

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE –
MÁQUINA PARA CONTROLAR LA PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS
DE CHOVA DEL ECUADOR S.A.”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPÍÑA

DIRECTOR: ING. MELTON TAPIA

CODIRECTOR: ING. JAIME ECHEVERRÍA

Sangolquí, 30 de julio del 2013

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO

Nosotros: ING. MELTON TAPIA e ING. JAIME ECHEVERRIA.

CERTIFICAN

Que, el Proyecto de grado titulado “**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA PARA CONTROLAR LA PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS DE CHOVA DEL ECUADOR S.A.**”, realizado por el señor CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPIÑA, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. Ángelo Villavicencio, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica. El trabajo en mención consta de tres empastados y tres discos compactos el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, 30 de julio de 2013.

ING. MELTON TAPIA.

DIRECTOR

ING. JAIME ECHEVERRIA.

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPIÑA.

DECLARO QUE:

El Proyecto de grado titulado “**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA PARA CONTROLAR LA PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS DE CHOVA DEL ECUADOR S.A.**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme la citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 29 de julio de 2013.

CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPIÑA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

A U T O R I Z A C I Ó N

Yo, CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPÍÑA

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA PARA CONTROLAR LA PLANTA DE EMULSIONES ASFÁLTICAS DE CHOVA DEL ECUADOR S.A., cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 30 de julio del 2013

CARLOS ANDRÉS SILVA CALVOPÍÑA

DEDICATORIA

Dedico este proyecto humildemente a Dios, a mis padres Mónica y Mario, y mis hermanos Pamela y Daniel.

Carlos Andrés Silva Calvopiña

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por regalarme la vida todos los días, por darme la voluntad de continuar y la fuerza para cumplir con mis metas.

Gracias mis padres Mónica y Mario, y a mis hermanos Pamela y Daniel, por apoyarme incondicionalmente toda mi vida.

A Gisell, por toda su ayuda y apoyo.

Al ingeniero Javier Pozo por darme la oportunidad de realizar esta Tesis y brindarme el apoyo necesario para su ejecución. Al ing. Luis Segura así como a todas y cada una de las personas que colaboraron en la ejecución de este proyecto en Chova, especialmente la planta del Inga.

A mis directores, que han colaborado para que este proyecto llegue a concluirse.

A mis profesores, amigos y compañeros, de quienes he tenido la oportunidad de aprender mucho, tanto dentro, como fuera de las aulas.

Carlos Andrés Silva Calvopiña

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES DE CHOVA	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.2. Reseña histórica	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión	3
1.1.5. Valores.....	3
1.1.6. Política de calidad.....	4
1.1.7. Objetivos de calidad	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.2.1. Planta “el inga”	6
1.2.2. Productos chova vial.....	7
1.2.3. Justificación e importancia.....	8
1.3. Objetivo general	9
1.3.1. Objetivos específicos.....	9

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	11
2.1. Emulsión asfáltica	11
2.1.1. Asfalto.....	12
2.1.2. Agua	14
2.1.3. Emulsificante	15
2.1.4. Agregados pétreos	17
2.1.5. Emulsión asfáltica y agregado pétreo.....	18
2.1.6. Características y clasificación.....	20
2.1.7. Ventajas del uso de emulsiones asfálticas	22

2.1.8. Aplicaciones.....	23
2.2. Descripción del proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas	28
2.3. Equipos involucrados en la fabricación de la emulsión asfáltica.....	30
2.3.1. Caldero	31
2.3.2. Tubería	33
2.3.3. Recipientes y tanques	35
2.3.4. Bombas.....	37
2.3.5. Molino coloidal	38
CAPÍTULO 3	
SISTEMAS MECÁNICOS	40
3.1. Levas.....	40
3.1.1. Análisis del movimiento	43
3.1.2. Selección de la leva.....	51
3.1.3. Simulación en working model	52
3.1.4. Análisis del seguidor.....	56
3.1.5. Caja de almacenamiento del mecanismo	57
3.1.6. Planos construcción.....	58
3.2. P&ID.....	59
3.2.1. Sistema de identificación de elementos.....	60
3.2.2. Identificación de equipos	61
3.2.3. Identificación de las líneas.....	62
3.2.4. Tubería simple	63
3.2.5. Tubería encamisada	63
3.2.6. Identificación de las válvulas	64
3.2.7. Planos.....	65

3.3.	Sistema de carga de ácido	67
3.3.1.	Descripción del sistema de carga	67
3.3.2.	Análisis de la tubería	69
3.3.3.	Bomba de ácido.....	71
3.3.4.	Validación del sistema (capacidad de la bomba).....	72
3.3.5.	Análisis de pH.....	79
3.3.6.	Planos as-built	82

CAPÍTULO 4

	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL	83
4.1.	Estado de control inicial	83
4.2.	Determinación del proceso de control y adquisición de datos.....	85
4.3.	Determinación de los elementos del sistema de control	89
4.3.1.	Sensores.....	89
4.3.2.	RTD (termocuplas)	93
4.3.3.	Actuadores.....	95
4.3.4.	Cables y accesorios.....	97
4.3.5.	Pantalla HMI	98
4.3.6.	Controladores o elementos de adquisición de datos	100
4.4.	PLC Wago.....	100
4.4.1.	Módulo tipo 750-504	101
4.4.2.	Módulo tipo 750-402	102
4.4.3.	Módulo tipo 750-466	104
4.4.4.	Módulo tipo 750-600	105
4.4.5.	Comunicación	106
4.5.	Convertidor de señal BrainChild tipo Modbus TCP	106
4.5.1.	Tarjetas de adquisición de datos tipo IO BrainChild	107

4.5.2. Comunicación	109
4.6. Instalación de los equipos del sistema de control	109
4.7. Esquemas de conexión	110

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE LA INTERFACE	111
5.1. Selección de la interfaz	111
5.2. Intouch	113
5.2.1. Access names y DDE	116
5.2.2. Mbenet.....	118
5.2.3. Configuración de Tagnames.....	119
5.2.4. Ventana “MAIN”	123
5.2.5. Ventana “PLC”	126
5.2.6. Ventana “Gráficos”	127
5.2.7. Ventana “Alarmas”	128
5.2.8. Ventana “Ácido”	129
5.2.9. Ventana “Caldero”	130
5.2.10. Ventana “Intercambiador”	131
5.3. Panel Studio	132
5.3.1. Real Time Viewer	135
5.3.2. DDE para las DAQ.....	136
5.3.3. OPC	138
5.3.4. Ventana “MAIN”	141
5.3.5. Ventana “NOCHE”	143
5.3.6. Ventana “INTERCAMBIADOR”	144
5.4. Programación PLC	145
5.4.1. Descripción general	147

5.4.2.	Configuración.....	148
5.4.3.	Variables y tipos de datos utilizados.....	151
5.4.4.	Variables globales	152
5.4.5.	Programación	154
5.4.6.	Subprograma INTERPOL	162
5.4.7.	Subprograma MASA.....	165
5.4.8.	Subprograma MASA2.....	167
5.4.9.	Subprograma ÁCIDO.....	168
5.4.10.	Subprograma time_acido.....	170

CAPÍTULO 6

	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS.....	172
6.1.	Protocolo de prueba	172
6.2.	Pruebas de funcionamiento.....	178
6.3.	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	180
6.4.	Capacitación.....	181
6.4.1.	Manual de usuario	181

CAPÍTULO 7

	ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO	182
7.1.	Análisis financiero	182
7.2.	Análisis económico.....	185

CAPÍTULO 8

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	188
8.1.	Conclusiones.....	188
8.2.	Recomendaciones.....	189

BIBLIOGRAFÍA..... 190

ANEXOS

ANEXO A

PLANOS DE LA LEVA, SEGUIDOR Y CAJA

ANEXO B

SISTEMA IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS

ANEXO C

PLANOS P&ID

ANEXO D

SECCIÓN DE CARGA DE ÁCIDO 3D

ANEXO E

ISOMÉTRICOS CONSTRUCCIÓN

ANEXO F

ESQUEMA DE CONEXIONES

ANEXO G

PAG 166 PLC WAGO

ANEXO H

TAGS COMPLETOS INTOUCH

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO

ANEXO J

TABLA DE ALTURA Y VOLUMEN

ANEXO K

FACTOR DE CORRECCIÓN DEL VOLUMEN

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE CHOVA

FIGURA 1.1. PLANTA "EL INGA"	7
------------------------------------	---

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

FIGURA 2.1. PLANTA DE TRATAMIENTO	14
FIGURA 2.2. EMULSIÓN ASFÁLTICA	15
FIGURA 2.3. ROMPIMIENTO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	16
FIGURA 2.4. AGREGADOS PÉTREOS CALIZOS O DE NATURALEZA BÁSICA	18
FIGURA 2.5. AGREGADOS PÉTREOS ÁCIDOS O SILÍCICOS	19
FIGURA 2.6. EMULSIÓN CATIONICA.....	20
FIGURA 2.7. ESQUEMA DEL PROCESO	28
FIGURA 2.8. PLANTA EL INGA COMPLETA (PROYECCIÓN)	29
FIGURA 2.9. CORTE DEL CALDERO.....	31
FIGURA 2.10. CORTE DE LA TUBERÍA ENCAMISADA	34
FIGURA 2.11. MONTAJE DE UNO DE LOS TANQUES DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	35
FIGURA 2.12. ESTAMPA DE UNO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ASFALTO	36
FIGURA 2.13. BOMBA DE RECEPCIÓN DE ASFALTO	37
FIGURA 2.14. MOLINO COLOIDAL	38
FIGURA 2.15. ROTOR Y ESTATOR DEL MOLINO COLOIDAL	39

CAPÍTULO 3. SISTEMAS MECÁNICOS

FIGURA 3.1. TRANSFORMACIÓN DE UN ÁNGULO O DISTANCIA EN UNA SEÑAL ELÉCTRICA	41
FIGURA 3.2. FLOTADOR Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO	42
FIGURA 3.3. ESTADO DEL EJE Y LIMITACIÓN DE ESPACIO	43
FIGURA 3.4. GRÁFICA DEL DESPLAZAMIENTO VS ÁNGULO.....	44

FIGURA 3.5. DESPLAZAMIENTO PARA LA LEVA POLINOMIAL	45
FIGURA 3.6. VELOCIDAD PARA LA LEVA POLINOMIAL.....	46
FIGURA 3.7. ACELERACIÓN PARA LA LEVA POLINOMIAL.....	47
FIGURA 3.8. PERFIL DE LA LEVA POLINOMIAL.....	48
FIGURA 3.9. DESPLAZAMIENTO PARA LA LEVA DE MOVIMIENTO UNIFORME.....	49
FIGURA 3.10. VELOCIDAD PARA LA LEVA DE MOVIMIENTO UNIFORME	50
FIGURA 3.11. ACELERACIÓN PAR LA LEVA DE MOVIMIENTO UNIFORME	50
FIGURA 3.12. PERFIL DE LA LEVA DE MOVIMIENTO UNIFORME	51
FIGURA 3.13. EJEMPLO DE LAS LOS PUNTOS DE COORDENADAS POLARES.....	53
FIGURA 3.14. EJEMPLO DE LAS COORDENADAS CARTESIANAS	54
FIGURA 3.15. PARÁMETROS DE LA LEVA	54
FIGURA 3.16. MODELO DE LA LEVA CON RADIO BASE 30[MM] Y SEGUIDOR 10[MM].	55
FIGURA 3.17. SIMULACIÓN DE LA LEVA	55
FIGURA 3.18. POSICIÓN DEL SEGUIDOR.....	56
FIGURA 3.19. SEGUIDOR MONTADO EN EL SOPORTE	57
FIGURA 3.20. CAJA CONTENEDORA ALINEADA	58
FIGURA 3.21. EJEMPLO DEL DIAGRAMA P&ID	59
FIGURA 3.22. TAGNAME DE UNA BOMBA	61
FIGURA 3.23. DETALLES DE UN EQUIPO.....	62
FIGURA 3.24. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS.....	63
FIGURA 3.25. ESPECIFICACIÓN DE LA TUBERÍA	63
FIGURA 3.26. NOMENCLATURA TÍPICA DE LAS LÍNEAS Y VÁLVULAS	66
FIGURA 3. 27. INTERIOR DEL TANQUE DE SOLUCIÓN JABONOSA.....	68
FIGURA 3.28. PLACA DE LA BOMBA DOSIFICADORA DE ÁCIDO.....	72
FIGURA 3. 29. ESQUEMA DE LA TUBERÍA	73

CAPÍTULO 4. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 4.1. CAJAS DE CONTROL DE LA PLANTA.....	84
FIGURA 4.2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE NIVEL Y TANQUE EN CONSTRUCCIÓN.....	87

FIGURA 4.3. ESQUEMA DEL USO DEL SENSOR PARA LAS VÁLVULAS SUPERIORES	88
FIGURA 4.4. CAMPO MAGNÉTICO EN UN SENSOR INDUCTIVO	91
FIGURA 4.5. ESQUEMA DE CONEXIÓN DE SENSORES	92
FIGURA 4. 6. SENSORES LISTOS PARA COLOCARSE	93
FIGURA 4.7. TERMOCUPLA CON SEÑALES A LA IZQUIERDA Y DERECHA	94
FIGURA 4.8. PT100 EN LA SONDA	95
FIGURA 4.9. ELECTROVÁLVULA.....	96
FIGURA 4.10. CONECTOR ANGULAR	97
FIGURA 4.11. CABLE ETHERNET PONCHADO TIPO 568B	98
FIGURA 4.12. PANTALLA HMI INSTALADA.....	99
FIGURA 4.13. DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL PLC	101
FIGURA 4.14. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL MÓDULO 750-504	102
FIGURA 4.15. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL MÓDULO 750-402	103
FIGURA 4.16. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL MÓDULO 750-466	104
FIGURA 4.17. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL MÓDULO 750-600	105
FIGURA 4.18. CONVERTIDOR DE SEÑAL	107
FIGURA 4. 19. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	108
FIGURA 4.20. ESQUEMA DE CONEXIONES	108

CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE LA INTERFACE

FIGURA 5.1. ENTORNO WINDOWMAKER	113
FIGURA 5.2. VENTANAS EN WINDOWMAKER	114
FIGURA 5.3. FUNCIÓN DE LLENADO DE UN TANQUE	115
FIGURA 5. 4. ACCESS NAMES	117
FIGURA 5. 5. MBENET	118
FIGURA 5.6. TAGNAME DICTIONARY	120
FIGURA 5.7. TAG “TH_TANK1_AUX”	122
FIGURA 5.8. SCRIPTS UTILIZADOS	123
FIGURA 5.9. VENTANA “MAIN”	124
FIGURA 5.10. SELECTOR DE VENTANAS.....	124
FIGURA 5. 11. VENTANA “MAIN” CON ALARMAS	125
FIGURA 5.12. INDICADOR DE LA MASA EN KG	126

FIGURA 5. 13. VENTANA “PLC”	127
FIGURA 5. 14. VENTANA “GRÁFICOS”	128
FIGURA 5.15. VENTANA “ALARMAS”	129
FIGURA 5.16. VENTANA “ÁCIDO”	130
FIGURA 5.17. VENTANA “CALDERO”	131
FIGURA 5.18. VENTANA “INTERCAMBIADOR”	132
FIGURA 5.19. ENTORNO DE PANEL STUDIO	133
FIGURA 5.20. PROPIEDADES DE UN ELEMENTO	134
FIGURA 5.21. REAL TIME VIEWER	135
FIGURA 5.22. GENERACIÓN DE UNA TABLA EN EXCEL	136
FIGURA 5.23. ACCESO A LA CONFIGURACIÓN DEL OPC	138
FIGURA 5.24. CONFIGURACIÓN DEL OPC	139
FIGURA 5.25. DECLARACIÓN DE UN TAG OPC	140
FIGURA 5.26. HMI “MAIN”	142
FIGURA 5.27. HMI “MAIN” CON ERROR	142
FIGURA 5.28. HMI “NOCHE”	143
FIGURA 5.29. HMI “INTERCAMBIADOR”	144
FIGURA 5.30. PROGRAMACIÓN CON CFC EN CoDeSys V2.3	145
FIGURA 5.31. BLOQUES ESTÁNDAR	146
FIGURA 5.32. “COMMUNICATION PARAMETERS”	147
FIGURA 5.33. PLC Y MÓDULOS.....	148
FIGURA 5.34. AGREGAR ELEMENTOS	149
FIGURA 5. 35. SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS	149
FIGURA 5.36. NOMBRES DE LAS INPUTS Y OUTPUTS.....	150
FIGURA 5.37. VARIABLES GLOBALES.....	153
FIGURA 5.38. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 1	156
FIGURA 5.39 PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 2	156
FIGURA 5.40. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 3	157
FIGURA 5.41. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 4	158
FIGURA 5.42. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 5	158
FIGURA 5.43. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 6	159
FIGURA 5.44. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 7	160
FIGURA 5.45. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 8	160
FIGURA 5.46. PROGRAMACIÓN GENERAL PARTE 9	161

FIGURA 5.47. ST PROGRAMA INTERPOL.....	164
FIGURA 5.48. ST PROGRAMA MASA.....	167
FIGURA 5.49. ST PROGRAMA MASA2.....	168
FIGURA 5.50 ST PROGRAMA ÁCIDO.....	169
FIGURA 5.51. ST PROGRAMA TIME_ACIDO	171

CAPÍTULO 6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS

FIGURA 6.1. ALTURA MÍNIMA DEL FLOTADOR	173
FIGURA 6.2. LEVA EN LA POSICIÓN MÁXIMA	174
FIGURA 6.3. ILUSTRACIÓN DE PRIMER PUNTO DEL SENSOR	175
FIGURA 6.4. PRIMER REGISTRO DEL SENSOR DEL TANQUE 1	176

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

TABLA 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	17
TABLA 2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES SEGÚN EL TIPO DE ROMPIMIENTO.....	21

CAPÍTULO 3. SISTEMAS MECÁNICOS

TABLA 3.1. SERVICIO DE LAS LÍNEAS EN LA PLANTA DEL INGA	60
TABLA 3.2 ESPECIFICACIÓN PARA TUBERÍA ENCAMISADA	64
TABLA 3.3. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LAS VÁLVULAS.....	65
TABLA 3.4. VALORES TÍPICOS DE K PARA ACCESORIOS.	77
TABLA 3.5. CANTIDADES DE ÁCIDO SEGÚN EL TAMAÑO DEL BATCH.....	80

CAPÍTULO 4. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

TABLA 4.1. REQUERIMIENTO DE LOS SENSORES	92
TABLA 4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES	92

CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE LA INTERFACE

TABLA 5.1. EJEMPLO DE DDE PARA EL PLC.....	117
TABLA 5.2 RESUMEN DE LOS TAGNAMES EN INTOUCH	120
TABLA 5.3. DDE PARA LAS TARJETAS.....	137
TABLA 5.4. RESUMEN DE LOS DATOS UTILIZADOS	140
TABLA 5.5. RESUMEN DE VARIABLES UTILIZADAS	141
TABLA 5.6. RESUMEN DE CONEXIONES PLC-SENSORES	151
TABLA 5.7. TIPOS DE DATOS ESTÁNDAR.....	152
TABLA 5.8. VARIABLES GLOBALES DECLARADAS	154
TABLA 5.9. VARIABLES DE LA PROGRAMACIÓN GENERAL	155
TABLA 5.10. RESUMEN DE LA MW UTILIZADAS	162

TABLA 5.11. VARIABLES DE SUBPROGRAMA “INTERPOL”	163
TABLA 5.12. VARIABLES DEL SUBPROGRAMA “MASA”	165
TABLA 5.13. VARIABLES DE SUBPROGRAMA “MASA2”	167
TABLA 5.14. VARIABLES DEL SUBPROGRAMA “ÁCIDO”	168
TABLA 5.15. VARIABLES DE SUBPROGRAMA “TIME_ACIDO”	170

CAPÍTULO 6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS

TABLA 6.1. DATOS DE CALIBRACIÓN DE LOS TRES TANQUES.	177
TABLA 6. 2. PRUEBAS EN EL TANQUE 1	179
TABLA 6. 3. PRUEBAS EN EL TANQUE 2	179
TABLA 6. 4. PRUEBAS EN EL TANQUE 3	179
TABLA 6.5. ERROR ACEPTABLE	180
TABLA 6.6. COMPARACIÓN CON EL ERROR ACEPTABLE	180

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO

TABLA 7.1. COSTOS SISTEMA DE CARGA DE ÁCIDO	183
TABLA 7.2. COSTOS SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVEL	184
TABLA 7.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	184
TABLA 7.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	185
TABLA 7.5. AHORRO ANUAL CON EL NUEVO SISTEMA.....	186
TABLA 7.6. VAN Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	186

GLOSARIO DE TÉRMINOS

<i>Batch.</i>	Proceso de producción en lotes, donde se especifica una cantidad de producto, por lo general se usa en productos que se cuantifican por peso.
<i>Bool.</i>	Tipo de dato que entrega un valor verdadero o falso.
<i>Cracking.</i>	Proceso químico en el que, por medio de la temperatura, las moléculas de un compuesto se quiebran en moléculas más simples.
<i>Data Contacts.</i>	Contactos por donde viajan las señales que llegan a los módulos (bus de datos)
<i>Dirección IP.</i>	Es una etiqueta numérica que identifica a un interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP.
<i>Ethernet.</i>	Es un medio físico y un estándar de comunicación para computadores.
<i>Kaowool.</i>	Material cerámico, aislante térmica para altas temperaturas.
<i>Leva.</i>	Elemento mecánico que está sujeto a un eje, y es capaz de transmitir y transformar le movimiento.
<i>Memory Word.</i>	Dirección en la memoria del PLC Wago 750-843

<i>MW.</i>	MW o %MW es una Memory Word, o un espacio de almacenamiento del PLC con una dirección fija.
<i>OLE.</i>	Object Linking and Embedding, es el nombre de un sistema de objetos desarrollado por Microsoft
<i>Power Jumper Contacts.</i>	Contactos que envían energía a los otros módulos del PLC Wago
<i>Real Time Viewer.</i>	Software de visualización para los componentes BrainChild
<i>RS-485.</i>	Es un estándar de comunicaciones en bus de datos.
<i>Script.</i>	En informática se refiere a un conjunto o archivo de comandos
<i>S.G.S.</i>	Empresa que realizó la medición de volúmenes (cubicaje) de los tanques de asfalto del Inga
<i>Slurry Seal.</i>	Sello no estructural para el pavimento, utilizado para hacer mantenimiento preventivo, no correctivo.
<i>Tag.</i>	Tag o Tagname, conjunto de datos, que definen una dirección específica de un elemento o dato dentro de la red.
<i>TDH.</i>	Total Dynamic Head conocida como la cabeza de la bomba.
<i>T.I.R.</i>	Tasa Interna de Retorno, es el porcentaje de retorno de inversión que se espera obtener.

Trixotrópicas.

Propiedad de algunos fluidos no newtonianos, en la que la viscosidad muestra cambios en función del tiempo. Mientras más se somete el fluido a esfuerzos de cizalla, mas disminuye su viscosidad.

USB.

Universal en serie, se trata de otro estándar de comunicación para computadores.

V.A.N.

Valor Actual Neto. Es un indicador que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de una interfaz hombre – máquina, para controlar a la planta de emulsiones asfálticas de Chova del Ecuador S.A. en el Inga.

Principalmente en esta etapa se desarrolló un mecanismo de leva seguidor, que permite observar los niveles de los tanques de asfalto tanto en centímetros, como en kilogramos, en tiempo real y evitando que los operadores se expongan a vapores nocivos. Además se diseñó un sistema de carga de ácido clorhídrico que envía ácido a los tanques de solución sin necesidad de que el operador manipule el producto.

Debido a que no existían planos formales de la planta, se desarrollaron las especificaciones necesarias para levantar planos unifilares, tridimensionales e isométricos para la construcción de nuevas líneas.

Durante el desarrollo del proyecto se necesitó de software especializado así como la integración de los elementos mecánicos necesarios para cumplir funciones de automatización, los cuales se detallan en el desarrollo de la presente tesis.

Se generaron manuales que permiten a los operadores trabajar con todos los elementos implementados ayudándolos en sus tareas diarias y disminuyendo el desperdicio de producto debido al exceso de material en los tanques y mejorando la precisión en las mediciones.

CAPÍTULO 1:

ANTECEDENTES DE CHOVA

1.1. Descripción de la empresa

Chova del Ecuador, es una empresa cuyo propósito es la investigación, desarrollo, fabricación, promoción y comercialización de productos para la impermeabilización, la construcción, la vialidad y otros sectores industriales.

Entre otros, los productos más conocidos son: laminas asfálticas y revestimientos líquidos para el mercado de la impermeabilización; emulsiones asfálticas y asfaltos modificados para el sector vial; canales y bajantes metálicos para el desalojo de aguas lluvia y otros productos asfálticos para el sector industrial, como anti ruido para el sector automotriz, Impermeabilización

de mecha lenta, y sistemas constructivos para cubiertas como paneles de poliuretano.

1.1.2. Reseña histórica

Hace 25 años, nació Chova del Ecuador S.A., empezando a producir y comercializar productos asfálticos para la impermeabilización, sacando provecho del arranque de la producción de derivados del petróleo en la Refinería de Esmeraldas y el crecimiento del sector de la construcción, que empezaba a exigir soluciones innovadoras para satisfacer los nuevos modelos urbanísticos.

Durante la década de los 60, los países desarrollados utilizaban polímeros en el asfalto como material para la construcción de pavimentos y soluciones de impermeabilización. Esta tecnología llegó al país a través de Chova del Ecuador S.A. en la década de los 80, posicionando a la empresa como pionera en la región andina, ya que empezó a ofrecer productos de mayor durabilidad que aquellos basados en asfaltos oxidados que se comercializaban en ese tiempo por Colombia, Venezuela y Argentina.

La filosofía de mejora continua e innovación, ha llevado a la empresa a ser competitiva con otras internacionales, bajo estrictas normas de calidad, lo cual ha generado alta demanda dentro y fuera del país. Entre innovaciones tales como emulsiones asfálticas para el mercado vial y láminas autoadhesivas, Chova del Ecuador S.A. fue además el primero en elaborar un manual de impermeabilización para garantizar auténticas soluciones para sus clientes.

Desde hace aproximadamente diez años el mercado internacional empezó a introducir nuevos productos basados en poliuretanos, acrílicos, plásticos, etc., en lugar de asfalto, con lo cual Chova del Ecuador S.A. creó una nueva marca llamada IMPTEK, incorporando estas tendencias a su línea de producción e incluso lanzando una línea de cubiertas ecológicas.

En la actualidad, Chova del Ecuador S.A. continúa ofreciendo productos de excelente calidad tanto para el mercado vial como para edificaciones, lo cual lo ha llevado a convertirse en un sinónimo de impermeabilización en el país.

1.1.3. Misión

La misión Chova del Ecuador S.A. es:

“Fabricar productos innovadores que sirvan para la protección del hogar y aporten valor a la inversión”

La innovación, como característica distintiva en la misión institucional, define a Chova del Ecuador S.A. como una empresa comprometida con el desarrollo de nuevos productos y tecnologías propias utilizando talento nacional.

La gran calidad de sus productos así como su experiencia, junto con las estrictas políticas de calidad total en sus procesos y la constante asesoría técnica, garantiza la satisfacción del cliente.

1.1.4. Visión

La visión de Chova del Ecuador S.A. es:

“Ser uno de los tres fabricantes de mayor participación en el mercado regional de la construcción”

1.1.5. Valores

Los valores de Chova del Ecuador S.A. determinan la cultura empresarial, concentrándose en los siguientes principios:

- Enfoque al cliente
- Liderazgo
- Participación del personal
- Enfoque basado en procesos
- Enfoque de sistema para la gestión

- Mejora continua
- Enfoque basado en hechos para la toma de decisiones
- Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor
- Seguridad personal y física

1.1.6. Política de calidad

La Política de Calidad de Chova del Ecuador S.A. es cumplir con las expectativas de sus clientes:

- Entregando productos fabricados bajo especificaciones, para atender al sector de la construcción, vial y automotriz.
- Comprometiéndose con el mejoramiento continuo y,
- Ejerciendo prácticas éticas de comercio.

1.1.7. Objetivos de calidad

Los objetivos de calidad son:

- a) Mantener el liderazgo en la participación del mercado de impermeabilización en el Ecuador.
- b) Incrementar las ventas de exportación.
- c) Generar un ambiente de trabajo que fomente la creatividad, el trabajo en equipo, la toma de decisiones que implican riesgo y una atmósfera caracterizada por un ánimo pro-activo.
- d) Ser identificado como una empresa que innova y mejora continuamente sus procesos y productos.
- e) Lograr una disminución constante de los reclamos de los clientes.

- f) Lograr un crecimiento sostenido de las ventas y una rentabilidad que satisfaga las expectativas de los accionistas
- g) Mantener vigente un Sistema de Calidad acorde a normativas internacionales.

1.2. Antecedentes

La planta principal de Chova, ubicada en el sector de Cashapamba en el Valle de los Chillos, se encuentra actualmente en un sector considerado como urbano, debido a esto, es necesario que se mueva la planta a otro lugar que pueda ser considerado como apropiado para la elaboración de los productos que ofrece.

Por la ubicación estratégica se ha considerado viable trasladar todas las instalaciones al sector del "Inga" en donde a largo plazo funcionará toda el área de producción e inclusive el área administrativa.

Al momento se encuentra funcionando en el Inga únicamente la línea de chova vial, que a raíz del gran desarrollo en el sector de la construcción de carreteras y aeropuertos en el país, también ha crecido significativamente ocupando un lugar importante dentro de la empresa.

Los equipos instalados en el Inga han mejorado significativamente las capacidades de producción de emulsiones asfálticas tanto en tiempos, como en cantidad de producto final.

Al ser una planta nueva, la inversión realizada es considerable, por lo que algunos elementos de medición de nivel, válvulas, bombas, y el proceso en si se hace de forma manual, o semiautomática, sin descuidar ninguno de los parámetros de control de calidad, pero si con más carga para los operadores.

El proyecto pretende implementar una una interfaz Hombre Máquina o HMI ("Human Machine Interface") dispositivo que presenta los datos a un operador (humano) y a través de éste se controla el proceso.

Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un computador. Los sistemas HMI en computadores se los conoce también como software (o aplicación) HMI o de monitorización y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el computador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVER's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

1.2.1. Planta "el inga"

La planta de chova de "el INGA" (figura 1.1), en donde se desarrollara la presente tesis está ubicada en el sector conocido como el Inga, a 11km de la vía Sangolquí – Pifo. Está funcionando desde junio del 2010 y tiene por objetivo el ser sede de las operaciones de toda la empresa en un futuro próximo. Por el momento su función es la de producir los compuestos de la sección Chova Vial.

El diseño de la planta es al aire libre, lo que presenta una serie de problemas, como la corrosión en las tuberías y equipos debido al medio ambiente. El sol y la lluvia son fuertes en el sector y es necesario un mantenimiento constante en el aislamiento de las tuberías y equipos para atenuar su deterioro.

Es necesario que todas las líneas por donde circula el asfalto estén calientes, por lo que en contraflujo circula aceite térmico, convirtiendo a la planta en un intercambiador de calor gigante.

Figura 1.1. Planta "el Inga"



1.2.2. Productos chova vial

Básicamente los productos de Chova Vial son de dos tipos: las emulsiones asfálticas, y las mezclas frías. En la planta del Inga se manufacturan productos de ambas clases sus nombres y características son:

- **Emulsiones asfálticas Catiónicas de curado lento con aditivos de adherencia CSS-1h**, diseñado especialmente para trabajos viales, imprimación, riego de adherencia, reciclado, slurry, mejoramiento de bases, mezclas asfálticas en frío. Fabricado y comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A., bajo la norma INEN NTE 2062 y ASTM D2397.
- **Emulsiones asfálticas Catiónicas de curado Rápido con aditivos de adherencia CRS-1h**, diseñado especialmente para trabajos viales de imprimación, bacheo de vías, tratamientos simples y múltiples. Fabricado y

comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A., bajo la norma INEN NTE 2062 y ASTM D2397.

- **Asfalto modificado MC-30.** Diseñado especialmente para trabajos viales de imprimación, riego de adherencia, bacheo. Fabricado y comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A.
- **Bitumix (mezcla asfáltica en frío lista para usar),** diseñado especialmente para bacheo, Fabricado y comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A.
- **Mezcla asfáltica en frío al granel,** diseñado especialmente para bacheo y capa de rodadura, Fabricado y comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A.
- **POLIBREA TIPO II 15 KG,** fabricado especialmente para sellos de fisuras en vías. Fabricado y comercializado por CHOVA DEL ECUADOR S.A.

1.2.3. Justificación e importancia

Con el afán de suplir las necesidades del mercado actual, chova del Ecuador, ha asumido hace poco el desafío de la creación de una nueva planta de producción de emulsiones asfálticas, la cual cuenta con tanques de almacenamiento de productos y materias primas, un caldero para calentar los asfaltos y componentes con sus respectivos tanques de combustible, y un sistemas de refrigeración y tratamiento de aguas.

En la planta de producción de emulsiones asfálticas se realizan las mediciones directamente en el interior de los tanques a través de flexómetros o mangueras improvisadas para este propósito, lo que dificulta la operación especialmente en condiciones de baja visibilidad y lluvia, sin mencionar el riesgo que supone realizar todas estas tareas desde la parte más alta de los tanques.

La mezcla de los componentes se realiza en el molino, que es accionado en conjunto con las bombas que transportan la materia prima, todo de manera

manual por los operadores, que a su vez deben controlar los caudales y cantidades mezcladas para conseguir el producto deseado, lo que se dificulta una vez más debido a los sistemas de medición utilizados.

Es por esto que se pretende a futuro controlar en forma remota la planta de producción al punto en el que todas las operaciones y mediciones se realicen a través de la pantalla del computador o una pantalla táctil que permita a los operadores de la planta lograr hacer mezclas exactas y verificar niveles con precisión y en tiempo real independientemente de las condiciones atmosféricas.

1.3. Objetivo general

Seleccionar los sensores, actuadores y equipamiento adecuado para que a través de un computador o pantalla táctil se realicen las actividades de control y medición de materia prima, e implementar de acuerdo con el presupuesto asignado por Chova del Ecuador S.A.

1.3.1. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Seleccionar los sensores y actuadores más adecuados para los tanques tomando en cuenta el proceso productivo y tipo de producto que contienen, e implementarlos de acuerdo con el presupuesto asignado.
- Elaborar la interfaz entre el computador y el operador para que pueda interpretar de manera apropiada los datos.
- Elaborar el diagrama P&ID para poder identificar cada elemento involucrado en el proceso.
- Diseñar el sistema de distribución de ácido clorhídrico para los dos tanques de emulsificante.

- Recomendar posibles ampliaciones al sistema de control implementado de tal modo que eventualmente todo el control, inclusive el de las válvulas se realice a través del computador.

CAPÍTULO 2:

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1. Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas empezaron a utilizarse al principio de este siglo con el propósito de dar mantenimiento a las carreteras. El desconocimiento sobre las aplicaciones de las emulsiones hizo que su crecimiento fuera lento en un principio. En la actualidad las emulsiones asfálticas tiene varias aplicaciones que van desde el mantenimiento vial (bacheo) hasta as aplicación de tratamientos superficiales, riegos de gravilla carpetas asfálticas Slurry Seal¹ entre otros.

¹ Sello no estructural para el pavimento, utilizado para hacer mantenimiento preventivo, no correctivo.

El éxito en la aplicación de una emulsión asfáltica depende mucho de la selección correcta de la emulsión de acuerdo con el agregado pétreo así como el empleo de la maquinaria adecuada.

La creciente popularidad de las emulsiones se debe en gran medida a su versatilidad, pueden ser inclusive utilizadas en frío y con materiales pétreos húmedos; son económicas y no contaminantes. En su fabricación y aplicación se obtiene un ahorro energético.

2.1.1. Asfalto

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos que incluye grupos parafínicos, grupos nafténicos o cicloparafinas y aromáticos. Existen además numerosos componentes en el asfalto, tales como compuestos de azufre, nitrógeno, oxígeno y varios metales.

Los elementos constituyentes del asfalto se dividen en maltenos (aceites de bajo peso molecular) y asfaltenos (constituyentes sólidos, de alto peso molecular)

Los maltenos aportan con las propiedades de ductilidad y adhesividad, mientras que los asfaltenos aportan con la dureza. Las diferentes resinas y aceites modifican la fluidez y viscosidad del asfalto.

Debido a la compleja interacción entre sus componentes y su composición misma, es difícil predecir el comportamiento del asfalto, especialmente en las emulsiones asfálticas.

Se considera en esencia, que el asfalto es una estructura coloidal o emulsión en donde los maltenos son la fase continua, mientras que los asfaltenos son la fase discontinua. Se ha comprobado la existencia de algunos componentes aromáticos dispersos en la fase de los maltenos.

La fuente, la composición, la consistencia y otras propiedades, varían de muestra en muestra, por lo que la interacción del asfalto con los agregados puede variar.

Para la construcción de caminos se utilizan mezclas bituminosas, que básicamente están compuestas por dos fases: el asfalto, que actúa como agente ligante y el agregado. La función principal de asfalto, en este caso, es la de formar el enlace adhesivo con el agregado, mediante una interacción mecánica o química.

La interacción mecánica se refiere al enlace de dos componentes mediante una superficie o interface. Este tipo de acción es recomendable cuando una sustancia es porosa y la otra puede así ingresar en los poros para solidificarse. Otro en enlace mecánico depende de la fricción de un componente sobre otro.

El enlace químico sucede al humedecer una superficie sólida con un líquido (en este contexto el asfalto es considerado como un líquido). Una vez que hay contacto ambas fases pueden interactuar a través de fuerzas intermoleculares. El enlace químico formado se puede clasificar en primario (puede ser iónico o covalente) o secundario y su fuerza de interacción depende del enlace formado.

El enlace iónico se forma debido a la interacción electrostática entre átomos altamente electropositivos y electronegativos. El elemento electronegativo dona electrones al átomo electropositivo formándose así iones, que son los responsables del enlace electrostático.

Por otro lado, el enlace covalente se obtiene cuando un electrón es compartido por dos átomos. La capa electrónica de los átomos pierde su identidad y forma un orbital molecular alrededor de los núcleos de los átomos que están interactuando.

El enlace metálico es similar al covalente, en donde los electrones son compartidos por núcleos de varios átomos.

La calidad o durabilidad del enlace dependerá de las propiedades del asfalto, el agregado y de las condiciones bajo las cuales se forma el enlace.

2.1.2. Agua

El agua, conocida con el líquido vital, parte constituyente de todos los seres vivos, pero también de las emulsiones asfálticas. En la mayoría de casos el porcentaje de agua en las emulsiones varía entre un 20 y 45% de agua que en realidad se trata de un compuesto formado por el agua en sí, el emulsificante, el ácido, y otros compuestos dependiendo del tipo de emulsión que se desea fabricar.

Las consideraciones principales al momento de formar la emulsión tienen que ver con la dureza del agua, y los sedimentos propios en el caso de tomarla directamente de vertientes como ríos. En general toda el agua que no presente características fuera de lo común como químicos que puedan alterar la emulsión, o grandes sedimentos que puedan taponar los equipos es buena para el proceso.

En la planta del Inga se toma en cuenta el uso del agua en las emulsiones de tal modo en el que los desperdicios puedan ser reprocesados ya que para evitar la contaminación de vertientes aledañas una vez que el agua entra en la planta esa no sale sino mezclada en una emulsión. Figura 2.1

Figura 2.1. Planta de tratamiento



2.1.3. Emulsificante

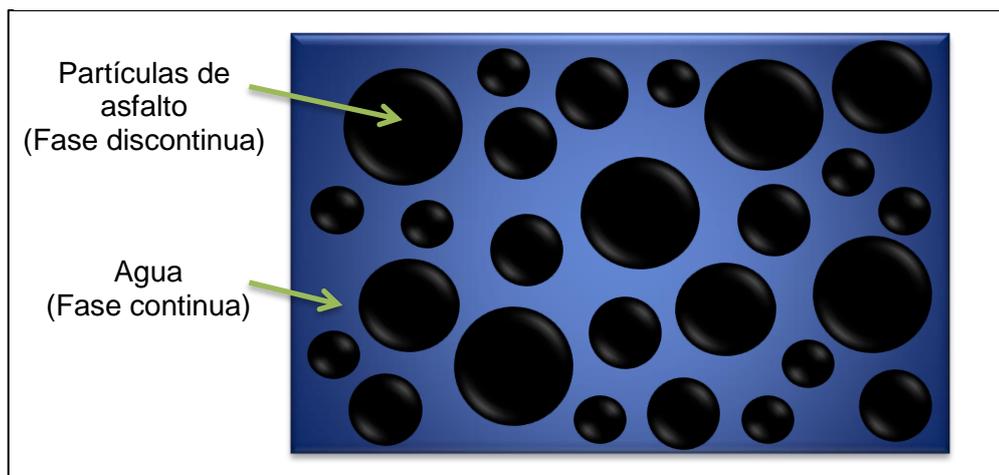
Un emulsificante es un agente tensoactivo que modifica la tensión superficial en la interface entre las partículas de agua y asfalto. Mantiene las partículas de asfalto estables en suspensión y controla así el tiempo de rompimiento. Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida del emulsificante que se utilice.

Para conseguir la emulsión deseada es importante obtener una dispersión estable de asfalto en agua. Para lograrlo, el emulsificante debe ser un producto químico que en su estructura química tenga dos zonas perfectamente definidas, una parte hidrófoba o apolar (repelente al agua) y otra parte hidrófila o polar (afín al agua).

Al presentar cargas libres muy positivas o muy negativas la parte polar de la molécula de emulsificante hace que los emulsificantes catiónicos sean principalmente aminas grasas, las cuales son convertidas en sales mediante la reacción con ácido clorhídrico.

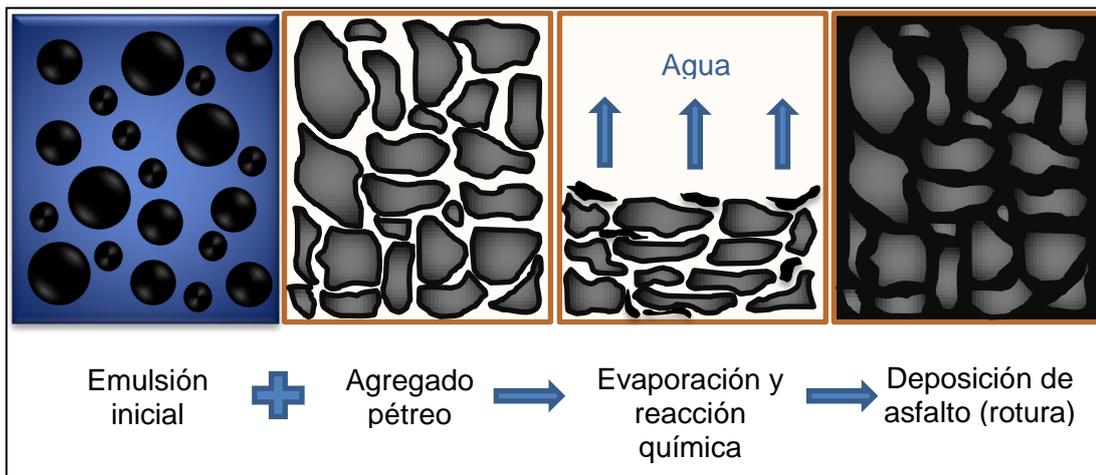
Se suelen utilizar como aditivo sales cuaternarias de amonio ya que son efectivas solubles en agua y no requieren la adición de ácido, presentan estabilidad y son efectivas.

Figura 2.2. Emulsión Asfáltica



Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

Figura 2.3. Rompimiento de una emulsión Asfáltica



Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

De acuerdo a los conceptos anteriores, se puede afirmar que la emulsión asfáltica es una dispersión de una fase orgánica o aceitosa líquida (asfalto) en otra fase líquida (agua) en forma de pequeños glóbulos (figura 2.2.)

Esta dispersión se obtiene por medios mecánicos (molino coloidal) y por medios fisicoquímicos que consisten en la adición de agentes emulsificantes.

El agente emulsificante facilita la dispersión inicial del asfalto en el agua, y evita que las partículas de asfalto vuelvan a unirse. Cuando este fenómeno ocurre, se dice que la emulsión ha roto.

Al ser intrínsecamente inestable, existen muchos factores que pueden afectar el estado de la emulsión, sin embargo, en la práctica la rotura de la emulsión ocurre al contacto de esta con las superficies minerales de los materiales y/o a la evaporación del agua de la emulsión. (Figura 2.3)

Cuando se rompe la emulsión, el material pétreo y el asfalto quedan firmemente adheridos, debido a la acción del agente emulsificante ya que de este modo, se forma un puente químico entre ambas superficies. Se dice que el rompimiento de la emulsión, es el proceso de deposición del asfalto sobre el material de construcción.

Las emulsiones deben ajustarse a las características superficiales de los distintos materiales.

2.1.4. Agregados pétreos

Los agregados pétreos se mezclan con los asfaltos, para ser utilizados en diversas aplicaciones. Es común que los agregados constituyan tanto como el 90% o más en peso de estas mezclas, por lo que sus propiedades influyen considerablemente en el producto elaborado.

Los agregados más utilizados son piedra, escoria partida, gravas y elementos de relleno para la construcción de pavimentos asfálticos se controla tanto las propiedades de los agregados, como las del asfalto.

Los agregados pétreos utilizados en la construcción de carreteras, al igual que otras sustancias, poseen cargas superficiales que se encuentran en desequilibrio generando cierta energía superficial. Cuando la superficie del agregado se cubre con un líquido de polaridad opuesta se satisfacen las demandas de energía y se forma un enlace. Debido a lo anterior, los agregados pueden ser hidrofílicos o hidrofóbicos.

Se considera que los agregados con carácter ácido son hidrofílicos y los agregados básicos son hidrofóbicos. Las rocas ácidas generalmente proporcionan mejor adhesión que las rocas básicas que contienen cuarzo y otra clase de feldespatos. Tabla 2.1

Tabla 2.1. Características de los agregados pétreos

TIPO DE PÉTREO	% CUARZO	CARÁCTER ÁCIDO/BASE
Rocas Igneas		
Granito	30	Ácido
Riolita	32	Ácido
Rocas Metamórficas		
Cuarcita	84	Ácido
Pizarra	29	-
Micacita	37	Ácido
Rocas Sedimentarias		
Arenisca	79	Ácido
Arenisca Caliza	35	-
Horsteno	93	Ácido
Piedra caliza	6	Básico
Dolomita	5	Básico

Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

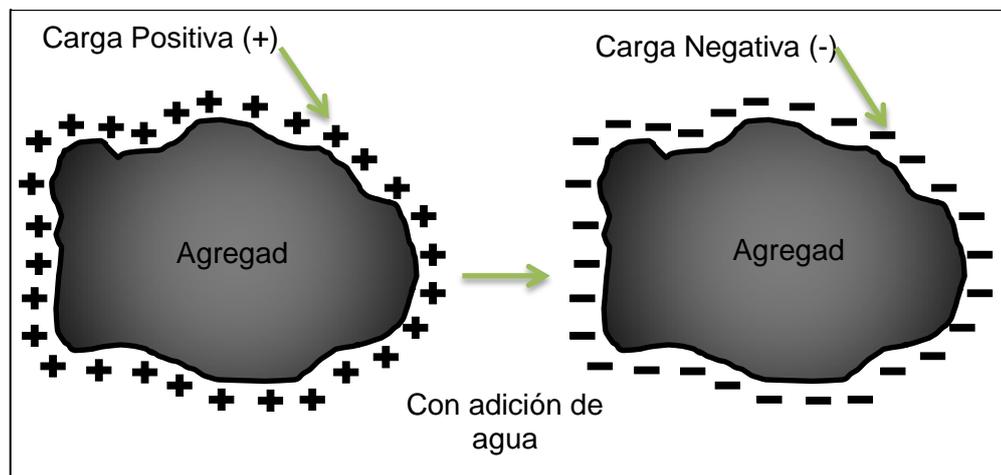
2.1.5. Emulsión asfáltica y agregado pétreo

Como ya se ha mencionado, una emulsión asfáltica está compuesta por emulsificante, asfalto y agua.

