

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA**



**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTROMECÁNICA  
”DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TANQUES PARA LA  
RECEPCIÓN, DESPACHO Y RECIRCULACIÓN DE FLUIDOS Y SUPERVISIÓN  
CON UN SISTEMA HMI MEDIANTE UN PANEL DE CONTROL”  
PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTROMECÁNICO**

EDISON FERNANDO CASTILLO VÉLEZ

LUIS JUNIOR OÑA ORDONEZ

**LATACUNGA, Abril 2011**

# Índice general

<b>1. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>17</b>
1.1. SISTEMAS DE CONTROL	17
1.1.1. INTRODUCCIÓN	17
1.1.2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL	17
1.1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL	18
Control Lazo Abierto	18
Control de Lazo Cerrado	19
1.2. SENSORES	25
1.2.1. DEFINICIÓN	25
1.2.2. TIPOS DE SENSORES	25
Sensores Pasivos	25
Sensores Activos	25
Según el tipo de magnitud física a detectar	25
1.2.3. TIPOS DE MEDICIÓN DE NIVEL	27
Medición Directa de Nivel	27
Medición de Nivel basada en la Presión Hidrostática	31
Medición de Nivel basada en las Propiedades Eléctricas del Líquido	35
Medición de nivel mediante Instrumentos que Emiten Ondas De Ultrasonido	36

1.3. ACTUADORES . . . . .	40
1.3.1. DEFINICIÓN . . . . .	40
1.3.2. CLASIFICACIÓN . . . . .	40
Actuadores Eléctricos . . . . .	40
Actuadores Mecánicos . . . . .	45
1.4. VARIADORES DE VELOCIDAD . . . . .	54
1.4.1. DEFINICIÓN . . . . .	54
1.4.2. VARIADOR DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO . . . . .	55
1.4.3. COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD . . . . .	55
1.4.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD . . . . .	57
1.4.5. TIPOS DE CONTROL DE VELOCIDAD . . . . .	58
Control Escalar . . . . .	58
Control Vectorial . . . . .	58
1.4.6. APLICACIONES . . . . .	59
1.4.7. PROTECCIONES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD . . . . .	60
1.4.8. PROTECCIONES DEL MOTOR . . . . .	61
1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE . . . . .	61
1.5.1. DEFINICIÓN DE UN PLC . . . . .	61
1.5.2. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN PLC . . . . .	62
1.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UN PLC . . . . .	63
1.5.4. TIPOS DE COMUNICACIÓN . . . . .	64
1.5.5. APLICACIONES DE UN PLC . . . . .	65
1.6. PANELES DE VISUALIZACIÓN . . . . .	66
1.6.1. DEFINICIÓN . . . . .	66
1.6.2. DESCRIPCIÓN . . . . .	67
1.7. PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN Y MONITOREO . . . . .	68
1.7.1. SOFTWARE DE CONTROL . . . . .	68

1.7.2.	SOFTWARE DE MONITOREO CONTROL . . . . .	69
	Sistemas Escada . . . . .	69
	Funciones . . . . .	70
	Interfaz . . . . .	71
	Wonderware Intouch . . . . .	71
	Labview . . . . .	72
<b>2.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>73</b>
2.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA . . . . .	73
2.1.1.	CICLO DE LLENADO . . . . .	73
2.1.2.	CICLO DE DESPACHO . . . . .	74
2.1.3.	CICLO DE RECIRCULACIÓN . . . . .	74
2.2.	DISEÑO MECÁNICO . . . . .	74
2.2.1.	DESCRIPCIÓN . . . . .	74
2.2.2.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE MADERA . . . . .	75
2.2.3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DE APOYO . . . . .	78
	Procedimiento de Cálculo . . . . .	79
2.2.4.	DISEÑO DE LAS CUBAS DE RECEPCIÓN . . . . .	83
	Procedimiento de Cálculo . . . . .	84
	Cálculos para la selección del acrílico . . . . .	86
2.2.5.	SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS . . . . .	88
	Tuberías y Accesorios . . . . .	88
	Válvulas de Bola . . . . .	89
	Electroválvulas . . . . .	90
	Válvula Check . . . . .	90
	Bomba Centrífuga . . . . .	91
2.3.	DISEÑO ELÉCTRICO . . . . .	102
2.3.1.	PROTECCIONES ELÉCTRICAS . . . . .	102

2.3.2.	BOMBAS CENTRÍFUGAS . . . . .	103
	Selección de la Bomba Centrífuga . . . . .	104
2.3.3.	CABLES ELÉCTRICOS . . . . .	106
	Procedimiento de Cálculo . . . . .	107
2.4.	SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES . . . . .	109
2.4.1.	TRANSDUCTOR DE NIVEL . . . . .	109
2.5.	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR . . . . .	112
2.5.1.	SELECCIÓN DEL PLC . . . . .	112
	Módulo de Expansión E/S analógicas TWDAMM3HT . . . . .	115
	Módulo de expansión entradas analógicas TWDAMI4LT . . . . .	115
	Módulo de expansión salidas digitales TWDDRA8RT . . . . .	116
2.6.	SELECCIÓN DEL PANEL DE CONTROL . . . . .	116
	PANELES DE SCHNEIDER ELECTRIC SERIE XBT GT 1335 . . . . .	116
2.7.	SELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE CONTROL Y MONITOREO . . . . .	118
2.7.1.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SOFTWARE . . . . .	118
2.7.2.	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE . . . . .	118
2.7.3.	TRABAJAR EN LABVIEW . . . . .	119
	Panel Frontal . . . . .	119
	Diagrama de bloques . . . . .	120
	Paletas . . . . .	122
<b>3.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO</b>	<b>137</b>
3.1.	MONTAJE DEL MÓDULO . . . . .	137
3.2.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL PROCESO . . . . .	141
3.3.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR . . . . .	142
3.3.1.	TWIDO SUITE V 2.1 . . . . .	143
	Pasos para crear un Proyecto . . . . .	143

3.3.2.	CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE . . . . .	144
	Controlador base y módulos de ampliación . . . . .	145
	Configuración de la dirección IP para el PLC . . . . .	146
	Configuración de entradas y salidas (E/S Digitales) del PLC . .	146
	Configuración de entradas y salidas (E/S Analógicas) de los módulos de ampliación . . . . .	147
3.3.3.	PROGRAMA EN EL PLC PARA EL PROCESO . . . . .	149
	Proceso de Programación . . . . .	151
3.4.	PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA . . . . .	158
3.4.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL . . . . .	158
3.4.2.	PASOS PARA LA PROGRAMACIÓN . . . . .	161
3.5.	DISEÑO DEL SISTEMA HMI PARA EL PANEL DE CONTROL . . . . .	165
3.5.1.	DESCRIPCIÓN . . . . .	165
3.5.2.	DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EL PANEL . . . . .	165
3.6.	DISEÑO DEL SISTEMA HMI EN LABVIEW 8.5 . . . . .	183
3.6.1.	DESCRIPCIÓN . . . . .	183
3.6.2.	DESARROLLO DEL PROGRAMA . . . . .	183
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MÓDULO</b>	<b>193</b>
4.1.	PRUEBAS ELÉCTRICAS . . . . .	193
4.1.1.	DESCRIPCIÓN . . . . .	193
4.1.2.	PRUEBA DE MEDICIÓN DE VOLTAJE EN CADA ELEMENTO	193
4.1.3.	PRUEBAS DE MEDICIÓN DE VOLTAJE VS. FRECUENCIA EN EL VARIADOR . . . . .	194
4.1.4.	PRUEBAS DE MEDICIÓN DE VOLTAJE EN SENSORES DE NIVEL . . . . .	195
4.2.	PRUEBAS DEL SOFTWARE . . . . .	197
4.2.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN TWIDO SUITE V2.10 .	198

4.2.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN VIJEO-DESIGNER V5.0203	
4.2.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN LABVIEW 8.5 . . . . .	205
4.3.	ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTEN- MIENTO DEL PROCESO DE CONTROL . . . . .	207
4.3.1.	CONSIDERACIONES PARA LA SEGURIDAD DEL EQUIPO Y DEL USUARIO . . . . .	207
4.3.2.	CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO DEL MÓDU- LO . . . . .	208
4.3.3.	CONTROL DEL SISTEMA MEDIANTE EL PANEL DE CON- TROL . . . . .	209
4.3.4.	CONTROL DEL SISTEMA MEDIANTE LABVIEW DESDE LA PC . . . . .	212
4.4.	ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO . . . . .	212
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>215</b>
5.1.	CONCLUSIONES . . . . .	215
5.2.	RECOMENDACIONES . . . . .	217

# Índice de figuras

1.1. Control Lazo Abierto . . . . .	18
1.2. Control Lazo Cerrado . . . . .	19
1.3. Curva de Control Proporcional . . . . .	21
1.4. Curva de Control Integral . . . . .	22
1.5. Curva de Control Derivativo . . . . .	24
1.6. Medición directa de nivel mediante una regleta . . . . .	28
1.7. Medición directa de nivel mediante cinta y plomada . . . . .	28
1.8. Medición directa de nivel mediante medidor de cristal . . . . .	29
1.9. Medición directa de nivel mediante flotador . . . . .	29
1.10. Medición directa de nivel mediante servo guiado . . . . .	30
1.11. Ubicación del servo guiado en un tanque para realizar la medición directa de nivel . . . . .	30
1.12. Medición de nivel mediante un medidor con manómetro . . . . .	31
1.13. Medición de nivel mediante medidor de membrana . . . . .	32
1.14. Medición de nivel mediante medidor de burbujeo . . . . .	32
1.15. Medición de nivel mediante medidor de presión diferencial . . . . .	33
1.16. Medición de nivel mediante supresión de cero . . . . .	34
1.17. Instrumento para la medición de nivel mediante elevación de cero . . . . .	35
1.18. Medición de nivel mediante un efecto conductivo-resistivo . . . . .	35
1.19. Medición de nivel mediante efecto capacitivo . . . . .	36
1.20. Medición de nivel mediante ultrasónico . . . . .	37

1.21. Medición de nivel mediante radar de onda guiada . . . . .	37
1.22. Medición de nivel mediante radar . . . . .	38
1.23. Medición de nivel mediante radiofrecuencia . . . . .	39
1.24. Medición de nivel mediante radioactivos . . . . .	39
1.25. Ubicación de los diferentes instrumentos en un tanque para la medición de nivel . . . . .	40
1.26. Motor síncrono . . . . .	41
1.27. Motor asíncrono . . . . .	42
1.28. Funcionamiento de una electroválvula . . . . .	44
1.29. Ejemplo de Válvula . . . . .	46
1.30. Válvula de globo de un asiento . . . . .	47
1.31. Válvula de ángulo . . . . .	48
1.32. Válvula de 3 vías . . . . .	48
1.33. Válvula de jaula . . . . .	49
1.34. Válvula de compuerta . . . . .	49
1.35. Válvula en Y . . . . .	50
1.36. Válvula de cuerpo partido . . . . .	50
1.37. Válvula Saunders . . . . .	51
1.38. Válvula de obturador excéntrico rotativa . . . . .	51
1.39. Válvula de obturador cilíndrico excéntrico . . . . .	52
1.40. Válvula de mariposa . . . . .	52
1.41. Válvula de bola . . . . .	53
1.42. Válvula de orificio ajustable . . . . .	54
1.43. Válvula de flujo axial . . . . .	54
1.44. Componentes de potencia para la etapa de control . . . . .	56
1.45. Esquema de principio de un convertidor de frecuencia . . . . .	57
1.46. Flujo del funcionamiento de un PLC . . . . .	64
1.47. Pantalla para control y monitoreo . . . . .	66

1.48. Características de los sistemas Scada y DCS . . . . .	70
1.49. Sistema De Información . . . . .	71
2.1. Diagrama de fuerzas momento en la estructura de madera y soporte para los tanques de agua . . . . .	77
2.2. Características técnicas de la MDP . . . . .	78
2.3. Base de construcción metálica para el modulo con medidas en milí- metros . . . . .	79
2.4. Diagrama de fuerzas momento en la estructura principal de apoyo . .	80
2.5. Momento de Inercia para ángulos . . . . .	81
2.6. Propiedades del acero estructural ASTM A-36 . . . . .	82
2.7. Depósito de fluido . . . . .	83
2.8. Diagrama de presiones en un recipiente . . . . .	84
2.9. Tanque de acrílico . . . . .	85
2.10. Propiedades del agua . . . . .	87
2.11. Especificaciones técnicas del acrílico de 3mm . . . . .	88
2.12. Tuberías y accesorios de PVC . . . . .	89
2.13. Válvula de Bola . . . . .	89
2.14. Electroválvula de plástico . . . . .	90
2.15. Válvula Check . . . . .	91
2.16. Rugosidad del plástico . . . . .	93
2.17. Coeficiente de fricción para entrada de proyección hacia adentro . . .	95
2.18. Longitud equivalente de accesorios . . . . .	101
2.19. Curva de selección de bombas . . . . .	101
2.20. Rendimiento y capacidad de la bomba elegida . . . . .	102
2.21. Bombas utilizadas en el sistema . . . . .	106
2.22. Selección del cable por corriente . . . . .	108
2.23. Sensor de ultrasonido . . . . .	109

2.24. Diagrama del circuito del sensor MaxSonar EZ1 . . . . .	110
2.25. Ángulos de radiación del sensor ultrasónico . . . . .	112
2.26. Características del PLC . . . . .	114
2.27. Esquema del controlador TDWLCAE40DRF . . . . .	114
2.28. Esquema de módulo de expansión de entradas y salidas analógicas .	115
2.29. Esquema de módulo de expansión de entradas analógicas . . . . .	116
2.30. Esquema de módulo de expansión de salidas digitales . . . . .	116
2.31. Pantalla táctil de Schneider Electric modelo XBT GT 1335 . . . . .	117
2.32. Interfaz gráfica del panel frontal . . . . .	120
2.33. Interfaz gráfica del diagrama de bloques . . . . .	121
2.34. Tools palette . . . . .	122
2.35. Operating tool . . . . .	122
2.36. Positioning tool . . . . .	122
2.37. Labeling tool . . . . .	123
2.38. Wiring tool . . . . .	123
2.39. Object Pop-up Menu tool . . . . .	123
2.40. Scroll tool . . . . .	124
2.41. Breakpoint tool . . . . .	124
2.42. Probe tool . . . . .	124
2.43. Color Copy tool . . . . .	125
2.44. Color tool . . . . .	125
2.45. Controls palette . . . . .	125
2.46. Numeric . . . . .	126
2.47. Boolean . . . . .	126
2.48. String and Table . . . . .	126
2.49. List and Ring . . . . .	127
2.50. Array and Cluster . . . . .	127
2.51. Graph . . . . .	127

2.52. Path and RefNum . . . . .	128
2.53. Decorations . . . . .	128
2.54. User Controls . . . . .	128
2.55. ActiveX . . . . .	129
2.56. Select a Control . . . . .	129
2.57. Functions palette . . . . .	130
2.58. Structures . . . . .	130
2.59. Numeric . . . . .	131
2.60. Boolean . . . . .	131
2.61. String . . . . .	131
2.62. Array . . . . .	132
2.63. Cluster . . . . .	132
2.64. Comparison . . . . .	132
2.65. Time and Dialog . . . . .	133
2.66. File I/O . . . . .	133
2.67. Communication . . . . .	133
2.68. Instrument I/O . . . . .	134
2.69. Data Acquisition . . . . .	134
2.70. Analysis . . . . .	134
2.71. Tutorial . . . . .	135
2.72. Advanced . . . . .	135
2.73. Instrument drivers . . . . .	135
2.74. User Libraries . . . . .	136
2.75. Application control . . . . .	136
2.76. Select a VI . . . . .	136
3.1. Estructura metálica del módulo . . . . .	138
3.2. Planchas de MDP con sus respectivas medidas . . . . .	138

3.3. Fijación de las plancha de MDP . . . . .	139
3.4. Fijación de los depósitos . . . . .	140
3.5. Montaje del tanque de reserva . . . . .	140
3.6. Montaje del sistema de tuberías . . . . .	141
3.7. Modulo terminado . . . . .	142
3.8. Tablero para la fijación de los elementos . . . . .	143
3.9. Fijación del tablero en la estructura del módulo . . . . .	144
3.10. Indicador de aplicación del Twido Suite 2.1 . . . . .	144
3.11. Creación de un nuevo proyecto . . . . .	145
3.12. Configuración del PLC y módulos de ampliación . . . . .	145
3.13. Configuración de la IP del PLC . . . . .	146
3.14. Guardar la IP del PLC . . . . .	147
3.15. Simbolizar cada E/S digital . . . . .	147
3.16. Configuración modulo E/S analógicas . . . . .	149
3.17. Esquema de un reticulado de programación . . . . .	150
3.18. Pasos para crear el programa . . . . .	151
3.19. Insertar un bloque de operación . . . . .	154
3.20. Insertar el segundo bloque de operación . . . . .	154
3.21. Insertar el tercer bloque de operación . . . . .	154
3.22. Insertar el cuarto bloque de operación . . . . .	155
3.23. Insertar el quinto bloque de operación . . . . .	155
3.24. Insertar el sexto bloque de operación . . . . .	156
3.25. Uso de bloques de comparación . . . . .	157
3.26. Uso de salidas digitales por medio de mascarar . . . . .	157
3.27. Uso de máscaras para iniciar el proceso . . . . .	158
3.28. Uso de salida analógica . . . . .	158
3.29. Variador ATV31H075M2 . . . . .	159
3.30. Funciones del display y de las teclas . . . . .	160

3.31. Funciones de las teclas . . . . .	160
3.32. Acceso a los Menús . . . . .	162
3.33. Diagrama de conexión a dos hilos . . . . .	164
3.34. Ventana de inicio para crear un nuevo proyecto . . . . .	167
3.35. Introducir un nombre para el proyecto . . . . .	167
3.36. Introducir el tipo y el modelo del producto . . . . .	168
3.37. Configuración del controlador . . . . .	168
3.38. Configuración del equipo . . . . .	169
3.39. Navegador de Vijeo-Designer . . . . .	169
3.40. Inspector de propiedades de Vijeo-Designer . . . . .	170
3.41. Caja de herramientas . . . . .	170
3.42. Interruptor . . . . .	170
3.43. Piloto . . . . .	171
3.44. Visualizador Numérico . . . . .	171
3.45. Tendencias . . . . .	171
3.46. Resumen de alarmas . . . . .	172
3.47. Crear nueva variable . . . . .	172
3.48. Ventana para crear variables . . . . .	172
3.49. Configuración de la IP del equipo. . . . .	173
3.50. Cambio de sintaxis . . . . .	173
3.51. Barra para crear nueva variable . . . . .	174
3.52. Configuración de una variable externa . . . . .	174
3.53. Creación de un nuevo tanque . . . . .	175
3.54. Asignación de variables a los objetos . . . . .	175
3.55. Crear un nuevo interruptor o botonera . . . . .	176
3.56. Ventana para la configuración de la botonera . . . . .	176
3.57. Asignación de la variable . . . . .	177
3.58. Asignación de la variable con un reset al liberar . . . . .	177

3.59. Crear un visualizador numérico . . . . .	178
3.60. Asignación de la variable al visualizador numérico . . . . .	178
3.61. Creación de un gráfico de tendencia . . . . .	179
3.62. Asignación de variables por canales . . . . .	179
3.63. Configurar grupo de alarmas para cada variable de nivel . . . . .	180
3.64. Creación de un resumen de alarmas . . . . .	181
3.65. Configuración de un resumen de alarmas . . . . .	181
3.66. Configuración del medio de descarga . . . . .	182
3.67. Diseño final del HMI para el panel de control . . . . .	182
3.68. Crear Nuevo Archivo . . . . .	184
3.69. Renombrar el Canal . . . . .	184
3.70. Driver del dispositivo . . . . .	185
3.71. Adaptador de Red . . . . .	185
3.72. Numero de puerto y tipo de protocolo . . . . .	186
3.73. Nombre del dispositivo . . . . .	186
3.74. Modelo del dispositivo . . . . .	187
3.75. Dirección IP del dispositivo . . . . .	187
3.76. Configuración del tags . . . . .	188
3.77. Lista de tags creados . . . . .	188
3.78. Edición de gráficos en Labview 8.5 . . . . .	189
3.79. Asignación de las variables . . . . .	190
3.80. Búsqueda de variables mediante DSTP Server . . . . .	191
3.81. Búsqueda del Servidor . . . . .	191
3.82. Selección de variables . . . . .	192
4.1. Escoger el modo de programación de Twido Suite . . . . .	199
4.2. Extraer el programa que contiene el PLC . . . . .	199
4.3. Dirección IP del PLC . . . . .	200

4.4. Programa para ingresar la ecuación de interpolación del primer sensor	201
4.5. Funcionamiento del PLC observado desde TWIDO SUITE . . . . .	201
4.6. Valor de Frecuencia para el varidor seteada desde TWIDO SUITE . .	202
4.7. Valor de Frecuencia en el varidor . . . . .	202
4.8. Abrir el programa realizado en Vijeo Designer . . . . .	203
4.9. Simular el programa . . . . .	203
4.10. Proceso de compilación del programa . . . . .	204
4.11. Pantalla de inicio del programa . . . . .	204
4.12. Pantalla de control del proceso desde Vijeo Designer . . . . .	205
4.13. Pantalla de control del proceso desde Panel de Control . . . . .	205
4.14. Programa para control del sistema realizado en LABVIEW . . . . .	206
4.15. Estado de conexión en el servidor . . . . .	206

# Indice de tablas

2.1. Lista de pesos de los elementos que posaran en la estructura . . . . .	79
2.2. Descripción de las E/S necesitadas para seleccionar el PLC . . . . .	113
3.1. Parámetros configurados en el menú set . . . . .	163
3.2. Parámetros configurados en el menú drC . . . . .	163
3.3. Parámetros configurados en el menú I-O . . . . .	164
3.4. Parámetros configurados en el menú Ctl. . . . .	164
3.5. Parámetros configurados en el menú Flt. . . . .	165
3.6. Direcciones y funciones de E/S digitales y analógicas del PLC . . . . .	166
3.7. Sintaxis en Modbus Ethernet . . . . .	183
4.1. Mediciones de pruebas eléctricas en los elementos . . . . .	194
4.2. Tabla de Frecuencia Voltaje a la salida del Variador Altivar 31 . . . . .	195
4.3. Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 01 . . . . .	196
4.4. Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 02 . . . . .	196
4.5. Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 03 . . . . .	197
4.6. Recursos Humanos . . . . .	212
4.7. Recursos Materiales (Suministros) . . . . .	213
4.8. Recursos Materiales (Del Prototipo) . . . . .	213

# Capítulo 1

## FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1. SISTEMAS DE CONTROL

#### 1.1.1. INTRODUCCIÓN

El propósito primordial de un sistema de control en un proceso de producción es mantener estables o corregir las desviaciones existentes en las variables medidas, para lograr un funcionamiento estable del sistema en el punto que se desee, el buen funcionamiento del sistema se ve reflejado en la calidad del producto final.

Es un sistema que compara el valor de una variable a controlar con su valor deseado y cuando existe una desviación, efectúa una acción de corrección sin que exista intervención humana.

#### 1.1.2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL

Las principales características que se deben buscar en un sistema de control serán:

1. Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.

2. Conseguir las condiciones de operación objetiva de forma rápida y continua.
3. Trabajar correctamente bajo un amplio abanico de condiciones operativas.
4. Manejar las restricciones de equipo y proceso de forma precisa.

### 1.1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Se puede hacer una clasificación de los sistemas de control atendiendo al procedimiento lógico usado por el controlador del sistema para regular la evolución del proceso. Los principales tipos de control utilizados en los procesos industriales se describen a continuación.

#### Control Lazo Abierto

El control de lazo abierto se caracteriza porque la información de las variables que controlan el proceso y circula en una sola dirección, desde el sistema de control al proceso. El sistema de control, no recibe la confirmación de las acciones que a través de los actuadores se han de realizar sobre el proceso. Sistema de control en el que la salida no tiene efecto sobre la acción del control.



Figura 1.1: Control Lazo Abierto

La señal de entrada (o referencia)  $u(t)$  actúa directamente sobre el dispositivo de control regulador, para producir, por medio del actuador, el efecto deseado en las variables de salida  $y(t)$ . El regulador NO comprueba el valor que toma la salida.

## Control de Lazo Cerrado

El control en lazo cerrado se caracteriza porque existe una realimentación a través de sensores ubicados en el proceso, hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente.

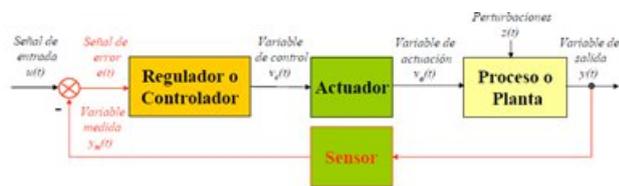


Figura 1.2: Control Lazo Cerrado

La salida del sistema se mide por medio de un sensor, y se compara con el valor de la entrada de referencia  $u(t)$ . De manera intuitiva se deduce que, de este modo, el sistema de control podría responder mejor ante las perturbaciones que se produzcan sobre el sistema.

Dentro del control de lazo cerrado se tiene otros tipos de control muy importantes que se mencionan a continuación.

### 1. Control PID

Un control PID (proporcional integral derivativo) es un método de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde.

El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos:

a) El Proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional como para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30 %, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobre oscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (la válvula se mueve al mismo valor por unidad de desviación). La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control.

**Ejemplo:**

Cambiar la posición de una válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) respecto al punto de consigna (valor deseado).

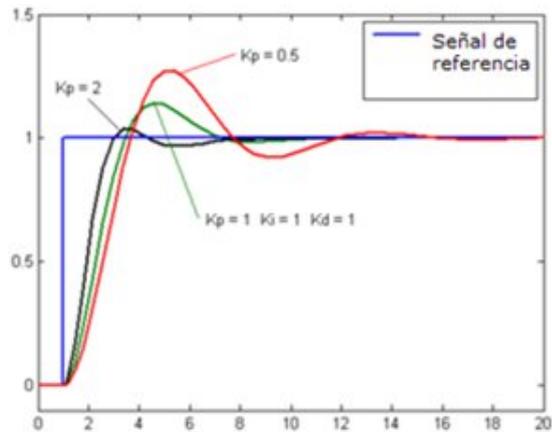


Figura 1.3: Curva de Control Proporcional

b) El Integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediario o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante  $I$ . Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control  $P + I$  con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El modo integral presenta un desfaseamiento en la respuesta de  $90^\circ$  que sumados a los  $180^\circ$  de la retroalimentación (negativa) acercan al proceso a tener un retraso de  $270^\circ$ , luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con  $90^\circ$  de retardo para provocar la oscilación del proceso. La ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una

señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional. El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

**Ejemplo:**

Mover la válvula (elemento final de control) a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna (variable deseada).

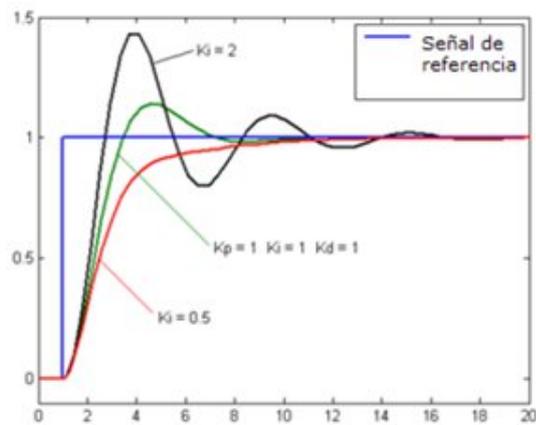


Figura 1.4: Curva de Control Integral

### c) El Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "SetPoint". La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante  $D$  y luego se suma a las señales anteriores ( $P + I$ ). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente. El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada. Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva. El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones.

#### **Ejemplo:**

Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

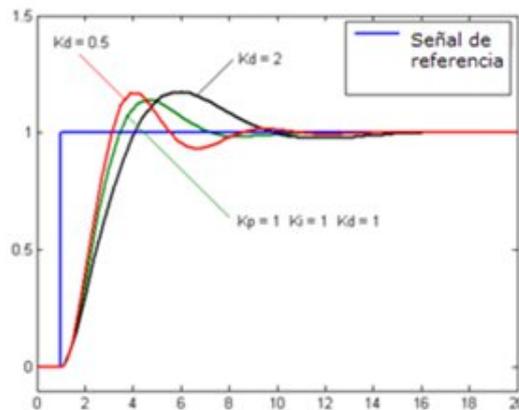


Figura 1.5: Curva de Control Derivativo

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos: Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.)

1. El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador. El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual

es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor.

3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.)

## **1.2. SENSORES**

### **1.2.1. DEFINICIÓN**

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

### **1.2.2. TIPOS DE SENSORES**

#### **Sensores Pasivos**

Los sensores pasivos si requieren de esta alimentación para poder efectuar su función.

#### **Sensores Activos**

Los sensores activos generan la señal de salida sin la necesidad de una fuente de alimentación externa.

#### **Según el tipo de magnitud física a detectar**

##### **1. Medición de temperatura:**

Pirómetro óptico, Pirómetro de radiación, Termistor, Termopar.

**2. Medición de esfuerzos y deformaciones:**

Medición de movimiento de grandes distancias se usa: Radar, láser, Ultrasonido, etc. Distancias pequeñas: Métodos ópticos, Métodos inductivos (LDT y VDT), Métodos resistivos y capacitivos. Posición lineal o angular: Codificadores incrementales, Codificadores absolutos, Transductores capacitivos.

**3. Sensores de Presencia o Proximidad:**

Inductivos, Capacitivos, Fotoeléctricos, De efecto Hall, Radiación, Infrarrojos.

**4. Sistemas de visión artificial:**

Cámaras CCD.

**5. Sensores de humedad y punto de rocío:**

Humedad en aire-gases, Humedad en sólidos, Punto de rocío.

**6. Sensores de caudal:**

De sólidos, líquidos o gases, Presión diferencial, Medidores magnéticos, Medidores por fuerzas de Coriolis, Medidores de área variable, Medidores de desplazamiento positivo.

**7. Sensores de nivel:**

De líquidos y sólidos. Sensores de presión.

**8. Sensores de Fuerza y par: Calibrador de tensión, De array táctil.**

**9. Sensores de intensidad lumínica.**

**10. Sensores de aceleración.**

**11. Sensores de velocidad lineal o angular.**

**12. Sensores táctiles.**

### **1.2.3. TIPOS DE MEDICIÓN DE NIVEL**

La medición de nivel, su detección o su monitoreo, es fundamental en la industria, especialmente en la industria química de tratamiento de las aguas y de almacenamiento de líquidos en tanques. Es igualmente parte integrante en la medición de otros parámetros como el caudal. La determinación del nivel permite evaluar la cantidad de líquido en un reservorio o recipiente industrial de dimensiones conocidas. En consecuencia, los medidores de nivel podrían tener sus escalas directamente en unidades de longitud, de masa, de peso o de volumen.

Para medir nivel en un líquido se determina la distancia existente entre una línea de referencia y la superficie del fluido y generalmente dicha línea de referencia se toma como el fondo del recipiente. El nivel es una variable que puede ser medida fácilmente, pero existen otros factores tales como: viscosidad del fluido, tipo de medición deseada, presión, recipiente presurizado o no; las que traen como consecuencia que existan varios métodos y tipos de instrumentos medidores del nivel. El medidor de nivel seleccionado dependerá de las necesidades o condiciones de operación.

#### **Medición Directa de Nivel**

##### **1. Regleta:**

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el estanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en estanques de gasolina.

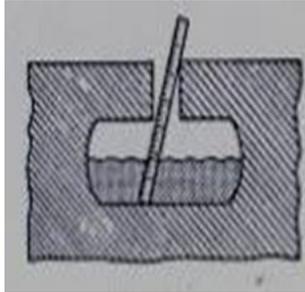


Figura 1.6: Medición directa de nivel mediante una regleta

## 2. Cinta y Plomada:

Este sistema es parecido al anterior, consta de una cinta graduada y un plomo en la punta. Se emplea cuando es difícil que la regla tenga acceso al fondo del estanque.

