3.1.1.3. Termocuplas	76
3.1.1.3.1. Tipos de termocuplas	77
3.1.1.4. Selección del sensor de temperatura	78
3.1.1.5. Sensor de nivel	79
3.1.1.6. Selección del sensor de nivel	80
3.1.2. Actuadores	82
3.1.2.1. Reles	82
3.1.2.1.1. Contactos	82
3.1.2.1.2. Ventajas del uso de Reles	84
3.1.2.2. Electrovalvulas	84
3.1.2.2.1. Clases y Funcionamiento	84
3.2. Diseño del sistema de control	85
3.2.1. Elementos discretos	85
3.2.1.1. Compuertas lógicas AND, OR	87
3.2.2. Controlador Lógico Programable PLC	90
3.2.2.1. Historia de los Controladores Lógicos Programables	90
3.2.2.2. Definición	91
3.2.2.3. Estructura el PLC	91
3.2.2.3.1. Sistema de Entradas y Salidas (I/O)	91
3.2.2.3.2. Unidad central de procesamiento (CPU)	92
3.2.2.3.3. Memoria	92
3.2.2.4. Alimentación	93
3.2.3. Microcontroladores	93
3.2.3.1. Principales familias de microcontroladores	95
3.2.4. Valoración de alternativas	96
3.2.4.1. Evaluación de Elementos Discretos	96
3.2.4.2. Evaluación del Controlador Lógico Programable PLC	97

3.2.4.3.	Evaluación de los Microcontroladores	98
3.2.5.	Matriz de decisión	98
3.2.5.1.	Selección de la alternativa mas viable	99
3.2.6.	Selección del PLC	99
3.2.6.1.	PLC Siemens	99
3.2.6.1.1.	Características de las CPU`s Siemens	100
3.2.6.2.	PLC Micrologix Allen Bradley	101
3.2.6.3.	PLC Mitsubishi	103
3.2.6.4.	Matriz de decisión para selección de PLC	105
3.2.6.5.	Selección de la alternativa de PLC más viable	105
3.2.7.	Modulo de expansión Analógico	106
3.3.	Diseño de accesorios adicionales	106
3.4.	Programación del controlador	107
3.4.1.	Descripción del proceso a controlar	107
3.4.2.	STEP 7-Micro/Win 32	108
3.4.3.	Desarrollo del programa	108
3.4.3.1.	Definición de variables	109
3.4.3.2.	Programación	109
3.5.	Simulación computarizada del proceso controlado	112

CAPITULO 4: INSTALACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

4.1.	Instalación, calibración y optimización de la Instrumentación	116
4.1.1.	Calibración y Optimización de los Sensores de Nivel MADISON 5000	116
4.1.1.1.	Instalación de los Sensores de Nivel MADISON 5000	117
4.1.2.	Calibración y Optimización del Sensor RTD de Temperatura	118
4.1.2.1.	Instalación del sensor RTD de temperatura	127
4.1.3.	Calibración y optimización de las luces piloto	128
4.1.3.1.	Instalación de las luces piloto	129
4.1.4.	Calibración y optimización de Reles	130

4.1.4.1. Instalación de Reles	132
4.1.5. Calibración e instalación de pulsadores	132
4.2. Implementación de la señalización y seguridad	133
4.3. Instalación y carga del programa en el sistema de control	134
4.3.1. Instalación del sistema y ensamble del tablero de control	134
4.3.1.1. Montaje del controlador	136
4.3.2. Comunicación PC - PLC	138
4.3.3. Carga del programa de control	139
4.4. Instalación de accesorios adicionales	141

CAPITULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Prueba de la Instrumentación	142
5.2. Prueba del sistema de control	143
5.3. Prueba general del sistema	144

CAPITULO 6: ANÁLISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

6.1. Análisis Económico	146
6.1.1. Determinación de Costos	146
6.1.1.1. Costos de materiales y componentes directos	147
6.1.1.2. Costo de Mano de Obra Directa	148
6.1.1.3. Costo de materiales y componentes indirectos	148
6.1.1.4. Costo de mano de obra indirecta	149
6.1.1.5. Imprevistos	149
6.1.2. Costo Total del Proyecto	149
6.1.3. Depreciación	150
6.2. Análisis Financiero	151
6.2.1. Estimación del flujo neto de caja	151
6.2.1.1. Ingresos	152
6.2.1.2. Egresos	

6.2.2. Calculo del Valor Actual Neto (VAN)	155
6.2.3. Calculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	157
6.3. Análisis Costo-Beneficio	158

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones	159
7.2. Recomendaciones	160
Bibliografía	162

LISTADO DE FIGURAS

Figuras	Pag
	.
Figura 1.1 Distribución de las áreas en la empresa PROCESOS Y COLORES	5
Figura 1.2 Proceso de Lavado	10
Figura 1.3 Proceso de Manualidades	11
Figura 1.4 Esquema del sistema actual de almacenamiento de combustible	18
Figura 1.5 Fotografía de un derrame de combustible	23
Figura 2.1 Etiqueta Sustancias Inflamables	28
Figura 2.2 Etiqueta sustancias corrosivas	29
Figura 2.3 Etiqueta Sustancias Explosivas	30
Figura 2.4 Etiqueta Sustancias venenosas o toxicas	32
Figura 2.5 Control en lazo abierto (sin realimentación)	36
Figura 2.6 Control en lazo cerrado (realimentado)	37
Figura 2.7 Red Ethernet	38
Figura 2.8 Configuraciones de red	40
Figura 2.9 Elementos del sistema de adquisición de datos	42
Figura 2.10 Tipos de información que llevan las señales	43
Figura 2.11 Señal Digital	44
Figura 2.12 Señal digital binaria	44
Figura 2.13 Estados de una señal binaria	45
Figura 2.14 Tren de Pulsos	45
Figura 2.15 Señal Analógica	46
Figura 2.16 Señal Analógica DC	46
Figura 2.17 Señal analógica en el dominio en el tiempo	47
Figura 2.18 Señal analógica en el dominio de la frecuencia	47
Figura 2.19 Aislamientos	49
Figura 2.20 Tasas de muestreo	51

Figura 2.21 Calidad de resolución a diferentes bits	52
Figura 2.22 Resolución de una señal a 3 bits	53
Figura 2.23 Efecto de la ganancia en la conversión	54
Figura 2.24 Sistema Sensor	59
Figura 2.25 Cuadro de clasificación de sensores	60
Figura 2.26 Funcionamiento de un sensor final de carrera	61
Figura 2.27 Sensor Inductivo	62
Figura 2.28 Funcionamiento de un sensor inductivo	62
Figura 2.29 Esquema de un sensor capacitivo	62
Figura 2.30 Principio de funcionamiento de un sensor capacitivo	63
Figura 2.31 Sensor ultrasónico	63
Figura 2.32 Principio de funcionamiento de un sensor ultrasónico	64
Figura 2.33 Cilindro neumático	67
Figura 3.1 Esquema del tanque automático	70
Figura 3.2 Tipos de construcción de un RTD	72
Figura 3.3 Composición de un RTD	73
Figura 3.4 Aditamentos de conexión de un RTD	74
Figura 3.5 Reacción de voltaje en una termocupla “tipo J”	76
Figura 3.6 Funcionamiento de switch magnético	79
Figura 3.7 Funcionamiento de un sensor tipo flotador	80
Figura 3.8 Fotografía de sensor de nivel MADISON M5000	81
Figura 3.9 Dimensionamiento de sensor de nivel MADISON M5000	81
Figura 3.10 Funcionamiento de un Rele	83
Figura 3.11 Componentes de un Rele	83
Figura 3.12 Electrovalvula	85
Figura 3.13 Representación de una señal binaria	86
Figura 3.14 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica AND	88
Figura 3.15 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica OR	88
Figura 3.16 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica NOT	89
Figura 3.17 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica	89

NAND	
Figura 3.18 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica NOR	89
Figura 3.19 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica XOR	90
Figura 3.20 Esquema simplificado de bloques de la estructura interna de un PLC	91
Figura 3.21 Detalle de los bornes de alimentación de varios PLC	93
Figura 3.22 Detalle de un PLC Siemens	100
Figura 3.23 PLC Micrologix Allen Bradley	103
Figura 3.24 PLC`s Mitsubishi	104
Figura 3.25 Programación KOP del sistema de control en Microwin	112
Figura 4.1 Circuito eléctrico de prueba para sensor MADISON 5000	116
Figura 4.2 Fotografía de la calibración del sensor MADISON5000	117
Figura 4.3 Esquema de instalación del Sensor de Nivel	118
Figura 4.4 Conexión de un RTD de 3 hilos	118
Figura 4.5 Fotografía de disposición de cables en un RTD	119
Figura 4.6 Fotografía del empalme de cables del RTD - Modulo	119
Figura 4.7 RTD conectado al modulo de expansión	120
Figura 4.8 Canal de configuración	121
Figura 4.9 Relación lineal entre Temperatura y Cuentas PID	123
Figura 4.10 Programa de prueba y descripción de parámetros en función SCP para calibración RTD	125
Figura 4.11 Prueba de RTD con llama directa	126
Figura 4.12 Montaje de RTD en Tanque	127
Figura 4.13 Fotografía de luz piloto LED	128
Figura 4.14 Diagrama de conexión de luz piloto en PLC	128
Figura 4.15 Programa de prueba para luz piloto	129
Figura 4.16 Fotografía de luz piloto funcionando	129
Figura 4.17 Disposición de luces e interruptores en la puerta del tablero de control	130
Figura 4.18 Diagrama de conexión para rele en PLC	131
Figura 4.19 Fotografía de rele funcionando	131
Figura 4.20 Fotografía de Reles montados e instalados en el tablero de control	132

Figura 4.21 Switch on-off y botón de emergencia montados en el tablero	133
Figura 4.22 Representación de la señalización en el botón de emergencia	134
Figura 4.23 Separación entre controladores	135
Figura 4.24 Tablero de control vacío	135
Figura 4.25 Rieles DIN EN50022-35x7.5	136
Figura 4.26 Montaje del modulo de expansión 1762-IR4	136
Figura 4.27 Sistema de control montado en riel DIN	137
Figura 4.28 Disposición de elementos en el tablero de control	137
Figura 4.29 Pantalla para configurar equipos RS-Linx	138
Figura 4.30 Autoconfiguración RS-linx	138
Figura 4.31 PLC Micrologix 1100 en línea	139
Figura 4.32 Programa de control del sistema en RS-Logix500	141

LISTADO DE TABLAS

Tablas	Pag
Tabla 1.1 Datos de la Empresa Procesos y Colores	2
Tabla 1.2 Régimen de funcionamiento	3
Tabla 1.3 Estadísticas del consumo de energía eléctrica	6
Tabla 1.4 Estadísticas del consumo de agua potable	6
Tabla 1.5 Materias primas e insumos	7
Tabla 1.6 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo: Lavado de prendas	12
Tabla 1.7 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo: Manualidades 1. Aplicación de permanganato	13
Tabla 1.8 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo: Manualidades 2. Frosteado	14
Tabla 1.9 Equipos de generación de energía	15
Tabla 1.10 Listado de equipos	15
Tabla 1.11 Identificación de salidas: productos y subproductos	17
Tabla 1.12 Identificación de salidas: residuos	17
Tabla 1.13 Consumo de combustible	19
Tabla 2.1 Características Interfase Serial	39
Tabla 2.2 Tipos de Transductores	48
Tabla 2.3 Filtración de señal	50
Tabla 2.4 Ejemplos de transductores	58
Tabla 2.5 Variables medibles, principios de funcionamiento de un sensor	60
Tabla 2.6 Comparación entre actuadores	69
Tabla 3.1 Características de los materiales de construcción de los RTDs	74
Tabla 3.2 Tipos comunes de termocupla	77
Tabla 3.3 Características de sensores de temperatura	78
Tabla 3.4 Tipos de memorias de un PLC	92
Tabla 3.5 Matriz de decisión para el sistema de control	98
Tabla 3.6 Desglose de sensores y actuadores	99
Tabla 3.7 Características CPU's Siemens	100
Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de CPU's Mitsubishi	104

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de CPU's Mitsubishi	104
Tabla 3.9 Matriz de decisión para Marca de PLC	105
Tabla 3.10 Accesorios adicionales a implementar	106
Tabla 3.11 Declaración de variables	109
Tabla 4.1 Especificaciones de RTD	120
Tabla 4.2 Configuración por default del canal	122
Tabla 4.3 Rango de lectura según formato de datos	122
Tabla 4.4 Factores escalares	123
Tabla 4.5 Comparación de datos Termómetro - RTD	126
Tabla 4.6 Señalización de elementos	133
Tabla 5.1 Pruebas a la instrumentación	142
Tabla 5.2 Pruebas físicas al sistema de control	143
Tabla 5.3 Pruebas Electrónicas al sistema de control	143
Tabla 5.4 Prueba general al sistema	144
Tabla 6.1 Listado de materiales y componentes	147
Tabla 6.2 Remuneración a estudiante	148
Tabla 6.3 Costo de insumos	148
Tabla 6.4 Misceláneos	149
Tabla 6.5 Remuneración a profesionales	149
Tabla 6.6 Imprevistos	149
Tabla 6.7 Costo del proyecto	149
Tabla 6.8 Depreciación	150
Tabla 6.9 Ingresos	152
Tabla 6.10 Consumo de energía	153
Tabla 6.11 Egresos	154
Tabla 6.12 Flujo de Caja	155

LISTADO DE ANEXOS

Anexos

- ANEXO A: Especificaciones generales PLC MicroLogix 1763-L16BBB
- ANEXO B: Especificaciones generales Modulo de Expansión 1762-IR4
- ANEXO C: Plano instrumental
- ANEXO D: Plano de cableado eléctrico PLC
- ANEXO E: Plano de cableado eléctrico RTD
- ANEXO F: Plano del Tanque de Combustible
- ANEXO G: Datos técnicos del cable de comunicación 1761-CBL-PM02
- ANEXO H: Cotización INASEL
- ANEXO I: LOGO! Power DC 24V/2.5 A.
- ANEXO J: Copia de factura de compra PLC MicroLogix 1763-L16BBB
- ANEXO K: Copia de factura de compra Modulo de Expansión 1762-IR4
- ANEXO L: Carta de satisfacción del auspiciante

RESUMEN

El presente proyecto de grado responde a la nueva tendencia de la era tecnológica, el campo de la automatización y el control se torna en una importante rama de la industria, donde cada día se busca efectivizar los procesos, reemplazando los métodos manuales por sistemas computarizados más precisos y con menos fallas.

Se desarrolla un sistema automático de control en un tanque de combustible de la Tintorería Industrial PROCESOS Y COLORES, una empresa que demanda una acción emergente puesto que existen varios problemas por el mal manejo de combustible, los derrames y pérdidas negras ocasionan en muchos casos inconvenientes que afectan la gestión de la empresa.

Para automatizar un proceso mediante un sistema de control programable, se estudia y se analiza las diferentes variables a medir y controlar, para posteriormente encontrar la solución mas adecuada y eficiente mediante el instrumento apropiado, dichos instrumentos serán compatibles con el sistema de control, brindando la señal correcta, para posteriormente ser leída, interpretada y procesada con el objetivo de tomar las decisiones impuestas y ordenadas en el programa de control.

El control del nivel de fluido desempeña el papel mas importante en el presente proceso, mediante sensores flotadores especiales para el ambiente agresivo en el cual se desempeñan se logra registrar la altura de combustible, tres de estos sensores se emplean para ubicar un régimen de trabajo operable entre un nivel máximo y un nivel mínimo, y adicionalmente un sensor de emergencia que optimiza el sistema asegurando el cumplimiento de su objetivo que es el evitar derrames de combustible.

Puesto que el combustible Bunker alimenta el caldero, éste debe ser tratado, en este caso calentado a un régimen cercano a los 90°C, por lo que la

variable de temperatura es controlada por la acción de un sensor, controlando así el dispositivo calentador habilitando o deshabilitando su función según sea la temperatura registrada.

Es así que el beneficiario directo del proyecto es la Tintorería Industrial Procesos y Colores, logrando solucionar un problema que viene acarreándose a lo largo de su tiempo de vida, con un sistema de control efectivo, los derrames cesan, los problemas desaparecen y el crecimiento de calidad de la empresa se dispara, sin dejar de mencionar al beneficiario indirecto que es el medio ambiente, por lo que es grato saber, que el Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica del Ejército esta presto y capacitado a solucionar problemas no solo industriales, sino problemas del ecosistema, problemas que se vuelven emergentes en los tiempos actuales y son prioridad de los profesionales de hoy en día.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la actualidad la carrera de Ingeniería Mecánica se ha visto complementada por diferentes campos de la era tecnológica siendo estos: la computación, la electrónica y la instrumentación. En algunos casos estas nuevas tendencias se han ido fusionando a pasos agigantados con la mecánica, para dar mejores servicios a las necesidades humanas.

La automatización industrial ha revolucionado en los últimos tiempos los sistemas de producción a nivel global, los métodos manuales han sido reemplazados por sistemas computarizados controlados por ordenadores, mas precisos y con menos posibilidad de falla, es por eso que los controles programables brindan una amplia gama de soluciones para los problemas actuales de producción en masa y control de procesos.

La necesidad cada vez más creciente que tiene la industria de incorporarse a un mercado que tiende a globalizarse, en el cual factores tales como precio y calidad son extremadamente importantes han llevado a mirar a los procesos de automatización como una herramienta para conseguir este fin.

La automatización nos da una visión muy amplia de la ayuda que se brinda a una empresa, ya que se va a dar en la misma un proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra, simplificar el trabajo para que así se de la propiedad a algunas maquinas de realizar las operaciones de manera automática; por lo que indica que se va dar un proceso más rápido y eficiente.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Descripción general de los procesos de producción de la empresa

1.2.1.1 Datos de la empresa

Tabla 1.1 Datos de la Empresa Procesos y Colores

Razón Social:	PROCESOS Y COLORES					
Nombre Comercial:	PROCESOS Y COLORES					
Gerente General:	Sr. Ricardo Yarad		Representante Legal:			
Persona de contacto:	Sr. Omar Calvopiña		Cargo: Jefe de mantenimiento			
E-mail:	procesosycolores@yarad.com.ec					
Página en la INTERNET:	No dispone					
Principales productos o servicios:	Procesamiento de textiles: Terminado.					
Mercado:	Nacional					
Dirección de la Planta Industrial:	Enrique Guerrero No. E2-71 y Bartolomé Sánchez					
Ciudad:	Quito		Provincia:	Pichincha		
Teléfonos:	2483-139/2805-974		FAX:	2485-579		
Dirección de la Oficina Principal:	Enrique Guerrero No. E2-71 y Bartolomé Sánchez					
Ciudad:	Quito	Provincia:		Pichincha		
Teléfonos:	2483-139/2805974		FAX:	2485-579		
Fecha del inicio de funcionamiento de la planta industrial:	01-septiembre-1995					
Régimen de funcionamiento:	24	horas/día	26	días/ mes	12	meses/año

PROCESOS Y COLORES se encuentra en el sector de Carcelén Industrial, en la calle Enrique Guerrero, se encuentra en una zona industrial y a sus alrededores se ubican varias actividades productivas: al norte la fábrica de snacks, hacia el norte la calle Enrique Guerrero, la empresa Ennotex, y la Hormigonera Mezcla Lista. Hacia el este la bodega de la fábrica Zaimella y al oeste un terreno baldío y pocas viviendas particulares.

En la siguiente tabla se muestra el régimen de funcionamiento de la empresa así como el número total de empleados.

Tabla 1.2 Régimen de funcionamiento

Área		Propios		
Producción		60		
Administración		20		
Otros (especificar)		--		
Horario de funcionamiento	Mañana	Tarde	Noche	
Administración	8h30	17h00		
Producción	8h00	20h00	20h00-8h00	

1.2.1.2 Infraestructura

La empresa para el desarrollo de sus actividades dispone de un lote de 2350 m² en el que se ubica un edificio principal y dos construcciones ubicadas al interior del predio, con un área de 1834 m². En la planta alta del edificio funciona un taller de confecciones y en la planta baja se encuentran las siguientes áreas:

Oficinas administrativas.- Que comprende las áreas de gerencia, recepción, sistemas y baños.

Recepción y almacenamiento temporal.- Que se inicia con la recepción de la materia prima desde donde se emiten las órdenes de producción según el tipo de tratamiento que requieran. Luego se encuentra el área de almacenamiento temporal de los productos, donde se ubican las prendas hasta ser procesadas en la lavadora respectiva según la orden de producción.

Área de producción.- En esta zona se ubican las lavadoras, centrifugas, y secadoras requeridas para el lavado de las prendas.

Mantenimiento.- Taller donde se encuentran todas las herramientas mecánicas y equipos como soldadura para la reparación de los sistemas y equipos del área productiva.

Generación de vapor y aire comprimido.- Es un área donde se ubica el caldero y en el segundo piso el compresor.

Despacho.- Se encuentra almacenado el producto terminado desde donde se entrega a los clientes.

Área de manualidades.- Se realiza la decoloración parcial de la prenda según sea el diseño del cliente, este proceso se realiza mediante sopletes.

En las construcciones interiores, en la planta baja se ubica otra sección de manualidades, donde se realizan otros acabados, en la planta alta funcionan oficinas. Junto a esta construcción se almacena la piedra pómez que se utiliza en el proceso de frosteo, el cual está cubierto con una carpa plástica. Adyacente se encuentra una pequeña construcción, en cuya planta baja se encuentran los equipos de frosteo y en la planta alta el comedor para los empleados, quienes tienen un descanso a media mañana y el almuerzo al medio día.

En la siguiente ilustración se muestra la distribución de las áreas en la empresa:

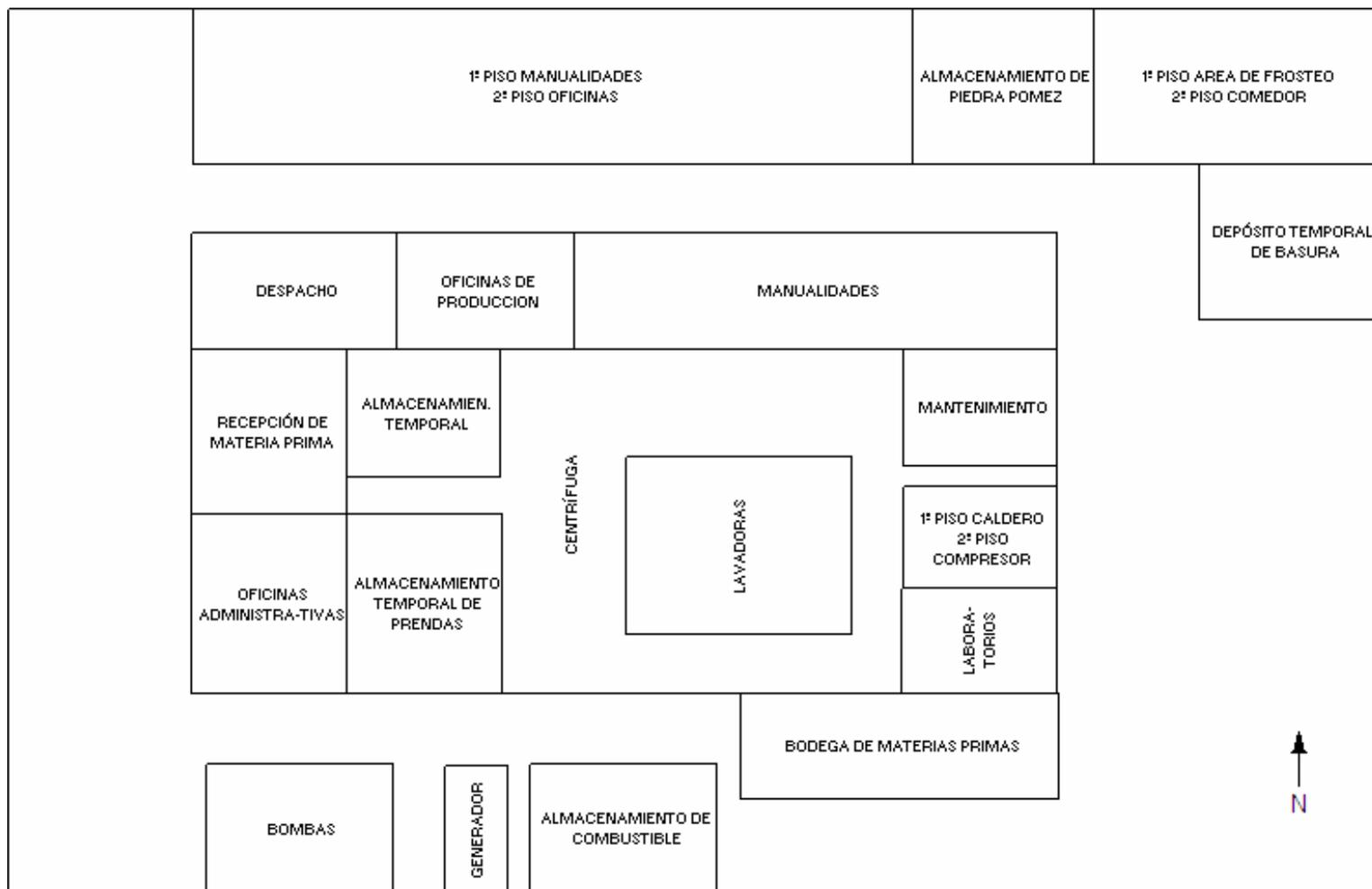


Figura 1.1 Distribución de las áreas en la empresa PROCESOS Y COLORES

1.2.1.3 Suministro de Energía Eléctrica

La energía eléctrica requerida para las actividades de la empresa es suministrada por la Empresa Eléctrica Quito. En la siguiente tabla se resume los consumos de energía, la cual es utilizada tanto para el área administrativa como para la productiva. Existe un generador de energía el cual suministra el servicio cuando existen cortes de energía de la red pública.

Tabla 1.3 Estadísticas del consumo de energía eléctrica¹

Consumo medio mensual:	26638	kWh
Consumo mínimo mensual:	14822	kWh
Consumo máximo mensual:	36401	kWh
Consumo anual	319658	kWh

1.2.1.4 Suministro de Agua

El agua potable requerida para sus actividades es provista por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, EMAAP, que es utilizada tanto para consumo humano como para el proceso productivo. Pero se debe indicar que dados los requerimientos del proceso, la empresa adquiere agua mediante tanqueros y es exclusiva para el proceso productivo. Se consumen alrededor de 10.000 galones por mes, que son almacenados en dos cisternas.

Tabla 1.4 Estadísticas del consumo de agua potable¹

Consumo medio mensual:	493	m ³
Consumo mínimo mensual:	222	m ³
Consumo máximo mensual:	689	m ³
Consumo anual	5910	m ³

1.2.1.5 Alcantarillado

Las aguas residuales que se generan en la empresa provienen de los servicios higiénicos que utiliza el personal de planta y administración, y del proceso productivo específicamente de la descarga proveniente del proceso

¹ Datos estimados en función de los datos proporcionados

de lavado de las prendas textiles. Las aguas residuales domésticas están separadas de las aguas industriales y su descarga final es hacia la red de alcantarillado público de la EMAAP, en la calle Enrique Guerrero.

1.2.1.6 Recolección de Basura

La empresa no dispone del servicio de recolección de basura, y sus desechos lo confinan en un área al exterior de la empresa, y se contrata un camión quincenalmente a que se lleve estos desechos.

1.2.1.7 Descripción de las Actividades de la Empresa

1.2.1.7.1 Materias Primas, Insumos y Auxiliares

La actividad productiva de la empresa principalmente comprende procesos de terminación de prendas textiles como pantalones, chompas, entre otras; para lo cual se requiere una serie de productos químicos como: colorantes, humectantes, detergentes, dispersantes, ácidos, bases, entre otros. En la siguiente tabla se listan las materias primas e insumos que intervienen en las distintas líneas de producción de la empresa:

Tabla 1.5 Materias primas e insumos

Nº	Materias primas, insumos y auxiliares	Unidad	Consumo anual	Producto peligroso	Embalaje
1.	PRENDAS	Kg	60000	No	Sacos de polipropileno
2.	PIEDRA PÓMEZ	Bultos	7200	No	Sacos de polipropileno 60x90 cm(bulto)
	PRODUCTOS QUÍMICOS				
3.	ACEITE DE PINO 65%	Kg	140		Bidón plástico
4.	ACIDO ACETICO	Kg	3.649,50	Corrosivo	Bidón plástico
5.	ACIDO OXALICO	Kg	1.525,00	Tóxico	Sacos de propileno
6.	ACIDO SULFAMICO	Kg	450	Tóxico y corrosivo	Sacos de propileno
7.	ALCOFIX FD 100%	Kg	220		Funda plástica
8.	ALCOSPERSER AD	Kg	630		Funda plástica
9.	ARRUGADIN RC	Kg	298		Bidón plástico
10.	CARBONATO DE SODIO	Kg	7.570,00	NO	Funda plástica
11.	CELLUSOFT L	Kg	350		Bidón plástico

Nº	Materias primas, insumos y auxiliares	Unidad	Consumo anual	Producto peligroso	Embalaje
12.	COLORANTES DIRECTOS	Kg	144		Fundas plásticas
13.	COLORANTES DIRECTOS (SOLOFENIL)	Kg	197,7		Fundas plásticas
14.	COLORANTES REACTIVOS VINILSULFONICOS	Kg	477,5		Funda plástica
15.	COLORANTES SULFUROSOS EN POLVO	Kg	4786,3		Bidón metálico
16.	COLORANTES SULFUROSOS LIQUIDOS	Kg	550		Bidón plástico
17.	COLORANTES SULFUROSOS LIQUIDOS	Kg	550		
18.	DETERGENTES	Kg	842	Tóxico	Bidón plástico
19.	DEXTROSA	Kg	15060	No	Bidón plástico
20.	DISPERSANTES	Kg	1835	No	Funda papel
21.	ENZIMAS CELULOSICAS	Kg	841	No	Bidón plástico
22.	GLUCOSA LIQUIDA	Kg	140	No	Bidón plástico
23.	HIDROSULFITO DE SODIO	Kg	600		Tanque metálico
24.	INDECAST 205	Kg	60		Bidón plástico
25.	LIGANTE U-50	Kg	80		Bidón plástico
26.	MARVACOL ASC CONC.	Kg	1.640,00		Bidón plástico
27.	METABISULFITO DE SODIO	Kg	4.025,00	Tóxico	Funda plástica
28.	PERMANGANATO DE POTASIO 99.3%	Kg	450	Tóxico, muy oxidante	Bidón metálico
29.	PEROXIDO DE HIDROGENO 50%	Kg	4.233,00	Oxidante	Bidón plástico
30.	RECOLPAL SFL-K	Kg	900		Bidón plástico
31.	SAL DYE	Kg	16.300,00		Sacos de propileno
32.	SAL INDUSTRIAL No. 5	Kg	6.000,00		Sacos de propileno
33.	SAL TEXTIL	Kg	19.789,00		Sacos de propileno
34.	SETAMOL WS	Kg	200		Funda papel
35.	SODA CAUSTICA	Kg	17.250,00		Fundas plásticas
36.	SUAVIZANTES	Kg	2057		Funda plástica
37.	SUNWHITE BYLB M2	Kg	100		Bidón plástico
	PRODUCTOS ADQUIRIDOS PARA PRUEBAS	Kg			
38.	ACTIVE	Kg	3,00		Bidón plástico
39.	ALCOHOL	Kg	20,00		Bidón plástico
40.	ARRUTEX PMT	Kg	25,00		Bidón plástico
41.	ASUFIX FPI/P	Kg	6,00		Bidón plástico
42.	AZUL SULFUROSO LIQUIDO 2GB	Kg	40,00		Bidón plástico
43.	BIOCAT	Kg	5,50		Bidón plástico
44.	BIOFLOR	Kg	30,00		Bidón plástico

Nº	Materias primas, insumos y auxiliares	Unidad	Consumo anual	Producto peligroso	Embalaje
45.	BIOTAMP MAX CONC.	Kg	3,00		Bidón plástico
46.	CECANOL F ESC	Kg	25,00		Bidón plástico
47.	CIBACEL LD	Kg	30,00		Bidón plástico
48.	PVCLAROL	Kg	3,00		Bidón plástico
49.	PVCORFXS	Kg	2,00		Bidón plástico
50.	CYANATEX 615	Kg	50,00		Bidón plástico
51.	FIX BLUE SPRAY	Kg	2,00		Bidón plástico
52.	INCOLOR MEGASOF	Kg	3,00		Bidón plástico
53.	COLORANTES DIRECTOS	Kg	35		Bidón plástico
54.	MICROPER MW CONC.	Kg	30,00		Bidón plástico
55.	MORDIENTE PIN	Kg	3,00		Bidón plástico
56.	NEUCOBLAN CAC LIQ B	Kg	40,00		Bidón plástico
57.	NOVAZOL GRIS NGLX	Kg	20,00		Bidón plástico
58.	RESINA NFL-B	Kg	25,00		Bidón plástico
59.	RESINA PLASTISOFT	Kg	5,00		Bidón plástico
60.	SOFTENER CWS	Kg	50,00		Bidón plástico
61.	SPRAY COLOR	Kg	20,00		Bidón plástico
62.	TINOFIX ECO	Kg	20,00		Bidón plástico
63.	TRILON A	Kg	25,00		Bidón plástico

Los envases de productos químicos como bidones plásticos son devueltos al proveedor, mientras que envases como fundas de papel, plástico o tanques metálicos son destinados a la basura. Los productos considerados de mayor riesgo y que se consumen en mayor cantidad son el ácido acético, oxálico, carbonato de sodio, hidrosulfito de sodio, permanganato de potasio, peróxido de hidrógeno, y sosa cáustica. Los productos adquiridos para pruebas se almacenan en la bodega y se van consumiendo hasta agotar su stock.

1.2.1.7.2 Proceso Productivo

PROCESOS Y COLORES desarrolla varias líneas de producción que difieren en su formulación según sea el pedido del cliente respecto a los tipos de acabado (stone, frosteado, teñido, etc). En el siguiente diagrama de bloques se esquematiza el proceso que más representativo y que se presenta con mayor frecuencia.

