



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**AUTOR: TAPIA ARIAS, CHRISTIAN RAFAEL**

**TEMA: RE-POTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE LA  
PURIFICADORA DE ACEITE DIELECTRICO MARCA KATO UTILIZADA  
EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA GUANGOPOLO DE LA EMPRESA  
CELEC EP TERMOPICHINCHA**

**DIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA, MARIO**

**CODIRECTOR: ING. PÉREZ, JOSÉ**

**SANGOLQUÍ, FEBRERO 2014**

## **CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto **“Re-potenciación y Automatización de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO utilizada en la Central Termoeléctrica Guangopolo de la empresa CELEC EP TERMOPICHINCHA”** fue realizado en su totalidad por CHRISTIAN RAFAEL TAPIA ARIAS, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

---

**Ing. Mario Echeverría  
DIRECTOR**

---

**Ing. José Pérez  
COORDIRECTOR**

**Sangolquí, 2014-02-19**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

CHRISTIAN RAFAEL TAPIA ARIAS

### **DECLARO QUE:**

El proyecto denominado **“Re-potenciación y Automatización de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO utilizada en la Central Termoeléctrica Guangopolo de la empresa CELEC EP TERMOPICHINCHA”**, ha sido ejecutado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el texto desarrollado, 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.

---

**TAPIA ARIAS CHRISTIAN RAFAEL**

**Sangolquí, 2014-02-19**

## AUTORIZACIÓN

Yo, CHRISTIAN RAFAEL TAPIA ARIAS

Autorizo a la Universidad de las fuerzas armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto: **“Re-potenciación y Automatización de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO utilizada en la Central Termoeléctrica Guangopolo de la empresa CELEC EP TERMOPICHINCHA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

---

TAPIA ARIAS CHRISTIAN RAFAEL

Sangolquí, 2014-02-19

## DEDICATORIA

---

*Dedico el esfuerzo plasmado en este trabajo a DIOS, gran Arquitecto del Universo, que está presente en cada momento de mi existencia. A mi abuelita Esther, ejemplo de madre que con su partida dejó una huella imborrable en mi familia. A mis amados padres, Rafael y Marthy, quienes me otorgaron la vida y me han apoyado en toda circunstancia, preocupándose siempre de mi bienestar y mi felicidad.*

---

*A mis hermanitas Pauly y Belén que junto con sus angelitos son fuente de gran inspiración y motivo de alegría en mí caminar.*

---

*A Paolette, mi amor, que con su inmensa ternura acompaña y abriga mis sueños junto a los suyos.*

---

## AGRADECIMIENTOS

---

*Agradezco a DIOS por permitirme despertar cada mañana y sembrar mi futuro. A mi papi por su ejemplo de fortaleza y carisma, que hacen que mire la vida de otra manera. A mi mami por su cariño y noble bondad, que me han enseñado valores para ser un hombre de bien. A mis hermanas por darme ejemplo de lucha y tenacidad ante problemas que se dan en la vida. A mi novia Poly por estar presente en los buenos y malos momentos, siendo mi confidente y mi mejor amiga.*

---

*A mis amigos de la Universidad, Lucho, Nelson, Gandhi, Sebas, Alejo y Cari por todos los buenos momentos que compartimos juntos durante nuestro paso por carrera.*

---

*Al Maestro Eugenio Auz y a mis amigos del Coro ESPE que con inolvidables experiencias y una sincera amistad fomentaron en mí un gran espíritu de humanidad.*

---

*A todo el personal técnico mecánico y eléctrico de TERMOPICHINCHA, por haberme permitido hacer realidad este proyecto y por toda su colaboración durante el desarrollo del mismo.*

---

*A todos mis familiares, abuelita, tíos, primos, que de alguna u otra manera llegaron a mí con un consejo o una palabra de aliento para cumplir mis metas.*

---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
TABLAS .....	xvi
FIGURAS.....	xviii
ANEXOS.....	xxiii
RESUMEN.....	xxiv
ANTECEDENTES .....	1
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
OBJETIVOS .....	4
GENERAL.....	4
ESPECÍFICOS.....	4
ALCANCE .....	5
ÁREA DE INFLUENCIA .....	6
MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA .....	6
CAPÍTULO 1 .....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
1.1 TRANSFORMADORES DE ALTA POTENCIA.....	9
1.1.1 COMPONENTES .....	10
1.1.1.1 Núcleo .....	10
1.1.1.2 Devanados .....	11