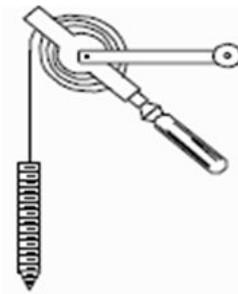


Figura 1.7: Medición directa de nivel mediante cinta y plomada

## 3. Medidor de Cristal (Vidrio Nivel-LG):

Este medidor utiliza el principio de vasos comunicantes. Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al estanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga.

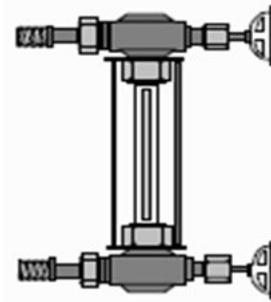


Figura 1.8: Medición directa de nivel mediante medidor de cristal

#### 4. Flotador:

Consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del estanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en estanques de gran capacidad tales como los de petróleo y gasolina.

Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio.

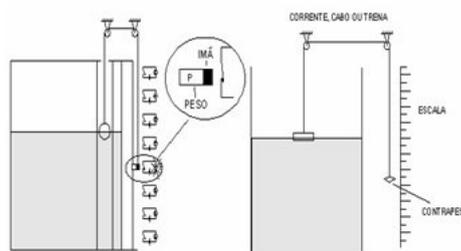


Figura 1.9: Medición directa de nivel mediante flotador

#### 5. Servo Guiado:

Se compone de un flotador atado a un cable, un servomotor, detectores de tensión y un encoder. En el momento que el flotador este en contacto con la superficie del líquido, no existe movimiento del servomotor. Cuando el nivel baja se pierde el equilibrio causando una tensión en el cable. Esto es

detectado y se ejecuta el descenso del flotador hasta lograr nuevamente el equilibrio. Éste desplazamiento es contado por parte del encoder para luego ser calculado el nivel alcanzado.



Figura 1.10: Medición directa de nivel mediante servo guiado

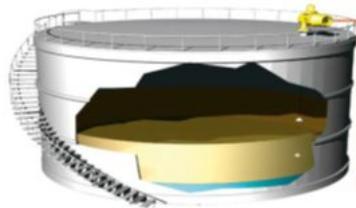


Figura 1.11: Ubicación del servo guiado en un tanque para realizar la medición directa de nivel

## Medición de Nivel basada en la Presión Hidrostática

1. **Medidor con Manómetro:** Consiste en un manómetro conectado directamente a la inferior del estanque. El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido  $h$  que existe entre el nivel del estanque y el eje del instrumento. Así pues, el rango de medida del instrumento corresponderá a:

$$0 - (h * \lambda * g)$$

Dónde

- a)  $h$  = Altura de Líquido en Litros
- b)  $\lambda$  = Densidad del Líquido en  $Kg/m^3$
- c)  $g = 9,8m/s^2$

Como las alturas son limitadas, el rango de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

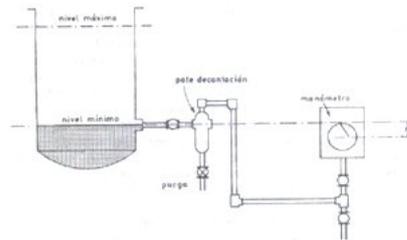


Figura 1.12: Medición de nivel mediante un medidor con manómetro

## 2. Medidor de Membrana:

Utiliza una membrana conectada con un tubo estanco al instrumento receptor. La fuerza ejercida por la columna de líquido sobre el área de la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna de líquido. El instrumento es delicado ya que cualquier pequeña fuga del aire

contenido en el diafragma destruiría la calibración del instrumento.



Figura 1.13: Medición de nivel mediante medidor de membrana

### 3. Medidor de Burbujeo:

El principio de operación de este sistema de medición se basa en la presión necesaria para vencer una columna de líquido en un estanque.

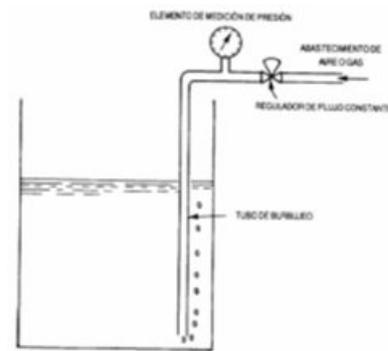


Figura 1.14: Medición de nivel mediante medidor de burbujeo

#### 4. **Medidor de Presión Diferencial:**

Consiste en un sensor de diafragma en contacto con el líquido del estanque, que mide la diferencia entre la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque y la presión en un punto de la parte superior del tanque o a la atmosfera.

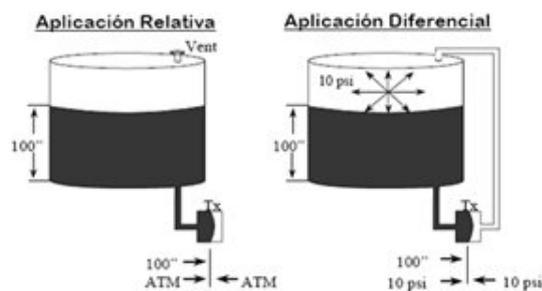


Figura 1.15: Medición de nivel mediante medidor de presión diferencial

#### 5. **Medidor con Manómetro:**

En la medición de nivel con este principio, se debe tener en cuenta dos conceptos importantes para calibración y ajuste de los transmisores. Los dos conceptos son:

##### a) **Supresión de Cero:**

Se necesita un cero suprimido cuando un transmisor de presión absoluta o un medidor está montado por debajo de la toma de alta presión (conexión inferior del proceso). Cuando el transmisor está montado por debajo de la toma de alta presión, el fluido de llenado en el capilar ejerce presión en el sensor del transmisor, haciendo que emita una lectura positiva de presión, incluso cuando el depósito esté vacío.

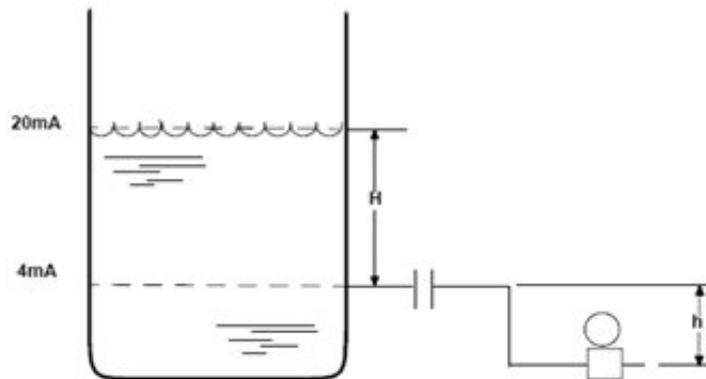


Figura 1.16: Medición de nivel mediante supresión de cero

**b) Elevación de Cero:**

Se necesita un cero elevado para un transmisor de presión absoluta o un medidor montado por encima de la toma de alta presión (conexión inferior del proceso) o para una aplicación de presión diferencial de dos juntas. En estos casos, el transmisor lee una presión negativa cuando el depósito está vacío, debido al efecto de presión principal del fluido de llenado del capilar. El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial. En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado a una brida que se monta rasante al estanque para permitir sin dificultades la medida de nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma enrase completamente con las paredes interiores del estanque tal como ocurre en el caso de líquidos extremadamente viscosos en que no puede admitirse ningún recodo.



Figura 1.17: Instrumento para la medición de nivel mediante elevación de cero

### **Medición de Nivel basada en las Propiedades Eléctricas del Líquido**

#### **1. Conductivo y Resistivo:**

Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor. El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo.



Figura 1.18: Medición de nivel mediante un efecto conductivo-resistivo

## 2. Capacitivo:

En la mayoría de las aplicaciones, la varilla del electrodo es colocada verticalmente en el tanque. El electrodo puede ser no aislado si el líquido es no conductivo, o aislado. La pared del tanque metálico actúa como electrodo de referencia. El resultado depende de la permitividad  $E_2$  del producto.

La capacitancia es directamente proporcional a nivel del líquido ( $L$ ).

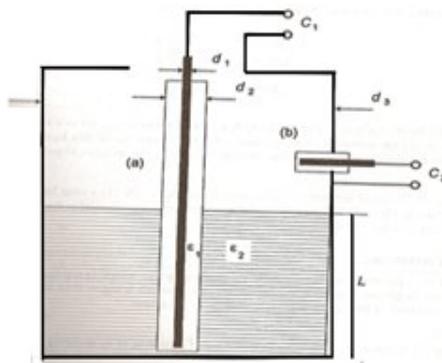


Figura 1.19: Medición de nivel mediante efecto capacitivo

## Medición de nivel mediante Instrumentos que Emiten Ondas De Ultrasonido

Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque.

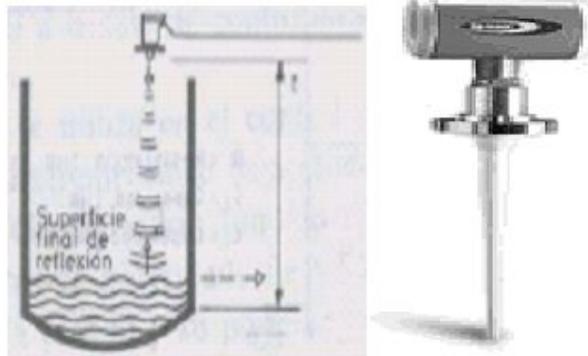


Figura 1.20: Medición de nivel mediante ultrasónico

### 1. Radar de Onda Guiada:

Se basa en la tecnología de la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR por sus siglas en inglés). Los pulsos son guiados hacia abajo en una sonda sumergida en el fluido de proceso. Se conoce como Radar de Onda Guiada.

- a) Cuando un pulso alcanza el fluido con una constante dieléctrica diferente, parte de la energía es reflejada de regreso al transmisor.
- b) La diferencia en el tiempo entre el pulso de referencia y el reflejado es convertida en una distancia. Es llamado Tiempo de Propagación.

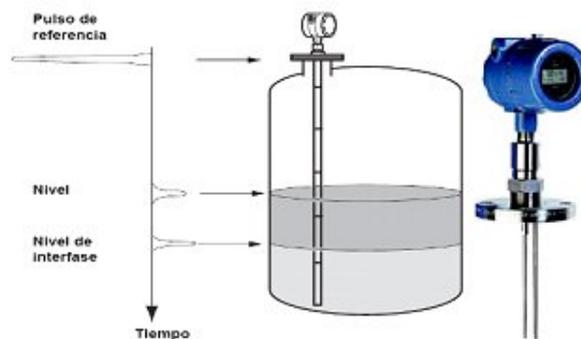


Figura 1.21: Medición de nivel mediante radar de onda guiada

### 2. Radar:

Se basa en la tecnología de Modulación de Frecuencia de Onda Continua

(*FMCW* por sus siglas en inglés) donde son transmitidas unas microondas ( $10\text{GHz}$ ) de forma continua y cuando la señal ha llegado a la superficie del líquido y ha regresado a la antena; se mezcla con la señal transmitida en ese momento.

La frecuencia de la señal transmitida ha variado ligeramente durante el tiempo que la señal del eco tarda en llegar hasta la superficie y regresar. La diferencia de la señal de frecuencia transmitida y recibida es proporcional a la distancia hasta la superficie.

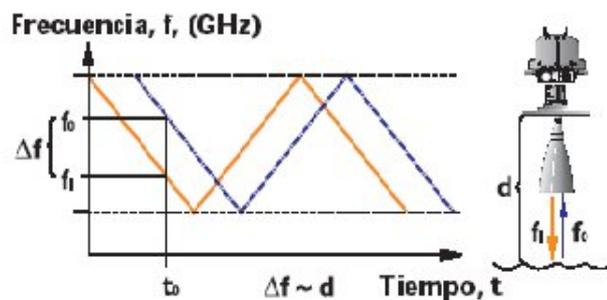


Figura 1.22: Medición de nivel mediante radar

### 3. Radiofrecuencia:

Se utiliza la tecnología de admitancia digital para medir cuanto de su sonda de detección se cubre con el líquido de interés. Esto se alcanza generando un impulso de energía del tipo radiofrecuencia que viaja desde la sonda de detección a la referencia de tierra (usualmente la pared del tanque).

La cantidad de líquido entre los dos determina cuanta energía se traslada y siendo esta proporcional al nivel del líquido de interés.



Figura 1.23: Medición de nivel mediante radiofrecuencia

#### 4. Radioactivos:

La intensidad  $I$  de los rayos gamma es atenuada por los líquidos de acuerdo a su coeficiente de atenuación  $\gamma$ . Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Las paredes del tanque absorben parte de la radiación y al detector llega sólo un pequeño porcentaje.

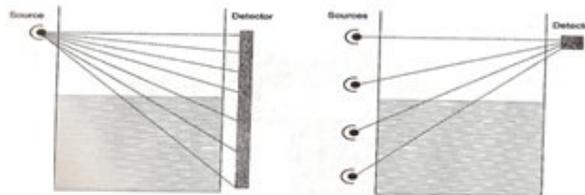


Figura 1.24: Medición de nivel mediante radioactivos

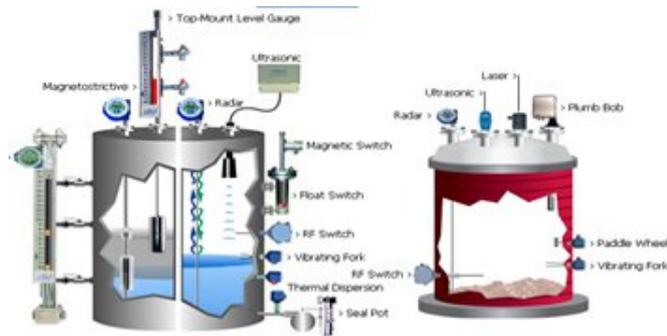


Figura 1.25: Ubicación de los diferentes instrumentos en un tanque para la medición de nivel

## 1.3. ACTUADORES

### 1.3.1. DEFINICIÓN

Dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz. Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina "neumático", "hidráulico" o "eléctrico".

### 1.3.2. CLASIFICACIÓN

#### Actuadores Eléctricos

##### 1. Motores Síncronos

Los motores síncronos están constituidos por un inducido que suele ser fijo, formando por lo tanto el estator sobre el que se aplica una corriente alterna y por un inductor o rotor formado por un imán o electroimán que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos. El campo variable del estator hace girar al rotor a una velocidad fija y constante de sincronismo que

depende de la frecuencia alterna aplicada. De ello deriva su denominación de síncronos.

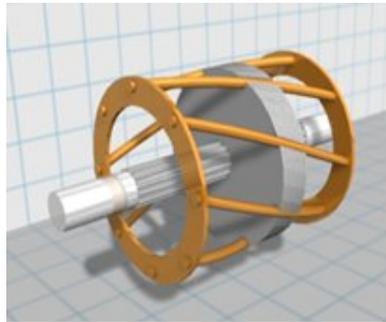


Figura 1.26: Motor síncrono

Un motor se considera síncrono cuando la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del rotor. Recordar que el rotor es la parte móvil del motor. La aplicación de motores sincrónicos en la industria en la mayoría de los casos resulta en ventajas económicas y operativas considerables para el usuario debido a sus características de trabajo.

- a) Minería (zarandas, molinos, cintas transportadoras y otros).
- b) Siderurgia (laminadoras, ventiladores, bombas, compresores).
- c) Papel y celulosa (extrusoras, picadores, desfibradoras, compresores).
- d) Saneamiento (bombas).
- e) Química y petroquímica (compresores, ventiladores, extractores de aire)
- f) Cemento (zarandas, molinos, cintas transportadoras).
- g) Caucho (extrusoras, molinos, mezcladores)

## 2. Motores Asíncronos

Son los de mayor uso en la industria, por lo tanto son los que mayor análisis merecen. Cuando aplicamos una corriente alterna a un estator, se produce un

campo magnético giratorio, este campo de acuerdo a las leyes de inducción electromagnéticas, induce corriente en las bobinas del rotor y estas producen otro campo magnético opuesto según la ley de Lenz y que por lo mismo tiende a seguirlo en su rotación de tal forma que el rotor empieza a girar con tendencia a igualar la velocidad del campo magnético giratorio, sin que ello llegue a producirse. Si sucediera, dejaría de producirse la variación de flujo indispensable para la inducción de corriente en la bobina del inducido. A medida que se vaya haciéndose mayor la diferencia entre la velocidad de giro del campo y la del rotor, las corrientes inducidas en él y por lo tanto su propio campo, irán en aumento gracias a la composición de ambos campos se consigue una velocidad estacionaria. En los motores asíncronos nunca se alcanza la velocidad del sincronismo, los bobinados del rotor cortan siempre el flujo giratorio del campo inductor.

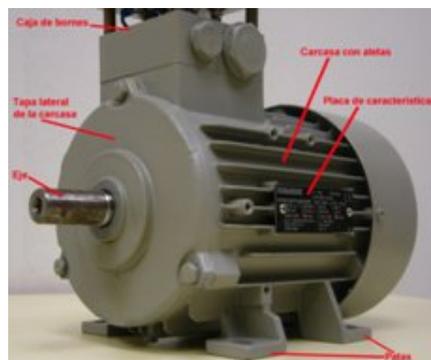


Figura 1.27: Motor asíncrono

Su clasificación se detalla a continuación:

- a) Trifásico Jaula de Ardilla.
- b) Monofásico: Condensador, Resistencia
- c) Asíncronos Sincronizados: Serie o Universal.
- d) Espira en corto circuito.
- e) Hipo sincrónico.

El motor asíncrono es con mucho el motor más empleado en la industria, motores de este tipo se emplean en casi todas las máquinas herramientas: tomos, fresadoras, limadoras, etc.; en aparatos de elevación y transpone: grúas, montacargas, etc. y en cualquier otra aplicación donde se requiera un motor robusto pero sin regulación de velocidad. Actualmente se están empleando más y más en aplicaciones que exigen regulación de velocidad.

- a) La mayoría de las aplicaciones: bombas centrífugas, ventiladores, compresores sin carga.
- b) Máquinas herramienta: tornos, sierras, fresadoras, etc.
- c) Compresores, bombas oscilantes, transportadores cargados.
- d) Prensas punzadoras de alta velocidad.
- e) Prensas de estirado, plegadoras.
- f) Grúas, elevadores.
- g) Extractores.

### 3. **Electroválvulas**

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, que son aquellas

en las que un motor acciona el cuerpo de la válvula. La electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula, en algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es normal que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide abra venciendo la fuerza del muelle, esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía 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.

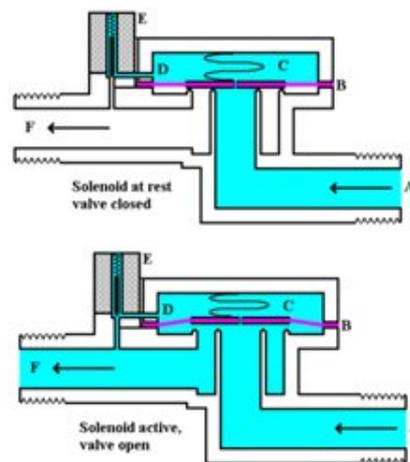


Figura 1.28: Funcionamiento de una electroválvula

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para

la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido. Este tipo de válvulas se utilizan muy comúnmente en lavadoras, lavaplatos, riegos y otros usos similares. Las electroválvulas también se usan mucho en la industria para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

## **Actuadores Mecánicos**

### **1. Válvulas de Control**

Son los dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada). Es un elemento final de lazo de control que interrumpe o deja pasar el fluido según la señal correctora que le llegue desde el controlador. Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de  $20000 \text{ lb/in}^2$  ( $140 \text{ MPa}$ ) y temperaturas desde las criogénicas hasta  $1500^\circ \text{F}$  ( $815^\circ \text{C}$ ). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.



Figura 1.29: Ejemplo de Válvula

Las válvulas de control pueden ser de varios tipos dependiendo del diseño del cuerpo y del movimiento del obturador.

**a) Válvulas de movimientos lineal o recíproco:**

Son aquellas en las cuales el obturador se mueve en la dirección de su propio eje y se clasifican de la siguiente manera.

**b) Válvula de globo:**

Puede ser construida de simple o doble asiento. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto se emplean cuando la presión del fluido es baja y se requiere que las fugas en posición de cierre sean mínimas.



Figura 1.30: Válvula de globo de un asiento

**c) Válvulas de Doble Asiento:**

Las válvulas de doble asiento, se emplean cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En la posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

**d) Válvula en ángulo:**

Esta válvula permite obtener un flujo de caudal sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable, debido a las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan, para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.



Figura 1.31: Válvula de ángulo

e) **Válvula de tres vías:**

Este tipo de válvula se emplea generalmente para mezcla de líquidos o para derivar de un flujo de entrada dos salidas (Diversoras). Intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.



Figura 1.32: Válvula de 3 vías

f) **Válvula de jaula:**

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste.

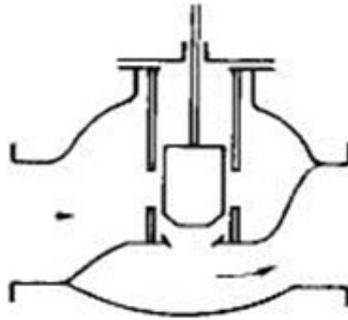


Figura 1.33: Válvula de jaula

**g) Válvula de compuerta:**

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es ideal para el control todo-nada ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse, la compuerta y el sello presenta rápida erosión y provocan turbulencia.

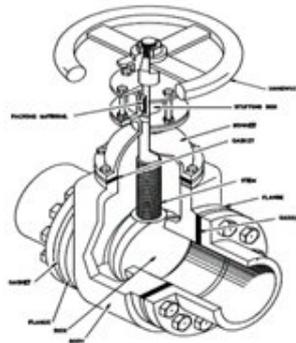


Figura 1.34: Válvula de compuerta

**h) Válvula en Y:**

Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por presentar baja pérdida de carga y como válvula de control una gran capacidad de caudal.



Figura 1.35: Válvula en Y

**i) Válvula de cuerpo partido:**

Esta es una modificación de la válvula de globo de simple asiento, con el cuerpo partido en dos partes entre las cuales está presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.



Figura 1.36: Válvula de cuerpo partido

**j) Válvula Saunders:**

En esta válvula, el obturador es una membrana flexible que a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo cerrando así el paso del fluido. La válvula se caracteriza por que el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o plástico para trabajar con fluidos agresivos.

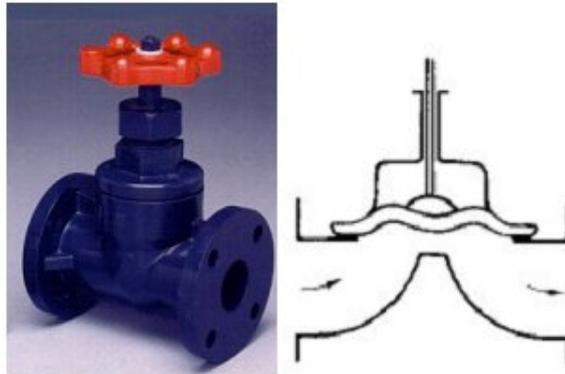


Figura 1.37: Válvula Saunders

**k) Válvulas de movimiento o vástago rotatorio:**

Donde el obturador presenta un movimiento circular, dentro de esta clasificación tenemos.

**l) Válvula de obturador excéntrico rotativo:**

Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por dos brazos flexibles. Se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas mariposa y a las de bola por su elevada pérdida de carga admisible.

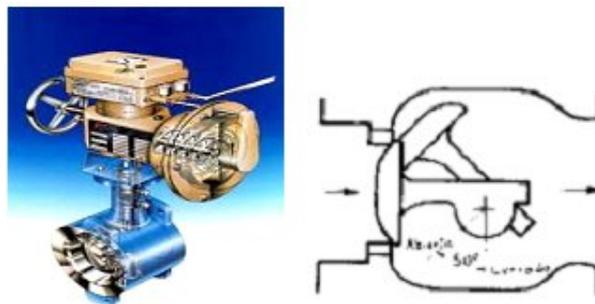


Figura 1.38: Válvula de obturador excéntrico rotativa

**m) Válvula de obturador Cilíndrico excéntrico:**

Esta válvula tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta sobre él un cuerpo cilíndrico. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la cara del cuerpo donde asienta el obturador. La válvula tiene una ganancia relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o con sólidos en suspensión.

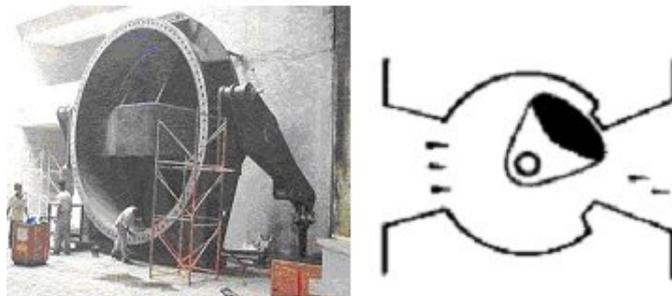


Figura 1.39: Válvula de obturador cilíndrico excéntrico

**n) Válvula de mariposa:**

El cuerpo está formado por un anillo dentro del cual gira transversalmente un disco circular. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.



Figura 1.40: Válvula de mariposa

**ñ) Válvula de bola:**

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un

obturador en forma de esfera o de bola. Se emplea principalmente en el control de fluidos negros, o con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

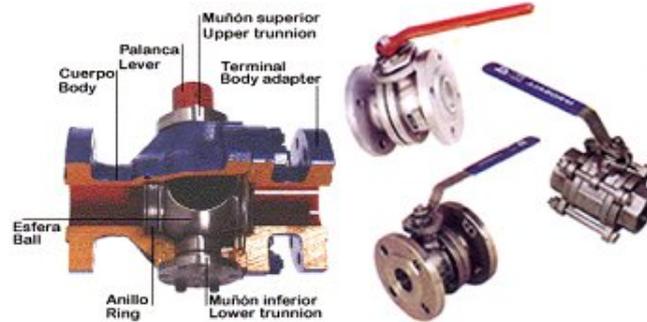


Figura 1.41: Válvula de bola

**o) Válvula de orificio ajustable:**

El obturador de esta válvula consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida, y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. La válvula es adecuada para ajustar manualmente el caudal máximo de un fluido, cuando el caudal puede variar en límites amplios en forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.

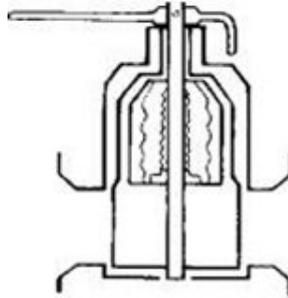


Figura 1.42: Válvula de orificio ajustable

**p) Válvula de flujo axial:**

Consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón, el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencioso.

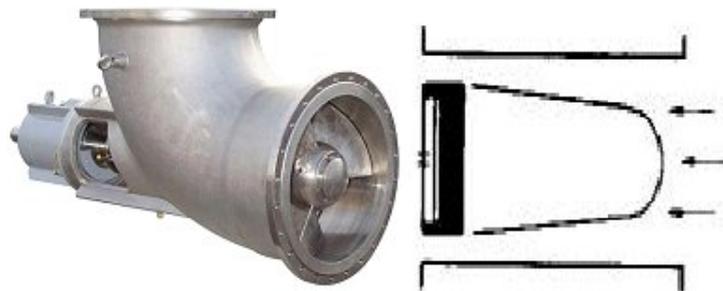


Figura 1.43: Válvula de flujo axial

## 1.4. VARIADORES DE VELOCIDAD

### 1.4.1. DEFINICIÓN

Los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y

tensión de red en magnitudes variables.

### **1.4.2. VARIADOR DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO**

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el número de polos, o la frecuencia. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia.

### **1.4.3. COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD**

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

#### **1. Etapa Rectificadora:**

Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc. Los variadores más utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores.

#### **2. Etapa Intermedia:**

Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Los fabricantes que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.

### 3. Etapa del Inversor:

Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc. El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

### 4. Etapa de Control:

Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16  $kHz$ . Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

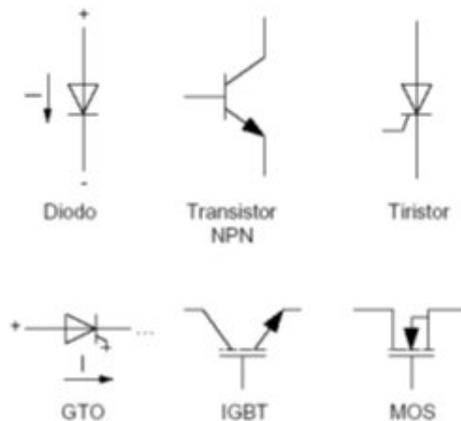


Figura 1.44: Componentes de potencia para la etapa de control

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (po-

tenciómetro o señales externas de referencia) estén aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

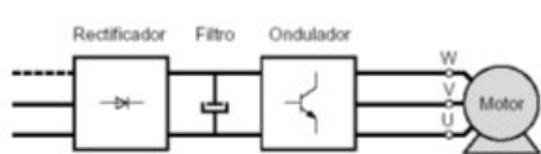


Figura 1.45: Esquema de principio de un convertidor de frecuencia

#### 1.4.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD

1. Puede utilizarse con cualquier motor de corriente alterna trifásica, incluyendo motores antiexplosivos, químicos, encapsulados, de dos velocidades, moto reductora, asincrónica o sincrónica, etc. beginenumerate
2. Protección electrónica del motor, del equipo y de la máquina. Sobrecarga, cortocircuito del motor, puesta a tierra del motor, baja tensión, sobretensión y sobre temperatura. beginenumerate
3. Libre de escobillas, colectores, carbonos, poleas, correas, embragues, llaves de conmutación o elementos de protección mecánicos o eléctricos con desgastes. beginenumerate
4. Aceleración y desaceleración ajustables. beginenumerate
5. Inversión de marcha dinámica. beginenumerate
6. Posibilidad de accionar múltiples motores. beginenumerate
7. Diseñados para trabajo continuo, 24 horas por día en cualquier tipo de industria. beginenumerate

8. Comando remoto a cualquier distancia del motor en forma manual, automatizada o mediante una central computarizada. beginenumerate
9. Modulación vectorial. beginenumerate
10. Reducida cantidad de funciones, fácil de programar. beginenumerate
11. Entradas programables.

#### **1.4.5. TIPOS DE CONTROL DE VELOCIDAD**

##### **Control Escalar**

Un controlador de velocidad de un motor de corriente alterna convencional, alimenta al motor de inducción con un voltaje y una frecuencia controlados. Esto produce un campo magnético rotativo (flujo) en el motor, lo que hace que el rotor gire a una velocidad ligeramente inferior a la velocidad de rotación del campo. Este tipo de variadores es conocido como voltaje variable, frecuencia variable o controlador escalar. Aunque este es un excelente método de control de velocidad para motores de inducción, existen limitaciones en términos de respuesta dinámica, para operaciones a baja velocidad y capacidad de control del par.

##### **Control Vectorial**

El campo rotativo del estator en los motores de inducción, produce una corriente entre las barras del rotor del motor, el cual ajusta a cambio el flujo del rotor. La interacción de flujos del estator y el rotor produce un par rotacional. Mediante el control de la magnitud y fases de las corrientes de entrada del motor, los componentes que producen el flujo y el par de estas corrientes pueden ser controlados con total exactitud, logrando así un control rápido y preciso sobre el

par resultante. Este proceso es conocido como control de orientación del campo, o simplemente control vectorial.

#### **1.4.6. APLICACIONES**

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

##### **1. Transportadoras**

Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.

##### **2. Bombas y ventiladores centrífugos**

Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

##### **3. Bombas de desplazamiento positivo**

Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

##### **4. Ascensores y elevadores**

Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.