Proceso de Lavado

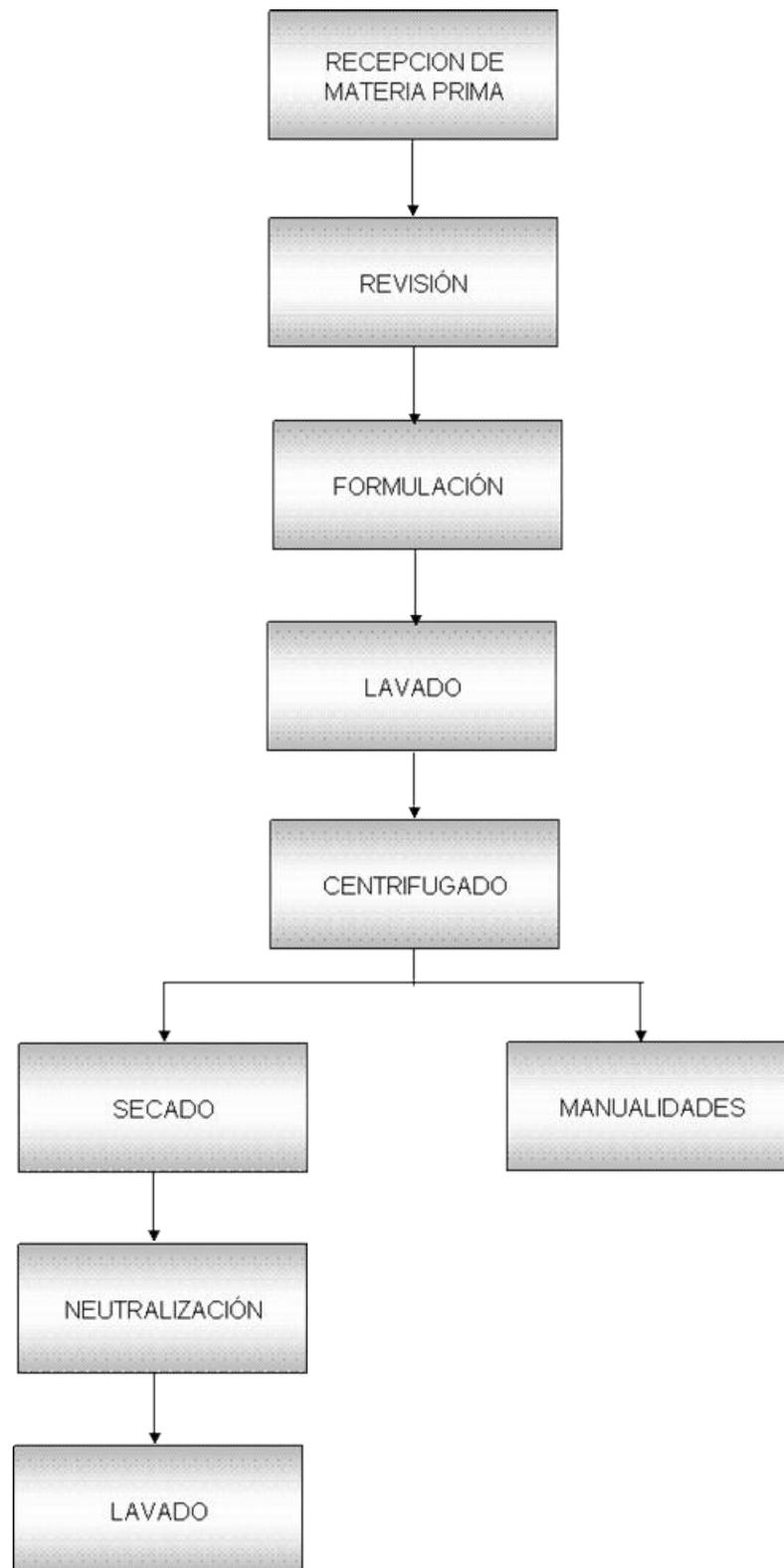


Figura 1.2 Proceso de Lavado

Proceso de Manualidades

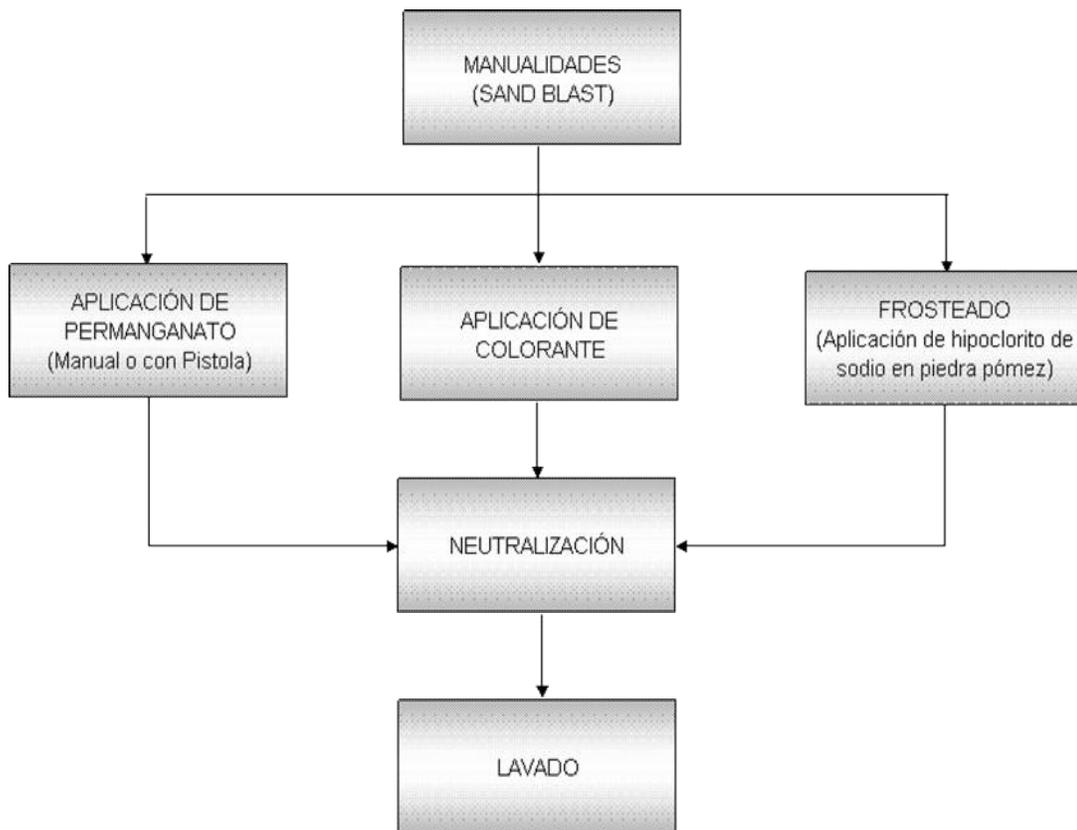


Figura 1.3 Proceso de Manualidades

1.2.1.7.3 Información sobre los procesos de la empresa

En el diagrama de flujo se han considerado procesos generales como lavados y neutralizados, cada uno de ellos comprende una serie de subprocesos que tiene diferentes finalidades: desengomado, stone, bleach hipoclorito, neutralizado, reducción de glucosa, lavado ácido protónico, teñido, fijación-suavizado, blanqueo, entre otros, que normalmente se los realiza en las máquinas lavadoras y que varían de un proceso a otro por el tipo de producto químico que utiliza, tiempo y temperatura del baño; sin embargo a continuación se selecciona un proceso general y se describen sus entradas y salidas.

Tabla 1.6 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo:
Lavado de prendas

ENTRADAS			PROCESO PRODUCTIVO	SALIDAS		
Materias primas, insumos y auxiliares	Agua	Energía	Etapas	Efluentes Líquidos	Residuos Sólidos	Emisiones Atmosféricas y ruido
Prendas			1. Recepción de materia prima 90% algodón		Tiras de tela del amarrado de prendas	
			Materias primas			
			2. Revisión y clasificación			
			Prendas seleccionadas			
Prendas, productos químicos según formulación,	X	Vapor	3. Lavadora	X	Envases de productos químicos	Ruido y vapores de químicos
			Producto lavado			
		Eléctrica	4. Centrifugado	X		Ruido
			Producto con baja humedad			
Prendas		Vapor	5. Secadora		Pelusa	Ruido, vapor
			Producto seco			
			6. Revisión			
			Producto dentro de especificaciones			
Prendas			6. Empacado			
			Producto listo para despacho			

Tabla 1.7 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo:
Manualidades 1. Aplicación de permanganato de potasio

ENTRADAS			PROCESO PRODUCTIVO	SALIDAS		
Materias primas, insumos y auxiliares	Agua	Energía	Etapas	Efluentes Líquidos	Residuos Sólidos	Emisiones Atmosféricas y ruido
Permanganato de potasio	Agua	X	1. Aplicación de Permanganato Prendas parcialmente oxidadas		Periódicamente recipientes vacíos del permanganato	Neblinas de permanganato si el proceso se hace con soplete
Productos químicos	Agua, vapor		2. Neutralizado Desinfectante	Efluentes de lavadoras	Envases de productos y fundas de producto pesado	Vapores, ruido, vibración
Prendas neutralizadas	Agua, vapor		3. Lavado Producto dentro de especificaciones de calidad	Efluentes de lavadoras		Vapores, ruido, vibración
Prendas húmedas		X	4. Centrifugado Producto con bajo contenido de humedad	Efluentes de lavado		Ruido, vibración
Prendas		Vapor	5. Secado Prendas secas		Pelusa	Ruido, vapor
Prendas			6. Revisión y empaque Producto empacado listo para comercialización			

Tabla 1.8 Descripción de entradas y salidas del proceso productivo:
Manualidades 2. Frosteado

ENTRADAS			PROCESO PRODUCTIVO	SALIDAS		
Materias primas, insumos y auxiliares	Agua	Energía	Etapas	Efluentes Líquidos	Residuos Sólidos	Emisiones Atmosféricas y ruido
Piedra pómez , hipoclorito de sodio, permanganato	Agua		1. Preparación de la piedra pómez	Si	Sacos de polipropileno, envases del hidrosulfito de sodio	
			Piedra pómez con hipoclorito			
Prendas			2. Frosteado		Polvo de piedra pómez	Ruido
			Agua caliente a 92°C			

Las principales salidas del proceso productivo son los efluentes líquidos de los procesos de lavado, y la generación de polvo de piedra pómez de los procesos de frosteado, este último proceso no es continuo y se lo realiza eventualmente cuando el cliente lo solicita.

Adicionalmente se tiene la generación de envases de materias primas pero que son devueltos al proveedor. Existe el pesaje de materias primas en fundas de plástico según la formulación que se vaya a trabajar en la lavadora, que actualmente se destina a la basura. Existe ruido por el funcionamiento de las máquinas, sin embargo, la estructura del cerramiento de la empresa atenúa al exterior este problema.

1.2.1.7.4 Generación de energía

PROCESOS Y COLORES dispone de un generador para el caso de cortes de energía y un caldero.

Tabla 1.9 Equipos de generación de energía

Nº de equipo	Equipo/potencia	Año de fabricación y/o instalación	Combustible	Tipo de emisión	Equipos de control de emisiones	Período de funcionamiento		
						horas/día	días/mes	meses/año
1	Caldero/100 BHP	1995	Búnker	Gaseosa	No	24	26	12
1	Generador	75 KVA	Diésel	Gaseosa	No	Cuando existe cortes de energía. Según información proporcionada, se estima que funciona menos de 60 horas por semestre.		

1.2.1.7.5 Principales equipos

Tabla 1.10 Listado de equipos

No.	Nombre de la Etapa del proceso	Equipo	Capacidad	No. Equipos	Año de Fabricación y/o instalación	Frecuencia y Fecha de la última reforma, ampliación o mantenimiento
1	Lavado	Lavadora	0.5 Kg	1	2003	ene-09
3	Lavado	Lavadora	1.5 Kg	1	2004	ene-09
4	Lavado	Lavadora	3.0 Kg	1	2004	ene-09
5	Lavado	Lavadora	5.0 Kg	1	1994	ene-09
6	Lavado	Lavadora	100 Kg	1	1994	ene-09
7	Lavado	Lavadora	150 Kg	1	1994	ene-09
8	Lavado	Lavadora	150 Kg	1	1994	ene-09
9	Lavado	Lavadora	150 Kg	1	1994	ene-09
10	Lavado	Lavadora	300 Kg	1	1997	ene-09
11	Lavado	Lavadora	300 Kg	1	2002	ene-09
12	Lavado	Lavadora	150 Kg	1	2003	ene-09
13	Lavado	Lavadora	150 Kg	1	1997	Dic-08
14	Centrífugado	Centrífuga	20 Kg	1	1994	Dic-08
15	Centrífugado	Centrífuga	35 Kg	1	1994	Dic-08
16	Centrífugado	Centrífuga	100 Kg	1	1998	Dic-08
17	Secado	Secadora	60 Kg	1	1994	Dic-07
18	Secado	Secadora	60 Kg	1	1994	Dic-07
19	Secado	Secadora	125 Kg	1	2003	ene-09
20	Secado	Secadora	125 Kg	1	2001	ene-09
21	Secado	Secadora	125 Kg	1	2001	ene-09

22	Frosteado	Frosteadora	150 Kg	1	1992	mar-08
23	Frosteado	Frosteadora	100 Kg	1	1994	ago-08
24	Aire comprimido	Compresor	10 HP	1	2001	feb-08
25	Planchado	Toopper		1	2001	feb-08

1.2.1.7.6 Mantenimiento y limpieza

El mantenimiento que se realiza en los equipos y maquinarias de la empresa es preventivo y correctivo. El mantenimiento preventivo se lo realiza anualmente y comprende limpieza y cambio de repuestos de lavadoras, centrífugas, secadoras, frosteadoras y compresor. Se realiza el barrido diario de la planta.

El mantenimiento del caldero, se realiza cada dos meses y consiste en el baqueteado (limpieza interior de los tubos con cepillo metálico) y lavado de quemadores y limpieza de filtros.

El mantenimiento del generador es anual y se realiza la limpieza de los inyectores, baqueteado, cambio de aceite y limpieza de filtros.

1.2.1.7.7 Almacenamiento de materiales (bodega)

El almacenamiento de las prendas que ingresan al proceso se ubica temporalmente en repisas metálicas hasta que sean procesadas.

Los productos químicos se almacenan en repisas en el laboratorio y otra parte en una bodega destinada para ello. Ciertos tanques se disponen verticalmente directamente en el suelo, y otros están apilados. Los sacos de polipropileno de ciertas sustancias se colocan directamente sobre el suelo y apiladas sin estibas.

1.2.1.7.8 Transporte Interno de materiales

La materia prima es ingresada desde los camiones al patio de descarga, desde donde se transporta a la bodega o al laboratorio en forma manual.

1.2.1.7.9 Tratamiento de emisiones a la atmósfera

El caldero que dispone la empresa no tiene tratamiento o algún tipo de control de las emisiones.

1.2.1.8 Productos, subproductos y residuos

1.2.1.8.1 Productos y subproductos

Tabla 1.11 Identificación de salidas: productos y subproductos

Nº	Principales Productos o Servicios	Producción Anual (unidad)*	Destino Final
1.	Prendas terminadas	60000 Kg/mes	Venta
2.	Prendas terminadas fuera de especificaciones	ND	Venta directa en almacén

1.2.1.8.2 Residuos

Tabla 1.12 Identificación de salidas: residuos

Nº	Principales Residuos	Cantidad Anual	Almacenam. Temporal	Destino Final	Criterio de peligrosidad
1.	Envases de productos químicos	ND	A la intemperie	Proveedor	Según sea el producto que estuvo almacenado, puede ser o no peligroso
2.	Retazos de telas usados en mantenimiento	ND	A la intemperie	Relleno sanitario	Si contiene aceites lubricantes o grasa, son inflamables
3.	Fundas plásticas con residuos de productos químicos	ND	A la intemperie	Relleno sanitario	Según sea el producto que contenía la funda
4.	Polvo de piedra pómez	ND	A la intemperie	Relleno sanitario	Si, puede contener restos de los productos químicos utilizados en el lavado
5.	Pelusa	ND	A la intemperie	Relleno sanitario	No

No	Principales Residuos	Cantidad Anual	Almacenam. Temporal	Destino Final	Criterio de peligrosidad
6.	Cajas de cartón	ND	A la intemperie	Relleno sanitario	No
7.	Chatarra y repuestos en general	ND	A la intemperie	Regalan	No

1.2.2 Almacenamiento del combustible

En la actualidad, la Tintorería Industrial PROCESOS Y COLORES posee un sistema rudimentario de suministro de combustible a su principal fuente de generación de vapor, el caldero, que es el responsable de proporcionar vapor para el proceso de tratamiento de prendas en la planta de producción.

El combustible proporcionado por un tanquero a un reservorio, tiene que fluir a través de una tubería a lo largo de las instalaciones de la empresa, hasta un tanque de almacenamiento previo a la succión del caldero.

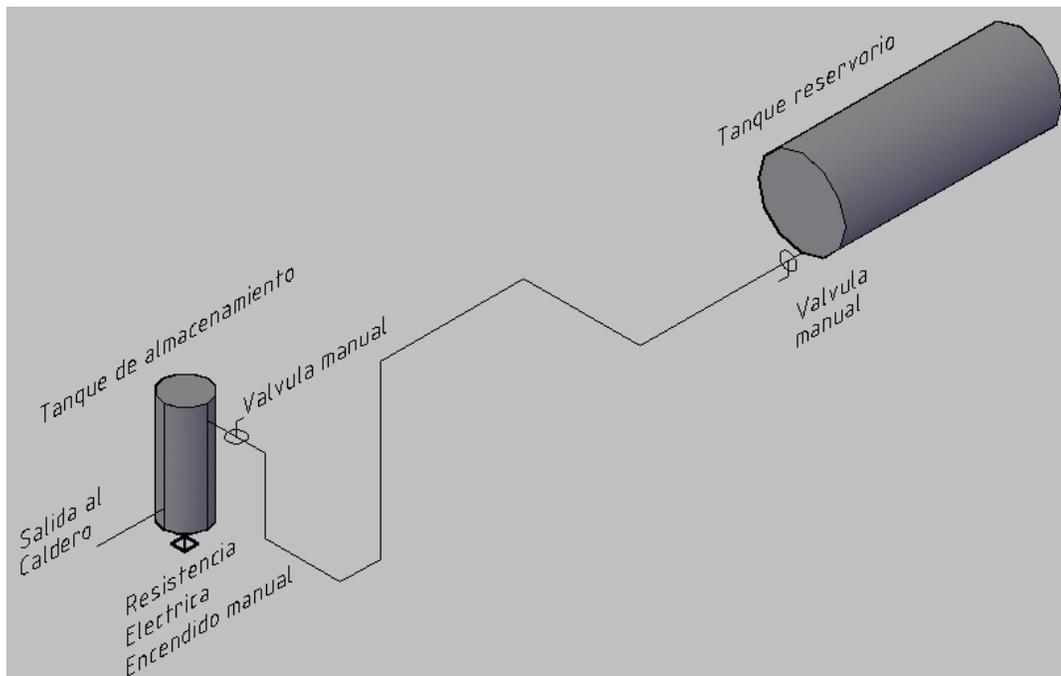


Figura 1.4. Esquema del sistema actual de almacenamiento de combustible

Todo este proceso es manual, los operarios deben hacer repetitivos viajes hacia el contenedor, abrir y cerrar válvulas, esperar a llenar y vaciar el tanque, todo esto sin tener visión directa del proceso puesto que el reservorio y el tanque están totalmente separados el uno del otro, ocasionando en muchos casos el derrame combustible produciendo perdidas negras, daños al medio ambiente, perdidas económicas y sanciones al recurso humano de la empresa, y en otros casos fallas en el caldero por motivo de que el tanque ha quedado sin fluido, todo esto tomando en cuenta que la planta opera seis días a la semana 24 horas al día.

1.2.2.1 Consumo de Combustible

Tabla 1.13 Consumo de combustible

Combustible	Finalidad	Cantidad Anual Consumida	Unidad
Búnker	Generación de vapor en caldero	118724	Galones

Antes de alimentar el combustible al caldero, este pasa a través de un filtro que se ubica a la salida del tanque de almacenamiento de búnker; la limpieza de este filtro se realiza varias veces al día, mediante la abertura de una válvula, el búnker contaminado se deja sedimentar y el combustible limpio se reingresa al tanque, los sólidos sedimentados se envían a la basura.

1.2.3 Proceso de Calentamiento del Combustible

El combustible Bunker hasta llegar al caldero pasa por dos fases de calentamiento:

Primera Fase: El mismo vapor generado por el caldero llega al tanquero principal de combustible y a manera de intercambiador de calor una tubería cruza el reservorio, elevando la temperatura del combustible

Segunda Fase: En el tanque de prealmacenamiento, el combustible es calentado mediante una resistencia eléctrica, dispuesta y adecuada en el tanque, hasta manejar un régimen cercano a los 90°C

Luego de este proceso, el combustible alimenta el caldero.

1.2.4 Procedimiento de suministro de vapor y su función en el proceso productivo

El suministro de vapor es proporcionado por el caldero y recorre a través de diversas tuberías dispuestas a lo largo y ancho del área de la planta de producción y alrededores.

El vapor generado por el caldero es utilizado en casi la totalidad de procesos productivos:

- Precalentamiento de combustible
- Lavadoras, para ablandamiento de suciedad
- Secadoras, para eliminar humedad de prendas
- Lavadoras de pruebas

1.2.5 Determinación de las variables importantes del proceso

En la industria existe una gran cantidad de variables que deben ser determinadas, estas son magnitudes que pueden variar en un valor cualquiera de los comprendidos en un conjunto. De acuerdo al proceso que se presente en la industria podemos tener variables como: nivel, presión, temperatura, densidad, posición, velocidad, etc. En este proyecto se encuentran dos variables básicas que son: nivel y temperatura.

1.2.5.1 Variable de Nivel

En la industria, la medición de la variable de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso, como de

la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Para la determinación de la variable de nivel del líquido en un tanque, existen en el mercado una amplia gama de sensores, pero dicha capacidad de utilización se restringe y depende en un gran porcentaje del líquido a manejar y en ciertos casos la alternativa más viable se ve afectada, y se requiere buscar soluciones alternas.

1.2.5.2 Variable de Temperatura

La medida de la variable de la temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre los elementos de medida y el aparato receptor, y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador utilizado.

Para la determinación de la variable de temperatura en los tanques se utiliza principalmente las termocuplas y los RTD.

Las resistencias detectoras de temperatura o RTD presentan una característica estática de temperatura vs. resistencia estable reproducible y con un coeficiente positivo de temperatura muy lineal entre los -200 y 800°C. Todos estos atributos le han permitido al RTD ubicarse automáticamente como uno de los estándares en la medición de la temperatura a nivel industrial.

Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

1.3 Definición del problema

Al momento, la Tintorería Industrial “Procesos & Colores” maneja dificultades por el control del combustible, su ineficiente sistema de suministro de combustible provoca en varias ocasiones perdidas negras, perjudicando y generando problemas a la gestión de la empresa.

El inadecuado manejo de un contaminante puede ser perjudicial tanto para la entidad en cuestión, como para el medio ambiente, se desea minimizar las perdidas por derrames innecesarios y aportar con el crecimiento industrial de la planta y de la empresa con miras a incrementar el sistema de gestión de calidad, proyectándose a la optimización de sus procesos y logrando así el desarrollo de la compañía mencionada en el presente proyecto.

Al presentarse este problema, proceso fundamental en la gestión de producción, se ha visto la necesidad de adecuarlo con los equipos necesarios, para de esta manera solucionar el problema, y solventar la deficiencia actualmente existente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de automatización para el optimo suministro de combustible al caldero generador de vapor de la Tintorería Industrial “Procesos & Colores”

1.4.2 Objetivos Específicos

- Examinar los inconvenientes del actual manejo de combustible
- Determinar las alternativas posibles de solución y elegir la mas adecuada y eficiente.
- Optimizar el proceso de suministro de combustible al caldero por medio de un sistema eficiente de control

- Evitar perdidas negras de combustible
- Proteger al medio ambiente de la contaminación producida por los derrames frecuentes

1.5 Justificación e Importancia

La Tintorería Industrial “Procesos & Colores” se ha visto en la necesidad de mejorar, e implementar un nuevo sistema para el suministro del combustible debido a problemas generados por el mal manejo, situación que justifica el diseño e implementación de un nuevo sistema de control computarizado, que permita elevar los niveles de eficiencia en la producción de la planta, ahorrar gastos y perdidas en los diferentes campos de operación y trabajo que desempeña. Es aquí donde se ve la importancia de la implementación de un control lógico, cuyo desempeño demuestre las ventajas de su uso, y eficiencia de los sistemas de automatización en relación a los tradicionales.

La gestión administrativa encuentra problemas al producirse derrames de combustible, lo que implica ciertos riesgos, tales como una auditoria ambiental, y no por dejar a un lado las perdidas de dinero que en toda entidad se las busca minimizar. Una prueba de los problemas que se presentan se las puede visualizar en la siguiente imagen:



Figura 1.5 Fotografía de un derrame de combustible

1.6 Alcance

En el presente proyecto se realizara el diseño, la selección de componentes, la implementación, la puesta en funcionamiento y la puesta en marcha de un sistema automático de suministro de combustible

Se pretende entregar un sistema de control, con la instrumentación requerida para poder manejar el nivel de líquido en un tanque, y mediante los distintos actuadores intervenir en el accionamiento independiente de los componentes de suministro, con su respectiva señalización y sistemas emergentes.

Elaborar el programador de controladores, el mismo que va a registrar el nivel de líquido mediante sensores, y de acuerdo a la altura del líquido permitir o restringir el paso de fluido al tanque en cuestión, que posteriormente proporcionará combustible al caldero generador de vapor a la temperatura requerida.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 Almacenamiento de Combustibles

Por lo general, los productos derivados del petróleo se clasifican de acuerdo con su punto de inflamación. Los más peligrosos son aquellos compuestos que tienen un punto de inflamación más bien bajo. Asimismo, los derivados del petróleo con bajo punto de inflamación tienen densidades de vapor mayores que el aire, por lo que, se acumulan en zonas bajas, pudiendo causar explosiones y una deficiencia de oxígeno en la atmósfera aledaña. En el caso de los hidrocarburos con un punto de inflamación más alto la presión de vapor no es suficiente para originar peligros de explosión; este es el caso, por ejemplo, del aceite lubricante.

El punto de inflamación de la gasolina es de 46° C, que es muy bajo, lo que indica una tendencia significativa de la gasolina a emitir vapores explosivos aún a bajas temperaturas. Por otro lado, los aceites lubricantes poseen un alto punto de inflamación (186° C), lo que indica que la generación de vapores explosivos sólo se da a altas temperaturas.

2.1.1 Descripción, almacenamiento y uso de los reactivos

Normalmente, su almacenamiento es en cilindros de 210 litros (55 galones), como por ejemplo, las grasas, lubricantes pesados y aceites de transmisión o en tanques de almacenamiento a granel para productos de alto consumo, como la gasolina, petróleo diesel y algunos aceites lubricantes más ligeros.

Cuando el almacenamiento se realiza en cilindros, las áreas de trasvase y utilización deben contar con mecanismos de contención o control de

derrames; igualmente, se debe contar con equipos de protección y contra incendios.

Los letreros deben ser legibles y estar ubicados de tal manera que permitan la rápida identificación de los productos. Todos los cilindros deberán contar con su respectiva identificación.

Asimismo, todo el personal que trabaje en el área de almacenamiento o que tenga acceso a productos de esa área, debe estar debidamente entrenado para su apropiado uso y manipulación, así como para poder hacer frente a situaciones de emergencia.

Todos los tanques de almacenamiento a granel, ubicados en superficie, deberán contar como protección ante la eventualidad de derrames con un sistema de revestimiento con una capacidad equivalente al de 110 por ciento del volumen del mayor tanque de almacenamiento ubicado dentro del área con berma. La identificación del producto debe ser fácilmente visible y legible, se deberá capacitar a los empleados sobre el manejo y respuesta en caso de emergencias.

El buen estado de todo tanque de almacenamiento subterráneo (incluyendo tuberías bajo tierra) deberá ser evaluado con cierta periodicidad. Cuando menos, se deberá comparar los registros de inventario de llenado y uso, con el fin de descartar la existencia de goteras en el sistema del tanque. Por lo menos una vez cada dos años deberá verificarse la presión y hacerse una evaluación del buen funcionamiento del sistema de bombeo.

2.1.2 Propiedades de sustancias químicas peligrosas

En general se clasifican los productos y sustancias químicos de acuerdo a sus características de peligrosidad, que son:

2.1.2.1 Inflamabilidad

La Inflamabilidad es la medida de la facilidad que presenta un gas, líquido o sólido para encenderse y de la rapidez con que, una vez encendido, se diseminan sus llamas. Cuanto más rápida sea la ignición, más inflamable será el material. Los líquidos inflamables no lo son por sí mismos, sino que lo son debido a que su vapor es combustible.

Hay dos propiedades físicas de los materiales que indican su inflamabilidad: el punto de inflamación y la volatilidad (determinada por el punto de ebullición).

- **El punto de inflamación** de un material es la temperatura a la cual un líquido (o sólido volátil) desprende vapor, en cantidades suficientemente significativas, para formar una mezcla que puede encenderse en contacto con el aire.

Cuando existe una fuente externa de ignición (como por ejemplo, chispas eléctricas, llamas) un material se puede encender a temperatura igual o superior a su punto de inflamación.

El punto de inflamación del éter etílico es de -45°C ; el queroseno tiene un punto de inflamación entre 38 y $65,5^{\circ}\text{C}$. Los gases inflamables no tienen punto de inflamación puesto que ya se encuentran en fase de vapor.

- **La volatilidad** de un material es un indicativo de la facilidad con que un líquido o sólido pasa al estado de vapor.

La volatilidad se mide mediante el punto de ebullición del material (temperatura a la cual la presión de vapor del material es igual a la presión atmosférica).

Existen algunos materiales que son volátiles pero en cambio no son inflamables, como el agua, cloroformo y mercurio.

Algunos materiales son pirofóricos, es decir, que pueden arder espontáneamente sin necesidad de que haya una fuente de ignición exterior, por ejemplo, el sodio metálico puede reaccionar con la humedad del aire. Esta reacción produce hidrógeno gas y el calor generado por la reacción puede ser suficiente para hacer arder el hidrógeno con el oxígeno del aire.

Los productos y sustancias que posean esta característica, llevarán en forma visible la siguiente etiqueta:



Figura 2.1 Etiqueta Sustancias Inflamables

2.1.2.1.1 Almacenamiento

- Los materiales inflamables no deben almacenarse jamás cerca de ácidos.
- Las áreas de almacenamiento deben estar suficientemente frías para evitar la ignición en el caso de que los vapores se mezclaran con el aire.
- Deben estar bien ventiladas para evitar la acumulación de vapores.
- Las chispas producidas por las luces interiores o los termostatos pueden generar la ignición de los materiales inflamables que hubiera en el interior de la nevera, provocando un peligro de explosión.
- Las áreas de almacenamiento deben tener materiales de limpieza de derrames y equipo adecuado contra incendios en las proximidades.
- Los extintores portátiles deben ser de espuma química seca o de dióxido de carbono.
- Las áreas de almacenamiento deben revisarse periódicamente para detectar deficiencias y los materiales inflamables deben almacenarse en cantidades mínimas.

- Los líquidos inflamables deben separarse en categorías dependiendo de su punto de ignición.
- Se debe colocar un anuncio bien visible de NO FUMAR en los lugares de uso y almacenamiento de materiales inflamables.

2.1.2.2 Corrosividad

Los gases, líquidos y sólidos pueden presentar propiedades corrosivas que son peligrosas. Las sustancias químicas corrosivas pueden quemar, irritar o destruir los tejidos vivos. Cuando se inhala o ingiere una sustancia corrosiva, se ven afectados los tejidos del pulmón y estómago.

Gases Corrosivos.- Se absorben fácilmente por el cuerpo a través de la piel en contacto y por inhalación.

Líquidos Corrosivos.- Se utilizan frecuentemente en el laboratorio y son, en gran medida, causa de lesiones corporales externas.

Sólidos Corrosivos.- Producen lesiones retardadas. Debido a que los sólidos se disuelven fácilmente en la humedad de la piel y del aparato respiratorio, los efectos de los sólidos corrosivos dependen en gran medida de la duración del contacto. Los materiales con propiedades corrosivas pueden ser ácidos (pH bajo) o básicos (pH elevados).

Los productos y sustancias que posean esta característica, llevaran en forma visible la siguiente etiqueta:

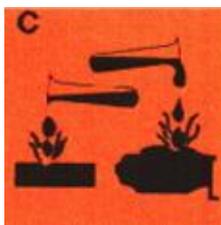


Figura 2.2 Etiqueta sustancias corrosivas

2.1.2.2 Almacenamiento

- Los ácidos, las bases y los materiales corrosivos se deben separar de los materiales orgánicos inflamables.
- Los materiales corrosivos se deben almacenar cerca del suelo para minimizar el peligro de caída de las estanterías. Se deben almacenar en áreas frías, secas y bien ventiladas, alejadas de la luz solar.
- El área de almacenamiento no debe estar sometida a cambios bruscos de temperatura.

2.1.2.3 Reactividad

Los materiales reactivos o explosivos son sustancias químicas que producen una liberación repentina, casi instantánea, de una cantidad grande o pequeña de gases a presión y calor cuando repentinamente se golpean, se someten a presión o a elevada temperatura. Bajo ciertas condiciones de choque, temperatura o reacción química, algunas sustancias pueden explotar violentamente

Antes de trabajar con materiales explosivos, se debe entender las propiedades químicas de los mismos, conocer los productos de las reacciones laterales, la incompatibilidad de ciertas sustancias y controlar los posibles catalizadores ambientales (tales como los cambios de temperatura).

Los productos y sustancias que posean esta característica, llevaran en forma visible la siguiente etiqueta:



Figura 2.3 Etiqueta Sustancias Explosivas

2.1.2.3.1 Almacenamiento y utilización

Se debe evitar:

- Que se seque el ácido pícrico.
- Mezclar sustancias químicas inflamables con oxidantes.
- Fugas de gases inflamables.
- Calentar gases comprimidos o licuados.
- Que las temperaturas fluctúen incontroladamente durante las experiencias en las que se utilizan reactivos químicos explosivos al entrar en contacto, de repente, un líquido caliente (por ejemplo, aceite) con un material de bajo punto de ebullición.
- Materiales inflamables con catalizadores (por ejemplo, los ácidos o las bases catalizan una polimerización explosiva de la acroleína).
- Productos de la descomposición explosiva de peróxidos procedentes de la acumulación en los contenedores durante el almacenamiento.

2.1.2.4 Toxicidad

La toxicidad se define como la capacidad de una sustancia para producir daños en los tejidos vivos, lesiones en el sistema nervioso central, enfermedad grave o, en casos extremos, la muerte cuando se ingiere, inhala o se absorbe a través de la piel.

La administración de una dosis particular de una sustancia química a un animal de laboratorio, y la subsiguiente respuesta, pueden ayudar a predecir que dicho compuesto químico tendrá efectos tóxicos en el ser humano. La relación entre dosis-respuesta se representa en una curva que demuestra que no todos los individuos responden de la misma manera a una dosis particular. Algunos individuos serán más sensibles que otros, y una dosis específica que puede ser letal para unos pero no para otros. De este modo, la toxicidad es un valor promedio, DL50 - Dosis Letal 50, o DL50

La toxicidad de las sustancias inhaladas se mide mediante los Valores Umbrales Límite, VUL (en inglés Threshold Limit Values o TLV) que se expresan en partes por millón (ppm) de la sustancia en el aire, o mg de sustancia por m³ de aire.

2.1.2.5 Venenos

Una sustancia venenosa es aquella que produce la muerte o lesiones graves en caso de inhalación, ingestión o contacto con la piel de pequeñas cantidades de la misma. Una sustancia puede ser venenosa o no dependiendo de la cantidad, (por ejemplo, un poco de cianuro o una gran cantidad de pasta de dientes).

Los productos y sustancias que posean esta característica, llevaran en forma visible la siguiente etiqueta:



Figura 2.4 Etiqueta Sustancias venenosas o tóxicas

Cualquier sustancia que se etiquete con el símbolo internacional de veneno debe tratarse como peligrosa

2.1.2.5.1 Almacenamiento y utilización

- Los compuestos venenosos deben tratarse con precauciones extremas.
- Se debe llevar, guantes y gafas de seguridad y trabajar en una campana de seguridad bien ventilada.

2.1.3 Clasificación de productos

Clase A. Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 98kPa, tales como propileno, butadieno, cloruro de metilo.

Clase B. Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y no están comprendidos en la clase A (acetona, alcohol amílico).

Clase C. Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55°C y 100°C (fenol, formaldehído).

Clase D. Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100°C.

2.1.4 Tipos de almacenamiento de combustibles

Los almacenamientos denominados “convencionales” consisten en tanques superficiales y tanques enterrados. Los tanques superficiales son aquellos cuyas paredes laterales y techo están en contacto directo con la atmósfera, se subclasifican en tanques atmosféricos, tanques a presión, tanques refrigerados y tanque térmicos.

Los tanques enterrados son aquellos cubiertos con material sólido y expuestos a presiones ocasionadas por el empuje o peso del material que los rodea.

Los recipientes para almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles podrán ser de los siguientes tipos:

Tanques atmosféricos: Diseñados para soportar una presión interna manométrica de hasta 15kPa. Los tanques atmosféricos no se usarán para almacenar líquidos a su temperatura de ebullición o superior.

Tanques a baja presión: Diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 15kPa, y no superior a 98kPa.

Depósito a presión: Diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 98kPa. Los depósitos a presión podrán usarse como tanques a baja presión y ambos como tanques atmosféricos.

El almacenamiento “no convencional” es todo sistema alterno, requiriendo especiales consideraciones en su proyecto, construcción y mantenimiento. Los almacenamientos “no convencionales” pueden ser:

- a) Almacenamiento en pozas abiertas
- b) Almacenamiento flotante
- c) Almacenamiento en cavernas
- d) Almacenamiento en tanques de concreto pretensado
- e) Almacenamiento en plataformas marinas.

2.1.5 Materiales de construcción de tanques y depósitos

Los tanques y depósitos serán construidos en acero, excepto en los casos previstos a continuación en que podrán utilizarse materiales diferentes:

- Cuando las propiedades del líquido almacenado lo requieran. En caso de duda el proyectista, el productor, distribuidor u otro consultor competente certificarán la conveniencia del material de construcción a ser usado.
- Para instalaciones bajo tierra.
- Cuando se emplean exclusivamente para líquidos de la clase D.
- Para líquidos de las clases A, B o C cuando no exista posibilidad de fugas, si se almacenan en el exterior, o se dispone de un sistema automático adecuado de extinción de incendios, si se almacenan en el interior de un edificio.

Los recipientes de hormigón con recubrimiento podrán usarse para almacenar líquidos combustibles con densidad de 40 grados API o superior.

Se tendrá especial consideración en la elección del material cuando el líquido almacenado se encuentre por debajo de 0 °C.

2.2 Generalidades de la Automatización

Cuando un proceso de automatización se realiza sin la intervención humana decimos que se trata de un proceso automatizado. La automatización permite la eliminación total o parcial de la intervención del hombre. Los automatismos son dispositivos que realizan tareas sin la intervención humana.

Los procesos en la industria son muy variados y abarcan muchos tipos de productos, que necesitan ser controlados tales como: la elaboración de los derivados del petróleo, productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

La presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc., son algunas de las variables que en los procesos se tiene que controlar y mantener dentro de límites establecidos. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas, que las que el propio operador podría realizar.

2.2.1 Control de Procesos

En el campo del control de procesos existen numerosas alternativas muchas de las cuales pueden incluso ser más ventajosas que otras, obviamente dependiendo de lo que se quiera controlar. El control del proceso se logra por medio de dispositivos que reciben las señales proporcionadas por los sensores y en función de estas señales se utilizan los actuadores. Los controles pueden ser manuales, automáticos y programables.

Existen dos formas de control: Control en Lazo Abierto y Control en Lazo Cerrado.

Control en Lazo Abierto: En el control del lazo abierto el proceso o la maquinaria funciona sobre la base de parámetros predefinidos, los mismos que incluso se los regula manualmente. Por ejemplo, configuramos un motor manipulando el voltaje de entrada para obtener al eje una velocidad de 1200 r.p.m., y luego lo dejamos funcionar libremente, que pasa si la carga sobre el eje aumenta o disminuye, esta carga tiende a alterar la velocidad de giro del motor.