1.1.1.3 Material Aislante .....	11
1.1.1.4 Aceite Mineral .....	11
1.1.1.5 Estructura y Tanque .....	12
1.1.1.6 Sistema de Enfriamiento.....	14
1.1.1.7 Sistema de asilamiento.....	15
1.1.2 PAPEL AISLANTE .....	16
1.1.2.1 Papel Kraft.....	17
1.2 ACEITE DIELECTRICO (MINERAL).....	18
1.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	19
1.2.1.1 Hidrocarburos Isoparafínicos.....	20
1.2.1.2 Hidrocarburos Nafténicos .....	20
1.2.1.3 Hidrocarburos Aromáticos .....	21
1.2.2 PROPIEDADES .....	22
1.2.2.1 Propiedades Físicas .....	22
1.2.2.2 Propiedades Eléctricas .....	24
1.2.2.3 Propiedades Químicas .....	25
1.2.3 VIDA ÚTIL DEL ACEITE DIELECTRICO .....	25
1.2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	26
1.2.5 CAUSAS DE FALLA EN TRANSFORMADORES.....	27
1.3 QUÍMICOS PCB's .....	28
1.3.1 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	28
1.3.2 FABRICACIÓN.....	29
1.3.3 USOS.....	30
1.3.3.1 Usos Cerrados.....	31
1.3.3.2 Usos parcialmente cerrados .....	31
1.3.3.3 Usos Abiertos .....	31
1.3.3.4 Distribución según usos .....	32



1.4 SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO.....	33
1.4.1 Bombas de Vacío.....	34
1.4.1.1 Clasificación.....	35
1.4.2 Tierras Fuller .....	37
1.5 ESPECIFICACIÓN DE NORMAS.....	38
1.5.1 RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D-877).....	39
1.5.2 CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533).....	39
1.5.3 NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974) .....	40
1.5.4 TENSIÓN INTERFACIAL (ASTM D-971).....	40
1.5.5 COLOR (ASTM D-1500) .....	41
1.5.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298).....	41
1.6 PARÁMETROS DE CALIDAD PARA EL ACEITE DIELECTRICO .	42
1.6.1 ÍNDICE DE CALIDAD (IC).....	42
CAPÍTULO 2.....	43
DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE LA PURIFICADORA DE ACEITE DIELECTRICO .....	43
2.1 DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO ACTUAL DE LA PURIFICADORA.....	43
2.1.1 Modo de Operación Actual de la Purificadora .....	44
2.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ACTUAL.....	46
2.3 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS (MECÁNICOS/ELÉCTRICOS) QUE CONFORMAN LA PURIFICADORA.....	47
2.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO.....	47
2.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES DEL SISTEMA.....	47
2.4.1.1 Diagnóstico del estado de la tubería.....	50
2.4.1.2 Evaluación del funcionamiento de las válvulas.....	51

2.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL TANQUE PRINCIPAL .....	53
2.4.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BOMBA DE VACÍO .....	55
2.4.4 ANÁLISIS MECÁNICO DEL TANQUE DE FILTROS (Tierras Fuller).....	56
2.4.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA DE ENGRANAJES.....	57
2.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.....	58
2.5.1 Evaluación del funcionamiento del transformador interno.....	58
2.5.2 Verificación de conexiones y tomas de voltaje.....	59
2.5.3 Diagnóstico del estado de elementos y protecciones eléctricas .....	60
2.6 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	60
2.6.1 Pruebas de encendido, puesta en marcha y alarmas .....	60
2.6.2 Verificación del funcionamiento de sensores y actuadores.....	61
2.6.3 Estudio del sistema de control actual (Lógica de relés) .....	63
2.7 LEVANTAMIENTO TÉCNICO .....	63
2.7.1 Sistema Mecánico .....	63
2.7.2 Sistema Eléctrico/Electrónico.....	63
2.7.3 Sistema de control.....	63
CAPÍTULO 3.....	64
SIMULACIÓN, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN .....	64
3.1 SISTEMA MECÁNICO.....	64
3.1.1 PROPUESTA PARA REEMPLAZO O REPARACIÓN DE VÁLVULAS Y TUBERÍA.....	64
3.1.2 DIMENSIONAMIENTO Y RE-ADECUACIÓN DEL FILTRO DE TIERRAS FULLER.....	65

3.1.3 CÁLCULOS PARA ANALIZAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	67
3.1.4 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	75
3.1.5 DISEÑO DE BY-PASS PARA ACOUPLE CON SISTEMA A TRATAR.....	76
3.1.5.1 Dimensionamiento y selección del tanque.....	76
3.1.5.2 Adecuación del tanque para el sistema BY-PASS.....	78
3.1.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.....	80
3.1.6.1 Cálculos de Ingeniería .....	80
3.1.6.2 Simulación de elementos finitos .....	82
3.1.6.3 Selección de materiales.....	84
3.2 SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.....	85
3.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE ALIMENTACIONES ELÉCTRICAS..	85
3.2.2 ADECUACIÓN ELÉCTRICA PARA LA FUENTE DE VOLTAJE .....	88
3.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR PARA LA BOMBA DE ENGRANAJES.....	89
3.2.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA EL TABLERO DE CONTROL.....	91
3.2.4.1 Selección de Contactores.....	91
3.2.4.1 Selección de Protecciones .....	94
3.3 SISTEMA DE CONTROL.....	98
3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR.....	98
3.3.1.1 Nivel.....	98
3.3.1.2 Presión .....	99
3.3.1.3 Temperatura .....	99
3.3.1.4 Humedad .....	99
3.3.2 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	100