Las propiedades de la mezcla como adhesión, cohesión, estabilidad, compatibilidad, asentamiento, curado, etc. son determinadas por las reacciones químicas que ocurren entre la superficie del agregado y las emulsiones. Cuando los agregados están completamente secos, se puede considerar a los calizos como electropositivos y a los silicosos, como electronegativos. Cuando están mojados, ambos tienen carga negativa.

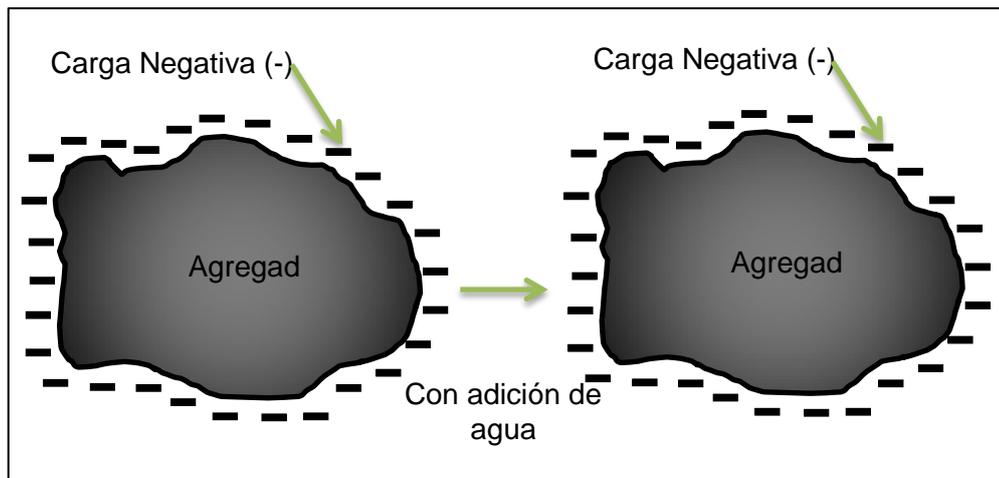
Por tener alto contenido de carbonato de calcio, los materiales calizos o de naturaleza básica, cuando se humedecen presentan una ionización en su superficie, generando cargas electrostáticas de tipo negativo y compuestos básicos (Figura 2.4). Por otra parte, aquellos materiales con alto contenido de sílice, llamados ácidos o silicosos, al ser humedecidos producen una ionización en la superficie de material. Formando iones de carga negativa. (Figura 2.5)

Figura 2.4. Agregados pétreos calizos o de naturaleza básica



Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

Figura 2.5. Agregados pétreos ácidos o silícicos



Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

Las características físicas del agregado pétreo, al igual que las características químicas, deben tomarse en cuenta, ya que juegan papel importante para el adecuado funcionamiento de las emulsiones asfálticas en la fabricación y mantenimiento de las carreteras.

Cuando la superficie de un agregado pétreo presenta rugosidad, puede haber agua o aire atrapado entre las hendiduras de la superficie, ocasionando un mojado inadecuado.

La presencia de poros, hendiduras y capilares en la superficie de la roca ocasiona la penetración del asfalto dentro de los mismos, y consecuentemente, la formación de una interacción física del asfalto y el agregado.

La presencia de polvo en la superficie del agregado pétreo reduce la velocidad de difusión y de mojado del asfalto. En algunos casos puede llegar a formarse un enlace inadecuado entre el asfalto y el polvo.

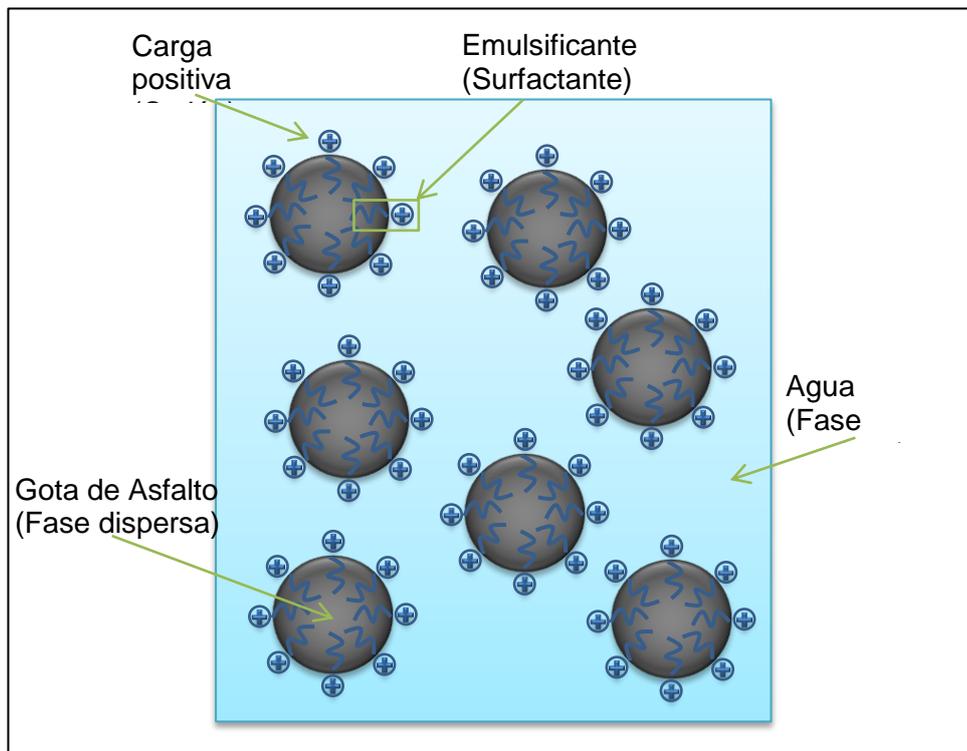
2.1.6. Características y clasificación

Las emulsiones se clasifican de acuerdo con su naturaleza iónica, las emulsiones iónicas (catiónicas y aniónicas) y no iónicas. Las emulsiones del tipo no iónico prácticamente no son utilizadas.

Para obtener emulsiones aniónicas se emplean emulsificantes de tipo aniónico, como las sales sódicas o potásicas de ácidos grasos o resínicos, las cuales actúan como jabones (RCOO Na) ionizándose en el agua en Na^+ y en RCOO^- . Los aniones RCOO^- se adsorben en los glóbulos de asfalto confiriéndole a dichas partículas polaridad negativa, mientras que los cationes Na^+ son adsorbidos por el agua.

Debido a que se trabaja con valores de pH mayores a 7 (normalmente entre 11 y 12) este tipo de emulsiones tiene un carácter básico.

Figura 2.6. Emulsión catiónica



Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

Para obtener emulsiones catiónicas, se emplean emulsificantes de tipo catiónico, siendo muy comunes las sales de compuestos orgánicos electropositivos como sales de amonio cuaternario, clorhidratos de diaminas y poliaminas grasas, amidoaminas e imidazolininas derivadas normalmente del sebo animal o del tall oil.

Los clorhidratos de diamina se ionizan en el agua en cationes y en aniones. Estos últimos son adsorbidos por el agua, mientras que los cationes son adsorbidos por los glóbulos de asfalto confiriéndoles una polaridad positiva. (figura2.6)

Ya que en las emulsiones catiónicas se trabaja con un pH menor a 7 (normalmente entre 1.5 y 4.0), estas presentan un carácter ácido.

Se pueden clasificar las emulsiones también en términos de la velocidad de separación del asfalto respecto al agua y por consiguiente su deposición en el material pétreo (rompimiento). Para estandarizar esta clasificación se emplean términos como: rompimiento rápido, medio, lento y rompimiento superestable. (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Clasificación de las emulsiones según el tipo de rompimiento

Tipo de Rompimiento	Características	Tiempo de descarga	Kg. Emulsificante por Ton emulsión	% De cemento asfáltico	pH Solución jabonosa	Aplicación
Rápido	Gran carga efectiva Buena adhesividad	0 - 10 min.	2.0 - 3.5	63 - 65	2.0 - 3.5	Riego de gravillas Riego de liga
Medio	Poca carga efectiva Buena adhesividad	15 - 25 min.	4.0 - 7.0 *8.0 dependiendo del pétreo	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas
Lento	Poca carga efectiva Buena adhesividad Sedimentación	30 - 60 min.	8.0 - 10.0	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas
Superestable	Asentamiento considerable	60 min. - 24 horas	oct-18	60 - 62	1.8 - 2.5	Mezclas asfálticas Lechadas asfálticas Slurry Seal

Fuente: Elaboración propia, Quimikao. *Emulsiones Asfálticas*. Quimikao, México, 1995

En el caso de las emulsiones de rompimiento medio y lento, fabricadas con más de 0.6% de emulsificante tipo poliamina, se ha comprobado que se presenta un asentamiento más marcado. Esto se revierte al recircular la emulsión cada tercer día en caso de tener que ser almacenada por un periodo de tiempo. Se puede también evitar el asentamiento modificando la viscosidad de la fase dispersa mediante la adición de polímeros.

Al presentar un asentamiento considerable, se recomienda recircular las emulsiones de rompimiento superestables cada tercer día.

Otro factor importante, a más de la selección del agente emulsificante es el trabajo efectuado por el molino coloidal, este influye directamente en la calidad final de la emulsión asfáltica. La abertura del molino esta determina por la distancia entre el rotor y estator, la cual es regulable en incide en el tamaño de los glóbulos (granulometría de la emulsión), y esto afecta directamente a la estabilidad de la emulsión.

2.1.7. Ventajas del uso de emulsiones asfálticas

Las ventajas del uso de las emulsiones asfálticas sobre los rebajados asfálticos y las mezclas en caliente son varias, y justifican ampliamente el uso de las emulsiones asfálticas en diversas aplicaciones. En otras algunas ventajas son:

El cubrimiento de los materiales pétreos por los cementos asfálticos es favorecido debido a la presencia de agua y emulsificantes en las emulsiones asfálticas.

Debido a la presencia de emulsificante, que asegura unión química entre agregado y asfalto, se obtiene una adherencia pasiva y activa superiores, en relación con las obtenidas con los rebajados asfálticos.

No es necesario el calentamiento de solventes, ya que en la emulsión lo que se pierde es agua. Lo que además evita la contaminación ambiental al evitar el uso de solventes.

La forma más eficiente de transportar, almacenar y aplicar asfalto es en forma de emulsión asfáltica.

Las condiciones atmosféricas para la aplicación de las emulsiones asfálticas pueden ser variadas, mientras que los rebajados exigen condiciones atmosféricas favorables.

Con la excepción de la fabricación de concreto asfáltico, todos los trabajos de reparación mantenimiento y construcción de carreteras pueden efectuarse mediante el uso de emulsiones asfálticas.

2.1.8. Aplicaciones

Debido a la versatilidad de las emulsiones asfálticas y al hecho de que se pueden fabricar siguiendo diferentes recetas para poder interactuar con diversos agregados, o en distintas condiciones. Las emulsiones asfálticas se han vuelto populares entre los constructores de carreteras. Sus usos van desde reparación de carpetas asfálticas hasta la impregnación como base para la construcción de caminos, a continuación algunos de sus usos.

2.1.8.1. Tratamientos superficiales

El término “Tratamientos Superficiales” comprende de manera general diversos tipos de aplicaciones del asfalto y de asfalto-pétreo, sobre cualquier clase de superficie vial que tenga un espesor menor a una pulgada.

Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de las superficies viales, sin embargo, no se consideran parte estructural del pavimento debido a que añaden poca capacidad de soporte. Normalmente no se toman en cuenta al calcular la carga límite de un pavimento.

Para producir tratamientos superficiales durables y de alta calidad, tanto la emulsión como el agregado deben cumplir normas establecidas de calidad.

El tratamiento superficial puede ser aplicado sobre una superficie vial granular o similar, o sobre un pavimento ya existente. Los tratamientos que se aplican al pavimento ya existente se denominan capas de sello. Los tratamientos superficiales se utilizan básicamente para los siguientes propósitos:

- Formar una capa de protección impermeable para evitar la entrada de agua a las capas subyacentes.
- Suministrar una superficie de rodamiento antideslizante. Los agregados ásperos y duros proporcionan resistencia al deslizamiento.
- Dar nueva vida superficies secas y envejecidas.
- Suministrar protección temporal a una base nueva.
- Proteger pavimentos viejos que se han deteriorado por la edad o por grietas de retracción o de fatiga, mientras se efectúa un mejoramiento permanente.
- Definir acotamientos para que no se confundan con los carriles de circulación.
- Permitir la aplicación de franjas ruidosas para seguridad.

2.1.8.2. Riego de gavillas

El riego de gravillas es un tratamiento superficial comúnmente usado, el cual puede ser de tipo simple o doble.

Se define como tratamiento superficial simple a la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie vial, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado.

Por su parte, el tratamiento superficial doble se define como la aplicación consecutiva de dos tratamientos superficiales simples, los cuales generalmente son de diferentes características.

En ambos casos el ligante asfáltico desempeña un papel muy importante para obtener una aplicación correcta, ya que es el vínculo de unión entre los mismos agregados y entre estos y la capa subyacente.

La emulsión catiónica debe cumplir con las siguientes características:

- Buena adhesividad con todo tipo de agregados (calizos y silicosos)
- Fluidez suficiente que permita una buena aplicación sobre la superficie por parte de la petrolizadora y una fácil humectación de los materiales pétreos.
- Ruptura rápida que permita desarrollar cohesión con el material pétreo en el menor tiempo posible.
- Adecuada viscosidad en relación con el tamaño del agregado y con las características geométricas del trazado de la carretera para evitar escurrimientos.

En la mayoría de los casos de aplicación, el punto principal es el tiempo de ruptura de la emulsión. Existen diversos factores intrínsecos que inciden sobre dicho tiempo, como el tamaño de partícula del asfalto, pH, dosificación y naturaleza del emulsificante, etc.

Por otra parte, las condiciones climatológicas tienen marcada influencia sobre dicho tiempo de ruptura, aun cuando la emulsión es significativamente tolerante a estas condiciones, su rompimiento se afecta sensiblemente bajo condiciones extremas de frío y humedad.

La emulsión puede aplicarse a temperatura ambiente o con cierto grado de calentamiento (50-60°C) teniendo en este caso menos problemas de taponamiento de la petrolizadora.

2.1.8.3. Emulsiones especiales para riego de impregnación

El riego de impregnación es la aplicación de un asfalto fluidizado a la base granular de un pavimento que no ha sido tratado previamente, con la finalidad de obtener una superficie negra, de impermeabilidad uniforme, con mayor resistencia y sin la presencia de polvo o partículas minerales sueltas. Estas condiciones permiten extender adecuadamente las capas asfálticas superiores sin que exista un corrimiento de las mismas.

La impermeabilidad de la base impide la penetración de más humedad y evita que no se evapore el agua y no se pierda la compactación.

Para el riego de impregnación se utiliza asfaltos de baja viscosidad, propiedad que debe mantenerse durante cierto tiempo para que el asfalto pueda penetrar ligeramente por capilaridad.

Estas exigencias varían según el tipo de base a tratar. Las bases con alto contenido de suelo de grano fino, sobre todo si estos son acrílicos, presentan una cierta dificultad para impregnar.

La cantidad de ligante necesaria se suele fijar como la que es capaz de absorber la base en un período de 24 horas (0.1 – 1.2 litros de asfalto por metro cuadrado). Después de este período, las zonas especialmente ricas en asfalto pueden cubrirse con arena o árido fino (poreo de arena) para absorber el exceso y las zonas especialmente porosas se tratan con un riego de impregnación.

2.1.8.4. Mortero asfáltico (slurry seal)

El mortero asfáltico es un tipo de tratamiento superficial que se emplea como capa de desgaste o de sello, por lo que no debe considerarse como parte estructural del pavimento; en otras palabras, es un mantenimiento preventivo, no correctivo.

Un mortero asfáltico está compuesto por finos como el cemento cal, el agregado, agua, emulsión y aditivo si se requiere. Estos materiales se mezclan

en forma homogénea, dándole al mortero propiedades trixotrópicas² con buena resistencia a la abrasión.

El mortero asfáltico se fabrica en el lugar de aplicación de forma rápida y precisa. El mezclado y extendido se realizan mediante una operación continua y el pavimento puede ser utilizado nuevamente en cuestión de algunas horas.

Con el transcurso del tiempo, la tecnología se ha ido perfeccionando tanto desde el punto de vista aplicación, como desde el punto de vista químico. Existen máquinas modernas que producen 1350 Kg/min. De mortero asfáltico. Un equipo con capacidad e 8 m³ puede producir hasta 2000 m² de slurry seal en 15 minutos.

Para la fabricación de mortero asfáltico se emplean normalmente emulsiones catiónicas de rompimiento lento, controlado o superestables y materiales pétreos debidamente clasificados y uniformes.

En Ecuador, generalmente se han empleado emulsiones superestables para la aplicación de los morteros asfálticos, lo cual ocasiona tiempos largos en la apertura al tráfico, sobre todo cuando se emplean en días nublados o en época de invierno. En la actualidad se requieren emulsiones que permitan un rompimiento controlado, de tal forma que la apertura al tráfico sea casi inmediata o en un tiempo máximo de 60 minutos contados a partir de que riega la mezcla.

Un aspecto importante en el diseño del Slurry Seal es el tiempo que tarda en curar o fraguar, mismo parámetro que determina e tiempo en el que la obra puede ser abierta al tráfico.

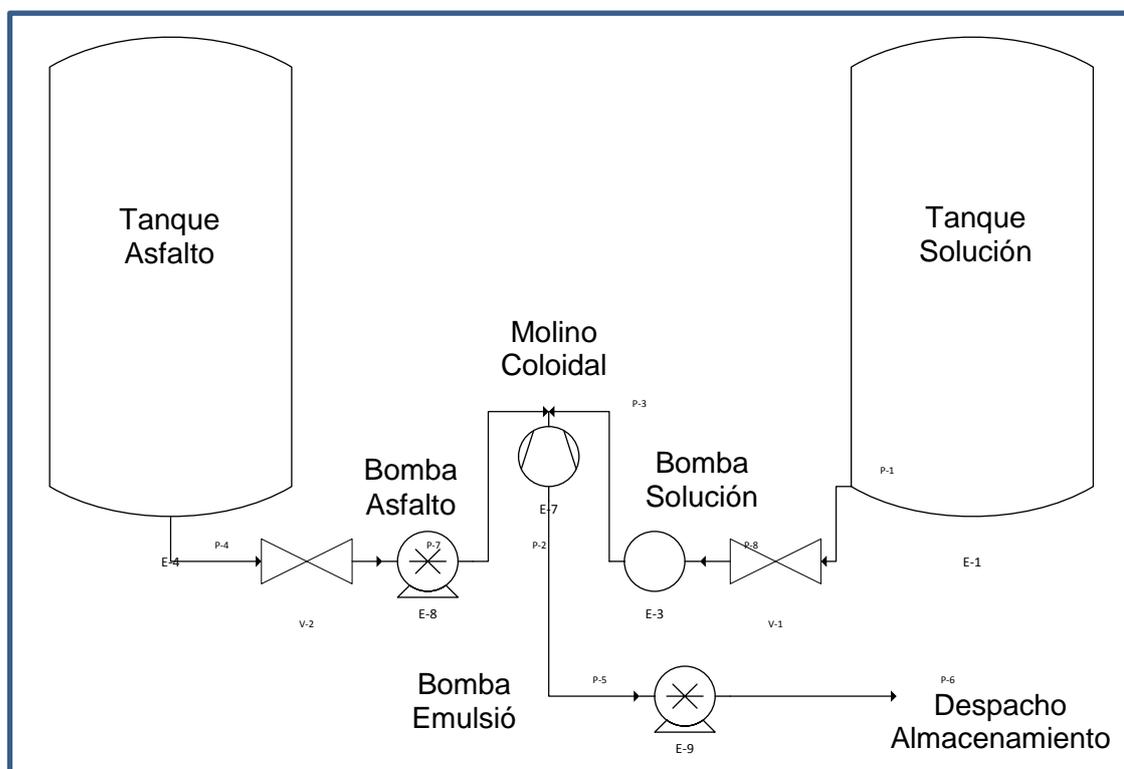
² Propiedad de algunos fluidos no newtonianos, en la que la viscosidad muestra cambios en función del tiempo. Mientras más se somete el fluido a esfuerzos de cizalla, mas disminuye su viscosidad.

2.2. Descripción del proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas

En la planta del Inga se utiliza el proceso de lotes o “Batch”³ para la producción de emulsiones asfálticas. En este proceso es necesario contar primero con todos los componentes para poder producir todo el lote, ya que básicamente se mezcla todo para conseguir el producto final.

El principio del proceso empieza con la materia prima, en este caso el asfalto. Se recibe el asfalto en la planta a través de tanqueros que llegan de acuerdo con las necesidades de producción de emulsión de los diferentes clientes. Se descargan los tanqueros con la ayuda de bombas y tuberías fijas y se transportan a tanques de almacenamiento que mantienen al asfalto caliente de tal forma que pueda fluir con facilidad a través de las tuberías en la planta. Figura 2.7.

Figura 2.7. Esquema del proceso

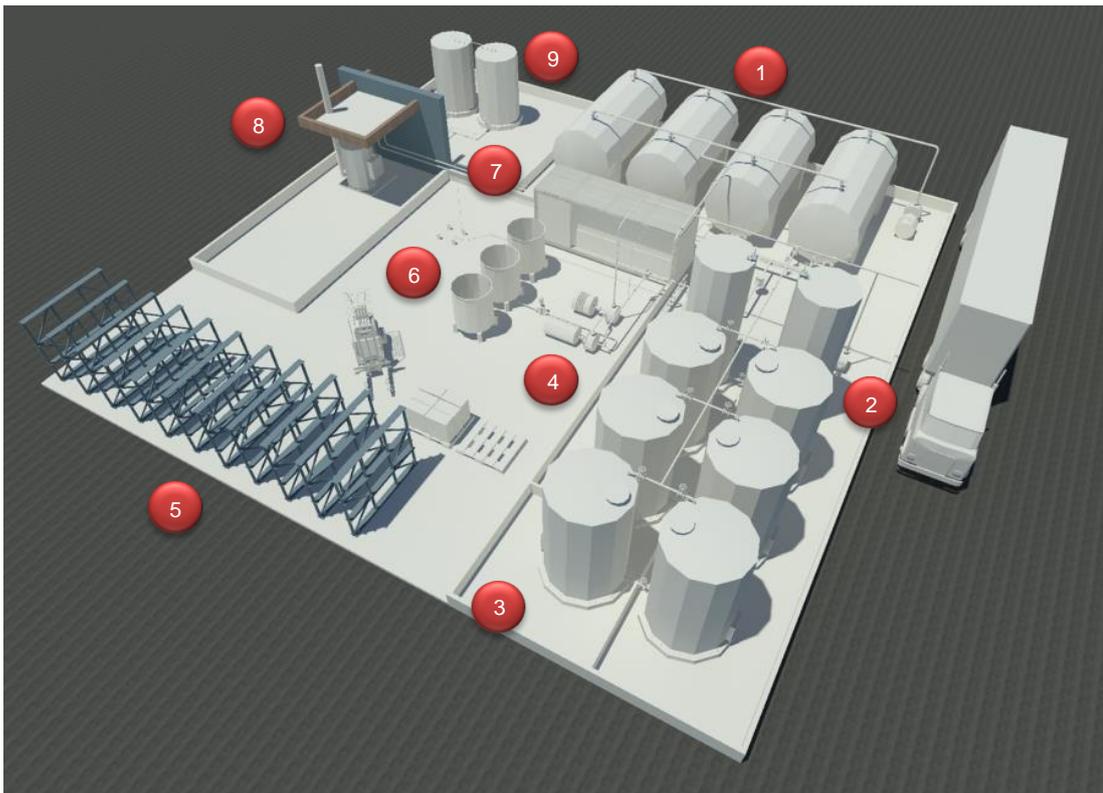


³ Proceso de producción en lotes, donde se especifica una cantidad de producto, por lo general se usa en productos que se cuantifican por peso.

La cantidad de asfalto que se recibe es controlada por los operarios, y es su tarea el revisar la capacidad de almacenamiento de los tanques y determinar a cual se va a enviar el asfalto.

Le emulsificante y los ácidos son almacenados en contenedores plásticos a la sombra, (figura 2.8.) y se los utiliza para formar la denominada solución jabonosa, quien es propiamente la que se mezcla con el asfalto para formar la emulsión. La solución jabonosa se obtiene en tanques con mezcladores, y es la mezcla de agua con compuestos emulsificantes y ácido. El ácido clorhídrico utilizado en las emulsiones tiene una concentración inferior al 50% por lo que para su almacenamiento y transporte se recomienda el uso de polipropileno.

Figura 2.8. Planta el Inga completa (proyección)



1. Tanques de almacenamiento de asfalto. 2. Tanques de almacenamiento de agua. 3. Tanques de almacenamiento de emulsión. 4. Área de molinos y bombas. 5. Área de almacenamiento de emulsificantes 6. Tanques de solución jabonosa. 7. Laboratorio y sala de control. 8. Calderos. 9. Tanques de diésel.

Para la elaboración de la solución jabonosa, y otros usos en las emulsiones es necesario disponer de una cantidad considerable de agua almacenada, para eso son los tanques de almacenamiento de agua (Figura 2.8.) se llenan del agua de una vertiente cercana a la planta del Inga. El agua fluye de los tanques de almacenamiento a los tanques de solución jabonosa y ahí es calentada por la acción de aceite térmico.

Toda la planta necesita calor para poder funcionar, desde la recepción de asfalto, hasta el transporte en tuberías de todos los compuestos y emulsiones, todo es calentado por un sistema de tuberías recubiertas y aisladas en cuyo interior fluye aceite térmico previamente calentado en el caldero (Figura 2.8.), que es el corazón de la planta. Para el funcionamiento del caldero y ciertos productos se utiliza el diésel que es almacenado en tanques.

Para la producción de la emulsión, se utilizan bombas que mueven el asfalto y la solución jabonosa a través de tuberías hasta el molino coloidal, el cual a la final mezcla los componentes y genera la emulsión asfáltica, la cual, es llevada hacia camiones de despacho, o a su vez hacia tanques de almacenamiento, según el caso para el que haya sido producida.

2.3. Equipos involucrados en la fabricación de la emulsión asfáltica

En el proceso de fabricación de las emulsiones asfálticas intervienen varios equipos a controlar, que junto con los procesos inherentes formarán la HMI que los operadores tendrán para facilitar sus funciones en la producción de emulsión, recopilación de datos y control.

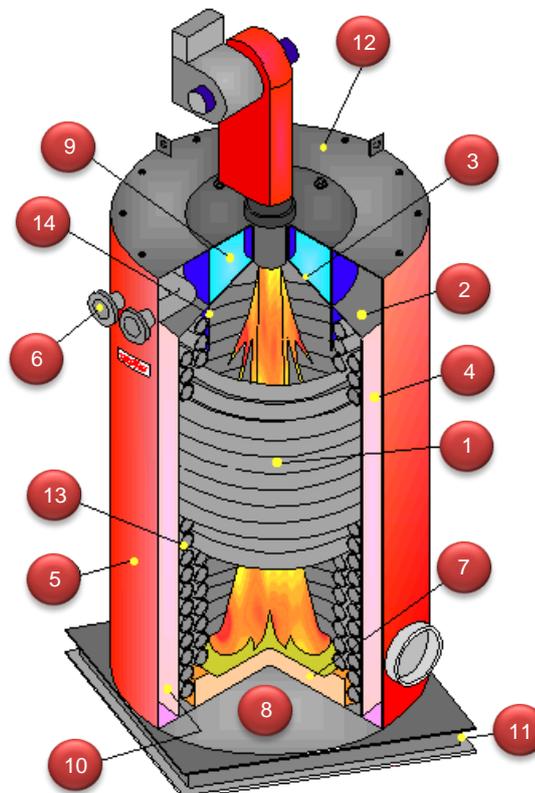
Los equipos principales se describen a continuación y su ubicación en la planta, nombre para el proceso y códigos en los planos se detallarán más adelante, en los capítulos posteriores.

2.3.1. Caldero

El caldero de la planta del Inga ha sido reemplazado recientemente. Actualmente se cuenta con un caldero de marca Pirobloc, de fabricación española. Se trata de un calderero acuatubular. De hogar vertical.

En una caldera Figura 2.9. de envolvente cilíndrica (4) y (5), dispuestas para elevar la temperatura del fluido térmico que circula por dos serpentines concéntricos, mediante la combustión de combustibles líquidos o gaseosos en un quemador fijado en una de las tapas (12). Entre ambas envolventes se dispone de aislamiento a base de lana de roca (10), que permite tener bajas temperaturas (del orden de 30 a 40 °C), en la envolvente exterior (5), consiguiendo por lo tanto pérdidas estructurales mínimas y evitando quemaduras por contacto involuntario con la caldera.

Figura 2.9. Corte del Caldero



Fuente: Pirobloc. *Caldera de fluido térmico*. Pirobloc, España, 2011

1. Serpentín interior. 2. Tapa serpentines. 3. Tapa cámara combustión. 4. Envolvente interior. 5. Envolvente exterior. 6. Bridas de conexionado. 7. Base cámara de combustión. 8. Aislamiento de la base. 9. Kaowool⁴. 10. Aislamiento. 11. Perfiles UPN. 12. Tapa de la caldera. 13. Serpentín exterior. 14. Cierre cámara de combustión.

La llama del quemador se proyecta desde el mismo hasta la cámara de combustión, llegando según la regulación de la combustión, a poder chocar con la solera cerámica que cierra el hogar (7), cambiando entonces de sentido y circulando los gases de combustión a gran velocidad y turbulencia, entre los dos serpentines hasta la tapa de serpentines (2), donde cambian nuevamente de sentido hasta su evacuación por la chimenea situada en el extremo de las envolventes. Los serpentines (1 y 13) se componen de uno a cinco pasos según el modelo, siendo imprescindible una alta velocidad de circulación del fluido térmico a fin y efecto de lograr una buena transmisión de calor y evitar el "cracking"⁵ de dicho fluido.

La circulación del fluido térmico es inicialmente por el serpentín exterior (en donde el calor se transmite prácticamente sólo por convección) para pasar posteriormente al serpentín interior (en donde el calor se transmite casi exclusivamente por radiación) consiguiendo unos rendimientos energéticos excelentes.

La tapa de los serpentines, ligeramente cónica, se halla formada por una parte móvil y otra fija. Esta última, sirve de cierre a los pasos de humos entre serpentines y dispone de los orificios para el paso de los tubos de serpentines que se conectan a los colectores generales, enlazando con el circuito por medio de bridas (6).

La parte móvil, cierra la cámara de combustión, y es en donde va fijado el quemador. Esta parte es fácilmente extraíble, pudiéndose acceder a la cámara de combustión para realizar cualquier tarea de mantenimiento. La tapa exterior es plana y dispone de orejas de sujeción para el transporte de la caldera en los modelos superiores. También hay facilidad para la sujeción de la caldera en los perfiles UPN de la base (11).

⁴ Material cerámico, aislante térmico para altas temperaturas.

⁵ Proceso químico en el que, por medio de la temperatura, las moléculas de un compuesto se quiebran en moléculas más simples.

La función del caldero es la de calentar el aceite térmico que circula en las tuberías. El caldeo independientemente de la producción de la planta siempre se encuentra en funcionamiento, ya que una vez que el asfalto se enfría este puede llegar a solidificarse y taponar válvulas, tuberías, y otros elementos que pudieran tener contacto con el asfalto frío.

Para que el caldero funcione todo el día, son necesarias algunas consideraciones, como que el tanque de combustible para el quemador debe estar siempre en niveles operativos adecuados, el mantenimiento de todos los componentes debe realizarse correctamente y de acuerdo con la planificación establecida para realizar evitar paros por mantenimiento correctivo. Ya que la puesta en marcha del caldero, la regularización de su operación y que esta sea estable suele tardar varios días.

En cuanto al aceite térmico que circula por el circuito de tuberías, se ha considerado su expansión debido a la temperatura, y la posibilidad de que varias ramas de los circuitos no estén en funcionamiento y se han colocado tuberías y recipientes cerrados para la circulación y recolección del aceite que no esté en uso, así como dispositivos mecánicos de seguridad como válvulas de alivio de presión, y válvulas de seguridad en donde sea necesario. Todo esto funciona únicamente con la presión del circuito de aceite y no es necesaria su automatización, excepto en cuanto al aviso de la activación de las válvulas de seguridad.

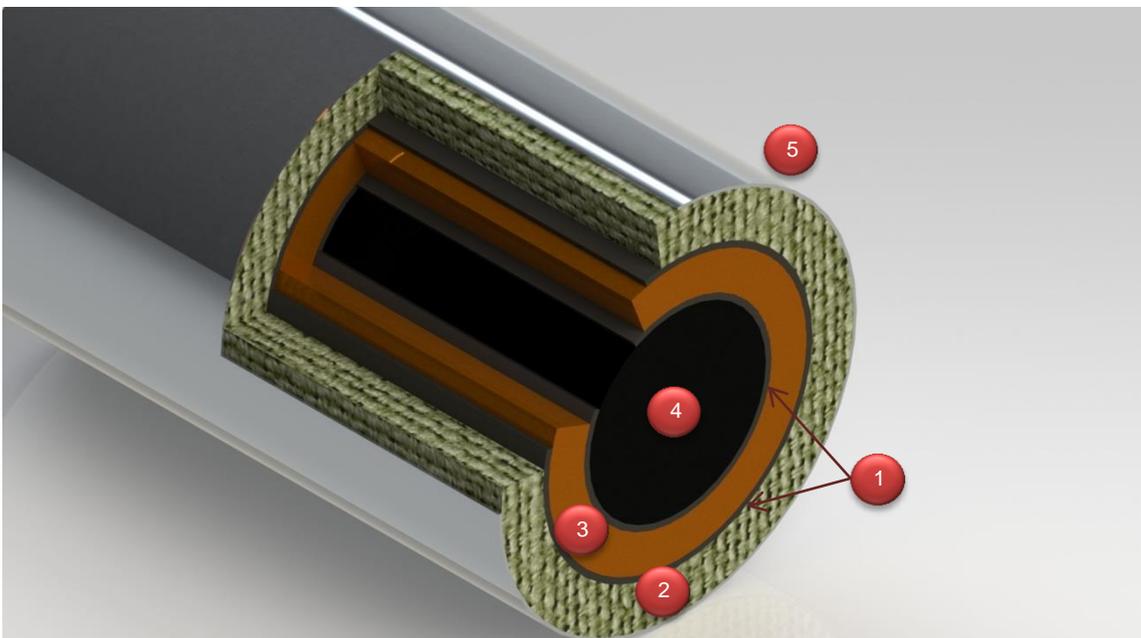
Además de estas consideraciones el caldero opera de forma automática, gracias a un tablero de control independiente, en donde el operador puede definir varias funciones del quemador y del caldero así como la temperatura del aceite térmico y la presión en la línea.

2.3.2. Tubería

Existen varios tipos de tuberías con diferentes funciones en la planta del Inga, en su gran mayoría la tubería y sus accesorios son metálicos, pero también existe tubería plástica para el transporte de diésel así como del ácido clorhídrico.

Toda la tubería de transporte de asfalto esta encamisada (Figura 2.10.) y a su vez recubierta con fibra de vidrio y aluminio para mantener la temperatura del aceite térmico que fluye entre las tuberías, y a su vez la temperatura del asfalto que sin calor se endurecería taponando todo el sistema.

Figura 2.10. Corte de la tubería encamisada



1. Tuberías. 2. Fibra aislante. 3. Aceite térmico. 4. Asfalto. 5. Recubrimiento de Aluminio.

Las conexiones de las tuberías son bridas y soldadas. Y sus espesores y diámetros son variados, dependiendo de su aplicación, así para el transporte de asfalto se pueden encontrar en la planta del Inga tubería de 4 [in], 5 [in], y hasta 8 [in]. Mientras que para acciones importantes, como refrigeración, se puede encontrar tubería de transporte de agua de 1[in] o 2[in].

En general el aceite térmico, fluye por las tuberías en contraflujo con el asfalto o la emulsión como si se tratase de un intercambiador de calor gigante,

esto permite que la transferencia de calor sea más eficiente ahorrando así combustible en el caldero.

Las tuberías de transporte de ácido clorhídrico son de polipropileno y se las debe revisar constantemente, debido a la naturaleza corrosiva del ácido, del mismo modo, la solución jabonosa presenta una corrosión superior a la del agua común, y como problema adicional se encuentra que los filtros se taponan constantemente debido a que el agua se recibe de una vertiente natural cercana, que trae consigo impurezas. Los filtros se encuentran a la salida de los tanques de solución jabonosa, y en la actualidad hay un proyecto para mejorar la calidad del agua que ingrese a proceso.

2.3.3. Recipientes y tanques

Los tanques y recipientes instalados en la planta son atmosféricos. En su mayoría su construcción ha sido realizada por empresas especializadas, siguiendo las normas pertinentes y utilizando materiales certificados y personal calificado. (Figura 2.11.)

Figura 2.11. Montaje de uno de los tanques de emulsión asfáltica



Los tanques horizontales de almacenamiento de asfalto (figura 2.11.) fueron fabricados bajo la norma UL-142 Norma para tanques de acero sobre el suelo para combustibles líquidos y líquidos inflamables (Standard for Steel Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids) mientras que los tanques verticales de emulsión fueron fabricados bajo normas API 650 Tanques soldados de acero para almacenamiento de petróleo (Welded Steel Tanks for Oil Storage).

Figura 2.12. Estampa de uno de los tanques de almacenamiento de asfalto



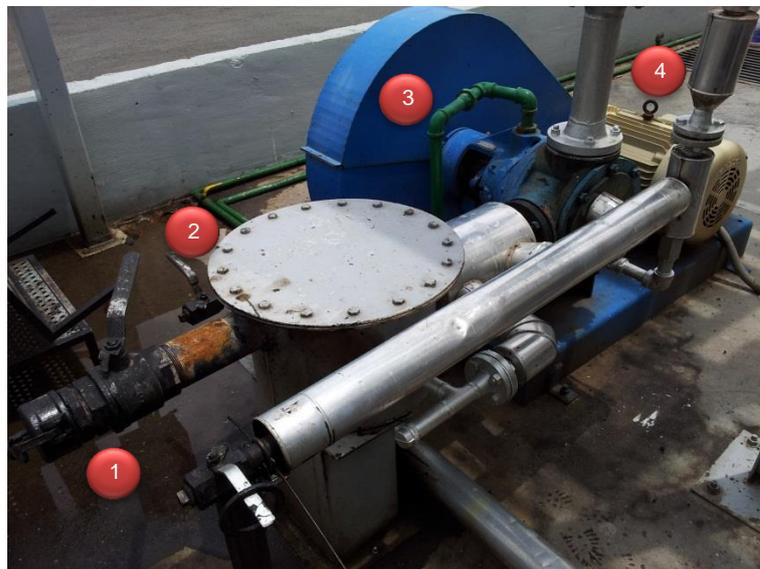
Todas las conexiones entre los tanques y la tubería son bridadas, lo que permite un rápido cambio en las conexiones de ser necesario y un mantenimiento de los tanques y tuberías por sectores. El mantenimiento de los tanques se realiza de acuerdo con la programación anual respectiva.

Como particularidad los tanques de asfalto poseen una serie de espirales internas, por lo que pasa aceite térmico y mantienen la temperatura del asfalto en su interior o lo calientan para que esté listo para el proceso de fabricación de emulsiones. Además de una espiral para el calentamiento del agua, los tanques de solución jabonosa poseen un agitador que ayuda al agua y al emulsificante a formar la solución jabonosa.

2.3.4. Bombas

Varios tipos de bombas se utilizan en la planta y todas son vitales para su correcto funcionamiento. Las bombas de menor potencia se utilizan para el diésel, ya que la viscosidad del líquido, y las distancias de transporte no requieren de mayores capacidades. Las bombas más potentes se utilizan para el asfalto y la emulsión asfáltica.

Figura 2.13. Bomba de recepción de asfalto



1. Ingreso del asfalto. 2. Filtro. 3. Refrigeración con agua. 4. Calentamiento con aceite térmico.

En el principio del proceso, en la recepción del asfalto, se emplea una bomba especial marca Viking para trabajo con materiales como el asfalto ya que al mismo tiempo en que sus componentes móviles son refrigerados con agua, el asfalto que fluye en su interior es calentado por el aceite térmico que circula por cavidades dentro de la bomba. (Figura 2.13.) Este tipo de bombas también son utilizadas a lo largo del proceso de producción en las etapas en donde es necesario que la temperatura del asfalto o la emulsión se mantengan constantes en la trayectoria.

Por otra parte las bombas para las líneas de agua y solución jabonosa no tienen ningún mecanismo especial de calentamiento o del líquido o enfriamiento para sus componentes. La única excepción es la bomba de

solución jabonosa que envía fluido hacia el molino coloidal. Se trata de una bomba vertical que está instalada en la misma línea, casi al final. Se optó por una bomba de este tipo en esta parte del proceso porque se necesita más presión de la solución jabonosa para su ingreso en el molino coloidal.

2.3.5. Molino coloidal

El molino coloidal es el encargado de mezclar el agua con el asfalto, formando la emulsión. Esta sencilla descripción da cuenta de la importancia que tiene el molino coloidal en la fabricación de la emulsión asfáltica y la importancia vital que tiene en la planta del Inga. (Figura 2.14.)

Figura 2.14. Molino Coloidal



El molino coloidal está formado por dos componentes principales: un rotor cónico ranurado que gira a alta velocidad, y un estator ranurado fijo (Figura 2.15.). La separación entre el rotor y el estator, así como la forma de las ranuras tienen gran influencia sobre la emulsión, debido a que el tamaño de las partículas afecta a la estabilidad de la emulsión.

Una vez realizada la mezcla, en el molino, esta sale gracias a la acción de una bomba (Figura 2.14.) que transporta la emulsión hacia los tanques o hacia un taquero listo para llevarla al sitio de trabajo. Cabe recalcar que el molino, por sí solo, no evacua correctamente la emulsión de entre el rotor y el estator, ya que la función principal del molino es la de mezclar los componentes.

Por el momento el control de la velocidad del molino es determinado por el operador en función a las necesidades del proceso, para esto se vale de tablas y su experiencia previa. Para la HMI a desarrollarse se prevé incorporar las tablas de calibración de la velocidad en función de la emulsión así como la posibilidad de la variación manual, por parte del operador.

Figura 2.15. Rotor y estator del molino coloidal



1. Estator 2. Rotor.

CAPITULO 3:

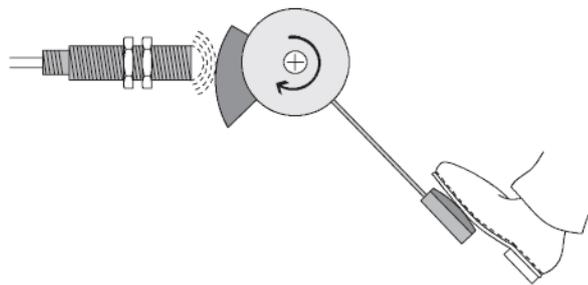
SISTEMAS MECÁNICOS

3.1. Levas

La leva, como elemento mecánico, es ampliamente utilizada en la industria en todo tipo de maquinaria y procesos, así como aplicaciones para el control, como en el caso de la aceleración en algunos pedales de automóviles modernos, en donde se coloca una leva que a través del mecanismo del pedal

gira y un sensor interpreta la distancia que tiene éste con la leva y la traduce en aceleración del vehículo, o cualquier otro movimiento para el que haya sido concebido el pedal. (Figura 3.1.)

Figura 3.1. Transformación de un ángulo o distancia en una señal eléctrica



Fuente: Festo. *Inductive sensors*. Festo, Alemania, 2007

En el caso de esta aplicación específica, se pretende emplear el mismo principio para medir el nivel de asfalto en un tanque de almacenamiento horizontal.

Para ello se empleará el flotador ya instalado en el interior del tanque, el cual se encuentra unido a un eje en la parte externa, y que con la ayuda de una regleta en forma de media luna, indicaba el nivel del tanque en términos muy estimados, es decir, solo podía indicar si estaba con material o no y aproximadamente un porcentaje de llenado. Figura 3.2

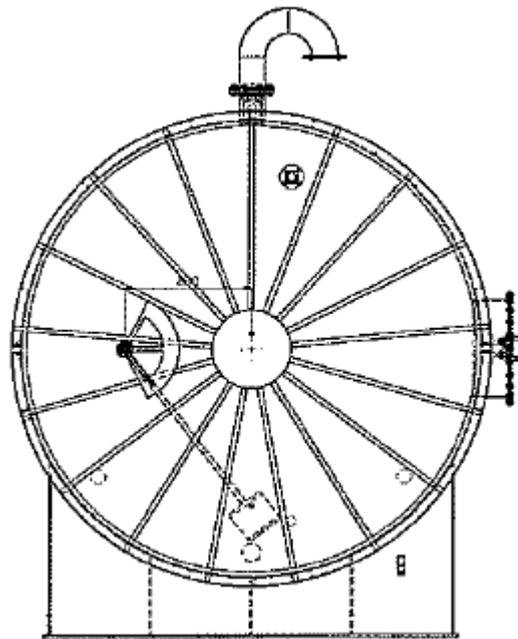
Para determinar con precisión el nivel del tanque se ideó construir una leva que represente el movimiento del flotador, a través del eje que sobresale del tanque.

Las consideraciones para el diseño de la leva fueron las siguientes:

Que sea de un material metálico, ya que el sensor que se utilizará para medir la distancia en la que varía el radio de la Leva, es capacitivo, lo cual

significa que censa materiales metálicos por medio de la variación del campo electromagnético del sensor.