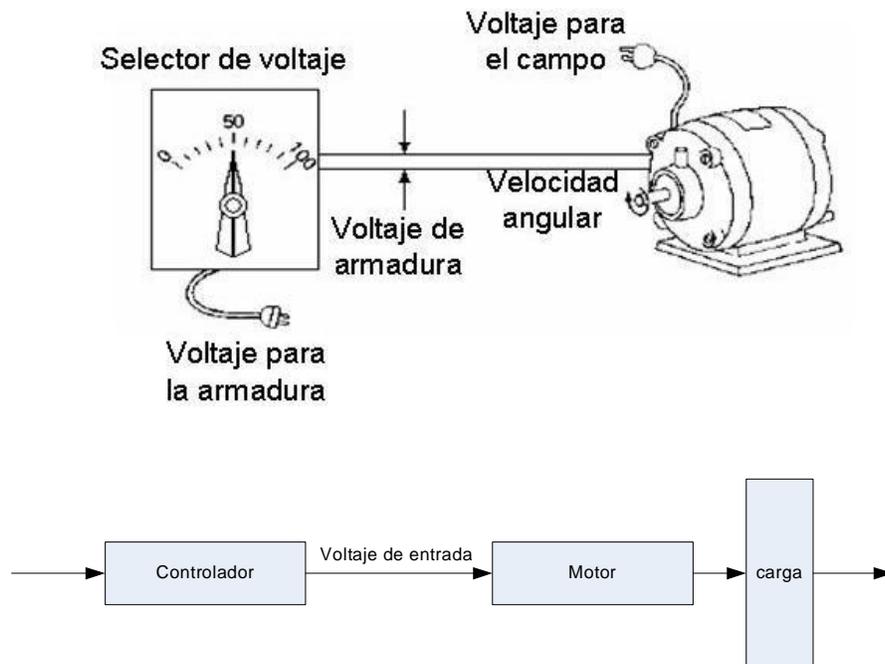


Figura 2.5 Control en lazo abierto (sin realimentación)

Control en lazo cerrado: Si adicionamos al sistema abierto un sensor de velocidad el mismo que a su vez pueda actuar sobre la alimentación de voltaje del motor con el fin de regular la corriente de entrada y de esta forma la velocidad, entonces se dice que el control sobre el sistema es de lazo cerrado, en un control de lazo cerrado los parámetros que inciden sobre el proceso o la máquina son función de valores medidos de a la salida ó salidas de este

proceso ó maquinaria, lógicamente en comparación con valores que se desea alcanzar.

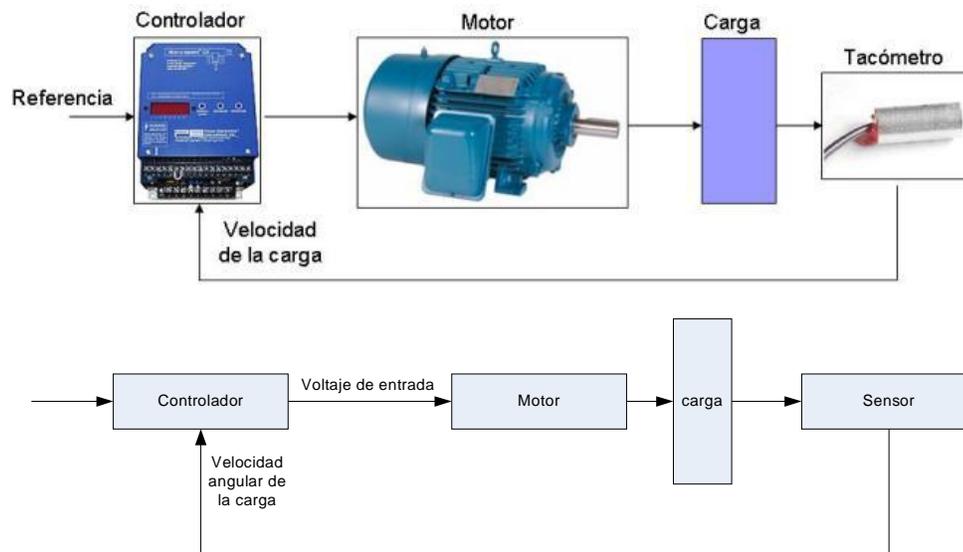


Figura 2.6. Control en lazo cerrado (realimentado)

2.2.2 Comunicaciones, Protocolos y Redes

Las redes han demostrado ser una herramienta importante en procesos involucrados con la automatización, de ahí que el crecimiento de la red más grande que existe se encuentra en su apogeo. Las redes explotan los beneficios de la tecnología de computación permitiendo distribuir procesamiento de alto rendimiento, entradas y salidas de alta velocidad y otros elementos a lo largo de una empresa desde la planta hasta los estamentos administrativos y de dirección.

La red es simplemente las conexiones de elementos que permiten distribuir el control e intercambiar información y datos. Una red esta compuesta de elementos físicos (cables) que interconectan computadores, instrumentos, elementos de adquisición y otros. Los elementos se comunican a través de la red utilizando un "idioma" común a todos conocido como protocolo.

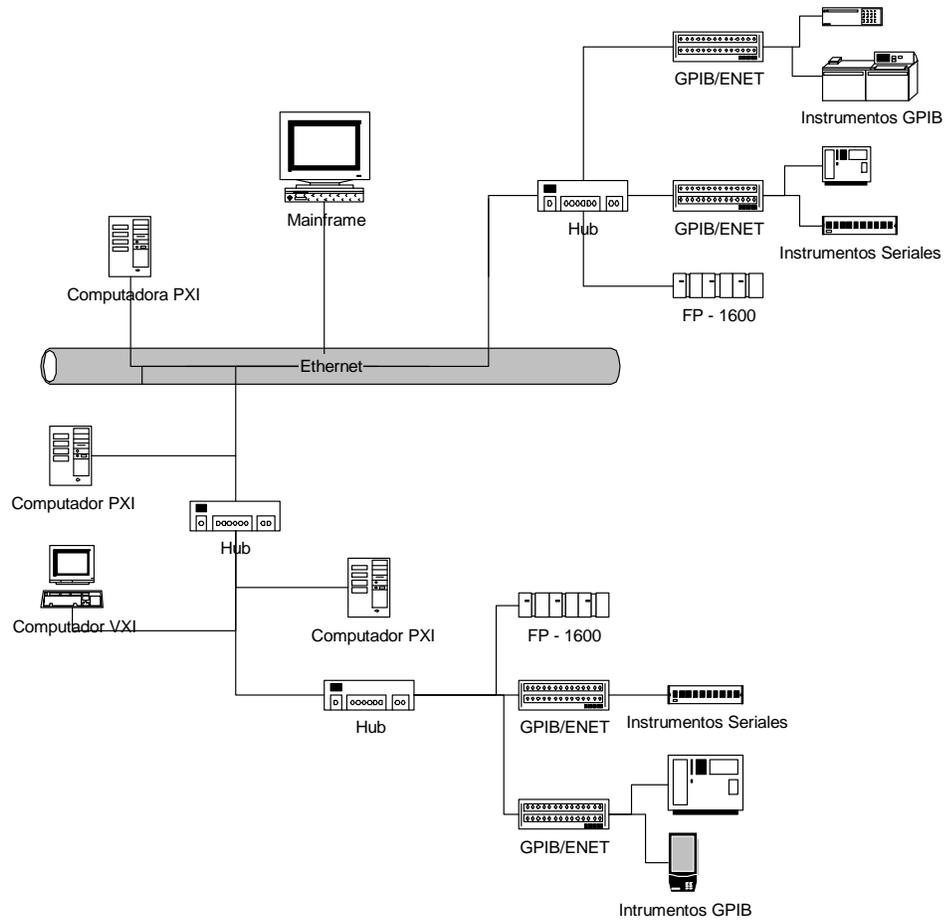


Figura 2.7. Red Ethernet

El computador principal o mainframe, se conecta con los componentes del sistema de automatización a través de la red y utilizando hardware de interfase y protocolos comunes, de igual manera como otros elementos: controladores distribuidos, computadores VXI, PCI/CompactPCI, PCI e instrumentos.

Los elementos de comunicación se definen por sus características físicas (eléctricas), lógicas o ambas.

2.2.2.1 Interfase Serial

Utilizado por muchos dispositivos esta basado en los estándares EIA: RS-232, RS-422 y RS-485. Este estándar determina solamente las

características físicas de la conexión, y no representa un protocolo. Sus características más relevantes son:

Tabla 2.1 Características Interfase Serial

Características	RS - 232	RS - 422	RS - 485
Tipo de líneas de transmisión	desbalanceado	diferencial	diferencial
Número máximo de drivers	1	1	32
Numero máximo de receptores	1	10	32
Longitud máxima del cable (mtrs.)	15.2	1200	1200
Máxima tasa de transmisión	20 kb/s	10 Mb/s	10 Mb/s

RS-232 es la conexión serial que se encuentra en las computadoras IBM o compatibles. Debido a que el desenvolvimiento de los sistemas conectados con RS – 232 disminuye si se utilizan características diferentes a las indicadas en la tabla anterior se limitan las conexiones a un dispositivo por puerto.

RS-422 es la conexión serial utilizada por los computadores Apple Macintosh, esta conexión usa una señal eléctrica diferencial referenciada a tierra, por lo cual utiliza dos líneas para transmitir y recibir, incrementando su inmunidad al ruido y permitiendo su uso para amplias distancias.

RS-485 es una mejora sobre RS-422, que permite incrementar el número de dispositivos conectados al puerto (receptores).

Nótese que este estándar no especifica protocolo, entonces la forma de referenciar (direccionar) un dispositivo depende principalmente de este. Existen muy pocos protocolos para conexiones seriales, el protocolo más ampliamente usado es un juego de caracteres ASCII que determinan comandos, estos protocolos suelen ser asincrónicos, por que el transmisor y el receptor no tienen elementos que permitan su sincronización.

2.2.2.2 Interfase IEEE 488

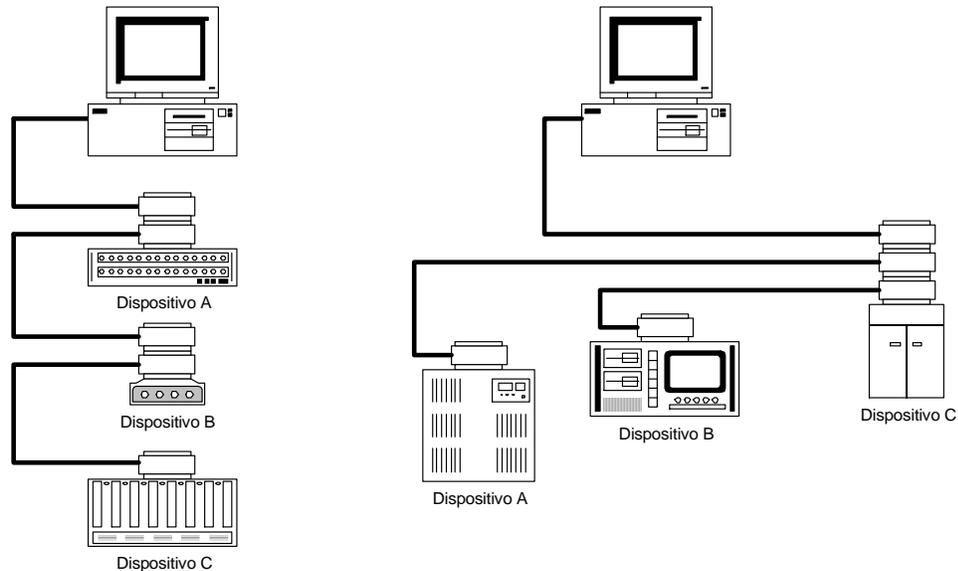
Conocida también como GPIB y HP-IB constituye un estándar desde 1975, adoptado por miles de instrumentos de cientos de fabricantes, diseñado principalmente para comunicación remota con instrumentación programable.

Los dispositivos GPIB se comunican entre si por medio de mensajes, que contienen datos ó mensajes de datos e instrucciones para la manipulación del bus, conocidas como comandos o mensajes de comando.

Los mensajes de datos contienen información específica del dispositivo como: instrucciones, resultados de medidas, estados de la maquina, archivos de datos, etc, mientras los mensajes de comandos contienen información para: inicialización del bus, modos de operación del bus, etc.

Los dispositivos GPIB se agrupan en tres tipos controladores, receptores y emisores. Los emisores se usan para envío de datos a los receptores mientras que los controladores se encargan de dirigir el flujo de información.

Los dispositivos GPIB se conectan por cables de 24 líneas de las cuales 8 son de datos, 3 son de control y 5 de comandos. Los dispositivos se conectan en línea o estrella.



a) Configuración lineal

b) Configuración en estrella

Figura 2.8 Configuraciones de red

La interfase puede conectarse hasta con 15 instrumentos, con una velocidad de transferencia de datos mayor a 1Mb/s.

2.2.2.3 CAN

Es un interfase para elementos PCI, ISA (Plug and Play), PC Card (PCMCIA), y PXI/CompactPCI a utilizarse en aplicaciones automotrices, medicas, y otras

2.2.2.4 Device Net

Constituye la principal alternativa para redes de sensores inteligentes y actuadores. Se usa principalmente en aplicaciones de manufactura, y esta enfocado a la conexión de elementos sencillos, pasivos y de bajo costo, como finales de carrera, sensores fotoeléctricos, inductivos, capacitivos, arrancadores de motores, lectores de barras y otros con la interfase del operador.

Las redes DeviceNet utilizan un par de buses para señales y energía, respectivamente, si los elementos a conectarse tienen sus fuentes de energía existe la versión opto acoplada. Con el protocolo utilizado para DeviceNet se pueden direccionar hasta 64 nodos.

2.2.2.5 Protocolos y Redes para PLC

Se puede identificar un buen número de protocolos de redes que se orientan principalmente al uso de controladores lógicos, entre las que se puede citar modbus, profibus, fieldbus, entre otras.

Fieldbus es una red industrial designada específicamente para aplicaciones que utilizan control distribuido de procesos, una red Fieldbus abierta es Profibus, ampliamente utilizada en Europa, ha sido diseñada para acoplarse a una variedad de procesos principalmente para transmitir información entre elementos de I/O y controladores que requieren de alta velocidad o para manipular complejas comunicaciones entre controladores programables. Profibus forma una familia que contempla tres versiones compatibles DP, FMS y PA. Profibus – DP ha sido designado para

comunicación entre controladores programables y elementos de entrada salida a bajo costo y alta velocidad. Profibus – FMS esta designado para comunicaciones de propósito general entre controladores programables y PCs, y Profibus – PA se usa para procesos de automatización usando el protocolo estándar Fieldbus.

2.2.3 Adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos constituye una de las alternativas de recopilación de datos más usada, mediante la cual se captura información de un proceso mediante una tarjeta, módulo o elemento y se la procesa con un software especializado en un computador. Los elementos involucrados en el proceso DAQ, son:

- ✓ Computador
- ✓ Transductores
- ✓ Acondicionadores de señal
- ✓ Hardware para DAQ
- ✓ Software

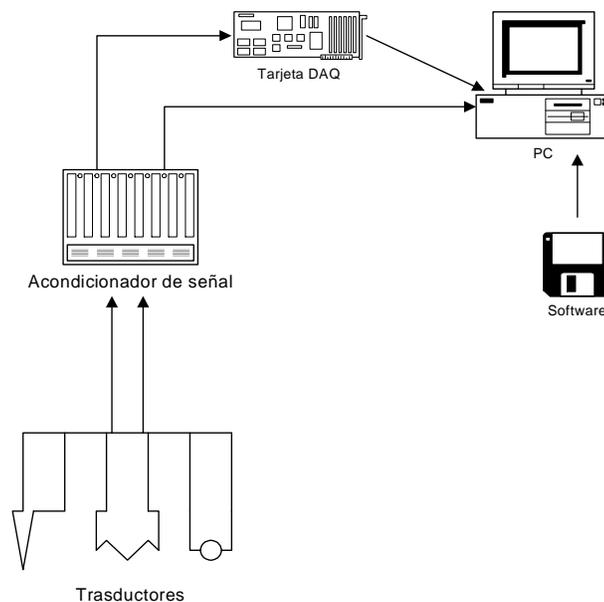


Figura 2.9 Elementos del sistema de adquisición de datos

El elemento sensor (que en este caso principalmente corresponde al grupo de los transductores) actúa en base a la señal del proceso que se está sensando, esta energía que el sensor recibe del proceso se transforma en otra, por ejemplo la termocupla transforma la temperatura en una diferencia de voltaje, la galga extensiométrica aumenta su resistencia en base al estiramiento mecánico, la caída de presión en un orificio de una placa depende de el flujo que lo cruza, etc.

La señal a continuación es acondicionada, transformándola en una señal más manejable que puede ser de corriente, voltaje ó frecuencia, finalmente la señal ingresa a la DAQ y luego al PC.

2.2.3.1 Señales

Las señales son cantidades físicas, de diferente naturaleza, que circulan a través del sistema DAQ, cuya magnitud y variación con el tiempo contiene información sobre el proceso que lo genera.

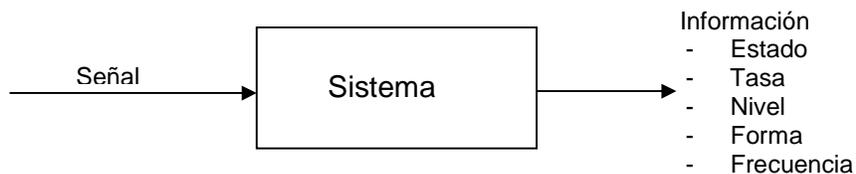


Figura 2.10 Tipos de información que llevan las señales

Todas las señales son variantes en el tiempo y se clasifican en dos tipos: analógicas y digitales.

2.2.3.1.1 Señales Digitales

Las señales digitales representan variables discretas como dígitos decimales ó caracteres alfabéticos, mediante una señal discontinua en el tiempo

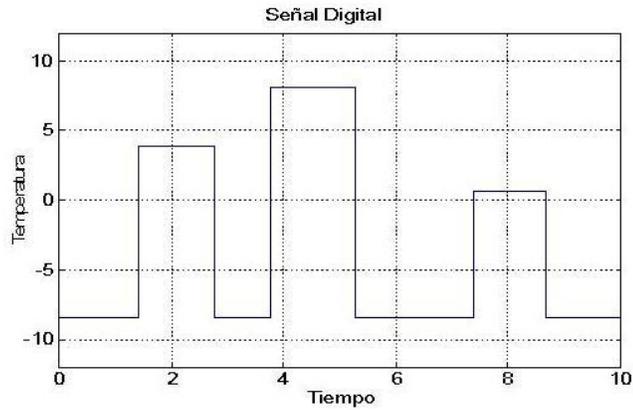


Figura 2.11 Señal Digital

En la señal digital de la figura anterior, cada nivel puede representar un número ó letra diferente. Son más comunes los sistemas digitales de dos niveles que se conocen también como sistemas digitales binarios, estos sistemas presentan mayores ventajas que los sistemas de varios niveles, entre las que podemos citar los siguientes: los componentes electrónicos, eléctricos ó electromecánicos presentan mayor facilidad de generar dos estados, es más fácil distinguir dos estados que más, las operaciones matemáticas, lógicas y otras se realizan más fácilmente entre dos estados que entre más, etc.

Los estados de un sistema digital binario, se denominan alto (On, H ó 1) y bajo (Off, L ó 0), en un sistema electrónico los niveles altos y bajos suelen ser aproximadamente 5 y 0 V. ó 12 y 0 V., mientras que en un sistema neumático los niveles son 8 y 0 Bar. Los sistemas altos y bajos también suelen representarse por los números 1 y 0 respectivamente que son los dígitos de un sistema numérico binario que es aquel con el cual operan los controladores y otros elementos digitales.

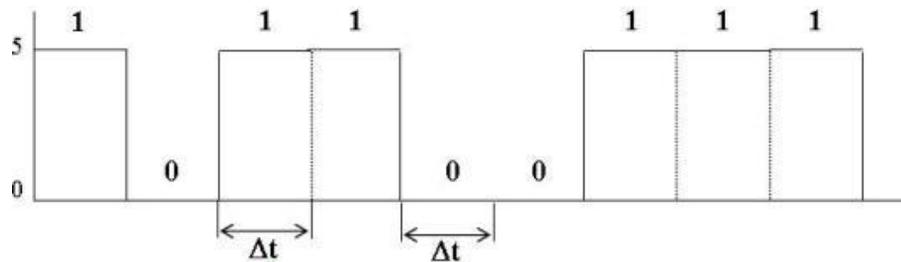


Figura 2.12 Señal digital binaria

La señal digital se divide en dos: On – Off. La señal On – Off, lleva información en base al estado que posee la señal en un tiempo determinado, para determinar este estado es necesario simplemente un detector de estado.

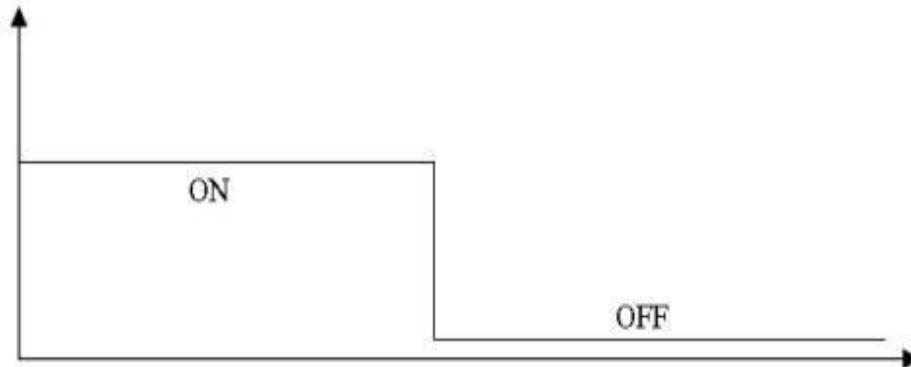


Figura 2.13 Estados de una señal binaria

La señal digital en tren de pulsos consiste en una serie de variaciones entre estados altos y bajos, y la información que conlleva esta señal depende del número de testados en un tiempo específico, el tiempo que se demora en realizar las transiciones entre estados ó la frecuencia a la cual ocurren las transiciones de los estados.

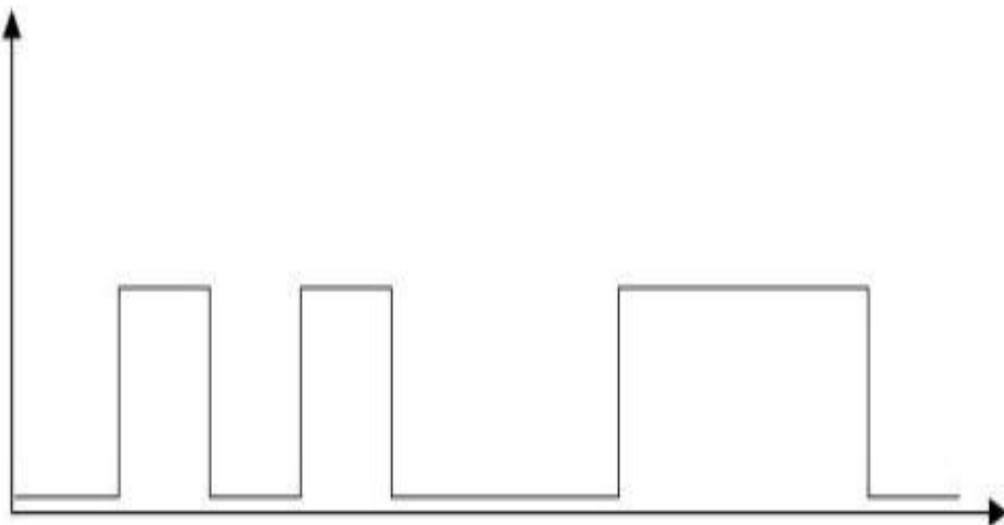


Figura 2.14 Tren de Pulsos

2.2.3.1.2 Señal Analógica

Las señales analógicas por lo general son señales continuas en el tiempo.

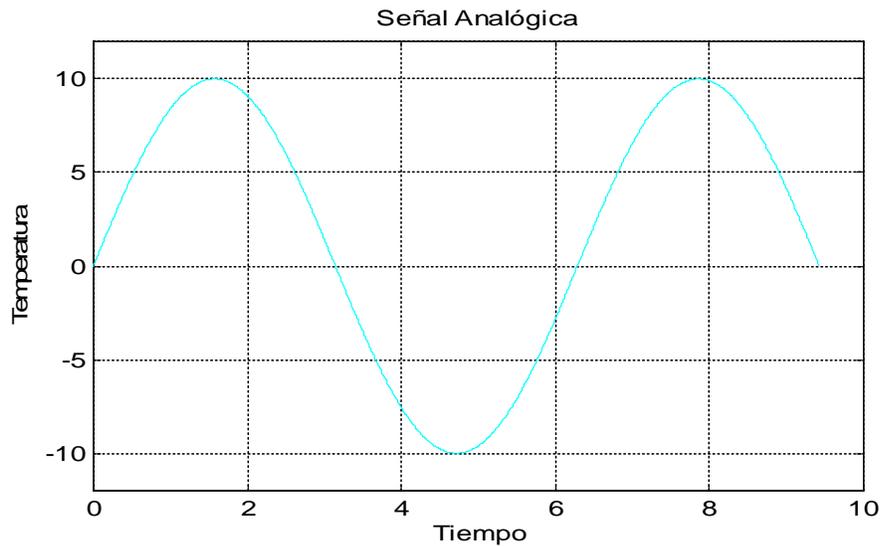


Figura 2.15 Señal Analógica

Las señales analógicas se dividen en señales DC, en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.

Señal DC.- Una señal analógica DC presenta valores continuos durante el periodo de muestreo, o su variación es muy pequeña. La característica más importante de esta señal es su nivel o amplitud. Debido a que la señal DC varía lentamente, la precisión en su medida esta relacionada con la frecuencia con la que se realiza la medida.

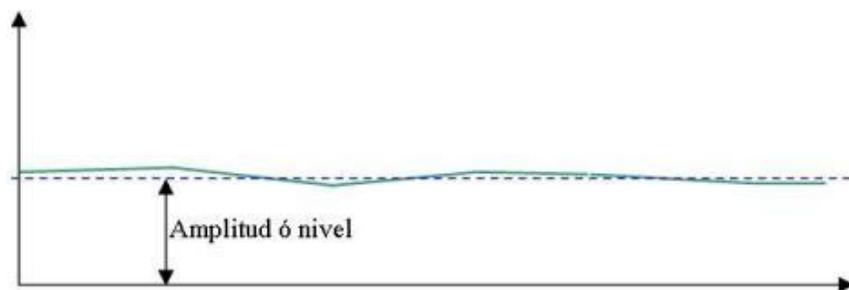


Figura 2.16 Señal Analógica DC

Señal en el dominio del tiempo.- La señal analógica en el dominio del tiempo, lleva la información no tanto en la amplitud, pues la misma es continuamente variante, sino más bien la forma como la señal evoluciona en el tiempo. Cuando se monitorea esta señal lo que verdaderamente importa es la forma de onda, pendientes, lugares y forma de los valores máximos (picos), entre otros.

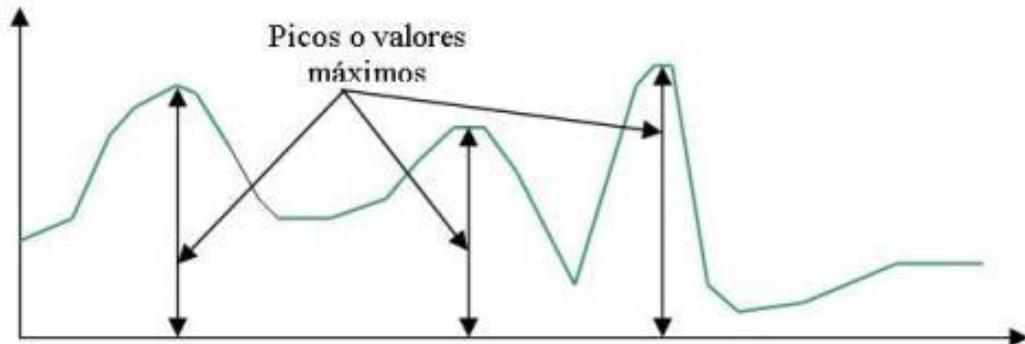


Figura 2.17 Señal analógica en el dominio en el tiempo

Señal en el dominio de la frecuencia.- La señal analógica en el dominio de la frecuencia son similares a las señales en el dominio del tiempo, sin embargo la información que se extraen de las mismas se basan en el contenido de frecuencia de la señal. Existen múltiples herramientas para descomponer una señal en sus ondas de frecuencia, tales como la FFT.

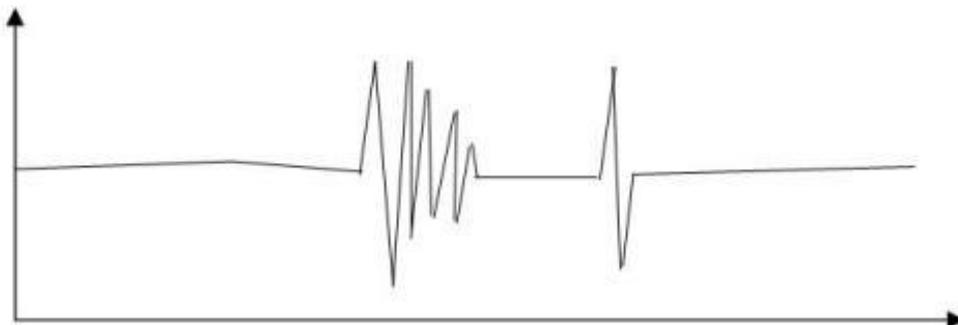


Figura 2.18. Señal analógica en el dominio de la frecuencia

2.2.3.2 Transductores

Los transductores son dispositivos sensores que transforman la energía de una variable inmersa en un proceso en señal eléctrica tal como corriente ó voltaje. Los transductores más usados de acuerdo al fenómeno medido son:

Tabla 2.2 Tipos de Transductores

Fenómeno	Transductor
Temperatura	Termocuplas RTD Termistores Sensores de circuito integrado
Luz	Fotosensores de Tubo de vacío Celdas fotoeléctricas
Sonido	Micrófonos
Fuerza y presión	Galgas extensiométricas Transductores piezoeléctricos
Posición (desplazamiento)	Potenciómetros LVDT (Linear Voltaje Differential Transformer) Codificadores Ópticos
Flujo de fluido	Flujómetros rotacionales Flujómetros ultrasónicos
pH	Electrodos para pH
Vibración	Elementos Piezoeléctricos

2.2.3.3 Proceso de acondicionamiento de una señal

Para que la señal de un transductor ingrese a una tarjeta DAQ, debe ser acondicionada. El proceso involucra:

- Amplificación
- Excitación de transductores
- Linealización de la señal
- Aislamiento
- Filtrado

2.2.3.3.1 Amplificación

La amplificación consiste en incrementar (principalmente) los valores de las señales, y este proceso presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Maximización del uso de rango de digitalización para incrementar la precisión de la señal digitalizada
- ✓ Incremento de la razón señal – ruido (SNR)

2.2.3.3.2 Linealización

Muchos transductores como galgas extensiométricas, termistores, RTD's y otros general una señal cuyo comportamiento no es lineal en relación al fenómeno que representa. Las señales lineales permiten facilidad en el procesamiento de la señal razón por la cual muchos acondicionadores de señal disponen de rutinas de linealización.

2.2.3.3.3 Aislamiento

Otro de los procesos incorporados por los acondicionadores de señal consiste en aislar la señal de la computadora, pues en algunos casos la señal al ir directamente a la tarjeta DAQ instalada en la PC, podría dañar el equipo. Hay dos métodos que son los más usados para este fin: aislamiento óptico y en modo común.

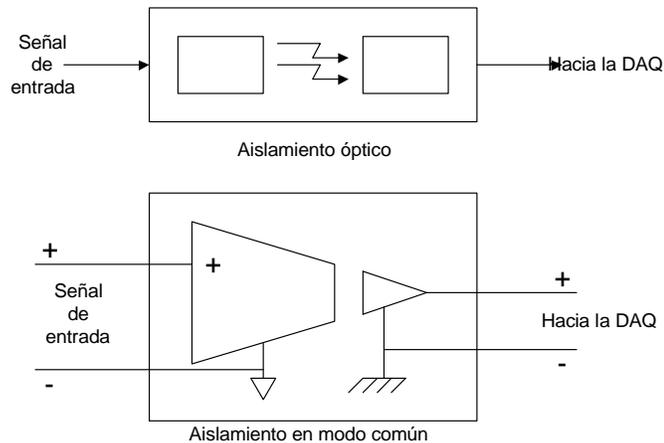


Figura 2.19 Aislamientos

2.2.3.3.4 Excitación de transductores

Transductores tales como las termocuplas responden a la acción de la temperatura con un voltaje entre sus terminales, pero otros transductores como las galgas extensiométricas, no generan su propia señal eléctrica por lo cual se requiere de una fuente eléctrica externa, esta fuente la proporciona el acondicionador de la señal.

2.2.3.3.5 Filtración

La filtración permite eliminar de la señales captadas, otras no deseadas que pueden interferir en los procesos, comúnmente llamadas ruido. Los transductores más comunes requieren las siguientes necesidades de acondicionamiento:

Tabla 2.3 Filtración de señal

Transductor	Características eléctricas	Necesidades de acondicionamiento
Termocupla	Señal de bajo voltaje Baja sensibilidad Salida no lineal	Compensación en la unión Aumento de amplificación Aumento de resolución Linealización
RTD	Cambio de resistencia Baja resistencia (100W típico) Baja sensibilidad Salida no lineal	Corriente de excitación Configuración en 3 ó 4 alambres Linealización
Termistor	Cambio de resistencia Alta resistencia y sensibilidad Salida no lineal drástica	Corriente o voltaje de excitación Resistencia de referencia Linealización.
Sensor de temperatura IC	Alto voltaje o corriente Salida lineal	Fuente de poder Amplificación moderada
Galgas Extens.	Cambio de resistencia Baja resistencia Muy baja sensibilidad Salida no lineal	Excitación Configuración de puente Conexión de 3 cables Linealización.

2.2.3.4 Consideraciones sobre señales análogas

Las consideraciones con respecto a las entradas analógicas proveen información sobre las capacidades y la precisión de la medición

2.2.3.4.1 Tasa de muestreo

El tiempo ó tasa de muestreo, representa una de las formas como se toman los datos de una señal para proceder a su conversión en digital.

Durante la conversión A/D la muestra analógica (continua en el tiempo) es “retaceada” mediante un proceso de muestreo. Durante un intervalo de tiempo se toman solo ciertos valores de la señal. La frecuencia a la que se muestrea se mide en muestras/segundo (S/s)

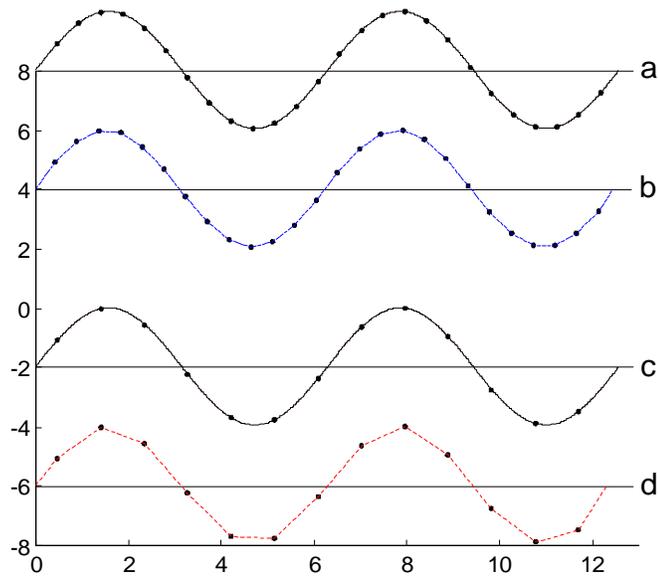


Figura 2.20 Tasas de muestreo

En la figura anterior podemos observar el proceso de muestreo de una señal, los puntos en negro son los valores que la tarjeta DAQ toma. Estos puntos tienen una frecuencia específica la misma que es constante. La señal (a) indica los puntos tomados a una frecuencia f_1 , mientras que la figura (b) es

la reproducción de esta señal a partir de los puntos tomados, si la frecuencia de muestreo aumenta, o sea el tiempo entre punto y punto es más pequeño la reproducción de la señal es mucho mejor, pero si se toman menos puntos como se observa en la figura (c), la reproducción de la señal va a ser muy pobre como se muestra en (d), incluso cuando la frecuencia de la señal es muy alta y la de muestreo muy baja la frecuencia de la señal capturada se distorsionara completamente. De acuerdo al teorema de Nyquist, se debe muestrear una señal por lo menos a una frecuencia de dos veces la frecuencia más alta de las componentes de la señal.

2.2.3.4.2 Resolución

Cada uno de los puntos que la tarjeta lee, para poder ingresar al PC, debe convertirse en un número binario, o señal digital (natural a los controladores digitales). Este es el proceso de transformación analógica a digital o AD y el número de bits que utiliza el ADC en esta representación constituye la resolución. La resolución más alta, es el máximo número de divisiones en los cuales el rango de voltaje es dividido y por lo tanto constituye el mínimo cambio de voltaje detectado. La resolución representa el número de bits con los que se representa binariamente cada uno de los puntos de muestra de la señal. Si un A/D trabaja a dos bits, las muestras de la señal solo podrán ser representadas por las combinaciones 00, 01, 10 y 11, a tres bits tenemos 8 posibles combinaciones y para n bits tenemos 2^n combinaciones. Mientras la resolución sea más alta más cercano será el valor digital a su equivalente real (analógico).