##### **5. Extrusoras**

Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la cupla del

motor.

#### **6. Centrifugas**

Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.

#### **7. Prensas mecánicas y balancines**

Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.

#### **8. Máquinas textiles**

Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.

#### **9. Compresores de aire**

Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.

#### **10. Pozos petrolíferos**

Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

### **1.4.7. PROTECCIONES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo. Además,

los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

1. Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
2. Las sobretensiones y las caídas de tensión.
3. Los desequilibrios de fases.
4. El funcionamiento en monofásico.

#### **1.4.8. PROTECCIONES DEL MOTOR**

1. Protección de calado.
2. Disparo de termistor ptc.
3. Límite de corriente durante funcionamiento normal.
4. Límite de velocidad.
5. Dispara modelo térmico motor.
6. Alarma de sobrecarga

### **1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

#### **1.5.1. DEFINICIÓN DE UN PLC**

Un autómata programable (AP) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia,

temporización, recuento y funciones aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.

## **1.5.2. PRINCIPALES COMPONENTES DE UN PLC**

### **1. Fuente de alimentación:**

Convierte la tensión de la red, 110V ó 220V AC a baja tensión de cc (24V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata.

### **2. CPU:**

La Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas.

### **3. Módulo de entradas:**

Aquí se unen eléctricamente los captadores (interruptores, finales de carrera...). La información que recibe la envía al CPU para ser procesada según la programación. Hay 2 tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

### **4. Módulo de salida:**

Es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, motores pequeños...). La información enviada por las entradas a la CPU, cuando está procesada se envía al módulo de salidas para que estas sean activadas (también los actuadores que están conectados a ellas). Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómata: relés, triac y transistores.

#### 5. Terminal de programación:

La terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Sus funciones son la transferencia y modificación de programas, la verificación de la programación y la información del funcionamiento de los procesos.

#### 6. Periféricos:

Ellos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómata pero sí que facilitan la labor del operario.

### 1.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UN PLC

El autómata está siempre repitiendo un ciclo, llamado ciclo de SCAN, que consiste en lo siguiente:

1. En primer lugar lee todas las entradas y almacena el estado de cada una de ellas.
2. En segundo lugar ejecuta las operaciones del programa siguiendo el orden en que se han grabado; ejecuta el segmento 1 del módulo  $PB_0$ , a continuación el segmento 2 del mismo módulo, y así hasta terminar con todos los segmentos del módulo  $PB_0$ , a continuación hace lo mismo con el módulo  $PB_1$ , el  $PB_2$
3. Todo esto si el programador en otro tipo de módulos (los  $OB$ ) no le ha fijado otro orden distinto.
4. En tercer lugar escribe el resultado de las operaciones en las salidas.
5. Una vez escritas todas las salidas (activando o desactivando las que el resultado de las operaciones así lo requieran) vuelve al paso 1.
6. Este ciclo de Scan se realiza indefinidamente hasta que pasemos el conmutador de la CPU a la posición STOP.



Figura 1.46: Flujo del funcionamiento de un PLC

#### 1.5.4. TIPOS DE COMUNICACIÓN

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante. Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos:

1. RS-232
2. RS-485
3. RS-422
4. Ethernet

Sobre estos tipos de puertos de hardware las comunicaciones se establecen utilizando algún tipo de protocolo o lenguaje de comunicaciones. En esencia un protocolo de comunicaciones define la manera como los datos son empaquetados para su transmisión y como son codificados. De estos protocolos los más conocidos son:

1. Modbus

2. Bus CAN
3. Profibus
4. Devicenet
5. Controlnet
6. Ethernet I/P

Muchos fabricantes además ofrecen distintas maneras de comunicar sus PLC con el mundo exterior mediante esquemas de hardware y software protegidos por patentes y leyes de derecho de autor.

### **1.5.5. APLICACIONES DE UN PLC**

1. Las aplicaciones generales de un PLC se describen a continuación:
2. Maniobra de máquinas
3. Maquinaria industrial de plástico
4. Máquinas transfer
5. Maquinaria de embalajes
6. Maniobra de instalaciones:
  - a) Instalación de aire acondicionado, calefacción.
  - b) Instalaciones de seguridad
7. Señalización y control:
8. Chequeo de programas
9. Señalización del estado de procesos
10. Máquinas de ensamble automotriz

## 1.6. PANELES DE VISUALIZACIÓN

### 1.6.1. DEFINICIÓN

Los paneles de monitoreo son pantallas que ayudan a visualizar los parámetros a controlar. En estas pantallas industriales se puede simular iconos de animación, curvas y tableros de control (botoneras) que permiten tener una visión clara de lo que está sucediendo con el proceso.

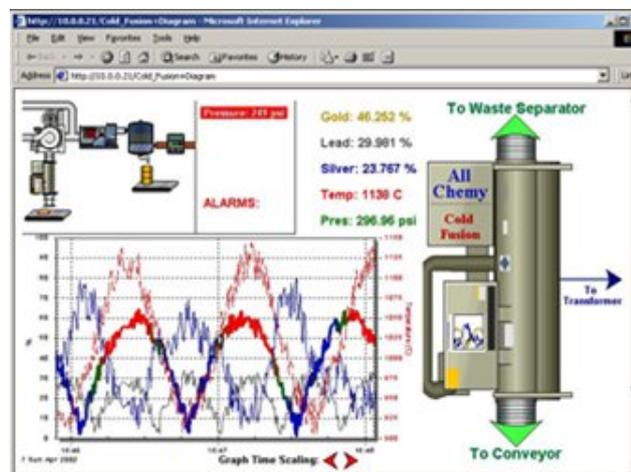


Figura 1.47: Pantalla para control y monitoreo

## **1.6.2. DESCRIPCIÓN**

Es un dispositivo electrónico de interface de operador, proporciona un poderoso control de planta y capacidades de monitoreo de datos para una mayor productividad. El PanelView es un dispositivo extraordinario en el universo real de automatización de sistemas de control. Todos los terminales PanelView están diseñados para ofrecer capacidad de escalado, confiabilidad y compatibilidad. Las características que presentan son:

1. Fácil de usar, robustos y confiables
2. Ahorran valioso espacio de panel
3. Diseñados para una fácil modificación a medida que se expande o cambia el proceso

El panel proporciona una interface de operador con las ventajas de montaje en espacios reducidos, pantallas planas o de hasta tamaños de 3.8 pulg. Estas interfaces electrónicas de operador ofrecen cualidades como desplegadas de gráficos en píxeles y la mejora de la funcionalidad de las pantallas en color frente a las versiones anteriores de los de escala de grises. Tiene una funcionalidad mejorada que incluye manejo de alarmas, entradas y desplegados en caracteres, soporte universal de idiomas, tarjetas de memoria de respaldo y/o de expansión, números de punto flotante y el uso de impresoras en línea.

## **1.7. PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN Y MONITOREO**

### **1.7.1. SOFTWARE DE CONTROL**

TwidoSuite es un entorno de diseño gráfico que permite crear, configurar y gestionar las aplicaciones de los autómatas programables Twido. TwidoSuite es un software de 32 bits para PC que funciona con el sistema operativo Microsoft Windows en sus más reconocidas versiones. El software TwidoSuite utiliza una interface estándar que ofrece la facilidad de manejo del entorno Windows que ya les es familiar a los usuarios: ventanas, barras de herramientas, menús contextuales, pop-ups, ayudas contextuales, etc. TwidoSuite ofrece además una serie de funcionalidades de carácter técnico que facilitan la programación y la configuración:

1. Programación en lenguaje lista de instrucciones o en lenguaje de contactos. Estos dos lenguajes son reversibles.
2. Navegador de la aplicación con visualización a través de ventanas múltiples, lo que facilita la configuración del software.
3. Editores para las principales funciones de programación y de configuración.
4. Funciones cortar, copiar y pegar.
5. Programación simbólica.
6. Gestión de referencias cruzadas.
7. Duplicación de programas de aplicación.
8. In situ (modo conectado), el software TwidoSuite garantiza principalmente las siguientes funciones:

9. Animación en tiempo real de los elementos del programa y/o de los datos.
10. Diagnóstico del funcionamiento del autómatas programable.
  - a) Control de la memoria que utiliza la aplicación.
  - b) Instalación y desinstalación de programas.
  - c) Grabación de programas en los módulos opcionales de memoria EE-PROM

## **1.7.2. SOFTWARE DE MONITOREO CONTROL**

### **Sistemas Escada**

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. Un Sistema de Control Distribuido es un conjunto de lazos automáticos de control entre los cuales se establecen jerarquías en la toma de las decisiones intrínsecas del sistema. En los sistemas SCADA, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador. En la tabla 1.2, se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los sistemas de Control Distribuido (DCS) (Estas características no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, son típicas).

Aspecto	Scada	Dcs
TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA
TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE	SUPERVISORIO: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
TIPOS DE VARIABLES	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
ÁREA DE ACCIÓN	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs.
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
BASE DE DATOS	CENTRALIZADA	DISTRIBUIDA

Figura 1.48: Características de los sistemas Scada y DCS

## Funciones

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

1. Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
2. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
3. Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
4. Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

## **Interfaz**

Un ordenador ayudado de un sistema de información consiste en tres principales componentes: hardware, software y usuario, como se muestra en la figura 1.84. La interacción de estos componentes es una de las más importantes partes del sistema: el interfaz hombre-máquina.



Figura 1.49: Sistema De Información

El interfaz hombre-máquina es un canal comunicativo entre el usuario y el ordenador.

## **Wonderware Intouch**

Wonderware nos ofrece mediante InTouch la posibilidad de generar aplicaciones SCADA al más alto nivel, utilizando las herramientas de programación orientadas a objetos, para usuarios no informáticos. Millares de aplicaciones creadas con InTouch se encuentran en estos momentos en pleno uso y produciendo unos resultados inmejorables. Sus usuarios informan de una mejora muy significativa en su calidad y cantidad de producción y en una reducción de costes de proyecto y mantenimiento. En otro aspecto, los usuarios de InTouch sienten una gran seguridad en el producto debido a la compatibilidad total entre sus diferentes versiones y módulos, asegurando plenamente sus inversiones de energía, tiempo y dinero. Las aplicaciones creadas con InTouch se encuentran en cualquier parte

del mundo, abarcando una gran cantidad de mercados verticales: procesos de alimentación, semiconductores, refinerías, automoción, químicas, farmacéuticas, papel, transporte y muchas más.

### **Labview**

Labview constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de Labview se resumen en las siguientes:

1. Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
2. Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
3. Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
4. Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
5. El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
6. Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

## **Capítulo 2**

# **DISEÑO DEL SISTEMA**

### **2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA**

El sistema estará conformado por tres ciclos, para ello el fluido a utilizar es agua:

#### **2.1.1. CICLO DE LLENADO**

El funcionamiento empieza activándose dos electroválvulas, una correspondiente al ciclo y otra correspondiente a la entrada del primer tanque, solo si estas se han activado se enciende la bomba 01 y se llena el primer tanque cuando este alcanza el nivel alto (LAHTK1), se activa la electroválvula de entrada del segundo tanque y empieza a llenarse y cuando el primer tanque alcanza el nivel muy alto (LAHHTK1) se desactiva la electroválvula de entrada al primer tanque; cuando el segundo tanque alcanza el nivel alto (LAHTK2), se activa la electroválvula de entrada al tercer tanque y empieza a llenarse y cuando el segundo tanque alcanza el nivel muy alto (LAHHTK2) se desactiva la electroválvula de entrada al segundo tanque; cuando el nivel del tercer tanque alcanza el nivel muy alto (LAHHTK3) se apaga la bomba 01 y se desactiva la electroválvula de entrada al tercer tanque y la electroválvula del ciclo de llenado, y así termina este proceso.

### **2.1.2. CICLO DE DESPACHO**

El funcionamiento empieza activándose tres electroválvulas, dos correspondientes al ciclo y la otra correspondiente a la salida del primer tanque, solo si están activadas se enciende la bomba 02 y empieza a vaciar el primer tanque, cuando el nivel del primer tanque sea bajo (LALTK1) se activa la electroválvula de salida del segundo tanque y cuando el nivel del primer tanque sea muy bajo (LALLTK1) se desactiva la electroválvula de salida del primer tanque; cuando el nivel del segundo tanque sea bajo (LALTK2) se activa la electroválvula de salida del tercer tanque y cuando el nivel del segundo tanque sea muy bajo (LALLTK2) se desactiva la electroválvula de salida del segundo tanque; cuando el nivel del tercer tanque sea muy bajo (LALLTK3) se apaga la bomba 02 y se desactivan la electroválvula correspondientes al proceso y así termina este proceso.

### **2.1.3. CICLO DE RECIRCULACIÓN**

El funcionamiento de este ciclo depende de que todos los tanques estén totalmente llenos si es así empiezan activándose 8 electroválvulas, 3 correspondientes a las entradas de cada tanque, 3 correspondientes a las salidas de cada tanque y dos correspondientes al ciclo, solo si todas las anteriores están activas se puede encender la bomba 02 y empieza a recircular el fluido (agua) por los tres tanques de depósito, si se desea finalizar el ciclo se da la señal de parada.

## **2.2. DISEÑO MECÁNICO**

### **2.2.1. DESCRIPCIÓN**

El diseño mecánico es el resultado de investigaciones sobre el límite de fluencia de los materiales, valor de esfuerzo aplicado en el que el material comienza a

deformarse permanentemente, adquiriendo propiedades diferentes a las que tenía antes de someterlo a una fuerza. El proceso de diseño inicia con la identificación de la necesidad, para luego plantear el problema concreto, también se realiza de manera interactiva el análisis y síntesis hasta concluir con el diseño final. Es decir en este caso debemos empezar por describir cada pieza que es parte del módulo:

1. Estructura de madera.
2. Estructura de apoyo metálica
3. Cubas de recepción
4. Tuberías y Válvulas
5. Bomba centrífuga

### **2.2.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE MADERA**

Los 3 tanques se apoyaran en una plancha de madera, la cual será seleccionada de acuerdo al peso que soportará, esto se diseña en el peor de los casos, o sea con los tanques totalmente llenos, lo que se hará es determinar el peso total sobre la plancha de madera para eso se necesitara saber cuántos litros de agua contiene cada tanque de depósito.

$$V = \frac{m}{\delta} \quad (2.1)$$

Dónde:

$V$  = Volumen del recipiente

$m$  = masa del acrílico

$\delta$  = densidad del agua

En este caso los datos que tenemos son los siguientes:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (2.2)$$

$$V = \pi * (0,125m)^2 * (0,7m)$$

$$V = 0,03436m^3 = 34,36lt$$

$$m = 0,5kg$$

$$\delta = 1 \frac{kg}{lt}$$

$$m = \frac{V}{\delta}$$

$$m = \frac{34,36lt}{1 \frac{kg}{lt}}$$

$$m = 34,36kg$$

$$m_{total} = 34,36kg + 0,5kg$$

$$m = 34,86kg$$

Ahora encontramos el peso en newton:

$$w = m * g \tag{2.3}$$

$$w = 34,86kg * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 341,628N$$

Esta es la fuerza necesaria para poder realizar los siguientes cálculos, dichos cálculos los realizamos con la ayuda del programa MDSolids 2.6, el programa calcula los momentos que provocan las fuerzas que actúan sobre la plancha, además nos otorga un diagrama donde se muestra los momentos de flexión aplicados a la sección.

$$\sigma = \frac{M_y}{Z} \tag{2.4}$$

Dónde:

$\sigma$  = tensión normal en vigas

$M_y$  = Momento de flexión aplicado en la sección

$Z$  = Módulo de sección hueca

$$Z = \frac{I}{y} \tag{2.5}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (2.6)$$

Dónde:

$I$  = momento de inercia

$b$  = base de la sección transversal

$h$  = altura del material

$$I = \frac{800mm*(15mm)^3}{12}$$

$$I = 225000mm^4$$

$$y = \frac{a}{2}$$

$$y = \frac{15mm}{2}$$

$$y = 7,5mm$$

$$Z = \frac{225000mm^4}{7,5mm}$$

$$Z = 30000mm^3$$

$$\sigma = \frac{177650N*mm}{30000mm^3}$$

$$\sigma = 5,921 \frac{N}{mm^2} = 60,36 \frac{kg}{cm^2}$$

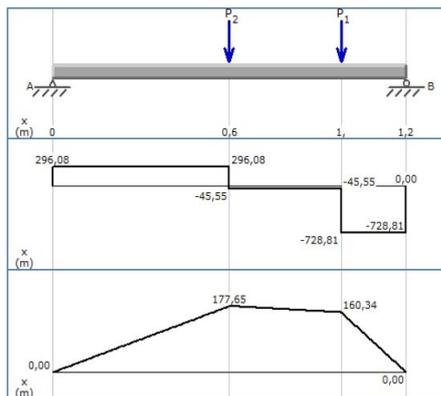


Figura 2.1: Diagrama de fuerzas momento en la estructura de madera y soporte para los tanques de agua

Para los cálculos realizados anteriormente se verifica las propiedades de la plancha de madera (MDP), donde se encuentra el momento flexionante mínimo que tolera, con lo cual se demuestra que la estructura no sufre deformación extrema por pesos ya que el análisis proporcionó un esfuerzo tensionante que se encuentra dentro de los rangos sugeridos por el fabricante como se muestra en la tabla para un espesor de 15 mm, se utilizó Madera MDP por su ser un material muy liviano resistencia a deformaciones ocasionadas por el peso, también da un excelente acabado en el módulo, resistente a las vibraciones y es económico.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE MDP					
Espesor mm. (+/-0.3mm.)	Peso Especifico Kg/m3 densidad +/-5%	Peso kg. Tablero 2.15x2.44mts 7x8pies +/-5%	Módulo de Ruptura kg/cm2 flexión mínimo	Resistencia a la tracción (Perpendicular a las caras) Kg/cm2 mínimo	Agarre de tornillo En la / En el cara / canto mínimo
4	773	16	220	3,8	N/A N/A
6	742	23	220	6,6	N/A N/A
8	710	30	189	5,5	N/A N/A
9	700	33	189	5,5	N/A N/A
12	680	43	189	5,5	115 94
15	670	53	171	4,9	115 94
18	659	62	171	3,8	115 94
25	597	78	147	3,3	115 94
30	597	94	131	2,7	115 94
36	597	113	126	2,2	115 94
40	597	125	126	2,2	115 94

Figura 2.2: Características técnicas de la MDP

El material elegido fue el que se señala en la figura anterior, donde podemos observar sus características principales, 15 mm de grosor y un módulo de ruptura de  $171 \frac{kg}{cm^2}$ , por lo tanto con el valor anteriormente calculado que es  $60,36 \frac{kg}{cm^3}$ , en conclusión el material resiste el peso a aplicársele.

### 2.2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL DE APOYO

La estructura principal de apoyo es la que servirá de base para todos los elementos del módulo, para poder construir dicha base debemos tomar en cuenta que la necesidad principal es soportar el peso de todos los elementos una vez ensamblada toda la estructura para realizar los cálculos pertinentes.

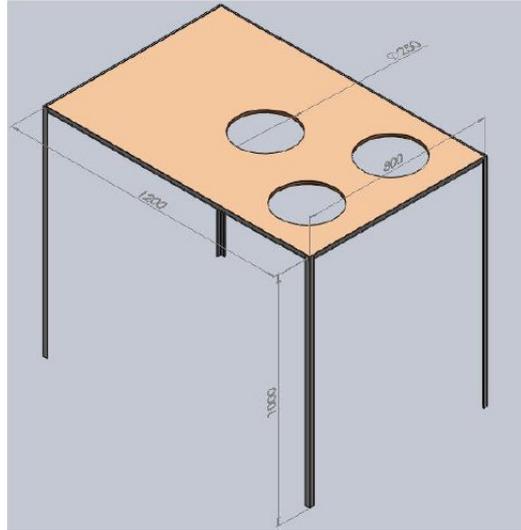


Figura 2.3: Base de construcción metálica para el modulo con medidas en milímetros

### Procedimiento de Cálculo

Para comenzar con estos cálculos se necesita tomar en consideración el peso de cada elemento montado en la estructura.

CANTIDAD	DEMONINACIÓN	PESO (Kg)	PESO TOTAL
1	Plancha MDP	53	53
1	PLC TWIDO	0,522	0,522
1	Variador Altivar	1,05	1,05
2	Bombas	2,5	5
2	Módulos I/O	0,2	0,4
1	Magelis	0,3	0,3

Tabla 2.1: Lista de pesos de los elementos que posaran en la estructura

El peso total de los elementos nos da:

$$m_E = 60,572 \text{ kg}$$

A este peso se le agrega el peso de los tanques llenos:

$$m_t = 60,572 \text{ kg} + 34,86 \text{ kg}$$

$$m_t = 95,432 \text{ kg}$$

$$w = m_t * g$$

$$w = 95,432 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 935,233 \text{ N}$$

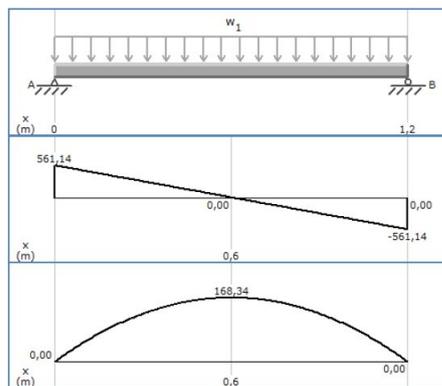


Figura 2.4: Diagrama de fuerzas y momento en la estructura principal de apoyo

$$Z = \frac{I}{y}$$

Dónde:

$Z$  = Módulo de sección hueca

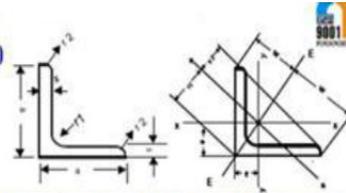
$I$  = Momento de Inercia

$y$  = Sección Transversal

Ahora de la siguiente figura obtendremos el momento de inercia:

## ÁNGULOS (De alas Iguales)

Calidad ⇒ COVENIN 1036 - 2005  
 ⇒ ASTM - A - 36. ⇒ ST - 37 - 2  
 Longitud de 12 y 6 metros. L= Medida de la ala x medida espesor.



✓ NACIONALES.

L	DIMENSIONES (mm)				Área cm <sup>2</sup>	Peso kg/m	DISTANCIA DE LOS EJES				MOMENTO RESPECTO A LOS EJES								
	a	s	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>			e	w	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	x - x = y - y			E-E			n - n		
											I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	R <sub>x</sub> cm	I <sub>E</sub> cm <sup>4</sup>	R <sub>E</sub> cm	I <sub>n</sub> cm <sup>4</sup>	R <sub>n</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>n</sub> cm	
20 x 3	20	3.0	3.5	2.0	1.12	0.88	0.60	1.41	0.85	0.70	0.39	0.28	0.59	0.62	0.74	0.15	0.18	0.37	
25 x 3	25	3.0	3.5	2.0	1.42	1.12	0.73	1.77	1.03	0.87	0.79	0.45	0.75	1.27	0.95	0.31	0.30	0.47	
30 x 3	30	3.0	5.0	2.5	1.74	1.36	0.84	2.12	1.18	1.04	1.41	0.65	0.90	2.24	1.14	0.57	0.48	0.57	
35 x 4	35	4.0	5.0	2.5	2.67	2.10	1.00	2.47	1.41	1.24	2.96	1.18	1.05	4.68	1.33	1.24	0.88	0.68	
40 x 4	40	4.0	6.0	3.0	3.87	3.04	1.08	2.83	1.53	1.27	4.14	1.71	1.04	6.50	1.30	1.77	1.16	0.68	
40 x 6	40	6.0	6.0	3.0	4.48	3.52	1.20	2.83	1.70	1.43	6.33	2.26	1.19	9.98	1.49	2.67	1.57	0.77	
50 x 5	50	5.0	7.0	3.5	3.89	3.06	1.36	3.54	1.92	1.75	8.97	2.46	1.52	14.20	1.91	3.73	1.94	0.98	
50 x 7	50	7.0	7.0	3.5	4.80	3.77	1.40	3.54	1.98	1.76	11.00	3.05	1.51	17.40	1.90	4.59	2.32	0.98	
65 x 5	65	4.5	9.0	4.5	6.35	4.98	1.75	4.60	2.49	2.28	24.96	5.27	1.98	39.91	2.53	10.00	4.00	1.27	
65 x 6	65	6.0	9.0	4.5	7.53	5.91	1.80	4.60	2.55	2.28	29.20	6.21	1.97	46.30	2.48	12.10	4.74	1.27	
75 x 7	75	7.0	10.0	5.0	10.10	7.94	2.09	5.30	2.95	2.63	52.40	9.67	2.28	83.60	2.88	21.10	7.15	1.45	
75 x 8	75	8.0	10.0	5.0	11.50	9.03	2.13	5.30	3.01	2.65	58.90	11.00	2.26	93.30	2.85	24.40	8.11	1.46	
90 x 7	90	7.0	11.0	5.5	12.20	9.62	2.45	6.36	3.46	3.17	92.50	14.13	2.75	147.0	3.46	38.00	11.00	1.77	
100 x 8	100	8.0	12.0	6.0	15.50	12.20	2.74	7.07	3.87	3.52	145.00	19.90	3.06	230.00	3.85	59.90	15.50	1.96	
100 x 10	100	10.0	12.0	6.0	19.20	15.10	2.82	7.07	3.99	3.54	177.00	24.70	3.04	280.00	3.82	73.30	18.40	1.95	

Figura 2.5: Momento de Inercia para ángulos

El momento de inercia para los perfiles utilizados es:

$$I = 1,41 \text{ cm}^4 = 14100 \text{ mm}^4$$

Ahora se calcula la sección transversal del perfil:

$$y = \frac{a}{2}$$

$$y = 3 \frac{\text{mm}}{2}$$

$$y = 1,5 \text{ mm}$$

Ahora se calcula el Módulo de Sección Hueca:

$$Z = \frac{14100 \text{ mm}^4}{1,5 \text{ mm}}$$

$$Z = 9400 \text{ mm}^3$$

Luego se calcula la tensión normal en vigas:

$$\sigma = \frac{168340 \text{ N} \cdot \text{mm}}{9400 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 17,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 17,9 \text{ MPa}$$

Aquí utilizamos un factor de seguridad  $n = 2$ , con esto podemos calcular la resistencia a la cedencia del material y ver si se encuentra dentro del rango que ofrece el material.

$$S_y = n * \sigma \quad (2.7)$$

$$S_y = 2 * 17,9MPa$$

$$S_y = 35,8MPa < S_{yt} = 248MPa$$

Transformando las unidades  $MPa$  a  $\frac{kgf}{cm^2}$ :

$$S_y = 365,05kgf * cm^2 < S_{yt} = 2,400kgf * cm^2$$

PROPIEDADES MECÁNICAS	kgf/cm <sup>2</sup>
Límite de fluencia mínimo	2400
Resistencia a la tracción mínima	3400
Resistencia a la tracción máxima	4800
<b>ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA Lo = 5.65 *(Ao) 1/2mm</b>	
	26%

Figura 2.6: Propiedades del acero estructural ASTM A-36

Por lo tanto el material no falla, se utiliza ángulos de acero estructural por su excelente resistencia a deformaciones ocasionadas por el peso, también considerando que proporciona rigidez a la estructura ya que este material soporta las vibraciones y grandes pesos.

#### 2.2.4. DISEÑO DE LAS CUBAS DE RECEPCIÓN

El nivel de fluido (agua) que contiene el depósito estará sobre el nivel de referencia del eje de la bomba hidráulica, provocando de esta manera una alimentación natural hacia la entrada de la bomba de succión. La inducción del fluido en el sistema hidráulico alcanzará el nivel de referencia de los tanques, éste es evacuado de forma normal al tanque reservorio de agua que está situado en la parte baja de la mesa gracias a que el depósito principal de visualización se encuentra abierto al aire libre por lo tanto está a presión atmosférica.

Con estas características se fabrica tres tanques cilíndricos para el depósito del fluido que son hechos de acrílico de 0.25 metros de diámetro, y una altura de 0.80 metros, el volumen estimado a ocupar en este tanque es de 35 litros de agua (0.70 m de altura), nivel de referencia del fluido.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Por lo tanto:

$$V = \pi * (0,125m)^2 * (0,7m) = 34,36lt$$

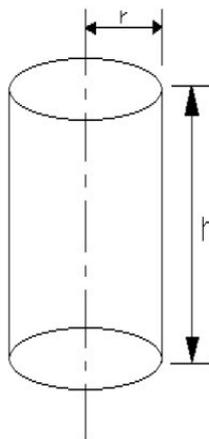


Figura 2.7: Depósito de fluido

## Procedimiento de Cálculo

Para la elaboración de la estructura se va a formar tres cilindros que van a servir como depósitos.

El prototipo utiliza un tanque "principal" para representar al embalse de agua. Dos bombas eléctricas la primera o principal se encarga de suministrar agua a los depósitos desde el tanque reservorio y la secundaria se encarga de recircular el agua por los tres tanques de depósito, aquí cabe recalcar que los tres tanques se mantendrán totalmente llenos.

Para la selección del material fue necesario calcular las diferentes presiones a la que se encuentra sometido el recipiente que contiene el líquido como se muestra en la figura. La presión atmosférica se encuentra mediante la siguiente fórmula:

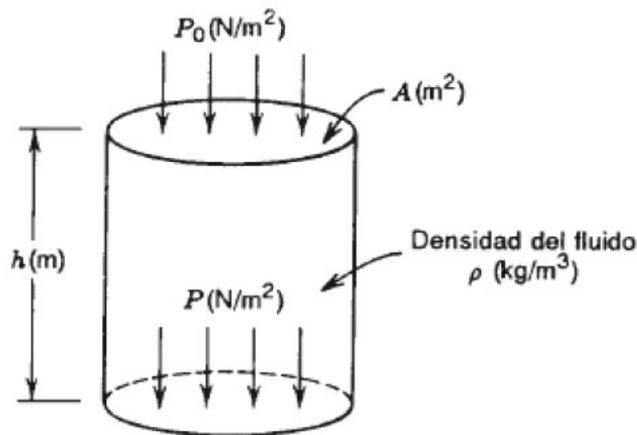


Figura 2.8: Diagrama de presiones en un recipiente

$$P_0 = h * \rho_e \quad (2.8)$$

Por lo tanto:

$$P_0 = 90cm * 13,6 \frac{gf}{cm^2} = 1224mmHg$$

En Latacunga, la presión atmosférica tiene un valor de 540 mmHg por lo tanto este es el valor para el cálculo.

La presión que intervienen en el cilindro es:

$$P = 540\text{mmHg} = 0,7105\text{atm}$$

Para la fabricación de los cilindros se selecciona el acrílico de 3mm de espesor debido a su excelente resistencia a la intemperie, además debido a esta característica el material no demuestra cambios significativos en sus propiedades físicas aún estando expuesto a largos periodos de tiempo, la transmisión de visibilidad es del 92 % en cuanto a la estética y su apreciación es excelente, gran resistencia a fuerzas internas de presión (10atm), se puede utilizar con químicos como (agua, álcalis, ácidos diluidos, hidrocarburos), alto aislamiento eléctrico mejor que el vidrio, soporta temperaturas de deflexión (límite de temperatura en el cual el material empieza a perder la rigidez) de 72° a 100°C, ligereza peso específico de 1,19gr/cm<sup>3</sup>, es 50 % más ligero que el vidrio, 43 % más ligero que el aluminio, dureza similar a la de los metales no ferrosos como el cobre y el latón, retarda la flama en caso de incendio.