Figura 3.2. Flotador y tanque de almacenamiento



Fuente: ACINDEC. *Planos de construcción*. ACINDEC, Quito, 2009

Que sea de un tamaño apropiado para el eje y para el espacio que se tenía para el montaje de los componentes; así como tener en cuenta que los operadores suelen trasladarse mucho por donde se pretende montar el sensor y dicho mecanismo no debe estorbar a su libre movimiento. En ese caso, el diámetro máximo admisible debe ser de no más de 10 [cm]. Figura 3.3

Puede ocurrir que la caja que contenga al sensor sea abierta en operación por lo que es posible que éste sea expuesto a la lluvia, debiendo ser construido en un material que soporte esporádicamente el agua.

El eje del tanque, donde será montada la leva está oxidado, debido a las temperaturas de operación y su exposición al medio ambiente, es difícil que se lo limpie para colocar la leva en su sitio, por lo que la leva debe poseer un mecanismo de sujeción por medio de prisioneros, o un perno de ajuste que la cierre contra el eje y que impida su movimiento.

Figura 3.3. Estado del eje y limitación de espacio



La precisión del maquinado de la leva debe ser muy buena, ya que el sensor tiene hasta 32676 puntos de medición y cualquier imperfección en este pequeño elemento puede resultar en mediciones erróneas.

3.1.1. Análisis del movimiento

El movimiento de la aguja de medición sobre la regleta es de 120° de acuerdo con el fabricante. Por lo que la leva se construía en tres partes, cada una de 120° .

En la primera parte de 0° a 120° subirá un total de 7[mm], los mismos que representan la subida del flotador que gira junto con el eje.

En la segunda parte, de 120° a 240° la leva volverá a bajar los 7[mm]. A pesar de que en esta parte la leva como tal no tiene ninguna función. Por facilidad de maquinado, resulta más factible construir éste tipo de leva, a una que descienda nuevamente a la posición más baja una vez cumplida su finalidad.

Para la tercera parte de la leva, entre 240° y 360° , la leva continúa en reposo bajo a 0 [mm] sobre el radio base. Como en la Figura 3.4.

Tomando en cuenta las consideraciones descritas anteriormente, se decidió que la leva tenga un radio base de 30 [mm] ya que en ese tamaño, sería fácil manipular, construir, y su peso no es significativo en comparación con radios mayores.

Figura 3.4. Gráfica del desplazamiento vs ángulo.



En cuanto al diseño de la leva, básicamente se analizaron dos opciones, una por el método polinomial, y la otra por el método del movimiento uniforme.

3.1.1.1. Método polinomial

Este método fue realizado en una base de datos utilizando Mathcad.

Los parámetros iniciales correspondientes a los ángulos en cada etapa, la altura de la leva, y el radio base se detallan a continuación:

$$\begin{aligned}
 h &:= 7 & \beta_1 &:= 120 \\
 R_b &:= 30 & \beta_2 &:= 120 \\
 \theta &:= 0, 1.. 360
 \end{aligned}$$

Las ecuaciones de la leva polinomial expresadas en Mathcad son:

$$s_1(\theta) := h \cdot \left[10 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta_1} \right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta_1} \right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta}{\beta_1} \right)^5 \right] \quad (3.1)$$

$$s_2(\theta) := h \cdot \left[1 - \left[10 \cdot \left(\frac{\theta - \beta_1}{\beta_2} \right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - \beta_1}{\beta_2} \right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - \beta_1}{\beta_2} \right)^5 \right] \right] \quad (3.2)$$

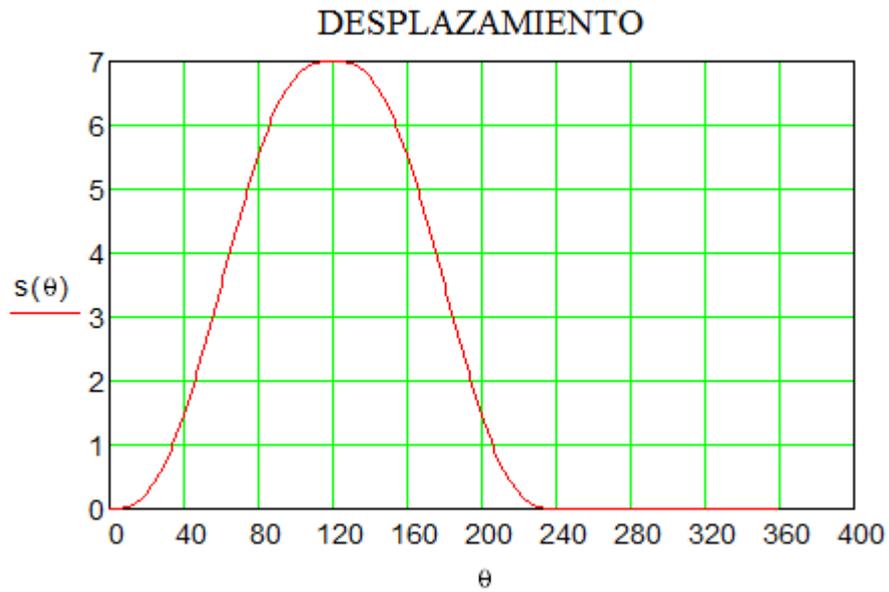
$$s_3(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta_1, s_2(\theta), s_1(\theta))$$

$$s_4(\theta) := 0$$

$$s(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta_1 + \beta_2, s_4(\theta), s_3(\theta))$$

El gráfico obtenido evaluando las expresiones es de la siguiente forma

Figura 3.5. Desplazamiento para la leva polinomial



De igual manera se evalúa la velocidad y aceleración y se obtienen sus correspondientes gráficas:

Velocidad

$$v(\theta) := \frac{d}{d\theta} s(\theta) \quad (3.3)$$

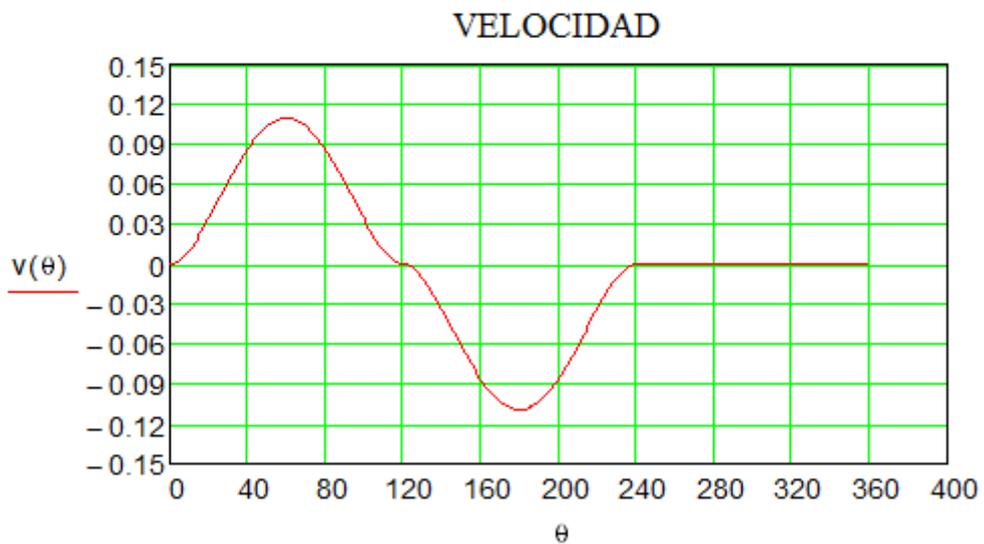


Figura 3.6. Velocidad para la leva polinomial

Aceleración

$$a(\theta) := \frac{d^2}{d\theta^2} s(\theta) \quad (3.4)$$

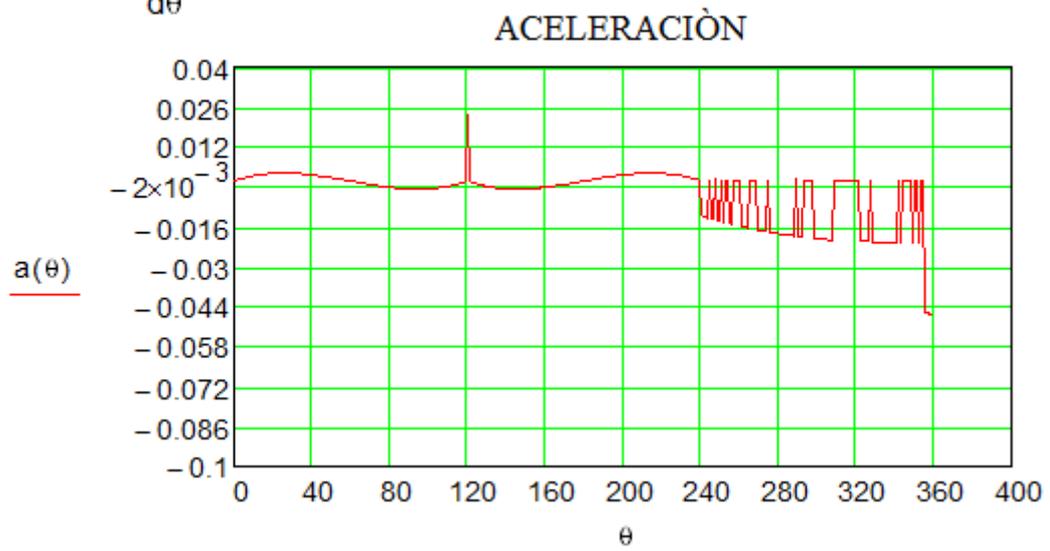


Figura 3.7. Aceleración para la leva polinomial

Finalmente, la gráfica del perfil de la leva es como se muestra a continuación:

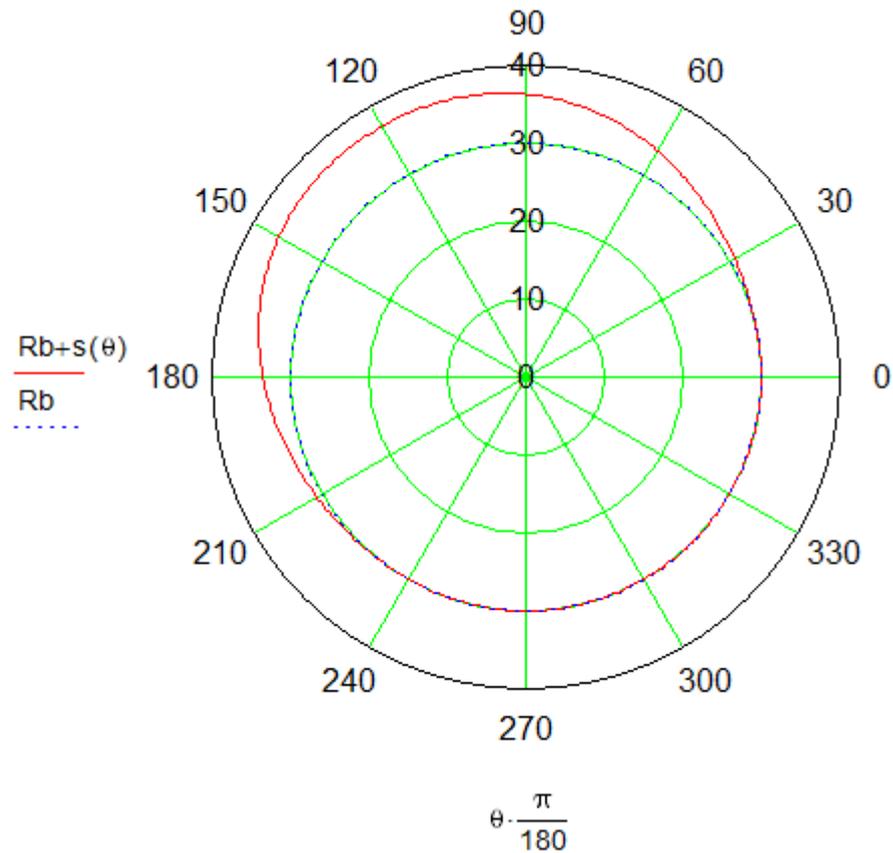


Figura 3.8. Perfil de la leva polinomial

3.1.1.2. Método del movimiento uniforme

Este método fue realizado en una base de datos utilizando Mathcad.

Los parámetros iniciales correspondientes a los ángulos en cada etapa, la altura de la leva, y el radio base se detallan a continuación:

$$h := 7 \qquad \beta_1 := 120$$

$$R_b := 30 \qquad \beta_2 := 120$$

$$\theta := 0, 1 \dots 360$$

Las ecuaciones de la leva de movimiento uniforme expresadas en Mathcad son:

$$s1(\theta) := \frac{h}{\beta1}(\theta) \quad (3.5)$$

$$s2(\theta) := h \cdot \left[1 - \left(\frac{\theta - \beta1}{\beta2} \right) \right] \quad (3.6)$$

$$s3(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta1, s2(\theta), s1(\theta))$$

$$s4(\theta) := 0$$

$$s(\theta) := \text{if}(\theta \geq \beta1 + \beta2, s4(\theta), s3(\theta))$$

El gráfico obtenido evaluando las expresiones es de la siguiente forma



Figura 3.9. Desplazamiento para la leva de movimiento uniforme

De igual manera se evalúa la velocidad y aceleración, y se obtienen sus correspondientes gráficas:

Velocidad

$$v(\theta) := \frac{d}{d\theta} s(\theta) \quad (3.7)$$

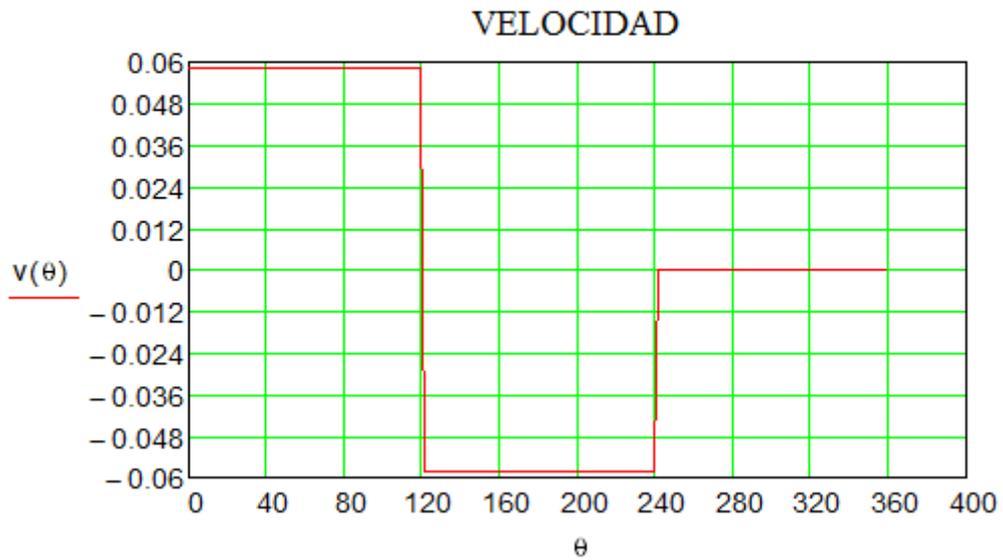


Figura 3.10. Velocidad para la leva de movimiento uniforme

Aceleración

$$a(\theta) := \frac{d^2}{d\theta^2} s(\theta) \quad (3.8)$$

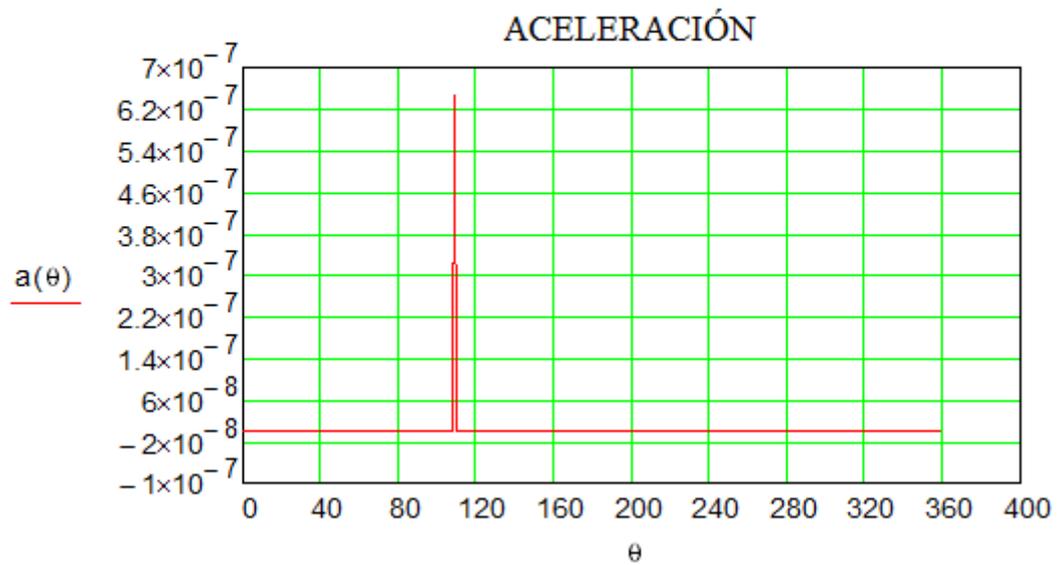


Figura 3.11. Aceleración par la leva de movimiento uniforme

Finalmente la gráfica del perfil de la leva es como se muestra a continuación:

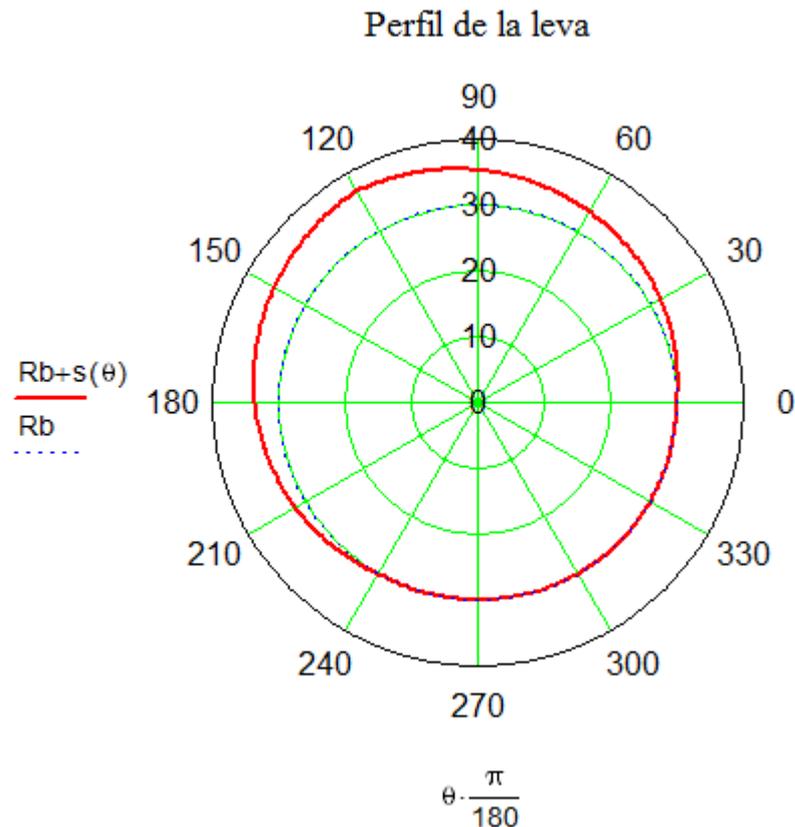


Figura 3.12. Perfil de la leva de movimiento uniforme

3.1.2. Selección de la leva

Para la selección de una leva hay que tomar varias consideraciones que son específicas para este caso. Para empezar, hay que notar que el proceso de llenado y vaciado de los tanques se realiza en mucho tiempo, aproximadamente cada tanque se llena o vacía completamente en dos horas, utilizando la bomba de mayor capacidad y con la bomba de menor capacidad aproximadamente tres horas y media. Por esto se puede decir que la velocidad que va a alcanzar la leva es casi nula.

La leva, en la aplicación jamás va a dar un giro completo, por lo que la parte más importante del diseño se encuentra en los primeros 120°. En realidad, lo demás podría tener cualquier forma, pero tomando en cuenta que el maquinado sería más fácil se decidió hacerla simétrica.

Al analizar ambos perfiles de las levas, lo primero que llama la atención es la variación en la curva que muestra el desplazamiento del seguidor en la leva. Se puede notar claramente que mientras que, en la curva de la leva de movimiento polinomial es más suave, en la de movimiento uniforme es una línea recta. Esto se debe a que las ecuaciones de la ley de movimiento polinomial son más complejas y generalmente utilizadas en procesos donde se quiere que el movimiento del seguidor sea más suave.

La selección de la leva se basa en los principios anteriores, y el hecho de que, para que la señal pueda ser interpretada por el PLC de manera adecuada, es conveniente que esta sea una recta, o que esté muy pegada a una recta para poder linealizarla de manera que el error esté dentro de los parámetros aceptables.

Por estos motivos, la leva seleccionada para el proceso, es la correspondiente a la del ***movimiento uniforme***.

3.1.3. Simulación en working model

Los métodos de simulación por computador validan los diseños antes de ser construidos. Son muy útiles para abaratar los costos de diseño en productos nuevos, y validan prototipos para que no sea necesario construirlos una y otra vez, probando y destruyendo modelos y en muchas ocasiones gastando más dinero del necesario.

La simulación de esta leva se hace con un seguidor cualquiera, ya que en principio el seguidor que se pondrá en la caja del mecanismo no tiene partes móviles, y su superficie de contacto es muy reducida.

Para la simulación fue necesario pasar las coordenadas de la leva al sistema cartesiano de coordenadas, para lo que se emplearon las siguientes funciones en mathcad

Coordenadas Polares:

Figura 3.13. Ejemplo de los los puntos de coordenadas polares

$Rb + s(\theta) =$

30
30.058
30.117
30.175
30.233
30.292
30.35
30.408
30.467
30.525
30.583
30.642
30.7
30.758
30.817
...

Coordenadas Cartesianas:

$$X(\theta) := (Rb + s(\theta)) \cdot \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (3.9)$$

$$Y(\theta) := (Rb + s(\theta)) \cdot \sin\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (3.10)$$

Figura 3.14. Ejemplo de las coordenadas cartesianas

$X(\theta) =$	$Y(\theta) =$
30	0
30.054	0.525
30.098	1.051
30.134	1.579
30.16	2.109
30.176	2.64
30.184	3.172
30.182	3.706
30.17	4.24
30.149	4.775
30.119	5.311
30.079	5.847
30.029	6.383
29.97	6.919
29.901	7.455
...	...

Una vez obtenidas las coordenadas cartesianas se genera una tabla con los puntos, para poder trasladar el modelo a Autocad y de ahí a Working Model. El resultado final, con un seguidor de diámetro 10[mm], se ve en el programa, como la figura (3.15.) y la figura (3.16.)

Figura 3.15. Parámetros de la leva

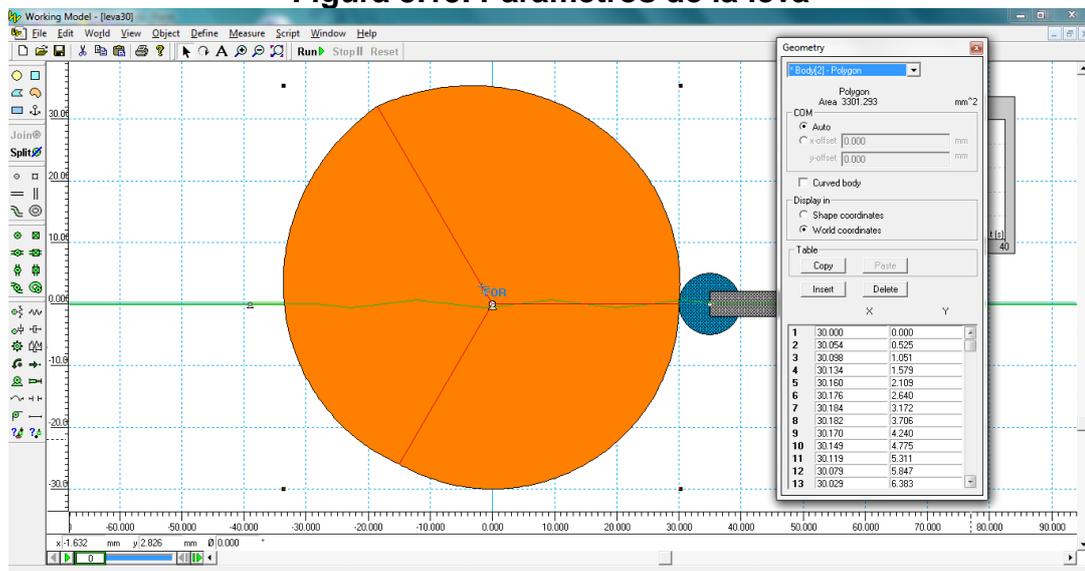
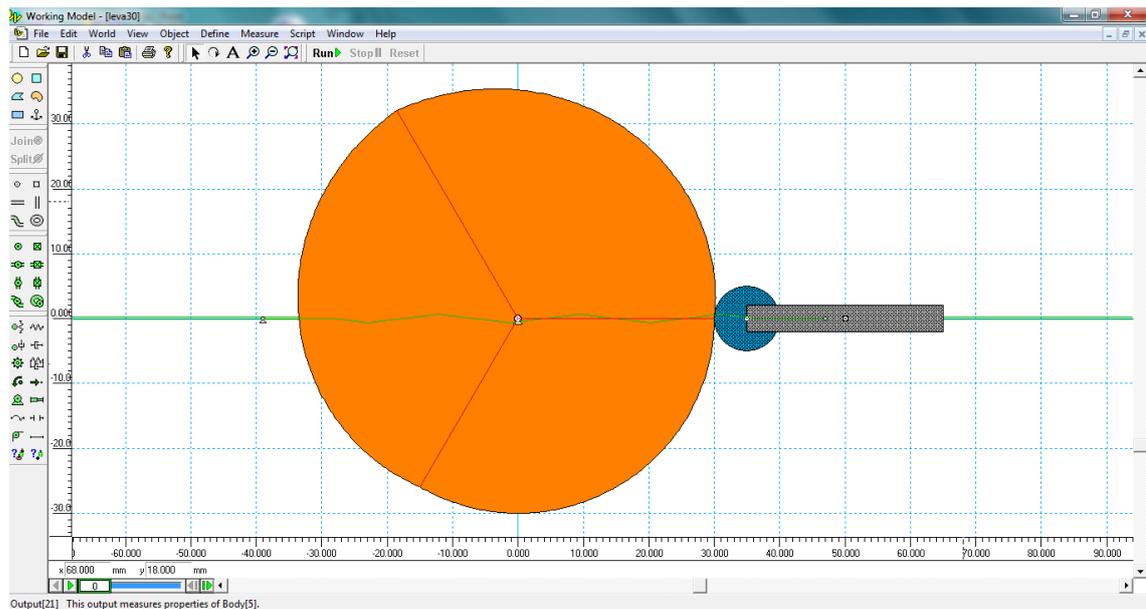
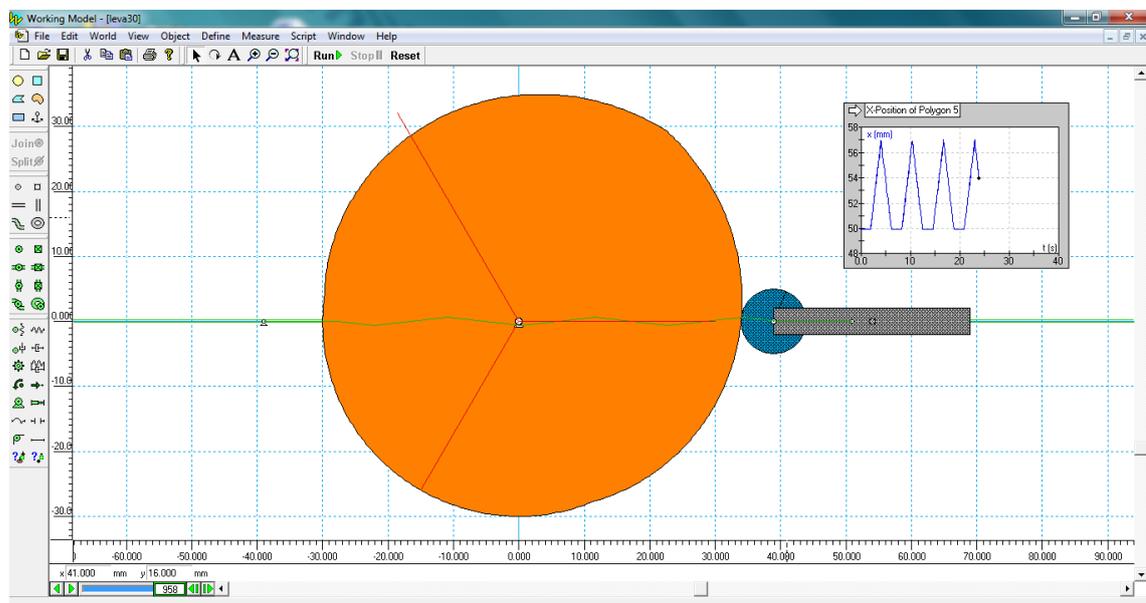


Figura 3.16. Modelo de la leva con Radio base 30[mm] y seguidor 10[mm].



A continuación, con los parámetros de movimiento seleccionados, se procede a hacer la simulación. (Figura 3.17.)

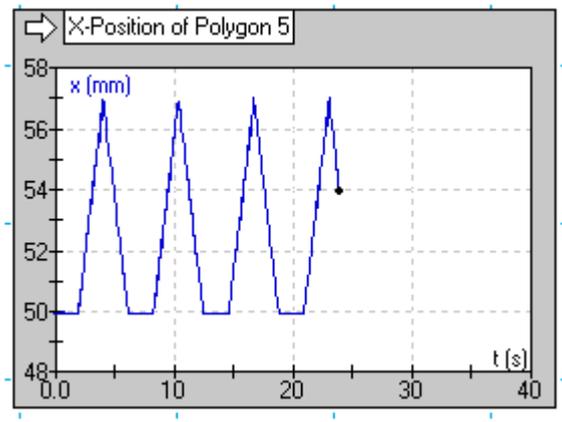
Figura 3.17. Simulación de la leva



En la simulación de la leva, se puede observar que el gráfico de la posición del seguidor sube los 7 [mm] como es esperado, formando una línea recta; de

igual modo a la bajada, en donde permanece en reposo por los próximos 120° que le corresponde. (Figura 3.18.)

Figura 3.18. Posición del seguidor



La posición del seguidor empieza en 50 [mm], ya que en la simulación, es ahí donde se ha conectado el punto de medición.

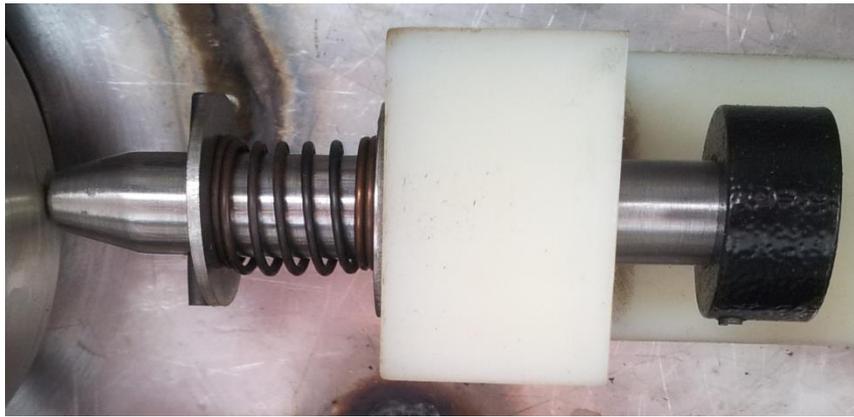
Una vez concluida esta simulación y comprobando que los datos del programa corresponden con los esperados, se procedió a elaborar planos de construcción de la leva, tomando en cuenta que ésta se construirá en una máquina CNC.

3.1.4. Análisis del seguidor

En un principio, el mecanismo no iba a tener un seguidor entre la leva y el sensor, pero debido a que después de varias pruebas se determinó que la forma del campo electromagnético del sensor (Figura 3.1) y la forma curva de la leva, hacen contacto en varios puntos distintos, obteniéndose una curva muy diferente a la esperada y muy complicada de linealizar para poder ser analizada después.

Los seguidores de las levas fueron pensados, de tal forma que cumplan con características similares a las de las levas en cuanto a la protección contra los elementos y teniendo en cuenta que un sensor iba a trabajar con la parte posterior de los seguidores.

Figura 3.19. Seguidor montado en el soporte



En la figura 3.19 se puede observar un seguidor montado en su soporte.

Los seguidores se encuentran presionados contra la leva por medio de un muelle asegurado en una arandela, a través de un pasador al cuerpo del sensor.

En la parte posterior del sensor se encuentra una cabeza de 18[mm] de diámetro recubierta con pintura electrostática. El sensor determina la distancia que hay hacia la superficie de la cabeza del seguidor y gracias a eso se puede determinar la altura del tanque.

El seguidor, al igual que las levas, fueron maquinados en acero inoxidable (AISI-316) y su punta es redondeada, para que no lastime a la leva durante su recorrido. Del mismo modo, el muelle permite el contacto de ambos componentes, con poca fuerza.

3.1.5. Caja de almacenamiento del mecanismo

La caja de almacenamiento, además de contener todo el mecanismo, evita que personal no autorizado manipule las levas o los sensores de modo inadecuado, protegiendo los elementos. Como en la figura 3.20.

Figura 3.20. Caja contenedora alineada



Para la caja se utilizó acero inoxidable (AISI-316), para de esta manera, evitar su oxidación y deterioro debido a los elementos. Sobre la caja están montados los elementos de sujeción de los sensores y hay espacio suficiente para la manipulación de los componentes.

A la izquierda de las cajas, se encuentra una llave de tipo triangular, que evita la manipulación inadecuada, así como mejora el sello de la tapa, el cual evita que entre agua o polvo.

3.1.6. Planos construcción

Los planos de los elementos de medición de nivel (leva, seguidor y caja) se encuentran en el ANEXO A

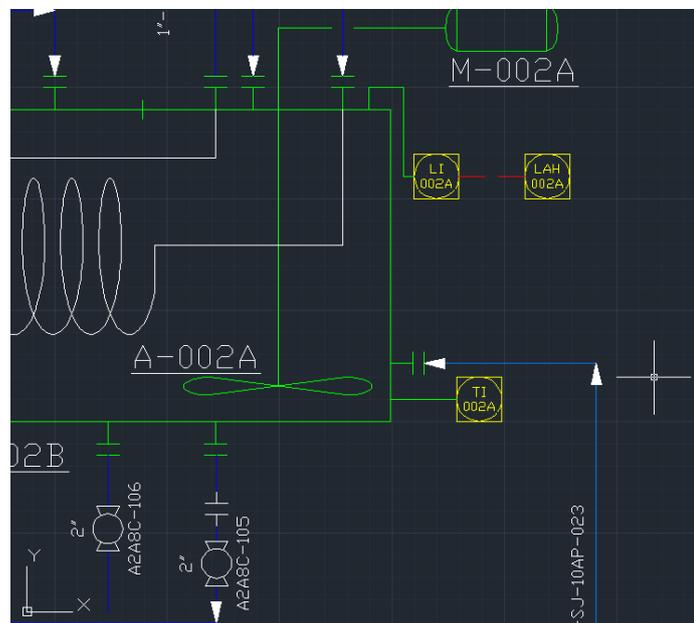
3.2. P&ID

Los planos de tubería e instrumentación, mejor conocidos por sus siglas en inglés P&ID (piping and instrumentation diagram), son muy útiles en todas las instalaciones que posean cantidades considerables de estos elementos. Figura 3.21.

En la planta de chova hay muchos metros de tubería de diversos usos, que se han construido conforme a las necesidades de producción o mantenimiento de la instalación. El crecimiento desde el inicio mismo de la planta de emulsiones asfálticas de Inga, ha sido acelerado y no se posee un registro adecuado de las líneas.

Para poder saber qué se va a colocar y en donde, es necesario identificar a cada válvula, tubería o equipo involucrado de manera que cuando se haga cualquier cambio, todo quede registrado.

Figura 3.21. Ejemplo del diagrama P&ID



Este diagrama es adimensional, y existen varios estándares de dibujo para los elementos, así como la posibilidad de crear elementos únicos dependiendo de la necesidad de la planta. En este caso, el estándar que se utilizará será el

conocido como PIP junto con algunos símbolos creados específicamente para esta aplicación.

3.2.1. Sistema de identificación de elementos

Cada elemento de la planta y del diagrama debe ser correctamente indicado, tomando en cuenta que, a pesar de existir dos o más del mismo tipo, al interpretar el diagrama, el usuario debe ser capaz de distinguir entre uno y otro.

El sistema de identificación codifica a los elementos, de tal modo que con un número específico, se puede saber qué contiene determinada línea o de que tipo es determinada válvula o hacia dónde va el fluido que en el interior de las tuberías.

Para establecer un sistema de identificación es necesario determinar algunos parámetros, como el servicio (Tabla 3.1) de las tuberías (líneas), es decir, que va ir por su interior y denominarlos de manera clara, de tal forma que, una vez que el usuario se haya familiarizado con el sistema pueda identificar fácilmente las características de una línea o elemento.

Tabla 3.1. Servicio de las líneas en la planta del Inga

SERVICIO	
AC	Ácido Clorhídrico
AE	Agua de Enfriamiento
AP	Agua de Proceso
AS	Asfalto
AT	Aceite Térmico
DA	Diesel 1
DB	Diesel 2
DR	Drenaje
PW	Agua Potable
SJ	Solución jabonosa

Otras características típicas del sistema de identificación incluyen el tipo de conexiones, la clase de bridas, especificaciones de material, etc., dependiendo de las necesidades de quien elabore este documento.

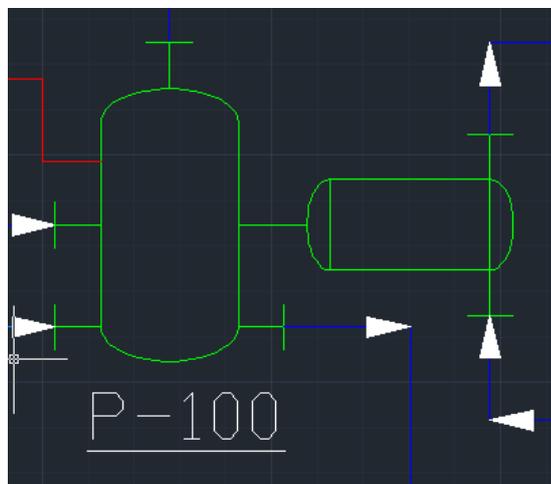
El documento completo “sistema de clasificación de elementos” se encuentra en el **ANEXO B**

3.2.2. Identificación de equipos

Un equipo puede ser un tanque, una bomba, un filtro, o cualquier elemento en general que esté conectado a las líneas, siempre que no sea una válvula, y su información varía dependiendo del equipo en cuestión.

Básicamente en la representación del equipo, únicamente se coloca el nombre de identificación, como en la figura 3.22. En este ejemplo se puede ver a una bomba cuya designación es P-100.

Figura 3.22. Tagname de una bomba



Debido a que los equipos son llamados en principio solo por un nombre corto, en un espacio visible de la hoja del dibujo, generalmente en la parte superior y dependiendo del equipo, hay una descripción más larga que puede incluir datos del fabricante del equipo o dimensiones generales o en el caso de una bomba, su TDH⁶.

⁶ (TDH) Total Dynamic Head conocida como la cabeza de la bomba.

En la figura 3.23., se puede observar que en ese equipo específico (un recipiente), se detallan datos como la presión y temperatura de funcionamiento, y así como medidas generales del equipo.

Figura 3.23. Detalles de un equipo

The screenshot shows a software window titled "Edit Annotation" with a close button in the top right corner. On the left side, there is a preview of a vessel label with the text: "TK-004", "VESSEL", "2400 X 3000", and "1 ATM @25°C". Below the preview is the label "Vessel Infotag". On the right side, there is a form with the following fields:

- Type: TK
- Number: 004
- Description: VESSEL
- Width: 2400
- Delimiter: X
- Height: 3000
- Design Pressure: 1 ATM
- Delimiter: @
- Design Temperature: 25°C

At the bottom right of the form, there is a checked checkbox labeled "Preview" and three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

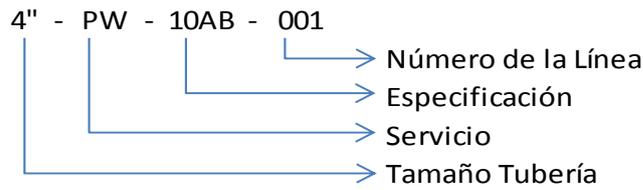
3.2.3. Identificación de las líneas

La tubería es conocida en los diagramas P&ID como línea y es una de las partes más importantes del diagrama.

Las identificaciones de las líneas pueden contener datos como por ejemplo, el material del que están hechas, si tienen algún tipo de aislamiento y siempre su número, ya que con su número se las puede identificar fácilmente. Si bien es cierto que se puede asignar cualquier número a las líneas, se recomienda que como todo en el diagrama, se ocupen números similares para identificar a una familia de líneas, por ejemplo se puede nombrar a todas las líneas relacionadas con desagües a partir del número 900.

Se recomienda que todas las líneas tengan un sistema único de nomenclatura (figura 3.24) sin importar si son encamisadas, simples o secundarias, ya que con éste sistema único se pueden establecer diferencias en la misma nomenclatura y se evita confusiones por que falten o sobren ítems en los nombres de las líneas.

Figura 3.24. Sistema de identificación de líneas



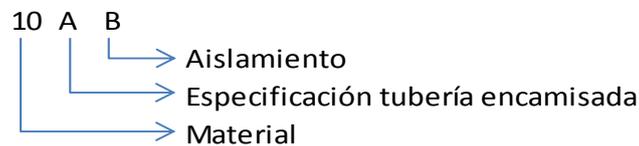
Toda la tubería en la planta del Inga posee una nomenclatura única que esta especificada en el **ANEXO B**.

3.2.4. Tubería simple

En el caso de la planta del Inga se llama tubería simple a aquellas que no estén encamisadas.

Esta tubería obedece al sistema de nomenclatura de líneas, que es único y diferencia a las líneas encamisadas de las simples en la especificación.

Figura 3.25. Especificación de la tubería



En la figura 3.25 se puede observar un ejemplo en donde la letra "A" está en el lugar de la especificación de tubería encamisada, esto significa que la línea es simple o sin encamisar.

3.2.5. Tubería encamisada

La tubería encamisada es muy utilizada en la planta y se emplea para recubrir a aquella tubería en cuyo interior viaja algún fluido que debe mantenerse caliente hasta llegar a su destino, como el Asfalto.

Al estar la planta a la intemperie como se explicó en el segundo capítulo, es muy propensa a que el calor de las líneas se pierda fácilmente entre la tubería

de transporte y por la tubería externa circula aceite térmico a contraflujo haciendo que la planta entera sea un intercambiador de calor de flujo cruzado gigante.

La identificación principal para la tubería encamisada es la de la línea de transporte en su interior, por lo que mediante la especificación de tubería encamisada se determina el diámetro de la tubería exterior, así como su material.

Tabla 3. 2 Especificación para tubería encamisada

TUBERÍA ENCAMISADA (TUBERÍA EXTERNA)	
A	Ninguna
B	2" SCH40 ASTM A106 Gr B
C	3" SCH40 ASTM A106 Gr B
D	4" SCH40 ASTM A106 Gr B
E	6" SCH40 ASTM A106 Gr B
F	8" SCH40 ASTM A106 Gr B

3.2.6. Identificación de las válvulas

Las válvulas se deben identificar tomando en cuenta el tipo de válvula, el material, la clase de las bridas, el tipo y la cara, en el caso de ser bridada, y de lo contrario su forma de conexión a la tubería.

Para que se pueda identificar completamente, cada válvula tiene su propio número, de éste modo se diferencia cada una de las muchas válvulas similares en la planta.

De la misma manera que las líneas, se recomienda que el número de la válvula corresponda de algún modo, a la línea o al plano, para que se pueda identificar con mayor facilidad.

Tabla 3.3. Sistema de identificación de las válvulas

CLASE	TIPO VALVULA	FACE TYPE	CONEXIÓN	MATERIAL VÁLVULA
A 150	1 Compuerta	A Flat Face	1 Welding Neck	A Aluminio - Bronze
B 300	2 Bola	B Raised Face	2 Slip-On	L Aleación Acero
C 600	3 Plug	C Tounge face	3 Threaded	B Bronze
D 900	4 Globo	D Groove Face	4 Blind	R Latón Cu-Zn
E 1500	5 Check	E Spigot	5 Lap Joint	C Acero al Carbono
F 2500	6 Aguja	F Recess	6 Socket Weld	D Acero Dulce
	7 Mariposa	G O ring recess	7 Soldado	I Fundición
		H O ring groove	8 Roscado	P PVC
		S Acero Inoxidable		

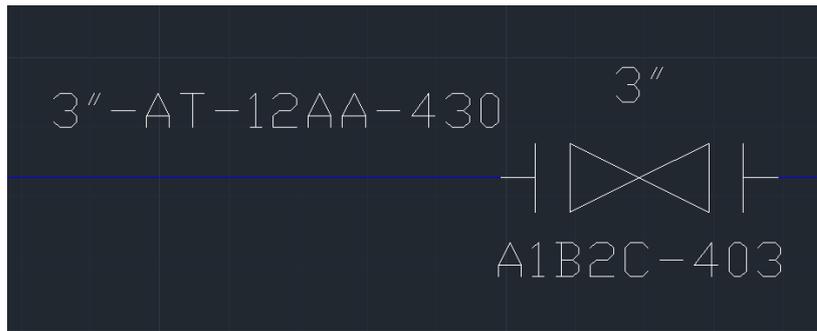
3.2.7. Planos

Los planos P&ID en el **ANEXO C**, corresponden a los sectores donde este proyecto ha tenido efecto. Básicamente, se trata del sistema de carga de ácido, junto con los tanques de solución jabonosa y a los tanques de almacenamiento de asfalto.

Para poder interpretar los diagramas es muy importante que el usuario lea y entienda el sistema de clasificación de los elementos. (**ANEXO B**)

El ejemplo de la figura 3.26., muestra la nomenclatura típica del diagrama P&ID de la planta de emulsiones asfálticas del Inga.

Figura 3.26. Nomenclatura típica de las líneas y válvulas



La nomenclatura de la figura 3.26, de acuerdo con el sistema de identificación de elementos, muestra la siguiente información sobre la línea:

Tamaño: 4 [in]

Servicio: Aceite Térmico (AT)

Material: ASTM A335 Gr P22 (12)

Tubería simple (A)

Aislamiento: Fibra de vidrio (e=3mm Al=1mm)

Número de la línea: 430.

En cuanto a la válvula:

Tamaño: 4[in]

Clase de las bridas: 150 (A)

Tipo de válvula: Compuerta (1)

Tipo de la cara de las bridas: Raised Face (B)

Conexión tipo de la brida: Slip on (2)

Material de la válvula: Acero al Carbono (C)

Número de la válvula: 403

3.3. Sistema de carga de ácido

Para la elaboración de ciertos productos es necesario que la solución jabonosa cumpla con algunos requerimientos en cuando a su composición. Entre ellos está por ejemplo, la cantidad de emulsificante, que se dosifica con el peso y a través de fórmulas, la cantidad de partículas como basuras y sedimentos en la solución, que se limitan con un filtro, entre otras consideraciones.