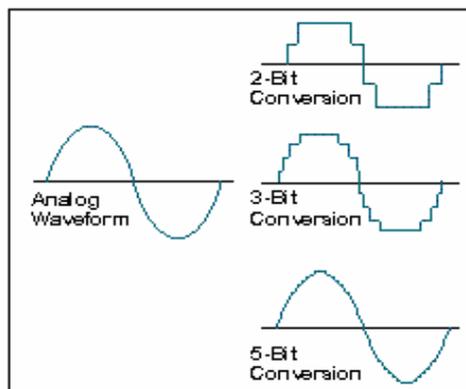


Figura 2.21 Calidad de resolución a diferentes bits

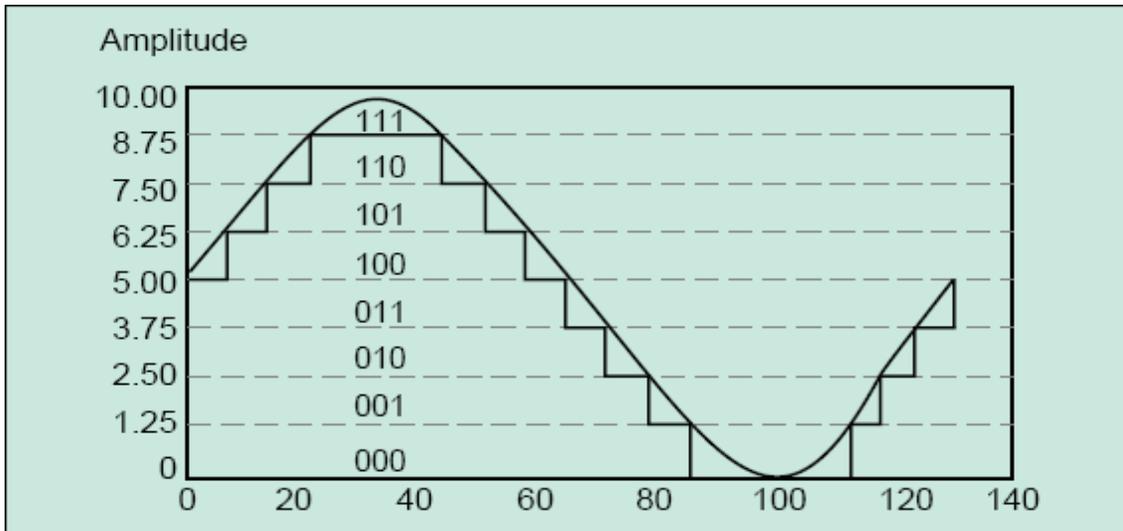


Figura 2.22 Resolución de una señal a 3 bits

2.2.3.4.3 Rango

Son los límites mínimo y máximo entre los que puede encontrarse la señal a digitalizarse. Los rangos en ciertos elementos son seleccionables por hardware y/o software.

Las tarjetas de DAQ por lo general poseen rangos variables que pueden ser configurados para manejar una variedad de voltajes cuyo principal propósito es mejorar la representación digital de una señal.

2.2.3.4.4 Ganancia

La ganancia está relacionada con cualquier atenuación o amplificación de la señal antes que sea digitalizada. Al aplicar la ganancia se puede efectivamente decrementar el rango de entrada de una señal a un ADC ó ajustar a este rango a fin de aprovechar el mayor número de divisiones que al digitalizar la señal.

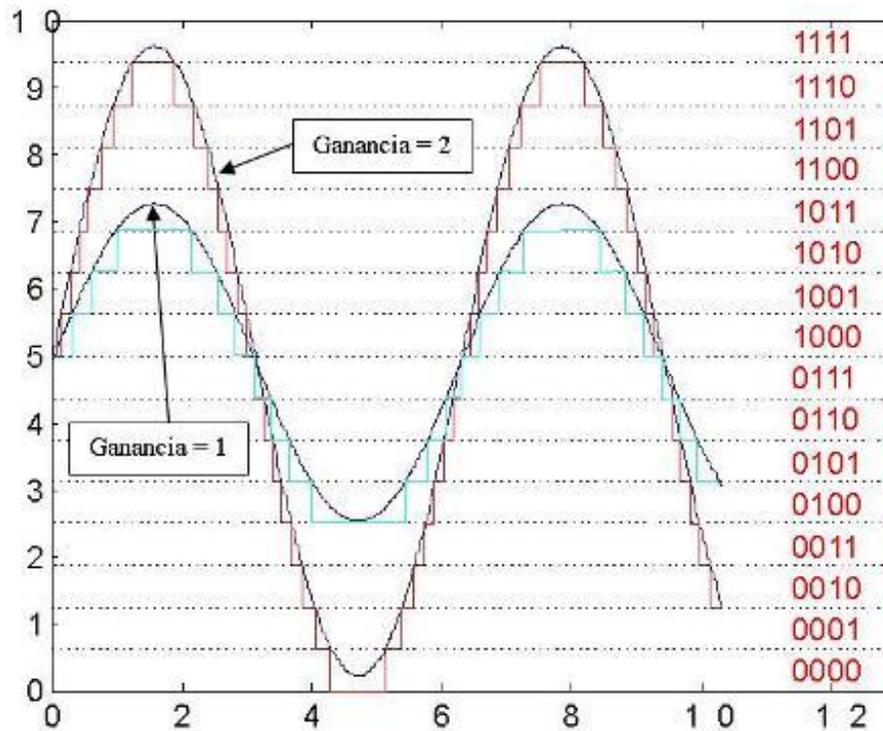


Figura 2.23 Efecto de la ganancia en la conversión

2.3 Automatización de sistemas de almacenamiento

La función de un sistema de almacenamiento es almacenar materiales por un período de tiempo y permitir el acceso a dichos materiales cuando éstos sean necesarios.

2.3.1 Sistemas automatizados de almacenamiento

Los sistemas automatizados de almacenamiento reducen o eliminan (según el grado de automatización) la cantidad de intervención humana requerida para manejar el sistema.

Generalmente, los sistemas automatizados de almacenamiento se dividen en dos tipos: sistemas automatizados de almacenamiento/recuperación (AS/RS) y sistemas de carrusel.

2.3.1.1 Sistemas automatizados de almacenamiento/recuperación (AS/RS)

Un AS/RS consiste, generalmente, en un sistema controlado por ordenador que realiza operaciones de almacenamiento y recuperación con velocidad y exactitud bajo un determinado grado de automatización.

En el AS/RS de cámaras, existen uno o varios pasillos de almacenaje que son recorridos por una máquina de S/R (Storage/Retrieval). Cada pasillo tiene estantes para almacenar artículos y las máquinas S/R se emplean para colocar o recuperar los artículos en o de dichos estantes. Cada pasillo del AS/RS tiene una o varias estaciones P&D (pickup-and-deposit) donde los materiales se entregan al sistema de almacenaje o se extraen del sistema. Estas estaciones se pueden manejar a mano o interconectar a alguna forma de sistema de manejo automatizado como un transportador o un AGVS.

2.3.1.1.1 Sistema de control

Se requiere un sistema de control que maneje el AS/RS. El principal problema de control del AS/RS es posicionar la máquina de S/R en un compartimento de almacenaje de la estructura de estante para depositar o recuperar una carga. Las posiciones de los materiales almacenados en el sistema se deben determinar para dirigir la máquina de S/R a un compartimento de almacenaje particular. Cada compartimento se identifica por sus posiciones horizontal y vertical, o si está en el lado derecho o el lado izquierdo del pasillo. Para la localización del compartimento se puede usar una combinación basada en códigos alfanuméricos, un procedimiento de conteo de posiciones o un método de identificación numérica en el cual cada compartimento es proveído de una marca reflectante con identificaciones de posición cifradas en binario. Con este último método se emplean escáneres ópticos para leer la marca y colocar la máquina AS/RS para depositar o recuperar una carga.

Los mandos del ordenador y los controladores lógicos programables se utilizan para determinar la posición requerida y dirigir la máquina de S/R a su destino. El control por ordenador permite la integración del AS/RS con la información de soporte y el sistema de mantenimiento de registros. Las transacciones de almacenaje se pueden introducir en tiempo real, los registros de inventario se pueden mantener de manera precisa, el funcionamiento de sistema se puede monitorizar y se pueden facilitar las comunicaciones con otros sistemas de ordenador de la fábrica. Estos controles automáticos pueden ser reemplazados o complementados por controles manuales cuando se requiera, en condiciones de emergencia o para la operación de hombre a bordo de la máquina.

2.3.1.2 Sistemas de carrusel

Los sistemas de carrusel consisten en una pista transportadora ovalada de cadena de la cual se suspenden una serie de arcas o cestas.

2.3.1.2.1 Tipos y diseño de sistemas carrusel

Los sistemas de carrusel pueden ser horizontales (configuración más común) o verticales. Los sistemas de carrusel horizontales pueden encontrarse suspendidos del techo (top-driven unit) o montados sobre la superficie del suelo (bottom-driven unit). Éstos últimos proporcionan una mayor capacidad y solventa algún problema, como el goteo de aceite, de los primeros. Los sistemas de carrusel verticales, que consisten en transportadores verticales, ocupan menos espacio horizontal pero requieren una mayor longitud vertical por lo que el techo limita su tamaño. Por tanto, la capacidad de los sistemas de carrusel verticales es menor que la de los sistemas horizontales.

2.3.1.2.2 Tecnología de carrusel

La mayor parte de los sistemas de carrusel son manejados por un trabajador ubicado en la estación de carga/descarga. El trabajador activa el carrusel para que haga llegar el arca deseada a la estación, se recogen o

añaden uno o varios artículos del o al arca, y luego, el ciclo se repite. La activación del carrusel se lleva a cabo con mandos de control manuales como son los pedales, interruptores o teclados.

También existen sistemas de carrusel con control por ordenador. Este control por ordenador, que aumenta el grado de automatización del sistema, permite operaciones de carga y descarga automáticas (sin necesidad de trabajadores) y un buen control sobre las posiciones de las arcas, los artículos almacenados en ella y otros registros de control de existencias.

2.3.2 Ventajas y desventajas de los sistemas automatizados de almacenamiento

Ventajas:

- ✓ Menor número de trabajadores.
- ✓ Mejora del control del material
- ✓ Incremento de la capacidad de almacenamiento.
- ✓ Incremento de la densidad de almacenamiento.
- ✓ Mejora de la seguridad en la función de almacenamiento.
- ✓ Mejora de la rotación del stock.
- ✓ Mejora del servicio al consumidor.
- ✓ Incremento del rendimiento.

Desventajas:

- Alto coste.
- Gastos de mantenimiento.
- Dificultad de modificar el sistema.

2.4 Sensores y actuadores

Los sensores y actuadores son los dispositivos del sistema de medida y control que interactúan con el sistema físico que se pretende estudiar o

controlar, los primeros permiten la toma de medidas de las distintas magnitudes físicas que se van a analizar; mientras que los actuadores posibilitan la modificación de dicho sistema. Aunque es habitual emplear indistintamente los términos ‘sensor’ y ‘transductor’ hay que tener en cuenta que no son lo mismo. Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir.

Se denomina sensor primario al dispositivo que transforma la magnitud física a medir en otra magnitud transducible. Un transductor es el dispositivo que transforma una magnitud física (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica.

El concepto de transductor es más amplio, ya que un transductor puede incluir, por ejemplo, un sensor y un acondicionador de señal o un conversor analógico-digital. Para obtener una determinada medida en un sistema físico puede utilizarse un sensor, un transductor o una combinación de un sensor primario con un transductor. Por ejemplo, una posible solución para medir la altura del agua de un depósito sería utilizar un flotador como sensor primario (convertiría el nivel de agua del depósito en un desplazamiento) y un potenciómetro como transductor (convertiría el desplazamiento en una variación de resistencia).

Tabla 2.4 Ejemplos de transductores

Magnitud Física	Transductor	Características
Posición (Lineal o Angular)	Potenciómetro	Analógico
	Encoder	Digital
	Síncro y Resolver	Analógico
Pequeños desplazamientos	Transformador diferencial	Analógico
	Galga Extensiométrica	Analógico
Velocidad (Lineal o Angular)	Dinamo tacométrica	Analógico
	Encoder	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digital
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Sensor de velocidad + calculador	Digital
Fuerza y Par	Galga Extensiométrica	Analógico
Temperatura	Termopar	Analógico
	Resistencias PT100	Analógico
	Termistores CTN	Analógico
	Termistores CTP	Todo-Nada
	Bimetales	Todo-Nada
Sensores de Presencia o Proximidad	Inductivos	Analógico o Todo-Nada
	Capacitivos	Todo-Nada
	Ópticos	Analógico o Todo-Nada

2.4.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Recordando que la señal que nos entrega el sensor no solo sirve para medir la variable, si no también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso

En general, convierten una señal física no eléctrica en otra eléctrica que, en algunos de sus parámetros (nivel de tensión, nivel de corriente, frecuencia) contiene la información correspondiente a la primera. Por otra parte, es necesario utilizar circuitos de acondicionamiento con el objeto de que éste genere una señal eléctrica normalizada (ya sea por el fabricante o siguiendo pautas de organismos de normalización como IEC, IEEE).

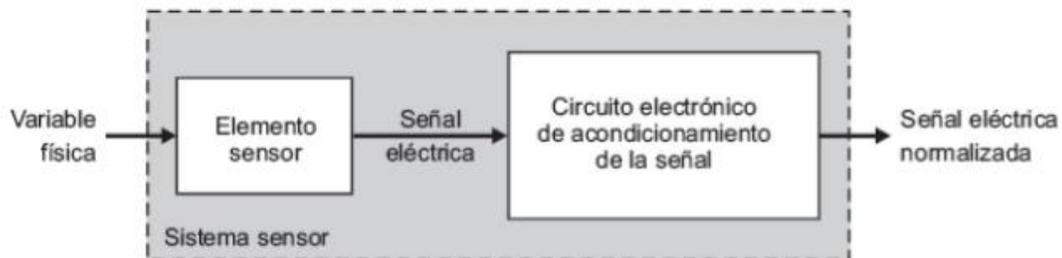


Figura 2.24 Sistema Sensor

Tabla 2.5 Variables medibles, principios de funcionamiento de un sensor

		Variable física medida										
		Posición	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración	Tamaño	Nivel	Presión	Fuerza	Proximidad	Temperatura	Radiación luminosa
Principio de funcionamiento	Microrruptores	X				X						
	Finales carrera	X										
	Extensiómetros	X	X	X	X			X	X			
	Termorresistivos										X	
	Magnetorresistivos	X	X	X								
	Capacitivos	X	X		X		X	X	X	X		
	Inductivos	X	X	X	X			X	X	X		
	Optoelectrónicos	X	X	X						X		
	Piezoeléctricos		X	X	X			X	X			
	Fotovoltaicos											X
	Ultrasónicos	X					X					

2.4.1.1 Clasificación de los Sensores

Existe una gran gama de clasificación de sensores, los cuales son listados a continuación:

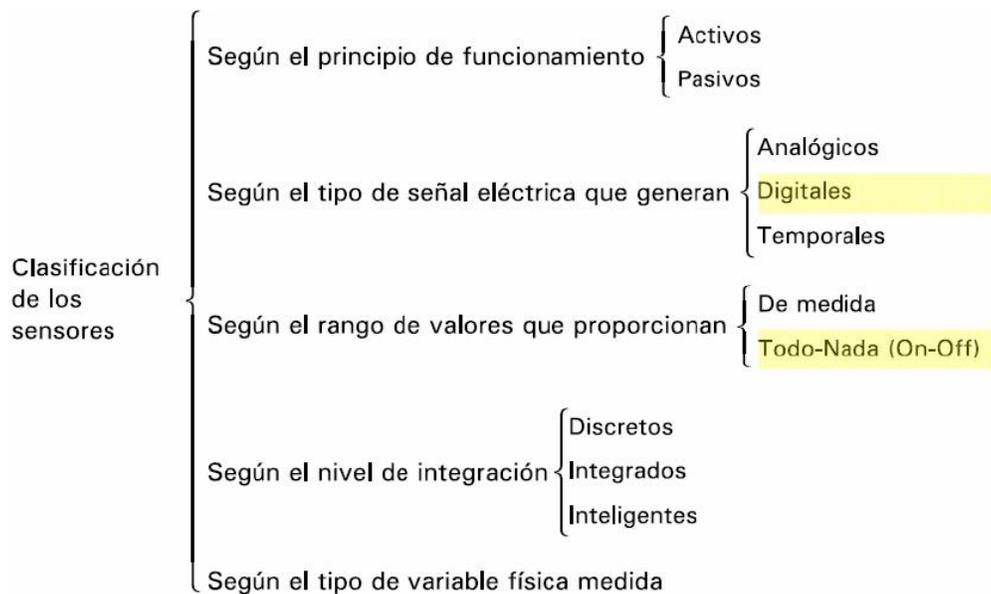


Figura. 2.25 Cuadro de clasificación de sensores

2.4.1.2 Tipos de Sensores

En la actualidad hay una muy amplia variedad de sensores de todo tipo y función, en el presente proyecto citaremos los mas importantes

2.4.1.2.1 Final de Carrera

Es un conmutador de 2 posiciones con retorno a la posición de reposo y viene con un botón o con una palanca de accionamiento, la cual también puede contar con una rueda.

Principio de Funcionamiento: Una acción mecánica sobre su cabezal se convierte en el accionamiento de una cámara de contactos

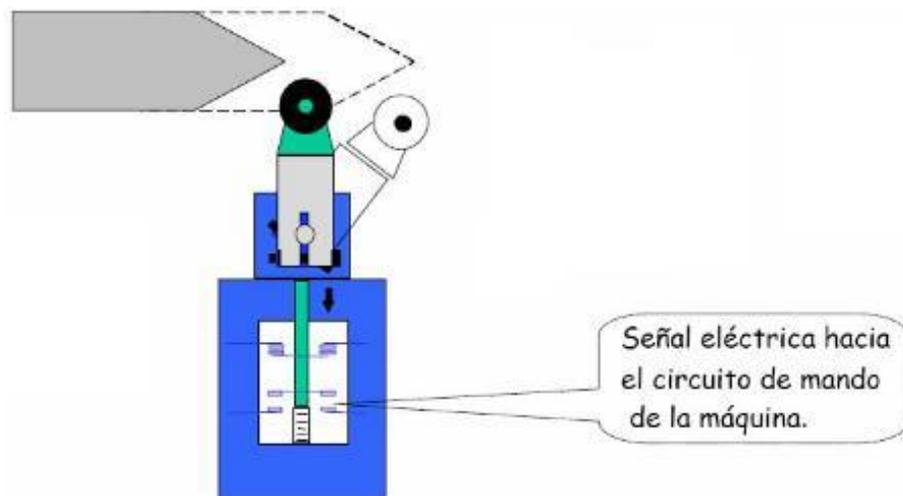


Figura 2.26 Funcionamiento de un sensor final de carrera

2.4.1.2.2 Inductivos

Los detectores inductivos permiten detectar sin contacto objetos metálicos a una distancia de 0 a 60mm

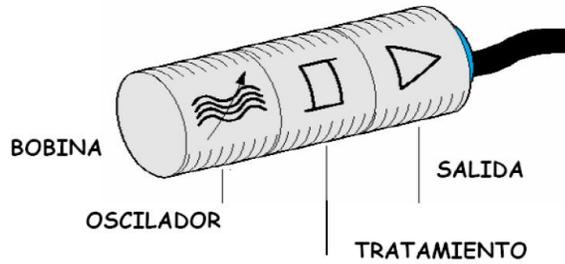


Figura 2.27 Sensor Inductivo

Principio de Funcionamiento: Cuando se coloca una placa metálica en el campo magnético del detector, las corrientes inducidas constituyen una carga adicional que provoca la parada de las oscilaciones

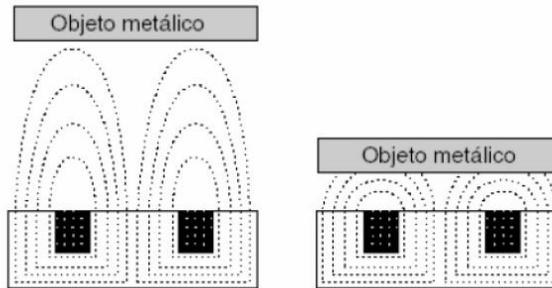


Figura 2.28 Funcionamiento de un sensor inductivo

2.4.1.2.3 Capacitivos

Un detector de proximidad capacitivo se basa en un oscilador cuyo condensador esta formado por dos electrodos situados en la parte delantera del aparato. En el aire ($\epsilon_r=1$), la capacidad del condensador es C_0 , (ϵ_r) es la constante dieléctrica depende de la naturaleza del material. Cualquier material cuya $\epsilon_r > 2$ será detectado.

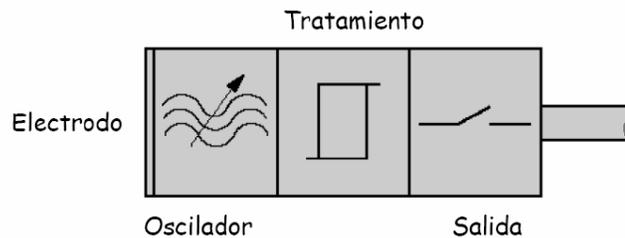


Figura 2.29 Esquema de un sensor capacitivo

Principio de funcionamiento: El detector crea un campo eléctrico, y la entrada de un objeto altera el campo, provocando la detección.

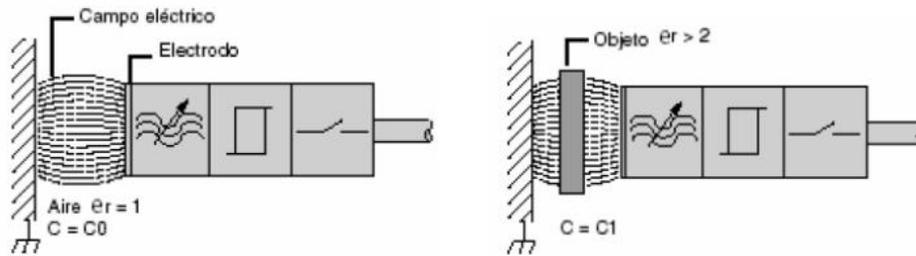


Figura 2.30 Principio de funcionamiento de un sensor capacitivo

2.4.1.2.4. Ultrasónicos

Un sensor ultrasónico básicamente se compone de:

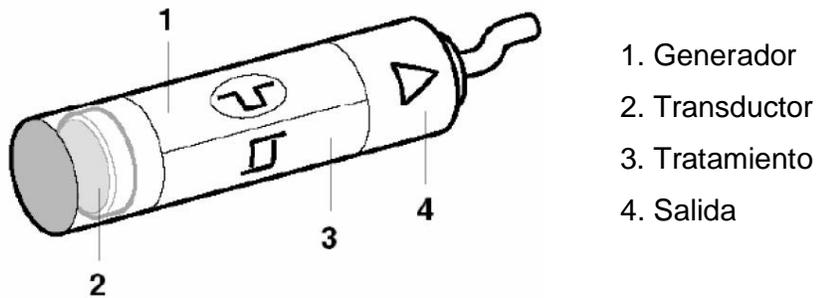


Figura. 2.31 Sensor ultrasónico

Principio de funcionamiento: El principio de la detección del ultrasonido se basa en la medida del tiempo transcurrido entre la emisión de una onda ultrasónica y la recepción de su eco. El transductor genera una onda ultrasónica pulsada (de 200 a 500 kHz según el producto) que se desplaza en el aire ambiente a la velocidad del sonido. En el momento en que la onda encuentra un objeto, una onda reflejada (eco) vuelve hacia el transductor, un microcontrolador analiza la señal recibida y mide el intervalo de tiempo entre la señal emitida y el eco.

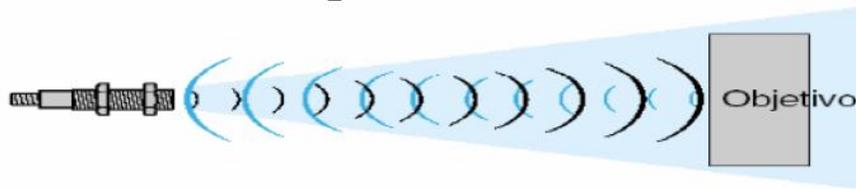


Figura 2.32. Principio de funcionamiento de un sensor ultrasónico

2.4.1.2.5. Analógicos

La salida del transductor es un nivel de tensión o intensidad que varía de forma continua con la variable a medir dentro del rango de medida del transductor. Es frecuente que estos transductores incluyan una etapa para adaptar su salida a los valores normalizados (0-10 V ó 4-20 mA).

2.4.1.2.6. Digitales

La señal de salida de este tipo de transductores es una codificación del valor medido, bien sea en forma de pulsos o como un valor representado según código binario, BCD, Gray, o cualquier otro sistema.

2.4.1.2.7. Todo o nada

En este tipo de transductores, la salida sólo puede presentar dos estados: activa o no activa. No son estrictamente un tipo distinto de transductor, ya que son un caso particular de los transductores de salida digital con sólo dos estados posibles; pero son de gran importancia en la industria. Un ejemplo de transductor todo-nada muy utilizado son los detectores de presencia en sus distintos tipos (inductivos, capacitivos, ópticos,...)

2.4.2 Actuadores

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una

salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son por ejemplo las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

2.4.2.1 Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión. Existen dos grandes grupos:

Cilindro hidráulico

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de Efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza

hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones.

Motor hidráulico

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión.

Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupos: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia

2.4.2.2 Actuadores neumáticos

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que ha una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad. Existen dos tipos de actuadores neumáticos

Cilindros neumáticos: En los primeros se consigue el desplazamiento de un émbolo encerrado en un cilindro como consecuencia de la diferencia de presión a ambos lados de aquel. Los cilindros neumáticos pueden ser de simple o de doble efecto. En los primeros, el émbolo se desplaza en un sentido como resultado del empuje ejercido por el aire a presión, mientras que en el otro sentido se desplaza como consecuencia del efecto de un muelle (que recupera al émbolo a su posición en reposo).

En los cilindros de doble efecto el aire a presión es el encargado de empujar al émbolo en las dos direcciones, al poder ser introducido de forma arbitraria en cualquiera de las dos cámaras.

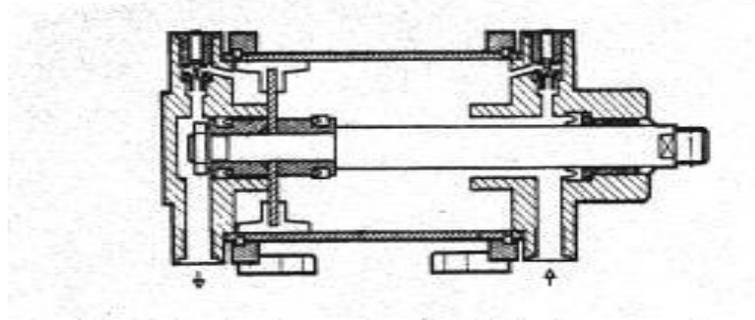


Figura 2.33 Cilindro neumático

Normalmente, con los cilindros neumáticos sólo se persigue un posicionamiento en los extremos del mismo y no un posicionamiento continuo. Esto último se puede conseguir con una válvula de distribución (generalmente de accionamiento directo) que canaliza el aire a presión hacia una de las dos caras del émbolo alternativamente. Existen, no obstante, sistemas de posicionamiento continuo de accionamiento neumático, aunque debido a su coste y calidad todavía no resultan competitivos.

Motores neumáticos: En los motores neumáticos se consigue el movimiento de rotación de un eje mediante aire a presión. Los dos tipos más utilizados son los motores de aletas rotativas y los motores de pistones axiales.

Los motores de pistones axiales tienen un eje de giro solidario a un tambor que se ve obligado a girar ante las fuerzas que ejercen varios cilindros, que se apoyan sobre un plano inclinado. Otro método común más sencillo de obtener movimientos de rotación a partir de actuadores neumáticos, se basa en el empleo de cilindros cuyo émbolo se encuentra acoplado a un sistema de piñón-cremallera.

En general y debido a la compresibilidad del aire, los actuadores neumáticos no consiguen una buena precisión de posicionamiento. Sin embargo, su sencillez y robustez hacen adecuado su uso en aquellos casos en los que sea suficiente un posicionamiento en dos situaciones diferentes (todo o nada). Por ejemplo, son utilizados en manipuladores sencillos, en apertura y cierre de pinzas o en determinadas articulaciones de algún robot (como el movimiento vertical del tercer grado de libertad de algunos robots tipo SCARA).

Siempre debe tenerse en cuenta que el empleo de un robot con algún tipo de accionamiento neumático deberá disponer de una instalación de aire comprimido, incluyendo: compresor, sistema de distribución (tuberías, electro válvulas), filtros, secadores, etc. No obstante, estas instalaciones neumáticas son frecuentes y existen en muchas de las fábricas donde se da cierto grado de automatización.

2.4.2.3 Actuadores eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC). Servomotores
- Motores paso a paso
- Motores de corriente alterna (AC)

2.4.3 Comparación entre los diferentes tipos de actuadores

A manera de resumen se presenta la siguiente tabla:

Tabla 2.6 Comparación entre actuadores

Características de los distintos tipos de actuadores			
	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
Energía	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso Servomotor
Ventajas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia-peso Autolubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiables Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor, filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuentes fugas Caros	Potencia limitada

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION

3.1 Diseño del proceso de Instrumentación

Basándose en las variables determinadas en el proyecto que son: nivel, y temperatura, se debe seleccionar instrumentos de medición, que nos permitan determinar las magnitudes que se encuentran dentro de nuestro proceso.

La figura 3.1 muestra un esquema del sistema a controlar con la instrumentación requerida

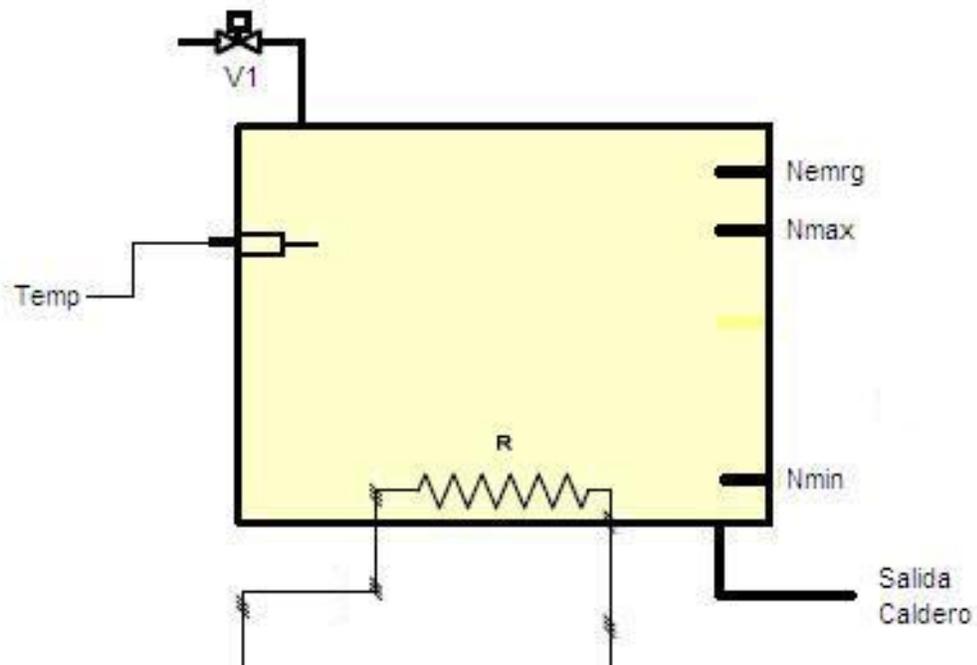


Figura 3.1 Esquema del tanque automático

A continuación se hace una descripción de la instrumentación usada para determinar las variables del proceso.

3.1.1 Sensores

3.1.1.1 RTD (Resistance Temperatura Detector)

Este tipo de sensores son muy lineales, presentan una característica estática de temperatura vs. resistencia estable, reproducible y con un coeficiente positivo de temperatura muy linear entre los -200 y 800°C. Los elementos típicos utilizados en la fabricación de los RTDs son: Níquel (Ni), Cobre (Cu) y Platino (Pt). Los RTDs más populares son los sensores de platino de 100 y 1000Ω, conocidos muchas veces como PRT (Platinum Resistance Thermometers).

3.1.1.1.1 Fundamentos de operación

La corriente eléctrica en cualquier material es el producto de un flujo de partículas cargadas por unidad de tiempo. En los metales estas partículas son los electrones. Los metales son excelentes conductores de la electricidad por que su estructura molecular tiene abundantes electrones libres, ligeramente acoplados a los núcleos moleculares y que se encuentran listos para moverse.

Un voltaje aplicado, (V_a) a los extremos de un conductor fuerza a los electrones libres a moverse a una velocidad media, lo cual crea una corriente descrita por la siguiente expresión:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{eAn\mu V_a}{L} \quad (3.1)$$

Donde:

e = Carga del electrón

A = Área del alambre

L = Longitud del alambre

n = Densidad de los electrones

μ = Movilidad (relación de la interacción entre unos con otros y con la estructura molecular del alambre)

Arreglando la expresión anterior tenemos:

$$R = \frac{Va}{i} = \frac{\rho L}{A} \quad \text{donde:} \quad \rho = \frac{1}{en\mu} \quad (\rho = \text{Resistividad})$$

En la expresión de la resistividad, “e” representa una constante, entonces su valor depende del producto “nμ”. Para muchos metales y sobre un amplio rango de temperatura dicho producto decrece con el incremento de la temperatura, es decir la resistividad aumenta. Este aumento determina el término conocido como coeficiente positivo de temperatura. Si el voltaje permite el flujo casi uniforme de los electrones, la inyección de energía termina, permite que algunos electrones que fluían ordenadamente se dirijan hacia otros puntos, lo cual afectara a su movilidad como al número de ellos que aportan a la corriente. Esta compleja respuesta interactiva de los electrones bajo la influencia de la temperatura y el voltaje que estimula su circulación crea una resistividad que raramente es lineal, sin embargo, el cobre, el platino y el níquel presentan una variación casi lineal para ciertos rangos de temperatura, lo que es aprovechado para la fabricación de detectores resistivos de temperatura. El platino suele ser el que mas linealmente se comporta.

3.1.1.1.2 Construcción

Los RTDs se construyen de dos formas, con alambre o delgadas cintas de metal (film), como se puede observar en las siguientes figuras

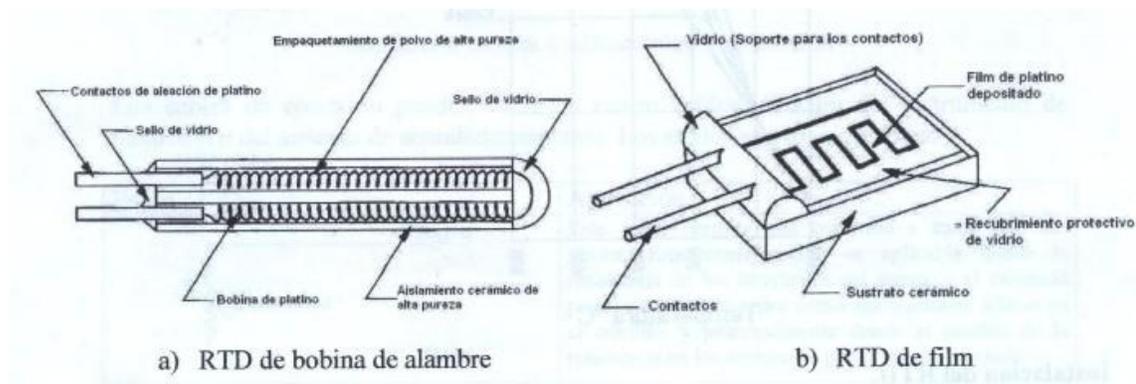


Figura 3.2 Tipos de construcción de un RTD

En la figura 3.2 (a), una bobina de alambre es colocada en el interior de un contenedor cerámico que soporta y protege el alambre sensor o sobre un soporte cerámico se pega delgado hilo metálico mediante barniz o por vidriado.

En la figura 3.2 (b), se deposita una fina capa metálica que forma un film sobre un sustrato de cerámica o de vidrio, entonces se recorta a su valor por medio de láser. Los RTDs de alambre metálico, por ser tratados especialmente lo cual asegura su pureza y buenas características son mas precisos que los de film, pero estos por su forma constructiva son mas baratos, robustos y pueden ser miniaturizados, pero por su construcción los RTDs de film, pueden responder a deformaciones y funcionar como galgas, razón por la cual deben ser utilizados con cuidado.

El RTD esta compuesto por el sensor, el tubo de inserción, los contactos y alambres, el tubo de protección, la cabeza y elementos adicionales de ensamble. El sensor, tubo de inserción y los alambres de conexión suelen generalmente formar parte de un solo cuerpo conocido como sonda.