Figura 2.9: Tanque de acrílico

### Cálculos para la selección del acrílico

Para poder saber si el material deseado será lo suficientemente capaz de resistir la presión ejercida por cantidad de volumen de agua que contendrá es necesario calcular el esfuerzo longitudinal en un cilindro de pared delgada.

$$\sigma = \frac{P * D_m}{4 * t} \quad (2.9)$$

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo Longitudinal en un cilindro

$P$  = Presión en la pared

$D_m$  = Diametro Medio

$t$  = Espesor de la pared

El peso específico del agua a 15°C que usamos está en la figura 2.10:

$$P = \gamma * h \quad (2.10)$$

Dónde:

$\gamma$  = Peso específico del agua

$$P = 9,81 \frac{kN}{m^3} * 0,9m$$

$$P = 8,829kPa$$

$$D_m = \frac{D_e - D_i}{2}$$

$$D_m = \frac{0,25m + 0,244m}{2}$$

$$D_m = 0,247m$$

$$t = 0,003m$$

$$\sigma = \frac{8,829kPa * 0,247m}{4 * (0,003m)}$$

$$\sigma = 181,73kPa$$

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa · s) o (N · s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

Figura 2.10: Propiedades del agua

En la tabla de especificaciones técnicas que se muestra en la siguiente figura, el esfuerzo es de  $3103MPa$  mientras que para el acrílico usado para los cilindro el esfuerzo es de  $181,73kPa$  es menor del que se describe en la tabla por lo tanto se concluye que el cilindro está bien diseñado y soportara la presión ejercida por el agua que contendrá.

Indice de refracción	1.49 mínimo
Nd. 296 K (23 C) (Material no Pigmentado)	1.50 máximo
Gravedad Especifica (Material no Pigmentado)	1.18 - 1.19
% Nebulosidad (Material Incoloro)	2.0 máxima
% Transmisión de Luz para espesores de : 1.5 mm a 5.00 mm 5.6 mm a 25.4 mm	92 mínimo 90 mínimo
% Transmitancia espectral a cualquier longitud de onda en la región 290 - 330 nm - con 6.3 mm de espesor de lamina (Material incoloro)	5 máxima
Factor de desplazamiento para espesores de : 1.5 mm - 5.0 mm 5.6 mm - 25.4 mm (Colores Transparentes)	50 máximo 80 máximo
Dureza Barcol	50 ± 2
% Encogimiento	2.8 máxima
Esfuerzo a la tensión MPa (Kgf/cm)	3103 mínimo (31651)
% Elogacion a la ruptura	2 - 5
Modulo de Elasticidad MPa (Kfc/cm)	3108 (31,700)
Resistencia al impacto Ranurado (J/m)	17.81
Dimensiones	0.30 X 1.22 ( 3mm de spesor)
Dimensiones	0.60 X 1.22 ( 6 mm de espesor)

Figura 2.11: Especificaciones técnicas del acrílico de 3mm

## 2.2.5. SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS

### Tuberías y Accesorios

A medida el agua fluye por tuberías, codos, válvulas y otros dispositivos, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna del material con el fluido, estas pérdidas de energía traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema. En base al análisis anterior y a la distribución del sistema hidráulico a diseñarse y posteriormente a construirse se escogió la tubería y accesorios de PVC (cloruro de polivinil) roscable de alta presión.



Figura 2.12: Tuberías y accesorios de PVC

Para la elaboración del sistema de recorrido del agua se tomó en cuenta que se posee una considerable cantidad de agua, ya que se tiene 3 tanques de 35 litros cada uno aproximadamente, por lo tanto, el calibre de la tubería y sus accesorios será de 1 pulgada. Como el sistema es automático la apertura o cierre al paso del fluido (agua) se lo realiza con electroválvulas.

### **Válvulas de Bola**

Utilizadas para seleccionar la operación del sistema hidráulico ya sea en sistema en serie, paralela o individualmente tienen una lógica de funcionamiento todo o nada es decir o cierran y abren para disponer el trabajo de un fluido en sistema esta acción es realizada por un giro de 90 grados a través de una palanca que forma parte de la válvula.



Figura 2.13: Válvula de Bola

## Electroválvulas

En nuestro caso con se trata de automatizar el sistema se usó electroválvulas ya que a diferencia de las válvulas normales, estas son accionadas mediante el paso de corriente eléctrica por la bobina de un solenoide adjuntado a la estructura de la válvula. Estas electroválvulas son de la marca BERMAT, son hechas de plástico, para mayor información revisar ANEXO E.



Figura 2.14: Electroválvula de plástico

## Válvula Check

Esta válvula tiene un disco empotrado o de charnela que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa. Hay dos diseños: uno en "Y" que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables.



Figura 2.15: Válvula Check

### **Bomba Centrífuga**

Para poder seleccionar la bomba centrífuga que se encargara de succionar e impulsar el agua desde el depósito principal a los depósitos receptores, debemos calcular la cantidad de pérdidas por fricción que se presentan en el sistema de tuberías y accesorios, con esto podremos calcular la potencia del motor eléctrico necesaria para mantener un valor de caudal determinado, para ello necesitamos realizar los cálculos pertinentes.

Antes de empezar con los cálculos debemos plantearnos claramente cuáles son las características del sistema.

El sistema consta de un tanque de depósito principal, la bomba se encargara de succionar el agua de dicho tanque y transportarla por la tubería a tres tanques reservorios obviamente no al mismo tiempo.

Por lo tanto tendremos una línea de succión y tres líneas de descarga. Ahora en la línea de succión tenemos los siguientes datos:

1. Longitud de la línea 0.3 m
2. Un adaptador de tanque de 1"
3. Dos codos estándar de 90° PVC de 1"
4. Una válvula Check de 1"

Ahora como tenemos tres líneas de descarga a continuación se describe los elementos que intervienen en cada una:

**1. Línea del tanque 1:**

- a) Longitud de la línea 2.04 m.
- b) Tés PVC de 1”.
- c) Cinco codos estándar de 90° PVC de 1”.
- d) Dos electroválvulas de 1”.

**2. Línea del tanque 2:**

- a) Longitud de la línea 1.58 m.
- b) Cuatro té PVC de 1”.
- c) Cuatro codos estándar de 90° PVC de 1”.
- d) Dos electroválvulas de 1”.

**3. Línea del tanque 3:**

- a) Longitud de la línea 2.01 m.
- b) Cuatro té PVC de 1”.
- c) Cuatro codos estándar de 90° PVC de 1”.
- d) Dos electroválvulas 1”.

A continuación se procede a realizar los cálculos:

1. **Procedimiento de Cálculo** Ahora calcularemos el factor de fricción ( $f_T$ ) para tubería de PVC de 1”, para ello antes se calcula el número de Reynolds y la rugosidad relativa:

$$RugosidadRelativa = \frac{D_i}{E} \quad (2.11)$$

Dónde:

$D_i$  = Diametro Interno de la tubería de PVC

$E$  = Rugosidad del material Ver tabla de la figura 2.16

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

Figura 2.16: Rugosidad del plástico

$$D_i = D_e - 2 * t \quad (2.12)$$

Dónde:

$D_i$  = Diametro Interno de la tubería de PVC

$D_e$  = Diametro Externo de la tubería de PVC

$t$  = Espesor de la tubería de PVC

$$D_i = 25,4mm - 2 * (3,38mm)$$

$$D_i = 0,01864m$$

$$\frac{D_i}{E} = \frac{0,01864m}{3*10^{-7}m}$$

$$\frac{D_i}{E} = 62133,33$$

$$N_R = \frac{V * D_i * \rho}{\mu} \quad (2.13)$$

Dónde:

$N_R$  = Número de Reynolds

$V$  = Velocidad del fluido en m/s

$D_i$  = Diametro Interno de la tuberia de PVC

$\rho$  = Densidad del agua a  $15^\circ C$ . Ver tabla de la figura 2.10

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua a  $15^\circ C$ . Ver tabla de la figura 2.10

$$N_R = \frac{1,1302(m/s)*0,01864(m)*1000(kg/m^3)}{1,15*10^{-3}(N*s/m^2)}$$
$$N_R = 18319,06 > 4000 \text{ Es flujo turbulento}$$

$$f_T = \frac{0,25}{\lg\left(\frac{1}{3,7*\frac{D_i}{E}} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}}\right)^2} \quad (2.14)$$

Dónde:

$f_T$  = Factor de fricción

$\frac{D_i}{E}$  = Rugosidad relativa

$N_R$  = Número de reynolds

$$f_T = \frac{0,25}{\lg\left(\frac{1}{3,7*62133,33} + \frac{5,74}{18319,06^{0,9}}\right)^2}$$

$f_T = 0,0264$  Es el factor de fricción para tuberia de PVC

Ahora realizaremos los cálculos de pérdidas en la línea de succión:

a) **Perdida en la entrada:**

$$h_1 = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad (2.15)$$

Para conducto de proyección hacia adentro:

$K = 1$  Ver figura 2.17

$$h_1 = (1) * \frac{(1,1302m/s)^2}{(2*9,81m/s^2)}$$
$$h_1 = 0,065m$$

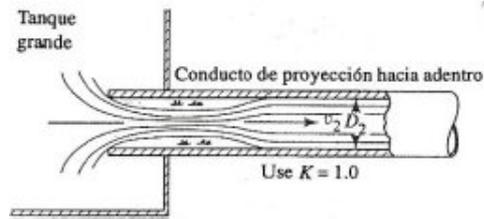


Figura 2.17: Coeficiente de fricción para entrada de proyección hacia adentro

**b) Pérdida por fricción en la línea de succión:**

$$h_2 = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_2 = \left( 0,0264 * \frac{0,3m}{0,0254m} \right) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_2 = 0,0203m$$

**c) Pérdida en los 2 codos PVC de 90° de 1”:**

$$h_3 = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_3 = (0,0264 * 30) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_3 = 0,0515m * 2$$

$$h_3 = 0,103m$$

**d) Pérdida en la válvula Check de 1”:**

$$h_4 = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_4 = (0,0264 * 135) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_4 = 0,232m$$

Ahora se calcula las pérdidas por fricción en línea de descarga:

**a) Pérdida por fricción en la línea de descarga del primer tanque:**

$$h_5 = \left( f_T * \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_5 = \left( 0,0264 * \frac{2,04m}{0,0254m} \right) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s)^2)} \right)$$

$$h_5 = 0,138m$$

**b) Perdida en las 4 té s PVC de 1”:**

$$h_6 = \left( f_T * \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_6 = (0,0264 * 60) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s)^2)} \right)$$

$$h_6 = 0,103m * 4$$

$$h_6 = 0,4125m$$

**c) Perdida en los 5 codos estándar de 90° PVC de 1”:**

$$h_7 = \left( f_T * \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_7 = (0,0264 * 30) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s)^2)} \right)$$

$$h_7 = 0,0515m * 5$$

$$h_7 = 0,2575m$$

**d) Perdida en las 2 electroválvulas de 1”:**

$$h_8 = \left( f_T * \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_8 = (0,0264 * 340) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s)^2)} \right)$$

$$h_8 = 0,584m * 2$$

$$h_8 = 1,168m$$

**e) Perdida por fricción en la línea de descarga del segundo tanque:**

$$h_9 = \left( f_T * \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_9 = \left(0,0264 * \frac{1,58m}{0,0254m}\right) * \left(\frac{(1,1302(m/s))^2}{2*(9,81(m/s)^2)}\right)$$

$$h_9 = 0,106m$$

**f) Perdida en las 4 tés PVC de 1”:**

$$h_{10} = \left(f_T * \frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

$$h_{10} = (0,0264 * 60) * \left(\frac{(1,1302(m/s))^2}{2*(9,81(m/s)^2)}\right)$$

$$h_{10} = 0,103m * 4$$

$$h_{10} = 0,4125m$$

**g) Perdida en los 4 codos estándar de 90° PVC de 1”:**

$$h_{11} = \left(f_T * \frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

$$h_{11} = (0,0264 * 30) * \left(\frac{(1,1302(m/s))^2}{2*(9,81(m/s)^2)}\right)$$

$$h_{11} = 0,0515m * 4$$

$$h_{11} = 0,206m$$

**h) Perdida en las 2 electroválvulas de 1”:**

$$h_{12} = \left(f_T * \frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

$$h_{12} = (0,0264 * 340) * \left(\frac{(1,1302(m/s))^2}{2*(9,81(m/s)^2)}\right)$$

$$h_{12} = 0,584m * 2$$

$$h_{12} = 1,168m$$

**i) Perdida por fricción en la línea de descarga del tercer tanque:**

$$h_{13} = \left(f_T * \frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2*g}\right)$$

$$h_{13} = \left(0,0264 * \frac{2,01m}{0,0254m}\right) * \left(\frac{(1,1302(m/s))^2}{2*(9,81(m/s)^2)}\right)$$

$$h_{13} = 0,136m$$

**j) Pérdida en las 4 térs PVC de 1”:**

$$h_{14} = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_{14} = (0,0264 * 60) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_{14} = 0,103m * 4$$

$$h_{14} = 0,4125m$$

**k) Pérdida en los 4 codos estándar de 90° PVC de 1”:**

$$h_{15} = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_{15} = (0,0264 * 30) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_{15} = 0,0515m * 4$$

$$h_{15} = 0,206m$$

**l) Pérdida en las 2 electroválvulas de 1”:**

$$h_{16} = (f_T * \frac{L}{D}) * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_{16} = (0,0264 * 340) * \left( \frac{(1,1302(m/s))^2}{2 * (9,81(m/s^2))} \right)$$

$$h_{16} = 0,584m * 2$$

$$h_{16} = 1,168m$$

El paso siguiente es calcular la pérdida total, realizando una sumatoria de todas la pérdidas calculadas anteriormente:

$$h_L = \sum_{i=1}^{16} h_i$$

$$h_L = 6,2113m$$

Para calcular la carga total en la bomba se utilizara la ecuación general de la energía:

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + z_2 - z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_L \quad (2.16)$$

Dónde:

$P_2 - P_1 = 0$  Ya que los recipientes estan abiertos.

$z_1 = 0$  Debido a que es el nivel de referencia.

$V_2^2 - V_1^2 = 0$  Por que la velocidad es la misma.

Por lo tanto nos queda:

$$h_a = z_2 + h_L$$

$$h_a = 1,06m + 6,2113m$$

$$h_a = 7,2713m$$

Sabiendo ahora la carga total sobre la bomba se procede a seleccionar la bomba.

Para la determinación de la potencia del motor de la bomba que será empleado en el suministro de agua se aplicara la siguiente fórmula:

$$P_a = h_a * \gamma * Q \quad (2.17)$$

Dónde:  $P_a$  = Potencia requerida por bombas

$h_a$  = Carga total a la bomba

$\gamma$  = Peso especifico del agua

$Q$  = Caudal

$$P_a = 7,2713 \left( \frac{N.m}{N} \right) * 9,81 * 10^3 \left( \frac{N}{m^3} \right) * 0,0005725 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$P_a = 40,83W$$

$$P_a = 0,054Hp$$

Considerando que en las operaciones existen rangos de eficiencia, se determinara por lo tanto la potencia real, considerando lo siguiente:

$$P_R = \frac{P_a}{\%}$$

Dónde:

$P_R$  = Potencia Real

$P_a$  = Potencia teorica requerida por las bombas

% = Eficiencia

Para este caso la eficiencia será 80% (por desgaste en rodamientos, desgaste en escobillas) este dato no se encuentra en la placa del motor.

$$P_R = \frac{0,054Hp}{0,8}$$

$$P_R = 0,0675Hp$$

Cabe mencionar que todas las longitudes equivalentes (L/D), se encuentran en la tabla de la siguiente figura:

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de conducto, $L/D$
Válvula de globo—completamente abierta	340
Válvula de ángulo—completamente abierta	150
Válvula de compuerta—completamente abierta	8
—3/4 abierta	35
—1/2 abierta	160
—1/4 abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo de bola	150
Válvula de mariposa—completamente abierta	45
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio de largo de 90°	20
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar—con flujo a través de un tramo	20
Te estándar—con flujo a través de una rama	60

Figura 2.18: Longitud equivalente de accesorios

Para la selección de bombas mediante curvas, al tener un caudal bajo y la carga de la bomba calculado es solamente  $7,2713m$ , no se encuentra tablas con curvas en esos rangos que indique eficiencia y  $NPSH$  para profundizar más cálculos que ayude a ver mejor el comportamiento del sistema. Pero se puede obtener tablas de distribuidores de bombas que ayudan a verificar los datos obtenidos mediante cálculos y justificar así el uso de la bomba que se ocupa en el sistema Ver Figura 2.19 y Tabla 2.20.

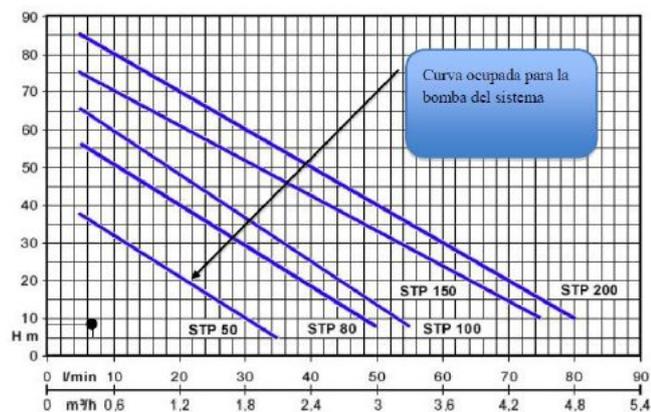


Figura 2.19: Curva de selección de bombas

Tipo		P <sub>2</sub>		Capacitor		Corriente		Q=	Caudal										
Monofásica	Trifásica	Nominal				Amp.		m <sup>3</sup> /h											
1	2	Kw.	HP	µF	V <sub>C</sub>	1~	3~	l/h*											
60 Hz	60 Hz					127	230	440	H=	Carga Dinámica Total (m)									
STP 80	STP 80 T	0.37	0.5	8	450	4.8	1.0	0.05	(m)	37.5	32	21	10						
STP 80	STP 80 T	0.6	0.8	14	450	7.5	2.4	1.2		56	51	40	30	18.5	8				
STP 100	STP 100 T	0.75	1.0	20	450	10.8	4.0	2		85	59	47.5	36	25	13				
STP 150	STP 150 T	1.1	1.5	35	450	18	6.0	3		75	70	61	52	42.5	33	24	15		
STP 200	STP 200 T	1.5	2.0	40	450	23	7.2	3.8		85	80	70	60	50	40	30	20	10	

Figura 2.20: Rendimiento y capacidad de la bomba elegida

## 2.3. DISEÑO ELÉCTRICO

### 2.3.1. PROTECCIONES ELÉCTRICAS

De acuerdo con lo que establece el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión (REBT), en la instrucción IMIE BT 020, todo circuito debe estar protegido contra los efectos de las sobre intensidades que se pueden presentar en el sistema de circuitos.

Además de las protecciones contra sobre intensidades, el REBT en la instrucción IMIE BT 021 se refiere a las protecciones contra contactos directos e indirectos, que se pueden producir en una instalación eléctrica. Según el REBT la protección contra corto circuito se puede efectuar con una de estas dos opciones:

1. Fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas.
2. Interruptores automáticos con sistema de corte (disparo) electromagnético, disparadores tipo N.
3. La protección contra sobrecarga se puede efectuar con alguna de estas dos opciones:
  - a) Fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas.
  - b) Interruptores automáticos con curva térmica de corte (disparo), disparadores tipo O.

4. El REBT prescribe para la protección contra los contactos directos.
5. El alojamiento de las partes activas de la instalación eléctrica a una distancia tal que no pueda haber un contacto accidental.
6. La interposición de obstáculos que impidan todo contacto eventual con las partes activas de la instalación.
7. Recubrir las partes activas de la instalación con aislamiento apropiado.

### **2.3.2. BOMBAS CENTRÍFUGAS**

Las bombas cinéticas de flujo radial (centrífugas), añaden energía al fluido acelerándolo a través de un impulsor giratorio. Es un transformador de energía mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc.; y la convierte en energía de impulso que un fluido adquiere en forma de presión, de posición, de velocidad que consiste en producir energía cinética, que proviene de una fuerza centrífuga, para convertirse en energía de presión con las características siguientes:

1. La descarga es relativamente constante y libre de pulsaciones de presión.
2. El diseño mecánico permite mejorar grandes capacidades.
3. Ofrece una operación eficiente en un gran rango de presiones y capacidades.
4. La presión de descarga es función de la densidad de flujo.
5. Las bombas centrifugas, debido a sus características, son las más aplicables en la industria, las razones de preferencia son las siguientes:
  - a) Los mecanismos de acoplamiento son más sencillos.
  - b) La impulsión eléctrica del motor que la mueve es bastante sencilla.

- c) Para una operación definida, el gasto es constante y no se requiere dispositivos de regulación.
6. Aparte de las ventajas ya descritas, se unen las siguientes ventajas económicas.
- a) El costo es menor en comparación con otros tipos de bombas.
  - b) El espacio requerido es aproximadamente menor a otros tipos de bombas.
  - c) El peso es muy pequeño y por lo tanto la cimentación también lo es.
  - d) Menor número de elementos a cambiar al realizar un mantenimiento.

### **Selección de la Bomba Centrífuga**

El objetivo de seleccionar una bomba centrífuga será de tal manera que las características de funcionamiento de la bomba en relación al sistema en el cual opera sean tales que el punto de funcionamiento este cercano al punto de máximo rendimiento y éste tienda a optimizar el rendimiento de la bomba.

Cuando se selecciona una bomba para una aplicación en particular se debe considerar los siguientes factores como esenciales:

1. Naturaleza del líquido a emplearse.
2. Capacidad requerida (Caudal).
3. Condiciones de succión y descarga de la bomba.
4. Cabeza total, altura total y presión total.
5. Fuente de alimentación (motor eléctrico, motor térmico, etc.)
6. Espacio, peso y posición.

7. Condiciones ambientales.

8. Costos de la bomba (instalación, operación y mantenimiento).

Los catálogos de las bombas y los representantes de los fabricantes proporcionarán la información adecuada.

Como este proyecto tiene como objetivo ser un módulo de laboratorio para prácticas de enseñanza, entonces todos los requerimientos planteados para la selección de la bomba, se atribuyen a esta idea y a los factores especificados anteriormente.

Por lo tanto, el fluido a utilizarse será agua y se seleccionó para adquirir una bomba centrífuga (bomba hidráulica con motor eléctrico), de marca PIETRO de origen italiano con las siguientes características principales:

1. Potencia eléctrica del motor  $1/2HP$  (Horse Power).
2. Motor eléctrico tipo jaula ardilla, alimentación trifásica de 220 voltios AC a una frecuencia de  $60Hz$  (Herzs), de 3450 revoluciones por minuto con un consumo de corriente nominal 2,3 a 3A.
3. Bomba hidráulica tipo centrífuga de impulsor cerrado de diámetro  $31/8$ " de pulgada.
4. La succión es de 1" pulgada de diámetro, y la descarga es de 1" pulgada de diámetro.
5. Diámetro de impulsor  $31/8$ " de pulgada.
6. Una cabeza total máxima de trabajo de  $7,6m$  de altura y una capacidad máxima de 20 galones por minuto (2,1 litros por segundo) a un consumo de corriente nominal de 2,5 Amperios.
7. Peso total del equipo 10 libras.
8. Grados de protección contra agua y polvo, IP 44.



Figura 2.21: Bombas utilizadas en el sistema

La maniobra de la bomba eléctrica se maneja mediante el variador de velocidad. Las características más importantes de los variadores de velocidad son la tensión, intensidad y la potencia nominal de empleo.

### **2.3.3. CABLES ELÉCTRICOS**

Son cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad, un conductor eléctrico está formado primordialmente por el conductor parte fundamental, usualmente de cobre. Este puede ser alambre, es decir, una sola hebra o un cable formado por varias hebras o alambres retorcidos entre sí.

Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas y eléctricas.

El uso de uno u otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (capacidad para transportarla electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste, maleabilidad), del uso específico que se le quiera dar y del costo.

Estas características llevan a preferir al cobre en la elaboración de conductores eléctricos. El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el

cobre electrolítico de alta pureza, 99,99% de puro cobre electrolítico. Dependiendo del uso que se le vaya a dar, este tipo de cobre se presenta en los siguientes grados de dureza o temple: duro, semiduro y blando o recocido.

### **Procedimiento de Cálculo**

Para la selección de los cables hay que describir los diferentes dispositivos que se van conectar:

- PLC.
- Variador de velocidad.

#### **1. Cálculos para seleccionar el conductor para el PLC**

Se necesita tomar a consideración los datos suministrados por los fabricantes que se encuentran con más detalle en los ANEXO A:

- a) Voltaje nominal de trabajo: 100/240V AC.
- b) Corriente de entrada máxima: 0,45A.
- c) El tamaño del conductor del cable de alimentación debe estar comprendido entre  $0,82mm^2$  y  $0,33mm^2$ , se debe usar la menor longitud posible de conductor.

Como la corriente de entrada máxima es de 0,45A, el cable que escogeremos será el *AWG#20* escogido de la tabla de la figura 2.22 donde podemos apreciar que dicho cable soporta máximo 2A.

CALIBRE AWG O MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	DIAMETRO EXTERIOR MM.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Area	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduct Area	TIPO DE CABLE	ALTERNAT. DE ENROLAR.
20	0,52	1 x 0,813	0,76	2,33	9,81	6	7	TF	A.E
18	0,82	1 x 1,02	0,76	2,54	13,16	6	7	TF	A.E
16	1,31	1 x 1,29	0,76	2,81	18,10	10	8	TF	A.B
14	2,08	1 x 1,62	0,76	3,38	27,80	20	15	TF	A.B
12	3,31	1 x 2,05	0,76	3,57	38,30	25	20	TW	A.C
10	5,26	1 x 2,59	0,76	4,11	57,40	40	30	TW	A.D
8	8,34	1 x 3,26	1,14	5,54	95,20	60	40	TW	A.B
6	13,30	7 x 1,55	1,52	7,69	170,40	80	55	TW	A.E
4	21,15	7 x 1,96	1,52	8,92	255,50	105	70	TW	A.E
2	33,62	7 x 2,47	1,52	10,45	388,90	140	95	TW	A.E
1	42,36	7 x 2,78	2,03	12,40	482,90	165	110	TW	A.D.E
1/0	53,49	19 x 1,89	2,03	13,51	621,00	195	125	TW	D.E.2
2/0	67,43	19 x 2,12	2,03	14,66	778,00	225	145	TW	D.E.2
3/0	85,01	19 x 2,39	2,03	16,01	994,00	260	165	TW	D.E.2
4/0	107,20	19 x 2,66	2,03	17,46	1159,00	300	195	TW	D.E.2
250	127,00	37 x 2,09	2,41	19,45	1368,00	340	215	TW	Z
300	152,00	37 x 2,29	2,41	20,85	1623,00	375	240	TW	Z
350	177,00	37 x 2,47	2,41	22,11	1876,00	420	260	TW	Z
400	203,00	37 x 2,64	2,41	23,30	2129,00	455	280	TW	Z
500	253,00	37 x 2,95	2,41	25,47	2631,00	515	320	TW	Z
600	304,00	37 x 3,23	2,79	28,19	3174,00	575	355	TW	Z

Figura 2.22: Selección del cable por corriente

## 2. Cálculos para seleccionar el conductor para el variador

En este caso es necesario tener en cuenta las especificaciones del fabricante:

- Voltaje de funcionamiento: 215V 3Ø
- Factor de potencia = 0.95
- Potencia = 0,75 Kw

$$P = \sqrt{3} * (V * I * \cos \theta) \quad (2.18)$$

$$I = \frac{750}{1,73 * 0,95 * 215}$$

$$I = 2,12A$$

Por lo tanto se escoge un cable de calibre *AWG#12* como se muestra en la tabla de la figura 2.22. Para selección correcta del cable se toma la corriente

nominal de funcionamiento del variador de frecuencia; este cable también nos sirve para la bomba centrífuga, ya que están unidos por el mismo cable conductor y esta es controlada por el variador.

## **2.4. SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES**

### **2.4.1. TRANSDUCTOR DE NIVEL**

Para la medición de nivel se utilizan 3 sensores Ultrasónicos MaxSonar EZ1, los cuales tienen integrado el transmisor y receptor en la misma placa.

Estos sensores son capaces de detectar objetos desde 0 hasta 254 pulgadas (0 a 6,45 metros) y proporcionar una información de salida de la distancia medida en el rango de 6 a 254 pulgadas con una resolución de 1”.

En el caso de la aplicación propuesta el rango de medición no va más allá de 1 metro, para el funcionamiento correcto del sistema se debe amplificar la señal analógica que es la utilizaremos.



Figura 2.23: Sensor de ultrasonido

La medición de distancia con ultrasonido se basa en el principio de "Tiempo de vuelo" (TOF), en donde conociendo la velocidad del sonido en el aire se puede determinar la distancia a un objeto, midiendo el tiempo que demora una ráfaga de



formatos:

1. **TX:** Transmite vía serie el resultado de la distancia medida, se realiza en formato RS232 excepto que los voltajes de salida son de 0 a 5V. Se transmiten 5 bytes por cada medida realizada, empieza con el carácter ASCII "R", continua con tres caracteres ASCII con los dígitos de la medida propiamente dicha y comprendido entre 006 y 254 y finaliza con el código de retorno de carro (0x0D). La velocidad es de 9600 baudios, con 8 bits de datos, sin paridad y un bit de stop.
2. **RX:** Este pin está permanentemente a nivel "1" mediante una resistencia "pull-Up" interna. En estas condiciones el sonar está realizando medidas de forma continua y transmitiendo la distancia. Sin embargo esta señal se puede emplear para controlar externamente el inicio de una nueva medida. Efectivamente, cuando se pone a "0" el sistema está detenido. Poniéndola a nivel "1" o simplemente sin conectar, se inicia una nueva medida.
3. **AN:** Salida analógica de tensión comprendida entre 0 y 2,55V que representa el valor de la distancia medida. El factor empleado es de 10Mv / pulgada.
4. **PW:** Este pin proporciona un pulso de salida cuya duración determina la distancia medida. La distancia se puede calcular usando el factor de 147ms / pulgada.

Además el sensor MaxSonar-EZ1 cuenta con excelentes características de radiación gracias a que los lóbulos secundarios han sido eliminados por software, reduciendo así la detección de objetos en las llamadas zonas muertas, obteniendo un ángulo de radiación de 36° que para una pared puede llegar a alcanzar los 56°. Los resultados de las pruebas se muestran en una malla de 12 pulgadas para diferentes tamaños del objeto:

1. (A) Objeto de 0,25 pulgadas de diámetro, note la emisión estrecha para los objetos pequeños cercanos.
2. (B) Objeto de 1 pulgada de diámetro, note el largo patrón de detección estrecho.
3. (C) Objeto de 3,25 pulgadas de diámetro, note el largo patrón de detección controlado.
4. (D) tabla ancha de 11 pulgadas movida de izquierda a derecha con la tabla paralelo a la cara delantera del sensor y el sensor estacionario

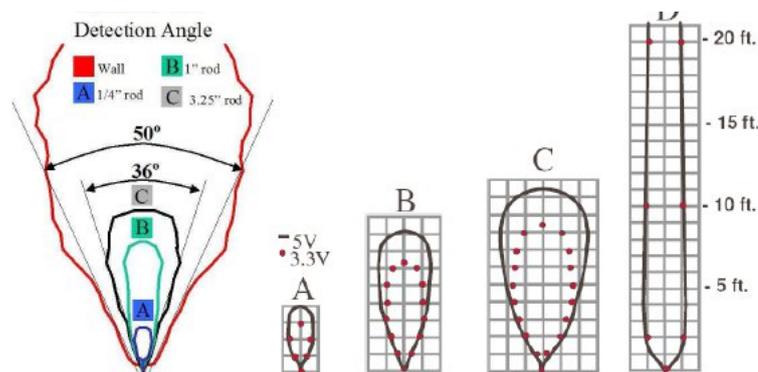


Figura 2.25: Ángulos de radiación del sensor ultrasónico

## 2.5. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

### 2.5.1. SELECCIÓN DEL PLC

La selección del controlador se realiza partiendo de las necesidades que se tienen para el desarrollo del proceso, uno de los elementos principales del sistema es el PLC que se encargará de la adquisición, procesamiento de datos y determinación de las acciones a tomarse de acuerdo a las necesidades y requerimientos que el

usuario quisiera para el sistema. El PLC actuará como un control local, para conocer los requerimientos básicos del PLC se tuvo que realizar un análisis del número mínimo de entradas y salidas tanto discretas como análogas que debe tener el mismo para que pueda satisfacer los requerimientos del módulo a construirse.