Otra parte muy importante de la solución jabonosa es su pH, que por lo general es muy ácido, llegando a tener valores de 2 y hasta 1.8. Para que la solución llegue a tener este nivel de pH, se emplea Ácido Clorhídrico (HCl), típicamente en concentraciones del 32%.

Actualmente la carga de ácido en la planta es un peligro potencial para los operadores, ya que deben llevar el ácido (generalmente en concentraciones de 32%) desde un contenedor hasta los tanques de solución.

El transporte del Ácido Clorhídrico se hace con un balde el cual se llena de acuerdo al peso obtenido por medio de formulación.

A pesar de que la concentración del ácido no es suficiente para causar un daño inmediato a la piel o la ropa, los ojos si pueden correr peligro en caso de un derrame o salpicadura.

Para evitar los riesgos laborales que supone este tipo de sistema de carga, se implementará un sistema en donde se minimice los riesgos para el operador.

3.3.1. Descripción del sistema de carga

Se pretende que con la ayuda de una bomba dosificadora que absorberá el fluido de un tanque de almacenamiento, se envíe ácido en una tubería a los tanques. La cantidad de ácido será regulada por medio de un PLC, que con las formulas apropiadas enviará a cada tanque la cantidad de ácido que necesite para llegar al pH que se haya especificado.

Figura 3. 27. Interior del tanque de solución jabonosa



El sistema de carga de ácido consta de una bomba dosificadora, tubería, y válvulas, además de un switch tipo on/off controlado por el computador e interruptores de encendido y paro manual.

Los cálculos de la cantidad de ácido necesario se han hecho, de tal modo que, es posible que falte ácido y el operador lo deba aumentar con los interruptores manuales.

En un principio se pretendía instalar unos medidores de pH para que cuando la solución llegase a un pH indicado través del PLC, la bomba de dosificación se detenga. Al analizar mejor las condiciones de los tanques (figura 3.27), se puede notar que en su interior hay mucha acumulación de sedimentos y materiales pegados en las paredes y tuberías internas, lo cual dificulta el trabajo de una sonda y lo que implica, que debido al material

adherido, el recubrimiento, o inclusive toda la sonda debe cambiarse en períodos muy cortos.

El elevado costo de la implementación del sistema (aprox. \$30000) y el hecho de que las sondas debían cambiarse a un costo aproximado de \$3000 cada sonda cada tres meses o menos debido a la acumulación de sedimentos, se optó por hacer el sistema de carga por tiempo de bombeo.

3.3.2. Análisis de la tubería

La norma ASME B31.3., para el diseño de tubería de procesos, abarca gran cantidad de aplicaciones que van desde la industria alimenticia, hasta las plantas de procesos químicos e inclusive las plantas que manejan petróleo.

Esta norma es de gran utilidad en el diseño mecánico de las tuberías en una planta, ya que fácilmente permite calcular el espesor de la tubería que se pretende utilizar e inclusive desde su parte número cinco, ayuda con el análisis de flexibilidad de la tubería.

En el caso específico de esta aplicación, en donde se utiliza ácido clorhídrico en una concentración del 32%, la norma no se puede aplicar, ya que en su sección 300.1.3 Exclusiones, indica que se excluye:

a) sistemas de tuberías diseñados para una presión interna de o sobre cero, pero menor que 105kPa (15psi), provistos de fluido, cuyo manejo sea no inflamable, no toxico, y no dañino a los tejidos humanos según se define en 300.2, y si temperatura de diseño sea desde -29°C (-20°F) hasta 186°C (366°F)”

Según la norma, la definición de daño al tejido humano encontrada en 300.2 Definiciones es:

“daño al tejido humano: para el propósito de este código, esta frase describe un servicio (fluido) en cuya exposición al fluido, causad por fugas en condiciones esperadas de operación, pueda dañar la piel, ojos, o mucosas expuestas de tal modo que cause un daño irreversible a menos que sean

tomadas medidas inmediatas de recuperación, (las medidas de recuperación pueden incluir enjuague con agua, administración de antídotos, o medicación.)”

Según el alcance del código y sus definiciones, el ácido clorhídrico empleado en este proceso impide que una tubería sea diseñada con esta norma.

Debido a que la norma B31.3 no aplica para este proceso industrial, es necesario de todos modos encontrar una tubería que sea capaz de cumplir con las necesidades de operación de la planta y de transporte del químico.

De acuerdo con investigaciones realizadas, uno de los mejores materiales para contener el HCl es el polipropileno.

En el país las tuberías de polipropileno se fabrican principalmente, para su uso con agua caliente, pero debido a que son 100% de ese material se las puede utilizar para esta aplicación.

El diámetro de la tubería es de 1 pulgada, debido a que es el diámetro de la descarga de la bomba disponible y su espesor es el determinado por el fabricante. En cuanto a la vida útil de la tubería, el fabricante indica que es la mitad de la que se prevé para el agua caliente.

Debido a que el polipropileno, a pesar de su resistencia al ácido, sigue siendo un material plástico, entonces se ha decidido que para evitar daños a los operadores, la tubería que se encontrará en el piso, se recubra con canaletas metálicas cuadradas.

La distribución de la tubería en la planta se encuentra en el **ANEXO D**.

3.3.3. Bomba de ácido

La bomba disponible envía el ácido por la tubería hasta que se deposite en los tanques de solución.

Previo a la elaboración de este proyecto se seleccionó y compró una bomba capaz de manejar ácido clorhídrico y otros productos químicos. Según los datos la bomba debía tener las siguientes características:

- Capacidad para soportar ácido clorhídrico (32%)
- Capacidad para enviar 8 litros en 12 minutos
- La descarga debe superar los 3 metros de altura
- El equipo debe funcionar con 440 [V]
- Capacidad de dosificación

Debido a las especificaciones suministradas, el proveedor del equipo vendió una bomba dosificadora de diafragma marca Milton Roy, con las siguientes características, que se encontraron con la descripción del equipo, y la placa de información de la bomba:

- Modelo: SG63J8P
- Marco tipo: G6 (especificación del fabricante)
- Relación de transmisión: 173 SPM
- Motor: 3 ph 60 Hz 230/460 VAC 1725 RPM TE
- Material boquillas: PVC
- Conexión: NTP

Figura 3.28. Placa de la bomba dosificadora de ácido



La precisión en el caudal, indicado en el manual de la bomba, es del 2% del 100% de caudal enviado, entre el 10% y 100% del juste del flujo.

Además, de acuerdo a las especificaciones de compra, la bomba debería abastecer al sistema de carga de ácido, ya que la bomba es de 1/4 de HP.

Esto último se puede comprobar con los cálculos apropiados, antes de la instalación.

3.3.4. Validación del sistema (capacidad de la bomba)

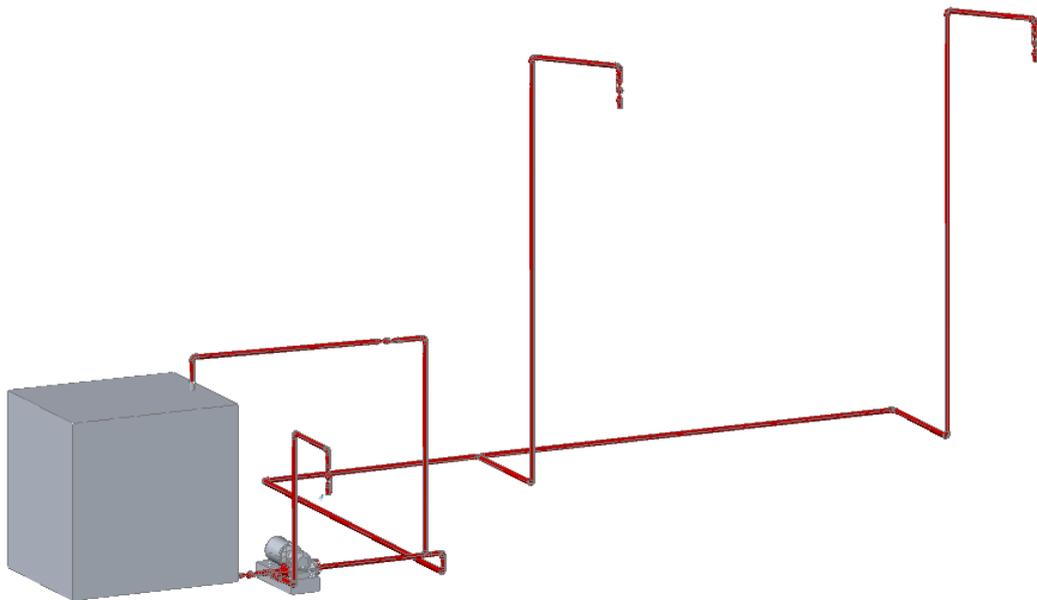
Para poder utilizar la bomba que ya se tiene en la planta, se debe primero verificar que funcione con la tubería que se pretende colorar y que su altura de funcionamiento abastezca al sistema en las alturas que se pretende llegar.

Para esto, se debe definir la geometría de la tubería y hallar las longitudes de los tramos involucrados, así como la cantidad y el tipo de accesorios en la línea, como codos, válvulas, reducciones etc.

Típicamente el diseño de un sistema de tuberías, parte de los requisitos del sistema, y se llega a obtener los diámetros de los tramos, así como el tipo y capacidad de la o las bombas; generalmente se trata de un cálculo iterativo, que luego de varias iteraciones arroja los requisitos del sistema.

En este caso, la validación del sistema, se hará tomando en cuenta las longitudes de la tubería, su altura máxima, el caudal de la bomba, la fricción en la tubería, y la pérdida por los accesorios. Estos datos se los comparara con la capacidad de la bomba, para determinar si es viable el uso de la bomba con la configuración actual.

Figura 3. 29. Esquema de la tubería



Para este cálculo se han tomado las siguientes consideraciones:

- El cálculo se realizará en el tramo más largo de tubería, es decir, el que va desde la salida de la bomba de ácido hasta el tanque más lejano.
- Las distancias y alturas se midieron con la ayuda de los planos isométricos de producción.

- Se hace el cálculo en la peor situación del tanque, cuando está prácticamente vacío, ya que así no hay ninguna altura positiva que ayude a la bomba.
- Para ser más conservador, se tomó como cero la bajada de la tubería luego de la bomba, ya que eso también ayuda a la misma. Y se coloca como altura máxima del fluido 3 [m].
- Las propiedades como fluido de HCl que se utiliza, son muy similares a las del agua, por lo que se utilizarán las propiedades de agua a 25°C.

Datos iniciales:

Diámetro de la tubería

$$d = 1[in] = 25.4 [mm]$$

Propiedades del Agua@25°C

$$\rho = 997.1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\mu = 0.894 \times 10^{-3} [Pa \cdot s]$$

Longitudes de los tramos:

$$L1 = 942.05 [mm]$$

$$L2 = 2759.74 [mm]$$

$$L3 = 4553.80 [mm]$$

$$L4 = 818.61 [mm]$$

$$L5 = 621.78 [mm]$$

$$L6 = 2900 [mm]$$

$$L7 = 133.29 [mm]$$

$$\sum L = 12711.3 [mm] = 12.71 [m]$$

Número de elementos:

$$nT = 2 \text{ (T)}$$

$$nC = 7 \text{ (Codos)}$$

$$nV = 1 \text{ (La única válvula es de globo)}$$

Caudal:

$$Q = 147 \text{ [GPH]}$$

$$Q = 555 \text{ [LPH]}$$

$$Q = 147 \cdot \frac{\text{gal}}{\text{hor}} \cdot \frac{1\text{m}^3}{264\text{gal}} \cdot \frac{1\text{hor}}{3600\text{seg}}$$

$$Q = 0.000155 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Con el caudal se puede calcular la velocidad media del fluido.

$$Q = V \cdot A \quad (3.11)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.000155}{\pi \cdot \frac{(25.4)^2}{4 \cdot 1000}}$$

$$V = 0.305 \text{ [m/s]}$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.12)$$

$$Re = \frac{997.1 \cdot 0.305 \cdot \left(\frac{25.4}{1000}\right)}{0.894 \times 10^{-3}}$$

$$Re = 8665.8$$

Como el número de Reynolds supera los 4000, el flujo de la tubería es de tipo turbulento, por lo que para el cálculo de la fricción en la tubería se puede utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach.

Para una tubería de plástico:

$$\epsilon \text{ (mm)} = 0.0015$$

Entonces:

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right)\right]^2} \quad (3.13)$$

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln\left(\frac{0.0015}{3.7 \cdot 25.4} + \frac{5.74}{8666^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.0323$$

Una vez hallado el coeficiente de pérdidas, se lo puede utilizar para encontrar la longitud equivalente de la tubería debido a la fricción.

$$h_{\text{Tubería}} = f \cdot \frac{\sum L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.14)$$

$$h_{Tuberia} = 0.0323 \cdot \frac{12.71}{25.4} \cdot \frac{0.305^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 1000}$$

$$h_{Tuberia} = 0.07713 [m]$$

De modo similar, se hallan las pérdidas causadas por los accesorios, que en este caso se obtienen mediante el uso de un factor K, y que depende del tipo de accesorio. Los valores de K utilizados son:

Tabla 3.4. Valores típicos de K para accesorios.

Accesorio	K
válvula de globo (completamente abierta)	10
Tee estándar	1.8
Codo estándar (90°)	0.9

Con esos datos se puede obtener las pérdidas por cada accesorio.

$$h_C = nC \cdot \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right) = 7 \cdot \left(0.9 \cdot \frac{0.305^2}{2 \cdot 9.81} \right) = 0.02987 [m] \quad (3.15)$$

$$h_T = nT \cdot \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right) = 2 \cdot \left(1.8 \cdot \frac{0.305^2}{2 \cdot 9.81} \right) = 0.01707 [m] \quad (3.16)$$

$$h_V = nV \cdot \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right) = 1 \cdot \left(10 \cdot \frac{0.305^2}{2 \cdot 9.81} \right) = 0.04741 [m] \quad (3.17)$$

La pérdida por estos elementos, se calcula sumándolas. Y se aumenta a la altura que debe llegar el líquido como una altura equivalente debido a estas pérdidas menores.

$$\sum h_{Total} = h_{Tuberia} + h_C + h_T + h_V \quad (3.18)$$

$$\sum h_{Total} = 0.07713 + 0.02987 + 0.01707 + 0.04741$$

$$\sum h_{Total} = 0.1715 [m]$$

Debido a que se trata de una tubería muy pequeña, la pérdida debido a estos accesorios es insignificante, pero de todos modos se incluye en el cálculo en la ecuación de la conservación de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \sum h_{Total} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.19)$$

En donde Z_1 y Z_2 , son la altura mínima y máxima, respectivamente, por lo que se obtiene que:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \sum h_{Total} + Z_2 - Z_1 \quad (3.20)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h_M = 0.1715 [m] + 3 [m] - 0 [m]$$

$$H_m = 3.1715 [m]$$

Para hallar la potencia de la bomba:

$$\mathbb{P} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta_B} \quad (3.21)$$

Dónde:

γ es la gravedad específica del fluido y es igual a:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3.22)$$

$$\gamma = 997.1 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \cdot 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$\gamma = 9781.55 \left[\frac{N}{m^3} \right]$$

Y η es la eficiencia de la bomba. Y para una bomba de diafragma de manera conservadora, se asume una eficiencia de 70%.

Por lo tanto, la potencia necesaria es:

$$\mathbb{P} = \frac{9781.55 [N/m^3] \cdot 0.000155 [m^3/s] \cdot 3.1715 [m]}{0.70}$$

$$\mathbb{P} = 6.869 [W]$$

$$\mathbb{P} = 9 \times 10^{-3} [hp]$$

Debido a que la potencia requerida por el sistema es demasiado baja, y la siguiente designación comercial para la bomba sería de 1/4 [hp] Se puede concluir que la bomba disponible de 1/4 [hp] abastecerá adecuadamente al sistema.

3.3.5. Análisis de pH

Otra parte importante para el análisis posterior en la parte de la programación, es la referente al pH al que debe llegar la solución jabonosa antes de que se mezcle con el asfalto. El pH de la solución es específico para cada tipo de emulsión que se produce y en la planta del Inga, este pH se encuentra especificado en tablas según la cantidad de ácido, y el tamaño del batch a producir.

Como regla general en la planta se hacen producciones de tipo batch, como se explicó en el capítulo 2, lo cual indica al operador que solo se producirá la emulsión en cantidades específicas, así como la solución se preparará de acuerdo con el lote a producir, es decir, se prepararán únicamente cantidades de un batch, 2/3 del batch o 1/3 del batch de emulsión. Esto significa que los tanques de solución trabajarán a su capacidad completa, a 2/3 de su capacidad o a 1/3 de su capacidad, por lo que la tabla de dosificación de ácido, según el pH que se desea es como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Cantidades de ácido según el tamaño del Batch

Tamaño del Batch	pH=1.8	pH=2.0	HCl
1	12 Kg	30 Kg	
2/3	8 Kg	20 Kg	
1/3	4 Kg	10 Kg	

Para que estas cantidades de ácido sean enviadas por la bomba hacia los tanques, hay que compararlas con el caudal de la bomba, en unidades similares, por lo que para este efecto, utilizando la densidad del ácido clorhídrico, se transforman los kilogramos de ácido, en litros.

$$\rho_{HCl@25^{\circ}C} = 1160[kg/m^3]$$

De la ecuación del volumen:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.23)$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3.24)$$

Para este ejemplo de cálculo se utilizará 1/3 de Batch y un pH de 2.0, lo que según la tabla 3.5 significa que se debe emplear 10[Kg] de HCl.

$$V = \frac{10[kg]}{1160[kg/m^3]}$$

$$V_{HCl} = 0.008621 [m^3]$$

Ya que la dosificación de la bomba está en unidades inglesas, se debe transformar el volumen a litros.

$$V_{HCl} = 0.008621 \{m^3\} \cdot \frac{1000[l]}{1\{m^3\}}$$

$$V_{HCl} = 8.621 [l]$$

Finalmente, lo que se pretende es determinar a través del volumen solicitado, un tiempo en el que la bomba debe funcionar para enviar la cantidad de ácido deseada al tanque.

Debido a que se cuenta con una bomba de membrana dosificadora regulable, el tornillo de regulación de la bomba se deberá colocar a 500 [LPH] litros por hora. Como se indica en el manual de operación en el ANEXO.

De este modo, y para este ejemplo, el tiempo de bombeo será determinado por una sencilla regla de tres como se explica a continuación.

$$\begin{array}{l} 500 [l] \rightarrow 3600 [s] \\ 8.621 [l] \rightarrow X \end{array} \quad (3.25)$$

Por lo tanto,

$$T_{Bombeo} = \frac{8.621 \cdot 3600}{500}$$

$$T_{Bombeo} = 62.069 [seg]$$

En este caso, el tiempo de bombeo es de 62 segundos y con la ayuda del PLC y la programación, como se explicará más adelante, se realizará la dosificación de ácido a los tanques.

3.3.6. Planos as-built

Los planos, realizados a manera de isométricos de construcción, se encuentran en el **ANEXO E** y obedecen a la nomenclatura de la Planta del Inga explicada en la sección 3.2 de este capítulo.

En los planos también se encuentran detalladas las listas de materiales y cortes de los mismos, así como sus conexiones.

CAPÍTULO 4:

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1. Estado de control inicial

Al inicio del proyecto, en la planta del Inga, el único dato de los niveles de los tanques era realizado por el operador. Quien debía subir al tope de los tanques y tomar el nivel de referencia entre la cara de la brida del cuello de ventilación del tanque y la superficie del asfalto, utilizando un flexómetro y su habilidad para determinar cuando éste llegue a topar la superficie del fluido.

En cuanto a las temperaturas, se utilizaban unas pantallas que mostraban los datos adquiridos de las termocuplas instaladas en las líneas o tanques relacionados con el proceso.

Figura 4.1. Cajas de control de la planta



En la figura 4.1, se puede observar a la izquierda, las pantallas de visualización para las temperaturas, así como los pulsadores que prenden y apagan las bombas conectadas en este sistema, además las cajas contienen en su interior transformadores de energía y variadores de velocidad para el molino de mezcla de un banco de pruebas externo.

Al momento del inicio del proyecto, el operador basaba sus cálculos para determinar los niveles de la materia prima, en una hoja de datos de Excel, que a su vez estaba vinculada a una tabla que contenía un factor de corrección de volumen de producto, a la cual no se tuvo acceso nunca, por lo que no se pudo comprobar la fuente de dónde provenía.

Las termocuplas no fueron correctamente identificadas, por lo que se desconocía si la lectura de las pantallas correspondía exactamente a las posiciones superior e inferior de los tanques.

El ácido clorhídrico era llevado a los tanques con la ayuda de un balde que a su vez era llenado con la ayuda de una balanza y eran los mismos operadores los encargados de realizar el proceso, ocasionando accidentes en más de una ocasión.

La planta entera de tratamiento de agua no estaba en funcionamiento, por lo que en un principio se propuso rehabilitarla, pero debido a que en análisis posteriores, en cuanto a la composición de las aguas residuales de proceso y en cuanto a la capacidad misma de la planta se determinó que lo más conveniente era un rediseño general de todo el sistema, entonces se decidió que sería un proyecto completamente aparte de éste.

4.2. Determinación del proceso de control y adquisición de datos

Partiendo de los elementos de control anteriormente descritos y las necesidades de la planta, se determinó que lo más adecuado era realizar el cambio de algunos elementos, así como la adquisición de sensores para poder obtener los niveles de los tanques sin que el operador deba exponerse a los vapores del asfalto, y la elaboración de un sistema de carga de ácido que no exponga directamente al operador a éste producto, así como la elaboración de un documento que permita que las líneas existentes, y las que se coloquen a futuro estén correctamente identificadas.

Para elaborar un sistema de medición de nivel en los tanques de asfalto se idearon varias soluciones, que incluían la utilización de un sistema de radar, el cual fue descartado por que la temperatura de operación en la materia prima puede superar los 150 °C y a la generación de vapores densos que permite que el equipo no funcione de manera adecuada.

Otra solución incluía balanzas de gran capacidad para los tanques, que constantemente midan el peso de los mismos, y éste sea registrado por un computador, es decir, un sistema similar al que se utiliza para el pesaje de los camiones. Este sistema es efectivo, pero demasiado costoso para los tanques, ya que el sistema de medición superaba incluso el de los tanques, sin mencionar que la planta, por su diseño, está expuesta a los elementos.

La solución más adecuada en este caso fue, utilizar el sistema de medición interno de los tanques, que consiste en un flotador soldado a un brazo, que a

través de una boquilla está unido a una aguja, la cual indica la posición del flotador en una especie regleta no graduada y que indica de manera referencial el nivel del tanque. Figura 4.2

Aprovechando el mecanismo, la idea consistía en colocar un sensor para que con el movimiento del eje y las tablas de calibración, se registre el nivel del tanque. Para lo cual, se decidió elaborar unas levas que varíen en función del movimiento del flotador y mediante un sensor capacitivo analógico, medir la cantidad de material aumentado en la leva⁷, así como un tope que a través de un sensor digital, indique si el tanque ya llegó a un límite de llenado y envíe una señal para apagar la bomba de carga de material.

Los sensores se colocarían en un PLC que permita recibir señales de tipo analógicas continuas, para la medición de nivel, y señales digitales (tipo On/Off) para los fines de carrera, es decir, los sensores que indicarían el máximo de los tanques. Así como salidas de tipo digital, para otros sistemas como el de carga de ácido o el control de la bomba de carga de asfalto.

Para que el operador pueda ver todas las señales, se decidió instalar un computador con un programa adecuado para dicho propósito, y que en principio podría enviar mensajes de texto con alertas a dos teléfonos móviles. Al analizar de manera más profunda la función de los mensajes de texto y el costo versus el beneficio que tendrían, se decidió optar por no enviarlos. En su lugar, se pretende que a través de un programa de escritorio remoto, se visualice lo mismo que el Inga en una estación de monitoreo en la planta principal.

Para obtener los datos en función de la masa de la materia prima, era necesario vincular el volumen del tanque, medido a través de la altura con la densidad del fluido, por lo que la temperatura del tanque debía ser tomada en cuenta. Para poder vincular a la temperatura con todo este sistema, era necesario que las termocuplas sean reemplazadas con otras que tengan la capacidad de conectarse con el computador para el cálculo de la masa y con

⁷ Toda la información de los sistemas mecánicos se encuentra en el capítulo 3

las pantallas para el uso del operador en producción. Por tal motivo, se decidió que esto se haría por medio de tarjetas de adquisición de datos.

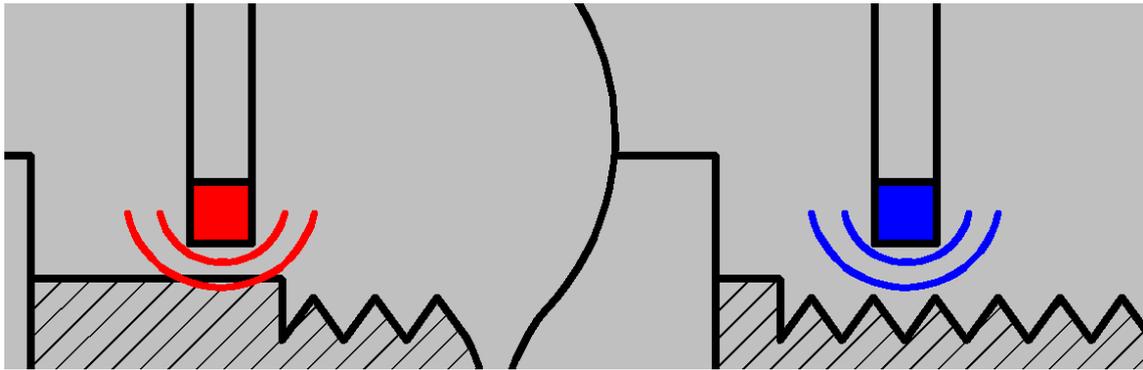
Figura 4.2. Instrumento de medición de nivel y tanque en construcción



Además de controlar el nivel de los tanques, es necesario que el sistema pueda determinar cuándo los tanques están por llenarse, antes de que ocurra un derrame y detenga la bomba de alimentación de los mismos. Para lo cual, es necesario contar con salidas digitales que activen o desactiven elementos como bombas.

Una de las dificultades que encuentra el operador es abrir y cerrar las válvulas de carga de producto. Verificarlas antes de encender la bomba es un trabajo tedioso, por lo que se instalarán unos sensores que verifiquen que las válvulas estén completamente abiertas, ya que se tiene una pequeña diferencia entre el diámetro del roscado y el diámetro de la parte sólida del eje de la válvula.

Figura 4.3. Esquema del uso del sensor para las válvulas superiores



En la figura 4.3 se puede ver que, al desplazarse el eje de la válvula hacia la izquierda (cuando se cierra), el sensor deja de recibir la señal de presencia de un objeto metálico, mientras que si el eje se mueve hacia la derecha (cuando se abre) el sensor detecta al eje y envía una señal que alerta que se ha abierto completamente la válvula.

Las señales de todos los equipos se enviarían al computador a través de un cable Ethernet⁸ o mediante puertos USB⁹ de ser posible, ya que son estándares relativamente conocidos en nuestro medio y que tienen un excelente funcionamiento, así como una buena capacidad para transmitir gran cantidad de datos.

Una vez que las señales lleguen a ser interpretadas por el computador y se las pueda visualizar para poder tomar decisiones, entonces se implementa el control de la planta. En este caso, y a futuro, se pretende llegar a tener un control por recetas, en donde el operador simplemente escoja que producto se va a producir y en qué cantidad, y con un click, la planta realice el proceso de producción de manera automática. En ese punto, el operador solo tendrá la función de monitoreo del proceso, y en el caso en el que sea necesario, intervendrá para corregir cualquier eventualidad. Este estado de automatización en el proceso, solo es posible con la inversión en cada uno de los componentes que en conjunto controlarán la planta.

⁸ Ethernet, es un medio físico y un estándar de comunicación para computadores.

⁹ BUS universal en serie, se trata de otro estándar de comunicación para computadores.

Debido a los altos costos de algunos componentes como electroválvulas y sus actuadores (aproximadamente \$6000 por una electroválvula de 4" con actuador), se ha optado por realizar en este proyecto los puntos mencionados en los objetivos, como una primera fase piloto para continuar con la automatización de la planta en el futuro.

El esquema de conexiones y de la ubicación de los elementos se encuentra en el **ANEXO F**.

4.3. Determinación de los elementos del sistema de control

Una vez definida la forma en la que se van a adquirir los datos, es necesario determinar ciertas características de los elementos que cumplirán con ese proceso. Se debe considerar las condiciones del medio donde los equipos van a trabajar, como temperatura y humedad, así como el contacto que pueden tener con los operadores o cualquier persona ajena a la planta.

4.3.1. Sensores

De acuerdo con las necesidades del proyecto, y las especificaciones en cuanto a su manipulación y el medio ambiente, se debe tomar en cuenta que los sensores deben ser relativamente robustos, por lo que la protección mínima aceptable es IP67.

El grado de protección IP es muy utilizado con frecuencia en los datos técnicos de los equipos eléctricos y electrónicos, y hace referencia al estándar internacional IEC 60529.

De esta manera, los sensores y equipos con protección **IP67** representan:

- Las letras **IP** identifican al estándar (del inglés: International Protection)
- El valor **6** en el primer dígito numérico describe el nivel de protección ante polvo, en este caso: *"El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia"*

- El valor **7** en el segundo dígito numérico describe el nivel de protección frente a líquidos (normalmente agua), en nuestro ejemplo: *"El objeto debe resistir (sin filtración alguna) la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos."*

De éste modo, el primer criterio, es que los sensores y equipos expuestos al clima cumplan con este estándar.

Debido a que la fuente de alimentación de los equipos electrónicos envía 24VDC, se debe tomar en cuenta que todos los equipos en su interior, o los que funcionen conectados a los de la caja, deben funcionar correctamente a este voltaje.

La utilidad del sensor o su aplicación es el criterio principal para su elección, que junto con el estándar de protección, las consideraciones anteriores y algunas preferencias sobre su marca, lo definirán completamente.

En cuanto a los sensores que funcionan como interruptores On/Off o fines de carrera, tomando en cuenta que actuarán frente a la presencia de un objeto metálico según la descripción del funcionamiento del sistema, entonces se decidió utilizar sensores inductivos mostrados en la figura 4.4, que presentan ventajas adicionales como:

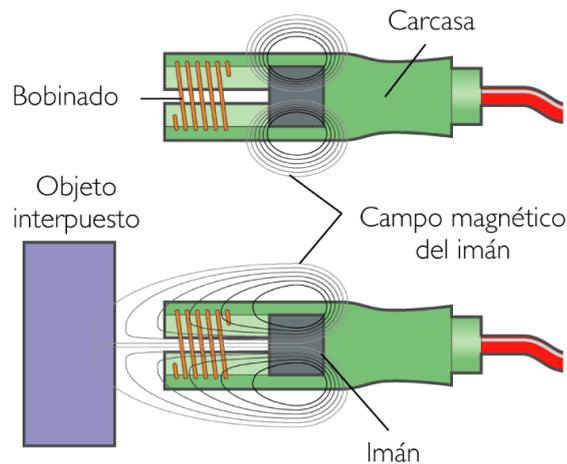
- No poseen parte móviles
- Precisión en cortos rangos
- Facilidad en la conexión y montaje

Este tipo de sensores, que envían una respuesta si existe material metálico frente a ellos, son de tipo digital, ya que al detectar al metal, envían un pulso de ente 15 y 24 VDC que el PLC interpreta como "On".

En cuanto a la dimensión de los sensores, diámetro en este caso, ya que por facilidad de montaje y de maquinado en las partes donde se colocarán, se ha escogido que tengan forma cilíndrica. Se debe tomar en cuenta el tamaño de los objetos que van a medir.

En la parte superior, la parte que puede identificar si la válvula se encuentra abierta o cerrada, posee 10 [mm], por lo que el diámetro recomendado del sensor es de 8 a 10 [mm], ya que se recomienda que el área de material interpuesto sea mayor al sensor, debido a sus características de funcionamiento.

Figura 4.4. Campo magnético en un sensor inductivo



Fuente: (Kalipedia, 2013)

En cuanto al sensor que se necesita para que indique el nivel máximo del tanque, se necesita que su diámetro sea de 18 a 20 [mm], ya que el disco metálico adjunto a la leva que indicará el máximo del tanque, tiene un diámetro de 20 [mm].

Para la medición del material de la leva, se necesitan sensores de características similares a los anteriores pero que no solo sean capaces de enviar un pulso en la presencia del metal, sino que a través de una salida de corriente o voltaje o ambas, sean capaces de definir de manera cuantitativa la cantidad de metal frente a ellos. Esto se logra con sensores de tipo analógico, que en un rango de medición establecido por el fabricante, determinan la proximidad del metal en un determinado número de unidades.

Por facilidad de montaje, estos sensores serán también de tipo cilíndrico, y su diámetro también será de 18 a 20 [mm], ya que la leva tiene por espesor 20 [mm].

Una vez definidas las características de los sensores, entonces se puede hacer una tabla con las mismas.

Tabla 4.1. Requerimiento de los sensores

Sensor	Protección	Voltaje (alimentación)	TIPO	Diámetro	Marca
Valvulas	IP 67	24 VDC	On/Off	8-10 [mm]	Festo
Máximos	IP 67	24 VDC	On/Off	18-20 [mm]	Festo
Levas	IP 67	24 VDC	Analogico	18-20 [mm]	Festo

De acuerdo con los requerimientos enviados a nuestro proveedor, se aprobó la adquisición de los siguientes sensores:

Tabla 4.2. Características de los sensores

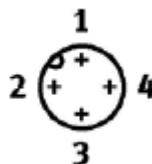
Uso	Sensor	Protección	Voltaje (entrada)	Tipo	Voltaje (Salida)
1 Válvulas	IME08-1B5PSZT0S	IP67	15-30 VDC	Interruptor	24 [V]
2 Máximos	IME18-05BPSZC0S	IP67	15-30 VDC	Interruptor	24 [V]
3 Levas	M18B-UI-S	IP67	15-30 VDC	Analógico	0-10 [V]

Tabla 4.2. (Continuación) Características de los sensores

	Amperaje (salida)	Diámetro	Marca
1	-	8 [mm]	SICK
2	-	18 [mm]	SICK
3	4-20 [mA]	18 [mm]	FESTO

Todos los sensores adquiridos tienen el mismo esquema de conexión,

Figura 4.5. Esquema de conexión de sensores



En donde la entrada 1 corresponde a 0V. La número 3 a 24V. La número 4 es la salida de Voltaje, y la número 3 es la salida de amperaje para los sensores analógicos.

Figura 4. 6. Sensores listos para colocarse



4.3.2. RTD (termocuplas)

Las RTD o detectores de temperatura resistivos (en inglés resistance temperatur detector) o termocuplas que se adquirieron, son para la medición de la temperatura del asfalto en las boquillas de los tanques previstas para este efecto.

En un principio se pretendía que la señal de las termocuplas se repartiera entre las tarjetas de adquisición de datos y los displays antiguos de visualización, por lo que se buscaron termocuplas que tengan la capacidad de dar dos señales, como se indica en la figura 4.7. Durante el transcurso del proyecto, se decidió que se podía instalar una pequeña pantalla HMI en donde se pueden visualizar las temperaturas y otros datos, por lo que la señal duplicada quedó como una posibilidad en caso de mantenimiento del sistema o si se tiene problemas con la principal.

Figura 4.7. Termocupla con señales a la izquierda y derecha



El tipo de termocuplas a colocarse en esta aplicación son PT100, ya que antes de colocar este nuevo sistema se tenía termocuplas de señal sencilla del mismo tipo.

Las PT100 se llaman así porque son de platino y su resistencia a 0°C es de 100[Ω]. Entre las ventajas de estas RTD se tiene:

- Mayor margen de temperatura
- Alta linealidad
- Rápida respuesta

La otra característica de estas RTD, es que están cubiertas por una sonda que llega a entrar en el asfalto 5[cm] y proporciona cierta protección a la sonda ya que si estuviera flotando en el material podría desprenderse o dañarse fácilmente. Figura 4.8

Figura 4.8. PT100 en la sonda

4.3.3. Actuadores

Los actuadores, son elementos capaces de transformar una señal eléctrica, en otra mecánica, hidráulica, neumática u otra que haga que un determinado equipo se active o funcione.

En el caso de la planta del Inga, es posible que algunos elementos se puedan mover de manera automática, o semiautomática de acuerdo con su función, los elementos susceptibles de controlar desde el computador son principalmente válvulas y bombas.

En cuanto a las válvulas, existen varios tipos de actuadores que se las puede adaptar, dependiendo básicamente de la forma en las que se abran o se cierren, es decir, las vueltas que debe dar el volante de la válvula para que ésta funcione, y si se necesita que las válvulas se abran parcialmente o si éstas serán abiertas o cerradas completamente. De manera general, todas las válvulas de la planta funcionan total o completamente abiertas, por lo que los actuadores más recomendados son los que permitan que la válvula gire completamente. En teoría todas las válvulas pueden ser convertidas en electroválvulas (figura 4.9), y de este modo ser controladas, por un proceso automático desde un computador o PLC que les diga cuándo abrirse o cerrarse, dependiendo de la situación y producto a fabricarse.

Figura 4.9. Electroválvula

Fuente: (direct industry, 2013)

El problema con estos componentes es que su precio es elevado con respecto al servicio que van a brindar en la planta del Inga, y si bien es cierto que todas las válvulas pueden funcionar de este modo, sería un gasto innecesario que por ejemplo, las válvulas en las tuberías de agua funcionen de este modo, ya que la misma función la puede realizar un operador sin perder mucho tiempo. Las válvulas que podrían funcionar como electroválvulas son aquellas que están ubicadas en los tanques de asfalto y solución jabonosa, pero debido a que una electroválvula puede costar cerca de \$6000 y dado que no se pretende llegar aun al nivel de automatización en donde la producción sea automática, entonces no se recomienda la compra de estos actuadores.

Los actuadores que corresponden a las bombas de la planta son de tipo On/Off o interruptores, en este caso, relés que encienden o apagan las bombas.

Los relés con sencillos de utilizar y pueden funcionar con una señal de voltaje baja como 24VDC para encenderse y de este modo manejar voltajes mucho más altos. El costo de un relé es relativamente bajo (\$20), por lo que estos elementos se utilizarán para apagar la bomba de descarga de asfalto cuando alguno de los tanques esté lleno, y para encender y apagar la bomba de descarga de ácido clorhídrico.

4.3.4. Cables y accesorios

Los cables que transportarán energía y datos desde la caja de control hasta los sensores, son muy importantes, y deben prevenir que los elementos tengan errores en su medición debido a la presencia de ruido ocasionado por equipos como motores. Para evitar eso se pidió que los cables sean apantallados, es decir, que tengan una capa a manera de malla metálica que evita que las señales de los elementos se contaminen, en su interior tienen varios cables para el uso de los sensores llamados comúnmente hilos. Además los cables poseen características de flexibilidad y resistencia óptimas para este tipo de aplicaciones.

Los cables son de origen alemán de marca Igus, y el modelo de los mismos es Chainflex CF130 y Chainflex CF140, para las aplicaciones que requieran tres cables internos de conexión y para las que requieran de seis respectivamente.

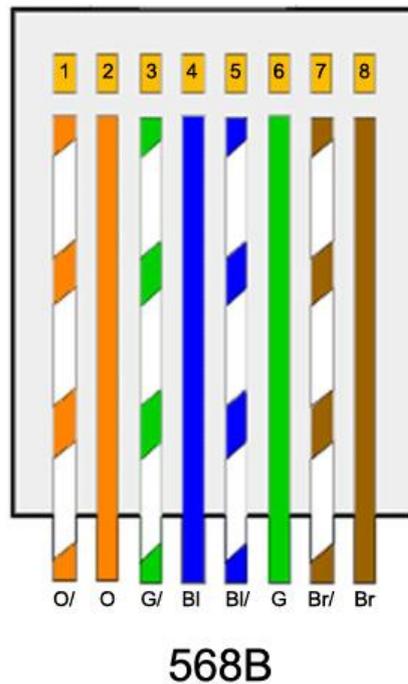
Figura 4.10. Conector angular



Por otra parte, los accesorios que conectan a los cables de conexión con los sensores, se llaman conectores angulares y lo que hacen es permitir que a través de pernos, los cables se entorchen y conecten en el orden que se

requiera para que así se conecten y enrosquen con los sensores de modo que no se necesite mover los sensores de sus posiciones para revisar el cableado. Estos conectores permiten conexiones rápidas con los sensores y además evitan la filtración de polvo y agua desde el cableado.

Figura 4.11. Cable Ethernet punchado tipo 568B



Fuente: (practicallynetworked, 2013)

En cuanto a los cables de señal tipo Ethernet, se utilizan en toda la aplicación con un punchado cruzado de tipo 568B. Como se muestra en la figura 4.11

4.3.5. Pantalla HMI

La pantalla HMI 450 marca BrainChild de 4.3 [in] fue adquirida para reemplazar las funciones de visualización de los displays antiguos que tenían las termocuplas. Y debido a que ofrece muchas más opciones, entonces se

decidió colocar opciones para la visualización de niveles y temperaturas, entre otras.

La pantalla HMI (figura. 4.12) es sensible a la presión, por lo que el operador puede entrar a menús y opciones con el tacto, además de que está diseñada para uso industrial, por lo que tiene la capacidad de permanecer encendida las 24 horas.

Figura 4.12. Pantalla HMI instalada



La pantalla recibe alimentación de la fuente de 24VDC y su comunicación con la red de datos, se hace mediante cable Ethernet, debido a que ésta y las tarjetas de adquisición de datos son de la misma marca, y el convertidor de señales tiene facilidad para funcionar de manera adecuada con estos equipos, mientras que con el PLC funciona bien en la lectura de datos.

Como este equipo funciona en la red Ethernet de la planta, se debe conocer su dirección fija para poder enviar datos o verificar su estado. La dirección IP de la pantalla es:

192.168.7.113

4.3.6. Controladores o elementos de adquisición de datos

Para poder conectar todos los elementos es necesario poseer equipos compatibles unos con otros y que tengan la capacidad de transmitir y recibir datos en la misma red. En este proyecto se ha decidido que la parte de adquisición de datos de las termocuplas se la realice a través de tarjetas para la adquisición de datos (DAQ), mientras que el control de ciertos elementos como los relés, y la lectura de los sensores analógicos se lo realiza a través de un PLC, estos elementos se encuentran detallados en los subcapítulos siguientes.

4.4. PLC Wago

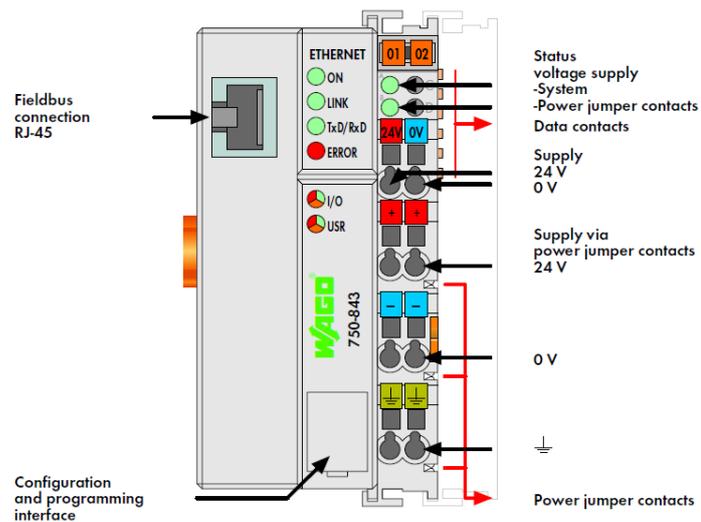
El PLC marca Wago, modelo 750-843 de fabricación alemana, fue escogido para realizar tareas de control y adquisición de datos, así como conversiones matemáticas y lógicas utilizando los datos disponibles a través de su programación, principalmente con el objetivo de hallar el nivel de los tanques de asfalto y de controlar a la bomba que realiza la carga de ácido.

La alimentación de este PLC es de 24VDC y posee una conexión vía Ethernet con los otros equipos. La capacidad de memoria supera los 100 [MB] y su uso es industrial por lo que puede permanecer encendido las 24 horas.

Este PLC posee la gran ventaja de ser modular, lo que significa que de acuerdo con las necesidades de la planta puede crecer con sus distintos módulos de acuerdo a su capacidad. Este equipo soporta hasta 64 módulos, que varían desde módulos comunes, como aquellos que envían señales digitales, hasta módulos especiales, que inclusive permiten enviar mensajes de texto a teléfonos celulares.

De acuerdo con los requerimientos del proyecto, solo se necesitan módulos que sean capaces de adquirir señales digitales y analógicas para los sensores, y enviar señales digitales para controlar los relés que encienden las bombas.

Figura 4.13. Descripción grafica del PLC



Fuente: (Wago Catalog, 2013)

En la figura 4.13, se puede ver una imagen tomada del folleto informativo del PLC, en la que se indica cómo se deben utilizar cada uno de los puertos de entrada. Se puede ver una conexión a Ethernet, y un cable especial para programación, e inclusive, en dónde van las conexiones de alimentación de energía. En el caso del PLC 750-843 de Wago, la conexión de energía desde la fuente se hace solo en el PLC ya que ésta se transmitirá a los otros módulos por medio de su propio sistema interno con “power jumper contacts”¹⁰.

En cuanto a los datos que deben enviarse, (entiéndase por datos en este caso, a las señales de los sensores), éstos viajan por medio de los “data contacts”¹¹ o el bus de información interna del PLC.

4.4.1. Módulo tipo 750-504

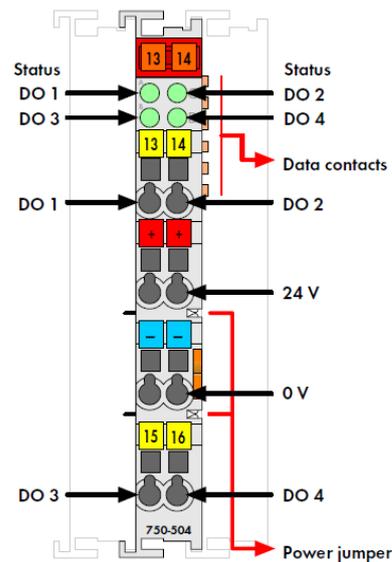
Este módulo pertenece a la serie 750 de Wago y sirve para que se conecten a él salidas digitales.

¹⁰ Contactos que envían energía a los otros módulos

¹¹ Contactos por donde viajan las señales que llegan a los módulos (bus de datos)

Al funcionar en la serie 750, entonces su alimentación de energía y traslado de datos, se hace mediante los conectores internos que posee cada módulo. De la misma manera su uso es industrial y puede estar activo las 24 horas.