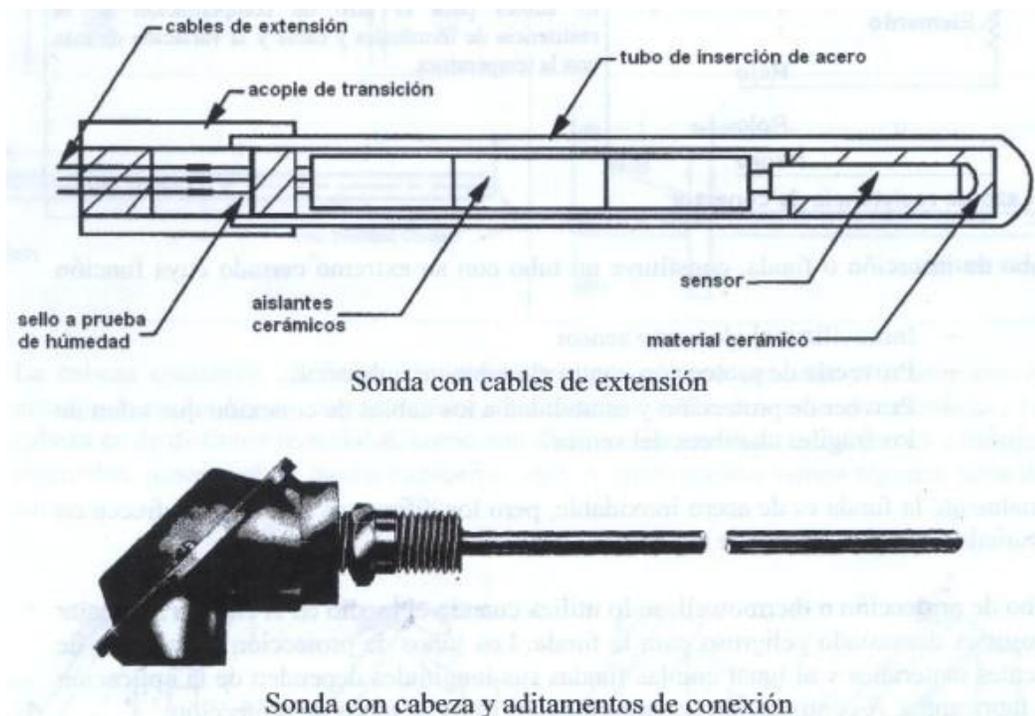


Figura 3.3 Composición de un RTD

Neplos roscados y uniones se encuentran para facilitar la conexión del sensor con el proceso.

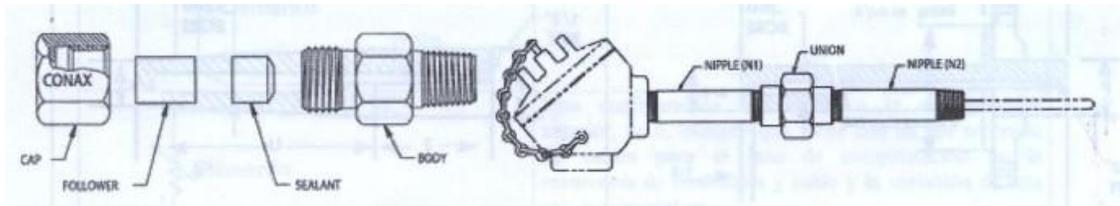


Figura 3.4 Aditamentos de conexión de un RTD

3.1.1.1.3 Materiales

Teóricamente, cualquier metal puede ser usado para realizar RTDs, pero en la práctica solo algunos son posibles. La siguiente tabla determina los materiales que presentan mejores características para RTD y su variación de resistencia con la temperatura.

Material	Símbolo	Rango	Observaciones
Cobre	Cu	-200 a 260	Bajo costo
Molibdeno	Mo	-200 a 200	Alternativa de bajo costo al platino en pequeño rango
Níquel	Ni	-80 a 260	Bajo costo, limitado rango de temperatura
Níquel-Hierro	Ni-Fe	-200 a 200	Bajo costo
Platino	Pt	-240 a 660	Buena precisión

Tabla 3.1. Características de los materiales de construcción de los RTDs

3.1.1.2 Termistores

El termistor es otro de los sensores resistivos de temperatura y podría ser mejor clasificado como un semiconductor cerámico. A diferencia del RTD, el material sensible es un semiconductor. El RTD presenta un coeficiente de variación de la resistencia relativamente pequeño, a diferencia del termistor que dependiendo del material usado para su fabricación presenta una variación de

la resistencia con la temperatura bastante grande positiva o negativa. El termistor es un sensor muy sensible, pero altamente no lineal. Su sensibilidad, confiabilidad y robustez junto a su facilidad de uso lo han hecho muy popular en aplicaciones de investigación, pero no es muy común en la industria, talvez debido a la poca intercambiabilidad entre fabricantes. El funcionamiento de los termistores es función de la teoría de operación del par electrón – hueco. Dependiendo del aumento o disminución de la resistencia por la temperatura existen dos tipos de termistores, los tipo PTC y los tipo NTC.

3.1.1.2.1 Termistores de coeficiente positivo (PTC)

El PTC es un termistor cuya resistencia aumenta rápidamente con la temperatura, después de que se ha excedido una temperatura determinada (temperatura de referencia). Su coeficiente positivo de temperatura muy alto, luego que ha pasado de la temperatura de referencia, ha dado a este termistor su nombre, PTC.

Fabricación

Mezclas de carbonato de bario, oxido de titanio, titanatos de estroncio, bario, plomo o silicio, que cumplen con las características térmicas y eléctricas deseadas son pulverizadas y comprimidas en discos, arandelas, barras, tabletas rectangulares o cilindros, dependiendo de la aplicación, sinterizándolas a temperaturas menores a 1400 °C, para posteriormente añadirles los contactos dependiendo de la presentación y aplicación para finalmente recubrirles o colocarles una carcasa.

3.1.1.2.2 Termistores de coeficiente negativo (NTC)

El NTC esta compuesto de óxidos metálicos, de los cuales, los óxidos más comúnmente usados son de manganeso, níquel, cobalto hierro, cobre y titanio. La fabricación de los termistores usa tecnología de manejo de cerámicas y básicamente el proceso consiste en mezclar dos o más óxidos metálicos y compactarlos en función de la geometría que se desea, luego se

seca y se sinteriza a alta temperatura. Variando los tipos de óxidos, sus proporciones y la atmósfera de sinterización se puede alcanzar un amplio rango de resistividades y coeficientes de temperatura. El NTC funciona en base al aumento de portadores, al romperse enlaces moleculares y atómicos, como resultado del aumento en la temperatura. Por el pequeño tamaño de muchos NTC la respuesta a los cambios de temperatura suele ser muy rápida, esto es particularmente útil para procesos cuya variación es vertiginosa.

Los NTC son particularmente útiles para medir temperatura en forma remota, pues considerando que los sensores presentan alta resistencia, se puede considerar despreciable la resistencia de los alambres que conectan el dispositivo con el medidor

3.1.1.3 Termocuplas

La termocupla es un tipo de sensor muy utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y níquel), al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 milivolts.

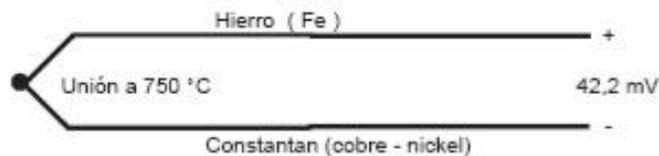


Figura 3.5 Reacción de voltaje en una termocupla “tipo J”

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable ú otro material (vaina), en un extremo

está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

3.1.1.3.1 Tipos de termocuplas

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla 3.4 aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero). Finalmente las tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100

Tabla 3.2 Tipos comunes de termocupla

Tc	Cable+ Aleación	Cable- Aleación	Rango (Min, Max) °C	Volts Max mV
J	Hierro	Cobre/Niquel	(-180, 750)	42,2
K	Niquel/cromo	Niquel/Aluminio	(-180, 1372)	54,8
T	Cobre	Cobre/Niquel	(-250, 400)	20,8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21,09
S	90% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18,68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13,814

3.1.1.4 Selección del sensor de temperatura

A continuación se describe una tabla explicativa de las características relevantes de cada alternativa de sensor de temperatura.

Tabla 3.3 Características de sensores de temperatura

Sensor		Características	
Termistor	El material sensible es un semiconductor		
	Altamente no lineal		
	Popular en aplicaciones de investigación pero no es común en la industria		
	Poca intercambiabilidad entre fabricantes		
RTD	Característica estática de temperatura vs. resistencia muy estable		
	Coeficiente positivo de temperatura muy lineal entre los -200 y 800°C		
	Son los sensores mas comúnmente usados en la industria		
	Excelente compatibilidad entre fabricantes		
	Alta disponibilidad de módulos para adquisición de datos		
Termocupla	Señal de bajo voltaje		
	Salida no lineal		
	Necesidad de compensación en la unión		
	Cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 1370 °C)		
Porcentaje de Factores de Decisión			
Económico	Características	Acondicionamiento de señal	Precisión
50%	20%	20%	10%

Al conocer las características, y evaluándolas con los factores de decisión, se justifica la selección de alternativa válida al **Sensor de Temperatura RTD**. Existen en el mercado una amplia gama sensores RTD, tanto por variedad de fabricantes, modelos, etc. Para el presente proyecto se ha seleccionado el siguiente RTD.

RTD de 3 HILOS 6" Irg 0.188" DIA. Pt-100Ω, Marca WATLOW, Modelo RBH JOTA 060 BB 050

El sensor descrito ha sido seleccionado por las siguientes características:

- ✓ Construcción en platino, resistencia de 100Ω
- ✓ Coeficiente de Temperatura 0.00385
- ✓ Vástago construido en acero inoxidable 316
- ✓ Rango de temperatura comprendido entre -200 a 850°C
- ✓ Pasta interna de transferencia de calor que permite un mejor tiempo de respuesta
- ✓ Disponibilidad en el mercado
- ✓ Asistencia técnica

3.1.1.5 Sensor de nivel

El propósito de un sensor de nivel en un tanque es el determinar la posición del fluido a medida que crece o decrece, y abrir o cerrar un circuito que permitirá el paso de la señal hacia el sistema de control.

Para completar el circuito, el switch flotador utiliza un interruptor magnético, que consta de dos contactos sellados en un tubo de vidrio, cuando el magneto se acerca a los dos contactos, ellos se atraen y se juntan, permitiendo que la corriente fluya. Cuando el magneto se aleja, los contactos se desmagnetizan y se separan.

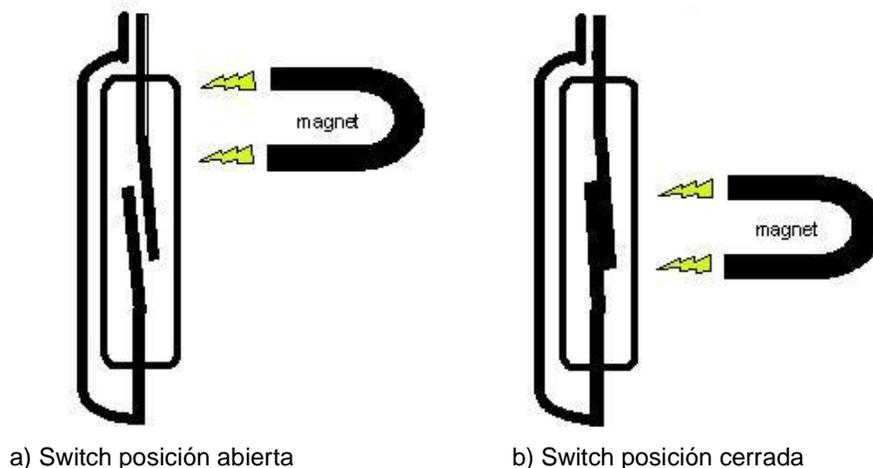


Figura 3.6 Funcionamiento de switch magnético

En un switch flotador, el magneto es herméticamente sellado en el vástago, la mayoría hecho de plástico o acero inoxidable, el flotador encaja en el magneto sellado, que mueve hacia arriba o hacia abajo la longitud del vástago a medida que el nivel de líquido crece o decrece, los contactos se conectan y completan el circuito entre los cables principales.

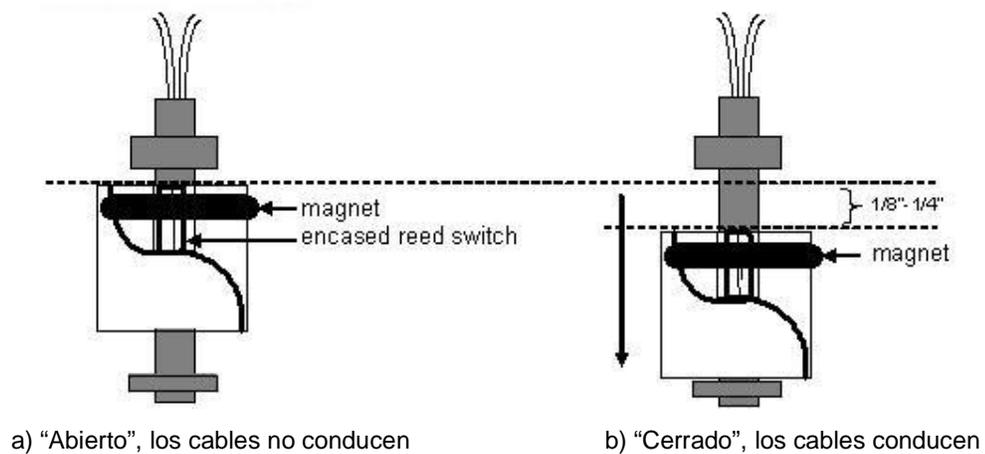


Figura 3.7 Funcionamiento de un sensor tipo flotador

Apropiadamente usados, los sensores tipo flotador pueden entregar millones de ciclos on/off durante años.

3.1.1.6 Selección del sensor de nivel

Al existir en el presente proyecto un ambiente de trabajo hostil para un sensor de nivel, como es el combustible bunker caliente, teniendo cuidado a que el parámetro económico sea accesible, el funcionamiento del sensor sea eficiente y cumpla con su objetivo, la alternativa de un dispositivo adecuado se minimiza, es por eso que luego de una búsqueda minuciosa en el mercado el sensor adecuado para trabajar bajo estas condiciones es:

Miniature Switch, Marca MADISON, Modelo M5000

El sensor descrito ha sido seleccionado por las siguientes características:

- ✓ Material del flotador construido en acero inoxidable 316
- ✓ Material del vástago construido en acero inoxidable 316
- ✓ Máxima temperatura de operación 200°C
- ✓ Máxima presión de operación 300 PSIG
- ✓ Voltaje nominal 30V
- ✓ Alta fiabilidad en condiciones adversas
- ✓ Trabaja perfectamente en fluidos combustibles
- ✓ Disponibilidad en el mercado
- ✓ Asistencia Técnica



Figura 3.8 Fotografía de sensor de nivel MADISON M5000

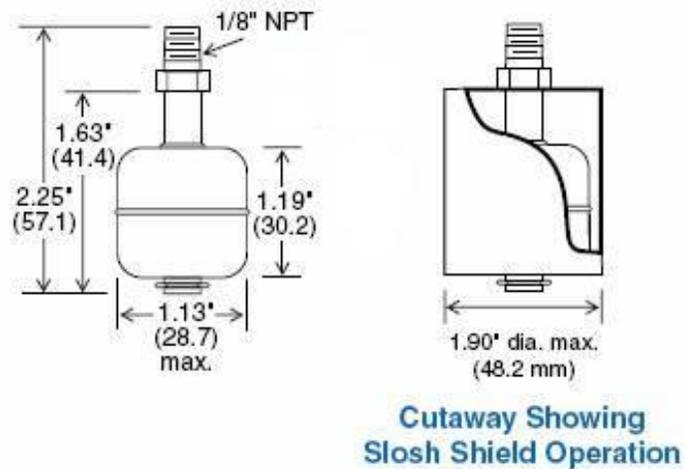


Figura 3.9 Dimensionamiento de sensor de nivel MADISON M5000

3.1.2 Actuadores

3.1.2.1 Reles

El nombre de éste componente deriva de la palabra francesa “relais” (en inglés relays), que significa relevador. Se trata de un componente que al recibir una excitación eléctrica actúa de intermediario para alimentar o controlar a otro circuito eléctrico. Un circuito de baja potencia controla a otro de alta potencia.

El relé es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. El relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse como una forma de amplificador eléctrico.

3.1.2.1.1 Contactos

Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos NA o NO (Normally Open), por sus siglas en inglés, Normalmente Cerrados (Normally Closed) (NC) o de conmutación.

Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.

Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

En la Figura 3.10 se representa, de forma esquemática, la disposición de los elementos de un relé de un único contacto de trabajo.

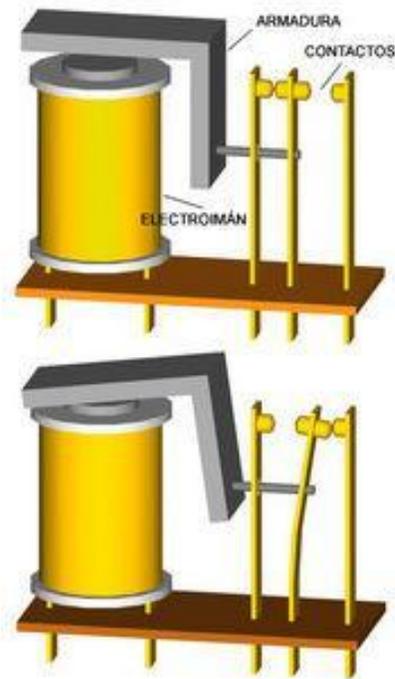


Figura 3.10 Funcionamiento de un Relé

En la Figura 3.11 se representa esquemáticamente los principales componentes de un Relé

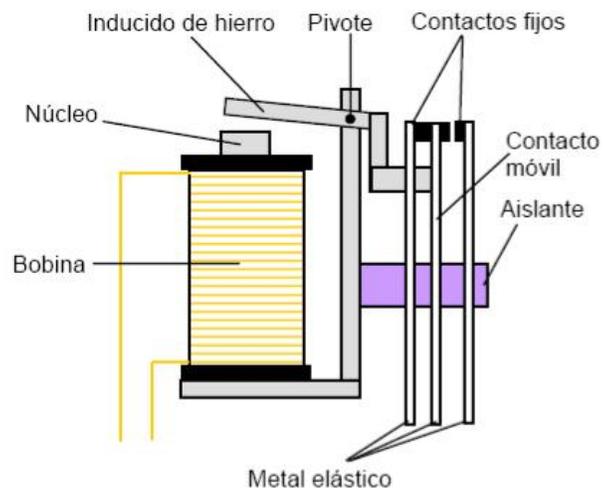


Figura 3.11 Componentes de un Relé

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos (cuando tienen más de un contacto conmutador se les llama contactores en lugar de relés), intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc.

3.1.2.1.2 Ventajas del uso de Relés

La gran ventaja de los relés es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control, además de la posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control.

3.1.2.2 Electrovalvulas

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto o una tubería.

3.1.2.2.1 Clases y Funcionamiento

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo potencia mientras la válvula deba estar abierta.

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.



Figura 3.12 Electrovalvula

3.2 Diseño del sistema de control

Para un mejor panorama de las alternativas de control para el presente proyecto, se definirán los términos relacionados, así como las ventajas y desventajas de los mismos.

3.2.1 Elementos discretos

Los circuitos digitales son simples, puesto que ellos tienen que ser operados o completamente en saturación (ON) o en corte (OFF), usualmente representados por dos niveles de voltaje diferentes. Lógicamente estos niveles pueden ser relacionados con combinaciones binarias de 1 y 0.

Un computador digital, como su nombre lo indica, es un sistema digital que realiza diversas operaciones de cómputo. La palabra Digital implica que la

información que se representa en el computador por medio de variables que toman un número limitado de valores Discretos o cuantizados. Estos valores son procesados internamente por componentes que pueden mantener un número limitado de estados discretos. Los dígitos decimales por ejemplo, proporcionan 10 valores discretos (0 .. 9).

Debido al hecho que los componentes electrónicos atienden a dos estados (encendido / apagado) y que la lógica humana tiende a ser binaria (esto es, cierto o falsa, si o no) se utiliza el sistema binario y se dice que son binarias. Los computadores digitales utilizan el sistema de números binarios, que tiene dos dígitos 0 y 1. Un dígito binario se denomina un bit. La información está representada en los computadores digitales en grupos de bits. Utilizando diversas técnicas de codificación los grupos de bits pueden hacerse que representen no solamente números binarios sino también otros símbolos discretos cualesquiera, tales como dígitos decimales o letras de alfabeto.

Utilizando arreglos binarios y diversas técnicas de codificación, los dígitos binarios o grupos de bits pueden utilizarse para desarrollar conjuntos completos de instrucciones para realizar diversos tipos de cálculos.

La información binaria se representa en un sistema digital por cantidades físicas denominadas señales, Las señales eléctricas tales como voltajes existen a través del sistema digital en cualquiera de dos valores reconocibles y representan una variable binaria igual a 1 o 0. Por ejemplo, un sistema digital particular puede emplear una señal de 3 (voltios 1 para representar el binario "1") y 0.5 (voltios 1 para el binario "0"). La figura 3.13 muestra un ejemplo de una señal binaria.



Figura 3.13 Representación de una señal binaria

Como se muestra en la figura 3.13, cada valor binario tiene una desviación aceptable del valor nominal. La región intermedia entre las dos regiones permitidas se cruza solamente durante la transición de estado. Los terminales de entrada de un circuito digital aceptan señales binarias dentro de las tolerancias permitidas y los circuitos responden en los terminales de salida con señales binarias que caen dentro de las tolerancias permitidas. La lógica binaria tiene que ver con variables binarias y con operaciones que toman un sentido lógico. Es utilizada para escribir, en forma algebraica o tabular. La manipulación de información binaria se hace por circuitos lógico que se denominan compuertas lógicas.

3.2.1.1 Compuertas lógicas AND, OR

Una compuerta lógica proporciona una señal de salida para una combinación lógica deseada de las señales de entrada. Las compuertas son bloques del hardware que producen señales del binario 1 ó 0 cuando se satisfacen los requisitos de entrada lógica. Las diversas compuertas lógicas se encuentran comúnmente en sistemas de computadores digitales. Cada compuerta tiene un símbolo gráfico diferente y su operación puede describirse por medio de una función algebraica. Las relaciones entrada - salida de las variables binarias para cada compuerta pueden representarse en forma tabular en una tabla de verdad.

A continuación se detallan los nombres, símbolos, gráficos, funciones algebraicas, y tablas de verdad de ocho compuertas.

Compuerta Lógica AND.- Cada compuerta tiene una o dos variables de entrada designadas por A y B y una salida binaria designada por X. La compuerta AND produce la unión lógica AND, esto es: la salida es 1 si la entrada A y la entrada B están ambas en el binario 1: de otra manera, la salida es 0. Estas condiciones también son especificadas en la tabla de verdad para la compuerta AND. La tabla muestra que la salida X es 1 solamente cuando ambas entradas A y B están en 1. El símbolo de operación algebraico de la función AND es el mismo que el símbolo de la multiplicación de la aritmética

ordinaria (*). Podemos utilizar o un punto entre las variables o concatenar las variables sin ningún símbolo de operación entre ellas. Las compuertas AND pueden tener más de dos entradas y por definición, la salida es 1 si cualquier entrada es 1.

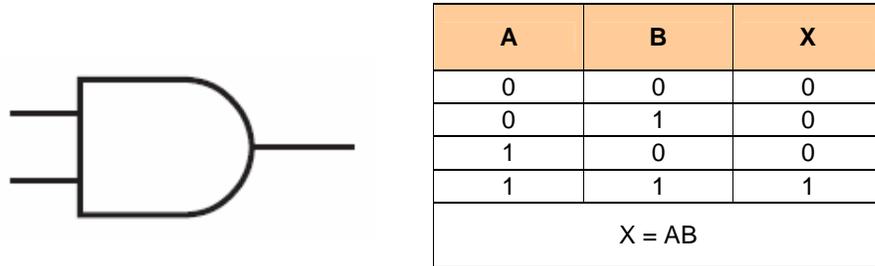


Figura 3.14 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica AND

Compuerta Lógica OR.- La compuerta OR produce la función OR inclusiva, esto es, la salida es 1 si la entrada A o la entrada B o ambas entradas son 1; de otra manera, la salida es 0. El símbolo algebraico de la función OR (+), similar a la operación de aritmética de suma. Las compuertas OR pueden tener más de dos entradas y por definición la salida es 1 si cualquier entrada es 1.

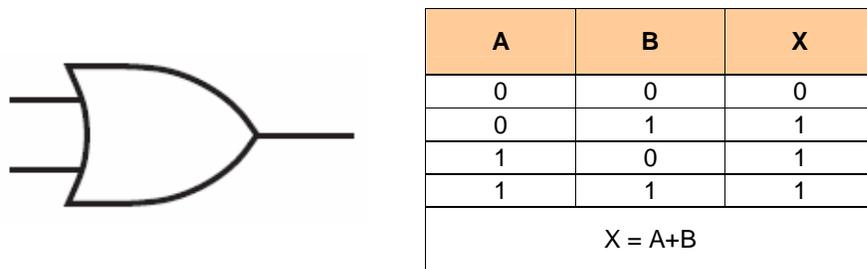


Figura 3.15 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica OR

Compuerta Lógica NOT.- El circuito inversor invierte el sentido lógico de una señal binaria. Produce el NOT, o función complemento. El símbolo algebraico utilizado para el complemento es una barra sobre el símbolo de la variable binaria. Si la variable binaria posee un valor 0, la compuerta NOT cambia su estado al valor 1 y viceversa. El círculo pequeño en la salida de un

símbolo gráfico de un inversor designa un complemento lógico. Es decir cambia los valores binarios 1 a 0 y viceversa.



Figura 3.16 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica NOT

Compuerta Lógica NAND.- Es el complemento o negación de la función AND. La designación NAND se deriva de la abreviación NOT - AND.

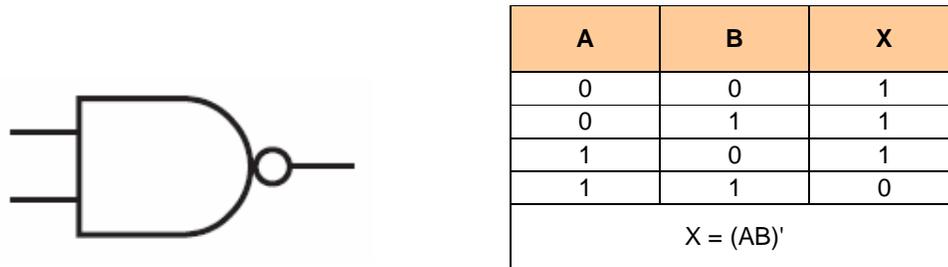


Figura 3.17 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica NAND

Compuerta Lógica NOR.- La compuerta NOR es el complemento o negación de la compuerta OR. Tanto las compuertas NAND como la NOR pueden tener más de dos entradas, y la salida es siempre el complemento de las funciones AND u OR, respectivamente.

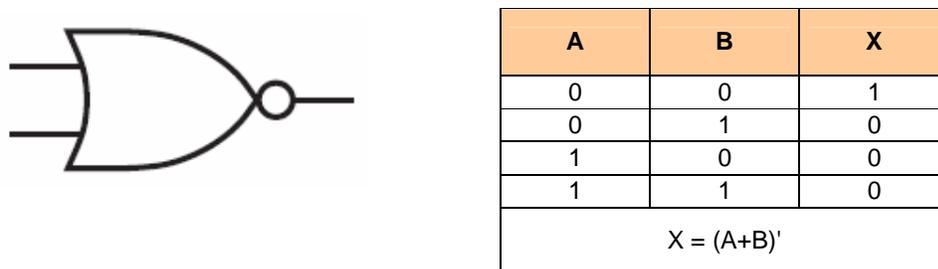


Figura 3.18 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica NOR

Compuerta Lógica OR exclusivo (XOR).- La salida de esta compuerta es 1 si cada entrada es 1 pero excluye la combinación cuando las dos entradas

son 1. La función OR exclusivo tiene su propio símbolo gráfico o puede expresarse en términos de operaciones complementarias AND, OR.

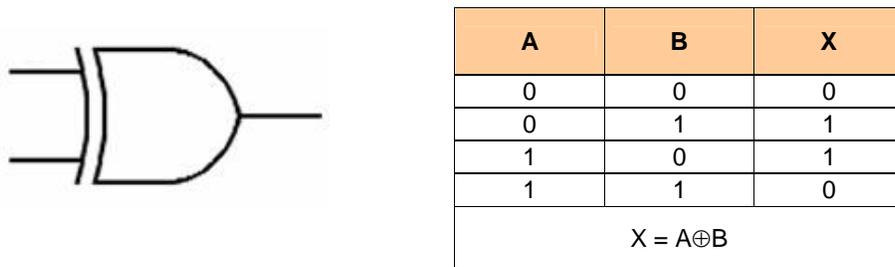


Figura 3.19 Símbolo (ANSI), tabla de verdad, y función algebraica XOR

3.2.2 Controlador Lógico Programable PLC

3.2.2.1 Historia de los Controladores Lógicos Programables

Su historia se remonta a finales de la década de 1960 cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinatorial.

Así como fueron aceptados, también la demanda por mayores funciones tales como mayor capacidad de memoria, mayor número de entradas y salidas y velocidad de procesamiento eran requeridas. Una mayoría de fabricantes respondió positivamente a estos requisitos, introduciendo nuevos modelos de PLCs, pero con una gran desventaja, que no eran compatibles uno con otro.

En la década del 80, aparecen los microprocesadores y memorias más modernos y compactos, permitiendo una reducción de costos y tamaño, con un aumento de confiabilidad.

En la actualidad, los PLCs son más flexibles y cómodos de manejar que sus anteriores generaciones, tal que su uso ha tenido mayor acogida y funcionalidad.

3.2.2.2 Definición

El controlador lógico programable es un computador industrial que acepta entradas de interruptores y sensores, evalúa éstos en concordancia con el programa almacenado en su memoria y genera salidas para el control de máquinas o procesos.

3.2.2.3 Estructura el PLC

La estructura básica de un PLC esta compuesta principalmente de:

- Sistema de Entradas y Salidas (I/O).
- Unidad central de procesamiento (CPU)
- Memoria.

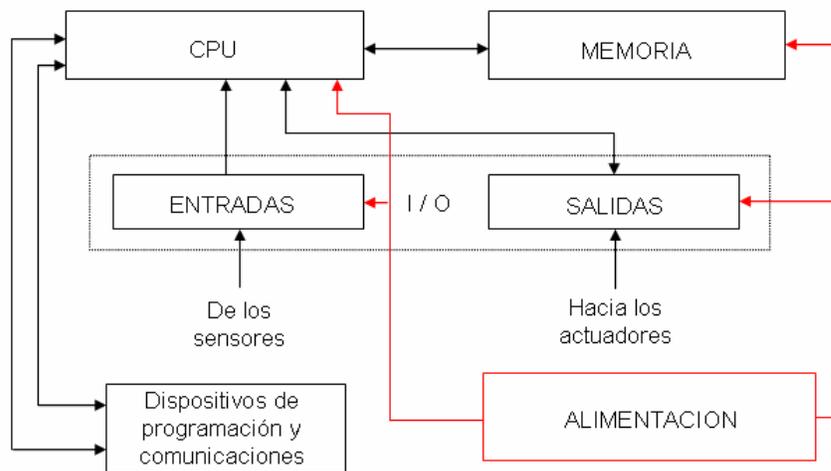


Figura 3.20 Esquema simplificado de bloques de la estructura interna de un PLC

3.2.2.3.1 Sistema de Entradas y Salidas (I/O)

Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación del PLC con el proceso. Para ello, se conectan, por una parte, con las señales del proceso a través de los bornes previstos y por otra, con el bus interno del PLC. La interfaz se encarga de adaptar las señales que se manejan en el proceso a las utilizadas internamente por la máquina. Las entradas y salidas pueden ser de dos tipos: Digitales y Analógicas

3.2.2.3.2 Unidad central de procesamiento (CPU)

El CPU, consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria del programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, realiza los cálculos necesarios y controla las salidas según sea conveniente. El elemento fundamental de la CPU, es el procesador.

3.2.2.3.3 Memoria

La memoria es el elemento donde el PLC guarda programa y datos. La memoria esta organizada en bytes, un Kb, equivale a 1024 bytes la que a su vez es un agrupamiento de bits (unos o ceros). Las memorias pueden ser volátiles o no volátiles. La memoria volátil necesita de energía para que su contenido se mantenga inalterado, mientras que en la memoria no volátil los datos se mantienen aun sin energía. La energía que sustenta a estos elementos en el PLC suele ser eléctrica. La memoria volátil de un PLC es la RAM, que esta sostenida por una batería o un capacitor cuando la unidad se encuentra apagada, mientras que la memoria no volátil, ROM, contiene el programa de operación del PLC. Los PLC's también ocupan otros tipos de memorias como PROM, EPROM EEPROM, que gozan de las características de la RAM y la ROM.

Tabla 3.4 Tipos de memorias de un PLC

Tipo de Memoria	Programación	Borrado	Contenido sin energía
RAM Random Access Memory	Eléctrica	Eléctrica	Se pierde
ROM Read Only Memory	De Fabrica	No	Se conserva
PROM Programmable Read Only Memory	Eléctrica	No	Se conserva
EPROM Electrical Programmable Read Only Memory	Eléctrica	Rayos UV	Se conserva
EEPROM Electrical Erase Programmable Read Only Memory	Eléctrica	Eléctrica	Se conserva

3.2.2.4 Alimentación

Entre las características de la fuente de alimentación del PLC esta el nivel de voltaje que se debe dar a la unidad y el tipo, son frecuentes las unidades de 110-220 Vac y 12-24 Vdc. Si el PLC es de 110-220 Vac, se lo puede entonces conectar directamente a la red de alimentación eléctrica pero si la alimentación es de 12-24 Vdc, entonces se necesita disponer de un adaptador eléctrico a este voltaje. Se suele llamar PLC's de corriente alterna a aquellos que utilizan 110-220 Vac, y a los que utilizan 12-24 Vdc se conocen como unidades de corriente continua.

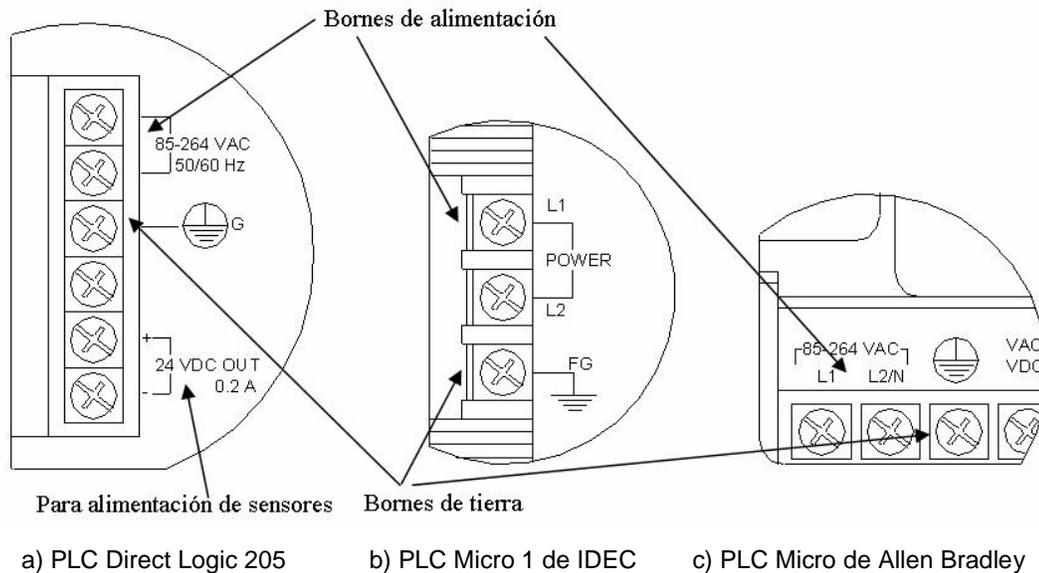


Figura 3.21 Detalle de los bornes de alimentación de varios PLC

3.2.3 Microcontroladores

En 1980, aproximadamente, los fabricantes de circuitos integrados dieron a conocer un nuevo chip llamado microcontrolador, el cual contiene toda la estructura de un microcomputador. Este chip se lo concibió como un dispositivo programable que puede ejecutar un sinnúmero de tareas y procesos.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes o secuencias que están grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales los cuales cumplen una tarea específica dentro del ordenamiento del mismo y a su vez permiten obtener configuraciones diferentes.

Los principales componentes de un microcontrolador son:

- Memoria ROM: memoria solo de lectura
- Memoria RAM: memoria de acceso aleatorio.
- Líneas de entrada / salida: También llamados puertos, se utilizan para conectar los elementos externos al microcontrolador.
- Lógica de control: Coordina la interacción entre los demás bloques.

Dentro de las aplicaciones de los microcontroladores se pueden encontrar en cafeteras, hornos, microondas, videograbadoras, alarmas, automóviles, etc.

Los microcontroladores son uno de los elementos electrónicos más versátiles ya que permite:

- ✓ La posibilidad de manejar señales de entrada y de salida
- ✓ Tiene la capacidad para procesar datos y tomar decisiones.

Antes de existir el microcontrolador, se utilizaban para control los sistemas de microprocesador, el cual necesitaba de varios elementos externos para llevar a cabo sus funciones.

Hay que tomar en cuenta el uso de varios módulos cuando se hace un diseño con microcontrolador.

- Microprocesador (CPU):
 - Controla el sistema
 - Ejecuta las funciones escritas en la memoria de programa.

- Memorias ROM (Memoria sólo de lectura):
 - Almacena el programa.
- Memorias RAM (Memoria de acceso aleatorio):
 - Guarda datos temporales para la ejecución del programa.
- Decodificador de direcciones:
 - Accede a las memorias y a los dispositivos periféricos

3.2.3.1 Principales familias de microcontroladores

Actualmente existen en el mercado varias marcas reconocidas, entre ellas están Motorola, Intel, Philips, National y Microchip.