<b>Número</b>	<b>Entradas/Salidas</b>	<b>Descripción</b>
4	Entradas Digitales	Parada, Llenar, Vaciar, Recircular
24	Salidas Digitales	Electroválvula 01, LAHHTK01 Electroválvula 02, LAHTK01 Electroválvula 03, LALTK01 Electroválvula 04, LALLTK01 Electroválvula 05, LAHHTK02 Electroválvula 06, LAHTK02 Electroválvula 07, LALTK02 Electroválvula 08, LALLTK02 Electroválvula 09, LAHHTK03 Electroválvula 10, LAHTK03 LALTK03, LALLTK03 BOMBA01, BOMBA02
3	Entradas Análogas	NivelTK01, NivelTK02, NivelTK03
1	Salida Análoga	Variador

Tabla 2.2: Descripción de las E/S necesitadas para seleccionar el PLC

Por lo tanto, el controlador a adquirir deberá por lo menos cumplir con las características antes indicadas para satisfacer las necesidades del sistema. Por la disponibilidad en la red local de energía eléctrica, la alimentación para el controlador será de 110 a 125 VAC.

Por la disponibilidad del equipo en el mercado, por las facilidades del software de programación y principalmente por su costo, el PLC que se seleccionó es de la

marca Schneider Telemecanique modelo Twido serie TWDLCAE40DRF (Hojas y datos técnicos en el ANEXO A).

El controlador compacto Twido TWDLCAE40DRF tiene las siguientes características:

Tipo de controlador	Ilustración
<p>Controladores compactos de 40 E/S: A continuación se detallan las funciones compartidas por controladores de las series TWDLCAA40DRF y TWDLCAE40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 24 entradas digitales, 14 de relé y 2 salidas de transistor</li> <li>● 2 potenciómetros analógicos</li> <li>● 1 puerto serie integrado</li> <li>● 1 slot para un puerto serie adicional</li> <li>● RTC integrado</li> <li>● Compartimiento de batería para batería externa reemplazable por el usuario</li> <li>● Admite hasta 7 módulos de ampliación de E/S.</li> <li>● Admite hasta dos módulos de interfase del bus A5-Interface V2</li> <li>● Admite un módulo master de interfase del bus de campo CANopen:</li> <li>● Admite un cartucho de memoria opcional (de 32 ó 64 KB)</li> <li>● Admite un módulo de monitor de operación opcional</li> </ul> <p>Características específicas de TWDLCAA40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Admite un módulo de interfase Ethernet ConneXium TwidoPort</li> </ul> <p>Características específicas de TWDLCAE40DRF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Puerto RJ45 de interfase Ethernet integrado</li> </ul>	<p style="text-align: center;">TWDLCAA40DRF</p>  <p style="text-align: center;">TWDLCAE40DRF</p> 

Figura 2.26: Características del PLC



Figura 2.27: Esquema del controlador TDWLCAE40DRF

Debido a que el controlador adquirido no tiene entradas y salidas análogas y por los requerimientos del sistema le hacen falta salidas digitales, se añadieron módulos de ampliación para el controlador, los cuales tienen las siguientes características:

**Módulo de Expansión E/S analógicas TWDAMM3HT**

Módulo de 2 entradas 1 salida con bloque de terminales, configurable cada entrada/salida para trabajar ya sea en modo de voltaje o en modo de corriente con una capacidad de conversión de 12 bits (Hojas técnicas en el ANEXO C).

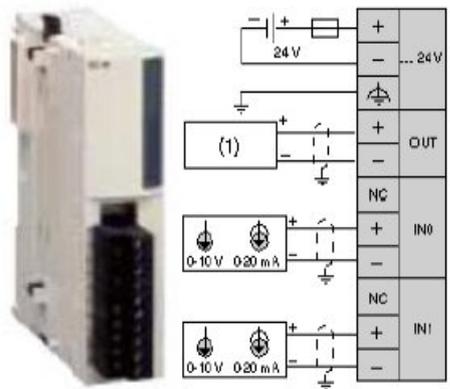


Figura 2.28: Esquema de módulo de expansión de entradas y salidas analógicas

**Módulo de expansión entradas analógicas TWDAMI4LT**

Módulo de 4 entradas con bloque de terminales, configurable cada entrada para trabajar en modo de voltaje, modo de corriente o en modo de temperatura con una Pt100 con una capacidad de conversión de 12 bits (Hojas técnicas en el ANEXO C).

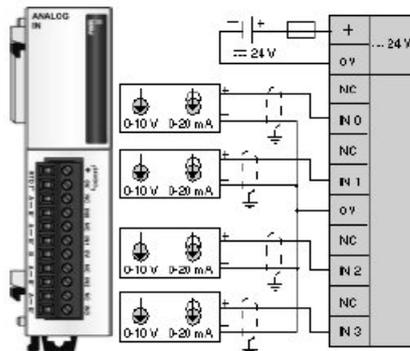


Figura 2.29: Esquema de módulo de expansión de entradas analógicas

### Módulo de expansión salidas digitales TWDDRA8RT

Módulo de ampliación con 8 salidas de relé de 2A, 2 líneas comunes y bloque terminal de tornillo extraíble. (Hojas técnicas en el ANEXO B).

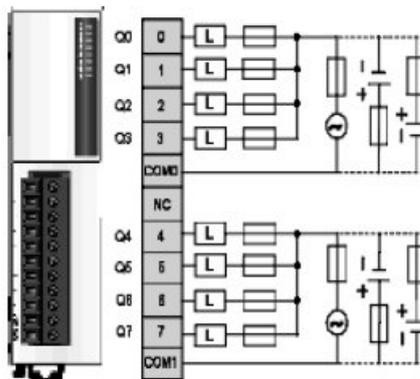


Figura 2.30: Esquema de módulo de expansión de salidas digitales

## 2.6. SELECCIÓN DEL PANEL DE CONTROL

### PANELES DE SCHNEIDER ELECTRIC SERIE XBT GT 1335

El siguiente apartado muestra los productos de interfaz hombre-máquina (HMI) de las series de pantallas táctiles XBT GT. Estos productos cuentan con una tensión

de funcionamiento de 24VCC.

Las principales razones por la cual se seleccionó este panel de visualización son:

1. Acceso a comunicación vía red Modbus Ethernet, esto nos facilita implementar la red antes mencionada ya que el PLC cuenta con un conector RJ45 exclusivamente para la comunicación con esta red.
2. Como el PLC y el panel de visualización pertenecen al mismo fabricante no necesitan de ningún OPC Server externo para la traducción de datos entre los dos elementos, esto es debido a que como son del mismo fabricante ya tienen incluido un driver para el manejo de los datos.
3. La programación es muy amigable, además todo es en español.
4. El direccionamiento de las variables es muy fácil ya que se usa la misma sintaxis que maneja el PLC.
5. El costo de este panel es económico.

Para más información revise los datos técnicos incluidos en el ANEXO I.



Figura 2.31: Pantalla táctil de Schneider Electric modelo XBT GT 1335

## **2.7. SELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE CONTROL Y MONITOREO**

### **2.7.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SOFTWARE**

El software para el control y monitoreo escogido fue Labview 8.5, a continuación se detalla las ventajas que se encontró en este software para su aplicación en este proyecto:

1. A pesar de que Labview 8.5 no tiene licencias originales si no un crack, no tiene límite de tiempo ni para programar ni para correr el programa.
2. El OPC server que utiliza Labview 8.5 puede ser el de cualquier fabricante y tampoco es crucial tener la versión original, o sea, se puede trabajar con una versión demo.
3. Es sumamente fácil el direccionamiento de las variables, ya que para cada elemento se carga la variable correspondiente, desde el OPC Server donde se ha creado las variables.
4. Además la visualización de los objetos es excelente, los gráficas tienen una resolución muy buena

### **2.7.2. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE**

Labview es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, Labview se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que Labview emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de Labview no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales. Labview posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, Labview incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos. Labview también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

### **2.7.3. TRABAJAR EN LABVIEW**

Los programas desarrollados mediante Labview se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs. A continuación se procederá a realizar una somera descripción de estos conceptos.

#### **Panel Frontal**

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros

sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

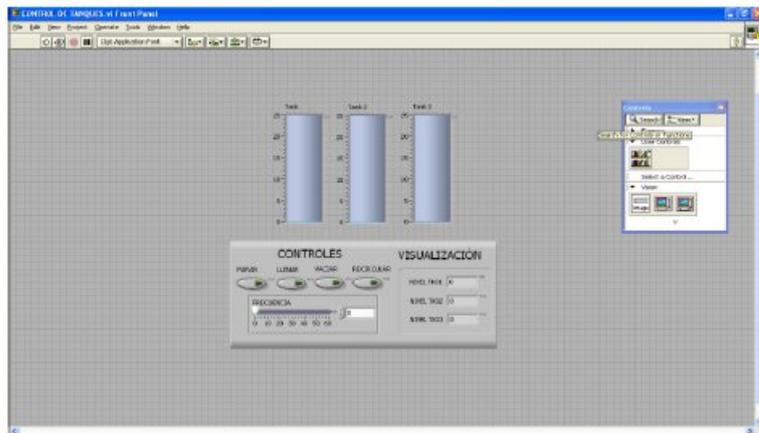


Figura 2.32: Interfaz gráfica del panel frontal

## Diagrama de bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora Labview. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales. A continuación se presenta un ejemplo de lo recién citado:

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como

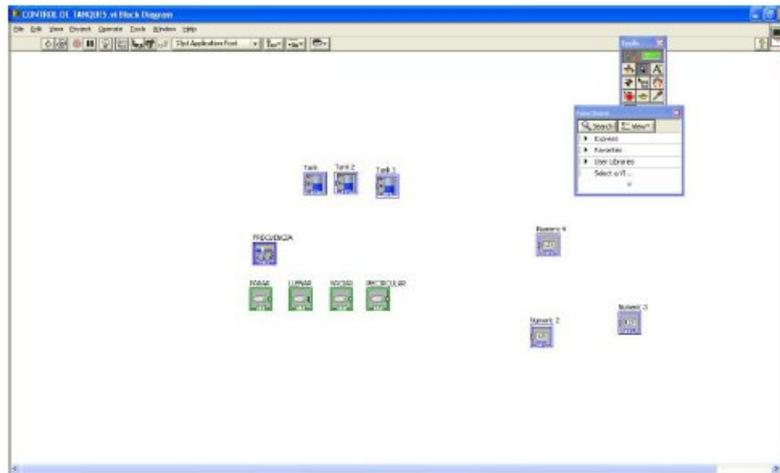


Figura 2.33: Interfaz gráfica del diagrama de bloques

si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

Labview posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle for, while, case, etc.)

Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc. Cada cable tiene un color o un estilo diferente, lo que diferencia unos tipos de datos de otros.

## Paletas

Las paletas de Labview proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas:

### 1. Paleta de herramientas:



Figura 2.34: Tools palette

Las opciones que presenta esta paleta son las siguientes:

- a) **Operating tool:** Cambia el valor de los controles.



Figura 2.35: Operating tool

- b) **Positioning tool:**

Desplaza, cambia de tamaño y selecciona los objetos.



Figura 2.36: Positioning tool

c) **Labeling tool:**

Edita texto y crea etiquetas.



Figura 2.37: Labeling tool

d) **Wiring tool:**

Une los objetos en el diagrama de bloques.



Figura 2.38: Wiring tool

e) **Object Pop-up Menu tool:**

Abre el menú desplegable de un objeto.



Figura 2.39: Object Pop-up Menu tool

f) **Scroll tool:**

Desplaza la pantalla sin necesidad de emplear las barras de desplazamiento.



Figura 2.40: Scroll tool

**g) Breakpoint tool:**

Fija puntos de interrupción de la ejecución del programa en VIs, funciones y estructuras.



Figura 2.41: Breakpoint tool

**h) Probe tool:**

Crea puntos de prueba en los cables, en los que se puede visualizar el valor del dato que fluya por dicho cable en cada instante.



Figura 2.42: Probe tool

**i) Color Copy tool:**

Crea puntos de prueba en los cables, en los que se puede visualizar el valor del dato que fluya por dicho cable en cada instante.



Figura 2.43: Color Copy tool

**j) Color tool:**

Establece el color de fondo y el de los objetos.



Figura 2.44: Color tool

**2. Paleta de controles:**

Se utiliza únicamente en el panel frontal. Contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario.



Figura 2.45: Controls palette

El menú Controls de la ventana correspondiente al panel frontal contiene las siguientes opciones:

a) **Numeric**

Para la introducción y visualización de cantidades numéricas.



Figura 2.46: Numeric

b) **Boolean**

Para la entrada y visualización de valores booleanos.



Figura 2.47: Boolean

c) **String and Table**

Para la entrada y visualización de texto.



Figura 2.48: String and Table

d) **List and Ring**

Para visualizar y/o seleccionar una lista de opciones.



Figura 2.49: List and Ring

e) **Array and Cluster**

Para agrupar elementos.



Figura 2.50: Array and Cluster

f) **Graph**

Para representar gráficamente los datos.



Figura 2.51: Graph

g) **Path and RefNum**

Para gestión de archivos.



Figura 2.52: Path and RefNum

*h)* **Decorations**

Para introducir decoraciones en el panel frontal. No visualizan datos.



Figura 2.53: Decorations

*i)* **User Controls**

Para elegir un control creado por el propio usuario.



Figura 2.54: User Controls

*j)* **ActiveX**

Para transferir datos y programas de unas aplicaciones a otras dentro de Windows.



Figura 2.55: ActiveX

**k) Select a Control**

Para seleccionar cualquier control.



Figura 2.56: Select a Control

Al seleccionar objetos desde el menú Controls estos aparecen sobre el panel frontal, pueden colocarse donde mejor convenga, y además tienen su propio menú desplegable que permite la configuración de algunos parámetros específicos de cada tipo de control.

**3. Paleta de funciones:**

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplean en la implementación del programa del VI, ya sean funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa.

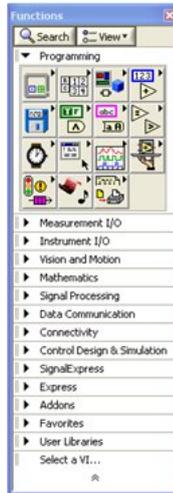


Figura 2.57: Functions palette

Para seleccionar una función o estructura concretas, se debe desplegar el menú. Functions y elegir entre las opciones que aparecen. A continuación se enumeran todas ellas, junto con una pequeña definición.

a) **Structures**

Muestra las estructuras de control del programa, junto con las variables locales y globales.



Figura 2.58: Structures

b) **Numeric**

Muestra funciones aritméticas y constantes numéricas.



Figura 2.59: Numeric

c) **Boolean**

Muestra funciones y constantes lógicas.



Figura 2.60: Boolean

d) **String**

Muestra funciones para manipular cadenas de caracteres, así como constantes de caracteres.



Figura 2.61: String

e) **Array**

Contiene funciones útiles para procesar datos en forma de vectores, así como constantes de vectores.



Figura 2.62: Array

*f)* **Cluster**

Contiene funciones útiles para procesar datos procedentes de gráficas y destinados a ser representados en ellas, así como las correspondientes constantes.



Figura 2.63: Cluster

*g)* **Comparison**

Muestra funciones que sirven para comparar números, valores booleanos o cadenas de caracteres.



Figura 2.64: Comparison

*h)* **Time and Dialog**

Contiene funciones para trabajar con cuadros de diálogo, introducir contadores y retardos, etc.



Figura 2.65: Time and Dialog

*i)* **File I/O**

Muestra funciones para operar con ficheros.



Figura 2.66: File I/O

*j)* **Communication**

Muestra diversas funciones que sirven para comunicar varios ordenadores entre sí, o para permitir la comunicación entre distintos programas.



Figura 2.67: Communication

*k)* **Instrument I/O**

Muestra un submenú de VIs, que facilita la comunicación con instrumentos periféricos que siguen la norma ANSI/IEEE 488.2-1987, y el control del puerto serie.



Figura 2.68: Instrument I/O

**l) Data Acquisition**

Contiene a su vez un submenú donde puede elegirse entre distintas librerías referentes a la adquisición de datos.



Figura 2.69: Data Acquisition

**m) Analysis**

Contiene un submenú en el que se puede elegir entre una amplia gama de funciones matemáticas de análisis.



Figura 2.70: Analysis

**n) Tutorial**

Incluye un menú de VIs que se utilizan en el manual Labview Tutorial.



Figura 2.71: Tutorial

**ñ) Advanced**

Contiene diversos submenús que permiten el control de la ayuda, de los VIs, manipulación de datos, procesamiento de eventos, control de la memoria, empleo de programas ejecutables o incluidos en librerías DLL, etc.



Figura 2.72: Advanced

**o) Instrument drivers**

En él se muestran los drivers disponibles de distintos instrumentos.



Figura 2.73: Instrument drivers

**p) User Libraries**

Muestra as librerías definidas por el usuario. En este caso, la librería mostrada contiene los drivers de la tarjeta de adquisición de datos de Advantech.



Figura 2.74: User Libraries

q) **Application control**

Contiene varias funciones que regulan el funcionamiento de la propia aplicación en ejecución.



Figura 2.75: Application control

r) **Select a VI**

Permite seleccionar cualquier VI para emplearlo como subVI.



Figura 2.76: Select a VI

## Capítulo 3

# CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

### 3.1. MONTAJE DEL MÓDULO

Para el desarrollo de la estructura es necesario hacer un recuento de los pasos realizados para obtener el trabajo funcional y completo; como se muestra a continuación:

1. En primer lugar es necesario establecer los elementos principales del módulo como son la estructura metálica y la estructura de madera, los cuales servirán de apoyo a todas las partes del módulo.
2. Para la construcción de la estructura metálica se selecciona perfiles de lados iguales tipo L de acero estructural ASTM A-36 de  $1 \frac{1}{4}$ , como se indica en los cálculos del capítulo II.
3. Una vez que tenemos los perfiles cortados con las dimensiones especificadas en la figura 3.1 que se muestra a continuación, se procede a realizar una soldadura del tipo (SMAW) que significa soldadura por arco eléctrico con

electrodo revestido, con esto se logra unir los perfiles y armar la estructura metálica deseada, para mayor comodidad se colocan 4 ruedas con 360° de giro en las esquinas de la estructura metálica para la fácil transportación del módulo.

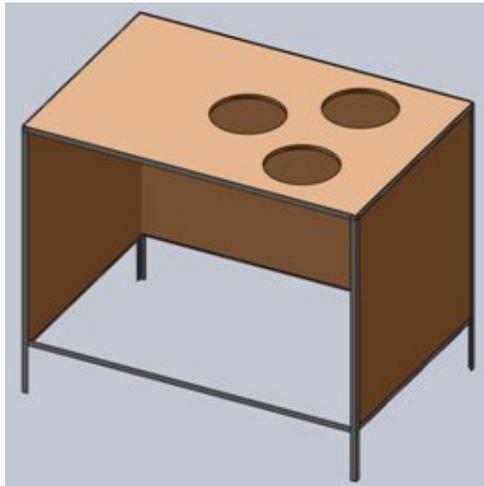


Figura 3.1: Estructura metálica del módulo

4. Ahora se escoge una plancha de MDP de 2,44 \* 2,44 (mts) y se procede a cortar con las medidas específicas que se indican en la figura 3.2

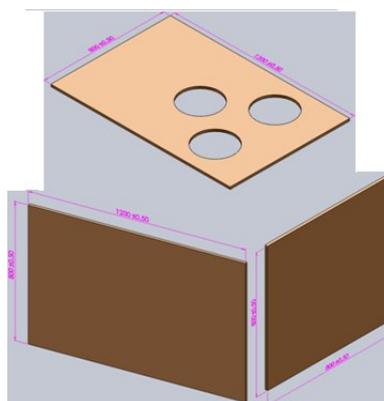


Figura 3.2: Planchas de MDP con sus respectivas medidas

5. Una vez que se tiene las planchas de MDP se procede a realizar la pintura de cada una de ellas para luego colocar las mismas sobre las paredes de la estructura metálica como se observa en la figura 3.3

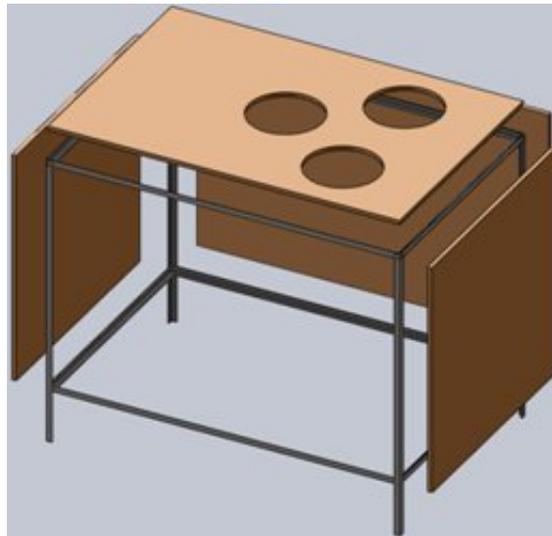


Figura 3.3: Fijación de las plancha de MDP

6. Con la estructura una vez concluida se procede a colocar los 3 tanques de depósito y el tanque de reserva, para los 3 depósitos se realizan 4 taladros de  $\frac{1}{4}$  de pulgada en cada una de sus bases, para luego fijarlos sobre la estructura de madera con pernos de la misma dimensión. (Ver figura 3.4)
7. El tanque de reserva se lo coloca en la parte de abajo y no es necesario fijarlo ya que la propia estructura se encarga de hacerlo. (Ver figura 3.5)
8. Para realizar el sistema de tuberías se seleccionó tuberías y accesorios de 1" de PVC, para conectar la tubería a cada deposito se realizan taladros en cada uno de los tanques, luego de esto se arma el sistema de tuberías como se indica en la figura 3.6, para ello necesitamos un fluxómetro, una tarraja de 1" para realizar los roscados en la tubería, llaves de tubo, pega polimex y



Figura 3.4: Fijación de los depósitos

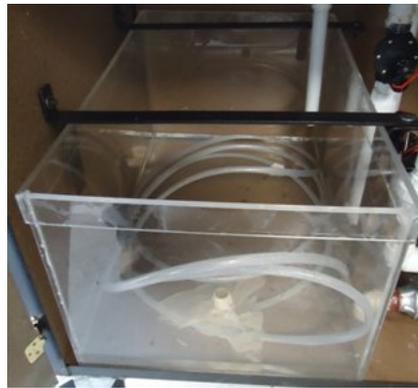


Figura 3.5: Montaje del tanque de reserva

teflón para hermetizar las uniones de la tubería con los distintos accesorios y finalmente una sierra.



Figura 3.6: Montaje del sistema de tuberías

9. Finalmente se fijan las bombas a la estructura y el modulo queda como se muestra en la figura 3.7.

## **3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL PROCESO**

Para el sistema eléctrico fue necesario que todo el equipo mecánico como es la estructura y la tubería estén previamente ya instalados, y seguir los pasos que se mencionan a continuación:

1. Primeramente se necesita un tablero, donde se colocaran los elementos como el PLC, los módulos de E/S analógicas y digitales, los relés, las borneras, el variador de velocidad y las regletas por donde se guía el cableado (Ver figura 3.8).
2. Antes de colocar los elementos e interconéctalos entre si es necesario fijar el tablero a la estructura del módulo, para ello se perforan 4 taladros de  $\frac{1}{4}$  de pulgada y se procede a colocar el tablero, como se muestra en la figura 3.9.

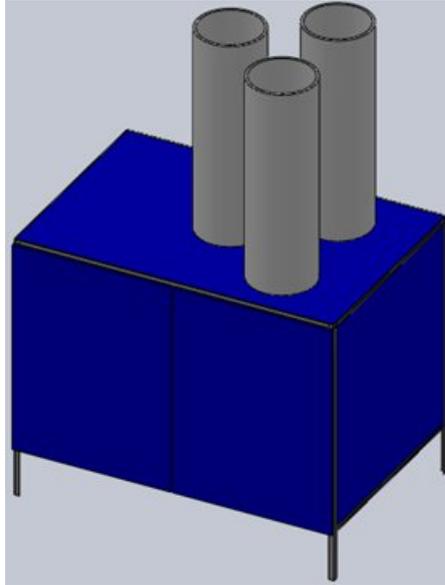


Figura 3.7: Modulo terminado

3. Después, se fija 4 rieles DIN con una distancia prudente una de la otra para poder colocar las regletas guías del cableado entre dichas rieles.
4. Ahora, antes de colocar los elementos en las rieles se debe leer las recomendaciones del fabricante de cada elemento, esto para evitar cualquier manipulación peligrosa que pueda poner en riesgo el daño del equipo.
5. Una vez colocados los equipos se procede a colocar las regletas por donde guiaremos el cableado.
6. Concluido todo esto, es necesario seguir los diagramas eléctricos que se encuentran en los anexos, para realizar el cableado.

### **3.3. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR**

Para la programación del PLC es necesario tener el Software TwidoSuite, con el cual se define el tipo de controlador base y de módulos de ampliación, además se



Figura 3.8: Tablero para la fijación de los elementos

define con símbolos cada una de las E/S que se usan, también se desarrolla el programa en lenguaje ladder y se depura dicho programa para cargarlo en el PLC.

### **3.3.1. TWIDO SUITE V 2.1**

TwidoSuite es un entorno de desarrollo gráfico, lleno de funciones para crear, configurar y mantener aplicaciones de automatización para los autómatas programables Twido de Telemecanique. TwidoSuite permite crear programas con distintos tipos de lenguaje, después de transferir la aplicación para que se ejecute en un autómata.

#### **Pasos para crear un Proyecto**

Para crear un proyecto seleccionamos el "Modo Programación" en el indicador de aplicación del Twido Suite (Ver figura 3.10).



Figura 3.9: Fijación del tablero en la estructura del módulo



Figura 3.10: Indicador de aplicación del Twido Suite 2.1

Ahora se selecciona "Crear nuevo proyecto", en este punto se puede personalizar el proyecto con información del archivo, información del proyecto y un cuadro donde se realiza comentarios, etc. (Ver figura 3.11)

### **3.3.2. CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE**

La configuración de los controladores programables TWIDO consiste en seleccionar opciones para los recursos de hardware del controlador, los mismos que pueden

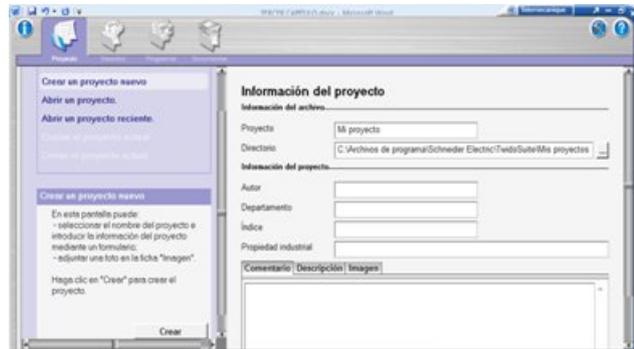


Figura 3.11: Creación de un nuevo proyecto

configurarse en cualquier momento durante la creación de un programa.

### Controlador base y módulos de ampliación

Aquí se configura el tipo de controlador que se utiliza en el proceso, sea éste modular o compacto, siendo distintos por el tipo de alimentación. Para seleccionar el modelo de controlador para una aplicación, se utiliza el cuadro de diálogo "Cambiar controlador base". El modelo puede ser modificado, pero no eliminado de la estructura de la aplicación. (Ver figura 3.12)

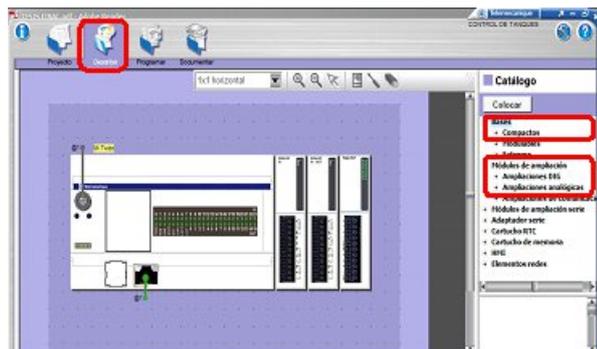


Figura 3.12: Configuración del PLC y módulos de ampliación

En el software Twido Suite podemos observar cuatro pestañas (Proyecto, Describir, Programar y Documentar), en este caso para poder seleccionar el PLC y

los módulos que se usan en el proyecto se elige la pestaña "Describir", donde se encuentra una completa gama de modelos de bases compactas y módulos de ampliación, aquí es donde se elige el PLC TWDLCAE40DRF y los módulos TWDAMI4LT, TWDAMM3HT y TWDDRA8RT, al elegir cada uno de los componentes la manera de colocarlos es arrastrarlos con el cursor hacia la página de configuración donde se interconectan automáticamente cada elemento que se elige.

### Configuración de la dirección IP para el PLC

Para el tipo de comunicación que utilizaremos (Modbus Ethernet) es necesario configurar la dirección IP del PLC para poder comunicarse únicamente con el cable UTP, sin necesidad del cable de programación.

1. Doble clic en la entrada al puerto Ethernet, como se resalta en la figura 3.13.

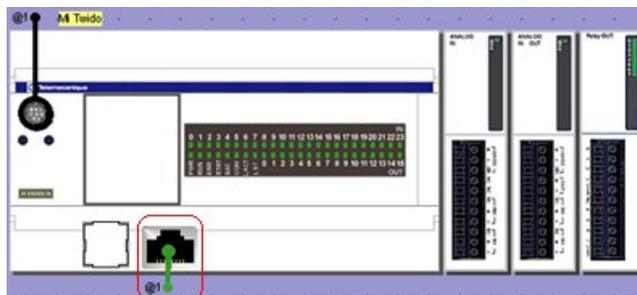


Figura 3.13: Configuración de la IP del PLC

2. Ahora en la ventana que aparece se dispone una dirección IP configurada personalmente, y aceptar.

### Configuración de entradas y salidas (E/S Digitales) del PLC

El PLC elegido en este caso tiene 24 entradas y 16 salidas digitales, para este proyecto se usan 4 entradas y 24 salidas, como el PLC tiene solo 16 salidas se

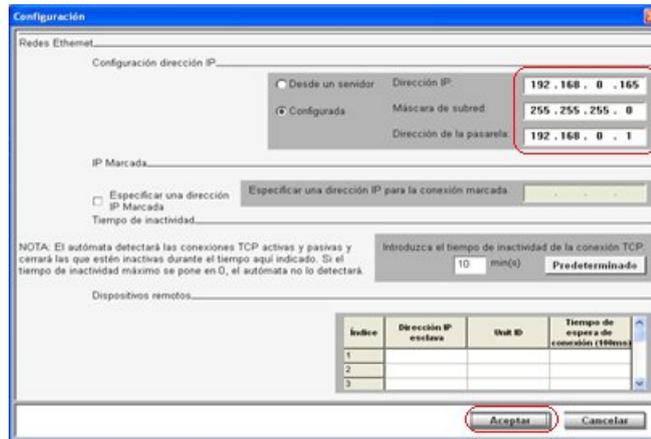


Figura 3.14: Guardar la IP del PLC

necesita un módulo de ampliación de 8 salidas digitales.