Figura 4.14. Descripción gráfica del módulo 750-504



Fuente: (Wago Catalog, 2013)

En la figura 4.14, se puede observar un gráfico que indica las funciones de cada uno de los puertos. Este módulo posee cuatro salidas digitales, y a su vez cuatro luces, que al ponerse en color verde indican qué salida está funcionando. En la parte media del módulo se encuentran puertos para alimentación de energía para los elementos que funcionen con él y que por lo general se trata de relés o actuadores que funcionen con 24VDC.

En la planta de emulsiones asfálticas se poseen dos módulos de este tipo, lo que da la posibilidad de manejar un total de ocho salidas digitales.

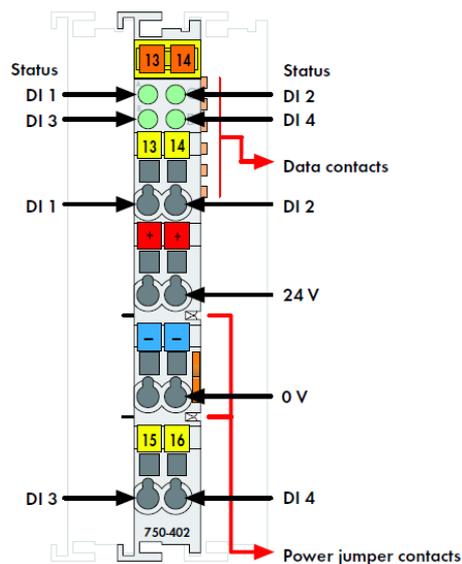
4.4.2. Módulo tipo 750-402

Este módulo de la serie 750 de Wago, sirve como entrada de señales digitales, es decir, registra cuando un sensor, generalmente de fin de carrera,

se ha activado o en este caso cuando se ha llegado a detectar el máximo nivel de un tanque.

Al funcionar en la serie 750, entonces su alimentación de energía y traslado de datos se hace mediante los conectores internos, que posee cada módulo. De la misma manera su uso es industrial y puede estar activo las 24 horas.

Figura 4.15. Descripción gráfica del módulo 750-402



Fuente: (Wago Catalog, 2013)

En la figura 4.15, se puede observar un gráfico que indica las funciones de cada uno de los puertos. Este módulo posee cuatro entradas digitales, y a su vez cuatro luces, que al ponerse en color verde indican que la entrada está activa.

En la parte media del módulo se encuentran puertos para alimentación de energía para los elementos que funcionen con él y que por lo general, se trata de sensores.

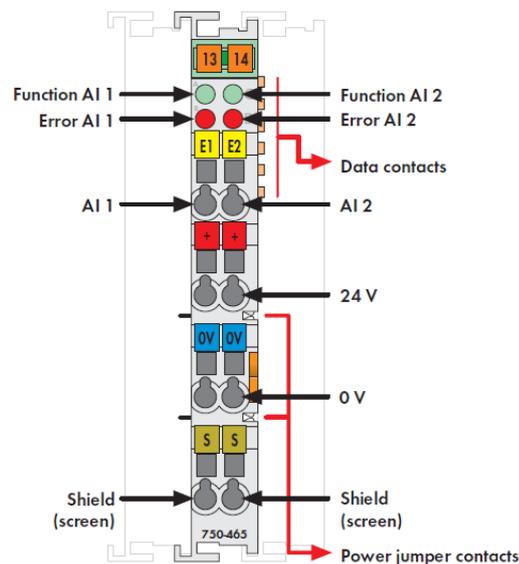
En la planta de emulsiones asfálticas se cuenta con un módulo de este tipo, lo que da la posibilidad de manejar un total de cuatro entradas digitales.

4.4.3. Módulo tipo 750-466

Este módulo, que pertenece a la serie 750 de Wago, es para el ingreso de señales analógicas, como las que provienen de sensores capaces de medir distancia.

Al funcionar en la serie 750, entonces su alimentación de energía y traslado de datos, se hace mediante los conectores internos que posee cada módulo. De la misma manera su uso es industrial y puede estar activo las 24 horas.

Figura 4.16. Descripción gráfica del módulo 750-466



Fuente: (Wago Catalog, 2013)

En la figura 4.16 se puede observar un gráfico que indica las funciones de cada uno de los puertos. Este módulo posee dos entradas digitales, y a su vez cuatro luces indicadoras, que muestran el estado de cada entrada según el gráfico, al ponerse en rojo las luces indican que no está conectada ninguna entrada, o que existe algún error en el sensor. Mientras que si están en color verde indica que los sensores están correctamente conectados y funcionando.

En la parte media del módulo, se encuentran puertos para alimentación de energía para los elementos que funcionen con él y que por lo general se trata de sensores.

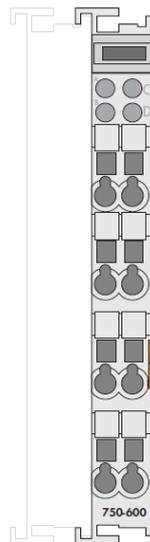
En la planta de emulsiones asfálticas se pose dos módulos de este tipo, lo que da la posibilidad de manejar un total de cuatro entradas analógicas.

4.4.4. Módulo tipo 750-600

Este módulo pertenece a la serie 750 de Wago y su función es la de indicar el fin de los módulos conectados, es decir, le indica al PLC que el módulo anterior a éste es el último que debe registrar.

El módulo final 750-600 completa el circuito interno de dato, y asegura el flujo correcto de información.

Figura 4.17. Descripción gráfica del módulo 750-600



Fuente: (Wago Catalog, 2013)

Como se puede observar en la figura 4.17, el módulo no presenta ninguna conexión a ningún sensor o elemento, ya que no tiene otras funciones, sin embargo éste tiene un diseño similar al de los anteriores.

4.4.5. Comunicación

La comunicación de todo este ensamble, se realiza en el módulo 750-843, a través de un cable Ethernet y funciona una vez que el sistema se encuentre energizado.

Al principio, se debe acceder a través de cualquier navegador colocando la dirección IP¹² que viene por default en el equipo y que puede modificarse para asignar la dirección IP deseada. En este caso, el PLC y sus módulos son accesibles desde cualquier buscador de internet que esté en la red de los equipos de la planta del Inga o a través del comando “ping” en el command prompt de cualquier computador con Windows.

En cualquiera de los casos la dirección IP fija asignada a ese equipo es:

192.168.7.35

4.5. Convertidor de señal BrainChild tipo Modbus TCP

Esta unidad permite convertir las señales de un dispositivo serie RS-485¹³ a una red Ethernet para que, desde un computador se pueda visualizarlos o controlarlos. En este caso, los equipos conectados son las tarjetas de adquisición de datos que funcionan en la red RS-485.

Este dispositivo es de marca BrainChild y su alimentación es de 24VDC, es de uso industrial y puede permanecer encendido las 24 horas.

¹² Dirección IP es una etiqueta numérica que identifica a un interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP.

¹³ Es un estándar de comunicaciones en bus de datos.

Figura 4.18. Convertidor de señal



Fuente: (BrainChild, 2013)

El sistema del convertidor y las tarjetas de adquisición de datos, en cierto modo es muy similar al del PLC, en el sentido en que se pueden conectar varios módulos a la red y que se los puede visualizar y controlar, pero en este caso, no se puede descargar ningún programa en el convertidor, sino que cualquier función se debe realizar siempre desde el computador.

4.5.1. Tarjetas de adquisición de datos tipo IO BrainChild

Las tarjetas de adquisición de datos de marca BrainChild, modelo DAIO, son las responsables de tomar los datos de las PT100 instaladas en los tanques.

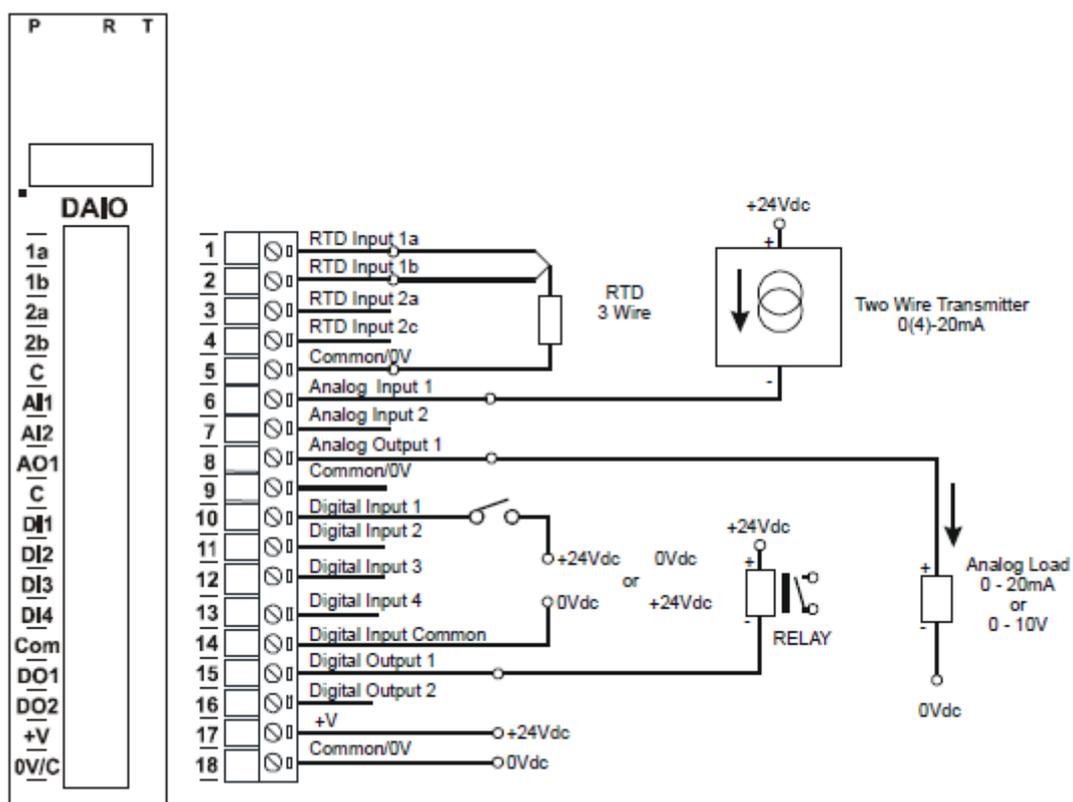
Además de la función de lectura de termocuplas, estas tarjetas poseen salidas analógicas y digitales, así como entradas analógicas y digitales. En términos de funcionalidad son las más versátiles de toda la gama que ofrece BrainChild. Para aprovechar de mejor manera la funcionalidad de estas tarjetas, se ha instalado también aquí, a modo de entrada digital, a la señal que dan los sensores que identifican si se han abierto las válvulas superiores.

Figura 4. 19. Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: (BrainChild, 2013)

Figura 4.20. Esquema de conexiones



Fuente: (BrainChild, 2013)

Estos equipos funcionan con una alimentación de 24VDC y sus datos se transmiten a través de una red RS485, que por medio del convertidor de señal, llega al computador vía Ethernet e igual que el resto de equipos, son de uso industrial y pueden permanecer encendidas las 24 horas.

En las figuras 4.19 y 4.20 se puede observar la forma de las tarjetas y su esquema de conexiones respectivamente.

Como se puede observar en la figura 4.20, cada tarjeta posee 2 entradas para RTDs lo cual implica que, será necesario tener una por cada tanque, así que en la planta del Inga se tiene en total tres tarjetas de este tipo, con un total de seis entradas para las RTD.

4.5.2. Comunicación

La comunicación de las tarjetas y el convertidor de señal, se realiza a través de la red RS486, y como no se tiene un módulo final que indique, como en el caso del PLC, cuál es el último elemento, el fabricante recomienda que se coloque una resistencia de 120Ω . Lo cual resulta de mucha importancia porque reduce significativamente el tiempo de respuesta de los elementos conectados en la red.

Una vez que todos los elementos se encuentren energizados, la conexión vía Ethernet se la puede realizar a través de cualquier navegador con la dirección de default del equipo, y así configurar los parámetros que se necesite e inclusive asignarle una nueva dirección. En el caso del convertidor de señal, su dirección IP fija es:

192.168.7.112

4.6. Instalación de los equipos del sistema de control

Todos los equipos fueron instalados como corresponde según su función. Los elementos, como el PLC y sus módulos, así como el convertidor de señal y las tarjetas adquisición de datos, se encuentran montados en una caja metálica

o gabinete ubicado en la sala de control de la planta, por lo que se encuentran protegidos del medio ambiente y de la manipulación indebida.

Los sensores que están relacionados con la medición de nivel, se encuentran en cajas diseñadas para este propósito y cuya información se encuentra detallada en el capítulo 3.

El cableado ha sido tendido de manera ordenada, y se ha codificado cada cable de acuerdo con los tanques a los que pertenecen.

Una vez que los equipos fueron instalados, se procedió a su verificación por parte del proveedor, quien comprobó que en efecto se encontraban funcionando mediante un instrumento específicamente diseñado para este propósito.

4.7. Esquemas de conexión

La información que respecta a los esquemas de conexión de los elementos y específicamente a la forma en la que se conectan los sensores con las tarjetas o módulos, y cómo éstos se conectan entre sí, se encuentra en el ANEXO F.

CAPÍTULO 5:

DESARROLLO DE LA INTERFACE

5.1. Selección de la interfaz

Para la visualización de los datos que se van a obtener de los diferentes sensores instalados, se tienen muchas opciones. Existen programas muy básicos que vienen incluidos en los paquetes de los mismos componentes, como es el caso de Real Time Viewer¹⁴ o el paquete de visualización de Wago para su PLC, entre otros. Si bien es cierto que estos paquetes pueden ser relativamente económicos, muchas de la ocasiones resulta que únicamente son compatibles con los quipos de la misma marca. Este tipo de programas no proporcionan mucha funcionalidad, en el sentido de que, no se pueden

¹⁴ Software de visualización para los componentes BrainChild

configurar sus lecturas para que el operador pueda observar directamente de donde se obtienen los datos, o a que parte del proceso está representado.

Para poder integrar varios equipos de diferentes fabricantes en una misma interfaz, en donde el operador fácilmente pueda visualizar los elementos que necesita, de modo que aporte al proceso productivo y que además, no abrume al operador, con información innecesaria en muchas de las ocasiones, es necesario que se cuente con una interfaz capaz de relacionar a todos estos elementos en una o varias pantallas.

Existen varios proveedores en el mercado ecuatoriano que ofrecen este tipo de interfaces. Entre los más conocidos se encuentra Labview, que es un software de National Instruments, con el que comúnmente se trabaja en el ámbito académico. Labview posee la ventaja de ser un entorno gráfico, configurable y con muchas posibilidades en la investigación científica y de ingeniería, pero no es comúnmente utilizado en la industria, en donde son los operadores quienes tienen que revisar datos de temperatura y niveles, o cualquier otro dato que se obtenga del proceso. Debido a que Labview trabaja en el mismo entorno en donde se desarrolla y visualiza, existe la posibilidad de que la persona que tiene acceso a visualizar los datos, también pueda modificar el programa. Dada la naturaleza curiosa de las personas, no resulta factible implementar este tipo de interfaz en una planta sin una persona que preste mantenimiento constante, por lo que no se lo consideró como una opción desde el principio.

Por otro lado, InTouch, un software de Wonderware, que fue concebido específicamente para aplicaciones industriales, tiene mucha acogida en las plantas de procesos en el país, ya que el entorno de desarrollo y visualización es distinto y su entorno de programación es gráfico y amigable con el usuario, por lo que se decidió que la interfaz sería desarrollada en este programa en un computador que estará permanentemente encendido en la planta.

En cuanto a la pantalla HMI, su interfaz se desarrolla en el software de la misma pantalla.

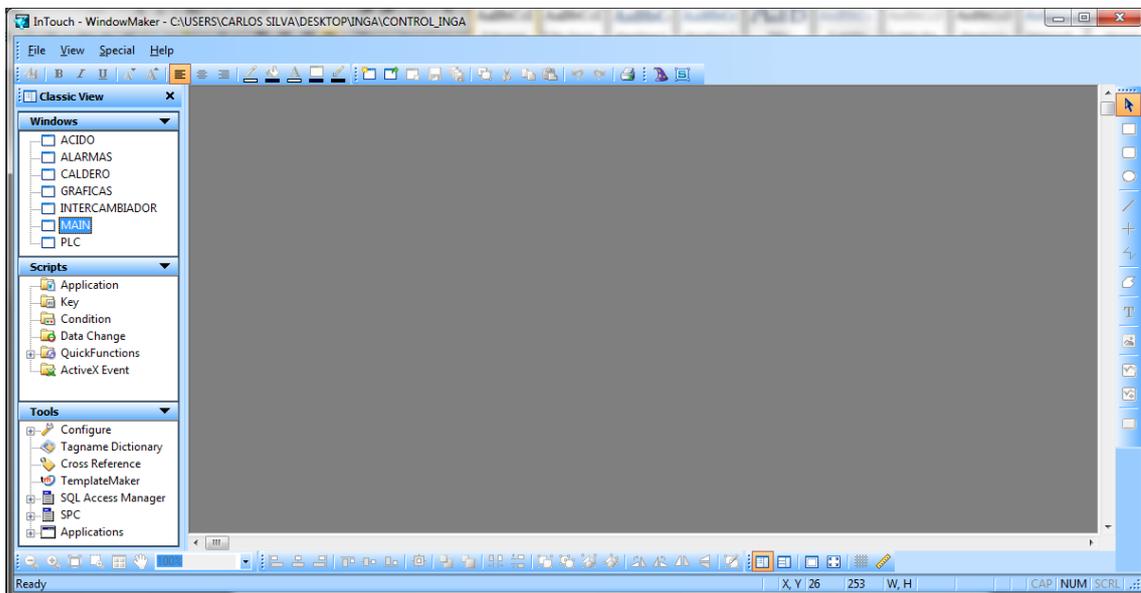
5.2. Intouch

Este software de Wonderware, de gran aceptación en la industria, tiene la capacidad de monitorear y controlar gran variedad de procesos y conectarse con equipos de diferentes proveedores, utilizando los protocolos de comunicación apropiados.

Dicho software ha sido escogido para que en él se desarrolle la interfaz de la planta de emulsiones asfálticas del Inga.

En este software, el desarrollo se lo realiza en un entorno gráfico llamado "WindowMaker" (figura 5.1), el cual posee características como la inserción de gráficos y símbolos que pueden ser animados y hasta cierto punto, completamente configurables, debido a que los gráficos avanzados dependen de una función llamada "Achestra" que se vende para tal propósito pero a un costo adicional. InTouch cuenta también, con la capacidad de conectarse con distintos módulos y permite realizar subprogramas.

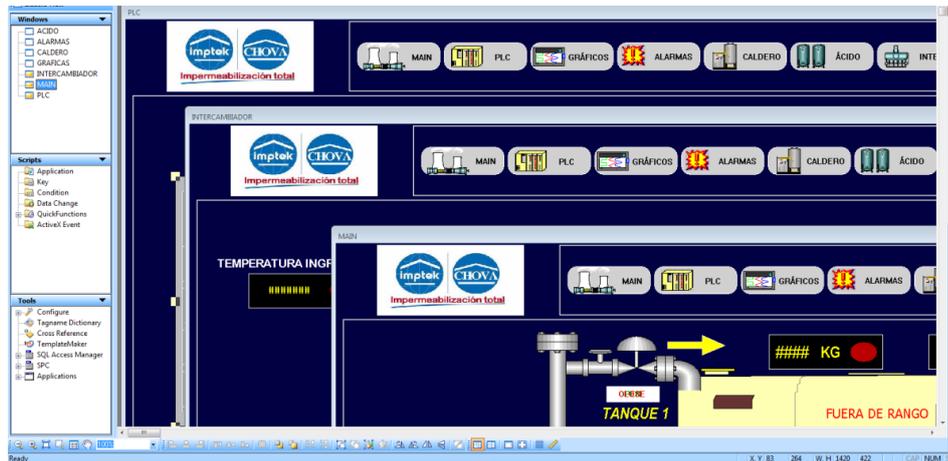
Figura 5.1. Entorno WindowMaker



Una vez que se ha generado un proyecto en el WindowMaker, se pueden crear y configurar distintos entornos de visualización e interacción con el

operador, lo que por lo general, implica la creación de varias ventanas (figura 5.2) a las que el operador puede acceder según sus necesidades en el proceso.

Figura 5.2. Ventanas en WindowMaker



Para la creación de una ventana, es importante tener conocimiento de la resolución o el tamaño de la pantalla en donde se va a ejecutar la aplicación, debido a que, dicha información se utiliza para definir el tamaño de las ventanas y por lo tanto la cantidad de información que pueden contener en función de crear un espacio que sea armonioso para la visualización.

Las ventanas deben tener contenidos relacionados, de tal manera que si el operador debe trabajar en un proceso, de preferencia exista una sola ventana que le brinde todos los recursos que necesite. La información en las ventanas, se crea a manera de íconos, botones, cuadros de texto, e imágenes o gráficos predeterminados del programa, para tratar de simular de manera comprensible y clara el proceso productivo.

Para que los elementos de información de cualquier tipo estén relacionados con los elementos de control, se necesita saber en dónde se encuentran estos elementos o como se puede acceder a ellos. Si bien es cierto que cada elemento mencionado en el capítulo cuatro tiene su dirección IP fija, eso solo le indica al computador en la red, la forma en que se puede localizar a cada

componente y a donde se debe apuntar si quiere llamarlo. Del mismo modo, para que InTouch reconozca a los elementos, es necesario que sepa dónde y cómo ubicarlos dentro de la red, lo cual se logra cuando se los declara como “Acces Names” dentro del programa, esta función se explicará más adelante.

Además hay que tomar en cuenta que cada uno de los elementos de control, como el PLC o el convertidor, tiene como subelementos a los sensores o actuadores y que a ellos también se los debe reconocer con un nombre y dirección específica, para lo cual se deben configurar los llamados “Tagnames”, lo que se explicará más adelante en este capítulo.

Figura 5.3. Función de llenado de un tanque



Una vez que se ha definido completamente el Tag¹⁵, con todos los atributos necesarios, entonces se puede tener acceso a él para el fin que se requiera; por ejemplo, se puede definir un Tag para la lectura de una temperatura u otro para activar un relé o una electroválvula. En el caso de esta aplicación, se han definido Tags para diversas funciones y se han asociado a los gráficos para que el usuario los pueda relacionar con referencias visuales, como luces de alerta o el llenado de un recipiente.

¹⁵ Tag o Tagname, conjunto de datos, que definen una dirección específica de un elemento o dato dentro de la red.

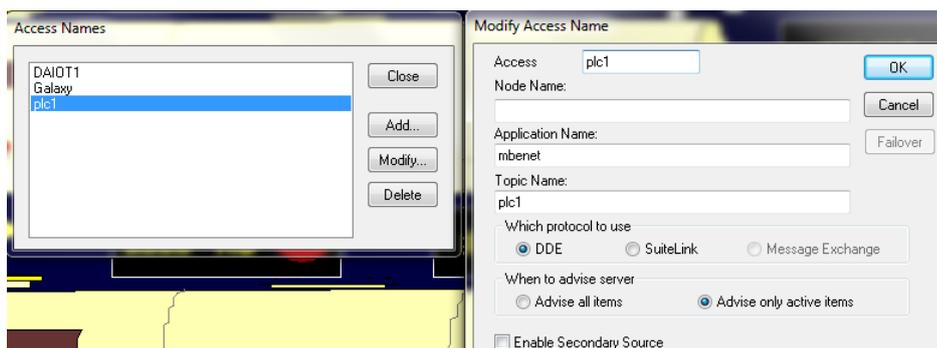
Para asignar una función a un objeto, como el parpadeo del mismo en señal de alerta, o que éste se llene de acuerdo a un determinado nivel, se hace doble clic sobre el mismo y se ingresa al menú de opciones de animación del objeto, en donde se tienen muchas opciones, e inclusive se puede asignar o comparar uno o más Tags. Se debe tener en cuenta, que los objetos deben tener una función de acuerdo con su naturaleza, es decir, si se va a asignar a un objeto, un valor mediante un Tag, entonces dicho objeto debería ser una cadena de tipo “###” para que se despliegue ahí el valor. Si se trata de un porcentaje de llenado, el objeto debe ser un recipiente o tanque o algo análogo con la función que va a realizar. Figura 5.3

5.2.1. Access names y DDE

Los Access Names (nombres de acceso en español), son las identificaciones que se otorga a cada equipo para que InTouch pueda identificarlo y generar una ruta a través de la red para poder comunicarse con los equipos en cuestión.

Al definir un Access Name, se deben tener en cuenta algunos parámetros. Lo primero es el nombre con el que se va a reconocer al dispositivo, el cual debe identificarlo fácilmente, el número del nodo, en el caso en el que se declare más de una vez el mismo dispositivo. El nombre de la aplicación con la que el equipo tendrá acceso, en este punto cabe recalcar que este tipo de aplicaciones son externas a InTouch, básicamente desarrolladas por Microsoft, para funcionar en Windows y lo que hacen es permitir que el computador tenga acceso a los dispositivos y pueda intercambiar información entre él y otras aplicaciones que estén funcionando, como en este caso InTouch.

Figura 5. 4. Access Names



En la parte inferior se selecciona qué protocolo se desea usar, se pueden escoger entre dos protocolos.

El protocolo llamado DDE (Dynamic Data Exchange), fue desarrollado por Microsoft para funcionar en Windows, y permite el intercambio de información entre las aplicaciones del computador y un equipo conectado a su red Ethernet, genera una relación de cliente-servidor entre dos aplicaciones que se encuentran ejecutándose simultáneamente.

El protocolo SuiteLink, fue diseñado específicamente para cumplir con especificaciones industriales de comunicación y sólo funciona con Windows 2000, Windows 2003 y Windows XP.

Tabla 5.1. Ejemplo de DDE para el PLC

InTouch	MW	Brainchild
12288	0	12289
12289	1	12290
12290	2	12291
12291	3	12292
12292	4	12293
12293	5	12294
12294	6	12295
12295	7	12296
12296	8	12297
12297	9	12298
12298	10	12299

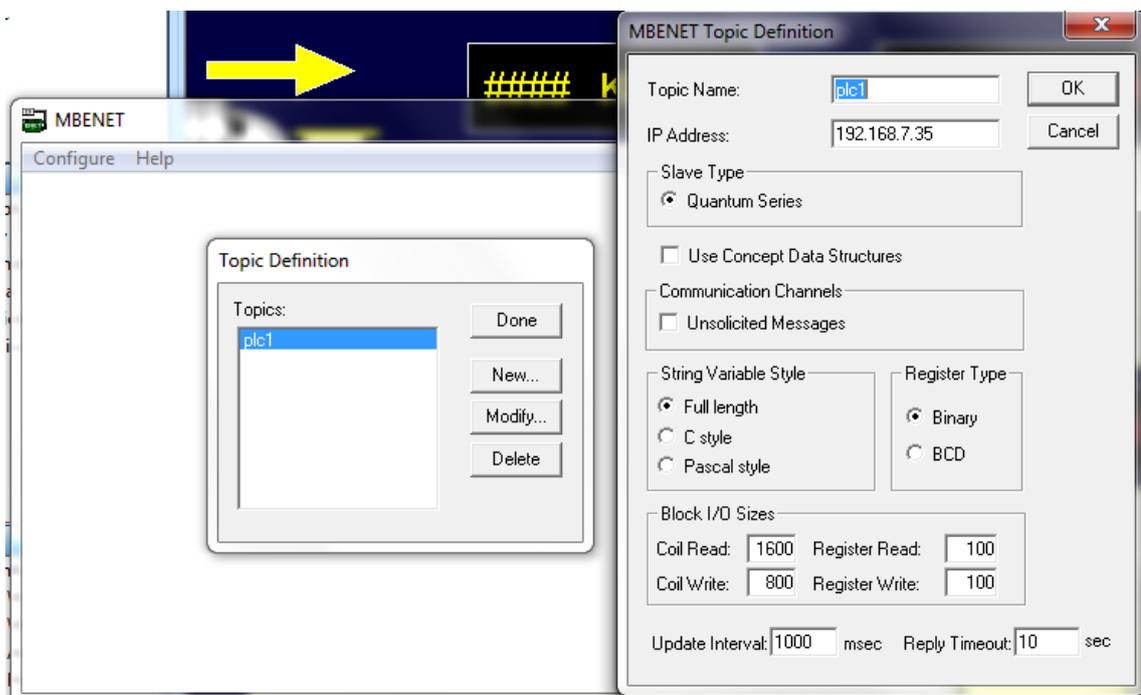
Para esta aplicación se utilizara DDE. El cual tiene una forma de llamar a los elementos de cada equipo de manera diferente, dependiendo de su fabricante. En el caso del PLC Wago, la nomenclatura para este tipo de comunicación, se encuentra en su manual en la pág. 166., y también en el **Anexo G**. Se muestra un ejemplo para algunas variables en la tabla 5.1.

En cuanto al convertidor de señal y las tarjetas de adquisición de datos, también utilizan DDE, pero como su aplicación es RealTimeViewer entonces se hablará de ello en su respectivo subcapítulo.

5.2.2. Mbenet

Mbenet es un programa de Wonderware que funciona en Windows y permite tener acceso a los PLC que se encuentren conectados en la red Ethernet del equipo. Es necesario que se describa la dirección fija del PLC para que luego por medio de este programa y el protocolo DDE se pueda tener acceso a la información de entradas, salidas, y memorias del PLC.

Figura 5. 5. Mbenet



Una vez que se accede a este programa, se debe colocar en la pestaña “Configure” y “Topic Definition” en donde se va a encontrar una ventana como la de la figura 5.5, para poder indicar la dirección IP del PLC, en donde se indica también el “Topic Name”. Se debe tener en cuenta, que este nombre debe coincidir con el del Access Name de InTouch.

En cuanto a los demás parámetros, se deben dejar tal cual estaban por default, al inicio.

5.2.3. Configuración de Tagnames

Una vez que se ha definido como acceder a cada elemento del sistema de control, entonces se pueden definir completamente a los Tagnames, que básicamente pueden ser de tres tipos:

- Sistema. Este tipo de Tagnames son propios de Intouch, y contienen información de fechas u hora, entre otras, cabe recalcar que este tipo de Tagnames no son susceptibles a ser modificados por el usuario.
- Usuario. Auxiliares, este tipo de Tags son generadas por el usuario, pero no contienen comunicación con los equipos y pueden servir como auxiliares de una conversión de cualquier tipo.
- Usuario. Comunicación, este tipo de variables son definidas por el usuario y tienen comunicación con los equipos por alguno de los protocolos mencionados, y depende de su limitación, pueden inclusive escribir en el equipo o simplemente pueden ser de lectura.

Los Tags deben especificarse según su función, en aspectos como, el tipo de dato que son, de que equipo proviene y su dirección proporcionada por el DDE de cada marca. Tabla 5.3

Figura 5.6. Tagname Dictionary

The screenshot shows the 'Tagname Dictionary' dialog box with the following configuration:

- Tab: Details
- Buttons: New, Restore, Delete, Save, <<, Select..., >>, Cancel, Close
- Tagname: BATCH_Acido
- Type: I/O Integer
- Group: \$System
- Read only: Read Write:
- Comment: Envia la cantidad de agua al PLC (%M\W50)
- Log Data: Log Events: Retentive Value: Retentive Parameters:
- Initial Value: 0
- Min EU: 0
- Max EU: 300
- Deadband: 0
- Min Raw: 0
- Max Raw: 300
- Eng Units:
- Log Deadband: 0
- Conversion: Linear Square Root
- Access Name: plc1
- Item: 12338 HRS
- Use Tagname as Item Name:

En la figura 5.6 se puede observar como se ha definido un Tag llamado "BATCH_Acido", el mismo que posee un breve comentario acerca de su función y que en la parte de Item, se encuentra la identificación DDE del fabricante, que corresponde a la Memory Word¹⁶ 50 del PLC.

Los Tags completos que se ocupan en esta aplicación se encuentran en una tabla en el documento **ANEXO H**, y un resumen de los mismos en la tabla 5.2.

Tabla 5. 2 Resumen de los Tagnames en InTouch

N	TAGNAME	TYPE	ACCESS NAME	ITEM (DDE)
1	BATCH_Acido	I/O integer	plc1	12338 HRS
2	BATCH_Acido_aux100	Memory Discrete		
3	BATCH_Acido_aux33	Memory Discrete		
4	BATCH_Acido_aux66	Memory Discrete		
5	BOMBAAUX	Memory Discrete		
6	CAR	I/O integer	plc1	12357 HRS
7	FR_T1	I/O discrete	plc1	12324 HRS
8	FR_T2	I/O discrete	plc1	12325 HRS
9	FR_T3	I/O discrete	plc1	12326 HRS
10	HistTrend			
11	HistTrendPanMins			
12	HistTrendPenScale			

¹⁶ Dirección en la memoria del PLC Wago 750-843

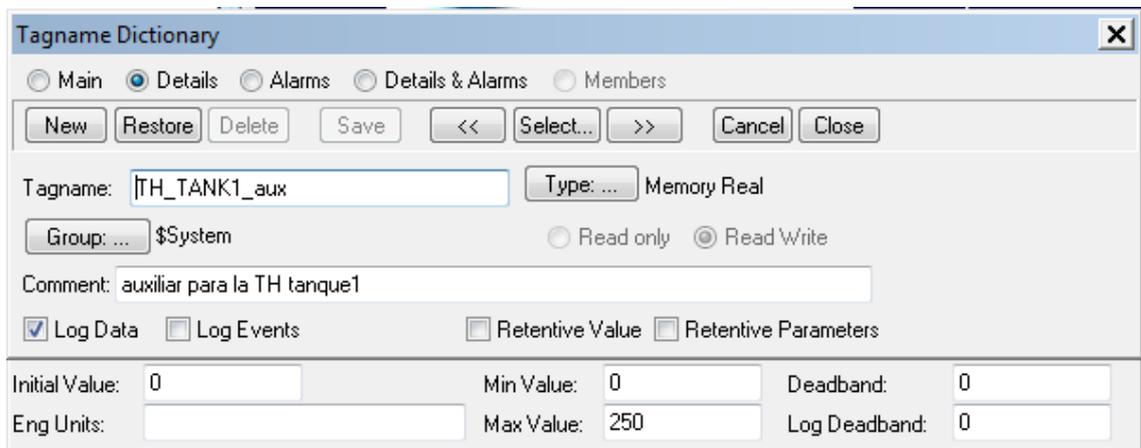
Tabla 5.2. (Continuación) Resumen de los Tagnames en InTouch

N	TAGNAME	TYPE	ACCESS NAME	ITEM (DDE)
13	KG_acido	I/O integer	plc1	12330 HRS
14	MASA_TANQUE1a	I/O integer	plc1	12348 HRS
15	MASA_TANQUE1b	I/O integer	plc1	12349 HRS
16	MASA_TANQUE2a	I/O integer	plc1	12350 HRS
17	MASA_TANQUE2b	I/O integer	plc1	12351 HRS
18	MASA_TANQUE3a	I/O integer	plc1	12352 HRS
19	MASA_TANQUE3b	I/O integer	plc1	12353 HRS
20	NIVEL_TANQUE1	I/O integer	plc1	12288 HRS
21	NIVEL_TANQUE2	I/O integer	plc1	12290 HRS
22	NIVEL_TANQUE3	I/O integer	plc1	12292 HRS
23	ON_OFF_acido	I/O integer	plc1	12343 HRS
24	PH_Acido	I/O integer	plc1	12328 HRS
25	PH_acido_aux18	Memory Discrete		
26	PH_acido_aux20	Memory Discrete		
27	T_PLC_T1	I/O integer	plc1	12308 HRS
28	T_PLC_T2	I/O integer	plc1	12310 HRS
29	T_PLC_T3	I/O integer	plc1	12312 HRS
30	T1_NnivelMax	I/O discrete	plc1	0 DI
31	T2_NnivelMax	I/O discrete	plc1	1 DI
32	T3_NnivelMax	I/O discrete	plc1	2 DI
33	Testim_min	I/O integer	plc1	12332 HRS
34	Testim_seg	I/O integer	plc1	12333 HRS
35	Tfun_min	I/O integer	plc1	12334 HRS
36	Tfun_seg	I/O integer	plc1	12335 HRS
37	TH_TANK1	I/O integer	DAIOT1	_Tag3
38	TH_TANK1_aux	Memory Real		
39	TH_TANK2	I/O integer	DAIOT1	_Tag18
40	TH_TANK2_aux	Memory Real		
41	TH_TANK3	I/O integer	DAIOT1	_Tag33
42	TH_TANK3_aux	Memory Real		
43	TL_TANK1	I/O integer	DAIOT1	_Tag4
44	TL_TANK1_aux	Memory Real		
45	TL_TANK2	I/O integer	DAIOT1	_Tag19
46	TL_TANK2_aux	Memory Real		
47	TL_TANK3	I/O integer	DAIOT1	_Tag34
48	TL_TANK3_aux	Memory Real		
49	V1	I/O discrete	DAIOT1	_Tag5
50	V2	I/O discrete	DAIOT1	_Tag20
51	V3	I/O discrete	DAIOT1	_Tag35

Los Tags se van configurando conforme avanzan las necesidades de la aplicación y no necesariamente deben tener una función de escritura o lectura en los equipos. Éstos también pueden funcionar como variables auxiliares, si

por ejemplo, se quiere dividir un valor o si se necesitan para activar un botón dentro de un pequeño script¹⁷.

Figura 5.7. Tag “TH_TANK1_aux”



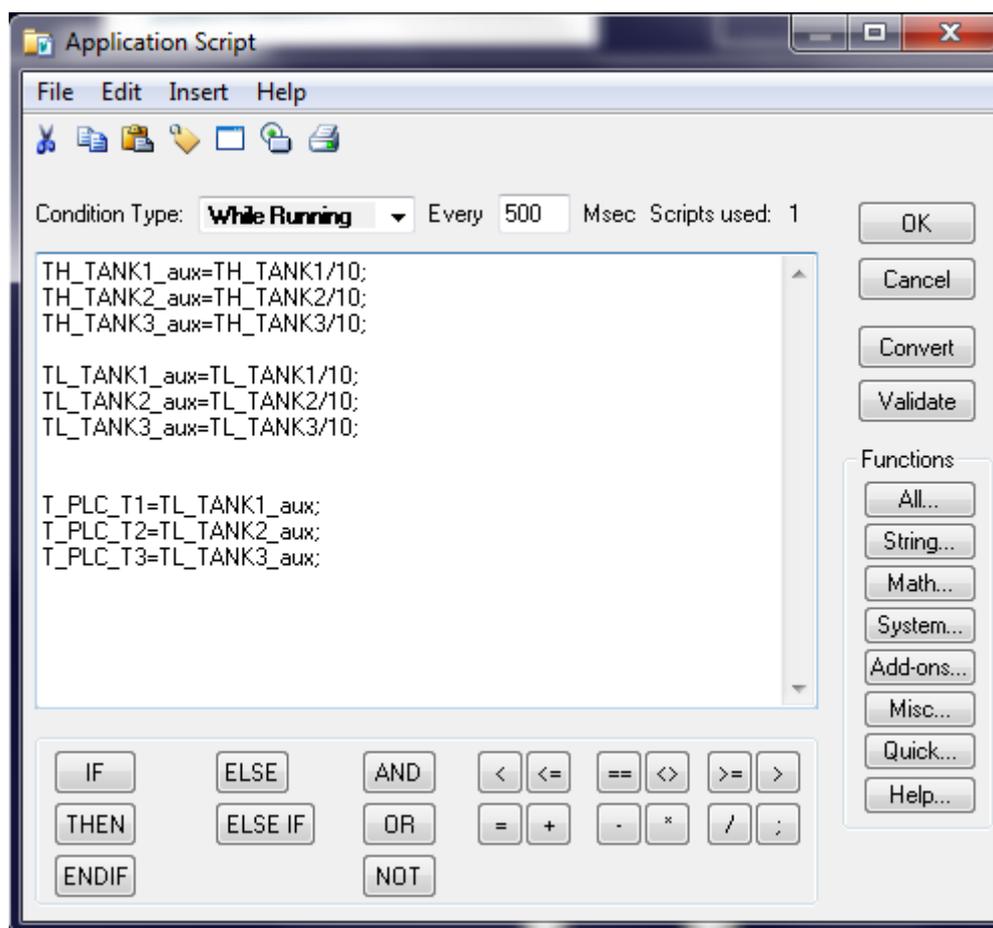
En la figura 5.7 se puede observar un Tag que se utiliza de manera auxiliar, para dividir la temperatura que llega como un dato entero, pero de cuatro dígitos, cuyo último dígito en realidad es el decimal.

Los scripts (figura 5.8) que se utilizan, son de dos tipos en esta aplicación, uno que obtiene los decimales de las temperaturas y otro que envía las temperaturas bajas de los tanques al PLC para que éste realice el cálculo de la masa.

Una vez que se conoce como definir un Tag, entonces se pueden crear las ventanas que contengan la información del proceso. En este caso, las ventanas activas en el proceso son las que contienen información de algún tipo en tiempo real o almacenado, mientras que las otras ventanas están listas para recibir información.

¹⁷ En informática se refiere a un conjunto o archivo de comandos

Figura 5.8. Scripts utilizados

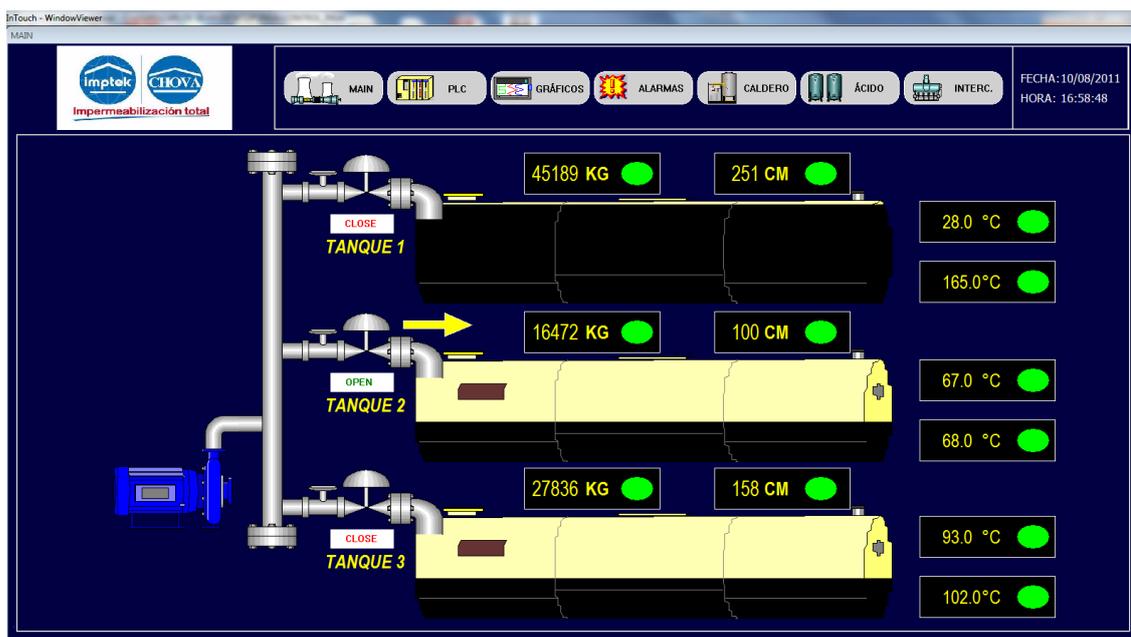


5.2.4. Ventana “MAIN”

Esta ventana es la principal en la aplicación y es la que aparece cuando se inicia. La descripción específica de cada botón se encuentra en el **ANEXO I** manual de usuario.

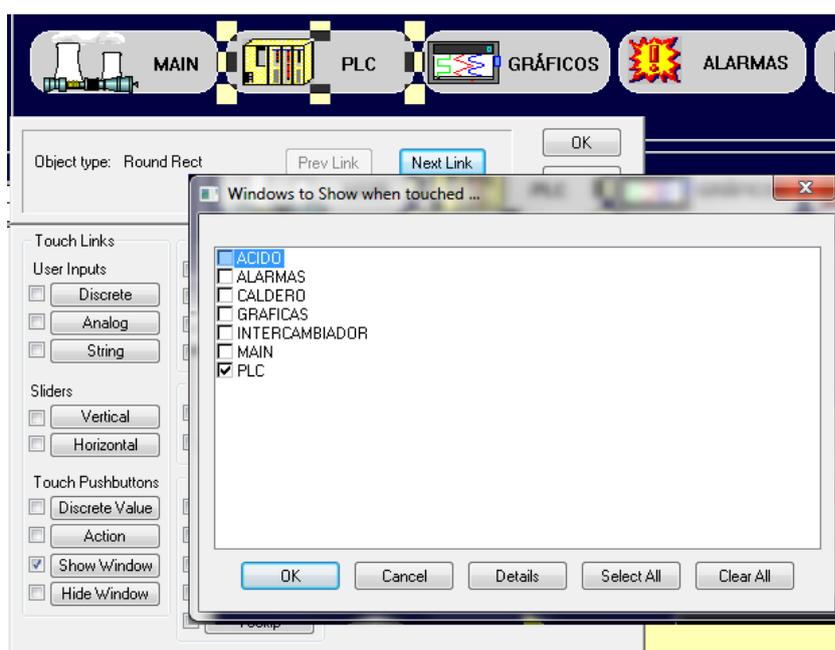
En esta ventana (figura 5.9), están contenidos los datos de nivel y temperatura por cada tanque e indica si se encuentra abierta alguna válvula.

Figura 5.9. Ventana "MAIN"



Como se puede observar en la parte superior, se encuentra el selector de pantallas, que envía al usuario a cualquiera de las otras pantallas según el botón que oprima. Estos botones se configuran como cualquier otra acción al hacer doble clic sobre ellos en la parte de desarrollo de InTouch, como en la figura 5.10.