- Familia Intel 8051: Esta familia de microcontroladores de 8 bits contiene varias referencias, cada una de ellas acondicionada para aplicaciones específicas. Todas las versiones existentes tienen el mismo CPU, memoria RAM, temporizadores, puertos paralelos y entradas / salidas de tipo serial.
- Familia Motorola 6805: Es la más utilizada en el mundo y ha sido optimizada para aplicaciones de control especializado, en lugar de procesamiento de datos.
- Familia Microchip 16CXX: Esta familia sobresale por estar muy difundida actualmente a nivel mundial. La mayoría de revistas de electrónica en el mundo la usan para sus proyectos y le dedican artículos periódicamente, su flexibilidad, configuraciones para todas las necesidades y bajo costo, la hacen atractiva para los consumidores. Está formada por una amplia variedad de componentes con diferentes tamaños de memoria, diferentes velocidades, diferentes tipos de encapsulado y diferente número de pines de entrada / salida. Se dice que es un microcontrolador de tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer – Computador con Set de Instrucciones Reducido) a diferencia de las anteriores familias que utilizan tecnología CISC (Complex Instruction Set Computer – Computadora con Set de Instrucciones Complejo).

- Los microcontroladores PIC: Es una familia de microcontroladores de bajo costo, bajo consumo de potencia y alta velocidad de operación. La tecnología RISC (Set de Instrucciones Reducido) lo hace muy fácil de manejar, ya que tiene muy pocas instrucciones a diferencia de las otras familias que poseen muchas instrucciones complicadas de recordar o que se utilizan muy poco. Existen diversas familias de PIC, las cuales se amplían constantemente, pero las más básicas son:

PIC16C5x: Instrucciones de 12 bit, 33 instrucciones, 2 niveles de acumulador, sin interrupciones. En algunos casos la memoria es del tipo ROM, definida en fábrica.

PIC16Cxx: Instrucciones de 14 bit, 35 instrucciones, 8 niveles de acumulador. PIC16C84 posee memoria EEPROM.

PIC17Cxx: Instrucciones de 16 bit, 55 instrucciones, 16 niveles de acumulador. A menos que se indique, la memoria es del tipo EPROM.

Adicionalmente existen otras familias derivadas, como los PIC16Fxx que emplean memoria del tipo FLASH.

3.2.4 Valoración de alternativas

En la presente parte del proyecto, se describirán algunas ventajas y desventajas de las distintas alternativas propuestas, y se procederá a seleccionar la alternativa más viable.

3.2.4.1 Evaluación de Elementos Discretos

Ventajas:

- ✓ Fácil programación
- ✓ Bajo costo

Desventajas:

- Mayor espacio físico
- Mayor tiempo de ensamblaje
- No son reprogramables
- Se requiere personal calificado para ensamble y conexión

3.2.4.2 Evaluación del Controlador Lógico Programable PLC

Ventajas:

- ✓ Ahorro considerable de tiempo y dinero en la elaboración de proyectos e instalación.
- ✓ Mínimo espacio requerido para ubicar la unidad.
- ✓ Gran flexibilidad al momento de reconfigurar el control e incluso para cambiar totalmente el mismo, lo cual es importante en procesos de constante ampliación y mejoramiento.
- ✓ Facilidad al realizar el mantenimiento y ampliación considerable de la vida útil de la unidad pues la misma prácticamente carece de partes móviles que podrían desgastarse fácil y rápidamente.
- ✓ Ahorro en el tiempo de puesta en funcionamiento de un proceso, al momento de realizar una reconfiguración o ampliación del mismo.
- ✓ Por la generalidad de los programas que puede ejecutar el PLC, si es desechado de un proceso que termino puede ser utilizado en cualquier otro.
- ✓ Tiempo de operación y respuesta verdaderamente rápido.
- ✓ Facilidad de programación, puesto que existen diversos lenguajes, con diferentes softwares acoplados para cada necesidad.

Desventajas:

- Elevado costo

3.2.4.3 Evaluación de los Microcontroladores

Ventajas:

- ✓ Facilidad de disponibilidad en el mercado
- ✓ Fácil de programar.
- ✓ Bajo consumo de potencia y alta velocidad de operación.
- ✓ Poseen memoria EEPROM, es decir que se puede programar sin tener que borrarlo con luz ultravioleta

Desventajas:

- Circuito complejo
- Limitada capacidad de reprogramación
- Aplicación restringida
- No son completamente reutilizables
- Mayor tiempo de elaboración y ensamble

3.2.5 Matriz de decisión

Con una valoración sobre 5 puntos:

Tabla 3.5 Matriz de decisión para el sistema de control

	PLC	ELEMENTOS DISCRETOS	MICROCONTROLADOR
Costo	2	5	4
Beneficio	5	3	4
Programación	5	4	4
Tiempo de ensamblaje	4	3	4
Mantenimiento	5	3	4
Reutilización	5	1	3
Versatilidad	5	2	5
TOTAL	31	21	28

3.2.5.1 Selección de la alternativa mas viable

Posterior a la evaluación de las ventajas y desventajas señaladas de las diferentes alternativas en los incisos 3.1.4.1, 3.1.4.2 y 3.1.4.3, tomando en cuenta los datos obtenidos en la matriz de decisión y considerando las necesidades de este proyecto, se puede determinar que la alternativa más óptima y viable es la utilización de un **Controlador Lógico Programable PLC**.

3.2.6 Selección del PLC

Se necesita controlar el llenado de un tanque de combustible para lo que se ha empleado la siguiente instrumentación:

Tabla 3.6 Desglose de sensores y actuadores

Sensores y Actuadores	Cantidad	Señal
Sensor de Nivel	3	Digital
Sensor de Temperatura	1	Analógica
Válvula	1	Digital
Rele	1	Digital

3.2.6.1 PLC Siemens

Los PLC Siemens son una clase excepcional de sistemas de automatización, son rápidos, con gran capacidad de comunicación y muy efectivos, además de ofrecer una máxima capacidad de automatización a un bajo costo, su instalación es simple, y la puesta en marcha es rápida y efectiva.

La familia de PLC Siemens posee un sistema de programación simplificada por medio de herramientas versátiles para el usuario, administración de información compartida para configuración y comunicaciones, un alto rendimiento y programación con lenguajes de alto nivel.

3.2.6.1.1 Características de las CPU's Siemens

Tabla 3.7 Características CPU's Siemens

Características:	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226	CPU 226XM
Entradas/Salidas integrales	6DI/4DO	8DI/6DO	14DI/10DO	24DI/16DO	24DI/16DAO
Max. módulos de expansión	-	2	7	7	7
Max. entradas y salidas	10	78	168	248	248
Canales analógicos(I/O/max)	-	8/4/10	28/14/35	28/14/35	28/14/35
Memoria de programa	4KB/2KB	4KB/2KB	8KB/5KB	8KB/5KB	16KB/10KB
Tiempo de ejecución	0,37 μ s				
Memoria bits/counters/timers	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256
Contaors de alta velocidad	4 x 30 kHz	4 x 30 kHz	6 x 30 kHz	6 x 30 kHz	6 x 30 kHz
Reloj de tiempo real	Optional	Optional	Integrate	Integrate	Integrate
Salidas de pulsos	2 x 20 kHz				
Interface de comunicación	1x RS-485	1x RS-485	1x RS-485	2x RS-485	2x RS-485
Potenciómetro analógico	1	1	2	2	2

Además de lo anteriormente señalado, los PLC Siemens ofrecen diversas ventajas:

- ✓ Adquisición de señales mas rápidas y precisas
- ✓ Conteo de eventos de alta velocidad
- ✓ Salida de pulsos de alta velocidad
- ✓ Modulo de memoria
- ✓ Reloj en tiempo real para CPU 221, 222
- ✓ Posibilidad de uso de módulos de expansión

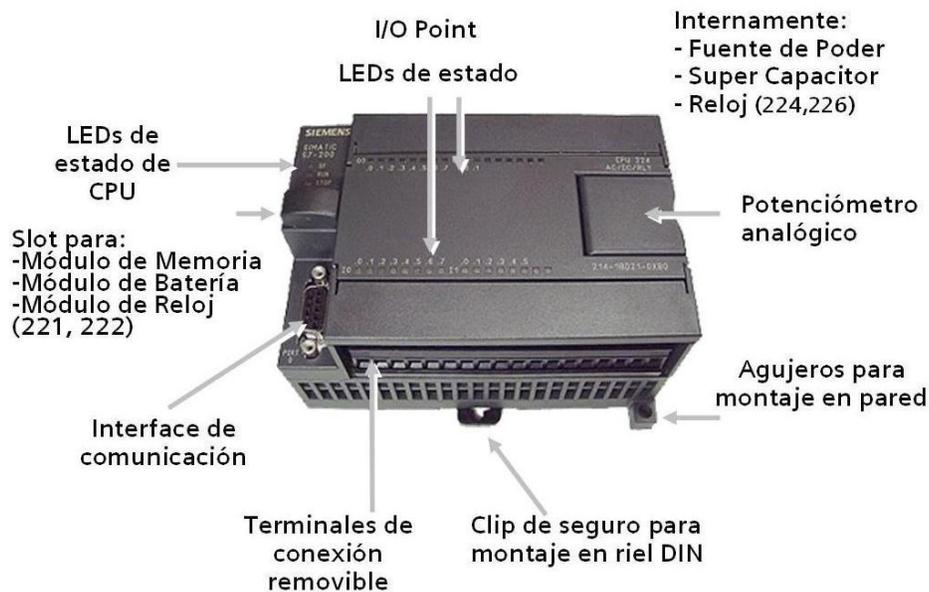


Figura 3.22 Detalle de un PLC Siemens

3.2.6.2 PLC Micrologix Allen Bradley

El MicroLogix 1100 representa la familia más reciente de controladores que se une a los ya populares MicroLogix 1000, MicroLogix 1200 y MicroLogix 1500, y está diseñado para ampliar la cobertura de aplicaciones mediante entradas analógicas incorporadas, comunicaciones Ethernet y capacidades de visualización. Los controladores MicroLogix 1100 mantienen las mismas funciones críticas que se esperan de la familia MicroLogix y expande esa capacidad para incluir una verdadera edición en línea. Los controladores MicroLogix 1100 complementan los controladores más sencillos para las aplicaciones que requieren de hasta 80 E/S digitales.

Cada MicroLogix 1100 contiene dos entradas analógicas incorporadas, con 10 entradas digitales y 6 salidas digitales. Este controlador también permite expandir sus capacidades de E/S utilizando los mismos módulos que el MicroLogix 1200. Se pueden utilizar hasta cuatro de los módulos de 1762 E/S con un solo controlador MicroLogix 1100.

Cada controlador admite un puerto integrado combinado RS-232 / RS-485 para comunicación en serie y en red, así como un segundo puerto integrado EtherNet/IP, que admite mensajería Ethernet de igual a igual.

La pantalla de cristal líquido incorporada le permite monitorear el estado de las E/S y del controlador, así como hacer cambios a datos de enteros y de bits.

Características y ventajas clave:

- Puerto EtherNet/IP de 10/100 Mbps incorporado para transmisión de mensajes entre dispositivos similares ofrece a los usuarios conectividad de alta velocidad entre controladores, con la capacidad de acceder, monitorear y programar desde cualquier lugar donde esté disponible una conexión Ethernet

- Funcionalidad de edición en línea, es posible hacer modificaciones a un programa mientras está en ejecución, lo cual permite realizar el ajuste fino de

un sistema de control operativo, incluyendo lazos PID. Esta función no sólo reduce el tiempo de desarrollo sino que ayuda en la resolución de problemas

- Puerto combinado RS-232/RS-485 – proporciona una variedad de protocolos diferentes de red y punto a punto

- Pantalla LCD incorporada - permite al usuario monitorear los datos dentro del controlador, modificar opcionalmente dichos datos e interactuar con el programa de control. Muestra el estado de las E/S digitales incorporadas y las funciones del controlador, y actúa como pareja de potenciómetros de ajuste digital para permitir que un usuario examine y ajuste un programa

- Opciones de expansión de E/S de gran rendimiento (hasta cuatro módulos de E/S 1762, en cualquier combinación)

- Cuatro entradas de alta velocidad (1763-L16BWA y 1763-L16BBB solamente) que pueden ser usadas individualmente como entradas con retención (atrapa impulsos), como interrupciones por evento o combinadas de manera alternada como un contador de alta velocidad de 20 kHz con ocho módulos de operación

- Dos entradas analógicas integradas de 0 a 10 VCC con resolución de 10 bits (sin aislamiento)

- Dos salidas de alta velocidad que pueden ser configuradas como de PTO (salida de tren de impulsos) de 20 kHz o como salidas PWM (modulada por ancho de impulso) (1763-L16BBB solamente)

Funciones adicionales:

- Un contador de alta velocidad de 20 kHz incorporado (en los controladores con entradas de CC)

- Dos PTO/PWM de alta velocidad de 20 kHz (en los controladores con salida de CC)
- Una interfase de operador simple para mensajes y entrada de bit/número entero
- Memoria de programa de usuario de 4 K y memoria de datos de usuario de 4K palabras
- Hasta 128 K bytes para registro de datos y 64 K bytes para recetas



Figura 3.23 PLC Micrologix Allen Bradley

3.2.6.3 PLC Mitsubishi

Los PLC compactos de la familia Mitsubishi son mundialmente la primera opción para todo tipo de aplicaciones técnicas e industriales

Mitsubishi Electric ha trabajado siempre de forma estrecha con sus clientes para desarrollar precisamente el PLC que ellos necesitan para sus aplicaciones. Los mas de seis millones de PLC`s Mitsubishi empleados en todo el mundo demuestran que el resultado de esta estrecha colaboración es una calidad, una fiabilidad y un producto perfectamente a la medida de la necesidad de la industria.

Características y especificaciones importantes:

- ✓ Pantalla integrada
- ✓ Reloj en tiempo real
- ✓ Programación vía teclas frontales
- ✓ Entradas análogas
- ✓ Suministro de poder 100-240VDC
- ✓ Salidas a Rele arriba de los 8 amperios
- ✓ Protección de programas con contraseña
- ✓ Función de comunicación remota vía MODEM
- ✓ Memoria de 64 bloques de función o 1500 bytes
- ✓ Posibilidad de módulos de expansión

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de CPU's Mitsubishi

Base Units	AL-6MR-A	AL10MR-A	AL-10MR-D	AL-10MT-D	AL-20MR-A	AL-20MR-D	AL-20MT-D
I/O	6	10	10	10	20	20	20
Power Supply	100-240 VAC	100-240 VAC	24 VDC	24 VDC	100-240 VAC	24 VDC	24 VDC
Digital Inputs	4 (100-240 VAC)	6 (100-240 VAC)	6 (24 VDC)	6 (24 VDC)	12 (100-240 VAC)	12 (24 VDC)	12 (24 VDC)
Digital Inputs with Analog Capability (0-10V, 8 bits)	-	-	6	6	-	8	8
Outputs	2 (relay 8 A)	4 (relay 8 A)	4 (relay 8 A)	4 (trans. 1 A/24 VDC)	8 (relay 8 A)	8 (relay 8 A)	8 (trans. 1 A/24 VDC)
FBs/Functions	Maximum 64 function blocks, 23 integrated functions						
Dimensions (W x H x D) inches	2.8 x 3.5 x 2.2	2.8 x 3.5 x 2.2	2.8 x 3.5 x 2.2	2.8 x 3.5 x 2.2	4.9 x 3.5 x 2.2	4.9 x 3.5 x 2.2	4.9 x 3.5 x 2.2



Figura 3.24 PLC's Mitsubishi

3.2.6.4 Matriz de decisión para selección de PLC

Con una valoración sobre 5 puntos

Tabla 3.9 Matriz de decisión para Marca de PLC

	SIEMENS	ALLEN BRADLEY	MITSUBISHI
Satisfacción de necesidades	5	5	5
Programación	5	5	4
Tiempo de ensamblaje	4	4	4
Costo de Software	2	5	1
Versatilidad	5	5	4
TOTAL	21	24	18

3.2.6.5 Selección de la alternativa de PLC más viable

Posterior a la evaluación de las ventajas y desventajas señaladas de las diferentes alternativas en los incisos 3.3.1.1, 3.3.1.2 y 3.3.1.3, tomando en cuenta los datos obtenidos en la matriz de decisión y considerando las necesidades de este proyecto, se puede determinar que la alternativa más óptima y viable para el caso presentado, y para las características señaladas de entradas y salidas, se utilizara un **PLC Allen Bradley MicroLogix 1100/1763-L16BBB¹** por las siguientes razones y características:

- ✓ Fuente de alimentación de 24V dc
- ✓ Memoria RAM respaldada por batería no volátil
- ✓ Diez entradas digitales 24V dc
- ✓ Seis salidas digitales, dos a rele, dos 24V dc, y dos rápidas 24Vdc
- ✓ Programable directamente con sistema operativo Windows
- ✓ Puerto Serial RS-232/RS-485 Combo Port

¹ Especificaciones generales ver Anexo A

- ✓ Reloj en tiempo real
- ✓ Display LCD
- ✓ Asistencia Técnica
- ✓ Garantía

3.2.7 Modulo de expansión Analógico

Al trabajar con sensores de temperatura, en este caso un RTD, que entrega una señal de tipo analógico, por lo cual no pueden ser detectadas por el PLC debido a que éste solo detecta señales del tipo digital. Entonces existe la necesidad de incorporar un módulo de expansión analógico que pueda detectar la señal análoga del sensor, lo convierta en digital y la controle.

Para el presente proyecto, y para la familia MicroLogix de Allen Bradley el modulo seleccionado es un **Modulo de entrada Analógica para RTD 1762/IR4**². Entre algunas de las características importantes tenemos:

- ✓ Entradas aceptadas para RTDs de Platino, Cobre, Níquel, Hierro-Níquel
- ✓ Dispone de cuatro canales de entrada
- ✓ Garantía y asistencia técnica

3.3 Diseño de accesorios adicionales

Para el presente proyecto es necesario evaluar la necesidad de accesorios y sistemas adicionales, y debido a la necesidad de una alerta en caso de una situación de fallo, lo más adecuado es implementar un sistema de emergencia, que alerte a los operarios, además de un conjunto de componentes para dar protección contra las variaciones de voltaje.

En el presente caso se ha decidido implementar una luz de alerta en el tablero de control, por lo que es adecuada la necesidad de instalar una luz

² Especificaciones generales ver Anexo B

piloto adicional, la cual se encenderá si existe una situación de fallo del sistema, dando la señal al operario para proceder a la verificación y corrección del problema, además de protecciones en las líneas de voltaje de la empresa, cuyo voltaje y amperaje son suministrados por la Empresa Eléctrica Quito.

Tabla 3.10 Accesorios adicionales a implementar

Item	Cant.	Descripcion
1	1	Luz Piloto 24Vdc
2	2	Fusible 20A, 550V

3.4 Programación del controlador

Al comenzar la etapa de programación del controlador, el cual será el punto fundamental para el control y posterior solución al problema en cuestión, se procederá a describir el proceso a controlar.

3.4.1 Descripción del proceso a controlar

El tanque de almacenamiento T-1 de la figura se va a llenar de líquido combustible bunker impulsado por caída, cuando se permita el paso mediante la válvula V1, para que el caldero realice la succión del combustible, por medio de la siguiente secuencia:

- 1) Cuando el tanque se encuentra vacío, se abre la válvula V1 para permitir el ingreso del líquido
- 2) Una vez que el fluido ha alcanzado el primer nivel mínimo, el tanque empezará a calentarse hasta una temperatura comprendida entre los 80 y los 90°C por medio de la resistencia de calentamiento R1.
- 3) Una vez calentado el líquido a la temperatura requerida, la resistencia se apagará y se encenderá manteniendo el fluido en el rango de temperatura indicado.

- 4) Cuando el nivel de líquido alcance su nivel máximo, la válvula V1 se cerrará impidiendo el paso de fluido al tanque hasta que se haya vaciado, comenzando así un nuevo ciclo.

Para el presente capítulo, por conocimiento, y por facilidad de simulación, se procederá a realizar la estructura de programa en el software de programación STEP 7-Micro/Win 32, además de la simulación en el software S7-200, para posteriormente pasar la estructura de programación al software RS-LOGIX500, correspondiente a la familia de PLCs Allen Bradley al momento de la implementación en campo.

3.4.2 STEP 7-Micro/Win 32

El software STEP 7-Micro/Win 32, tiene la estructura de un programa en base Windows, el cual permite con mayor facilidad la programación del PLC. Su manejo es sencillo ya que la selección de comandos se ejecuta simplemente en un cuadro de iconos de “arrastrar y colocar”. Pueden mostrarse y programarse simultáneamente en la pantalla diferentes proyectos y pueden copiarse de un programa a otro secciones completas de un programa.

Esta estructura del programa asegura también el poder disponer y utilizar de la manera más sencilla potentes comandos como:

- Funciones matemáticas.
- Operaciones con tablas.
- Comandos de comunicaciones.

3.4.3 Desarrollo del programa

El programa de control del proceso posteriormente será desarrollado y transmitido en el mismo lenguaje, con las mismas instrucciones y manteniendo

las mismas direcciones para cada una de las variables al PLC Allen Bradley, usando el software RS-LOGIX500, soportando el lenguaje escalera KOP.

3.4.3.1 Definición de variables

Es la declaración de cada una de las entradas y salidas que ocupan un sitio y una dirección en la memoria del PLC.

Tabla 3.11 Declaración de variables

Tabla de símbolos					
· 3 · · 4 · · 5 · · 6 · · 7 · · 8 · · 9 · · 10 · · 11 · · 12 · · 13 · · 14 · · 15 · · 16 · · 17 · · 18 ·					
			Símbolo	Dirección	Comentario
1			start	I0.6	Switch on-off del sistema
2			emergency	I0.7	Boton de apagado de emergencia
3			nmin	I0.0	Sensor de nivel minimo de combustible
4			nmax	I0.1	Sensor de nivel maximo de combustible
5			nemrg	I0.2	Sensor de nivel emergente de combustible
6			temp	AIW0	Sensor RTD de temperatura
7			V1	Q0.0	Electrovalvula
8			luzvalv	Q0.2	Luz piloto de accionamiento de electrovalvula
9			R1	Q0.1	Resistencia electrica de calentamiento
10			luzres	Q0.3	Luz piloto de accionamiento de resistencia electrica
11			alarm	Q0.4	Luz de alarma indicadora de fallo del sistema
12			bitT1	V1.0	Bit auxiliar para temperatura numero 1
13			bitT2	V1.1	Bit auxiliar para temperatura numero 2
14			bitALARM	V1.5	Bit auxiliar para accion de la alarma

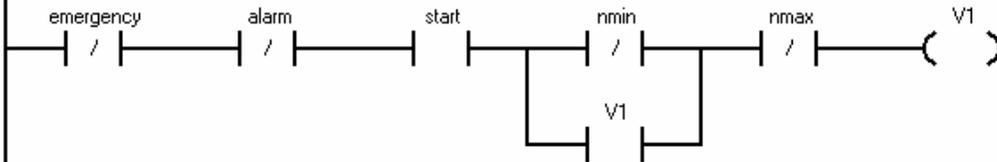
3.4.3.2 Programación

El desarrollo que a continuación se presenta es el programa que rige el comportamiento del tanque automático desarrollado en lenguaje escalera KOP soportado por el software de programación de los PLCs

Programa: Tanque

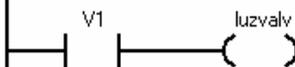
Network 1 Título de segmento

Comentario de segmento



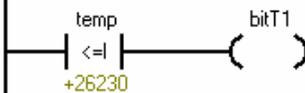
Símbolo	Dirección	Comentario
alarm	Q0.4	Luz de alarma indicadora de fallo del sistema
emergency	I0.7	Boton de apagado de emergencia
nmax	I0.1	Sensor de nivel maximo de combustible
nmin	I0.0	Sensor de nivel minimo de combustible
start	I0.6	Switch on-off del sistema
V1	Q0.0	Electrovalvula

Network 2



Símbolo	Dirección	Comentario
luzvalv	Q0.2	Luz piloto de accionamiento de electrovalvula
V1	Q0.0	Electrovalvula

Network 3



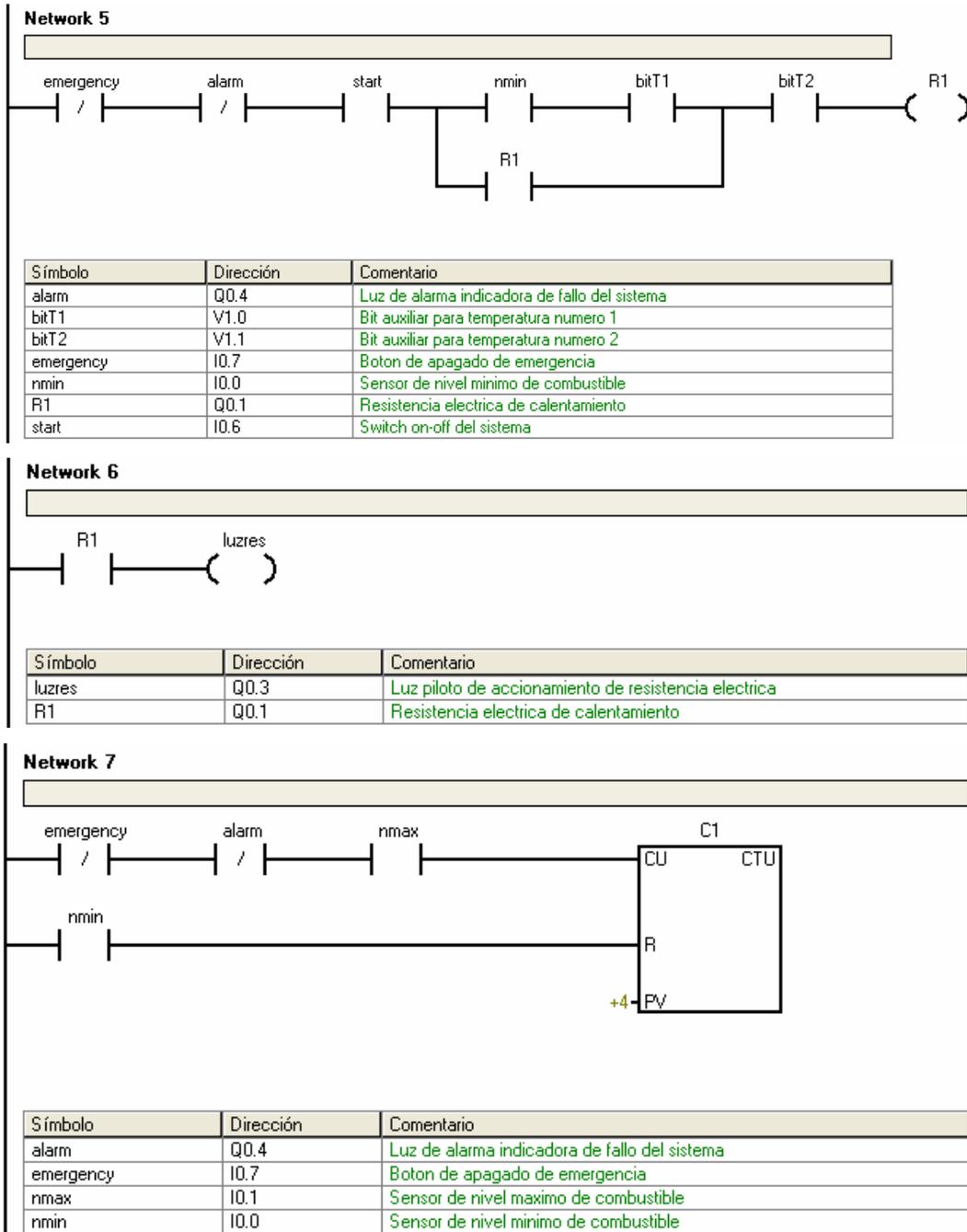
Símbolo	Dirección	Comentario
bitT1	V1.0	Bit auxiliar para temperatura numero 1
temp	AIW0	Sensor RTD de temperatura

Network 4



Símbolo	Dirección	Comentario
bitT2	V1.1	Bit auxiliar para temperatura numero 2
temp	AIW0	Sensor RTD de temperatura

Programa: Tanque (continuación)



Programa: Tanque (continuación)

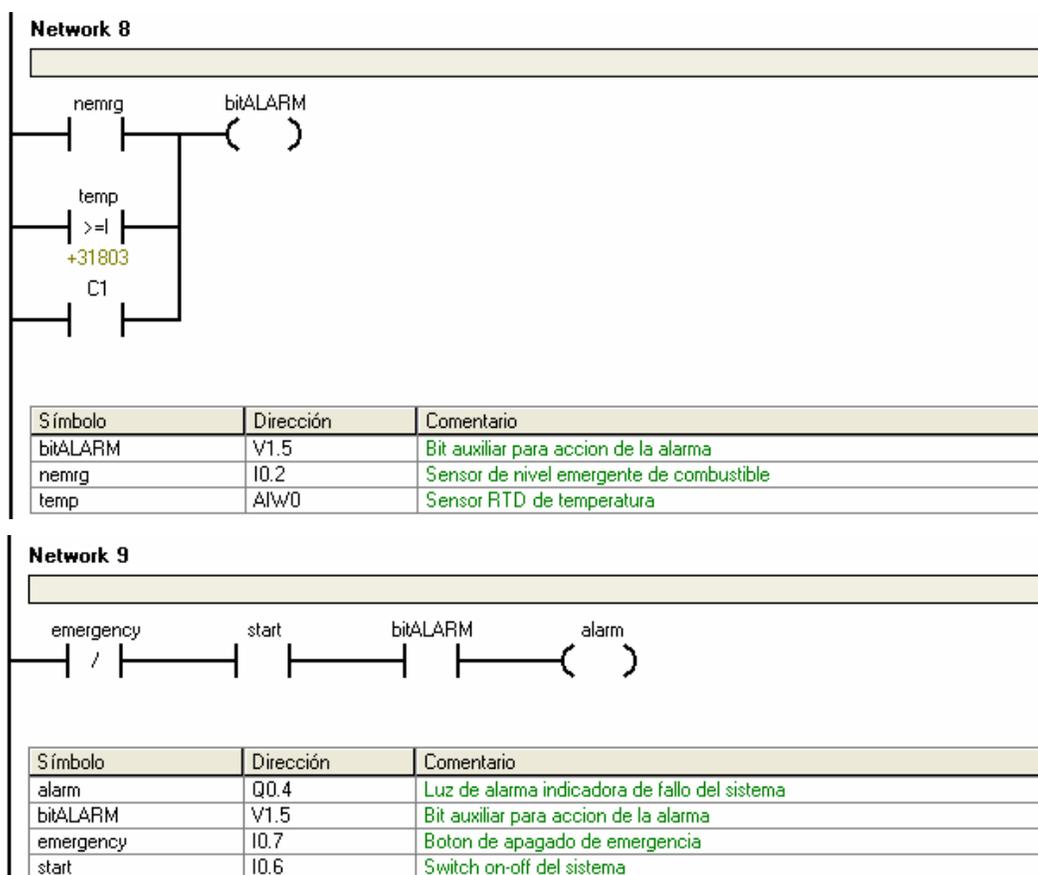


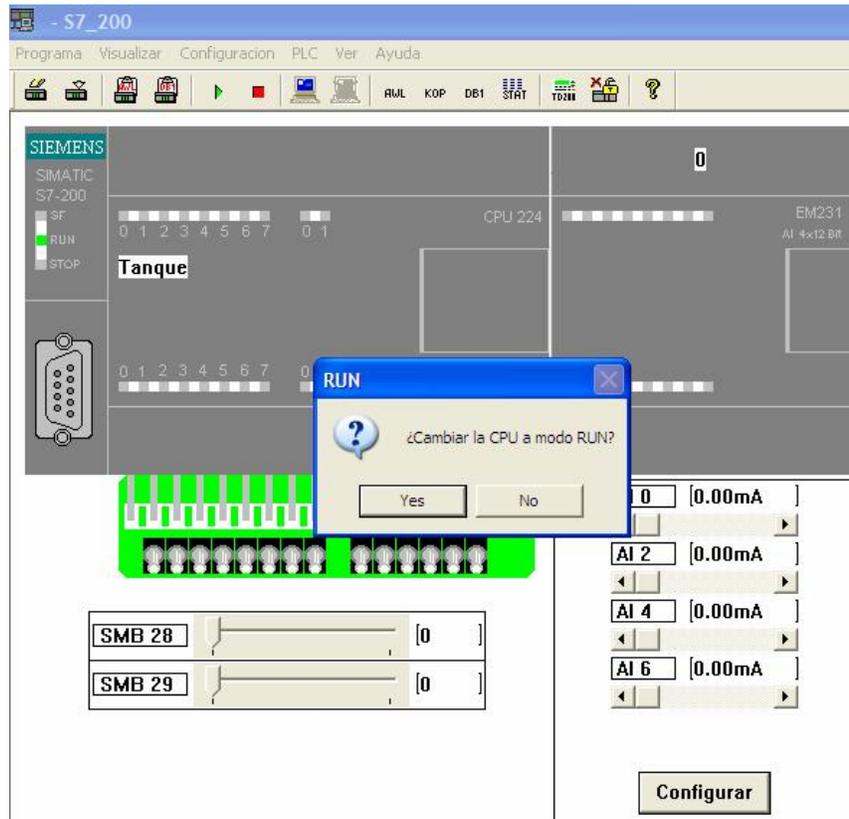
Figura 3.25 Programación KOP del sistema de control en Microwin

3.5 Simulación computarizada del proceso controlado

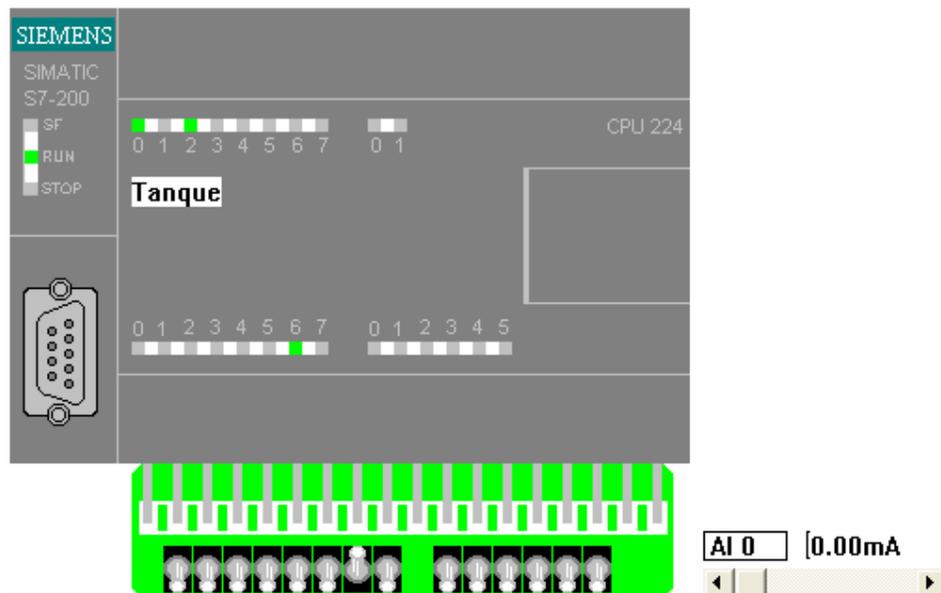
Para la simulación del programa desarrollado se cuenta con el software de simulación S7-200, dicho software permitirá visualizar el proceso real que el programa controla, mediante switches de control se puede verificar el estado y comportamiento del sistema.

A continuación se realiza la simulación del programa antes desarrollado el cual controla el proceso real del tanque de combustible.

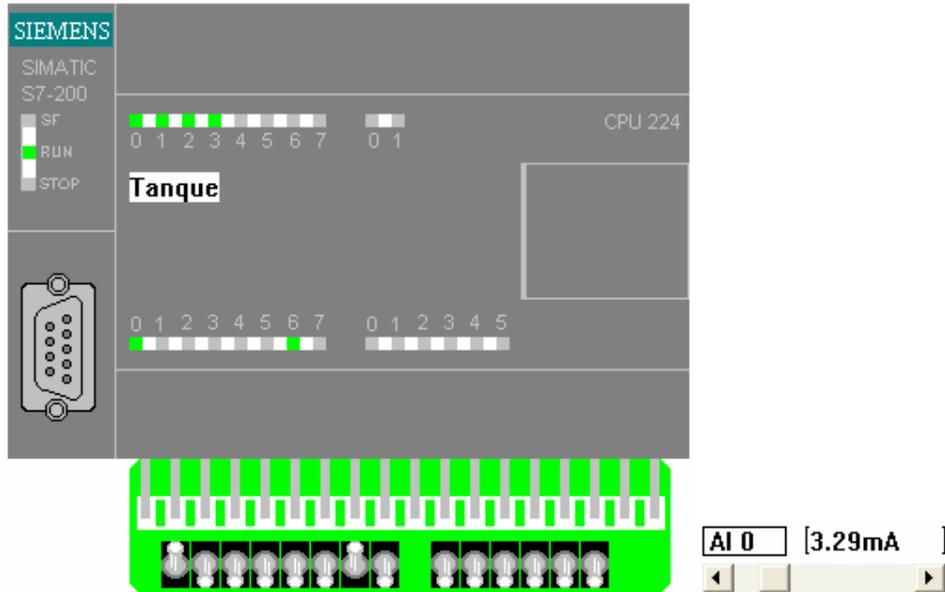
1. Modo RUN de PLC



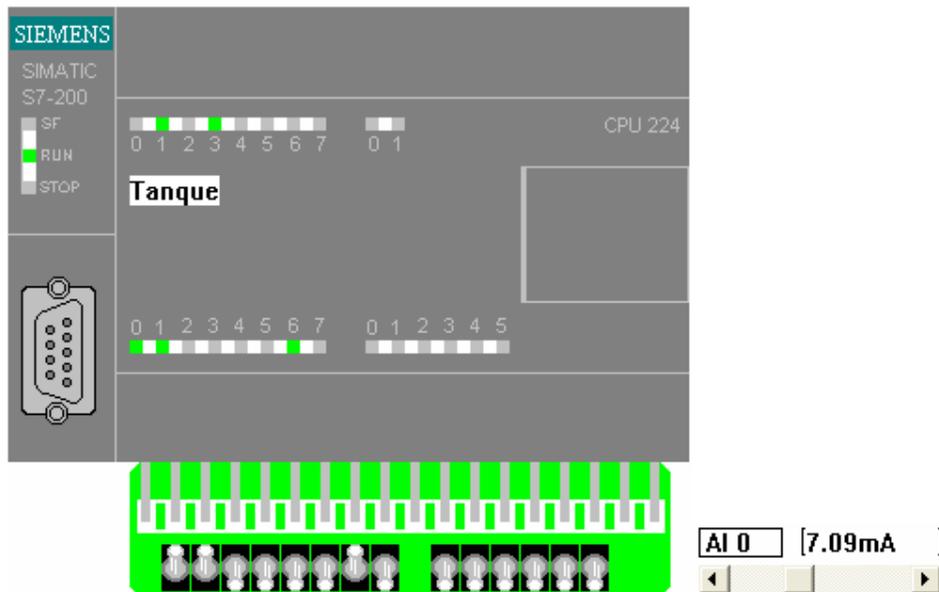
2. Encendido del sistema, la válvula permite paso de fluido.