El Twido suite permite renombrar cada entrada o salida del PLC con el fin de proporcionar un manejo más amigable con las direcciones de E/S digitales. (Ver figura 3.15)

Uso	Dirección	Símbolo	¿Estado?	Utilizado por
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.0	V1		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.1	V2	<input type="checkbox"/>	Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.2	V3	<input type="checkbox"/>	Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.3	V4	<input type="checkbox"/>	Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.4	V5		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.5	V6		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.6	V7		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.7	V8		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.8	V9		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.9	LAHHTK1		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.10	LAHTK1		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.11	LALTK1		Lógica aplicación
<input checked="" type="checkbox"/>	%Q0.12	LALTK1		Lógica aplicación

Figura 3.15: Simbolizar cada E/S digital

### Configuración de entradas y salidas (E/S Analógicas) de los módulos de ampliación

También se necesitan 3 entradas y 1 salida analógica, las 3 entradas estarán destinadas a la adquisición de la señal analógica que emite cada sensor de

ultrasonido por último la salida analógica se usa para variar la frecuencia en el variador.

Cabe mencionar que la resolución que me ofrece cada módulo en E/S analógicas es de 12 bits lo cual significa que el rango de valores estará expresado de 0 a 4095 en decimales.

Además el software me permite configurar la señal de entrada ya sea de corriente, voltaje; en este caso se utiliza la señal de voltaje en un rango de 0-10V. (Ver figura 3.16)



Figura 3.16: Configuración modulo E/S analógicas

### 3.3.3. PROGRAMA EN EL PLC PARA EL PROCESO

Antes de empezar a programar, es necesario conocer que el Twido TWDL-CAE40DRF permite trabajar con memorias de palabra internas %MW que van de un rango de %MW0 a %MW9999, con espacios de memorias digitales %M en un rango de %M0 a %M999; que van hacer de gran ayuda ya que son operandos que leen bits internos y sirven para realizar la programación del controlador, además es necesario saber que Twido Suite 2.1 trabaja por secciones, programa puede sopor-tar hasta 128 secciones, y cada sección se compone de redes cada red solo admite 7 líneas de programación, vea figura 3.17.

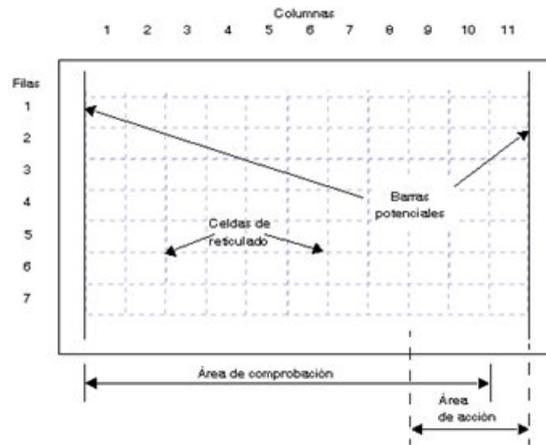


Figura 3.17: Esquema de un reticulado de programación

El reticulado de programación de un diagrama de Ladder se divide en dos áreas:

**1. Área de prueba:**

Contiene las condiciones que se prueban para realizar acciones. Se compone de las columnas de 1 a 10 y contiene contactos, bloques de función y bloques de comparación.

**2. Área de acción:**

Contiene la salida u operación que será realizada según sean los resultados de las pruebas llevadas a cabo en el área de prueba. Está formada por las columnas 9 a 11 y contiene bobinas y bloques de operación.

Para empezar a realizar el programa, es primordial establecer un algoritmo o diagrama de flujo del proceso, esto es para mantener una guía durante la programación.

Como ya se había descrito en el capítulo II, el proyecto consta de tres ciclos el de llenado el de vaciado y el de recirculación, en los ANEXOS F podemos encontrar el diagrama de flujo para cada ciclo.

## Proceso de Programación

Para la edición del programa debemos entrar en la pestaña de programa y luego la pestaña de programar.

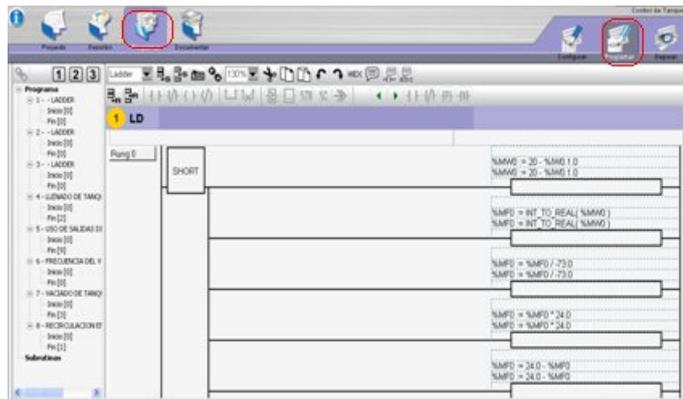


Figura 3.18: Pasos para crear el programa

Ahora en este punto, es donde se empieza a programar, a continuación se enumera paso a paso como se realizó el programa:

1. El primer paso es acondicionar las señales de los sensores para ello se conoce que dichas señales están representadas por la siguientes direcciones: %IW1.0, %IW1.1 y %IW1.2; para acondicionar cada señal se utiliza una interpolación, esto se hace para modificar los datos a conveniencia del valor que se necesita visualizar, esto dependerá del diámetro del tanque y la altura que representa cada litro.

El valor de cada señal que se adquiere, se representa con una resolución de 12 bits, o sea:

$$0 \text{ voltios} = 0 \text{ bits o } 0$$

$$10 \text{ voltios} = 12 \text{ bits o } 4095$$

El rango de operación del sensor es de 0 voltios hasta 2.55 voltios, variando 10mV/pulg.

Ahora en este caso solo se utiliza una altura de 24 pulg, con un equivalente de 1 litro por pulgada.

A la final el rango que usaremos para el primer tanque es:

516 es a 24 litros

2444 es a 0 litros

# es a  $X$

Dónde:

# = entrada analógica

$X$  = resultado equivalente en litros

Por lo tanto la ecuación para la interpolación queda así:

$$X = 24 - 24 \left( \frac{516 - \#}{516 - 2444} \right) \quad (3.1)$$

Luego el rango que usaremos para el segundo tanque es:

530 es a 24 litros

2464 es a 0 litros

# es a  $X$

Dónde:

# = entrada analógica

$X$  = resultado equivalente en litros

Por lo tanto la ecuación para la interpolación queda así:

$$X = 24 - 24 \left( \frac{530 - \#}{530 - 2464} \right) \quad (3.2)$$

Y por último el rango que usaremos para el tercer tanque es:

541 es a 24 litros

2454 es a 0 litros

$\#$  es a  $X$

Dónde:

$\#$  = entrada analógica

$X$  = resultado equivalente en litros

Por lo tanto la ecuación para la interpolación queda así:

$$X = 24 - 24 \left( \frac{541 - \#}{541 - 2454} \right) \quad (3.3)$$

Para poder realizar esta ecuación dentro de la programación del PLC es necesario utilizar lo siguiente:

- a) Palabras de Memoria (%M $W_n$ ) Las palabras de memoria sirven para guardar operaciones aritméticas o algún valor de cierta variable.
- b) Memorias Flotantes (%M $F_n$ ) Sirven para guardar valores flotantes y valores de operaciones aritméticas que den resultados flotantes.
- c) Bloques de operación Sirven para realizar operaciones aritméticas. Las palabras de memoria solo pueden ser utilizadas dentro de un bloque de operación para lo cual se debe insertar una línea de conexión y seleccionarla para insertar un bloque de operación.

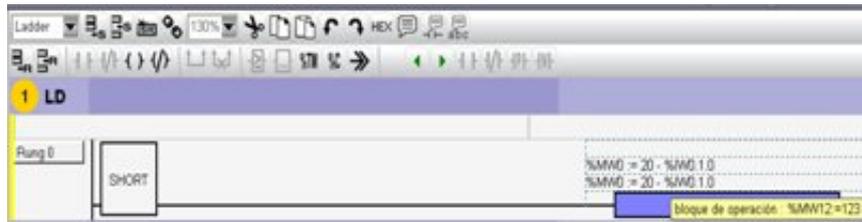


Figura 3.19: Insertar un bloque de operación

En el primer bloque de operación se insertará la primera parte de la ecuación 3.1 ( $20 - \%IW1.0$ ) y el resultado se guarda en la palabra de memoria  $\%MW0$ , como se muestra en la figura 3.19.

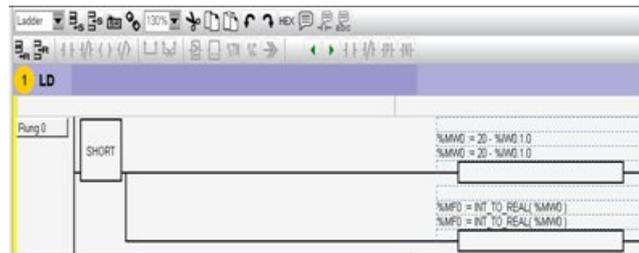


Figura 3.20: Insertar el segundo bloque de operación

En el segundo bloque de operación se transforma el resultado anterior en un valor real, para trabajar con valores flotantes, esta transformación se guarda en una memoria flotante  $\%MF0$ , ver figura 3.20.

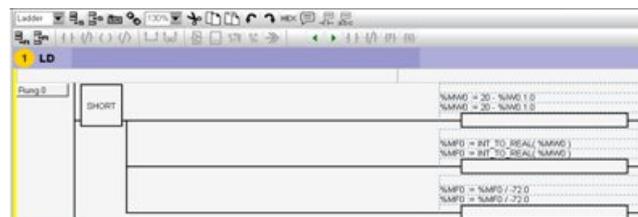


Figura 3.21: Insertar el tercer bloque de operación

En el tercer bloque de operación se realizó la siguiente operación de la ecuación 3.1, que es dividir el resultado guardado anteriormente para

-72.0, el resultado de esto es posible guardarlo en la misma memoria flotante %MF0, ya que el programa reconoce que es otro resultado y no el anteriormente guardado, ver figura 3.21.

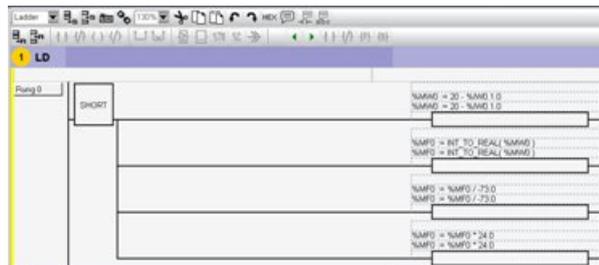


Figura 3.22: Insertar el cuarto bloque de operación

El siguiente bloque de operación contiene la siguiente operación de la ecuación 3.1, que es multiplicar el resultado anterior por 24, y este resultado guardarlo en la misma memoria flotante %MF0, ver figura 3.22.

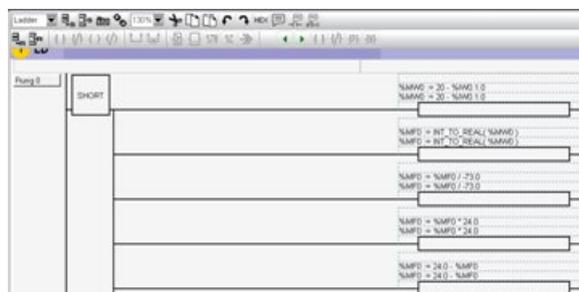


Figura 3.23: Insertar el quinto bloque de operación

En el quinto bloque realizo la última operación de la ecuación 3.1, aquí se resta el resultado anterior y se guarda el siguiente resultado en la misma memoria flotante %MF0, ver figura 3.23.

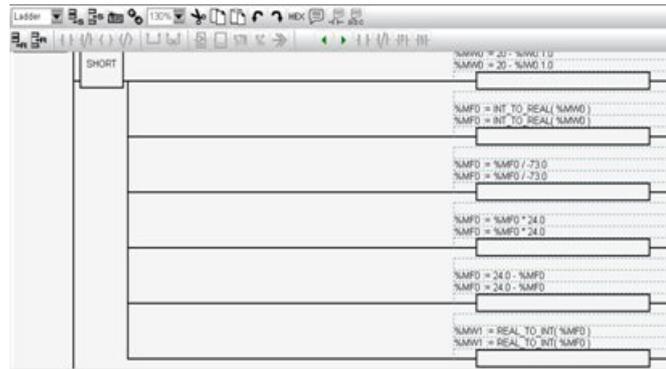


Figura 3.24: Insertar el sexto bloque de operación

El último paso a completar es transformar el resultado final en entero y guardarlo en una palabra de memoria, la cual luego será utilizada para visualizar el dato que contiene en un HMI, ver figura 3.24.

Se sigue los mismos pasos para la señal del segundo y tercer sensor (%IW1.1 y %IW1.2) y se guarda el resultado final en %MW3 y %MW5 respectivamente.

2. El segundo paso es realizar la programación del ciclo de llenado, vaciado y de recirculación en los cuales cabe mencionar los aspectos más importantes que son los bloques de comparación, dichos bloques facilitan comparar valores, en este caso comparar los valores que arroja cada sensor para establecer alarmas y encender alguna salida digital, para abrir alguna electroválvula y encender una luz piloto.

Los bloques de comparación se cierran o se colocan en 1 lógico cuando, la comparación de valores es cierta y pasa lo contrario si la comparación de valores es falsa.

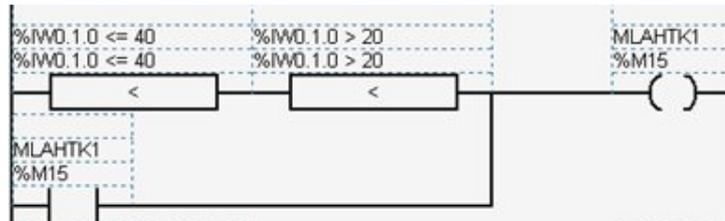


Figura 3.25: Uso de bloques de comparación

Otro aspecto importante a mencionar es que las salidas digitales (%Qn.n) solo se pueden utilizar una vez, si escribo más de una vez alguna salida digital esta no me funcionara, esto obliga a utilizar mascarar (%Mn) y de hecho es así como se debe trabajar.

Al trabajar con máscaras lo único que hago es poner en 1 lógico cualquier salida digital requerida, con cualquier contacto normalmente abierto de las máscaras utilizadas, o sea es una función lógica OR.

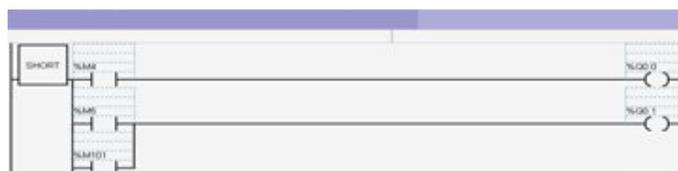


Figura 3.26: Uso de salidas digitales por medio de mascarar

También es necesario incluir en la programación, máscaras o bits de memoria, para realizar el inicio del proceso, ya que por ejemplo las entradas digitales son accionadas por un medio físico (Interruptores) y como en este caso, también se implementara un sistema HMI y desde este sistema no es posible escribir

en las entradas digitales (%In.n), así que en una máscara si es posible escribir un 0 o 1 lógico.

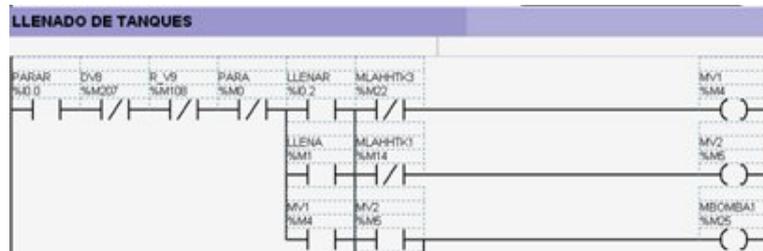


Figura 3.27: Uso de máscaras para iniciar el proceso

Para visualizar la programación detallada de cada ciclo revisar los ANEXOS H.

3. El tercer paso es utilizar un bloque de operación para realizar una igualdad, o sea guardar el valor de una palabra de memoria en la salida analógica (%QW 2.0) que será utilizada para variar la frecuencia desde el HMI.



Figura 3.28: Uso de salida analógica

## 3.4. PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

### 3.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Como ya se menciona en el capítulo anterior el variador de velocidad que se va a utilizar es el Altivar ATV31H075M2 de la marca Telemecanique que tiene las siguientes características:

1. Entrada de alimentación 200/240 Ø1
2. Potencia de trabajo 0,75 KW/1HP
3. Frecuencia de funcionamiento 50/60 Hz
4. Corriente de entrada 0.9A I<sub>max</sub>
5. Salida de voltaje 200/240 Ø3
6. Frecuencia de salida de 0.5/500 Hz
7. Corriente de salida 4.8A
8. Corriente de corto circuito 1000A por 3 seg sin sufrir daños

Para poner en funcionamiento el variador es necesario conocer como está constituido, cuáles son sus funciones y como configurar los parámetros de programación según se requiera.



Figura 3.29: Variador ATV31H075M2

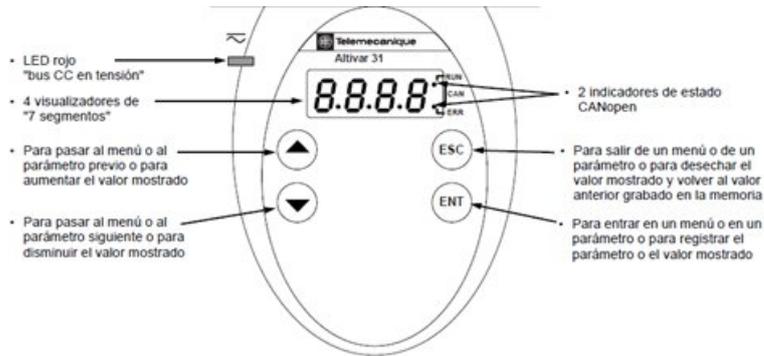


Figura 3.30: Funciones del display y de las teclas

Para realizar la programación del variador es necesario tener el manual que viene adjunto al hacer la adquisición del producto. Para usar el panel de control del variador se necesita usar los comandos que se muestran en la tabla de la figura 3.31.

SIMBOLOGÍA	FUNCIÓN QUE REALIZA
▲	Pasar al menú o al parámetro previo o para aumentar el valor mostrado.
▼	Pasar al menú o al parámetro siguiente o para disminuir el valor mostrado.
ESC	Salir de un menú o de un parámetro o para desechar el valor mostrado y volver al valor anterior grabado en la memoria.
ENT	Entrar en un menú o para registrar el parámetro o el valor mostrado.

Figura 3.31: Funciones de las teclas

Para realizar la programación del Variador de Frecuencia se ingresa presionando el botón (ENT), luego se selecciona los botones (ARRIBA) o (ABAJO), para seleccionar el menú en cual se va a trabajar, se aprieta (ENT) para ingresar a un menú deseado, y se presiona (ARRIBA) o (ABAJO), para variar el valor (subir o bajar) del parámetro seleccionado, si se está de acuerdo con el valor se presiona (ENT) este graba el valor en la memoria interna, caso contrario se presiona (ESC) y se sale de ese menú sin programar nada en ese parámetro; esta secuencia se

realiza para configurar los valores de todos y cada uno de los parámetros que se mencionan más adelante.

### **3.4.2. PASOS PARA LA PROGRAMACIÓN**

Se necesita tomar en consideración que el variador de velocidad va hacer activado por medio de la salida analógica (0 a 10Vcc) del módulo de expansión analógica que se encuentran en el PLC, también se debe tomar en cuenta que el variador tendrá a la salida 2 motores de  $\frac{1}{2}$  HP y su control de arranque es por medio de 2 contactores en paralelo cada uno y uno para cada motor.

Se necesita que el variador este prendido con la alimentación de 220Vac, para poder maniobrar el mismo.

1. El variador de velocidad viene pre ajustado de fábrica por lo que es necesario programar con los parámetros que necesite el usuario.
2. Entonces es primordial conocer las diferentes operaciones que permite hacer el variador esto es, los modos de acceso al menú principal de control.

Para un uso más cómodo, hay ciertos parámetros que son accesibles desde varios menús, los ajustes, el retorno al ajuste de fábrica, la recuperación y la grabación de la configuración, como se muestra en la Figura 3.32.

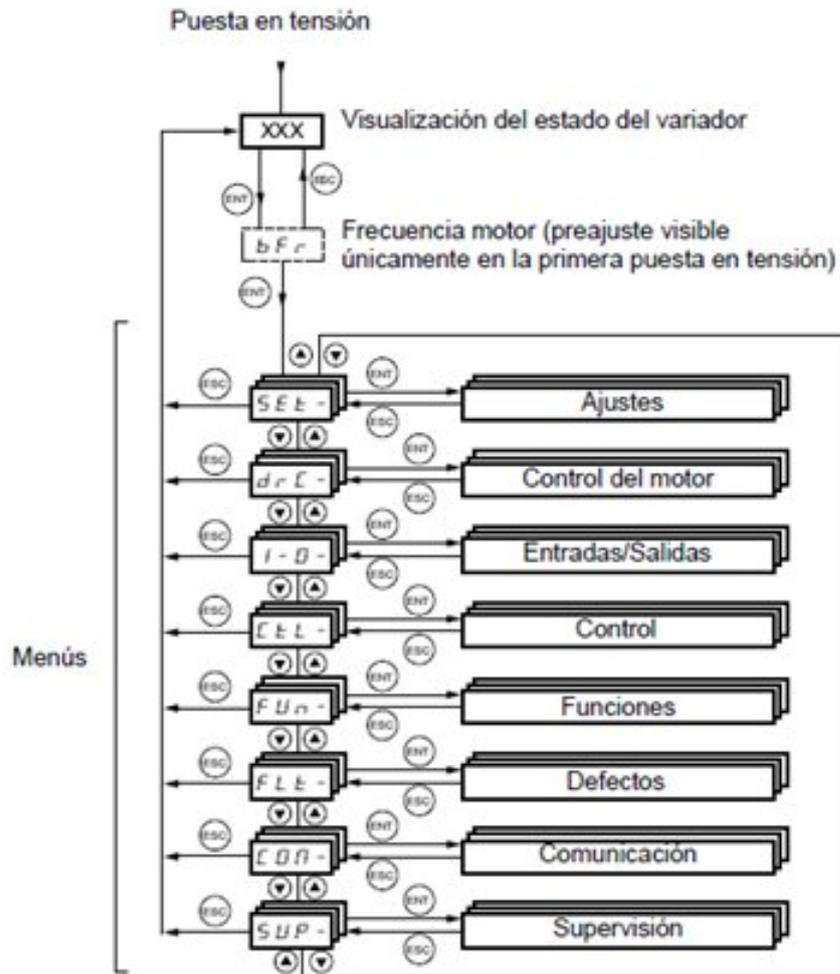


Figura 3.32: Acceso a los Menús

- Entonces se necesita programar los parámetros del Set que es el menú de ajustes, en este parámetro solo se va seleccionar las opción que se muestran en la Tabla siguiente a continuación:

<b>Cód.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de Ajuste</b>	<b>Ajuste de Fábrica</b>
ACC	Tiempo de la rampa de aceleración	3 s	3 s
dEC	Tiempo de la rampa de deceleración	3 s	3 s
LSP	Mínima Velocidad	0 Hz	0 Hz
HSP	Máxima Velocidad	60 Hz	50Hz
lth	Protección térmica del motor	1.5 In	0.2 a 1.5 In

Tabla 3.1: Parámetros configurados en el menú set

4. Seguido el paso anterior se continua con el menú drC donde se encuentran los parámetros de control de la bomba, drC, estos solo se pueden modificar en parado (sin orden de marcha), excepto tUn, que puede provocar la puesta en tensión del motor, aquí se introducen los valores que figuran en la placa de características de la bomba motor en el menú Accionamiento, se programa lo que se ve en la Tabla 3.2.

<b>Cód.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de Ajuste</b>	<b>Ajuste de Fábrica</b>
bFr	Frecuencia estándar del motor.	60 Hz	50 Hz
UnS	Tensión nominal del motor.	220 V	240 V
FrS	Frecuencia Nominal del motor.	60 Hz	50 Hz
nCr	Corriente nominal del motor.	0.25 a 1,5In	Calibre del V.
nSP	Velocidad Nominal del motor.	1800 rpm	Calibre del V.
COS	Coseno	0.9	0.9
tFr	Frecuencia Máxima de salida.	60 Hz	0 a 500 Hz

Tabla 3.2: Parámetros configurados en el menú drC

5. Luego se continúa con menú I-O que es donde se pone los parámetros de entradas/salidas, en el cual se va a configurar con los datos que se indica en la Tabla 3.3.

Cód.	Descripción	Rango de Ajuste	Ajuste de Fábrica
tCC	Control 2 hilos/ 3 hilos.	2C	2C
tCt	Tipo de control 2 hilos.	trn	trn
CFG	Configuración de la fuente.	StS	Std

Tabla 3.3: Parámetros configurados en el menú I-O

**Nota.**

La conexión de 2 hilos se escoge como protección para que es arranque sea en un solo sentido, y no se haga un cambio de giro de la bomba no deseado, como se muestra en la Figura 3.33.

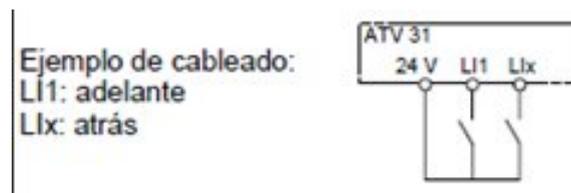


Figura 3.33: Diagrama de conexión a dos hilos

Se escoge la consigna AI2 ya que es la que activa las entradas analógicas de 0 10 V y se desactiva entrada a corriente, y se da seguridad para no producir daño al variador.

6. Ahora se configura los parámetros del menú de control Ctl.

Cód.	Descripción	Rango de Ajuste	Ajuste de Fábrica
Fr1	Configuración consigna 1	AI2	AI1

Tabla 3.4: Parámetros configurados en el menú Ctl.

7. Por último se configura un parámetro en el menú de defectos este parámetro me impide que el variador me dé un fallo por corte en las fases del motor ya

que debido a los contactores normalmente abiertos realmente están en corte las fases del motor pero en este caso se obvia este punto.

<b>Cód.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de Ajuste</b>	<b>Ajuste de Fábrica</b>
OPL	Fallo de corte de la fase del motor	nO	Yes

Tabla 3.5: Parámetros configurados en el menú Flt.

8. Por ultimo para finalizar los demás parámetros no es necesario configurarlos, ya que vienen configurados de fábrica.

## **3.5. DISEÑO DEL SISTEMA HMI PARA EL PANEL DE CONTROL**

### **3.5.1. DESCRIPCIÓN**

El panel de control elegido fue una pantalla táctil modelo Magelis XBT GT 1335 de Schneider Electric. Dicho panel tiene un software de programación llamado Vijeo-Designer V5.0. Este software permite controlar varios autómatas al mismo tiempo, visualizar datos, controlar procesos, animación de figuras para el monitoreo en tiempo real del proceso.

### **3.5.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EL PANEL**

Antes de realizar la programación se debe realizar una lista de direcciones usadas en el PLC y las funciones que cada una cumple, ya que estas direcciones serán necesarias para crear las variables dentro del programa.

<b>Dirección</b>	<b>Función en el PLC</b>
%M0	Paro General del proceso
%M1	Arranca el llenado
%M2	Arranca la recirculación
%M3	Arranca el vaciado
%MW1	Señal del Sensor del Tanque 01
%MW3	Señal del Sensor del Tanque 02
%MW5	Señal del Sensor del Tanque 03
%MW10	Señal salida analógica para el variador
%Q0.9, %Q0.13, %Q3.1	Activa relé para LAHHTK01, LAHHTK02, LAHHTK03
%Q0.10, %Q0.14, %Q3.2	Activa relé para LAHTK01, LAHTK02, LAHTK03
%Q0.12, %Q0.3, %Q3.4	Activa relé para LALLTK01, LALLTK02, LALLTK03
%Q0.11, %Q0.15, %Q3.3	Activa relé para LALTK01, LALTK02, LALTK03
%Q3.5	Activa relé para BOMBA1
%Q3.6	Activa relé para BOMBA2

Tabla 3.6: Direcciones y funciones de E/S digitales y analógicas del PLC

1. El primer paso es ingresar al programa para ello seleccionamos Inicio/Todos los Programas/Schneider Electric/Vijeo-Designer V5.0, lo primero que aparece una vez abierto el programa es una ventana como se muestra en la figura siguiente.

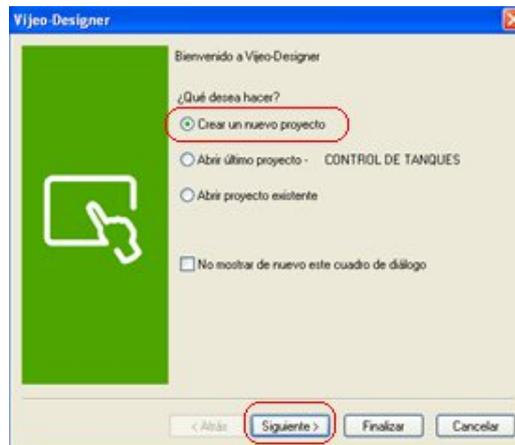


Figura 3.34: Ventana de inicio para crear un nuevo proyecto

A continuación seleccionamos Crear un nuevo proyecto y clic en siguiente.

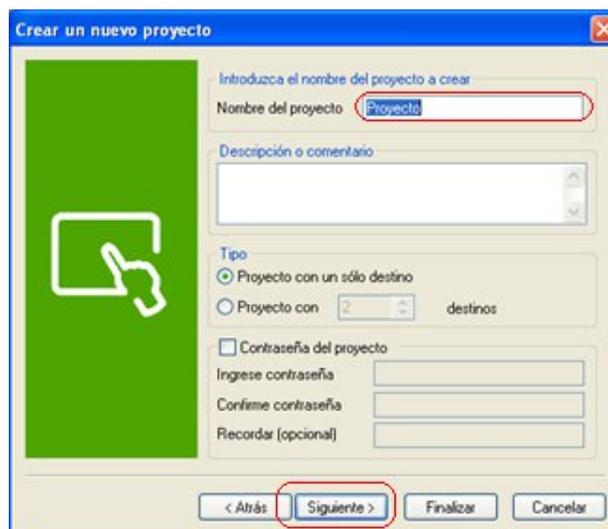


Figura 3.35: Introducir un nombre para el proyecto

Se le da un nombre que defina al proyecto y clic en siguiente.

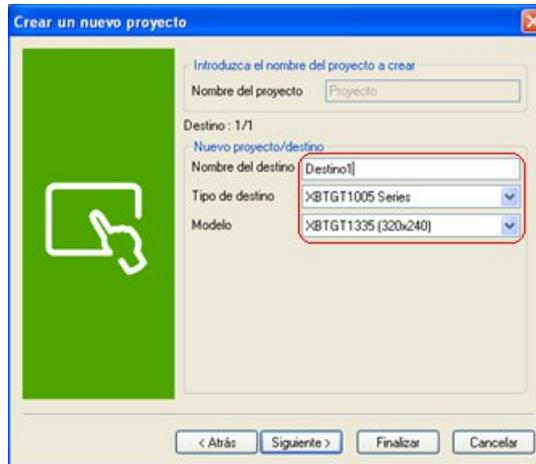


Figura 3.36: Introducir el tipo y el modelo del producto

Aquí se selecciona el modelo y el tipo del destino o sea del panel de control.

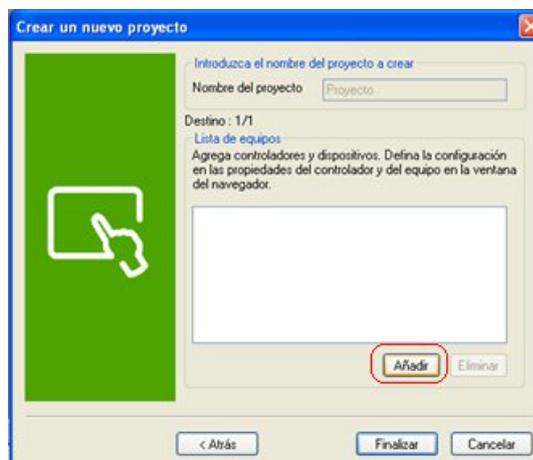


Figura 3.37: Configuración del controlador



Figura 3.38: Configuración del equipo

Aquí se configura el controlador y el equipo en este caso el controlador es Modbus TCP/IP y Equipo Modbus, clic en aceptar y clic en finalizar.