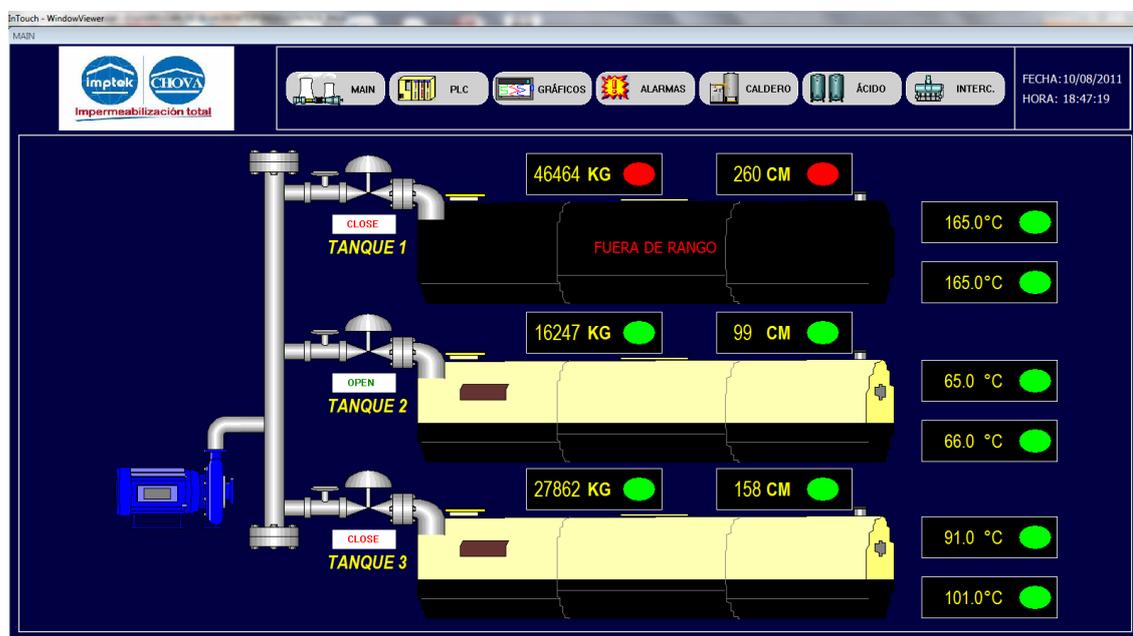
Figura 5.10. Selector de ventanas



Los tanques se llenan de color negro, de acuerdo con el nivel indicado por la leva y el flotador, el cual es recibido a través del Tag “NIVEL_TANQUE1”.

Como se sabe que el flotador no llega al mínimo de asfalto en el tanque, ni tampoco se poseen datos para el nivel de flotación sobre los 260 [cm] de altura de llenado, entonces se generó una alarma que le indica al operador que los datos que obtenga cuando el tanque se encuentra fuera de los rangos de operación normal, pueden ser incorrectos, por lo que debe proceder a una medición manual de los niveles.

Figura 5. 11. Ventana “MAIN” con alarmas



En la figura 5.11 se puede observar que el tanque uno tiene más de 260 [cm] de llenado, lo que implica que está fuera del rango de medición establecido. Operar fuera de estos rangos es peligroso, ya que existe una gran posibilidad de que el asfalto se derrame, es por esto, que las alarmas de nivel se encuentran configuradas para que ese sea el nivel máximo de llenado. En la pantalla del computador, estas alarmas se visualizan a modo de un mensaje en el tanque, y las luces de color rojo, junto a las medidas.

De igual manera, las alarmas de temperatura, que son las luces a lado de los indicadores, cambiarán a color rojo en el caso de que alguno de los sensores llegara a registrar más de 200°C, lo cual además indicaría un fallo grave generalizado, ya que está cerca a la temperatura de evaporación del asfalto.

El indicador que muestra la masa en kilogramos, en realidad está compuesto por la suma de dos Tags (figura 5.12), ya que puede ser un valor demasiado elevado para el tipo de dato que se permite.

Figura 5.12. Indicador de la masa en kg

Substitute Tagnames... 1 of 3

Current Name:	Required Type	New Name:
MASA_TANQUE1a	Analog	MASA_TANQUE1a
MASA_TANQUE1b	Analog	MASA_TANQUE1b
T1_NnivelMax	Discrete	T1_NnivelMax

OK Cancel Index Convert Replace

Object type: Text Prev Link Next Link OK Cancel

Output -> Analog Expression

Expression: MASA_TANQUE1a+MASA_TANQUE1b OK Cancel Clear

5.2.5. Ventana “PLC”

En esta ventana, se encuentran algunos datos que vienen del PLC y de las tarjetas de adquisición de señal. Se creó con la finalidad de visualizar estos datos rápidamente, sin estar en un entorno gráfico como la pantalla “main”.

Como la aplicación de la planta recibe relativamente pocos datos de los equipos, entonces se los organizó como en la figura 5.13.

Como se indicó al inicio, este sistema tiene la posibilidad de ampliarse, por lo que en el futuro estos datos pueden ser mostrados a manera de una tabla.

Figura 5. 13. Ventana “PLC”



La descripción completa de la operación de esta pantalla se encuentra en el manual de usuario (**ANEXO I**).

5.2.6. Ventana “Gráficos”

La ventana “Gráficos” contiene un cuadro donde se despliega la variación del nivel respecto al tiempo.

Estos gráficos pueden ser utilizados como un registro de las actividades de los tanques y del consumo de ellos en determinado período de tiempo, lo que es muy útil en tiempos de control de la producción.

El registro de estos datos puede verse hasta un año atrás de la fecha, ya que el programa está configurado para que estos datos se guarden por un año.

En la ventana se puede visualizar todos los tres tanques, o solo los que se desee, ingresando en la configuración de gráfico para el operador, lo cual se describe en el **(ANEXO I)** manual de usuario.

Si se necesita, se puede hacer acercamientos u obtener el valor de un determinado día y hora utilizando los controles ubicados bajo el gráfico. (Figura 5.14)

Figura 5. 14. Ventana “Gráficos”



5.2.7. Ventana “Alarmas”

En esta ventana, se pueden ver las alarmas que se hayan generado, producto de alguna anomalía en el funcionamiento de la planta, como un exceso en las temperaturas establecidas, o un nivel demasiado elevado en los tanques, así como cualquier Tag que se declare como alarma.

Figura 5.15. Ventana “Alarmas”

Date	Time	Class	Type	Name	Value	Limit	Comment
10 ago	16:49	EVENT	DDE	V2	Valvula...	Valvula...	
10 ago	16:49	EVENT	SYSTE...	S.LogicRunning	ON	OFF	LogicRunning
10 ago	16:49	EVENT	SYSTE...	S.OperatorName	None		S.OperatorNa...
10 ago	16:49	EVENT	SYSTE...	S.OperatorDomain	InTouch		S.OperatorDo...
10 ago	16:47	EVENT	SYSTE...	S.HistoricalLogging	ON	OFF	HistoricalLo...
10 ago	16:47	EVENT	SYSTE...	S.Operator	None		Operator

En la figura 5.15 se pueden observar algunas alarmas en el cuadro de abajo, y ninguna arriba, esto se debe a que las alarmas generadas abajo están configuradas para no desaparecer y que de ésta manera puedan ser revisadas en busca de cualquier evento inusual específico. La parte superior contiene las mismas alarmas pero con la posibilidad de que se las elimine para que no se acumulen, y de este modo se vean solo los eventos del día, en la parte inferior derecha de la ventana hay un botón que realiza esta tarea.

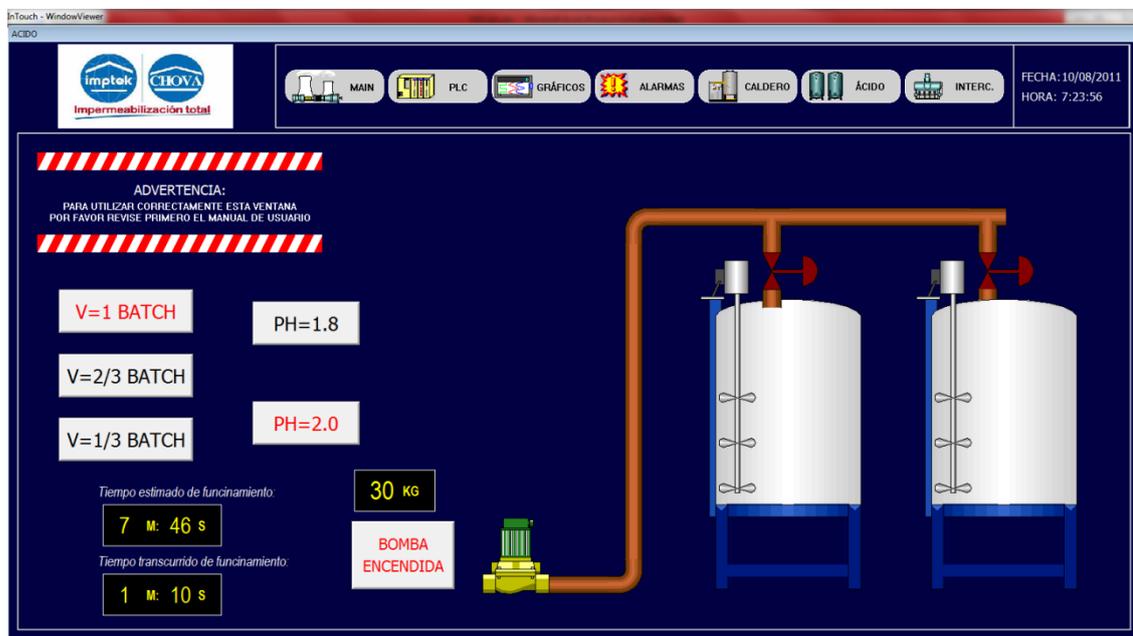
5.2.8. Ventana “Ácido”

Esta ventana envía datos al PLC para que ejecute el programa de carga de ácido y devuelva datos de tiempo de funcionamiento de la bomba. Una vez que el operador verifique los datos, entonces puede dar clic en el botón de la bomba, con lo que ésta empezará a enviar ácido a los tanques de solución.

En la figura 5.16, se puede ver la ventana en funcionamiento. Se puede notar que están en color rojo algunos valores, lo que significa que el operador los ha seleccionado en función de su necesidad en el proceso. Estos valores,

como se explicó en el capítulo 3, obedecen a la forma en la que se hace la producción en la planta.

Figura 5.16. Ventana “Ácido”



En la parte inferior izquierda, se pueden ver los tiempos de funcionamiento de la bomba, que son obtenidos mediante la programación, en función de los parámetros de la bomba y del fluido.

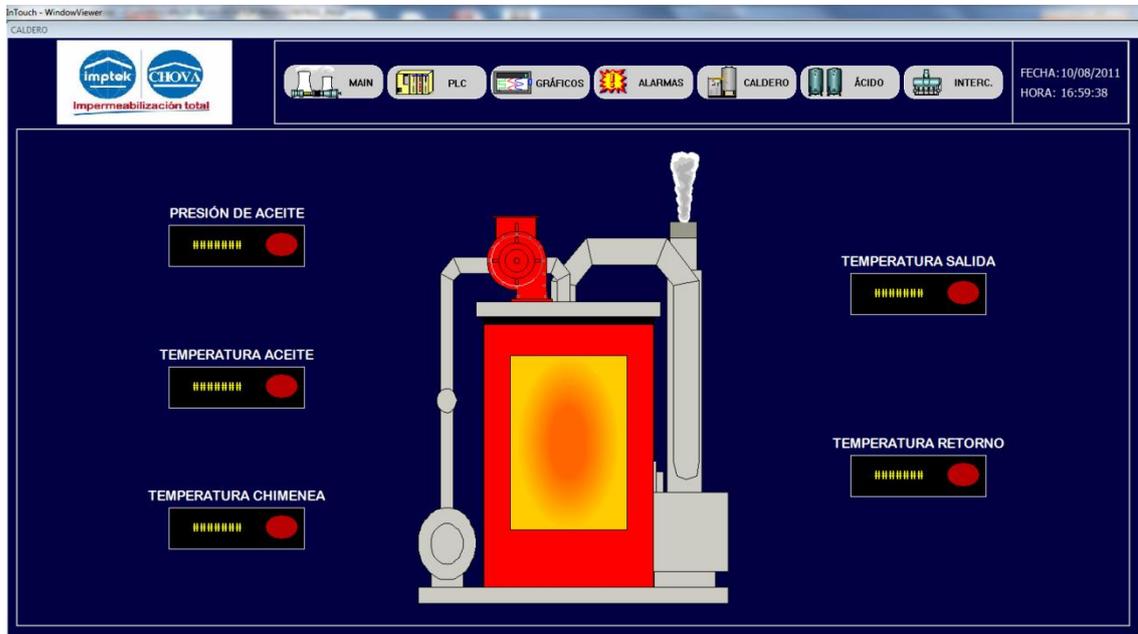
Es muy importante que el operador lea el manual de usuario antes de realizar cualquier operación con este sistema, ya que una vez iniciada la carga, el tiempo seguirá corriendo aunque el operador haya aplastado nuevamente el botón de encendido o apagado de la bomba, por lo que deberá esperar a que este tiempo trascorra para nuevamente iniciar la carga con nuevos valores.

5.2.9. Ventana “Caldero”

Esta ventana permite visualizar los parámetros de funcionamiento del caldero, como la presión de aceite y su temperatura. En este caso no existen alarmas que el operador pueda borrar, ya que el caldero es un elemento crítico

en el funcionamiento de la planta y es necesario que lo revise personalmente en el caso de una anomalía.

Figura 5.17. Ventana “Caldero”



En la figura 5.17, se puede ver la ventana “Caldero”, que por el momento no se encuentra en funcionamiento. Pero que una vez realizadas las conexiones, permitirá mostrar en pantalla la misma información que la caja con displays fuera del caldero.

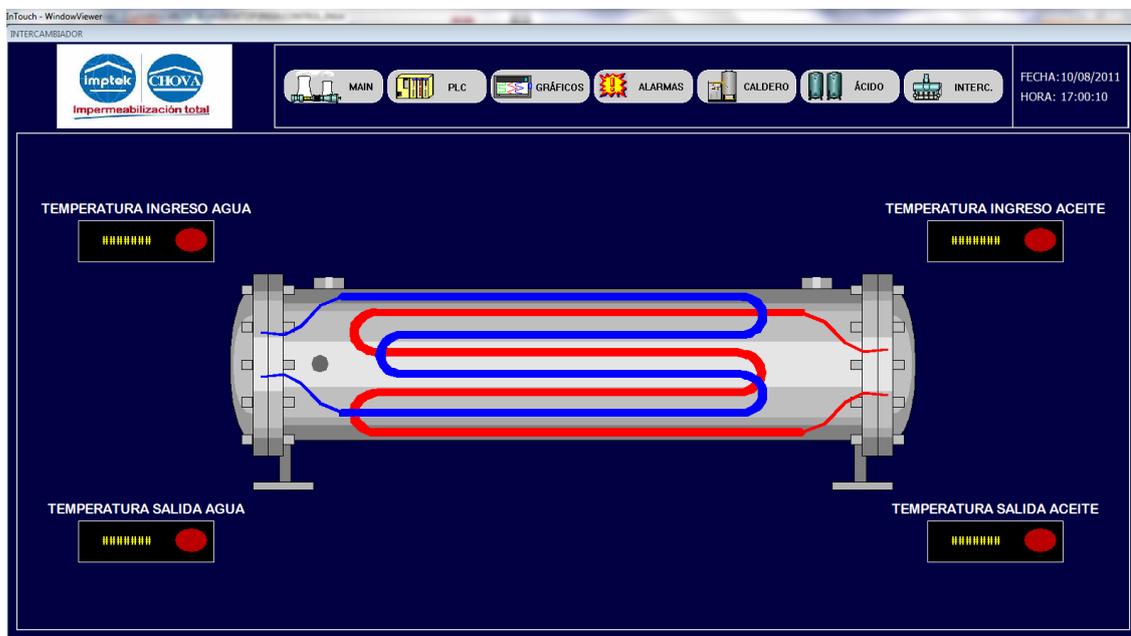
El uso de esta ventana es controvertido, porque puede incentivar al operador a limitarse a la pantalla, en lugar de revisar un daño en el caldero que solo se puede apreciar si se lo inspecciona personalmente. Para evitar esto, no se la ha puesto en funcionamiento, hasta definir políticas claras de inspección de este tipo de elementos críticos.

5.2.10. Ventana “Intercambiador”

Esta ventana fue diseñada para la visualización de los parámetros de un intercambiador de calor que se pretende instalar en la planta del Inga. El

intercambiador utilizará aceite térmico para calentar el agua del proceso, antes de entrar a los tanques de solución jabonosa.

Figura 5.18. Ventana “Intercambiador”



La ventana de la figura 5.18 no se encuentra activa debido a que el intercambiador no está construido aún. Pero los parámetros que debe conocer el operador, son los relacionados con la temperatura de ingreso y se salida de agua y aceite.

5.3. Panel Studio

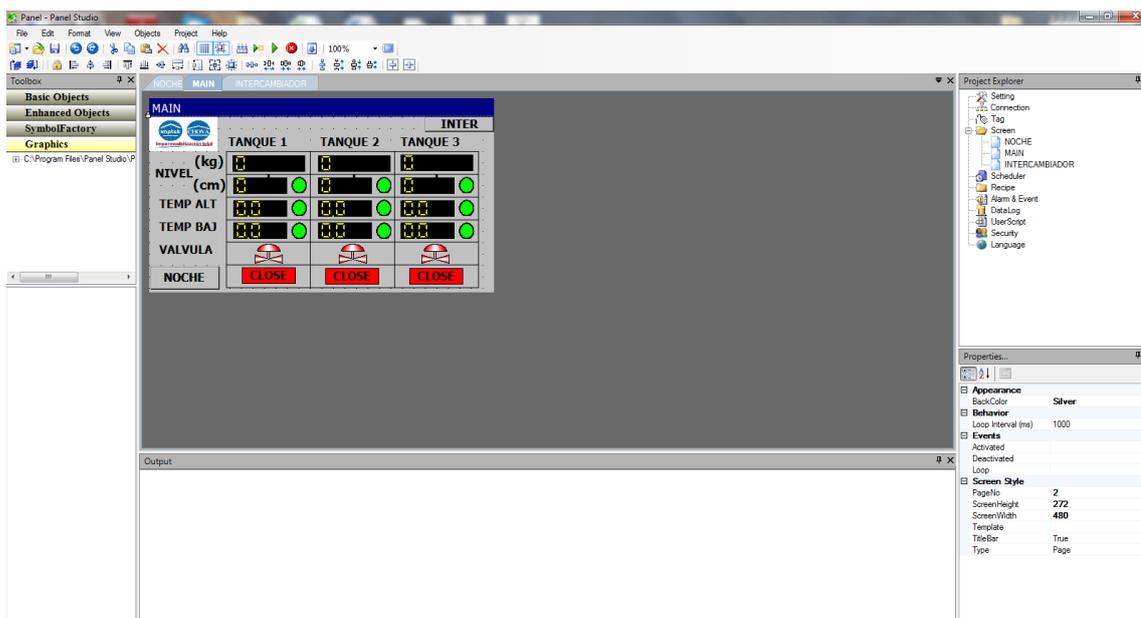
Panel Studio es el nombre del software de BrainChild en el que se desarrolla la interfaz que se muestra en la pantalla HMI.

Este software es muy parecido a InTouch en sus características de programación y tiene la ventaja de que, todos los componentes de la misma marca se conectan fácilmente, aunque por otra parte los que no pertenecen a la marca presentan una cierta dificultad especialmente en la escritura.

Debido a que el programa que se desarrolle aquí, funcionará en una pantalla táctil, se debe tomar en cuenta que los botones no funcionarían al hacer clic sino al tocarlos o al mantenerlos presionados, y acerca de las configuraciones de sensibilidad de la pantalla, éstas se hacen en el menú de inicio de la misma pantalla.

Del mismo modo que en InTouch, Panel Studio tiene un entorno gráfico (figura 5.19), y se deben crear diferentes ventanas para poder visualizar la información de manera ordenada. Debido a que la limitación es el tamaño de la pantalla, hay que tener cuidado con los tamaños de las letras y las figuras, para que éstas sean legibles para los operadores.

Figura 5.19. Entorno de Panel Studio

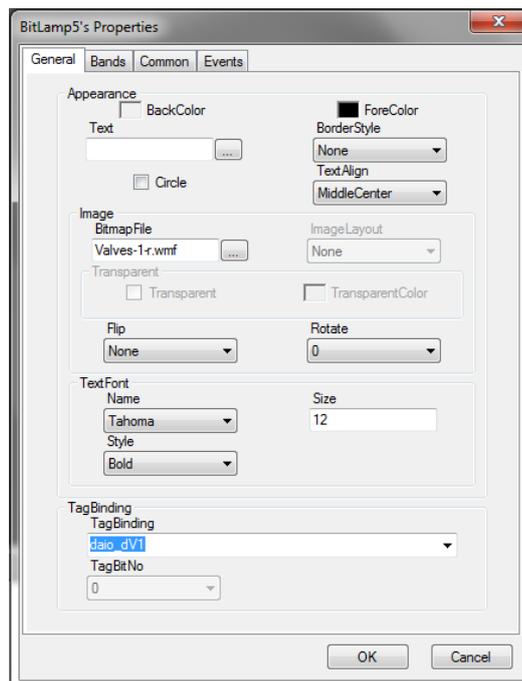


En cuanto al tamaño de las ventanas, éste debe ser de 272 de alto y 480 de largo, ya que ese es el tamaño que admite la pantalla. Esto se especifica en la parte izquierda del programa (propiedades) al seleccionar cada ventana.

En este caso, también es necesario definir los Tagnames de manera similar a InTouch, solo que hay que considerar que aquí existen otros servidores para este propósito, como Real Time Viewer y el OPC del mismo Panel Studio.

Un vez que se hayan configurado los Tags, entonces se pueden asignar a un objeto o elemento tomando en cuenta su naturaleza. Es decir, si se trata de un dato tipo bool¹⁸, entonces se lo puede asignar a una luz que se encienda o se apague, mientras que si se trata de un entero, probablemente sea mejor asignarlo a algún elemento, a través del cual se pueda visualizar su información.

Figura 5.20. Propiedades de un elemento



Para asignar un Tag a un elemento, se debe hacer doble clic sobre él y en el menú de propiedades escoger los parámetros de configuración más adecuados. En el caso en que se desee que el elemento sea una imagen como una válvula o cualquier otra similar, se la debe escoger en la sección de imágenes y en la librería llamada Basic Symbol, ya que la librería de nombre Symbol Factory con gráficos mejorados no está disponible, debido a que tiene su propia licencia a un costo adicional al del software.

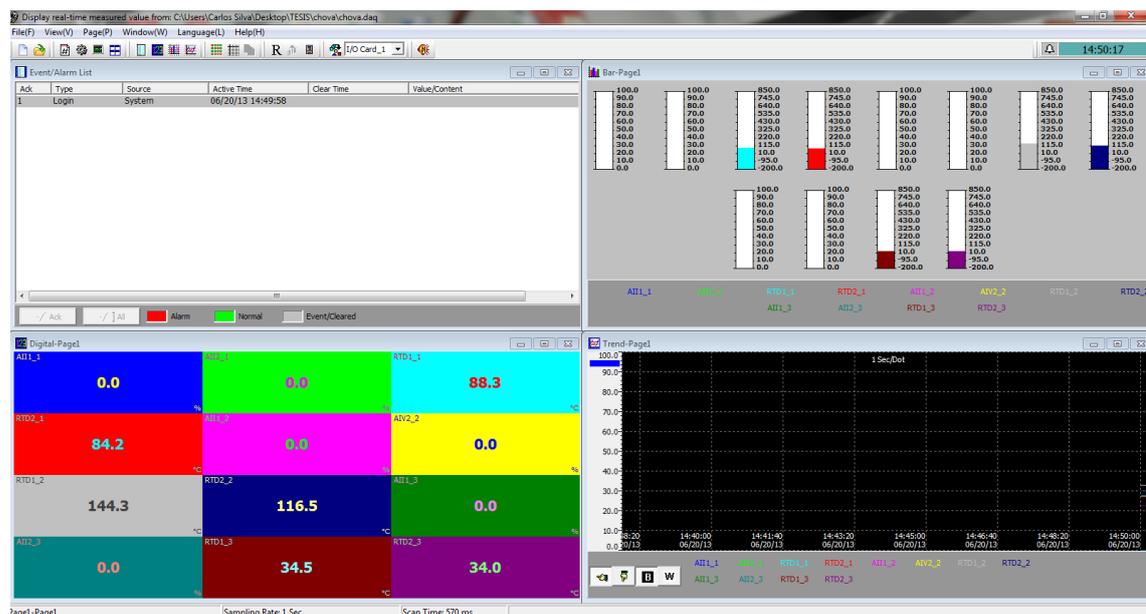
¹⁸ Tipo de dato que entrega un valor verdadero o falso.

Una vez que se haya terminado de configurar las ventanas completamente, entonces se debe enviar el proyecto a la pantalla mediante un cable Ethernet y apuntar a la dirección de la misma (192.168.7.113), lo cual se debe especificar en la pestaña File en Environment, o utilizar una memoria USB.

5.3.1. Real Time Viewer

Este es un software de adquisición de datos, que funciona en el computador. Permite tener acceso al convertidor de señal MODBUS TCP/IP y a sus tarjetas de adquisición de datos. Además de la visualización de elementos del sistema de control, este software también archiva los datos obtenidos, para poder analizarlos después.

Figura 5.21. Real Time Viewer



Su configuración es muy sencilla y esta detallada, paso a paso, en la ayuda del programa. Solo se requiere saber la dirección del convertidor (192.168.7.112) y el número de tarjetas, con lo que inmediatamente se obtiene la información de las mismas. Este programa muestra gráficas y estadísticas de los datos que recibe, pero la nomenclatura de los mismos depende del

programa y el usuario no lo puede modificar, por lo que por sí solo no es una herramienta muy útil para los operadores.

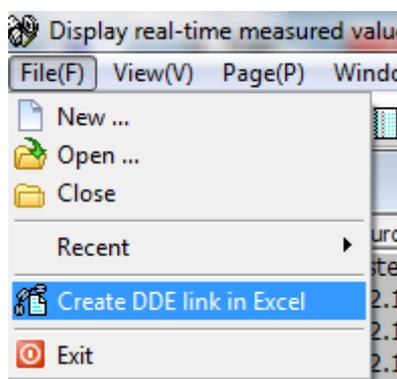
Este software debe estar funcionando de manera paralela a InTouch, ya que es a través de Real time Viewer que InTouch accede a las tarjetas. En cuanto a la pantalla, no es necesario porque ésta ocupa su propio OPC.

5.3.2. DDE para las DAQ

Del mismo modo que MBENET funciona para el PLC, Real Time Viewer funciona para las tarjetas de adquisición de datos, en el sentido de que es a través de este software que se puede establecer una comunicación con ellas. El protocolo DDE para estas tarjetas, indica que la forma para llamar a los terminales de las tarjetas está proporcionada por Real Time Viewer, quien genera una tabla de Excel con los nombres (DDE) de las terminales.

La tabla se genera con la opción “Create DDE link in Excel” que se encuentra en el menú file del Real Time Viewer, como se muestra en la figura 5.22. La tabla que se crea también permite visualizar los valores de los elementos en tiempo real. La información para las tres tarjetas se encuentra en la tabla 5.3.

Figura 5.22. Generación de una tabla en Excel



Estos valores de las terminales, representan la forma en que deben ser llamados en InTouch o cualquier otra aplicación, mediante Real Time Viewer.

Tabla 5.3. DDE para las tarjetas

Name	Unit	Value	Sensor	Función
All1_1	%	_Tag1		
All2_1	%	_Tag2		
RTD1_1	°C	_Tag3	PT100 arriba (TQ1)	Temperatura arriba Tanque 1
RTD2_1	°C	_Tag4	PT100 abajo (TQ1)	Temperatura abajo Tanque 1
DI1_1		_Tag5	IME8 tanque 1	Valvula superior del tanque 1
DI2_1		_Tag6		
DI3_1		_Tag7		
DI4_1		_Tag8		
AOI1_1		_Tag9		
DO1_1		_Tag10		
DO2_1		_Tag11		
Counter1_1		_Tag12		
Counter2_1		_Tag13		
Counter3_1		_Tag14		
Counter4_1		_Tag15		
All1_2	%	_Tag16		
All2_2	%	_Tag17		
RTD1_2	°C	_Tag18	PT100 arriba (TQ1)	Temperatura arriba Tanque 2
RTD2_2	°C	_Tag19	PT100 abajo (TQ1)	Temperatura abajo Tanque 2
DI1_2		_Tag20	IME8 tanque 2	Valvula superior del tanque 2
DI2_2		_Tag21		
DI3_2		_Tag22		
DI4_2		_Tag23		
AOV1_2		_Tag24		
DO1_2		_Tag25		
DO2_2		_Tag26		
Counter1_2		_Tag27		
Counter2_2		_Tag28		
Counter3_2		_Tag29		
Counter4_2		_Tag30		
All1_3	%	_Tag31		
All2_3	%	_Tag32		
RTD1_3	°C	_Tag33	PT100 arriba (TQ1)	Temperatura arriba Tanque 3
RTD2_3	°C	_Tag34	PT100 abajo (TQ1)	Temperatura abajo Tanque 3
DI1_3		_Tag35	IME8 tanque 3	Valvula superior del tanque 3
DI2_3		_Tag36		
DI3_3		_Tag37		
DI4_3		_Tag38		
AOI1_3		_Tag39		
DO1_3		_Tag40		
DO2_3		_Tag41		
Counter1_3		_Tag42		
Counter2_3		_Tag43		
Counter3_3		_Tag44		

Fuente: Elaboración propia, DDE link en Excel de Real time Viewer

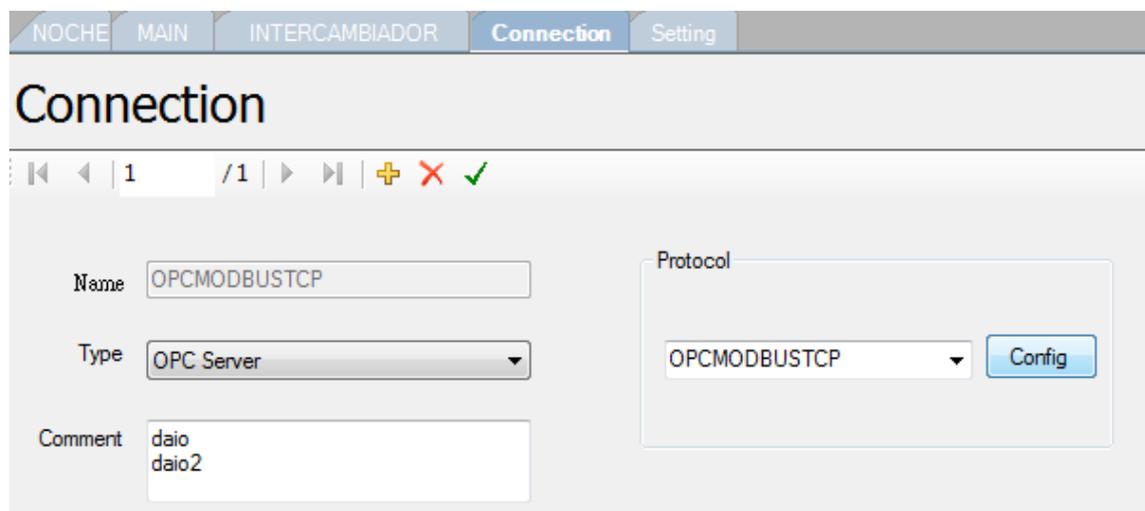
5.3.3. OPC

OPC (OLE¹⁹ for Process Control) es un estándar de comunicación desarrollado por Microsoft, que ofrece una interfaz común para la comunicación de datos. Este estándar funciona bajo una arquitectura cliente – servidor, en donde el servidor OPC, es la fuente de datos para cualquier cliente que necesite leerlos o escribirlos. En teoría, es una solución abierta para el tema de los drivers de propietarios que distribuye cada equipo.

El OPC de Panel Studio funciona muy bien con todos los equipos BrainChild, pero presenta dificultades en la escritura con el PLC, probablemente debido a que éste es un equipo de otra marca.

Para configuración de los Tags mediante el OPC, es necesario saber que los Tags aquí se llamarán de otro modo distinto al que se llaman con la aplicación Real Time Viewer, ya que con relación a MBENET, solo hay una pequeña diferencia.

Figura 5.23. Acceso a la configuración del OPC

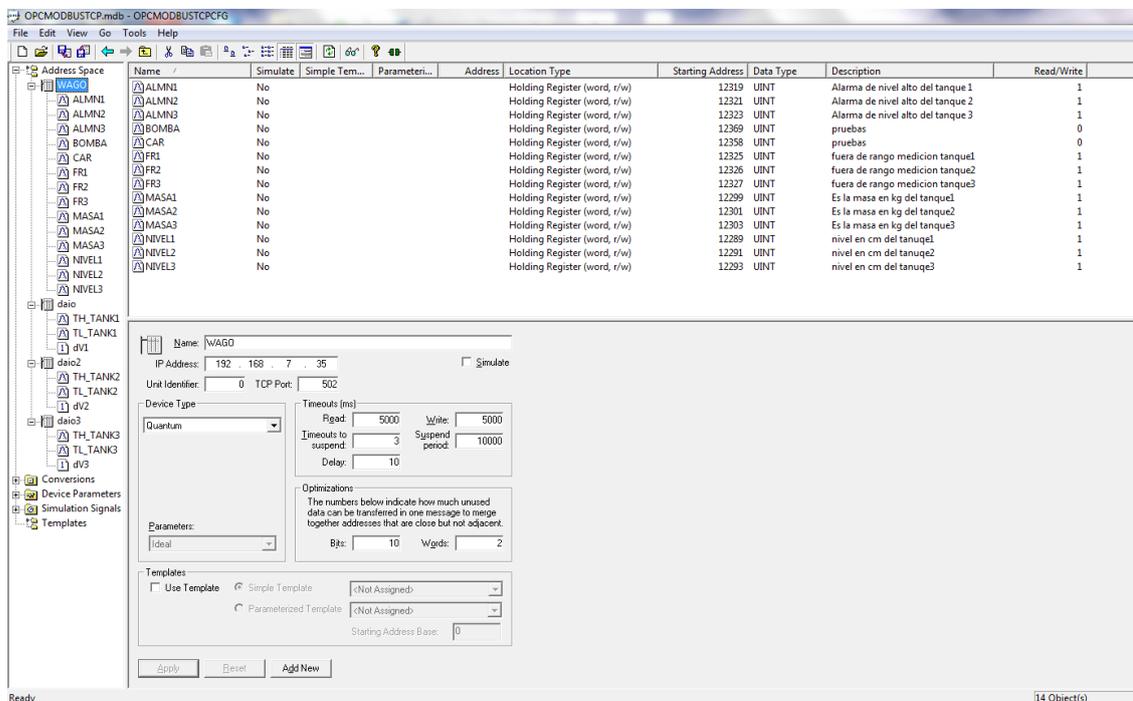


Para acceder a la configuración del OPC, primero se debe ingresar al menú “Connection” que se encuentra a la izquierda del entorno de Panel Studio y una

¹⁹ OLE Object Linking and Embedding, es el nombre de un sistema de objetos desarrollado por Microsoft

vez ahí, como lo muestra la figura 5.23 se debe escoger el tipo OPC Server, en protocolo OPCMODBUSTCP, y dar clic en el botón config.

Figura 5.24. Configuración del OPC



Una vez localizados en la configuración del OPC, se debe empezar por crear los equipos, que en este caso son cuatro, el PLC y las tres tarjetas. Lo único que se debe ingresar para esto es la dirección IP del equipo en cuestión.

Cuando los equipos han sido creados, se puede también crear los Tags, teniendo en cuenta que a los equipos BrainChild se los declara de acuerdo con su manual.

En este caso, las tarjetas indican cómo se debe declarar cada entrada y salida en la página 58 de su manual. Ahí se encuentra una tabla, que contiene información como el tipo de dato al que pertenece o comentarios útiles

En esta aplicación, no se van a utilizar todas las entradas y salidas de las tarjetas, por lo que resulta útil tener una tabla reducida en donde se indiquen las características más importantes como en la tabla 5.4.

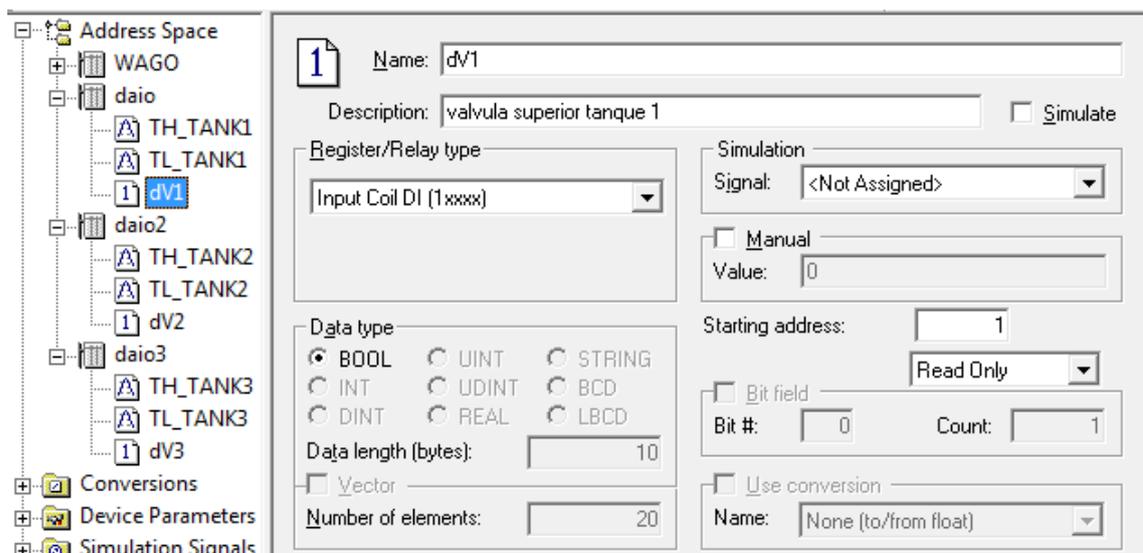
Tabla 5.4. Resumen de los datos utilizados

Modbus Address	Register Name	Low Limit	High Limit	Access	Comments
10001	Digital input 1	0	1	R	Status of Digital Inputs
40004	RTD Input 1	-xxx.x	yyy.y	R	RTD inputs. See table for range
40005	RDT Input 2	-xxx.x	yyy.y	R	Resolution in 0.1°C

Fuente: Elaboración propia, BrainChild. *User manual for IO modules*. BrainChild, China, 2007

Según la tabla 5.4. para este protocolo, se debería llamar a la primera entrada digital, como 100001, lo cual se debe colocar al momento de declarar la variable, como se indica en la figura 5.25.

Figura 5.25. Declaración de un Tag OPC



Puede resultar un poco confuso el hecho de que, para este Tag solo se coloque el 1 en la “starting address”, pero se debe tomar en cuenta que los demás números ya se colocaron al seleccionar “Input Coil DI (1xxxx)” en el tipo de registro.

En cuanto a los datos que vienen del PLC, se sigue utilizando la misma notación que se usaba con el DDE y MBENET, únicamente se debe tomar en cuenta que este programa no empieza a contar desde cero como sucede con

InTouch, sino que al empezar a contar desde uno, entonces las Memory Words se deben llamar desde la 12289, como se muestra en la figura 5.1.

Tabla 5.5. Resumen de variables utilizadas

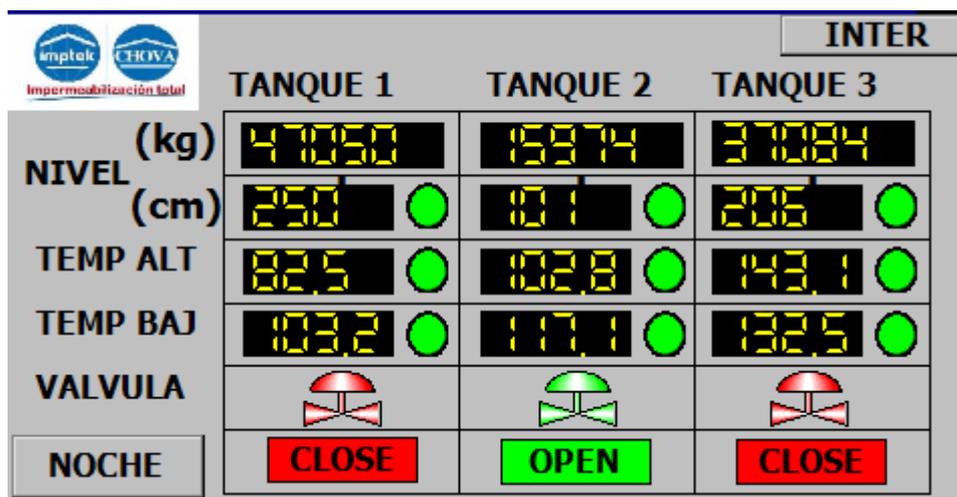
Item Location	Name	Starting Address	Data Type	Descripción	%MW
DAIO 1	TH_TANK1	4	UINT	Temperatura alta (tanque 1)	
	TL_TANK1	5	UINT	Temperatura baja (tanque 1)	
	dV1	1	BOOL	valvula superior tanque 1	
DAIO 2	TH_TANK2	4	UINT	Temperatura alta (tanque 2)	
	TL_TANK2	5	UINT	Temperatura baja (tanque 2)	
	dV2	1	BOOL	valvula superior tanque 2	
DAIO 3	TH_TANK3	4	UINT	Temperatura alta (tanque 3)	
	TL_TANK3	5	UINT	Temperatura baja (tanque 3)	
	dV3	1	BOOL	valvula superior tanque 3	
PLC WAGO	NIVEL1	12289	UINT	nivel en cm del tanque1	%MW0
	NIVEL2	12291	UINT	nivel en cm del tanque2	%MW2
	NIVEL3	12293	UINT	nivel en cm del tanque3	%MW4
	ALMN1	12319	UINT	Alarma de nivel alto (tanque 1)	%MW30
	ALMN2	12321	UINT	Alarma de nivel alto (tanque 2)	%MW32
	ALMN3	12323	UINT	Alarma de nivel alto (tanque 3)	%MW34
	BOMBA	12369	UINT	pruebas	%MW80
	CAR	12358	UINT	pruebas	%MW69
	FR1	12325	UINT	fuera rango medicion tanque1	%MW36
	FR2	12326	UINT	fuera rango medicion tanque2	%MW37
	FR3	12327	UINT	fuera rango medicion tanque3	%MW38
	MASA1	12299	UINT	Es la masa en kg del tanque1	%MW10
	MASA2	12301	UINT	Es la masa en kg del tanque2	%MW12
	MASA3	12303	UINT	Es la masa en kg del tanque3	%MW14

En la tabla 5.5. se puede observar el resumen de los Tagnames ocupados en la HMI, incluyendo su tipo de datos, una breve descripción, y la Memory Word del PLC, si es que aplica.

5.3.4. Ventana “MAIN”

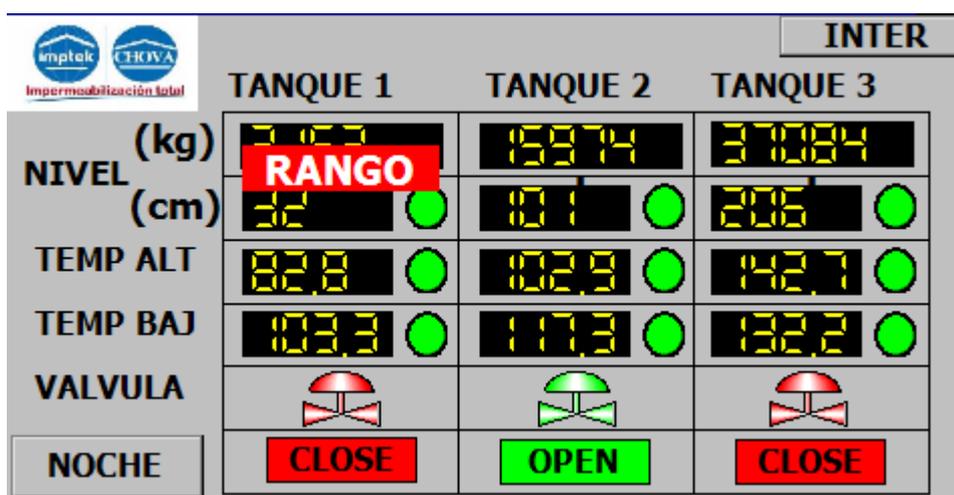
Esta ventana contiene la mayoría de información relevante al proceso, y la despliega en una matriz de datos fácil de leer para el operador.

Figura 5.26. HMI "Main"



Como se puede observar en la figura 5.26, la pantalla muestra los niveles en kilogramos y en centímetros, correspondientes a cada tanque, así como la temperatura en las RTDs bajas y altas. En la parte inferior, se encuentra con colores y palabras, las válvulas superiores de cada tanque, y a la derecha de cada valor un indicador luminoso que alerta que ese elemento está fuera de los rangos establecidos, cuando está en rojo, es decir es una alarma.

Figura 5.27. HMI "Main" con error



En la figura 5.27, se muestra la pantalla con un mensaje de error, que comunica al operador que el asfalto en los tanques está fuera de los rangos de medición alto o bajo, y que debe acercarse a realizar una medición manual del contenido.

En cuanto a funciones, como se había explicado al inicio el estándar OPC de la pantalla, no le permite escribir datos en el PLC, así que por lo pronto no se utilizará la pantalla con otros efectos más que los de visualización.

Una descripción más detallada de la pantalla se encuentra en el manual de usuario en el documento **(ANEXO I)**.

5.3.5. Ventana “NOCHE”

Debido a que muchas veces se deben calentar los tanques en la madrugada para que se produzca al día siguiente, se pide al personal de la noche que realice esta labor. Para ello deben observar la pantalla que se encuentra dentro del cuarto de control, a través de una ventana, por lo que su trabajo se dificulta si se encuentran con más información de la necesaria o si es poco visible desde la distancia en donde se encuentran.

Figura 5.28. HMI “Noche”

DIA	T 1	T 2	T 3
TA	02	102	142
TB	103	117	132

La ventana “Noche” de la HMI se diseñó específicamente, para que pueda ser observada con claridad desde una buena distancia sin esfuerzo del personal en la oscuridad de la noche.

Como se puede ver en la figura 5.28, la pantalla posee iconos grandes, y de un color amarillo que la hace muy visible en la noche. Esta pantalla solo contiene los datos de temperatura alta y baja de los tanques.

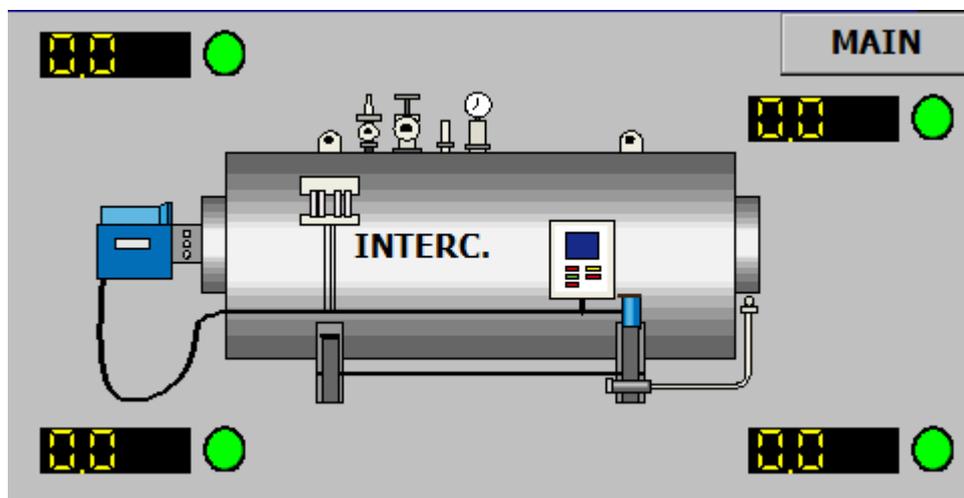
Debido a la ubicación de la planta, las fallas eléctricas generales son comunes, especialmente en los días lluviosos, ocasionando que se apaguen y se enciendan los equipos. Tomando en cuenta que esto puede suceder en la noche cuando no hay acceso a la sala de control, entonces se ha considerado prudente que ésta sea la pantalla de inicio de la HMI.