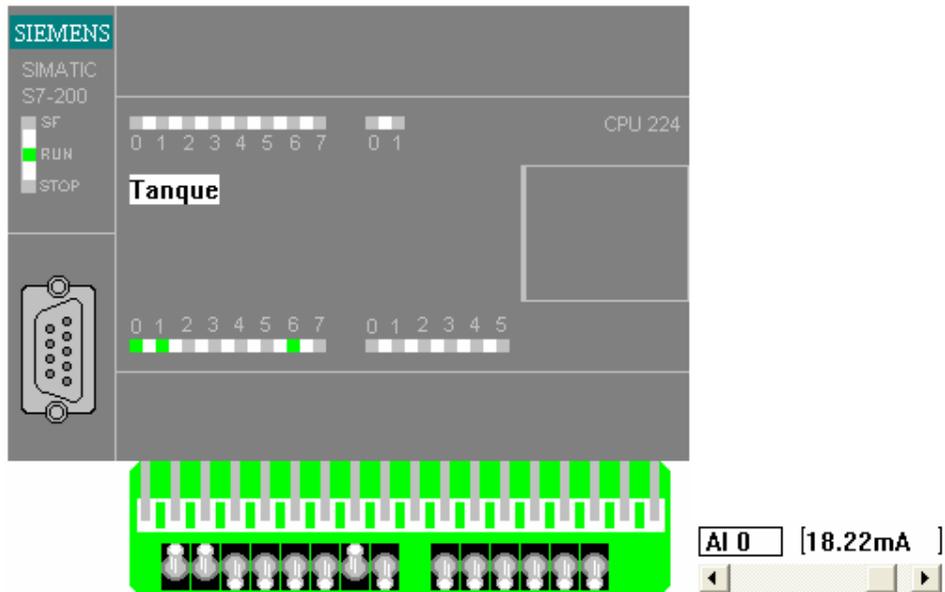
3. El sensor de nivel mínimo capta señal, la temperatura que se encuentra en un valor pequeño enciende la resistencia eléctrica de calentamiento



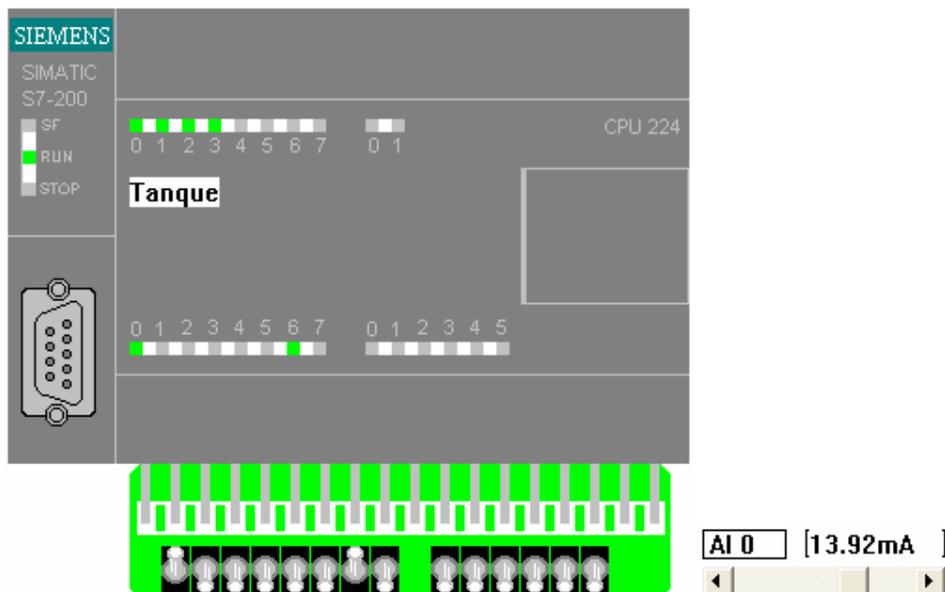
4. El sensor de nivel máximo capta señal, la válvula se cierra



5. La temperatura ha llegado a su rango máximo, la resistencia eléctrica se apaga



6. El fluido ha descendido, el sensor capta señal y enciende de nuevo la electrovalvula, la temperatura ha bajado y la resistencia se enciende para subir la temperatura y mantenerla en el rango, completando así el ciclo de trabajo



CAPITULO 4

INSTALACION DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

4.1 Instalación, calibración y optimización de la Instrumentación

A continuación se procederá a realizar las correspondientes series de pruebas y eventos necesarios para determinar el correcto funcionamiento de la instrumentación adquirida, por medio de simples ensayos y conexiones básicas podremos probar y calificar el desempeño de los instrumentos.

4.1.1 Calibración y Optimización de los Sensores de Nivel MADISON 5000

El sensor de nivel MADISON 5000, como se lo explico en capítulos anteriores, es un sensor de nivel perteneciente al tipo flotador, y es un instrumento que se comporta como un switch, es decir, es un interruptor que cierra un circuito eléctrico.

Para la optimización de este sensor, se realizo un circuito eléctrico básico, que corresponde cerrar un circuito eléctrico, de esta manera se comprueba la fase y la continuidad del instrumento.

A continuación se muestra el diagrama eléctrico del circuito.

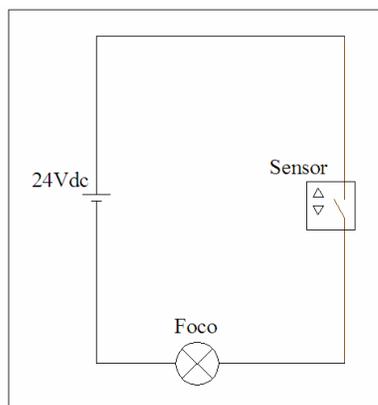


Figura 4.1 Circuito eléctrico de prueba para sensor MADISON 5000

Una vez que el circuito ha sido realizado, se comprueba la fase y el foco enciende, de manera que el sensor esta correctamente en funcionamiento, posteriormente se procede a comprobar la continuidad con una prueba en fluido, sumergiéndolo y verificando la señal, concluyendo después que el sensor no presenta problemas y es perfecto para el uso que se le dará.

Cabe destacar que los sensores, vienen en estado normalmente cerrado, de modo que al iniciar el sistema ya existe una señal proveniente del instrumento.



Figura 4.2 Fotografía de la calibración del sensor MADISON5000

4.1.1.1 Instalación de los Sensores de Nivel MADISON 5000

Una vez que los sensores han sido debidamente probados se procede a su instalación, para esto se deben tomar en cuenta ciertos parámetros técnicos respecto al instrumento que provee el fabricante, los cuales son:

- ✓ 200°C max.
- ✓ 300 PSIG max
- ✓ 30W
- ✓ A tensión 240VAC, 0.14A
- ✓ A tensión 120VAC, 0.28A
- ✓ A tensión 120Vdc, 0.07A
- ✓ A tensión 24Vdc, 0.28A

Para el caso del proyecto, manejamos una tensión de 24Vdc, por lo que el consumo de corriente del sensor aplica sin problemas dentro de la disponibilidad de corriente de la fuente.

La forma de instalación del sensor es la misma que para un interruptor simple, es decir, el sensor va a través de una de las líneas del circuito, en este caso según configuración del PLC, conmutara a través de la línea positiva.

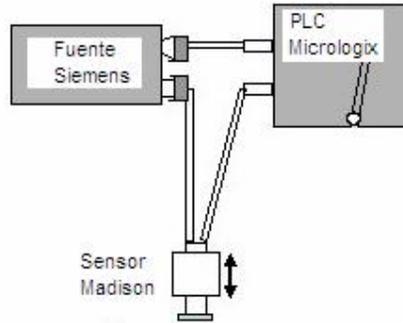


Figura 4.3 Esquema de instalación del Sensor de Nivel

4.1.2 Calibración y Optimización del Sensor RTD de Temperatura

La instalación del sensor RTD de temperatura se basa en el sistema de cableado de tres hilos, ya que el instrumento utilizado posee dicha especificación, de modo que para la conexión apropiada se debe tener en cuenta el correcto empalme de los cables, correspondiente al modulo de expansión. El RTD dispone de dos cables de señal, y un cable de retorno, el cual difiere generalmente en color a los dos anteriores, la siguiente figura esquematiza el sistema de conexión correcta al modulo de expansión.

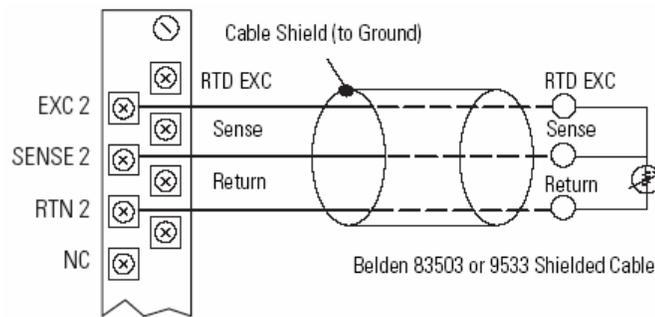


Figura 4.4 Conexión de un RTD de 3 hilos

El RTD correctamente conectado debe brindarnos la señal correspondiente, de tal manera que el modulo pueda interpretar y convertir el fenómeno físico de temperatura.



Figura 4.5 Fotografía de disposición de cables en un RTD

Según el diagrama de conexión, se empalma los cables correspondientes a los bornes del modulo de expansión



Figura 4.6 Fotografía del empalme de cables del RTD - Modulo



Figura 4.7 RTD conectado al modulo de expansión

Para la calibración de la señal del RTD, acondicionar la señal y proporcionar la interfaz adecuada al software de programación, se debe conocer primero los datos específicos de rango de temperatura del sensor. A continuación se detalla la tabla descriptiva del tipo de RTD y su rango de temperatura

Tabla 4.1 Especificaciones de RTD

RTD Type ⁽¹⁾		Temperature Range Using 0.5 mA Excitation	Temperature Range Using 1.0 mA Excitation	Maximum Scaled Resolution	Maximum Scaled Repeatability
Copper 426	10 Ω	Not allowed	-100 to 260°C (-148 to 500°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
Nickel 618 ⁽²⁾	120 Ω	-100 to 260°C (-148 to 500°F)	-100 to 260°C (-148 to 500°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.1°C (±0.2°F)
Nickel 672	120 Ω	-80 to 260°C (-112 to 500°F)	-80 to 260°C (-112 to 500°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.1°C (±0.2°F)
Nickel-Iron 518	604 Ω	-100 to 200°C (-148 to 392°F)	-100 to +200°C (-148 to 392°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.1°C (±0.2°F)
Platinum 385	100 Ω	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
	200 Ω	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
	500 Ω	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	0.1 °C (0.1 °F)	±0.2°C (±0.4°F)
	1000 Ω	-200 to 850°C (-328 to 1562°F)	Not Allowed	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
Platinum 3916	100 Ω	-200C to 630°C (-328 to 1166°F)	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
	200 Ω	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
	500 Ω	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)
	1000 Ω	-200 to 630°C (-328 to 1166°F)	Not Allowed	0.1°C (0.1°F)	±0.2°C (±0.4°F)

Al usar en el proyecto un RTD de Platino de 100Ω, nos encontramos en un rango de temperatura entre -200°C y 850°C, de tal manera que para este caso es bastante adecuado, y se tiene los datos correctos para continuar la calibración.

Una vez conectado el sensor al modulo, y este a su vez al PLC, se procede a calibrar el canal de entrada, mediante el software de programación RS-LOGIX500, se debe habilitar y calibrar el canal correspondiente al cual se hizo la conexión en el modulo de expansión.

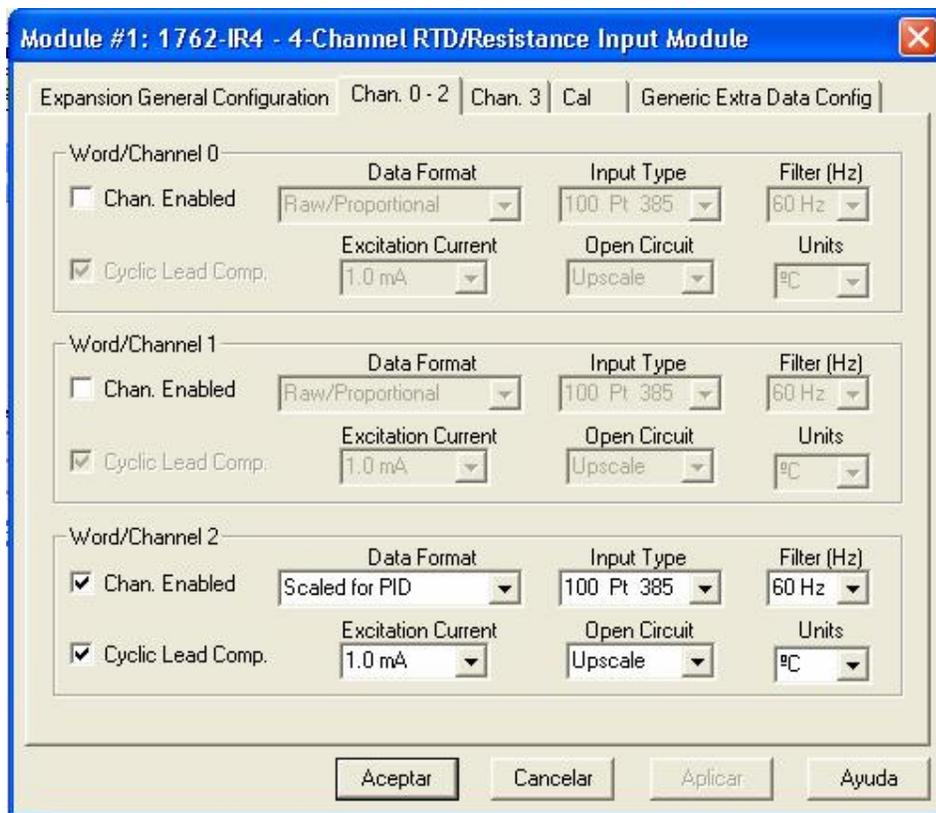


Figura 4.8 Canal de configuración

Por default, el canal viene con las siguientes características:

Tabla 4.2 Configuración por default del canal

Parameter	Default Setting
Channel Enable/Disable	Disable
Data Format	Raw/Proportional
Input/Sensor Type	100Ω Platinum 385
Temperature Units/Mode	°C (not applicable with Raw/Proportional)
Open/Broken Circuit Response	Upscale
Cyclic Lead Compensation	Enable
Excitation Current	1.0 mA
Input Filter Frequency	60 Hz

La esquematización de los datos a recibir, depende del formato de datos (Data Format) que se utilice, puesto que el sensor envía señales eléctricas que son convertidas en números legibles por el software, de esta manera el programa maneja varios tipos de formato de datos, los cuales arrojan un rango diferente de números, que posteriormente se deben escalar de manera adecuada

Tabla 4.3 Rango de lectura según formato de datos

RTD Input Type	Data Format						
	Engineering Units x1		Engineering Units x10		Scaled-for-PID	Proportional Counts	Percent of Full Scale
	0.1°C	0.1°F	1.0°C	1.0°F			
100Ω Platinum 385	-2000 to +8500	-3280 to +15620	-200 to +850	-328 to +1562	0 to 16383	-32768 to +32767	0 to +10000
200Ω Platinum 385	-2000 to +8500	-3280 to +15620	-200 to +850	-328 to +1562			
500Ω Platinum 385	-2000 to +8500	-3280 to +15620	-200 to +850	-328 to +1562			
1000Ω Platinum 385	-2000 to +8500	-3280 to +15620	-200 to +850	-328 to +1562			
100Ω Platinum 3916	-2000 to +6300	-3280 to +11660	-200 to +630	-328 to +1166			
200Ω Platinum 3916	-2000 to +6300	-3280 to +11660	-200 to +630	-328 to +1166			
500Ω Platinum 3916	-2000 to +6300	-3280 to +11660	-200 to +630	-328 to +1166			
1000Ω Platinum 3916	-2000 to +6300	-3280 to +11660	-200 to +630	-328 to +1166			
10Ω Copper 426	-1000 to +2600	-1480 to +5000	+100 to +260	-148 to +500			
120Ω Nickel 618	-1000 to +2600	-1480 to +5000	-100 to +260	-148 to +500			
120Ω Nickel 672	-800 to +2600	-1120 to +5000	-80 to +260	-112 to +500			
604Ω Nickel Iron 518	-1000 to +2000	-3280 to +3920	-100 to +200	-328 to +392			

Para el presente proyecto, se usara el formato de datos SCALED FOR PID, debido a que es un nivel de lectura bastante adecuado para manejar los rangos proporcionados por el sensor, al no existir la diferencia excedida entre

los límites, ubicando eficazmente la lectura del sensor para el propósito de este proyecto.

Formato de datos Scaled-For-PID

Para obtener un valor, el modulo escala el rango de señal de entrada en un rango lineal entre 0 a 16383, que es un algoritmo estándar para controladores MicroLogix.

El valor 0, corresponde al mas bajo valor de resistencia o temperatura, mientras que 16383 corresponde al mas alto valor, para el sensor utilizado, la tabla anterior arrojo una temperatura mínima de -200°C, este valor corresponde al valor 0 de la escala, mientras que la temperatura máxima, 850°C, corresponde al valor 16383 de la escala.

Tabla 4.4 Factores escalares

RTD	Scaled-For-PID
-200	0
850	16383

Debido a que la relación es lineal, podemos encontrar la recta correspondiente a la variación de señal

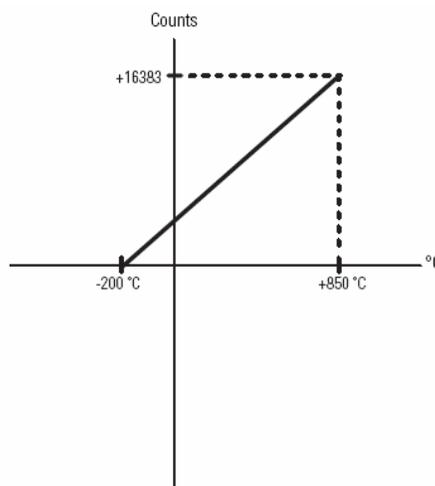


Figura 4.9 Relación lineal entre Temperatura y Cuentas PID

Para determinar la ecuación de la recta, correspondiente a la relación entre Cuentas PID y la temperatura, se utilizara la ecuación de la recta Punto-Pendiente:

Se tienen los dos puntos:

$$\begin{array}{ll} X_1 = -200 & X_2 = 850 \\ Y_1 = 0 & Y_2 = 16383 \end{array}$$

$$\text{Ecuación de recta:} \quad y = mx + b \quad (4.1)$$

Donde:

m = Tangente del ángulo

b = Desplazamiento desde el punto de origen

Hallamos m :

$$\begin{aligned} m &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} & (4.2) \\ m &= \frac{16383 - 0}{850 - (-200)} \end{aligned}$$

$$m = 15.6$$

Sustituyendo un punto de la recta, y la pendiente, hallamos b :

$$\begin{aligned} 0 &= 15.6(-200) + b \\ b &= 3120.6 \end{aligned}$$

Por lo que la ecuación de la recta es:

$$y = 15.6x + 3120.6 \quad (4.3)$$

Por lo tanto, manipulando los términos, la ecuación que determina la relación entre la Temperatura y Cuentas PID es:

$$T = 0.0641PID - 200 \quad (4.4)$$

El Software de Programación RS-Logix500, cuenta con una función de matemática avanzada la cual produce un valor de salida escalado, que tiene una relación lineal entre los valores de entrada y de escala, esta ecuación es la misma correspondiente a la ecuación de la recta, anteriormente desarrollada.

Para la calibración del sensor, así como para el programa de control, se usara esta función, contando con los mismos parámetros de máximos y mínimos ya descritos.

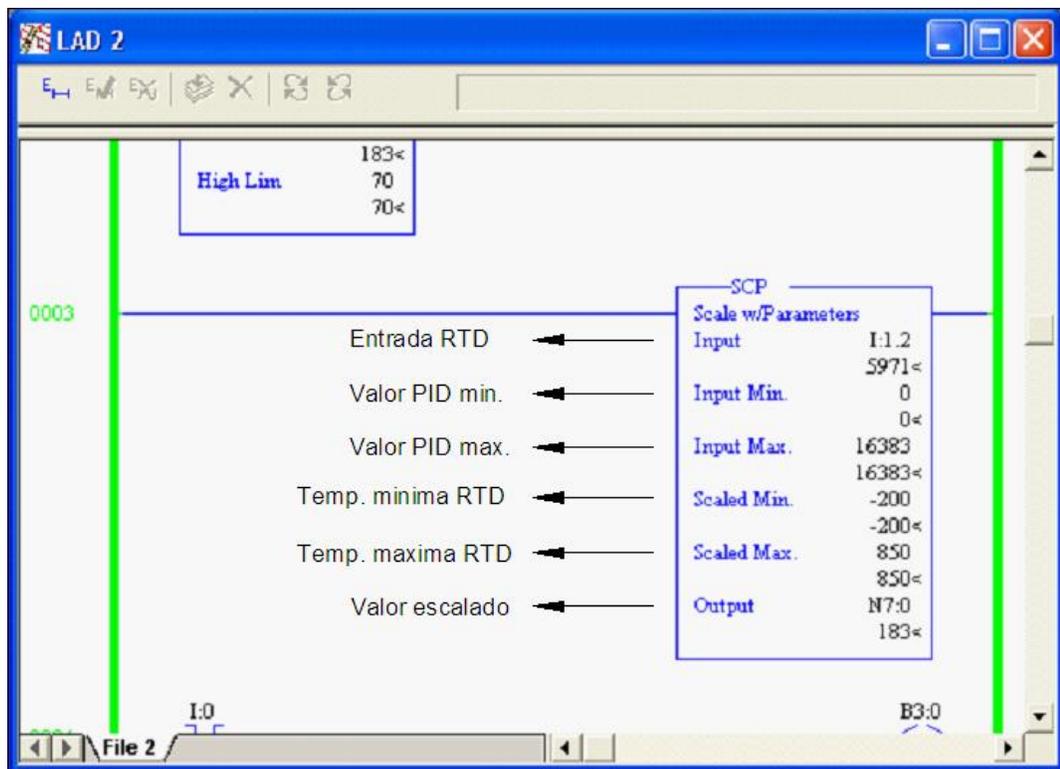


Figura 4.10 Programa de prueba y descripción de parámetros en función SCP para calibración RTD

Para comprobar la veracidad de los datos y que la temperatura registrada era la correcta, se procedió a realizar pruebas primero con una llama de fuego, para verificar que el sensor estaba registrando lectura.



Figura 4.11 Prueba de RTD con llama directa

Una vez que se ha comprobado el registro del sensor, se procede a realizar la prueba con una cantidad de agua a una determinada temperatura, y se la compara con el registro de un termómetro casero, realizando así el análisis correspondiente.

Tabla 4.5 Comparación de datos Termómetro - RTD

Lectura	Termómetro Casero (°C)	RTD (°C)	Error (°C)
1	34	33.4	0.6
2	36	35.8	0.2
3	39	39.2	-0.2
4	37	36.3	0.7
5	41	41.3	-0.3

Tomando el error mas critico de las lecturas se realiza el análisis porcentual del error.

$$\%error = \frac{37 - 36.3}{37} * 100 \quad (4.5)$$

$$\%error = 1.9$$

Por lo que se concluye que el sensor RTD de temperatura se encuentra totalmente funcional, en línea, y correctamente calibrado.

4.1.2.1 Instalación del sensor RTD de temperatura

Para la instalación del sensor de temperatura se procede a realizar el orificio en el tanque, para que mediante un neplo y un acople NPT se logre adaptar el sensor, de manera que el vástago se encuentre en total contacto con el fluido.

El correcto cableado es importante, debido a que un error podría llevar a la no detección de señal, convirtiéndose en un problema a la hora de verificar el funcionamiento del sistema, de manera que el diagrama antes descrito debe ser seguido con exactitud, y para un esquema más clarificado se puede consultar al Anexo E



Figura 4.12 Montaje de RTD en Tanque

4.1.3 Calibración y optimización de las luces piloto

Para el proyecto, dado que las salidas del PLC son salidas de 24Vdc, entonces se ha adquirido luces piloto en ese voltaje, con un valor añadido que es el de poseer tecnología LED, esto implica un mínimo consumo de corriente, específicamente 18mA.



Figura 4.13 Fotografía de luz piloto LED

La calibración de estos instrumentos consiste en la prueba de conexión directa, de modo que procedemos a la instalación de las luces con el PLC, siguiendo el siguiente esquema:

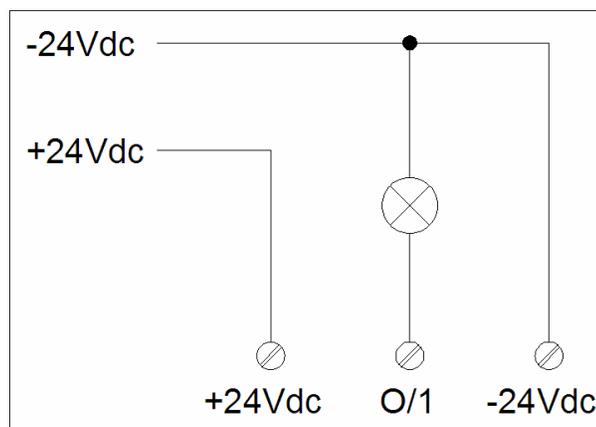


Figura 4.14 Diagrama de conexión de luz piloto en PLC

Una vez correctamente conectada la luz piloto en el PLC, se procede a diseñar un esquema simple en el software de programación, de tal manera que

sirva solamente para probar la funcionalidad del instrumento en cuestión. La figura 4.14 muestra el programa de prueba:



Figura 4.15 Programa de prueba para luz piloto

Este al ser un programa sencillo, permite por medio del software una calibración efectiva tanto del conjunto de señales de entrada en el sistema de control, como para las salidas, en este caso la luz piloto

Desarrollado el programa, la señal se transmite y la luz piloto se enciende, probando así la correcta calibración de este actuador.



Figura 4.16 Fotografía de luz piloto funcionando

4.1.3.1 Instalación de las luces piloto

Cuando las luces se encuentran funcionando, y están debidamente probadas, la instalación se basa en el mismo diagrama eléctrico descrito

anteriormente. Respecto a la instalación en el panel de control, se debe realizar los orificios para empotrarlos generalmente en la compuerta, según la configuración deseada.



a) Parte posterior



b) Parte Frontal

Figura 4.17 Disposición de luces e interruptores en la puerta del tablero de control

4.1.4 Calibración y optimización de Reles

El relé es un actuador electromecánico que permite conectar y desconectar una carga relativamente grande mediante una potencia eléctrica relativamente pequeña.

Además, el circuito de control y el de potencia están aislados eléctricamente, por lo que se puede comandar una carga de alterna con continua y viceversa y se puede utilizar diferentes voltajes.

En este caso se maneja 24Vdc, para alimentar la bobina, es por eso que el rele adquirido tiene esa especificación, por lo que su calibración parte de alimentar un circuito simple con 24Vdc hacia la bobina del rele.

En su estado normal, es decir, sin alimentar el voltaje a la bobina el terminal central tiene continuidad con "NC", cuando se alimenta la bobina el contacto hace que la lamina haga contacto entre el terminal central y ahora con el "NA", entonces la conmutación de las salidas dependerán de que se alimente la bobina, esto es útil especialmente para el accionar de la

electrovalvula puesto que con o sin energización de la bobina se manipulan los dos estados para el control. Se procede entonces a realizar la prueba de calibración y funcionamiento con un circuito simple en el PLC posteriormente un programa simple.

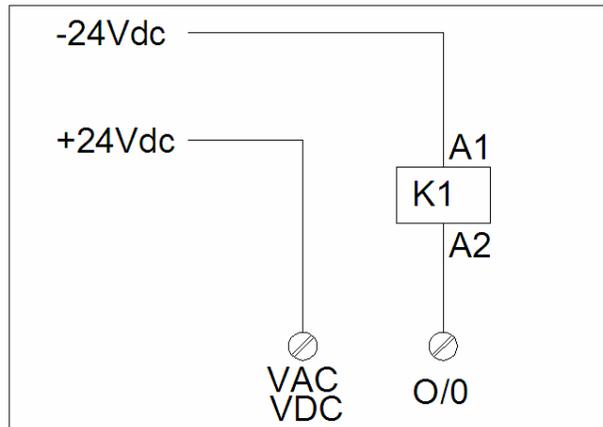


Figura 4.18 Diagrama de conexión para rele en PLC

De modo que se puede comprobar su funcionalidad incluso verificando el movimiento de los terminales dentro del relé, en este caso, para el relé FINDER, una luz indicativa dará la señal de que el instrumento se encuentra en funcionamiento y estado óptimo.



Figura 4.19 Fotografía de rele funcionando

4.1.4.1 Instalación de Reles

Los relés adquiridos, al igual que toda la instrumentación ubicada dentro del panel, están configurados para acoplar en un Riel DIN EN50022-35x7.5, de manera que se los debe ubicar en su respectiva posición. La conexión ha sido detallada anteriormente, por lo que al seguir el diagrama, y los planos de conexión se lograra una correcta instalación.



Figura 4.20 Fotografía de Relés montados e instalados en el tablero de control

4.1.5 Calibración e instalación de pulsadores

Para la prueba de funcionamiento del switch de encendido, así como del botón de emergencia, basta una simple inspección de continuidad, la cual se realiza con un multímetro, de igual manera se verifica el correcto estado de las dos posiciones en el caso del interruptor, y el resorte y la maniobrabilidad del botón de emergencia.

Una vez realizadas estas pruebas se los monta e instala de igual manera en la puerta del tablero de control, realizando orificios y sujetándolos de manera segura, para posteriormente realizar el cableado.

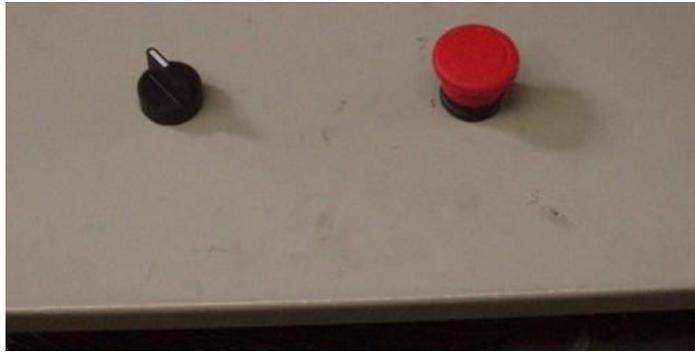


Figura 4.21 Switch on-off y botón de emergencia montados en el tablero

4.2 Implementación de la señalización y seguridad

La señalización es el conjunto de estímulos que informa a un trabajador o a un individuo, acerca de la mejor conducta que debe adoptar ante una circunstancia o en este caso ante un conjunto de mandos. El sistema de señalización adoptado para este proyecto se basa en rótulos de señal e información.

A continuación se muestra la tabla descriptiva del elemento a señalar conjuntamente con su respectiva etiqueta.

Tabla 4.6 Señalización de elementos

ELEMENTO	ROTULO
Switch on-off	Iniciar
Botón Emergencia	Parar Proceso
Luz Válvula	Válvula Abierta
Luz Resistencia	Resistencia Encendida
Rele de la Válvula	Válvula
Rele de la Resistencia	Resistencia
Breaker	Control Master



Figura 4.22 Representación de la señalización en el botón de emergencia

Respecto al tema de seguridad, electrónicamente hablando, se impone en la programación del sistema de control varias líneas que corresponden a manejar situaciones emergentes, en cuyo caso el programa detendrá el proceso, y alertara a los operarios que ocurrió un fallo, es por eso la existencia de la luz led de alarma.

Además de ello existe el tercer sensor de nivel, es el instrumento físico de seguridad que es explícitamente usado para actuar en caso de alarma, específicamente un posible derrame de combustible.

4.3 Instalación y carga del programa en el sistema de control

4.3.1 Instalación del sistema y ensamble del tablero de control

Una correcta instalación y una correcta construcción del tablero de control influirán directamente en el desempeño de los componentes, debido a que son instrumentos electrónicos delicados y se debe tener en cuenta ciertos parámetros.

Uno de los parámetros principales, se centra en extender la correcta ventilación que requieren los instrumentos electrónicos, para lo cual se ha adquirido un tablero de 40x40x20 cm, el cual proporciona un espacio suficiente para el correcto funcionamiento de los componentes.

El controlador debe montarse con un espacio mínimo de 50mm por todos los lados¹, exceptuando el lado derecho que será destinado para montar los módulos de expansión.

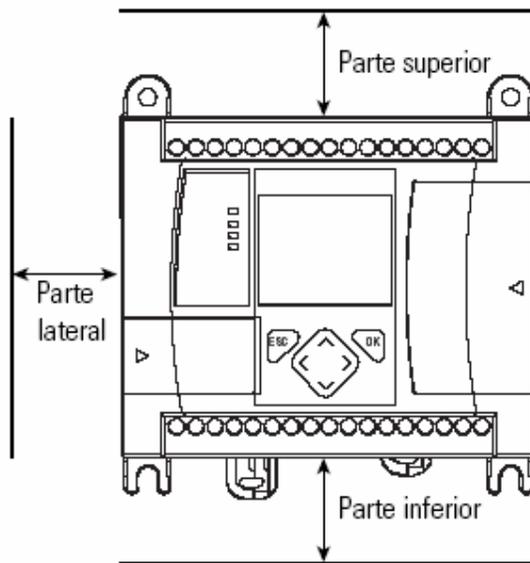


Figura 4.23 Separación entre controladores

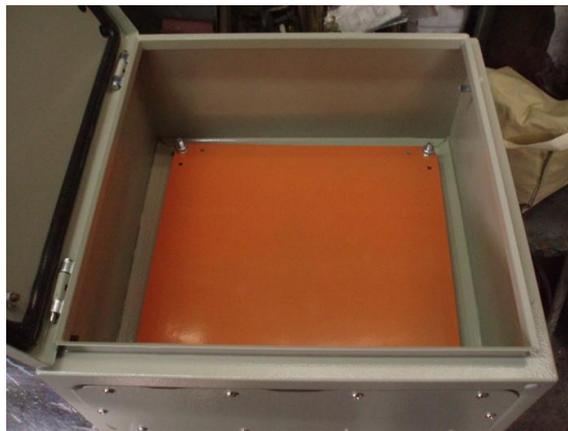


Figura 4.24 Tablero de control vacío

¹ Dimensiones obtenidas según catalogo

4.3.1.1 Montaje del controlador

El controlador debe montarse horizontalmente de modo que el módulo de expansión este situado a la derecha. El lado contrario se debe dejar libre, para una correcta ventilación. El controlador puede montarse en rieles DIN EN50022-35x7.5 o EN50022-35x15.



Figura 4.25 Rieles DIN EN50022-35x7.5

Para conectar el módulo de expansión 1762-IR4, después de montar el controlador se debe retirar la cubierta del puerto de expansión, conectar el cable plano en el conector del bus y volver a colocar la cubierta como se muestra en la siguiente figura

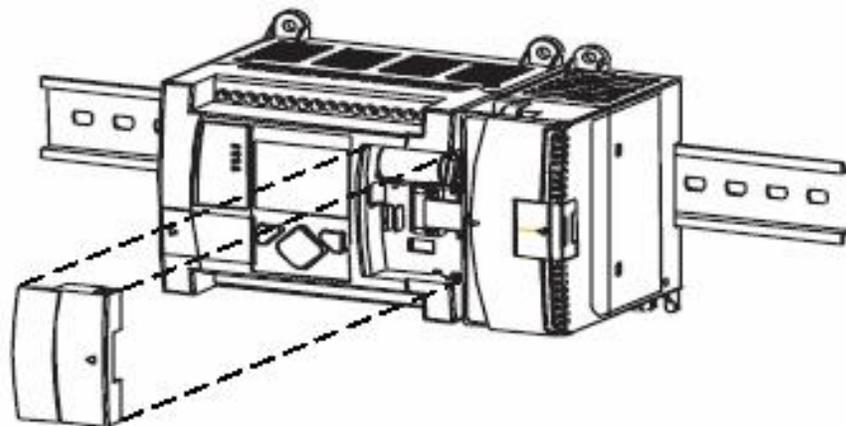


Figura 4.26 Montaje del modulo de expansión 1762-IR4



Figura 4.27 Sistema de control montado en riel DIN

El montaje subsiguiente de los demás elementos del tablero se basan en el mismo sistema, para el presente proyecto, se han montado dos rieles DIN, de tal modo que en el primer riel se distribuya el sistema de control con la fuente, y en el segundo riel DIN se montaran los fusibles borneras y actuadores rele, como se puede apreciar en la figura 4.26, al centro de la lamina del tablero se extiende una canaleta para los cables de conexión



Figura 4.28 Disposición de elementos en el tablero de control

Para el cableado del sistema, se ha utilizado cable AWG#18 negro, siendo este un cable eficiente para manejar la tensión requerida además de disponer el diámetro adecuado para los bornes de los elementos usados.