Figura 3.39: Navegador de Vijeo-Designer

En el navegador de Vijeo-Designer se puede crear nuevos paneles base, ventanas emergentes, formularios e informes, grupos de alarmas, registro de datos, etc.



Figura 3.40: Inspector de propiedades de Vijeo-Designer

En el inspector de propiedades aparece cada vez que se elige un elemento dentro de la pantalla de configuración, aquí se puede configurar cada elemento a conveniencia de los requerimientos que se necesiten. En la barra de comandos existe un sin número de opciones las que más usamos en este caso son:

a) **Caja de herramientas.**

Aquí se encuentran varias librerías de gráficos de tanques, botoneras, válvulas, lámparas, etc.



Figura 3.41: Caja de herramientas

b) **Interruptor.**

Aquí se encuentra botoneras y botones de opción.



Figura 3.42: Interruptor

c) **Piloto**

Aquí se puede encontrar luces piloto, varios diseños.



Figura 3.43: Piloto

d) **Visualizador Numérico**

Aquí se puede hallar visualizadores numéricos, que muestran datos.



Figura 3.44: Visualizador Numérico

e) **Tendencias**

Con esta opción se puede visualizar curvas de tendencia de cualquier dato numérico.



Figura 3.45: Tendencias

f) **Resumen de alarmas**

Aquí puedo configurar mensajes de alarma con fecha y hora de disparo.



Figura 3.46: Resumen de alarmas

2. El segundo paso es crear las variables necesarias para monitorear y controlar el proceso.

- a) Para crear variables es necesario ubicar el cursor en el navegador y buscar la opción variable, al hacer doble clic se abre una nueva ventana, que se describe a continuación.

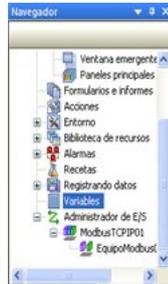


Figura 3.47: Crear nueva variable

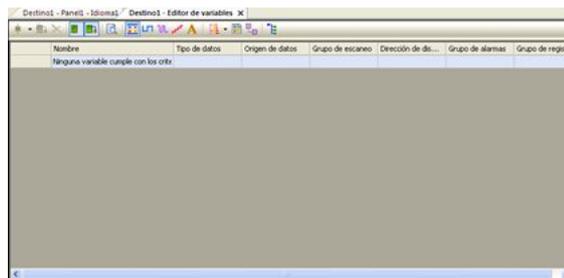


Figura 3.48: Ventana para crear variables

- b) Antes de seguir al siguiente paso es necesario establecer la dirección IP (192.168.0.165) del PLC, para que, el panel pueda comunicarse con este, ya que toda la comunicación se realiza mediante red Modbus Ethernet,

además es necesario cambiar la sintaxis para describir las direcciones dentro del Vijeo-Designer tal y como se describen en el PLC.

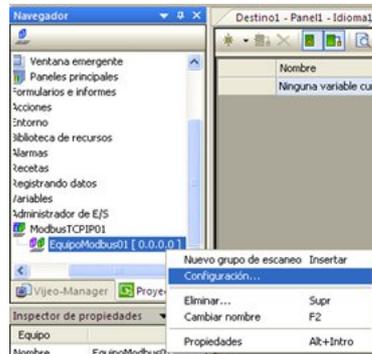


Figura 3.49: Configuración de la IP del equipo.



Figura 3.50: Cambio de sintaxis

- c) Una vez abierta la ventana editor de variables, el siguiente paso será crear una variable, establecer las preferencias y darle una dirección externa.



Figura 3.51: Barra para crear nueva variable

Para crear una nueva variable clic en el asterisco amarillo, luego aparecerá una ventana donde se puede configurar el nombre de la variable, el tipo de dato, el origen de dicho dato, de ser externo el dato se le asigna una dirección en este caso crearemos una variable tipo entero, y la dirección será %MW1 y se llamara NivelTK01.

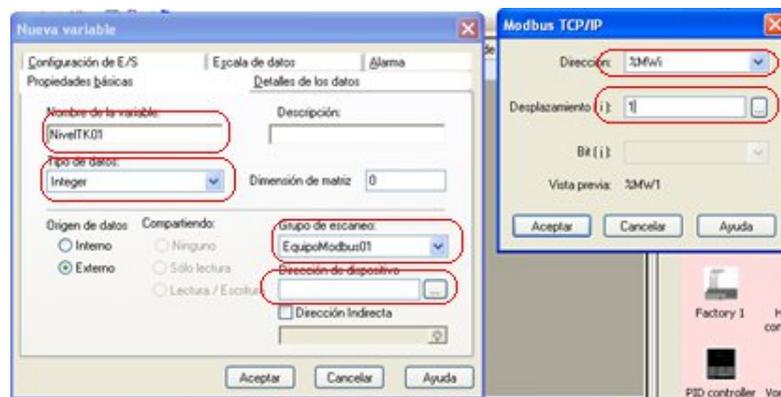


Figura 3.52: Configuración de una variable externa

El siguiente paso es crear todas las variables a ser utilizadas en el diseño del HMI, en este caso se debe crear una variable para cada dirección descrita en la tabla 3.7. Una vez creadas todas las variables es momento de continuar con el siguiente paso.

3. Ahora que ya tenemos las variables creadas, se necesita diseñar la estructura del proceso, esto significa que se debe dibujar todos los elementos que se involucran en el proceso, en este caso tenemos tres tanques, 4 botoneras de mando, 3 visualizadores numéricos, un panel de inicio, un panel de tendencias y un panel de alarmas, a continuación se detalla cómo realizar cada elemento.
  - a) Se empieza por crear los tanques, para crear un tanque se ubica el cursor

en el icono de la caja de herramientas y doble clic, aparecerá una ventana al lado derecho donde existe una librería de varios elementos, se busca el modelo de tanque deseado y se lo arrastra al panel para darle una ubicación y configurarlo.

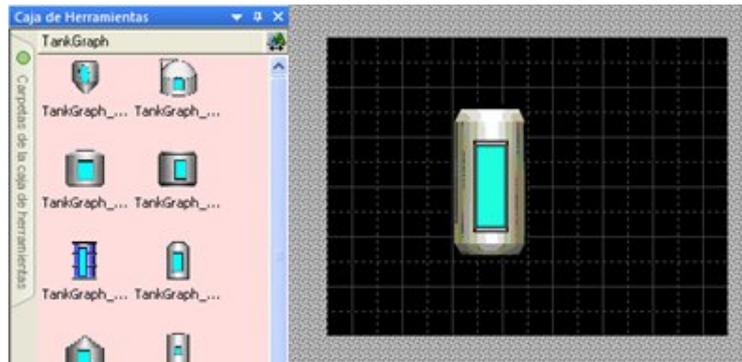


Figura 3.53: Creación de un nuevo tanque

El paso siguiente es asignarle la variable que le corresponde, en este caso le asignaremos la variable TanqueTK01, ubicándose en el inspector de propiedades en variable, esto sirve para la animación del nivel en el tanque.

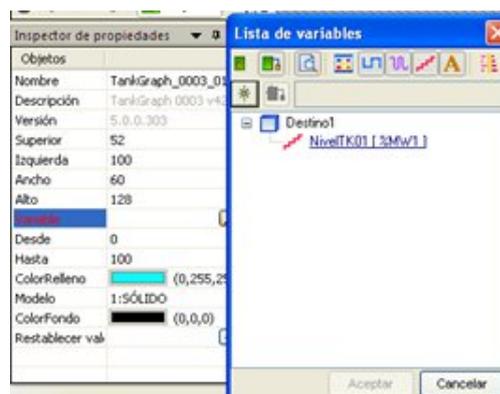


Figura 3.54: Asignación de variables a los objetos

Los siguientes pasos serán crear los 2 tanques que faltan, ubicarlos en la pantalla y asignarle una variable a cada uno.

b) Ahora se describe los pasos para realizar una botonera de mando.

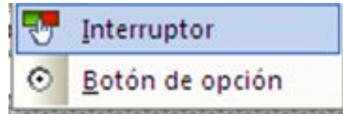


Figura 3.55: Crear un nuevo interruptor o botonera

Para crear una botonera, ubicamos el cursor en el icono de Interruptor y damos clic, luego se arrastra a la pantalla y se da un clic para dibujar el interruptor, al finalizar se hace un clic y aparece una ventana donde se configura el estilo del botón, la operación al pulsar y al liberar, la asignación de una variable, los colores y la etiqueta que se le desea dar.

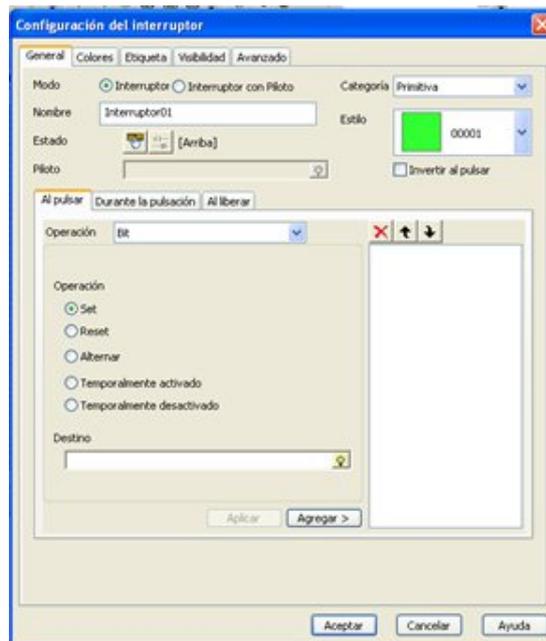


Figura 3.56: Ventana para la configuración de la botonera

Lo primero es asignar la variable en este caso es una variable de tipo booleana, para ello hacemos un clic en el foco amarillo de la opción destino, ver la figura 3.57.

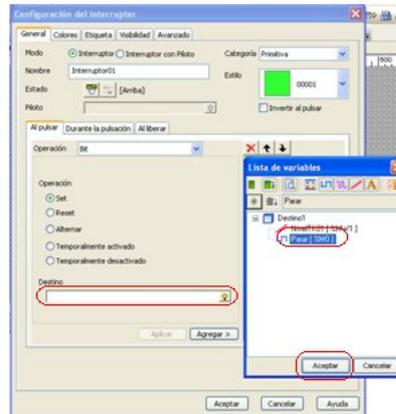


Figura 3.57: Asignación de la variable

Una vez asignada la variable dar clic en agregar, tomar en cuenta que esto es al pulsar lo que quiere decir que se asigna un 1 lógico al pulsar la botonera, así que también se debe asignar la misma variable pero al contrario de tal manera que al liberar asigne un 0 lógico.

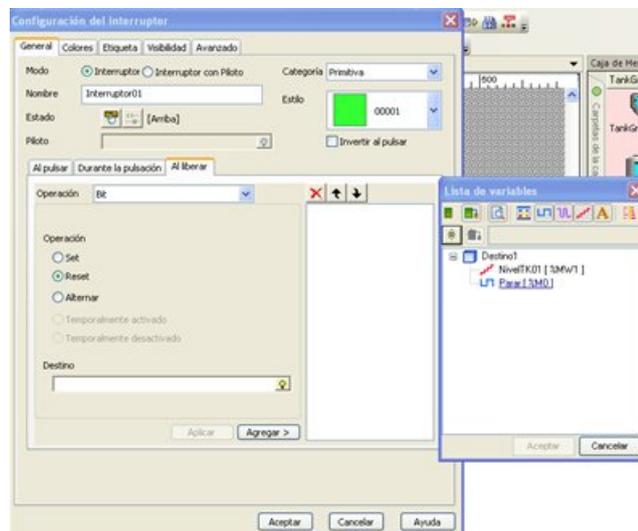


Figura 3.58: Asignación de la variable con un reset al liberar

Con estos pasos podemos crear las botoneras que faltan.

- c) Ahora se describe los pasos para crear un visualizador numérico, en este caso se necesita visualizar el valor de litros que registra la variable de nivel.

El primer paso es dar un clic en el visualizador numérico, llevarlo a la pantalla y dibujarlo, una vez terminado aparece una ventana donde se puede configurar la asignación de la variable, tamaño de texto, tipo de dato, etc.

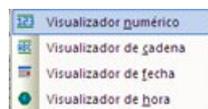


Figura 3.59: Crear un visualizador numérico

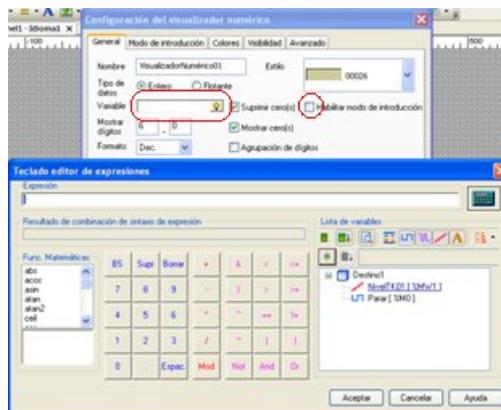


Figura 3.60: Asignación de la variable al visualizador numérico

También se puede activar el modo de introducción, es decir, se puede introducir un valor numérico, esto se hace solo activando la casilla donde dice Habilitar modo de introducción. Ahora se crea los visualizadores numéricos necesarios y se los ubica en la pantalla.

- d) Para crear un gráfico de tendencias, a continuación se detallan los pasos a seguir.

En este caso lo que se desea es crear curvas de tendencia del nivel de cada tanque con respecto al tiempo, pues es muy fácil, simplemente se crea un nuevo panel y él se dibuja un gráfico de tendencia.

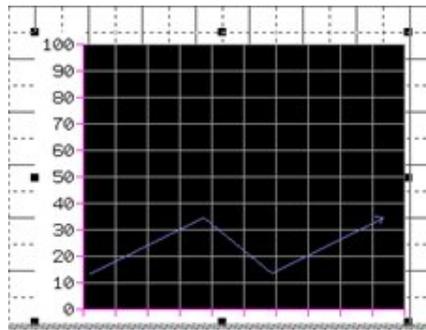


Figura 3.61: Creación de un gráfico de tendencia

Para configurar el gráfico es necesario trasladarse al inspector de propiedades donde se encuentra varios canales, al ser tres tanques por lo tanto se necesitan 3 canales y se le asigna una variable a cada uno en este caso las variables a asignar son las de nivel de cada tanque.

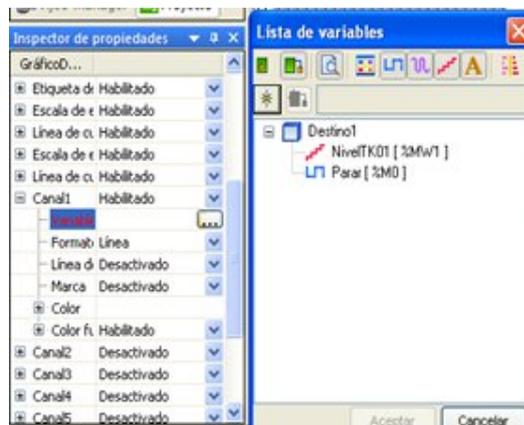


Figura 3.62: Asignación de variables por canales

e) Para crear un resumen de alarmas, a continuación se detallan los pasos a seguir.

En este caso lo que se desea es visualizar una lista de mensajes del estado del nivel en los tanques, para ello es necesario configurar las variable de nivel, primeramente se abre las propiedades de la variable, nos ubicamos en alarma y asignamos valores de nivel bajo, bajo-bajo, alto y alto-alto, y todo esto se guarda en un registro de alarmas para luego asignar este al gráfico de resumen de alarmas.



Figura 3.63: Configurar grupo de alarmas para cada variable de nivel

Una vez terminado el paso anterior, lo que se hace es crear un nuevo panel y dibujar el resumen de alarmas haciendo clic en resumen de alarmas.

Ya dibujado el resumen de alarmas dar doble clic sobre este, luego se abre una ventana donde se configuran los mensajes a mostrar, la fecha y hora del disparo de la alarma.



Figura 3.64: Creación de un resumen de alarmas

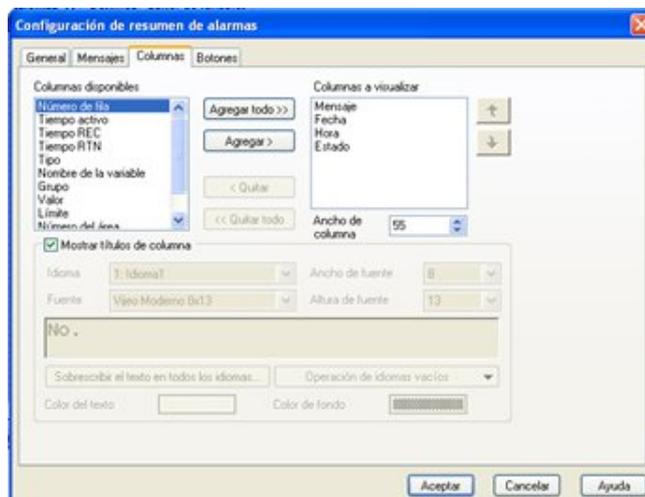


Figura 3.65: Configuración de un resumen de alarmas

4. Cuando ya se creó todo y se guardó un respaldo es hora de depurar y cargar el archivo a la pantalla, esto se lo realiza por medio de un cable USB exclusivo para la pantalla, para ello es necesario activar la descarga de datos vía USB.

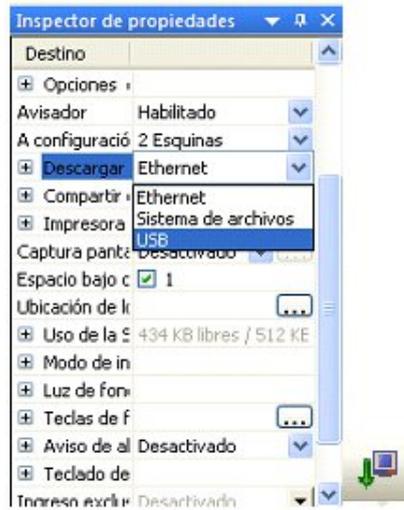


Figura 3.66: Configuración del medio de descarga

Una vez configurado la vía de descarga, se conecta el cable a la pantalla y la pc, luego dar clic en el icono descargar destino y si no existe ningún error, el archivo se descargara.

5. Al final todo el archivo quedara de la siguiente manera.

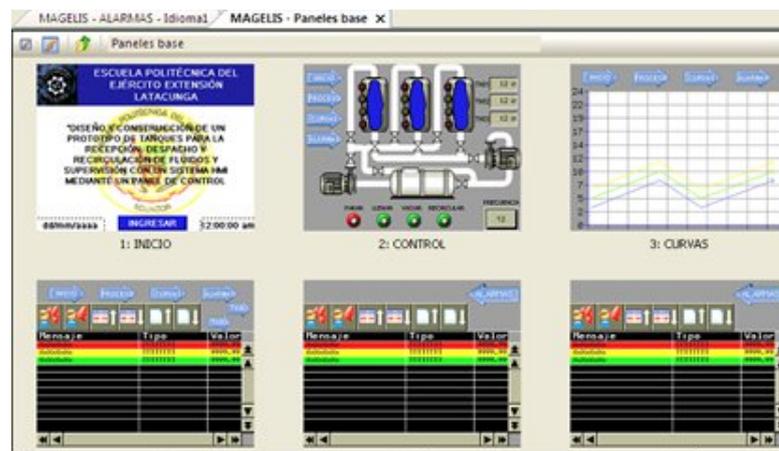


Figura 3.67: Diseño final del HMI para el panel de control

## 3.6. DISEÑO DEL SISTEMA HMI EN LABVIEW 8.5

### 3.6.1. DESCRIPCIÓN

En el capítulo anterior se seleccionó Labview 8.5 como software base para realizar un Scada, para poder realizar el programa es necesario tener un OPC server, que sirva como traductor de todos los datos del PLC que se desea controlar y visualizar, para ello se adquirió un demo del programa KEPServerEx V4.0.

Este programa permite crear variables o tags cuya función principal es cargar las direcciones del PLC, para ello se necesita escribir las direcciones del PLC para cada tag, es primordial mencionar que la sintaxis de direcciones para Modbus Ethernet es diferente a la que usa el PLC:

DESCRIPCIÓN	PLC	MODBUS ETHERNET
Palabra de memoria	%MWn	40000 (n+1)
Bits de memoria	%Mn	00000 (n+1)
Entradas Digitales	%In	10000 (n+1)

Tabla 3.7: Sintaxis en Modbus Ethernet

### 3.6.2. DESARROLLO DEL PROGRAMA

El primer paso es configurar las variables en el KEPServerEx V4.0, para ello se sigue los siguientes pasos:

1. Abrir el KEPServerEx V4.0, clic en File/New.



Figura 3.68: Crear Nuevo Archivo

2. Ahora aparece una ventana en la cual se configuran los siguientes parámetros:

a) **Nombre del canal**

Se asigna un nombre al canal.

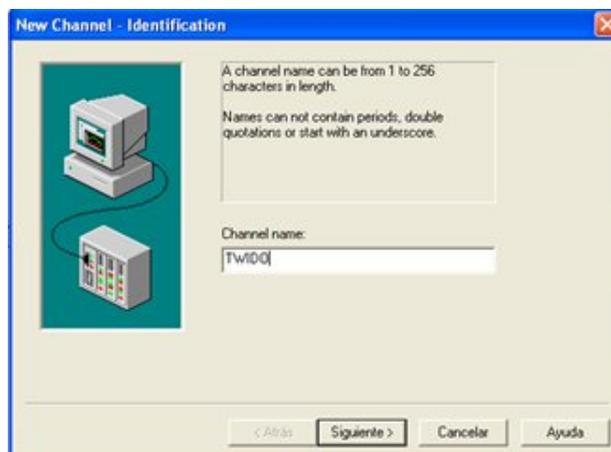


Figura 3.69: Renombrar el Canal

b) **Driver del dispositivo**

Aquí se selecciona el tipo de driver que se está utilizando en este caso es Modbus Ethernet.

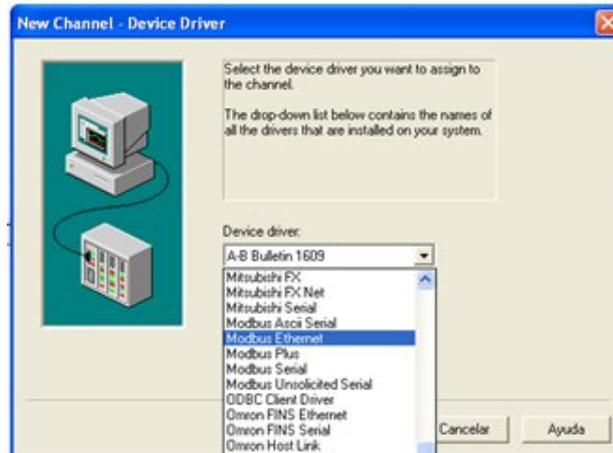


Figura 3.70: Driver del dispositivo

c) **Adaptador de Red**

Aquí se elige el adaptador de red en este caso se elige por default.

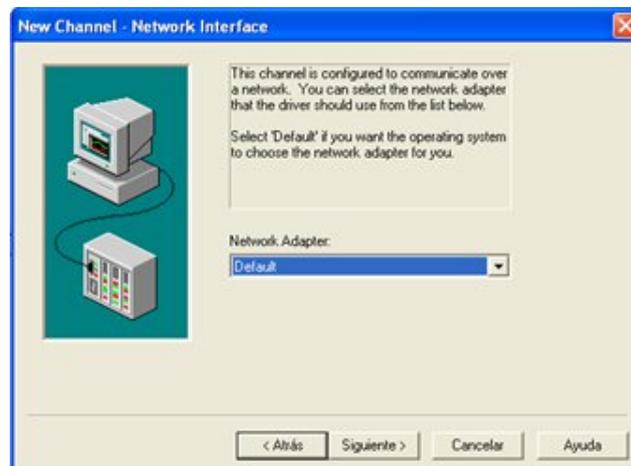


Figura 3.71: Adaptador de Red

d) **Luego clic en siguiente, hasta finalizar**

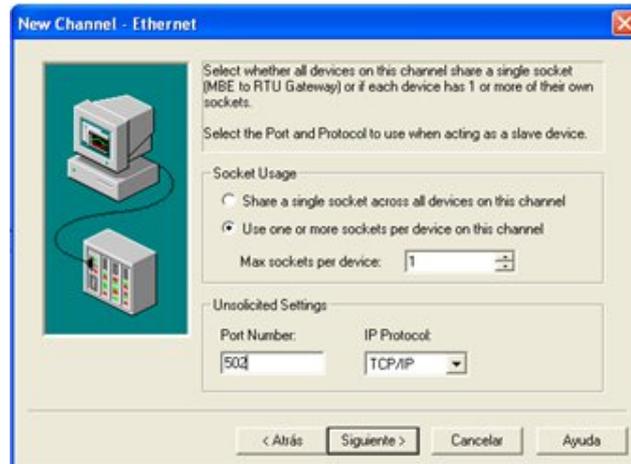


Figura 3.72: Numero de puerto y tipo de protocolo

3. Ahora se necesita configurar el dispositivo, para ello se sigue los siguientes pasos:

a) **Nombre del dispositivo**

Aquí se asigna un nombre al dispositivo en este caso Ethernet.

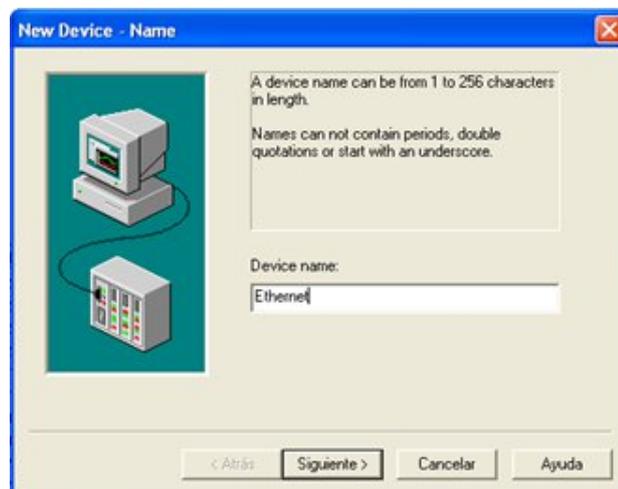


Figura 3.73: Nombre del dispositivo

**b) Modelo del dispositivo**

Aquí se asigna un modelo del dispositivo en este caso es Modbus.



Figura 3.74: Modelo del dispositivo

**c) Dirección del dispositivo**

Se asigna la dirección IP que se usó para el PLC en este caso 192.168.0.165.



Figura 3.75: Dirección IP del dispositivo

**d) Seguir con los pasos y finalizar la configuración del dispositivo**

4. Ahora se crea los nuevos tags, donde se configura el nombre, la dirección, el tipo de dato y tipo de acceso.

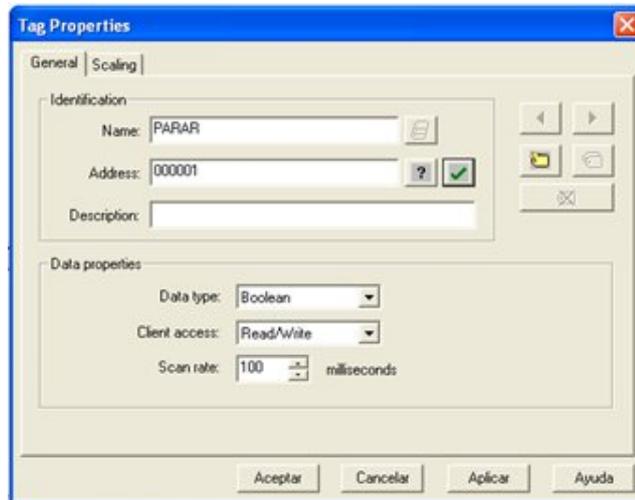


Figura 3.76: Configuración del tags

5. Una vez creados todos los tags, ahora se puede crear el programa en Labview 8.5.

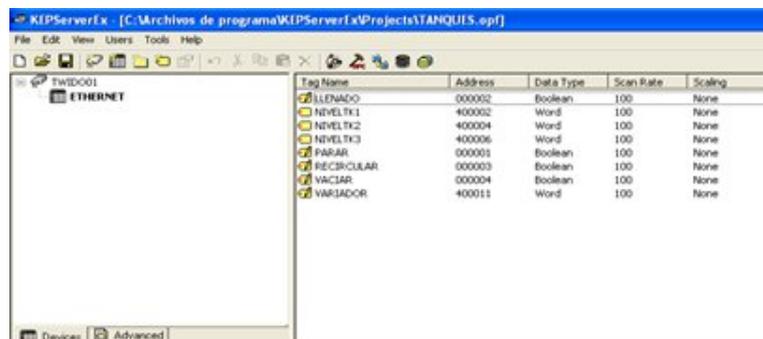


Figura 3.77: Lista de tags creados

A continuación se describe los pasos para programar en Labview 8.5:

1. Lo primero que se realiza es la edición de los gráficos que se involucran en el proceso.

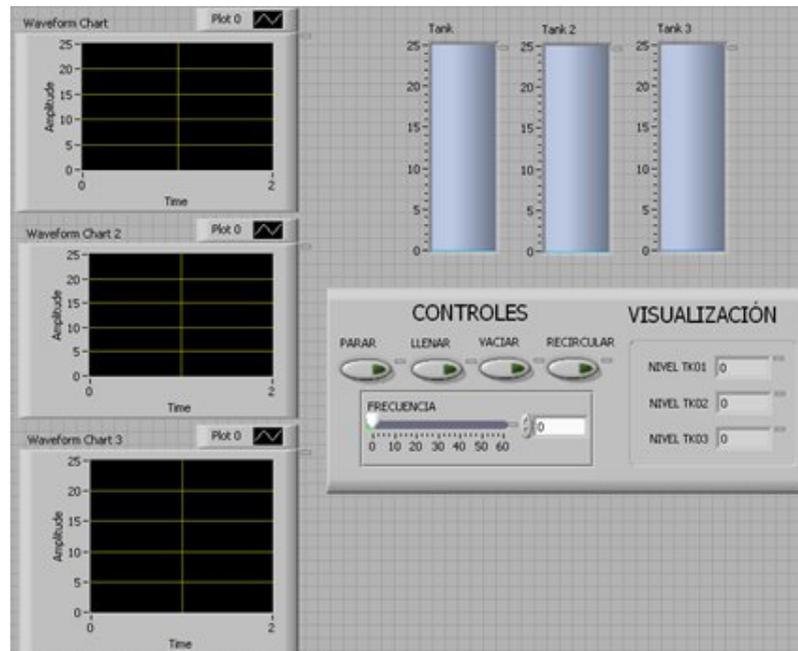


Figura 3.78: Edición de gráficos en Labview 8.5

Como podemos observar, aquí se visualizan tres tanques en los cuales se anima el llenado, vaciado y recirculación del fluido, además existen varios interruptores que permiten controlar el llenado, el vaciado y la recirculación del fluido (agua), también se puede fijar el valor de frecuencia para variar la velocidad del motor, también se visualizan las curvas de tendencia del nivel de cada tanque y por ultimo el valor del nivel de cada tanque que se muestra en un visualizador numérico.

2. Una vez editado los gráficos es necesario asignar las variables a cada elemento, esto se realiza siguiendo los siguientes pasos:
  - a) Primero se ingresa a las propiedades del elemento a configurar, después se elige la pestaña Data Binding.



Figura 3.79: Asignación de las variables

- b) Una vez elegida la pestaña en la lista desplegable "Data Binding Selection" se selecciona DataSocket, luego se elige el tipo de acceso.
- c) Una vez cumplidos los pasos anteriores, se busca la variable a ser asignada, para ello clic en Buscar, DSTP Server, luego aparece una ventana del URL donde se selecciona el OPC donde se configuro las variables.