5.3.6. Ventana “INTERCAMBIADOR”

Debido a que en corto plazo se pretende instalar un intercambiador de calor, el cual ayude a mejorar los tiempos de fabricación de la emulsión, disminuyendo el tiempo que actualmente se demora en calentar el agua de la solución jabonosa, entonces se incorporó al proyecto, una ventana para la visualización de las temperaturas de entrada y salida de agua y aceite térmico.

Por lo pronto, esta ventana no está activa, ya que el equipo aún no ha sido instalado.

Figura 5.29. HMI “Intercambiador”



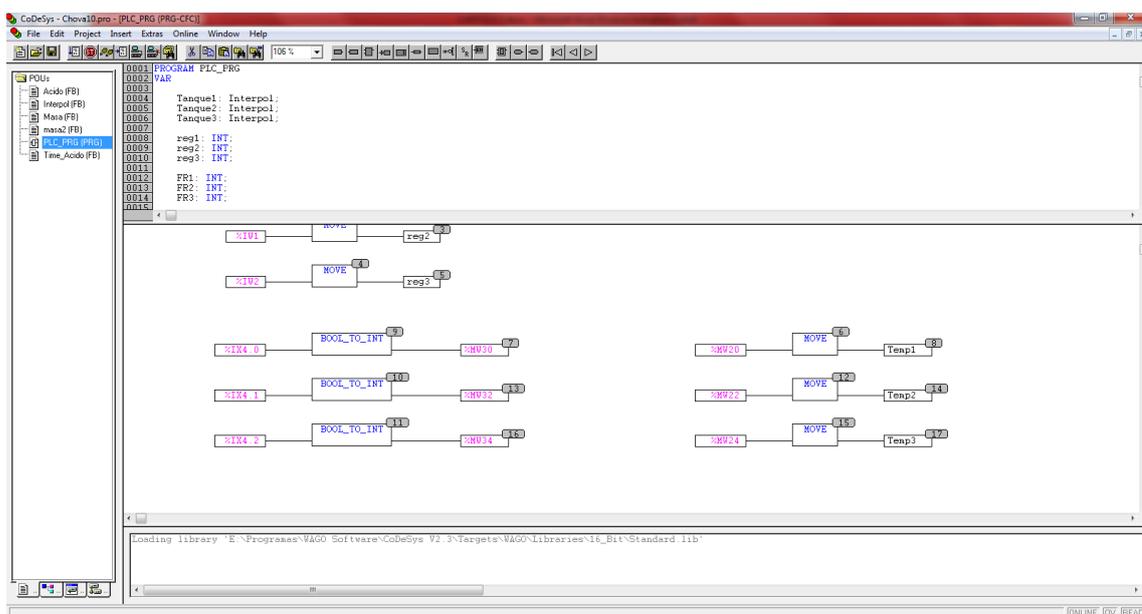
5.4. Programación PLC

La programación del PLC marca Wago modelo 750-843, se la realizó en CoDeSys V2.3, que es un software que recomienda el fabricante y es compatible con sus modelos de PLCs. Este software permite realizar simulaciones del programa, sin necesidad de conectarse con el PLC, o puede descargar los programas para que se ejecuten directamente desde ahí.

CoDeSys V2.3 funciona con los lenguajes aprobados por la norma IEC61131-3, que es parte del estándar internacional IEC 61131, para controladores lógicos programables (PLC).

Entre los lenguajes más conocidos están: el diagrama de escalera (Ladder Diagram LD), el diagrama de función de bloques (Function Block Diagram FBD), el texto estructurado (Structured Text ST), cuadro continuo de funciones (Continuous Function Chart CFC) . Estos dos últimos se utilizarán en la programación del PLC debido a que permiten tener una secuencia ordenada y clara del programa.

Figura 5.30. Programación con CFC en CoDeSys V2.3



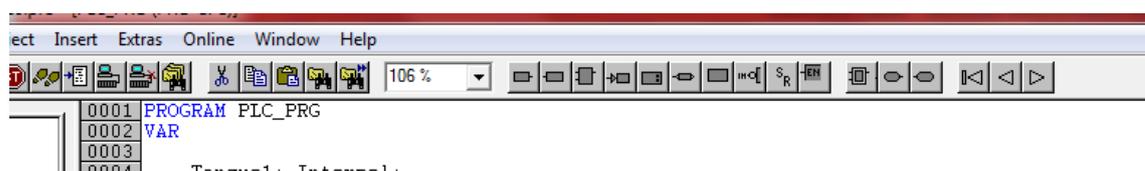
En general, el programa se estructura en CFC, que permite ingresar varias operaciones o comparadores a manera de bloques, o permite crear al usuario

sus propios subprogramas a manera de bloques e insertarlos en el programa principal, como es el caso de esta aplicación. Figura 5.30

Para poder cumplir con todos los requisitos de la programación de manera ordenada, se crearon subprogramas con sus propias funciones, los cuales fueron creados a manera de bloques pero programados con ST, debido a que de ésta manera, se puede escribir de modo muy similar a Visual Basic, lo cual facilita mucho las cosas, ya que es un programa muy conocido.

Como se puede observar en la figura 5.30, el programa consta de cinco partes. A la izquierda se puede observar una lista que contiene los subprogramas que han sido insertados a manera de bloques. A la derecha, dividido en tres partes se encuentra la estructura general del programa, la parte superior muestra las variables declaradas que se utilizan, en el centro, el programa en sí con los bloques que se han insertado y las variables conectadas, y en la parte de abajo un cuadro reservado para mensajes, en donde se pueden observar mensajes de error o advertencias cuando se compila el programa. La última parte es la superior, donde se encuentran las herramientas del programa y los bloques estándar que se pueden insertar. Como se ve en la figura 5.31.

Figura 5.31. Bloques estándar

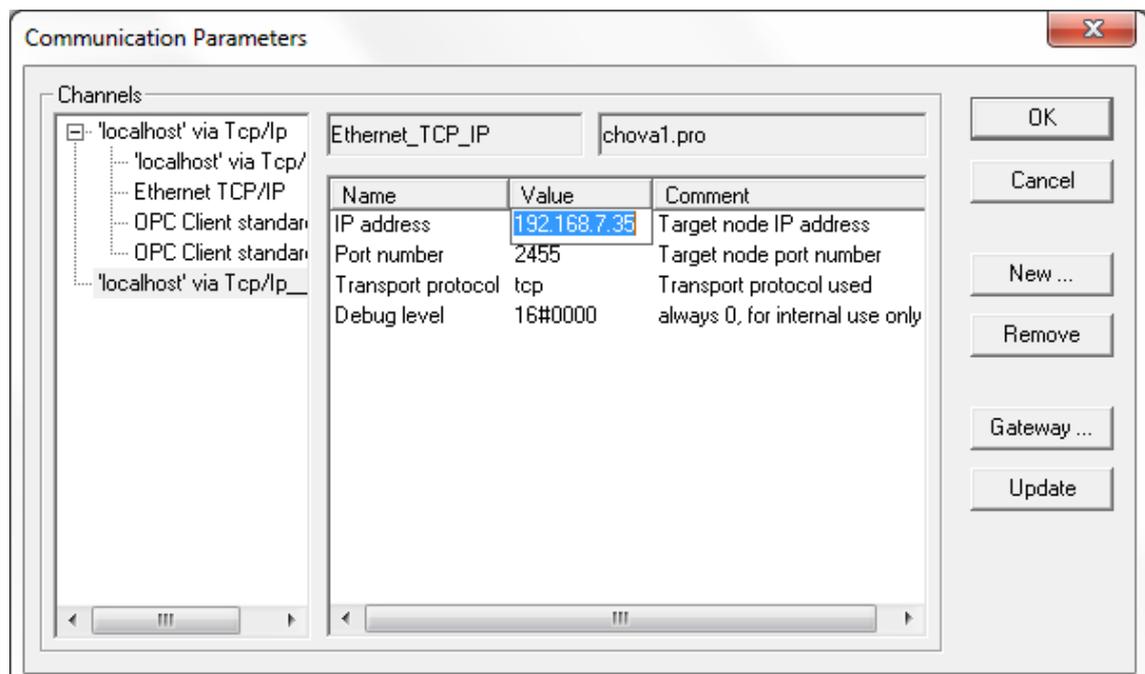


Una vez que se ha creado el programa, es necesario validarlo. Esto se puede hacer pulsando la tecla F11 y una vez que se haya revisado que no existen mensajes de error, se puede proceder a simularlo o descargarlo en el PLC y a ejecutarlo, lo cual se hace desde el menú “Online”, y con la opción “login”, se carga el programa o se lo simula. Si es el caso de la simulación, se

debe revisar inicialmente, que la casilla “Simulation Mode” del mismo menú “Online” se encuentre activada y luego proceder a utilizar “login”.

Si se desea que se descargue el programa al PLC, se debe revisar que la casilla de simulación no se encuentre activada y utilizar “login”, pero en este caso, primero es necesario configurar la dirección a donde se enviará el programa. Para lo cual se debe ingresar a la opción “Communication parameters”, en donde se debe crear un nuevo canal de comunicación, y en donde se debe especificar la dirección del PLC, como se muestra en la figura 5.32.

Figura 5.32. “Communication Parameters”



5.4.1. Descripción general

Con este programa se pretende realizar la conversión de los datos obtenidos por los sensores y las levas, en alturas basadas en cm de asfalto contenidas en los tanques y en la masa de los mismos en kilogramos, además de apagar la bomba asfalto, si se llegasen a activar alguno de los sensores de alerta de nivel de los tanques. Asimismo con este programa, se pretende

controlar la bomba del sistema de carga de ácido, para que despache la cantidad de éste, lo cual se necesita de manera automática.

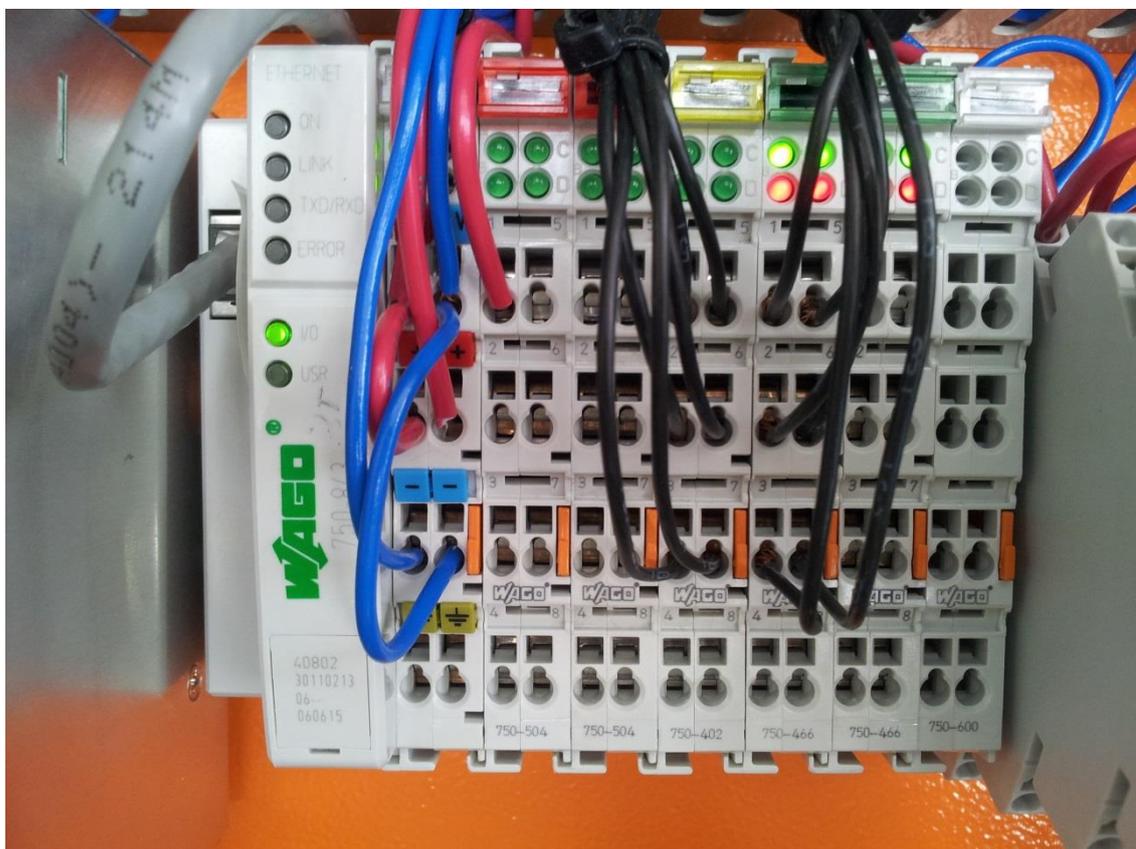
La estructura general del programa está creada en el lenguaje CFC, con subprogramas a manera de bloques, a los que se los llama según se requiera.

En cuanto a ciertas matrices de datos, se las declaró como variables globales, es decir, un tipo de variables que pueden ser llamadas de cualquier parte del programa o subprogramas, para que así no tengan que ser llamadas varias veces.

5.4.2. Configuración

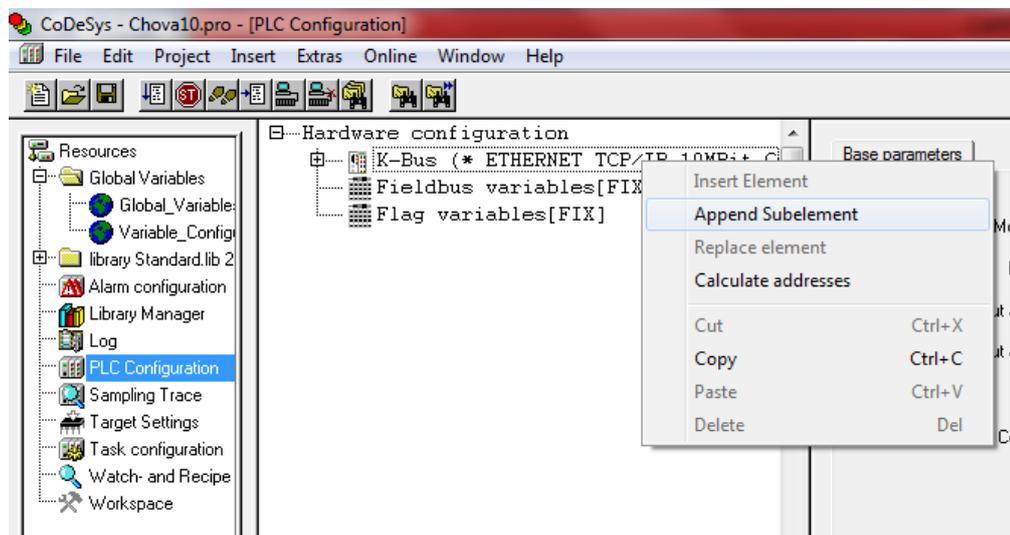
Para que el programa reconozca la configuración del PLC, es decir, cómo se encuentran colocados los módulos físicamente, es necesario que los mismos sean descritos, en cuanto a su ubicación y modelo.

Figura 5.33. PLC y módulos



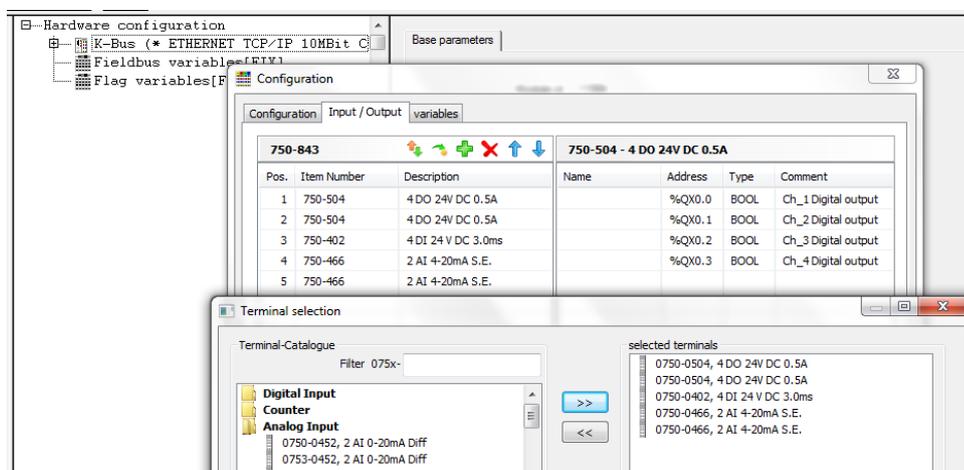
Como se muestra en la figura 5.33, la configuración física del PLC, empieza por dos módulos 750-504, seguido por un módulo 750-402 y finalmente dos módulos 750-466. Esta configuración se debe ingresar al programa mediante la opción “PLC configuration” que se encuentra en la pestaña “resources” ubicada en la parte inferior izquierda del programa. Aquí se debe hacer clic derecho en el icono de “K-bus” y en “Append Subelement” (figura 5.34), lo que nos llevará a la selección de cada módulo, de acuerdo a como se los colocó físicamente.

Figura 5.34. Agregar elementos



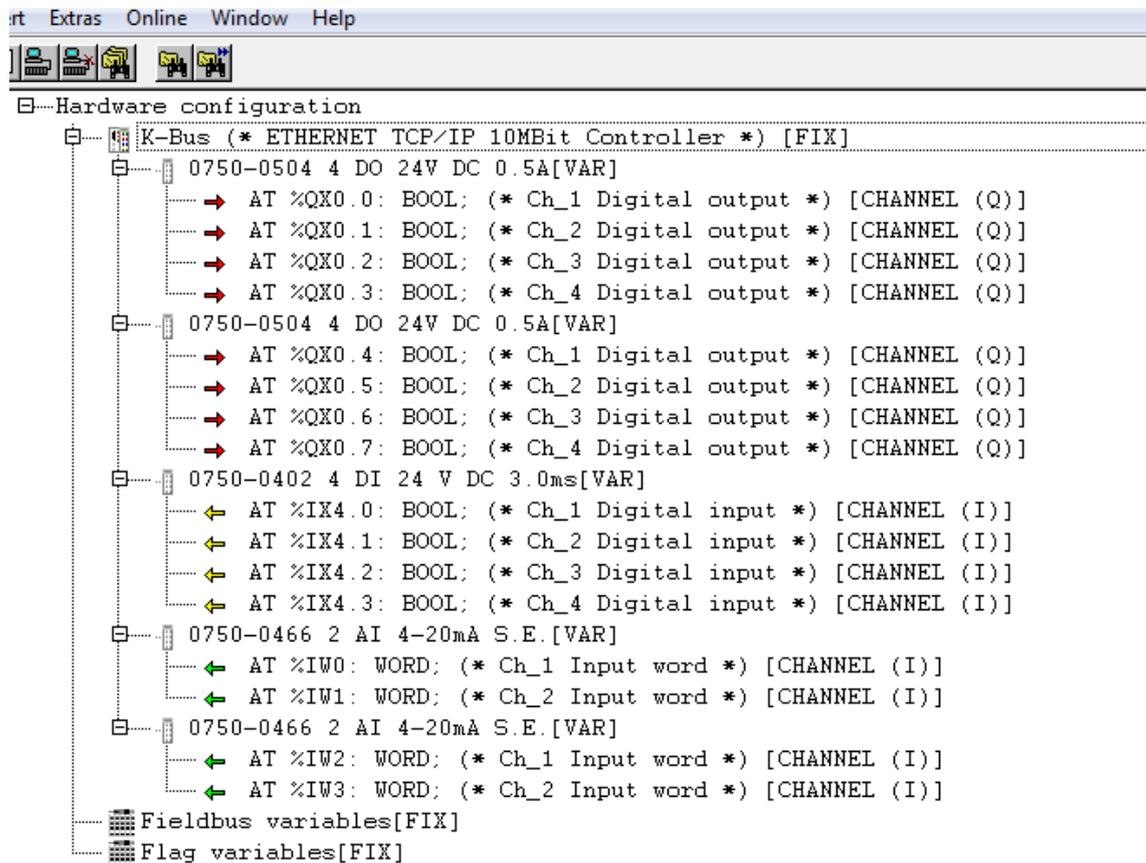
Los elementos (módulos), deben agregarse mediante el botón con el símbolo “+” en color verde, de donde se debe seleccionar de carpetas, los módulos de acuerdo con numeración, como se muestra en la figura 5.35.

Figura 5.35. Selección de los módulos



Una vez que se han configurado los módulos en el programa, se mostrarán como en la figura 5.36.

Figura 5.36. Nombres de las inputs y outputs



Lo más importante al realizar esta configuración, es que de este modo, se generan los nombres por los cuales se deben llamar a las salidas y entradas de los módulos. Por ejemplo, en el primer módulo, sus salidas digitales deben ser llamadas en el programa como %QX0.0 a la primera, %QX0.1 a la segunda y así sucesivamente de acuerdo con el módulo en cuestión. Además de esta información, a la derecha del nombre, se indica que tipo de datos son, para el caso en el que se requiera realizar una operación con ellos.

En la tabla 5.6 se encuentra un resumen de conexiones, en donde se especifican las conexiones de cada sensor. Y que se complementa con el diagrama del **ANEXO F**.

Tabla 5.6. Resumen de conexiones PLC-sensores

PLC	Tipo de dato	Sensor	Función
750-0504 4 DO 24VDC 0.5A			
%QX0.0	BOOL	Relé1	Apaga la bomba de asfalto
%QX0.1	BOOL	Relé2	Enciende la bomba de ácido
%QX0.2	BOOL		
%QX0.3	BOOL		
750-0504 4 DO 24VDC 0.5A			
%QX0.4	BOOL		
%QX0.5	BOOL		
%QX0.6	BOOL		
%QX0.7	BOOL		
750-0402 4 DI 24VDC 3.0ms			
%IX4.0	BOOL	IME18 Tanque1	Alerta de nivel máximo Tanque1
%IX4.1	BOOL	IME18 Tanque2	Alerta de nivel máximo Tanque2
%IX4.2	BOOL	IME18 Tanque3	Alerta de nivel máximo Tanque3
%IX4.3	BOOL		
750-0466 2AI 4-20mA			
%IW0	WORD	SIEA18 Tanque1	Sensor (leva) tanque1
%IW1	WORD	SIEA18 Tanque2	Sensor (leva) tanque2
750-0466 2AI 4-20mA			
%IW2	WORD	SIEA18 Tanque3	Sensor (leva) tanque3
%IW3	WORD		

5.4.3. Variables y tipos de datos utilizados

La creación de las variables en el programa, obedece a las necesidades de programación del mismo y la manera en que se las organiza obedece a la necesidad de ahorrar espacio.

Es muy importante saber qué tipos de datos se van a utilizar y para qué se los va a utilizar. Por ejemplo, si el rango de una variable va llegar hasta 100, se desperdiciaría espacio de memoria al asignarle a esa variable datos de tipo Word, cuyo límite superior es 65535, pero su espacio en la memoria es de 16Bits. En este caso, lo óptimo será asignar a la variable un dato de tipo Byte cuyo límite superior es 255 pero su espacio es de 8Bits. En la tabla 5.7 se puede observar los tipos de datos que maneja el programa.

Tabla 5.7. Tipos de datos estándar

Tipo	Límite Inferior	Límite superior	Espacio de memoria
ENTEROS			
BYTE	0	255	8 Bit
WORD	0	65535	16 Bit
DWORD	0	4294967295	32 Bit
SINT	-128	127	8 Bit
USINT	0	255	8 Bit
INT	-32768	32767	16 Bit
UINT	0	65535	16 Bit
DINT	-2147483648	2147483647	32 Bit
UDINT	0	4294967295	32 Bit
BOOL			
BOOL	True (verdadero)	False (falso)	8 Bit
REALES			
REAL	1.175494351E-38	3.402823466E+38	32 Bit
LREAL	2.22507385850720E-308	1.7976931348623158E+308	64 Bit
STRING			
STRING	--	--	Ilimitado*

* los datos tipo STRING no estan limitados en CoDeSys, pero las funciones admiten un máximo de 225 caracteres.

Fuente: Elaboración propia, CoDeSys Help.

Si bien es cierto, que al dimensionar una variable, puede que no haya mucha diferencia entre los tipos de datos que se utilice, sí la hay al momento en el que se dimensionan muchas variables, como es el caso de las matrices que se deben ingresar para el cálculo de la masa, las cuales contienen más de 300 elementos, es entonces cuando empieza a pesar de manera significativa que tipo de dato utilizar.

Las variables se declaran en la parte superior del programa o de los subprogramas como se explicó al inicio del subcapítulo 5.4.

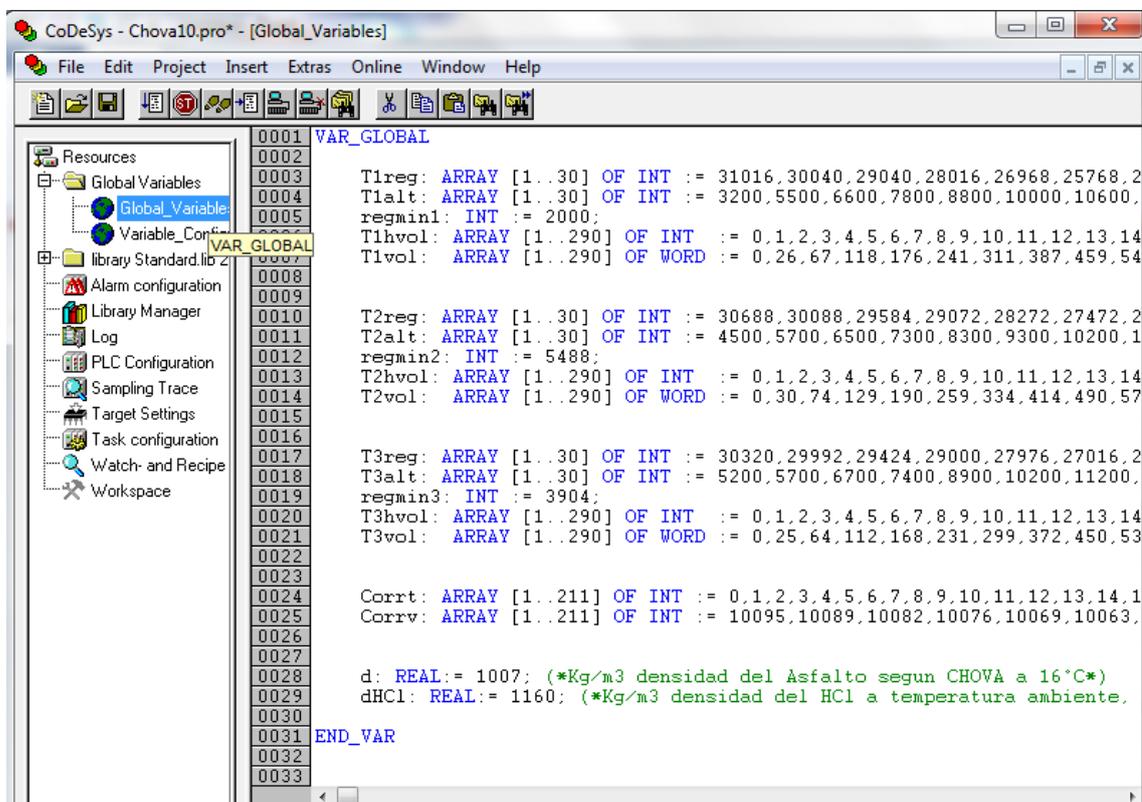
5.4.4. Variables globales

El declarar una variable como global, permite al programador, llamar a esta variable desde cualquier programa o subprograma que se cree dentro del proyecto y posee la ventaja adicional, si en caso de un cambio en estas

variables, la persona que realice el cambio no debe entrar al programa en sí para realizarlo.

Para declarar las variables globales se debe ingresar a la pestaña “Resources”, ubicada en la parte inferior izquierda del programa, y ahí en la carpeta “Global Variables” se puede ver un ícono con la forma del globo en donde se puede ingresar este tipo de variables, tal como se muestra en la figura 5.37.

Figura 5.37. Variables Globales



Las variables globales, en este proyecto, corresponden en su mayoría a arreglos, que finalmente son un tipo de dato definido. Para declarar un arreglo (Array) se debe especificar su nombre, que es como tal un arreglo, el número de elementos que va a contener y el tipo de elementos del mismo.

Las variables globales declaradas en el programa, hacen referencia a los datos como de la tabla 5.8, en la cual, a la derecha se hace referencia al ANEXO en donde se pueden encontrar las tablas completas, ya que debido a su tamaño no se las puede incluir en este capítulo.

Tabla 5.8. Variables Globales declaradas

Nombre	Tipo de dato	Tamaño /Valor	Tipo dato (array)	Referencia	ANEXO TABLA
T1reg	ARRAY	1..30	INT	Calibracion del sensor del tanque 1	6.1
T1alt	ARRAY	1..30	INT	Calibracion de altura del tanque 1	
regmin1	INT	2000		Valor del registro [30] T1reg	
T1hvol	ARRAY	1..290	INT	Altura en cm de asfalto del tanque 1	
T1vol	ARRAY	1..290	WORD	Volumen en m3 de asfalto del tanque 1	
T2reg	ARRAY	1..30	INT	Calibracion del sensor del tanque 2	6.1
T2alt	ARRAY	1..30	INT	Calibracion de altura del tanque 2	
regmin2	INT	5488		Valor del registro [30] T2reg	
T2hvol	ARRAY	1..290	INT	Altura en cm de asfalto del tanque 2	
T2vol	ARRAY	1..290	WORD	Volumen en m3 de asfalto del tanque 2	
T3reg	ARRAY	1..30	INT	Calibracion del sensor del tanque 3	6.1
T3alt	ARRAY	1..30	INT	Calibracion de altura del tanque 3	
regmin3	INT	3904		Valor del registro [30] T3reg	
T3hvol	ARRAY	1..290	INT	Altura en cm de asfalto del tanque 3	
T3vol	ARRAY	1..290	WORD	Volumen en m3 de asfalto del tanque 3	
Corrt	ARRAY	1..211	INT	Temperaturas del asfalto	-
Corrv	ARRAY	1..211	INT	Factor de corrección del volumen	-
d	REAL	1007		Densidad del asfalto según Chova	K
dHCL	REAL	1160		Densidad del HCl	

5.4.5. Programación

La programación en CFC fue realizada de manera secuencial. Lo primero es declarar las variables utilizadas en el programa (tabla 5.9.) con las cuales se elabora todo el programa en sí.

Generalmente, las variables declaradas son de un tipo de datos conocido, si no es un dato típico del programa, como los descritos en el subcapítulo 5.4.3, entonces se trata de un bloque de un subprograma definido, ya que a estos bloques se los debe declarar también.

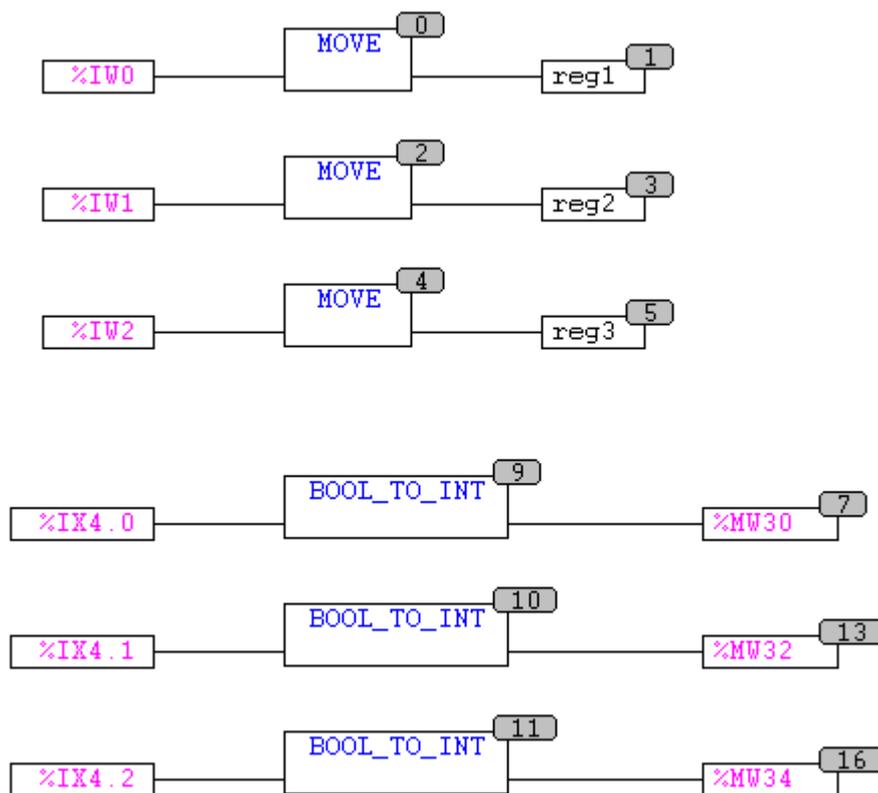
Tabla 5.9. Variables de la programación general

Variable	Tipo	Descripcion
Tanque1	Interpol	Bloque Interpolacion Tanque1
Tanque2	Interpol	Bloque Interpolacion Tanque2
Tanque3	Interpol	Bloque Interpolacion Tanque3
reg1	INT	Registro sensor leva Tanque1
reg2	INT	Registro sensor leva Tanque2
reg3	INT	Registro sensor leva Tanque3
FR1	INT	Fuera de rango del Tanque 1
FR2	INT	Fuera de rango del Tanque 2
FR3	INT	Fuera de rango del Tanque 3
Temp1	INT	Temperatura del Tanque 1
Temp2	INT	Temperatura del Tanque 2
Temp3	INT	Temperatura del Tanque 3
masaTQ1	Masa	Bloque Masa del tanque 1
masaTQ2	Masa	Bloque Masa del tanque 2
masaTQ3	Masa	Bloque Masa del tanque 3
masa2TQ1	Masa2	Bloque Masa2 del tanque1
masa2TQ2	Masa2	Bloque Masa2 del tanque2
masa2TQ3	Masa2	Bloque Masa2 del tanque3
bomba_asfalto_T1	TP	Detiene la bomba de asfalto Alarma TQ1
bomba_asfalto_T2	TP	Detiene la bomba de asfalto Alarma TQ2
bomba_asfalto_T3	TP	Detiene la bomba de asfalto Alarma TQ3
time_asf_T1	TIME	tiempo de detención de la bomba TQ1
time_asf_T2	TIME	tiempo de detención de la bomba TQ2
time_asf_T3	TIME	tiempo de detención de la bomba TQ3
Acido	Acido	Calcula el timepo de bomba del Ácido
bomba_acido	TP	Temporizador para la bomba de Ácido
PH_acido	INT	Es el PH de a solución
BATCH_acido	INT	El tamaño del Batch a producir
KG_acido	INT	Los Kg de acido que se necesitan
ON_OFF_acido	BOOL	Enciende o apaga la bomba
time_acido	TIME	Es el tiempo de funcionamiento de la bomba
Tacido_aux	TIME	visualización del timepo transcurrido
Time_HCL	Time_Acido	Bloque que convierte el timepo

La programación empieza al mover los datos recibidos por los sensores analógicos que trabajan con las levas, a variables internas, para utilizarlos en

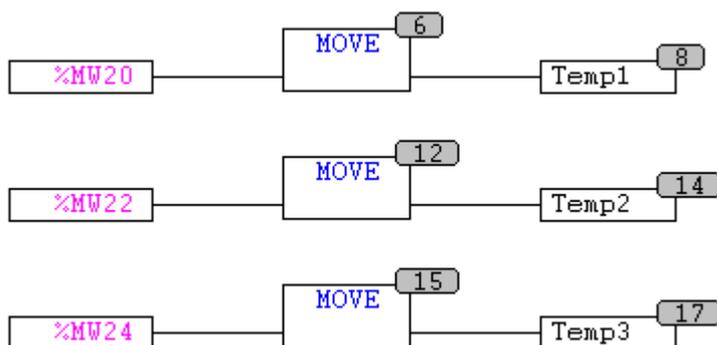
cálculos posteriores. También se envía a MW²⁰, los datos de los sensores de máximo nivel de los tres tanques, para que se los pueda leer en la pantalla HMI. Todo esto se encuentra en la figura 5.38.

Figura 5.38. Programación general parte 1



A continuación, se reciben los datos de temperatura del Script en InTouch y se los almacena en MW, como se muestra en la figura 5.39.

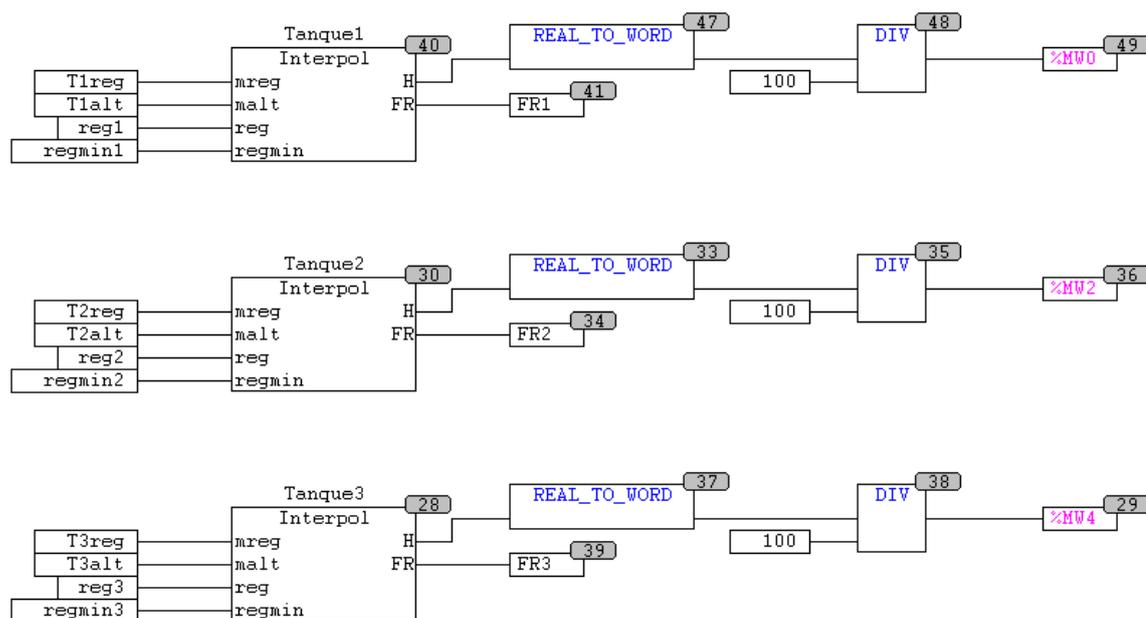
Figura 5.39 Programación general parte 2



²⁰ MW o %MW es una Memory Word, o un espacio de almacenamiento del PLC con una dirección fija.

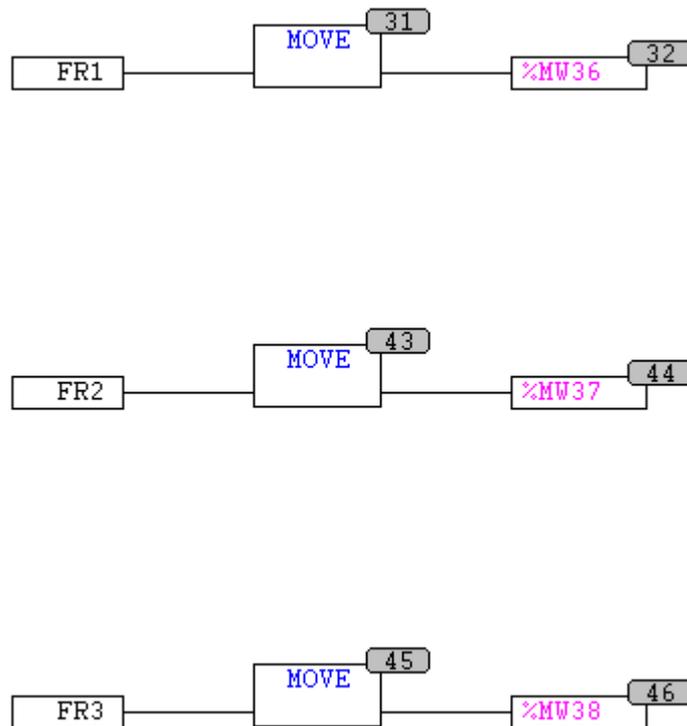
Lo siguiente es, insertar los bloques que realizan la interpolación de las tablas de calibración, para encontrar los niveles de los tanques, esto se puede observar en la figura 5.40. Aquí se puede observar también que, al salir el dato de la altura, se lo divide para cien, con la intención de trabajar con los decimales, como se explica más adelante en el subprograma “Interpol”.

Figura 5.40. Programación general parte 3



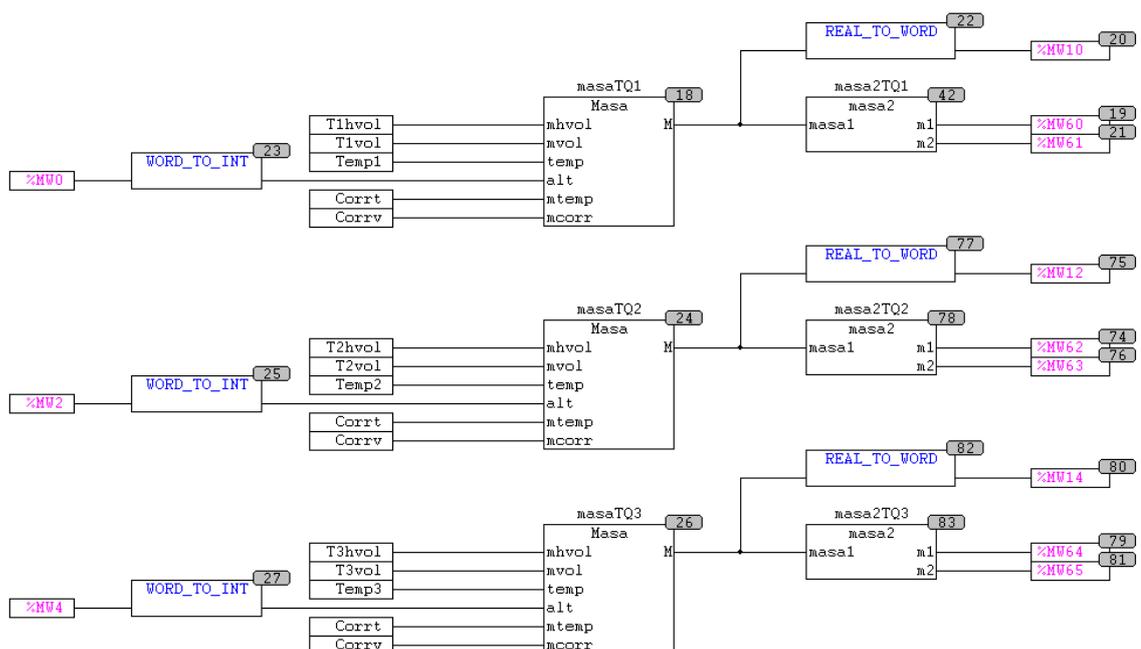
A continuación, se envían a MW a los datos de fuera de rango de los tanques, como se puede observar en la figura 5.41.

Figura 5.41. Programación general parte 4



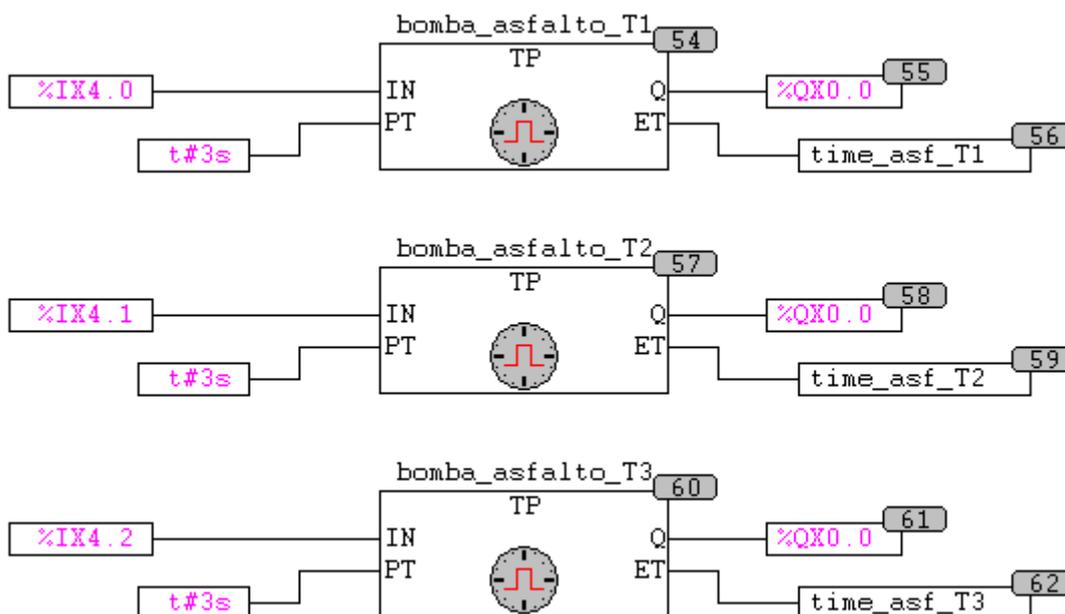
Con los datos de altura y temperatura, se procede a realizar el cálculo de la cantidad de asfalto en kilogramos, con la ayuda del subprograma “masa” como se muestra en la figura 5.42.

Figura 5.42. Programación general parte 5



En la figura 5.42, también se puede observar al subprograma “masa2”, que divide en dos al valor de la masa, debido a que, para InTouch es un valor demasiado grande.

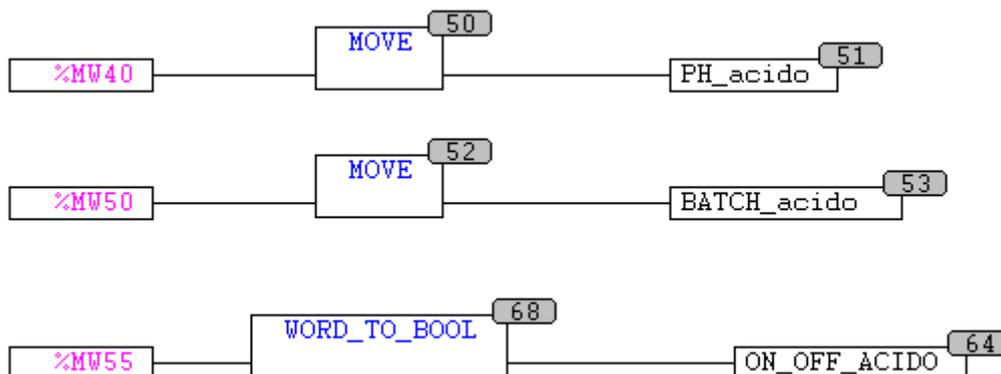
Figura 5.43. Programación general parte 6



En la figura 5.43, se puede observar, cómo a través de un temporizador se detienen las bombas en el caso de que se active alguna de las alarmas de nivel, el tiempo de activación del relé que apaga a las bombas es de tres segundos, en el caso de que la señal eléctrica, demorase en llegar por cualquier motivo.