4.3.2 Comunicación PC - PLC

El software de comunicación RS-Linx, permite comunicar al PC con el controlador, para lo cual se emplea el cable 1761-CBL-PM02 (Ver Anexo G), para luego continuar con la comunicación:

1. Abrir RS-Linx y configurar drivers

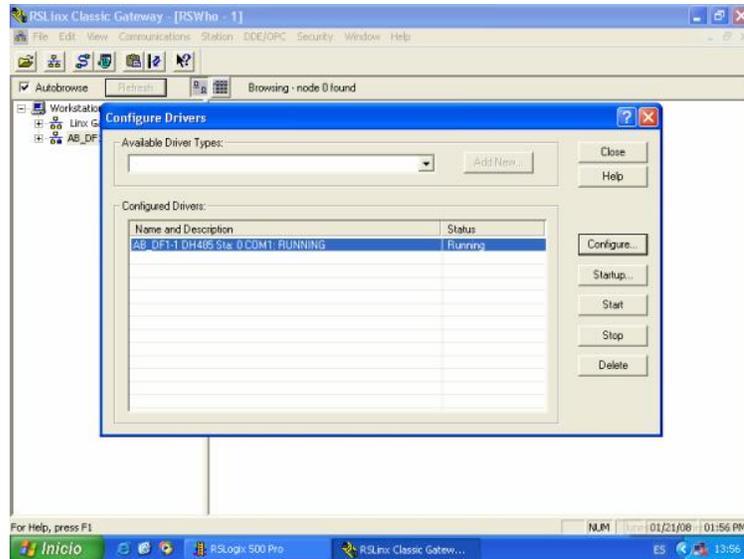


Figura 4.29 Pantalla para configurar equipos RS-Linx

2. Autoconfigurar drivers

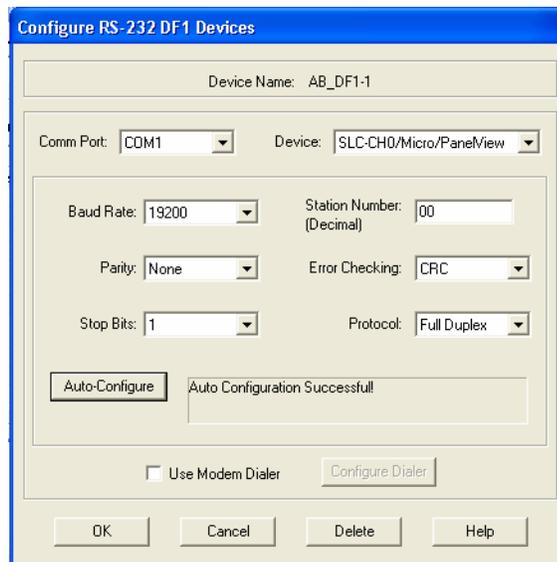


Figura 4.30 Autoconfiguración RS-linx

3. Verificar si el PLC es admitido



Figura 4.31 PLC Micrologix 1100 en línea

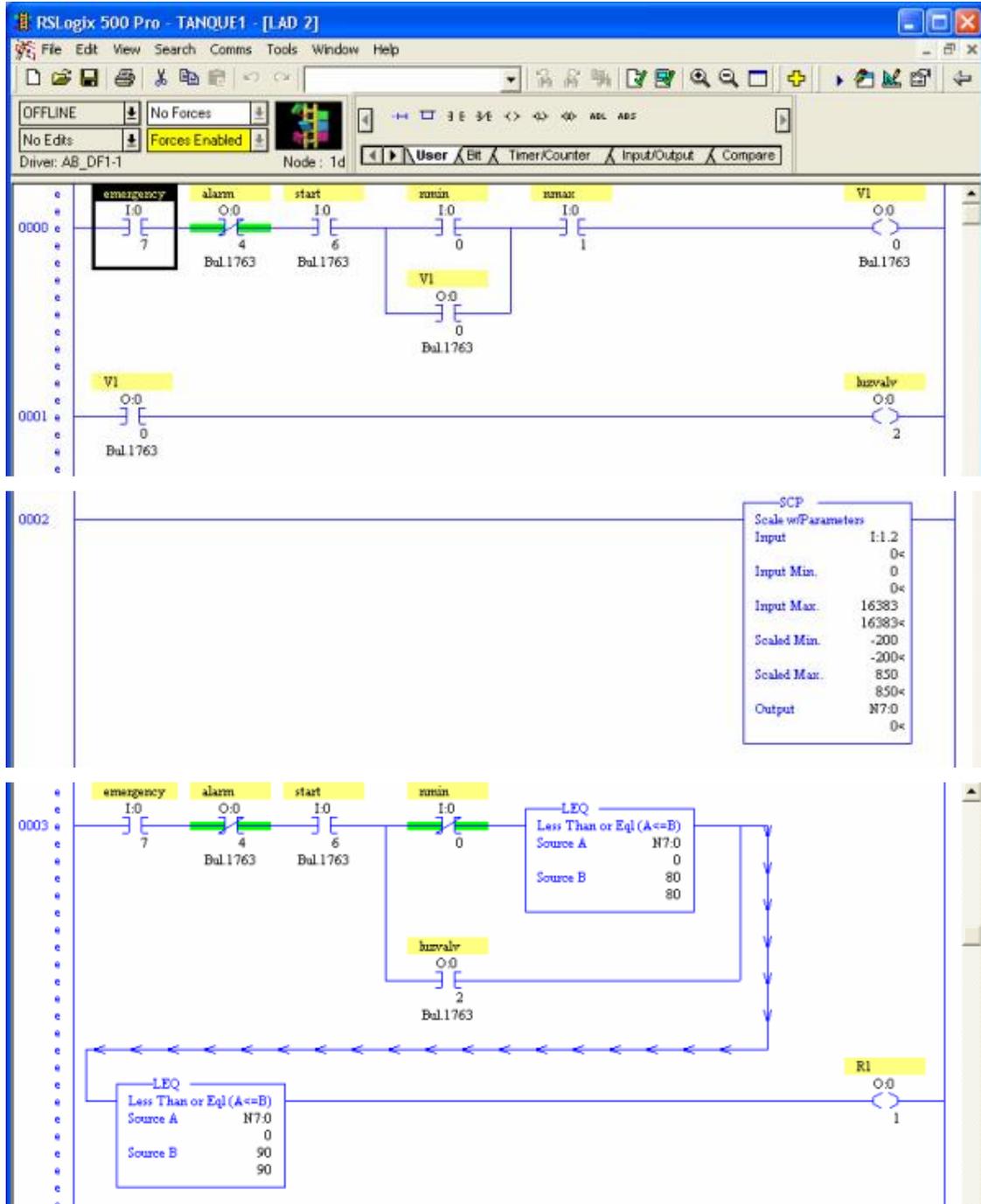
4.3.3 Carga del programa de control

Una vez que el PLC se encuentra en línea, se procede a la programación en el software RS-Logix500, el cual maneja el sistema de lenguaje escalera (KOP)

En el capítulo anterior, se procedió a desarrollar el programa de control en el software de programación Micro-Win, en el cual se configura de manera diferente una entrada analógica, en este caso la entrada del RTD, al configurar valores directamente numéricos en el canal de entrada. El software RS-Logix500 maneja un sistema parecido pero mucho más utilitario ya que permite escalar el valor de la señal del RTD y convertirlo directamente en el valor, la escala y las unidades que el usuario desea

Es así que se ha trasladado a este software el programa de control descrito en el capítulo anterior, dicho programa es aquel que controlara todo el proceso en cuestión

Programa: Tanque1



Programa: Tanque1 (Continuación)

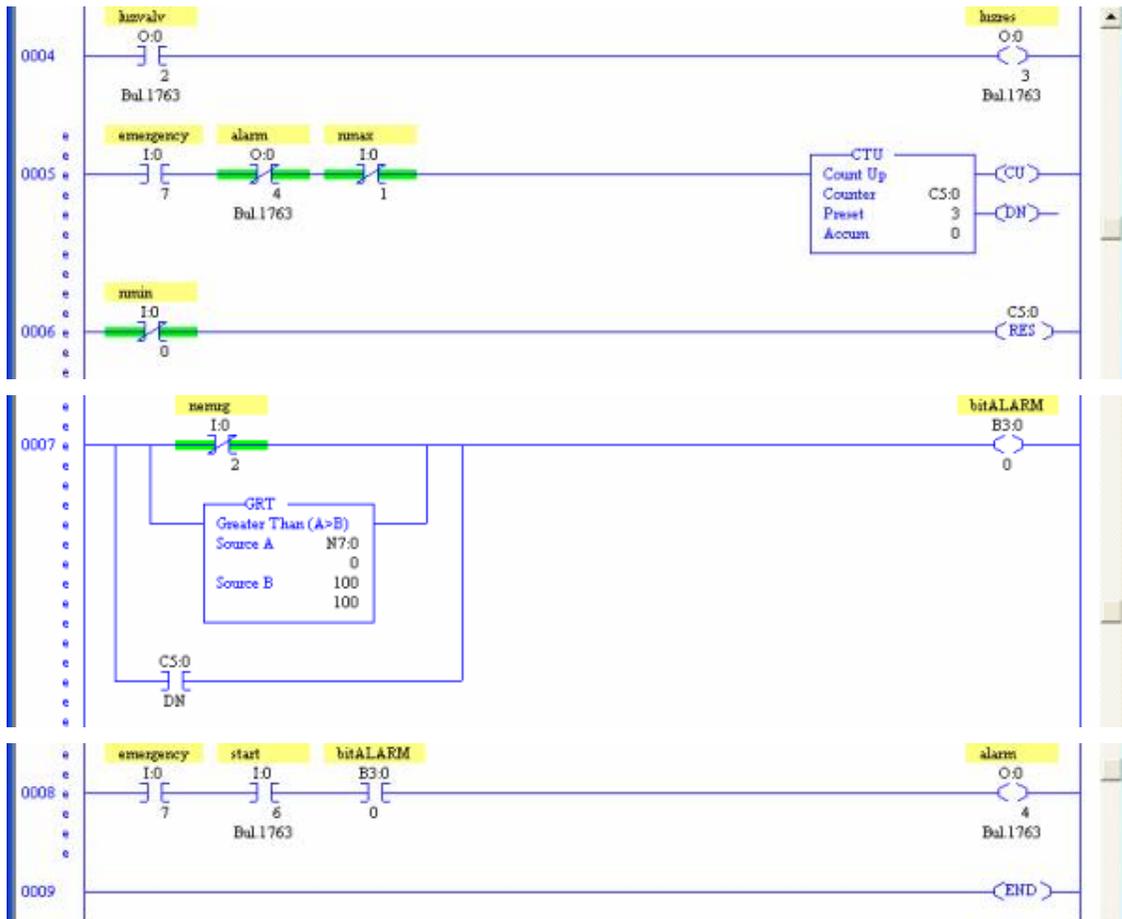


Figura 4.32 Programa de control del sistema en RS-Logix500

4.4 Instalación de accesorios adicionales

En cuanto a accesorios adicionales a emplear en el sistema de control, se ha decidido tomar el tema de seguridad eléctrica, es así que adicionalmente al breaker master de energización, se ha dispuesto el uso de tres fusibles de 20A y 500V, para cada una de las líneas de alimentación de corriente alterna de la empresa, es así que brindamos una protección adicional al sistema de posibles sobrecargas eléctricas.

CAPITULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Prueba de la Instrumentación

Pese a que toda la instrumentación del proyecto ha sido previamente probada en la calibración y optimización, se ha realizado un plan de pruebas el cual consiste en detallar cada uno de los componentes y verificar su correcto funcionamiento.

Cabe recalcar, que todas las pruebas realizadas al sistema contaron con la presencia del Ing. Nelson Tello, Gerente Administrativo, y el Sr. Omar Calvopina, Jefe de Mantenimiento de la empresa.

A continuación se detalla la tabla de incidencias para la prueba de la instrumentación

Tabla 5.1 Pruebas a la instrumentación

Item	Instrumento Probado	Prueba Física		Prueba Eléctrica	
		Optimo	Falla	Optimo	Falla
1	Switch on-off	X		X	
2	Botón Emergencia	X		X	
3	Sensores de nivel	X		X	
4	RTD	X		X	
5	Breaker	X		X	
6	Fusibles	X		X	
7	Reles	X		X	
8	Válvula	X		X	
9	Resistencia eléctrica	X		X	

Por lo tanto la instrumentación se encuentra probada, y aprobada por las autoridades competentes dentro de la empresa.

5.2 Prueba del sistema de control

Para las pruebas del sistema de control se ha establecido una serie de eventos que debe cumplir el controlador, esto es dar una respuesta a las entradas dadas, por medio de programas simples.

Además de ello las respectivas pruebas físicas tales como encendido, apagado, prueba de pantalla, luces etc.

Tabla 5.2 Pruebas físicas al sistema de control

Item	Prueba	Optimo	Fallo
1	Energizacion	X	
2	Luces	X	
3	Pantalla	X	
4	Botones	X	
5	Modulo	X	

Tabla 5.3 Pruebas Electrónicas al sistema de control

Item	Prueba	Optimo	Fallo
1	Respuesta señales de entrada	X	
2	Respuesta salidas	X	
3	Detección señal del modulo	X	

De igual manera, no existe novedad con el sistema de control, y se concluye además que se encuentra correctamente conectado y cableado

5.3 Prueba general del sistema

Para el test final y total del sistema, se puso en funcionamiento el control, debiendo este cumplir 3 ciclos completos y seguidos, si no existen anomalías, los sistemas de emergencia no serán probados, solamente el botón emergente, para comprobar el paro general del proceso.

Tabla 5.4 Prueba general al sistema

Ciclo	Prueba	Observación
1	Apertura de válvula	Normal
	Señal de nivel mínimo	Detectada
	Señal de nivel máximo	Detectada
	Temperatura	Incrementando
	Cerrado de válvula	Normal
2	Apertura de válvula	Normal
	Señal de nivel mínimo	Detectada
	Señal de nivel máximo	Detectada
	Temperatura	Incrementando
	Cerrado de válvula	Normal
3	Apertura de válvula	Normal
	Señal de nivel mínimo	Detectada
	Señal de nivel máximo	Detectada
	Temperatura	Excede el rango, apagado de resistencia
	Cerrado de válvula	Normal

Para detener el sistema se utilizo el botón de emergencia, y funciono correctamente apagando la resistencia, y cerrando la válvula, deteniendo todo el proceso hasta deshabilitar el pulsador.

Por medio de las pruebas realizadas, y al comprobar el funcionamiento correcto del sistema, las personas encargadas de recibir el proyecto procedieron a firmar la carta de satisfacción dispuesta en el Anexo L.

CAPITULO 6

ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

6.1 Análisis Económico

El presente proyecto está destinado a brindar un control de manejo de combustible de un tanque de almacenamiento, para lo cuál se hizo un análisis de las necesidades en cuanto a equipos y accesorios necesarios para una correcta gestión e instalación.

La inversión que se presenta en este capítulo tiene la finalidad de presupuestar el diseño e implementación un sistema de control automático que trabaje a su máxima eficiencia cumpliendo con los objetivos del proyecto.

Para obtener una correcta inversión se elaboró un minucioso diseño además de una correcta selección del equipo, accesorios y demás.

6.1.1 Determinación de Costos

Para un correcto análisis económico y financiero se detallaran a continuación los parámetros más relevantes e importantes, los cuales son:

- Costos de materiales y componentes directos

Son todos los materiales, instrumentos, componentes, que intervienen directamente y formaran parte del sistema de control

- Costos de mano de obra directa

Se entiende por el costo que representa la implementación y la puesta en marcha del sistema por la fuerza de trabajo de una o mas personas

- Costos de materiales y componentes indirectos

Son todos los materiales, instrumentos, componentes, que no intervienen directamente y no formaran parte del sistema de control

- Costos de mano de obra indirecta

Se entiende por el costo que representa la fuerza de trabajo de una o mas personas pero no intervienen específicamente en la implementación y puesta en marcha del sistema

- Imprevistos

Es un valor adicional a considerar si en el transcurso de la implementación fuera necesario algún gasto no contemplado en el presupuesto establecido, para el presente proyecto se dispondrá de aproximadamente un 10% del presupuesto general

6.1.1.1 Costos de materiales y componentes directos

Para la correcta instalación e implementación del sistema, y poder cumplir con los objetivos propuestos se necesita de los siguientes materiales:

Tabla 6.1 Listado de materiales y componentes

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	PLC Micrologix 1100 1763-L16BBB 24Vdc	1	635.04	635.04
2	Fuente poder SIEMENS LOGO! Power DC 24V/2.5A	1	95.00	95.00
3	Cable de comunicación 1761-CBL-PM02	1	75.00	75.00
4	Módulo de expansión RTD/Resistance Module 1762-IR4	1	490.50	490.50
5	Software de programación RS-Logix500 + Licencia	1	0.00	0.00
6	Relé Finder 24 VDC conmutable a 7A-250VAC	2	8.00	16.00
7	RTD Pt-100 3 hilos 6" lrg	1	35.00	35.00
8	Válvula Solenoide 5/2 24 Vdc	1	60.00	60.00
9	Luz piloto Telemecanique ZBV-B3, 24Vdc 18mA LED	3	2.85	8.55

10	Fusible 10*38 20A, 500V	3	0.24	0.72
11	Breaker P/Riel 32A	1	0.30	0.30
12	Portafusible de 10*38 Gold-Camsco	3	1.55	4.65
13	Sensor de nivel Madison 5000	3	93,99	93,99
14	Bornera Legrand	16	0.85	13.6
15	Selector 2 posiciones maneta corta 22M	1	1.68	1.68
16	Pulsador emergencia Hongo con retención	1	2.35	2.35
17	Gabinete metálico 40x40x20	1	54.40	54.40
18	Cable flexible #18	100m	0.28	28.00
19	Remaches PDR 3/4	10	0.02	0.20
20	Amarras plásticas 10cm	100	0.005	0.50
21	Canaleta Ranurada gris 25x25	1	3.1	3.1
22	Cinta Type	2	0.63	1.26
23	Riel DIN EN50022-35x7.5	1	1	2.00
24	Cable blindado para RTD	7 m	0.95	6.65
Total				1534.50

6.1.1.2 Costo de Mano de Obra Directa

Tabla 6.2 Remuneración a estudiante

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	Sr. Fabricio Mantilla	1	500,00	500,00
Total				500,00

6.1.1.3 Costo de materiales y componentes indirectos

Tabla 6.3 Costo de insumos

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	Alambre de timbre	2m	0,20	0,40
2	Termómetro de mercurio uso domestico	1	3,75	3,59
3	Velas	1	0,15	0,15
Total				4,14

Tabla 6.4 Misceláneos

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	Transporte	-	50,00	50,00
2	Suministros de oficina	-	5,00	5,00
Total				55,00

6.1.1.4 Costo de mano de obra indirecta**Tabla 6.5** Remuneración a profesionales y no profesionales

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	Director de Tesis	30h	15,00	400,00
2	Codirector de Tesis	20h	15,00	300,00
3	Operarios de Taller	24h	2,06	49,66
Total				749,66

6.1.1.5 Imprevistos**Tabla 6.6** Imprevistos

Ítem	Denominación	Cant.	P. Uni. (USD)	P. Total (USD)
1	Imprevistos	-	150,00	150,00
Total				150,00

6.1.2 Costo Total del Proyecto

El costo total del proyecto, resulta de la sumatoria de todos los costos antes mencionados:

Tabla 6.7 Costo del proyecto

Ítem	Denominación	Costo (USD)
1	Costo de materiales y componentes directos	1534,50
2	Costo de mano de obra directa	500,00
3	Costo de materiales y componentes indirectos	4,14
4	Costo de mano de obra indirecta	749,66
5	Misceláneos	55,00
6	Imprevistos	150,00
Total		2993,30

6.1.3 Depreciación

Para el cálculo de la depreciación del sistema de control se tomará en cuenta lo siguiente:

- Se establece la depreciación por tasa constante, puesto que es un método sumamente aproximado a la realidad
- Numero de años de vida útil del equipo: $n = 20$ años
- Valor inicial del equipo: $V_0 = 2993.30$ USD
- Valor final del equipo: $V_r = 1000.00$ USD

Ahora se procede a calcular la tasa de depreciación

$$\phi = 1 - \sqrt[n]{\frac{V_r}{V_0}} \quad (6.1)$$

$$\phi = 1 - \sqrt[20]{\frac{1000}{2993.30}} \quad \phi = 0.066$$

Por lo tanto, la depreciación del periodo ai es:

$$ai = \phi * V_{(i-1)} \quad (6.2)$$

Donde V_i es el valor final del periodo

A continuación se detalla la tabla para el número de años de vida útil en relación a la depreciación del proyecto

Tabla 6.8 Depreciación

Años	ai (USD)	Vi (USD)
0	-	2993.30
1	199.82	2793.47
2	186.48	2606.98
3	174.03	2432.94
4	162.41	2270.52

5	151.57	2118.94
6	141.45	1977.48
7	132.01	1845.46
8	123.20	1722.25
9	114.97	1607.30
10	107.30	1500

El método de depreciación por tasa constante es el ideal para cuantificar la forma proporcional con la que va decreciendo el valor de un activo sin tomar en cuenta el tiempo de producción, sino el deterioro de los componentes, así como el avance tecnológico que produce el desgaste funcional de los equipos.

6.2 Análisis Financiero

La realización de un estudio financiero es importante por cuanto permite determinar la rentabilidad del proyecto en cuestión, y ésta viene dada por la magnitud de los beneficios netos que la empresa obtendría con referencia a la inversión realizada para la implementación de un sistema automático de control.

Para determinar el beneficio del proyecto se emplean ciertos indicadores, los cuales son: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retoro (TIR) y también se realiza el análisis costo beneficio. Además para realizar los cálculos se hace necesario estimar previamente cual sería el flujo neto de caja (FNC) para este proyecto.

6.2.1 Estimación del flujo neto de caja

A continuación se detallará el flujo neto de caja del proyecto, para un horizonte de evaluación de 10 años, lo cual representa la proyección de los ingresos y egresos de caja para el periodo mencionado.

La ecuación para determinar el flujo neto de caja es la siguiente:

$$FNC = \sum \text{ingresos} - \sum \text{egresos} \quad (6.3)$$

6.2.1.1 Ingresos

Los ingresos generados por parte del proyecto corresponden al dinero salvado de los derrames de combustible y multas al personal encargado, dinero que ya no se pierde e ingresa directamente a la caja de la empresa.

Para determinar el crecimiento de la empresa, se investigó los parámetros financieros y las bases con la que la empresa trabaja, conjuntamente con un pequeño incremento en el costo del combustible bunker, de esta manera, todo ello significó un índice de crecimiento del 10% que se utilizara para el cálculo.

A continuación se mencionan los parámetros a usar:

Costo del galón de bunker: 0.68

Galones promedio perdidos por incidente: 50

Número promedio de incidentes anuales: 9

Costo anual por incidentes: 306

Costo de multa por incidente al operario: 40 USD

Costo anual de multas: 360 USD

Tabla 6.9 Ingresos

Períodos en Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Salvamento por derrames	0,00	306,00	336,60	370,26	407,28	448,01	492,81	542,09	596,30	655,93	621,53
Salvamento por multas	0,00	360,00	396,00	435,60	479,16	527,07	579,78	637,76	701,53	771,69	848,86
Costos totales	0.00	666.00	732.6	805.86	886.44	975.08	1072.59	1179.85	1297.83	1427.62	1470.39

6.2.1.2 Egresos

La inversión para la ejecución del plan se la va a realizar a través de un desembolso de dinero por parte de la empresa Procesos & Colores, interesada en implementar el presente proyecto para la automatización de su tanque de almacenamiento de combustible.

Los costos por consumo de energía del sistema se basan en datos reales de rubros proporcionados por la Empresa Eléctrica vigentes en el año en curso, y para el cálculo se tomaran en cuenta los componentes que ingresan a formar parte del consumo de energía de la empresa por causa del presente proyecto. Además de tomar un régimen de incremento de costos del 3% anual basándonos en datos de costos de años anteriores

A su vez, se ha estimado incluir una depreciación anual de 150 USD para equipos y sistemas de automatización

Para el cálculo de consumo energético se muestra a continuación la tabla correspondiente a la carga de potencia de los componentes que involucran el estudio económico

Tabla 6.10 Consumo de energía

Ítem	Componente	Cant.	Consumo Unitario (W)	Consumo Total (W)	
1	PLC Micrologix	1	35	35	
2	Modulo RTD	1	1.2	1.2	
3	Luz Piloto	3	0.432	1.3	
4	Electrovalvula	1	5.4	5.4	
				Total	42.9

Periodo de trabajo: 24 horas/día

$$\text{Consumo eléctrico diario} = 0.0429 \text{KW} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \quad (6.4)$$

$$\text{Consumo eléctrico diario} = 1.03 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}}$$

Con un costo del kilowatt-hora vigente al año en curso de 0.15 USD

$$\text{Costo eléctrico diario} = 1.03 \frac{\text{KWh}}{\text{dia}} * 0.15 \frac{\text{USD}}{\text{KWh}} \quad (6.5)$$

$$\text{Costo eléctrico diario} = 0.16 \frac{\text{USD}}{\text{dia}}$$

Con un régimen de 26 días al mes, 12 meses al año tendremos entonces que el consumo anual es:

$$\text{Costo anual energético} = 0.16 \frac{\text{USD}}{\text{dia}} * 26 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} \quad (6.6)$$

$$\text{Costo anual energético} = 49.92 \text{ USD}$$

A continuación se muestra una tabla descriptiva de los egresos generados por el sistema en un lapso de 10 años

Tabla 6.11 Egresos

Períodos en Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	2993,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciación	0,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Costo Energía	0,00	49,92	51,41	52,96	54,54	56,18	57,87	59,60	61,39	63,23	65,13
Costos totales	2993.30	199.92	201.41	202.96	204.54	206.18	207.87	209.6	211.39	213.23	215.13

Flujo Neto de Caja

Tabla 6.12 Flujo de Caja

Período	Σ Ingresos	Σ Egresos	FNC (USD)
0	-	2993.30	-2993.30
1	666.00	199.92	466.08
2	732.60	201.41	531.19
3	805.86	202.96	602.90
4	886.84	204.54	681.90
5	975.08	206.18	768.90
6	1072.59	207.87	846.72
7	1179.85	209.60	970.25
8	1297.83	211.39	1086.44
9	1427.62	213.23	1214.39
10	1470.39	215.13	1255.26

6.2.2 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El Valor actual neto mide la rentabilidad deseada posteriormente a haber recuperado toda la inversión. Para ello se debe calcular el valor actual de todos los flujos futuros de cajas, proyectados a partir del primer periodo de operación, menos la inversión total detallada en el momento cero.

Para que la empresa gane con el proyecto se debe alcanzar un resultado del VAN mayor que cero, esto implica que se recuperará la inversión, y estará sobre la tasa “*i*” que exija de retorno el proyecto.

El Valor Actual Neto surge de sumar los flujos de fondos actualizados de un proyecto de inversión, mide la riqueza que aporta el proyecto medida en moneda del momento inicial.

La regla de decisión es la siguiente: Aceptar los proyectos con $VAN > 0$, o rechazar los proyectos con $VAN < 0$. Es indiferente aceptar o rechazar los proyectos con $VAN = 0$

El VAN se obtiene de la siguiente expresión:

$$VAN : -Inversión + \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn}{(1+i)^n} \quad (6.7)$$

Donde:

FNC: Flujo Neto de Caja para cada año

i : Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Para el cálculo del TMAR se tiene la siguiente fórmula:

$$TMAR = i_f + i_r \quad (6.8)$$

Donde:

i_f = Inflación

i_r = Porcentaje de riesgo

En promedio un proyecto normal oscila entre un 5 a 8% de riesgo según la bibliografía consultada, para el presente proyecto se ha tomado el valor de 7% para los cálculos, como un valor intermedio de riesgo. Del mismo modo según consulta a la información provista de la página oficial del INEC, la inflación anual hasta el mes de Diciembre del 2008 es del 8.8%.

Por lo tanto el TMAR es:

$$TMAR = i = 7\% + 8.8\% = 15,8\%$$

Entonces con el flujo de caja calculado al periodo de 10 años el Valor Actual Neto es:

$$\text{VAN} = 3114.35 \text{ USD}$$

6.2.3 Calculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno constituye un segundo criterio de evaluación, que permite medir la rentabilidad como porcentaje. La máxima tasa que se puede exigir al proyecto es aquella que haga que el VAN sea cero y esta deberá ser superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento.

La regla de decisión es la siguiente, aceptar los proyectos con $TIR > TMAR$, siendo TMAR el coeficiente previamente definido.

La ecuación para poder determinar el TIR viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Inversión} = \frac{FNC1}{(1+i)^1} + \frac{FNC2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNCn+VR}{(1+i)^n} \quad (6.9)$$

Donde:

FNC: Flujo Neto de Caja

VR: Valor recuperado del bien

De igual manera, mediante el flujo neto de caja calculado para 10 años la Tasa Interna de Retorno es:

$$\text{TIR} = 21\%$$

Como se puede observar en los cálculos, el valor del VAN es superior a 0, de igual manera el índice TIR es mayor que el TMAR ($21 > 15.8$), por lo tanto se puede determinar que el proyecto es rentable y por consiguiente es acertada su aprobación.

6.3 Análisis Costo-Beneficio

Para Procesos & Colores es fundamental la solución del problema en su tanque de almacenamiento, lo cual implica detener los derrames de combustible, o perdidas negras, lo que supone el ahorro indispensable de dinero que por las causas mencionadas hasta ahora se ha perdido.

Haciendo el balance económico de perdidas negras, el costo anual por derrames, y multas al personal encargado asciende actualmente a 660 USD, ahora, comparándolo con el costo del proyecto resulta infinitamente beneficioso para la empresa puesto que la inversión se recuperara, además de que el sistema es fácilmente reutilizable, eficiente, y duradero, para cualquier proceso que la empresa necesite, por lo tanto, es una inversión muy bien realizada.

En un segundo plano, se ha realizado un estudio comparativo de precios, poniendo a disposición otra cotización del proyecto. La empresa SIEMENS, con su distribuidor autorizado INASEL ha valorado el proyecto, arrojando los siguientes costos:

Costo de Componentes y Materiales (Ver Anexo H):	3348,74USD
Costo de Mano de Obra e Ingeniería:	1000,00USD
Costo Total INASEL:	4348,74USD

Observando los costos que implicaría a la empresa realizar el presente proyecto por contratación, es claro, que el prototipo de proyecto de grado realizado es totalmente económico y justifica enteramente el beneficio adquirido.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Para cumplir con los objetivos de simulación computarizada, se utilizó el software de programación Micro-Win de Siemens, con su simulador S7-200, de ese modo se pudo visualizar de manera efectiva el comportamiento del programa antes de la implementación real
- La calibración del RTD consta de dos partes esenciales, el correcto cableado y el correcto escalamiento, al usar los factores Scaled-For-PID en la configuración del canal del módulo analógico se logra un rango adecuado compatible con el rango de temperatura que comprende el sensor.
- Los sensores de nivel brindan una efectiva captación de señal en un ambiente agresivo, así como el cumplimiento de su función al manejar un rango de trabajo para el fluido
- El sensor de nivel emergente se lo ha colocado con el fin de evitar el derrame de combustible, sin embargo, la posible situación de fallo por parte de los sensores de nivel mínimo y máximo se considera despreciable.
- Para el cableado del tablero se utilizó cable AWG#18, debido a que su calibre es adecuado para sistemas de cableado electrónicos y de poco voltaje.
- El sistema cuenta con la utilización de luces piloto con tecnología LED, con un consumo de corriente de 18mA, esto brinda una gran ventaja puesto que incluso encendidas las tres luces simultáneamente no causaran sobrecarga a la fuente.
- Para evitar distorsiones en la lectura del RTD, es necesaria la utilización del cable blindado, que proporciona una conexión a tierra, la cual evita estas distorsiones y transmite una señal en perfecto estado.

- El PLC MicroLogix 1763-L16BBB consta de 10 entradas digitales, 2 salidas a rele, y 4 salidas de 24Vdc, el numero suficiente de entradas y salidas para controlar el proceso.
- El control de la válvula mediante el rele de dos posiciones permite controlar los dos estados de funcionamiento, y en caso de cualquier tipo de fallo, sea instrumental o eléctrico, la válvula se cerrara cuando el rele no este energizado, permitiendo total seguridad incluso con una falla eléctrica en el tablero de control.
- La configuración de conexiones se basa en el punto común, esto permite que el PLC maneje varios puntos de contacto con una sola fuente para las cargas
- Se ha utilizado la misma resistencia eléctrica con la que contaba el tanque primitivo, razón por la cual no se la incluye en el análisis económico del proyecto
- Los análisis financieros arrojan un Valor Actual Neto mayor a cero, asi como una Tasa Interna de Retorno que supera la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, por lo que el proyecto es rentable y altamente beneficioso para la empresa
- El proyecto se lo realizo bajo la supervisión de las autoridades de la empresa, se lograron los objetivos propuestos, alcanzando asi la satisfacción tanto por el beneficio adquirido por parte de la entidad, como por el bienestar del trabajo cumplido por parte del ejecutor.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Para trasladar el programa desarrollado en Microwin de Siemens al RS-Logix de Allen Bradley, se recomienda usar la misma nomenclatura y las mismas direcciones de las variables
- ✓ Para evitar errores en la lectura, o incluso la no lectura del sensor de temperatura se debe marcar correctamente los cables provenientes del RTD, asi como conocer el rango real de temperatura que el instrumento maneja

- ✓ Los sensores de nivel en posición normal se hallan normalmente cerrados, por lo que se debe tomar en cuenta este dato al momento de la programación
- ✓ Es recomendable realizar una limpieza de los sensores al menos una vez por año
- ✓ Se debe tener cuidado de pelar los cables lejos del controlador, es peligroso que la viruta caiga dentro de los circuitos, es preciso por eso retirar la tira protectora del PLC y del módulo luego del cableado
- ✓ Las luces antes del montaje deben ser debidamente probadas, si no se cuenta con el PLC o con corriente, con una prueba de fase con el multímetro
- ✓ Es recomendable contar una bornera conectada a tierra, de este modo se cuenta con varios terminales para varias conexiones a tierra
- ✓ El PLC Micrologix se puede ampliar hasta 4 módulos, es necesario dejar un espacio considerable en la línea del riel DIN por si eventualmente se amplía el sistema
- ✓ Se debe tener cuidado al momento del cableado en los relés de empalmar los terminales correctos normalmente abiertos y normalmente cerrados, si no se está seguro de la configuración del relé o no está señalado debidamente se puede hacer una prueba de continuidad con el multímetro
- ✓ Es recomendable ensamblar las entradas de punto común en la línea positiva, y las salidas en la línea negativa.
- ✓ Es importante desconectar totalmente las líneas de corriente para la instalación del sistema, especialmente la de la resistencia eléctrica para su manipulación, debido a que es corriente trifásica de 220VAC, extremadamente peligrosa
- ✓ Para cuidar la inversión, es recomendable siempre tener el tablero cerrado y si es posible bajo llave, para evitar la intervención de personas ajenas al conocimiento de estos sistemas
- ✓ Para cualquier consulta siempre referirse a los catálogos del fabricante

BIBLIOGRAFIA

- ECHEVERRÍA, Luís; Apuntes de PLC y Programación.
- CREUS, Antonio; Instrumentación Industrial; Alfaomega; Impreso en México; 1997; #pp: 1-50; pp: 180-300.
- BOLTON W. ; Mecatrónica; Alfaomega; Impreso en México; 2001; #pp 1-92; pp 425-441
- ALLEN BRADLEY, Manual de usuario Controladores Programables MicroLogix 1100
- ALLEN BRADLEY, Manual de usuario Modulo 1762-IR4.
- <http://www.redproteger.com.ar/combustible.htm>
- https://www.automation.siemens.com/sitop/html_76/katalog_es.htm
- <http://www.mladder.com.ar/switching.html>
- <http://patentados.com/invento/sensor-de-nivel-de-agua.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>
- <http://www.geocities.com/ivanquiroz/Reles.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>
- <http://www.redeya.com/electronica/tutoriales/elembas/reles.htm>

- <http://www.directindustry.es/prod/gemu/electrovalvula-5758-144482.html>

- <http://www.ab.com>

- <http://www.zonaeconomica.com/excel/van-tir>

- <http://www.inec.gov.ec>

Anexo A

**Especificaciones generales PLC MicroLogix 1763-
L16BBB**

Anexo B

**Especificaciones generales Modulo de Expansi3n 1762-
IR4**

Anexo C
Plano instrumental

Anexo D

Plano de cableado eléctrico PLC

Anexo E

Plano de cableado eléctrico RTD

Anexo F

Plano del Tanque de Combustible

Anexo G

Datos técnicos del cable de comunicación 1761-CBL-PM02

Anexo H
Cotización INASEL

Anexo I

LOGO! Power DC 24V/2.5 A.

Anexo J

**Copia de factura de compra PLC MicroLogix 1763-
L16BBB**

Anexo K

Copia de factura de compra Modulo de Expansi3n

1762-IR4

Anexo L

Carta de satisfacción del auspiciante