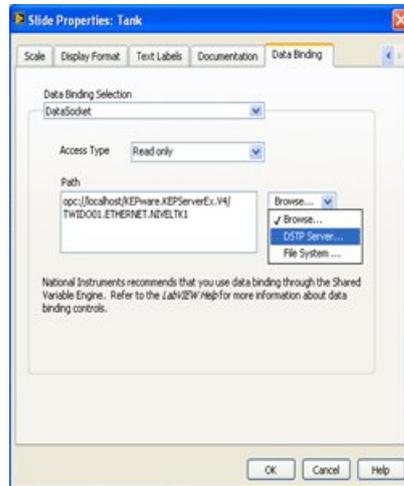


Figura 3.80: Búsqueda de variables mediante DSTP Server

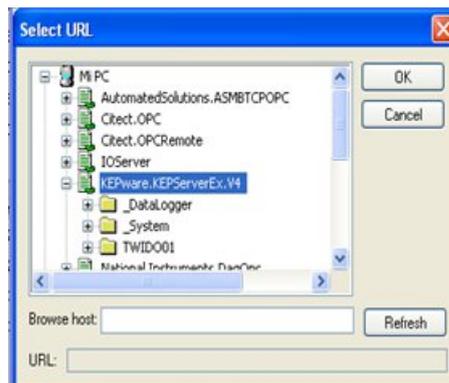


Figura 3.81: Búsqueda del Servidor

- d) Cuando se selecciona el servidor OPC, se despliega una lista de canales, seleccionamos el que creamos TWIDO01, luego seleccionamos el dispositivo ETHERNET en este caso, en ese instante se despliega una lista de todas las variables creadas anteriormente, por último se elige la variable deseada y aceptar.



Figura 3.82: Selección de variables

- e) Por último se realizan los mismos pasos para asignar variables a los elementos que restan, una vez finalizado esto se procede directamente a aplicar el RUN con lo cual ya puedo controlar el proceso desde la PC por medio de Labview 8.5.

## **Capítulo 4**

# **PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MÓDULO**

### **4.1. PRUEBAS ELÉCTRICAS**

#### **4.1.1. DESCRIPCIÓN**

Para el desarrollo de esta capítulo se toma en cuenta el funcionamiento de todos los elementos situados en el módulo, como son PLC (Twido), módulos de expansión entradas/salidas análogas, bombas centrifugas y variador de frecuencia, con sus respectivas conexiones.

#### **4.1.2. PRUEBA DE MEDICIÓN DE VOLTAJE EN CADA ELEMENTO**

Para que los elementos del módulo de nivel funcionen correctamente, los voltajes nominales referenciales (datos de placa) datos proporcionados por los fabricantes deben estar en los rangos permitidos, para comprobar este se hace mediciones y los datos obtenidos se muestra en la Tabla 4.1.

<b>ELEMENTO</b>	<b>REF.</b>	<b>V. REQUERIDO (VAC)</b>	<b>V. MEDIDO (VAC)</b>
Variador de Velocidad	F2-F3	V. Min. = 220 V. Máx. = 240	221.7
PLC	F1-N	V. Min. = 110 V. Máx. = 125	123.3
BOMBA CENTRIFUGA	F1-F2	V. Min. = 220 V. Máx. = 240	221.7
	F2-F3	V. Min. = 220 V. Máx. = 240	220.6

Tabla 4.1: Mediciones de pruebas eléctricas en los elementos

#### **4.1.3. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE VOLTAJE VS. FRECUENCIA EN EL VARIADOR**

Es necesario tener un control de la señal de salida del variador de frecuencia, ya que ésta es directamente proporcional al voltaje y regula las revoluciones de giro del motor de la bomba centrífuga, la medición obtenida indica los datos reales tomados en una variación de diez Hertz, los mismos que se muestran en la Tabla 4.2.

<b>FRECUENCIA (Hz)</b>	<b>F1-F2(Vac)</b>	<b>F1-F3(Vac)</b>	<b>F2-F3(Vac)</b>
0	0	0	0
10	36.5	37.7	40.3
20	75.6	75.7	74.1
30	113.2	113.2	112.2
40	150.6	151.7	148.9
50	186.6	187.1	185.5
60	217	218	217

Tabla 4.2: Tabla de Frecuencia Voltaje a la salida del Variador Altivar 31

#### **4.1.4. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE VOLTAJE EN SENSORES DE NIVEL**

Para realizar esta prueba, es necesario medir los valores de voltaje que entrega el sensor antes y después de la amplificación, cabe mencionar que el sensor tiene una amplificación con una ganancia de 20, se registran los datos obtenidos en las siguientes tablas.

Con esto se puede visualizar la variación de voltaje que presenta el sensor con respecto a la altura a medida que el agua sube, como se explicó en capítulo anterior en el PLC se realiza una interpolación, que consiste en utilizar los bits equivalentes del voltaje del sensor.

<b>LITROS (Lt)</b>	<b>ALTURA (plg)</b>	<b>VOLT. NORMAL (V)</b>	<b>VOLT. AMPDO. (V)</b>	<b>BITS</b>
0	0	0.301	6.02	2444
5	5	0,251	5,02	2042,33
10	10	0,201	4,03	1640,66
15	15	0,151	3,03	1239
20	20	0,102	2,04	837,33
24	24	0.0625	1.25	516

Tabla 4.3: Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 01

<b>LITROS (Lt)</b>	<b>ALTURA (plg)</b>	<b>VOLT. NORMAL (V)</b>	<b>VOLT. AMPDO. (V)</b>	<b>BITS</b>
0	0	0,301	6.03	2464
5	5	0,254	5,08	2061,08
10	10	0,206	4,13	1658,16
15	15	0,159	3,19	1255,25
20	20	0,112	2,24	852,33
24	24	0,074	1,49	530

Tabla 4.4: Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 02

Cabe mencionar que los valores de voltaje son distintos para cada tanque, esto se debe a que los sensores no están colocados a una altura exactamente igual uno respecto del otro, por lo cual se necesitó una ecuación de interpolación para cada sensor.

LITROS (Lt)	ALTURA (plg)	VOLT. NORMAL (V)	VOLT. AMPDO. (V)	BITS
0	0	0,301	6.02	2454
5	5	0,251	5,03	2055,45
10	10	0,202	4,05	1656,91
15	15	0,153	3,07	1258,37
20	20	0,104	2,09	859,83
24	24	0,065	1,31	541

Tabla 4.5: Valores de voltaje medidos en el sensor del tanque 03

## 4.2. PRUEBAS DEL SOFTWARE

Para realizar un completo estudio del comportamiento del proceso de nivel, es importante contar con la ayuda de varios dispositivos (Hardware), por medio de éstos se logra controlar los procesos de llenado, vaciado y recirculación de agua mediante el manejo de Softwares de simulación, control y monitoreo implementados en el sistema, ya que son herramientas computacionales que tienen y permiten una interface de comunicación entre PC-Dispositivos, dichos softwares se indican a continuación:

1. TWIDO SUITE 2.10
2. VIJEO DESIGNER 5.0
3. LABVIEW 8.5

Estos paquetes computacionales reúnen los requisitos para que la interface de comunicación sea una herramienta didáctica, multifuncional e interactiva.

#### **4.2.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN TWIDO SUITE V2.10**

Para realizar pruebas de funcionamiento mediante el software de Twido Suite, es necesario ya tener cargado el programa que controlara todo el sistema en el PLC.

El software me permite visualizar que entradas (%I0.n) y salidas (%Q0.n) se encuentran en estado activo, o sea están funcionando, esto se comprueba ya que la salida o entrada que está funcionando se torna de color verde.

Además se puede visualizar el valor de voltaje expresado en bits establecido en los módulos de entradas (IWn.n) y salidas (QWn.n) analógicas, en este caso se puede visualizar el valor que imprime cada sensor mediante las entradas análogas, así como también el valor que se asigna al variador de velocidad para controlar la frecuencia.

Es primordial mencionar que si el programa para el PLC no esta correcto, no se permite la descarga del mismo hacia el PLC.

1. El primer paso para ingresar al programa que contiene el PLC y verificar su funcionamiento es abrir el Twido Suite.
2. Escogemos el modo programación.



Figura 4.1: Escoger el modo de programación de Twido Suite

3. El siguiente paso será abrir un proyecto pero en esta ocasión desde el autómata, clic en descargar. Aquí me pedirá una nueva conexión que en este caso se especifica una conexión ethernet con la dirección IP del PLC, luego se accede al programa del PLC.

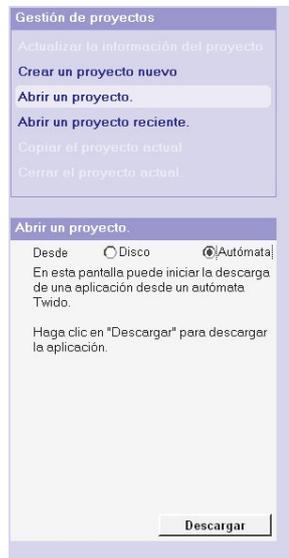


Figura 4.2: Extraer el programa que contiene el PLC

Nombre	Modo de conexión	Dirección IP/Número	Dirección	Caudal	Paridad	Bits de parada	Timeout	Timeout de la pausa
Mi conexión 1	Ethernet	192.168.0.165	Direc				5000	5

Figura 4.3: Dirección IP del PLC

4. Ahora se puede visualizar el comportamiento que mantiene el programa del PLC, lo primero que se puede observar es que el PLC se encuentra en modo RUN, es decir, se encuentra listo para funcionar; con respecto a la programación lo que se puede observar es la ecuación de interpolación usada para el primer sensor.

Para poder ingresar la ecuación al PLC, se trabaja con bloques de operación, en ellos se realizan operaciones aritméticas, por ejemplo el primer bloque contiene una resta entre un numero constante (516) y el valor numérico que se encuentra en la dirección (%IW1.0), que es la entrada análoga del primer sensor, el resultado se lo guarda en una palabra de memoria del PLC (%MW0), la cual será utilizada mas tarde.

En el segundo bloque, se realiza una conversión de entero a real del resultado anterior, ya que de aqui en adelante se trabaja con decimales, el resultado final se lo guarda en otra palabra de memoria del PLC pero en este caso debe ser flotante (%MF0). Con esto se puede seguir realizando las distintas operaciones que tiene la ecuación, por último se realiza la conversión del resultado final a entero, esto es por que el sensor varia linealmente.

Para el resto de sensores se realizan los mismos pasos que se describió anteriormente.

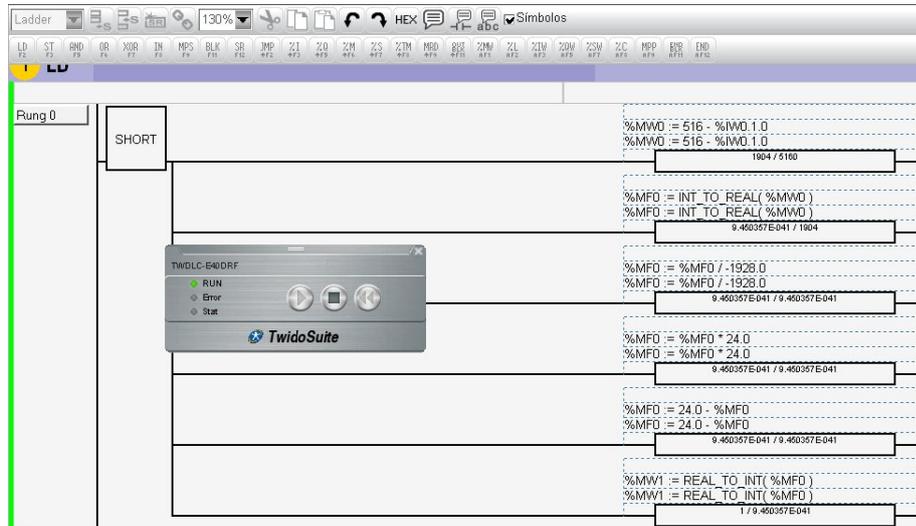


Figura 4.4: Programa para ingresar la ecuación de interpolación del primer sensor

- La siguiente imagen muestra que el que las salidas %M4, %M5 y %M25 se encuentran activas ya que se encuentran resaltadas de color verde, con esto se comprueba que el autómata está en funcionamiento y que se puede visualizar el mismo mediante Twido Suite.

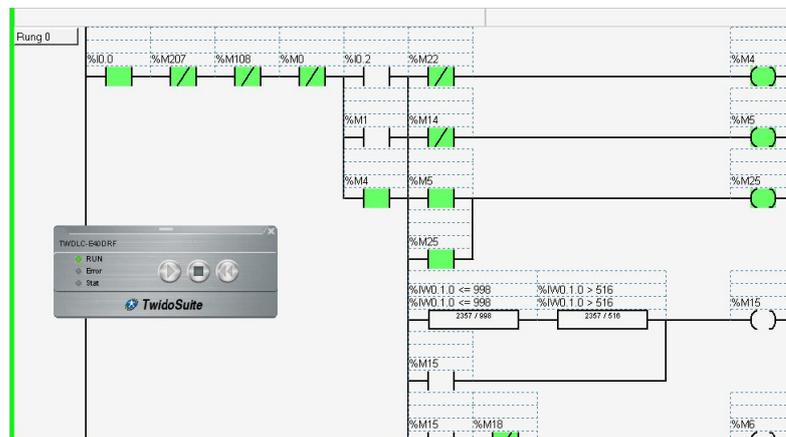


Figura 4.5: Funcionamiento del PLC observado desde TWIDO SUITE

6. En la siguientes figuras se puede observar la salida analógica (%Q2.0) que se usa para controlar la frecuencia del variador, ésta se encuentra con un valor de 52 Hz. por lo tanto el variador debe encontrarse en 52 Hz.



Figura 4.6: Valor de Frecuencia para el variador seteada desde TWIDO SUITE



Figura 4.7: Valor de Frecuencia en el variador

## 4.2.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN VIJEO-DESIGNER V5.0

Como antes se mencionó Vijeo Designer es un software para la programación de un HMI implementado en algún tipo de pantalla táctil, desde la cual también es posible el control y monitoreo de todo el sistema. Ahora bien este software me permite realizar una simulación para el control del sistema sin necesidad de tener la pantalla, para ello se siguen los siguientes pasos:

1. Abrir Vijeo Designer, aquí se selecciona el programa realizado.



Figura 4.8: Abrir el programa realizado en Vijeo Designer

2. Como el programa ya está listo para funcionar lo único que se hace es clic en la opción de simular.



Figura 4.9: Simular el programa

3. Un vez que el programa termina de compilarse aparece una nueva ventana que a su vez representa a la pantalla, desde aqui se puede controlar todo el sistema.



Figura 4.10: Proceso de compilación del programa



Figura 4.11: Pantalla de inicio del programa

4. Como se observa en la siguiente figura lo que tengo en la ventana de simulación, también se lo tiene en la pantalla.

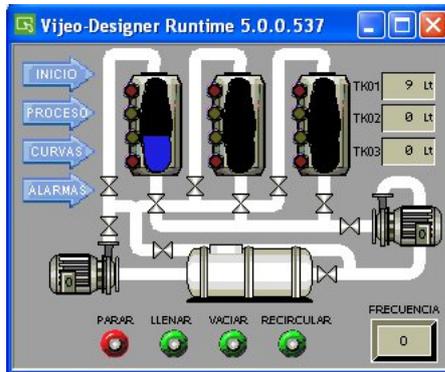


Figura 4.12: Pantalla de control del proceso desde Vijeo Designer



Figura 4.13: Pantalla de control del proceso desde Panel de Control

### 4.2.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN LABVIEW 8.5

Para realizar las pruebas de funcionamiento con Labview es necesario tener un servidor instalado en la PC, a continuación se enumeran los pasos para realizar esta prueba:

1. El primer paso será abrir el programa realizado en Labview.

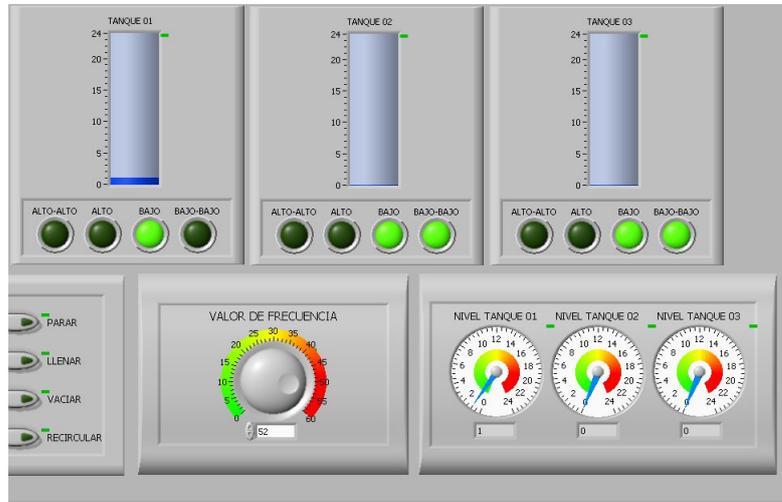


Figura 4.14: Programa para control del sistema realizado en LABVIEW

2. Una vez abierto el programa se procede a arrancar el mismo, aqui se abre el servidor donde se puede comprobar el estado de la conexión, si ésta es correcta aparece como GOOD.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality
TWID001.ETHERNET.LLENADO	Boolean	0	10:56:12:281	Good
TWID001.ETHERNET.NIVELTK1	Word	1	11:03:18:000	Good
TWID001.ETHERNET.NIVELTK2	Word	0	11:02:47:578	Good
TWID001.ETHERNET.NIVELTK3	Word	0	11:03:26:531	Good
TWID001.ETHERNET.PARAR	Boolean	0	10:56:12:281	Good
TWID001.ETHERNET.RECIRCULAR	Boolean	0	10:56:12:281	Good
TWID001.ETHERNET.VACIAR	Boolean	0	10:56:12:281	Good
TWID001.ETHERNET.VARIADOR	Word	0	10:56:12:296	Good

Figura 4.15: Estado de conexión en el servidor

3. Lo que se hace a continuación es controlar el proceso desde Labview, para demostrar si éste funciona, se establece el valor de frecuencia para el variador (Ver figura 4.14), si todo esta correcto el variador muestra una frecuencia igual a la que se establecio en el programa de Labview (Ver figura 4.7).

## **4.3. ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROCESO DE CONTROL**

Es muy importante la elaboración de un manual de operación y mantenimiento para el módulo de nivel, ya que en base a este se permite la correcta manipulación de todo el sistema, evitando daños en los equipos y permitiendo una vida útil mas larga para beneficio de todos quienes utilicen este módulo.

Antes de empezar es necesario enumerar todos los temas a tratar en este manual:

- Consideraciones para la seguridad del equipo y del usuario.
- Consideraciones para el mantenimiento del módulo.
- Control del Sistema mediante el Panel de Control.
- Control del sistema mediante Labview desde la PC.

### **4.3.1. CONSIDERACIONES PARA LA SEGURIDAD DEL EQUIPO Y DEL USUARIO**

Antes de empezar a utilizar el módulo es necesario asegurarse de:

1. Que todas las conexiones entre los equipos se encuentren en buen estado, esto evita cualquier posible daño en los equipos por cortocircuito.
2. Que todo el sistema de tuberías no muestre fugas de agua, ya que esto puede causar un cortocircuito y un deterioro de la estructura del módulo.
3. Manejar con mucho cuidado la conexión trifásica ya que el mal manejo de ésta puede ocasionar que el usuario reciba una descarga eléctrica y poner en riesgo su vida.

4. Cuando en módulo está en funcionamiento es necesario estar atento, para poder reaccionar a cualquier inconveniente que se presente durante el funcionamiento.

Una vez que se a cumplido con todos los pasos anteriores, ahora ya se puede energizar el módulo para empezar a trabajar.

#### **4.3.2. CONSIDERACIONES PARA EL MANTENIMIENTO DEL MÓDULO**

Para el mantenimiento del módulo se toma en consideración los siguiente puntos:

1. Cambiar el agua cada mes y colocar un cuarto de litro de cloro, esto se realiza para evitar la aparición de materia verdosa en el agua que puede ocasionar el taponamiento de las tuberías y causar averías en las bombas.
2. Es necesario siempre realizar una limpieza general del módulo ya que en el laboratorio existe mucho polvo, esto evita el daño del equipo y da una buena presentación al módulo.
3. Puede ser que en alguna ocasión se necesite el traslado del módulo a otro sitio, para ello es muy importante que se lo realice con cuidado y antes del traslado es necesario drenar el agua del depósito principal para evitar cualquier derramamiento y posibles daños en el módulo.
4. Lo mas propenso a dañarse en el módulo son los elementos eléctricos, si esto sucede es necesario consultar los planos eléctricos para reemplazar el elemento averiado y poder realizar su conexión.
5. Puede ser que por cualquier circunstancia se mueva los sensores, esto cambia los límites máximo y mínimo que se escogio para medir el nivel del tanque, por lo tanto si sucede esto, es necesario volver a cojer dichos puntos

y realizar una nueva ecuación de interpolación e ingresarla nuevamente al programa del PLC.

6. De pronto puede ser que se dañe algún accesorio en el sistema de tuberías para lo cual es necesario cambiarlo, para esto se menciona que toda la tubería es de 1 plg. de PVC, antes de proceder al cambio del accesorio averiado es primordial drenar completamente el agua y colocar un recipiente en la parte inferior donde se encuentra el accesorio para evitar cualquier derramamiento de agua.

Si se cumplen con todos los pasos antes descritos la vida útil del módulo será bastante larga.

#### **4.3.3. CONTROL DEL SISTEMA MEDIANTE EL PANEL DE CONTROL**

Para iniciar con el control del sistema mediante el panel de control se siguen los siguientes pasos:

1. Primeramente se enciende la pantalla.
2. Una vez que la pantalla se halla encendido lo primero que aparece es una ventana de inicio, en la cual se puede observar la fecha, la hora, el tema de la tesis y un vínculo para ingresar.
3. Para ingresar a la ventana de control del proceso se da un ligero toque en el vínculo, recordar que la pantalla es táctil, luego aparece una ventana emergente donde le pedirá una contraseña.
4. Para ingresar la contraseña se da un ligero toque en el recuadro, que en su interior se puede observar que contiene varios asteriscos, luego aparece una ventana que contiene un teclado con el cual se escribe la contraseña que

es 2011, posteriormente se da un ligero toque en ENTER y se regresa a la ventana emergente pero esta vez ya se puede ingresar dando un ligero toque en el botón que dice INGRESAR. (Si no desea ingresar puede cerrar la ventana emergente dando un ligero toque en el botón rojo)

5. Ya después de ingresar la ventana que primero aparece es la del control del sistema, allí se encuentra un gráfico que representa al sistemas se pueden observar los tanques, las electroválvulas y el sistema de tuberías, además se puede observar 3 recuadros donde se visualiza el valor numérico del nivel que tiene el tanque en ese instante, también se puede observar varios vínculos que son vinculos de otros ventanas existentes como la ventana de curvas de tendencia y la ventana de alarmas.

En la parte inferior de la ventana de control puedo observar varias botoneras, con las cuales voy a iniciar los procesos ya sea de llenado, vaciado y recirculado del agua pero además tengo una botonera de parada por si quiero para el sistema en caso de emergencia, cabe mencionar que solo se para el proceso en caso de requerirlo, ya que se pueden presentar inconvenientes al parar y continuar con el proceso, siempre es necesario reiniciar el proceso.

Tambien tengo un cuadro donde se ingresa el valor de frecuencia que se desea, es primordial que siempre sea mayor a 45 Hz ya que si es menor la bomba no tendrá la fuerza suficiente para soportar la carga y puede recalentarse y quemarse.

6. Antes de pasar a explicar como manejar cada proceso es muy importante que se tome en cuenta que, siempre se debe setear la frecuencia del variador, esto es siempre de lo contrario la bomba no va a funcionar, esto es porque el mismo variador controla 2 bombas, con una conexión en paralelo de las mismas por medio de 2 relés uno para cada bomba, con esto se controla cuando funciona la una o cuando funciona la otra dependiendo del proceso que se elige pero

nunca las dos al mismo tiempo.

7. En este caso se trata siempre de empezar por el proceso de llenado, si ya se tiene seteado el valor de la frecuencia del variador, ya se puede hacer funcionar el proceso de llenado, esto se logra dando un ligero toque en la botonera de llenado y empieza a llenarse el primer tanque, cabe mencionar que cuando el nivel alcance el nivel de alarma se encenderá una luz piloto tanto en el tablero de control manual como en la ventana de control de la pantalla, esto es para cada tanque, cuando el tercer tanque alcance el máximo nivel el proceso se termina y se apaga todo reiniciando el sistema y dejándolo listo para los siguientes procesos.
8. Ahora se realiza el proceso de recirculación, para ello se da un ligero toque en la botonera de recirculación y el proceso empieza a funcionar, aquí es importante mencionar que el proceso debe ser detenido por el usuario ya que el agua solo recircula.
9. El último proceso es el vaciado y se da inicio dando un ligero toque en la botonera de vaciado empezando a vaciar el primer tanque y así hasta llegar al tercer tanque, cuando este este vacío el sistema se apaga y se reinicia dejándolo listo para empezar otra vez.
10. Durante el funcionamiento de cualquier proceso yo puedo visualizar lo que son las curvas de tendencia y el historial de alarmas, simplemente dando un ligero toque en los vínculos respectivos a la ventana que se desea ver.

#### **4.3.4. CONTROL DEL SISTEMA MEDIANTE LABVIEW DESDE LA PC**

Al igual que el control del sistema mediante el panel de control el funcionamiento de cada proceso es el mismo en este caso, con la diferencia que se lo realiza desde la PC mediante el programa realizado en Labview, para ello se siguen los siguientes pasos:

1. Primeramente la PC ya se debe encontrar en comunicación con el sistema.
2. Luego se abre el programa de Labview, una vez abierto se le da el arranque al programa si todo esta bien, ya se puede realizar el control de cada proceso al igual que el caso anterior.
3. Como en el caso anterior dentro del programa se puede observar el nivel de cada tanque en ese instante, se puede setear el valor de frecuencia para el variador, se puede controlar cada proceso mediante su respectiva botonera.

#### **4.4. ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO**

El presente análisis está basado en los costos realizados en el proyecto de tesis donde se indica los valores en dólares de cuanto se gastó en la compra de los distintos elementos y suministros para la construcción del Prototipo.

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD DE MONEDA</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Mano de Obra	Dólares Americanos	\$145.00
Investigador 1	Dólares Americanos	\$240.00
Investigador 2	Dólares Americanos	\$240.00
	Total	\$625.00

Tabla 4.6: Recursos Humanos

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD DE MONEDA</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Foto Copias	Dólares Americanos	\$30.00
Internet	Dólares Americanos	\$25.00
Transporte	Dólares Americanos	\$25.00
Impresiones	Dólares Americanos	\$30.00
Comida	Dólares Americanos	\$50.00
	Total	\$60.00

Tabla 4.7: Recursos Materiales (Suministros)

<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD DE MONEDA</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Materiales Eléctricos	Dólares Americanos	\$3,310.60
Materiales Mecánicos	Dólares Americanos	\$464.89
Materiales Hidráulicos	Dólares Americanos	\$181.39
Materiales Otros	Dólares Americanos	\$50.00
	Total	\$4,006.88

Tabla 4.8: Recursos Materiales (Del Prototipo)

1. Considerando todo lo estipulado en las tablas anteriores, el total gastado fue de 4791.88 Dólares Americanos
2. El valor gastado en el proyecto de tesis es menor al valor presupuestado en el plan de tesis.
3. Todos los recursos económicos fueron administrados y suministrados por los realizadores de la tesis.
4. El costo de los elementos del proyecto esta realizado con respecto al costo del año 2010, puede ser que mas adelante dichos costos puedan variar, en el

caso de que se requiera algún equipo igual a los existentes en el módulo de nivel.

# Capítulo 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar y construir e implementar un prototipo de tanques para la recepción, despacho y recirculación de fluidos y supervisar con un sistema hmi mediante un panel de control para el laboratorio de electrobombas de la ESPE-L.
2. Se creó un sistema HMI con una interfaz de comunicación Ethernet para el control y supervisión de nivel del módulo de prácticas, utilizando la plataforma de instrumentación virtual Labview y Vijeo Designer para la pantalla touch screen, además se consiguió visualizar el nivel existente en cada tanque y en función de este realizar un sistema de alarmas y curvas de tendencia.
3. Los equipos prestan la facilidad de uso didáctico en el laboratorio debido a sus características de acoples rápidos, su funcionamiento es sencillo y se requiere de un conocimiento básico de teoría de control de procesos.

4. Se determinó la importancia de trabajar con un sistema de conexiones Ethernet ya que representa un costo módico y su funcionamiento es muy simple, no obliga al usuario a instalar ni configurar tarjetas de expansión y permite la conexión y desconexión de dispositivos con el equipo en funcionamiento. Permite que cualquier ordenador, por pequeño que sea, acepte tantos periféricos como sea preciso.
5. Por medio del presente proyecto la institución permite ampliar a los estudiantes sus conocimientos acerca del control de nivel mediante sistemas HMI y la implementación del tipo de comunicación que se usa para el control y supervisión del proceso.
6. A través del siguiente proyecto se puede tener una mejor apreciación de cómo funciona un sistema de control y supervisión de almacenamiento, recirculación y despacho de fluido en tanques que se utiliza en la industria petrolera.
7. El accionamiento del módulo también se lo realizó manualmente pero aquí se determinó la importancia de los sistemas HMI, ya que de forma manual solo se puede controlar el proceso mas no mantener una supervisión del nivel en cada tanque.
8. Se logró profundizar los conocimientos en el manejo de señales analógicas, también se determino que es de vital importancia tener un conocimiento claro del tema, ya que casi siempre se necesita implementar una amplificación de este tipo de señales eléctricas a una señal estandar ya sea de voltaje o de corriente, ya que de esto depende la adquisición correcta de los datos.
9. Se determinó que el módulo de prácticas para el control de nivel, es una herramienta de aprendizaje muy beneficiosa para los alumnos, ya que en dicho módulo se implementó el manejo de señales analógicas y digitales, la programación y configuración de un PLC, el manejo del protocolo de

comunicación Modbus Ethernet, la implementación y configuración de un variador de frecuencia para el control de la velocidad del motor de las bombas, la implementación de un panel de control con su respectivo software de programación para un sistema HMI y además la implementación de un HMI mediante un software de programación como lo es Labview.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. Seguir las instrucciones que se dan en el manual, para el correcto funcionamiento del módulo.

Dar el mantenimiento adecuado a los equipos para evitar su deterioro prematuro, así como también siempre tomar en cuenta las normas de seguridad del laboratorio para evitar accidentes que pueden perjudicar tanto al usuario como al equipo

2. Manipular con mucho cuidado el traslado del módulo, ya que pueden moverse los sensores de su posición, esto causa que la medición de nivel sea incorrecta ya que el rango de valores que se utilizaron en la ecuación de interpolación, se escogieron con el sensor en una posición exacta.
3. Si se desea manipular el cableado del sistema, se recomienda tener mucho cuidado ya que de lo contrario se pueden producir graves daños en los equipos que son costosos.
4. Siempre que se realice el proceso de llenado y recirculación se debe estar muy atento, pues de pronto pueda ocurrir que el nivel de agua en los tanques rebase el límite superior de alguno de estos y se provoque un derrame, lo cual sería muy perjudicial y peligroso ya que se puede producir un cortocircuito además del deterioro del MDP.

5. Cabe mencionar que en el programa TWIDO SUITE V2.10 solo me permite 7 líneas de programación por sección, además que una salida digital solo se puede utilizar una sola vez, por lo que se recomienda utilizar memorias de bit para trabajar con la misma salida mas de una vez.