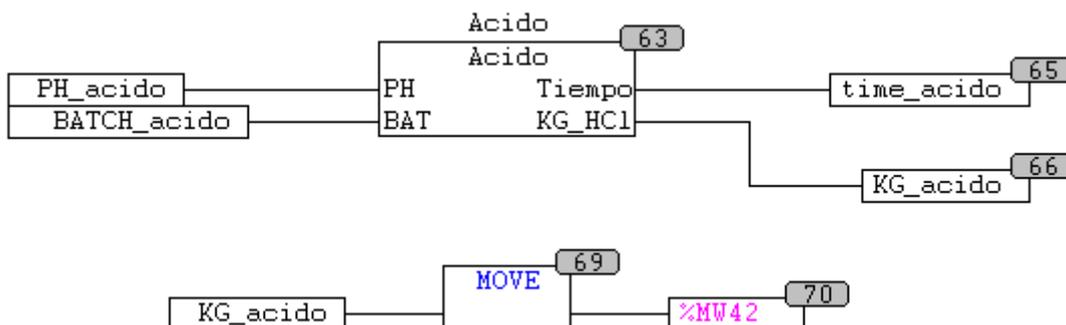
A continuación, se recibe los valores de pH y del tamaño del Batch, que son enviados por el usuario al PLC a través de InTouch, ésto se puede observar en la figura 5.44.

Figura 5.44. Programación general parte 7



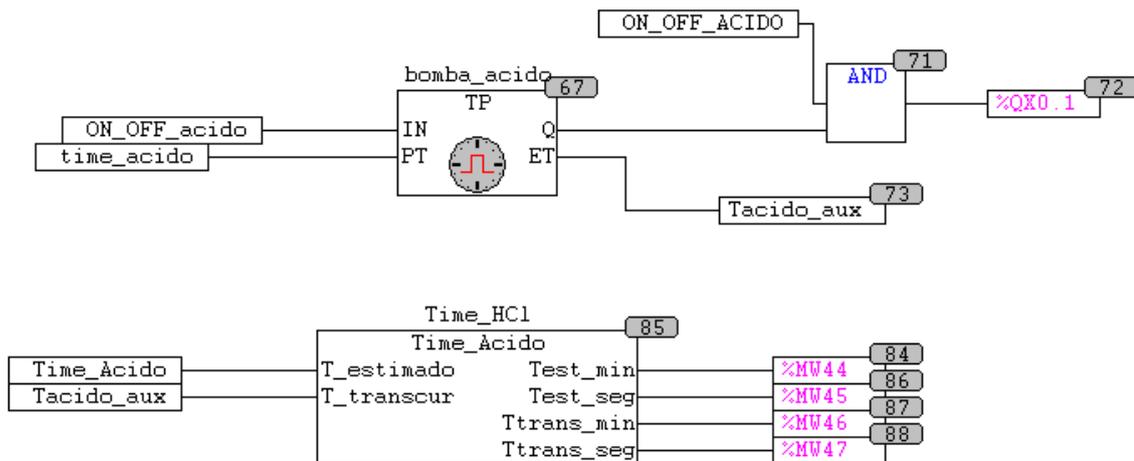
En la figura 5.44 se puede observar cómo ingresan los datos de pH y el tamaño del Batch al subprograma “ácido”, y a su vez, se envía el valor de los kilogramos de ácido a InTouch, a través de una MW.

Figura 5.45. Programación general parte 8



En la figura 5.45 se puede observar, cómo mediante un temporizador, al cual ingresan los datos del subprograma “ácido”, se controla el tiempo de funcionamiento de la bomba. Y finalmente mediante “Time_HCl” se envían los datos de tiempo, al usuario.

Figura 5.46. Programación general parte 9



Las llamadas Memory Words, que son áreas de memoria asignadas a una dirección específica del PLC y a las cuales se llama de diferentes programas, como ya se explicó con anterioridad, juegan un papel fundamental en la transmisión de los datos para efectos de visualización externa. El resumen de las Memory Words utilizadas se encuentra en la tabla 5.10. Se puede interpretar a las MW de la tabla, como el resultado de toda la programación.

Tabla 5.10. Resumen de la MW utilizadas

Memory Word	Función	Intouch	HMI
%MW0	Nivel en cm del tanque 1	X	X
%MW2	Nivel en cm del tanque 2	X	X
%MW4	Nivel en cm del tanque 3	X	X
%MW10	Masa (completa) en kg del Tanque1		X
%MW12	Masa (completa) en kg del Tanque2		X
%MW14	Masa (completa) en kg del Tanque3		X
%MW20	Recibe la temperatura del tanque 1	X	
%MW22	Recibe la temperatura del tanque 2	X	
%MW24	Recibe la temperatura del tanque 3	X	
%MW30	Alarma de nivel alto tanque 1		X
%MW32	Alarma de nivel alto tanque 2		X
%MW34	Alarma de nivel alto tanque 3		X
%MW36	Fuera de Rango del Tanque 1	X	X
%MW37	Fuera de Rango del Tanque 2	X	X
%MW38	Fuera de Rango del Tanque 3	X	X
%MW40	Recibe el valor de PH del usuario	X	
%MW42	Informa acerca de los Kg de HCl segun formula	X	
%MW44	t estimado de funcionamiento la bomba de HCl min	X	
%MW45	t estimado de funcionamiento la bomba de HCl seg	X	
%MW46	t restante de funcionamiento la bomba de HCl min	X	
%MW47	t restante de funcionamiento la bomba de HCl seg	X	
%MW50	Recibe el tamaño del Batch de usuario	X	
%MW55	Controla el encendido de la bomba de acido	X	
%MW60	masa del tanque 1 parte A	X	
%MW61	masa del tanque 1 parte B	X	
%MW62	masa del tanque 2 parte A	X	
%MW63	masa del tanque 2 parte B	X	
%MW64	masa del tanque 3 parte A	X	
%MW65	masa del tanque 3 parte B	X	
%MW69	Pruebas	X	X
%MW80	Pruebas		X

5.4.6. Subprograma INTERPOL

Este programa se encarga de realizar una interpolación lineal, con los datos que se obtuvieron de la calibración de las levas. La calibración de las levas se explica con exactitud en el capítulo 6, pero por lo pronto es necesario saber, que se tomó una serie de datos a manera de una tabla, en donde se comparan los datos obtenidos por la distancia del seguidor al sensor con los datos de altura de asfalto en el tanque.

En vista de que no es posible ni práctico, medir cada uno de los 32767 puntos que puede obtenerse del sensor y compararlos con la altura del asfalto, entonces se deben utilizar los puntos obtenidos con la calibración, pero realizando una interpolación para los puntos intermedios, en donde no se obtuvieron valores.

Todos los subprogramas de esta aplicación, tienen la misma estructura. Se los creó a modo de bloques, para que se puedan insertar en el programa principal y utilicen las variables ya declaradas. Además los subprogramas utilizan el lenguaje ST (Structured Text) ya que es más sencillo de programar este tipo de secuencias en un lenguaje así.

Al empezar éste y cualquier otro programa, se deben declarar las variables que se van a utilizar, y tomar en cuenta que, ya que es un bloque de funciones, entonces se deben tener variables de entrada, de uso del mismo programa y de salida o de resultado del bloque.

En este caso las variables utilizadas se describen en la tabla 5.11.

Tabla 5.11. Variables de subprograma “Interpol”

Nombre	Tipo	Tamaño /Valor	Tipo	Función
Variables de ingreso				
mreg	ARRAY	1..30	INT	Recibe los datos de la calibración del sensor
malt	ARRAY	1..30	INT	Recibe los datos de la altura del asfalto
reg	INT	-		Recibe el valor actual del sensor
regmin	INT	-		Recibe el valor de la matriz mreg[30]
Variables del salida				
H	REAL	-		Altura del sfalto en el tanque
FR	INT	-		Fuera de rando de medición
Variables del programa				
i	INT	-		Auxiliar para la búsqueda en la matriz
Xa	REAL	-		Valor mas bajo que "reg" en la matriz mreg (mreg[i])
Xb	REAL	-		Valor mas alto que "reg" en la matriz mreg (mreg[i+1])
Ya	REAL	-		Valor correspondiente a mreg[i] en la matriz malt
Yb	REAL	-		Valor correspondiente a mreg[i+1] en la matriz malt
H1	INT	-		Auxiliar que permite ver el numero entero de H

En la figura 4.4, se puede observar el código en ST del subprograma. Lo primero, es validar la altura para el límite superior, si es que no es el caso, entonces se busca en la matriz de registros (mreg), para obtener los valores superiores e inferiores al registro, y debido a que, las matrices mreg y malt (alturas) son del mismo tamaño, entonces es válido decir que el elemento “i” corresponde el elemento “i” de la otra matriz.

Figura 5.47. ST programa interpol

```

0001 IF reg=regmin (*Valido para el limite superior*)
0002 THEN
0003 H:=malt[30];
0004 ELSE
0005
0006 FOR i:=1 TO 29 DO (*Busqueda en la matriz*)
0007
0008 IF mreg[i]=reg
0009 THEN
0010 H:=malt[i];
0011 END_IF
0012
0013 IF mreg[i]>reg
0014 THEN
0015 IF reg>mreg[i+1]
0016 THEN (*Interpolacion*)
0017
0018 Xa:=INT_TO_REAL(mreg[i]);
0019 Xb:=INT_TO_REAL(mreg[i+1]);
0020 Ya:=INT_TO_REAL(malt[i]);
0021 Yb:=INT_TO_REAL(malt[i+1]);
0022
0023 H:=(Ya+((reg-Xa)*(Yb-Ya)/(Xb-Xa)));
0024
0025 END_IF
0026 END_IF
0027
0028 END_FOR
0029
0030 END_IF
0031
0032 H1:=REAL_TO_INT(H);
0033
0034 (*Fuera de los rangos de medicion*)
0035 IF reg >= mreg[1] OR reg <= mreg[30]
0036 THEN
0037 FR:=1;
0038 ELSE
0039 FR:=0;
0040 END_IF
0041

```

Una vez que se han encontrado los elementos de las matrices, se los guarda en otras variables y se procede a hacer con ellas la interpolación lineal. De este modo, se halla la variable de salida (línea 18 hasta la 23 del código).

Lo siguiente es, determinar si se está trabajando fuera de los rangos de medición, es decir, cuándo el nivel del tanque se encuentra por bajo del nivel mínimo, o sobre los 260 [cm].

5.4.7. Subprograma MASA

Este programa pretende hallar la masa de los tanques, por medio de la altura que se encuentra con “interpol”, y las temperaturas que provienen de las PT100, a través de InTouch, lo que quiere decir, que solo será correcta la masa que se halle, si es que InTouch también se encuentra funcionando correctamente. Las variables que se utilizan en el programa se describen en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Variables del subprograma “masa”

Nombre	Tipo	Tamaño /Valor	Tipo	Función
Variables de ingreso				
mhvol	ARRAY	1..290	INT	Matriz para comparar con la altura
mvol	ARRAY	1..290	WORD	Matiz que contiene los volúmenes SGS
temp	INT	-	-	Temperatura
alt	INT	-	-	Altura
mtemp	ARRAY	1..211	INT	Matriz para comparar con la temperatura
mcorr	ARRAY	1..211	INT	Matriz de factores de corrección
Variables del salida				
M	REAL	-	-	Masa
Variables del programa				
i	INT	-	-	Auxiliar para buscar en una matriz
j	INT	-	-	Auxiliar para buscar en una matriz
V	REAL	-	-	Volumen
C	REAL	-	-	Factor de corrección del volumen
Vc	REAL	-	-	Volumen corregido
Vaux	WORD	-	-	Auxiliar para no usar reales todo el tiempo
Caux	WORD	-	-	Auxiliar para no usar reales todo el tiempo

La temperatura se tuvo que trasladar desde la aplicación InTouch, ya que no existe una forma directa de comunicación entre el PLC y las DAQs, sin pasar por el computador. Una vez que se ha obtenido la temperatura, se debe

ingresar a una tabla de corrección del volumen del asfalto, que en función de su temperatura arroja un factor que toma en cuenta la expansión volumétrica y el cambio de densidad cuando del asfalto se calienta o enfría. La tabla se encuentra en el **ANEXO L**.

Con los valores de altura se puede entrar a una tabla, proporcionada por SGS²¹, en donde se encuentran los valores de volumen del tanque en [m³]. Y aplicando la ecuación de la densidad se obtiene que:

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

$$m = \delta \cdot V \quad (5.1)$$

Tomando en cuenta el factor de corrección del volumen (C) se obtiene que:

$$m = \delta \cdot V \cdot C \quad (5.2)$$

Esto último se realiza en el programa en dos partes, ya que primero, se halla el volumen corregido y después se lo multiplica por la densidad del asfalto.

Cabe recalcar que, se utilizan auxiliares para poder trabajar con todos los números decimales, ya que las tablas con los factores de corrección se ingresaron multiplicadas por 10000 para que no se las deba declarar como reales, ya que así superaban la capacidad del PLC.

En la figura 5.48, se puede observar, cómo se buscan en ambas matrices, al volumen y a su factor de corrección, luego se transforman a reales, al volumen y al factor de corrección para no perder precisión en los cálculos, y finalmente se multiplica todo para hallar la masa.

²¹ SGS, empresa que realizó la medición de volúmenes (cubicaje) de los tanques de asfalto del Inga

Figura 5.48. ST programa masa

```

0001
0002 FOR i:=1 TO 289 DO (*Busqueda en la matriz*)
0003
0004 IF mhvol[i]=alt
0005 THEN
0006 Vaux:=mvol[i];
0007 END_IF
0008
0009 END_FOR
0010
0011
0012 FOR j:=1 TO 210 DO (*Busqueda en la matriz*)
0013
0014 IF mtemp[j]=temp
0015 THEN
0016 Caux:=mcorr[j];
0017 END_IF
0018
0019 END_FOR
0020
0021 V:= WORD_TO_REAL (Vaux);
0022
0023 C:= WORD_TO_REAL (Caux);
0024
0025 (*para 10000 por que el factor de volumen*)
0026
0027 Vc:=V*C/10000;
0028 d:=1007;
0029
0030 (*para 1000 por que el volumen multiplicado*)
0031
0032 M:=d*Vc/1000;
0033

```

5.4.8. Subprograma MASA2

Debido a que el resultado de la masa de los tanques puede ser muy grande como para que InTouch lo reconozca en una sola MW, entonces es necesario dividirlo en dos partes, cuando la masa es mayor a 32767. Eso es lo que se hace con el subprograma “masa2”. Las variables usadas se muestran en la tabla 5.13.

Tabla 5.13. Variables de subprograma “masa2”

Nombre	Tipo	Función
Variables de ingreso		
masa1	REAL	la masa del tanque
Variables del salida		
m1	WORD	la parte "a" de la masa
m2	WORD	la parte "b" de la masa
Variables del programa		
masa1	WORD	auxiliar para trabajar con números enteros

La programación se muestra en la figura 5.49

Figura 5.49. ST programa masa2

```

0001 Masa := REAL_TO_INT(masa1);
0002
0003 IF Masa>32767
0004
0005 THEN
0006
0007 m1 := (Masa-32767);
0008 m2 := 32767;
0009
0010 ELSE
0011
0012 m1 := Masa;
0013 m2 := 0;
0014
0015 END_IF

```

5.4.9. Subprograma ÁCIDO

Este subprograma, fue diseñado, para hallar el tiempo de funcionamiento de la bomba, según como se explicó en el subcapítulo 3.3.5.

Las variables involucradas se describen en la tabla 5.14.

Tabla 5.14. Variables del subprograma “ácido”

Nombre	Tipo	Función
Variables de ingreso		
PH	INT	El valor del pH, ingresado via Intouch
BAT	INT	El tamaño del Batch ingresado via Intouch
Variables del salida		
Tiempo	TIME	Tiempo de funcionamiento de la bomba
KG_HCl	INT	Kilogramos de HCl
Variables del programa		
V	REAL	Volumen en m3
VL	REAL	Volumen en Litros
Tiempo_aux	INT	Es el tiempo en números enteros

En la figura 5.50, se puede observar que lo primero que hace el programa, es hallar la cantidad en kilogramos de HCl que se necesitan, comparando el pH al que debe llegar y el tamaño del Batch. Estos datos fueron proporcionados por la empresa y se ingresan a través de InTouch.

Figura 5.50 ST programa ácido

```

0001 (*Para PH=1.8 y los batch de 1 a 1/3*)
0002
0003 IF PH=18 AND BAT=100
0004 THEN
0005 KG_HCl:=12;
0006 END_IF
0007
0008 IF PH=18 AND BAT=66
0009 THEN
0010 KG_HCl:=8;
0011 END_IF
0012
0013 IF PH=18 AND BAT=33
0014 THEN
0015 KG_HCl:=4;
0016 END_IF
0017
0018 (*Para PH=2.0 y los batch de 1 a 1/3*)
0019
0020 IF PH=20 AND BAT=100
0021 THEN
0022 KG_HCl:=30;
0023 END_IF
0024
0025 IF PH=20 AND BAT=66
0026 THEN
0027 KG_HCl:=20;
0028 END_IF
0029
0030 IF PH=20 AND BAT=33
0031 THEN
0032 KG_HCl:=10;
0033 END_IF
0034
0035 (*Para obtener el tiempo de bombeo*)
0036
0037 V:=KG_HCl/dHCl;
0038 VL:=V*1000;
0039 Tiempo_aux:=REAL_TO_INT(VL*3600/400);
0040
0041 (*multiplico por 1000 por que el tiempo sale en ms*)
0042 Tiempo:= INT_TO_TIME(Tiempo_aux)*1000;

```

Una vez que se tiene la cantidad de ácido en kilos se la transforma a volumen por medio de su densidad, la cual fue proporcionada por las hojas técnicas del producto.

Finalmente, se obtiene el tiempo en segundos, que debe ser transformado de entero a una variable de tiempo para que el programa la entienda como tal, y se lo multiplica por 1000 debido a que al momento de transformar los enteros a tiempo, el programa los devuelve en milisegundos.

5.4.10. Subprograma time_acido

Este subprograma transforma los segundos de funcionamiento en tiempo en minutos y segundos, ya que esa información se debe enviar por separado al operador en la pantalla de monitoreo del sistema, en InTouch. Las variables utilizadas en el programa se describen en la tabla 5.16.

Tabla 5.15. Variables de subprograma “time_acido”

Nombre	Tipo	Función
Variables de ingreso		
T_estimado	TIME	Tiempo estimado de "acido"
T_transcurr	TIME	Tiempo que ya ha pasado desde que empezo la bomba
Variables del salida		
Test_min	INT	Tiempo estimado en minutos
Test_seg	INT	Tiempo estimado en segundos
Ttrans_min	WORD	Tiempo que ha transcurrido en minutos
Ttrans_seg	WORD	Tiempo que ha transcurrido en segundos
Variables del programa		
T_est_aux	INT	Auxiliar para hallar los minutos y segundos
T_trans_aux	INT	Auxiliar para hallar los minutos y segundos

En la figura 5.51, se puede observar, que lo primero es regresar el tiempo a enteros, para lo cual se debe tomar en cuenta, que otra vez el programa va a entender que se tratan de milisegundos, por lo que se divide el tiempo para 1000.

Luego se compara si el tiempo es mayor a 60 segundos y si lo es, se procede a transformarlo en minutos y segundos. Se repite el proceso para el tiempo transcurrido y se envía a las salidas correspondientes.

Figura 5.51. ST programa time_acido

```
0001 T_est_aux:=TIME_TO_INT(T_estimado/1000);
0002 T_trans_aux:=TIME_TO_INT(T_transcur/1000);
0003
0004 IF T_est_aux<60
0005 THEN
0006 Test_min:=0;
0007 Test_seg:=T_est_aux;
0008 ELSE
0009
0010 Test_min:=T_est_aux/60;
0011
0012 Test_seg:=(T_est_aux-(Test_min*60));|
0013
0014 END_IF
0015
0016
0017 IF T_trans_aux<60
0018 THEN
0019 Ttrans_min:=0;
0020 Ttrans_seg:=T_trans_aux;
0021 ELSE
0022
0023 Ttrans_min:=T_trans_aux/60;
0024
0025 Ttrans_seg:=(T_trans_aux-(Ttrans_min*60));
0026
0027 END_IF
0028
```

CAPITULO 6:

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS

6.1. Protocolo de prueba

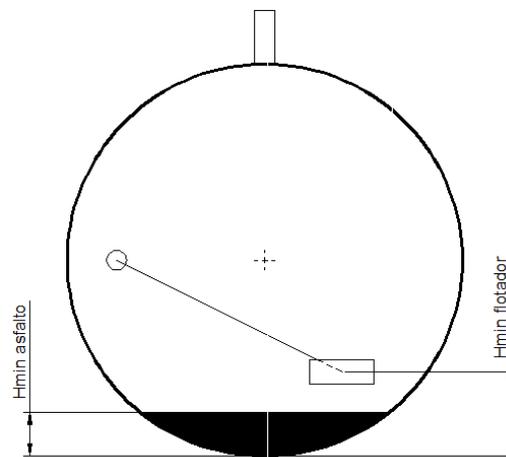
En este subcapítulo se detalla el procedimiento que se utilizó para calibrar el mecanismo de leva-seguidor y el sensor con respecto a la altura de los tanques.

La calibración básicamente consiste en obtener una tabla en la que por un lado se tenga los valores registrados por el sensor en función del movimiento de la leva y por otro, la altura asfalto en el tanque en cm.

En cuanto a los tanques, se debe considerar que uno de ellos debe vaciarse por completo, y es necesario que se tenga la disponibilidad de tiempo de un operador calificado para que realice la medición de los niveles utilizando un instrumento adecuado, y de preferencia que todo el proceso se realice a la luz del día, ya que así es más fácil ver la superficie del asfalto.

Como se muestra en la figura 6.1 el nivel mínimo del asfalto es menor que el nivel mínimo al que alcanza el flotador.

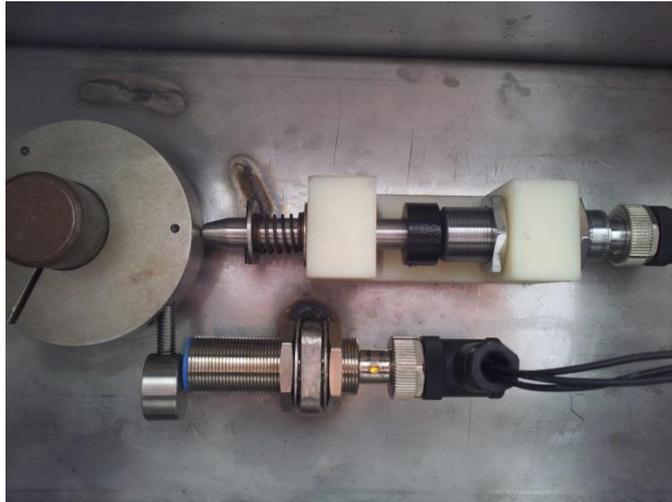
Figura 6.1. Altura mínima del flotador



El hecho de que el flotador no llegue a bajar completamente hasta el fondo del tanque se debe a que el constructor consiente de que existen en el fondo del tanque serpentines de calentamiento como a previsión de no darle ese alcance al mecanismo, lo que genera a su vez una zona de incertidumbre, tanto en la parte inferior como superior del tanque, en donde el flotador no llega a bajar, ni a subir, respectivamente. Dichas zonas de incertidumbre se validan generando las alarmas de fuera de rango de las que se habla en el capítulo 5.

Para realizar el procedimiento de calibración se debe vaciar completamente el tanque en cuestión, para que así el flotador llegue a su nivel mínimo.

Figura 6.2. Leva en la posición máxima



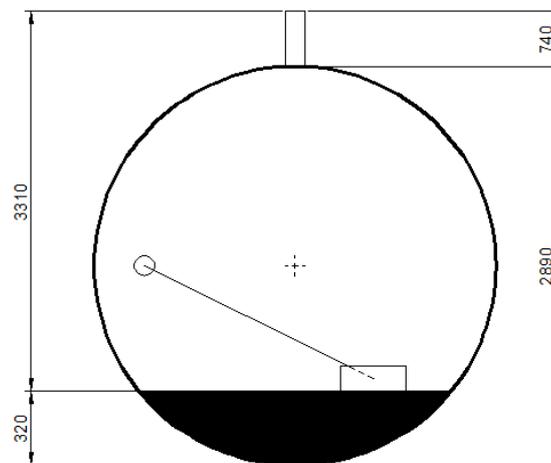
Las levas poseen unas marcas que indican el inicio de su perfil en 0° y su final en 120° . Estas marcas se utilizan como referencias visuales para colocarla en la posición más baja o más alta según se requiera. (Figura 6.2)

Al momento de colocar las levas estas pueden rotar libremente en el eje, y para colocarlas en una posición fija es necesario ver la lectura del sensor, esto se puede hacer con cualquiera de los métodos mencionados en el capítulo 5. Debido a que el sensor puede variar de 0 a 32767 en su rango de operación de 10 [mm], entonces se recomienda que los primeros puntos de medición estén en el orden de los 31000 a 29000 unidades, ya que no se recomienda que el sensor opere a la capacidad total de su rango en este tipo de aplicaciones. Cabe mencionar que para el sensor 32767 unidades significa que un objeto metálico se encuentra a 10 o más milímetros de distancia, mientras que 0 significa que un objeto metálico ya está topando el sensor.

Una vez que se ha fijado las levas, ajustando los pernos que poseen de tal forma que la lectura en el programa no varíe, se procede a registrar el primer valor como una referencia del inicio de los datos. Este primer valor de preferencia no debe formar parte de la tabla de datos, aunque en términos del sensor indicaría donde es lo mínimo que alcanza a bajar el flotador.

Cuando se tiene el valor de referencia inicial, se puede empezar con el procedimiento propiamente, que consiste en llenar el tanque mediante la bomba de asfalto. Debido a que el asfalto poco a poco empieza a subir, se puede notar cuando el flotador ya entrado en contacto con él, por que empieza a decrecer el valor que se registra del sensor. Es en este punto, se debe detener la bomba por primera vez y registrar como primer valor para el sensor el que se marque en la pantalla y como valor de altura el que registre el operador.

Figura 6.3. Ilustración de primer punto del sensor



En la figura 6.3 se puede observar las medidas que se registraron en el primer punto del tanque número 1. El dato que proporciona el operador es la altura desde la superficie del asfalto hasta el tope de la boca del taque en la parte superior, es decir, 3310 [mm]. Para obtener la altura del asfalto se debe tomar en cuenta que la boca posee 740 [mm] de altura, y que el tanque posee en su interior 2890 [mm], por lo tanto la altura se puede escribir de manera general como se muestra en la siguiente ecuación.

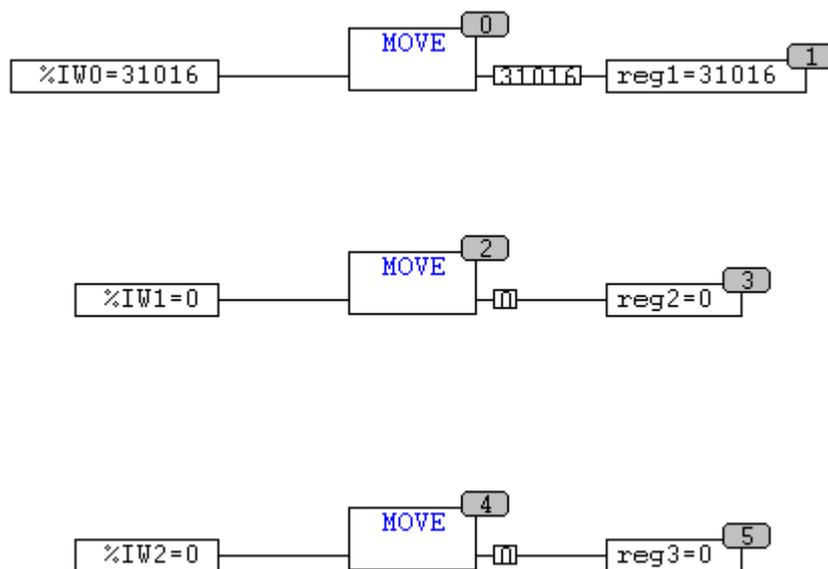
$$H_{ASFALTO} = 2890 - (H_{OPERADOR} - 740) \text{ en [mm]} \quad (6.1)$$

O lo que es más común

$$H_{ASFALTO} = 289 - (H_{OPERADOR} - 74) \text{ en [cm]} \quad (6.2)$$

Aplicando la ecuación correspondiente, la altura del asfalto en centímetros es 35 [cm], que junto con la entrada del sensor, 31016 como se muestra en la figura 6.4

Figura 6.4. Primer registro del sensor del tanque 1



Con este primer par de datos se empieza a generar una tabla, que finalmente ingresará en el PLC. Los datos previstos para el PLC, son en total treinta pares, aunque en la programación se puede ampliar este registro para más valores.

El intervalo, con el que se toma cada par de datos es en promedio cada 100 unidades del sensor, lo que representa los treinta puntos. Pero se debe tomar en cuenta que la forma del tanque no es constante, por lo que al tener la bomba un caudal constante, las secciones del fondo y del techo del tanque se llenarán más rápido que las del medio, por lo que se recomienda que cuando el asfalto se mueva en dichas secciones los datos se tomen con una variación del sensor de 500 a 800 unidades, no menos ya que el arranque y paro de la bomba tan seguido puede ocasionar que se quemé.

Siguiendo este procedimiento de prueba, las tablas de los tres tanques quedaron como se muestra a continuación en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Datos de calibración de los tres tanques.

N°	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3	
	Reg	H	Reg	H	Reg	H
1	31016	32	30688	45	30320	52
2	30040	55	30088	57	29992	57
3	29040	66	29584	65	29424	67
4	28016	78	29072	73	29000	74
5	26968	88	28272	83	27976	89
6	25768	100	27472	93	27016	102
7	25008	106	26664	102	26048	112
8	24016	115	25864	111	25032	123
9	23000	122	25056	119	24048	132
10	22048	130	24048	128	23048	141
11	21016	138	23056	136	22016	149
12	20024	145	22064	144	20998	155
13	19040	151	21064	151	20048	163
14	18000	158	20064	159	19040	170
15	17024	165	19056	168	18024	177
16	16024	171	18040	177	17048	184
17	15032	178	17048	183	16024	190
18	14016	183	16064	190	15016	196
19	13008	190	15064	197	14000	203
20	12040	196	14048	203	13032	209
21	11032	202	13024	210	12024	216
22	10024	208	12024	216	11000	221
23	9056	214	11048	223	9984	228
24	8024	221	10056	232	9016	234
25	7040	227	9240	240	8016	240
26	6032	234	8424	246	6992	247
27	5032	238	7616	252	6008	253
28	4528	242	6800	258	5264	258
29	2440	258	6000	263	4480	263
30	2000	260	5488	266	3904	268

6.2. Pruebas de funcionamiento

El protocolo de pruebas fue definido por Chova del Ecuador S.A. y consistió en cargar asfalto desde un dispositivo externo, el cual había sido pesado previamente a los tanques.

Debido a que las cantidades de emulsión se trabajan por kilos, entonces la materia prima suele cuantificarse mas por su masa que por su volumen, es así que la prueba consistió en mover 10 000 [kg] de asfalto entre los tanques con el siguiente procedimiento:

1. Precalentar la línea de carga de asfalto.
2. Calentar los tres tanques a temperaturas homogéneas.
3. Descargar 10 000 [Kg] de asfalto del tanque uno al tanque dos.
4. Monitorear los niveles de ambos tanques con el sistema instalado.
5. Descargar 10 000 [Kg] de asfalto del tanque dos al tanque tres.
6. Monitorear los niveles de ambos tanques con el sistema instalado.
7. Descargar 10 000 [Kg] de asfalto del tanque tres al tanque uno.
8. Monitorear los niveles de ambos tanques con el sistema instalado.
9. Comparar los resultados obtenidos con el sistema de sensores y los de operador.

La prueba se realizó el día jueves 13 de junio del 2013 según el procedimiento obteniendo los resultados que se muestran en las tablas 6.2, 6.3 y 6.4

Tabla 6. 2. Pruebas en el Tanque 1

		Tanque1 125°C		
T prueba		Operador	Sistema	Dif. (abs)
Nivel [kg]				
Inicio		33520	33211	309
Trasvase tanque 1 a 2		23210	22913	297
Trasvase tanque 2 a 3		23210	22913	297
Trasvase tanque 3 a 1		33241	32911	330
Final		33241	32911	330
Promedio Diferencia [kg]				313

Tabla 6. 3. Pruebas en el Tanque 2

		Tanque2 120°C		
T prueba		Oprador	Sistema	Dif. (abs)
Nivel [kg]				
Inicio		10231	9986	245
Trasvase tanque 1 a 2		20319	19997	322
Trasvase tanque 2 a 3		10561	10225	336
Trasvase tanque 3 a 1		10561	10225	336
Final		10561	10225	336
Promedio Diferencia				315

Tabla 6. 4. Pruebas en el Tanque 3

		Tanque3 125°C		
T prueba		Operador	Sistema	Dif. (abs)
Nivel [kg]				
Inicio		12560	12229	331
Trasvase tanque 1 a 2		12560	12229	331
Trasvase tanque 2 a 3		22781	22462	319
Trasvase tanque 3 a 1		12621	12299	322
Final		12621	12299	322
Promedio Diferencia				325

6.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Se debe empezar este análisis indicando que debido a los factores de corrección del volumen, los cuales están relacionados con la temperatura y a que la precisión del operador varía entre 1 y 2 [cm] de asfalto la medida puede variar en comparación, hasta 500 [kg] con respecto al valor real.

El valor aceptable en la variación se obtiene de analizar el error que se puede tener en la parte más crítica del tanque, el medio, ya que aquí las variaciones de altura representan altas cantidades de material. En la tabla 6.5 se puede observar que las variaciones promedio de más o menos un centímetro en la apreciación del operador arroja valores erróneos de 476 [Kg] en promedio, este valor se lo considera como 500 [kg] para ampliar un poco más el margen admisible.

Tabla 6.5. Error aceptable

Altura llenado (cm)	Peso Asfalto (Kg)	Diferencia (Kg)
141	26069	N A
142	26307	477
143	26546	476
144	26783	475
145	27021	476
146	27259	476
147	27497	477
148	27736	476
149	27973	475
150	28211	N A
	Promedio	476

Esta variación admisible fue comparada con los resultados obtenidos por el sistema con respecto a obtenido por el operador, con los resultados que se muestran en la tabla 6.6.

Tabla 6.6. Comparación con el error aceptable

	Error	Aceptable	PASA	Diferencia
Tanque 1	313	500	SI	187
Tanque 2	315	500	SI	185
Tanque 3	325	500	SI	175

Las variaciones del sistema comparadas con el error admisible en la planta son aceptables ya se encuentran todas bajo los 500 [kg] y siendo conservadores, se puede decir que llegan a un ahorro de 150 [kg] de asfalto por carga de cada tanquero.

Este nivel aceptable podría ser mucho menor si es que en lugar de que la calibración se la realice con las medidas tomadas por el operador, se las realizara con un instrumento de precisión, como un dispositivo laser para medir distancias.

6.4. Capacitación

Por el momento la planta de emulsiones asfálticas del Inga tiene muy poco personal, debido a que su producción es actualmente limitada. Por este motivo el personal siempre ha estado involucrado desde el principio en el proyecto.

La capacitación ha sido continua y se han explicado claramente los diferentes módulos y pantallas a los operadores, que ahora manejan el sistema, los manuales de usuario se entregaron en formato digital a la empresa, que los ha distribuido entre los operadores que forman parte del proceso.

Esta Tesis sirve también como un apoyo y un manual de ingeniería del proyecto, ya que se detallan varias funciones que pueden ser modificadas y añadidas según las necesidades de la planta.

6.4.1. Manual de usuario

El manual de usuario ha sido elaborado minuciosamente para que los operadores puedan entenderlo fácilmente, y se encuentra en el ANEXO I

CAPÍTULO 7:

ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO

7.1. Análisis financiero

Los costos asociados a este proyecto, se pueden dividir mayormente en dos partes, una concerniente al sistema de medición de los tanques y otra que tiene que ver con el sistema de carga de ácido.

En cuanto al sistema de medición de los tanques, es necesario considerar que no existía ningún equipo como un PLC en la planta, por lo que todos los componentes son nuevos y si bien es cierto esto acarrea una inversión significativa, también es verdad que cuando se desee implementar otros sistemas de este tipo entonces ya se contara con las instalaciones adecuadas así como el equipo necesario.

Los costos en su mayoría fueron asumidos por Chova del Ecuador S.A. y con respecto al valor planteado al inicio de \$33100 se tuvo un ahorro significativo al optar por otro método para la dosificación de ácido.

En la tabla 7.1 se puede observar los costos del sistema de carga de ácido, que no incluyen ningún sensor de pH, ya que la carga el sistema funciona por tiempo de bombeo.

Tabla 7.1. Costos sistema de carga de ácido

ITEM	Aporte	Cant	C/Unit	C/Total
Bomba de ácido	Chova	1	2500	2500
Actuadores	Chova	1	100	100
Cableado	Chova	35	6	210
Tubería	Chova	30	1.25	37.5
Accesorios	Chova	1	150	150
Varios	Chova	1	150	150
TOTAL				3147.5

La tabla 7.2 muestra los costos de la medición de niveles, y se incluyen aquí gastos de movilización y otros generados debido a las condiciones del proyecto.

Tabla 7.2. Costos sistema de medición de nivel

ITEM	Aporte	Cant	C/Unit	C/Total
SENSOR SIEA-M18B-UI-S	Chova	3	181.33	543.99
SENSOR IME18-05BPSZCOS	Chova	3	45.37	136.11
SENSOR IME08-1B5PSZTOS	Chova	3	45.37	136.11
CONECTOR DOS-1204-W	Chova	6	15.01	90.06
CONECTOR DOS-0803-W	Chova	3	17.16	51.48
PT100	Chova	6	76.81	460.86
IO-DAIO	Chova	3	430	1290
FUENTE DC 24 V 2,5 A ECO	Chova	1	98.82	98.82
PC-E TCP/IP	Chova	2	217.98	435.96
DAQ STUDIO	Chova	1	235	235
WAGO 750-843	Chova	1	212.35	212.35
WAGO 750-504	Chova	2	65.32	130.64
WAGO 750-402	Chova	1	67.5	67.5
WAGO 750-466	Chova	2	72.35	144.7
Tablero eléctrico doble fondo	Chova	1	152	152
Montaje de tablero y accesorios	Chova	1	490	490
Cable UTP categoria 5	Chova	20	4	80
Cable instrumentación	Chova	50	6	300
Levas y cajas	Chova	3	800	2400
Intouch Viewer	Chova	1	3875	3875
HMI	Chova	1	450	450
base hmi	Chova	1	39.53	39.53
Movilizacion	Chova	1	450	450
Alimentación	Chova	1	600	600
Suministros de oficina	Chova	1	250	250
Configuración equipos	Propio	1	1000	1000
Programación	Propio	1	1000	1000
Cursos Realizados	Propio	1	850	850
TOTAL				15970.11

Los costos totales del proyecto se obtienen sumando el costo del sistema de medición de los tanques y el de carga de ácido Tabla 7.3, aquí se puede observar que el costo final es menor presupuestado al inicio.

Tabla 7.3. Costo total del proyecto

ITEM	COSTO
CARGA DE ÁCIDO	\$ 3 147.50
NIVEL DE TANQUES	\$ 15 970.11
TOTAL	\$ 19 117.61

El costo total del proyecto es de \$ 19117.61.

7.2. Análisis económico

Si bien es cierto que para el análisis financiero se toman en cuenta todos los costos generados en el proyecto, para este análisis se debe tomar en cuenta únicamente los costos generados que ha asumido Chova del Ecuador S.A. y que están relacionados con el proyecto de medición de niveles de los tanques de asfalto. El proyecto de carga de ácido no se toma en cuenta en este análisis debido a que aún no se ejecuta, por lo que en la empresa se lo considera económicamente como otro proyecto. Los aportes propios no se incluyen tampoco en este análisis, como se muestra en la tabla 7.4

Tabla 7.4. Costo total del proyecto

ITEM	COSTO
TOTAL	\$ 19 117.61
CARGA DE ÁCIDO	\$ 3 147.50
APORTES PROPIOS	\$ 2 850.00
TOTAL ANÁLISIS	\$ 13 120.11

El total invertido por la empresa es de \$ 13120.11. Para poder comparar los costos generados con el beneficio del proyecto en su totalidad es necesario determinar cuánto es la ganancia que tiene la empresa al implementar este sistema. Para ello se toma en cuenta que el ahorro generado al reducir el error en la medición de los tanques es de 150 [kg] por cada carga de materia prima en la planta.

Debido a la cantidad de producción de emulsión asfáltica de la planta del Inga, se debe abastecer de materia prima a los tanques un promedio de 8 veces mensuales, lo que implica que se realizan 96 cargas anuales. Si el costo actual del asfalto es de \$ 0.3155 (31.55 centavos de dólar) se obtiene, de la multiplicación de estos valores, que el beneficio del sistema es de \$4543.2 anuales. (Tabla 7.5.)

Tabla 7.5. Ahorro anual con el nuevo sistema

Item	Producto	Ahorro con error actual (Kg)	Precio del Material	Vehículos por mes	Ahorro por año
1	Recepción de Asfalto	150	0.3155	8	4543.2

Para realizar el análisis de rentabilidad, entonces se debe colocar a la inversión realizada por Chova del Ecuador S.A. como un egreso en la tabla 7.6 y evaluarla a su valor actual neto (VAN²²) para determinar la rentabilidad del proyecto, además en esta tabla se evaluarán los ahorros anuales previstos debido a la mejora en la precisión de la medición de niveles.

La tabla 7.6. muestra periodos anuales para el análisis y se puede observar que la recuperación de la inversión sucede durante el tercer año, cuando el saldo acumulado se vuelve positivo.

Tabla 7.6. VAN y recuperación de la inversión

Periodo	Semana	Mes	Años					X
Mes	Inversión	I	II	III	IV	V	VAN	
Egresos	-13120	-	-	-	-	-	-11 714	
Ingresos	0	4 543	4 543	4 543	4 543	4 543	18 678	
Saldo	-13 120	4 543	4 543	4 543	4 543	4 543	5 558.12	
Saldo Acumulado	-13 120	-8 577	-4 034	509	5 052	9 595	14 138	
Tasa Descuento	12%							

La tasa de descuento en la tabla 7.6. es de 12% (0.12) debido a que no se considera riesgo en la inversión.

²² Procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

Otro indicador importante es la tasa interna de retorno (TIR²³) que se calcula tomando en cuenta a la inversión inicial del proyecto, en este caso \$ 13120 y al ingreso producto de esta inversión, en este caso \$ 4543. Con lo que se obtiene un porcentaje de 22% de retorno por la inversión en los períodos de análisis.

T.I.R.	22%
---------------	------------

Finalmente es necesario determinar el beneficio que se va a obtener, comparado con la inversión, mediante un análisis costo – beneficio (B/C), en el cual se comparan los VAN de los ingresos con los de los egresos (tabla 7.6.) y de obtiene de esta relación un número que de ser mayor a uno, indica que el proyecto es rentable.

B/C	1.59
------------	-------------

Al ser el B/C de 1.59, se concluye que el proyecto es rentable.

²³ Porcentaje de retorno de inversión que se espera obtener.

CAPÍTULO 8:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Se logró implementar exitosamente no solo una sino dos interfaces de usuario que permiten tener los datos de temperatura y nivel, sin necesidad de la medición directa de un operador.
- Se logró diseñar un sistema de carga para el ácido que no tiene sensores de pH, por lo que se consiguió un ahorro muy significativo del orden de los \$20 000.
- Se comprobó que a través de un mecanismo de leva seguidor, es posible determinar el nivel de los tanques de asfalto.

- Se comprobó que el proyecto es rentable al tener una relación de B/C de 1.59.
- Se mejoró la precisión en la lectura de los tanques, ya que el error con este sistema está bajo a 150 [kg], con un beneficio de \$ 4543 anuales.
- Se cumplió con los objetivos planteados.

8.2. Recomendaciones

- Debido al éxito del sistema de medición de asfalto del Inga, se recomienda que previa a una evaluación, se tome como modelo para casos con condiciones similares.
- Se recomienda que se levanten los planos unifilares y tridimensionales o isométricos, de todas las instalaciones de la planta del Inga, teniendo en cuenta la especificación de elementos desarrollada.
- Se recomienda realizar otra calibración a los tanques, utilizando equipos como medidores laser para determinar una altura más precisa de la altura del asfalto, y así reducir los errores asociados al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ASME. (2010). *B31.3*. New York: IHS.

BrainChild. (2007). *User manual for IO modules*. China: BrainChild.

Festo. (2007). *inductive Sensors*. Alemania: Festo.

Pirobloc. (2011). *Caldera de fluido térmico*. España: Pirobloc.

Quimikao. (2003). *Emulsiones asfálticas*. México: Quimikao.

ASME. (2010). *B31.3*. New York: IHS.

BrainChild. (2007). *User manual for IO modules*. China: BrainChild.

Festo. (2007). *inductive Sensors*. Alemania: Festo.

Olmedo, F. (2008). *Teoría de máquinas y mecanismos asistida con computador*. Sangolquí: ESPE.

Pirobloc. (2011). *Caldera de fluido térmico*. España: Pirobloc.

Quimikao. (2003). *Emulsiones asfálticas*. México: Quimikao.

Shigley. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw-Hill.

Streeter, V. (2008). *Mecánica de Fluidos*. México: McGraw-Hill.

REFERENCIAS DE INTERNET

(Febrero de 2013). Obtenido de Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protecci%C3%B3n_IP

(Junio de 2013). Obtenido de Kalipedia:

http://ec.kalipedia.com/tecnologia/tema/robotica/graficos-sensor-inductivo.html?x1=20070821klpinginf_52.Ees&x=20070821klpinginf_92.

Kes

(julio de 2013). Obtenido de direct industry:

<http://www.directindustry.com/prod/rotork-plc/electric-valve-actuators-31135-397747.html>

(junio de 2013). Obtenido de practicallynetworked:

http://www.practicallynetworked.com/howto/040506diy_cables.htm

(junio de 2013). Obtenido de BrainChild:

<http://www.brainchild.com.tw/index.asp?lang=5>

Wago Catalog. (junio de 2013). Obtenido de Wago:

<http://www.wagocatalog.com/okv3/index.asp?lid=5&cid=51&strBestNrID=20090412>