3.3.2.1 Switch de nivel por frecuencia .....	101
3.3.2.2 Transductor de presión .....	101
3.3.2.3 RTD y transmisor de temperatura.....	102
3.3.2.4 Transmisor de Humedad .....	103
3.3.3 DISEÑO DE CONTROL ON/OFF PARA NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE PRINCIPAL .....	104
3.3.4 DISEÑO DE CONTROL PARA TEMPERATURA DEL PROCESO .....	106
3.3.5 DISEÑO DE CONTROL PARA MONITOREO DE HUMEDAD .....	109
3.3.6 VINCULACIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LAS VARIABLES, MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC Y LA HMI. ....	110
3.3.6.1 Configuración de la red MODBUS para la HMI entre el PLC y el display.....	111
CAPÍTULO 4.....	114
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	114
4.1 REQUERIMIENTOS DE CONTRUCCIÓ N Y MONTAJE .....	114
4.1.1 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS .....	114
4.1.2 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS.....	115
4.2 ADQUISICIÓN E INVENTARIO DE MATERIALES .....	115
4.2.1 MATERIALES PARA EL MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN.....	116
4.2.2 ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL .....	118
4.2.3 INSTRUMENTACIÓN .....	119
4.3 ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA .....	119
4.3.1 CORTE Y SOLDADURA DE PERFILES.....	120
4.3.2 CORTE Y ENSAMBLAJE DE PLACA LATERAL .....	120
4.3.3 ADECUACIÓN DE LA TUBERÍA DE SALIDA.....	121

4.3.4 REHABILITACIÓN DE LAS PUERTAS DE LA ESTRUCTURA.....	122
4.4 ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DE LA PURIFICADORA A LA ESTRUCTURA.....	122
4.4.1 TUBERÍA DE SALIDA.....	122
4.4.2 COMPONENTES MECÁNICOS DEL TABLERO.....	123
4.4.3 BOMBA DE ACEITE.....	123
4.4.4 TANQUE PRINCIPAL.....	124
4.4.5 TANQUE DE FILTROS.....	124
4.5 MONTAJE DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	125
4.5.1 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN.....	125
4.5.2 TRANSMISOR INDICADOR DE HUMEDAD.....	126
4.5.3 DETECTORES DE NIVEL.....	128
4.5.4 RTD Y TRANSMISOR DE TEMPERATURA.....	130
4.6 CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	131
4.7 ADECUACIONES ELÉCTRICAS.....	135
CAPÍTULO 5.....	138
PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	138
5.1 ANÁLISIS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	138
5.1.1 CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	138
5.1.1.1 Transductor de presión.....	138
5.1.1.2 Detectores de nivel.....	139
5.1.1.3 Transmisor indicador de humedad.....	141
5.1.1.4 RTD y Transmisor de temperatura.....	141
5.1.2 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	142
5.1.3 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO.....	144

5.1.3.1 Motores eléctricos.....	144
5.1.3.2 Calentadores .....	144
5.1.4 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	145
5.2 TOMA DE DATOS .....	148
5.2.1 PRESIÓN .....	148
5.2.2 NIVEL.....	148
5.2.3 TEMPERATURA .....	149
5.2.4 HUMEDAD .....	152
5.2.5 CAUDAL.....	152
5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	153
5.3.1 TEMPERATURA .....	153
5.3.2 HUMEDAD .....	155
5.3.3 CAUDAL.....	156
5.3.4 PROCESO .....	157
CAPÍTULO 6.....	158
ELABORACIÓN DE MANUALES.....	158
6.1 MANUAL DE OPERACIÓN .....	158
6.1.1 OBJETIVO .....	158
6.1.2 NOTAS DE SEGURIDAD.....	158
6.1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	159
6.1.3.1 Válvulas .....	159
6.1.3.2 Instrumentación .....	161
6.1.3.3 Tablero de control.....	164
6.1.3.4 Pantalla (Display).....	167
6.1.4 DESCRIPCIÓN DE MODOS DE OPERACIÓN .....	169
6.1.4.1 Sistema de válvulas.....	169

6.1.4.2	Modo de operación MANUAL.....	171
6.1.4.3	Modo de operación AUTOMÁTICO .....	176
6.2	MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	179
6.2.1	OBJETIVO .....	179
6.2.2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	179
6.2.2.1	Sistema Mecánico .....	179
6.2.2.2	Instrumentación .....	182
6.2.2.3	Sistema Eléctrico.....	185
6.2.3	MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....	186
6.2.3.1	Sistema mecánico .....	187
6.2.3.2	Sistema Eléctrico y de control.....	188
CAPÍTULO 7	.....	190
	ANÁLISIS Y PRUEBAS DE CALIDAD PARA EL ACEITE DIELÉCTRICO REGENERADO.....	190
7.1	RIGIDEZ DIELÉCTRICA (ASTM D-877).....	191
7.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298) .....	193
7.3	CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533) .....	194
7.4	COLOR (ASTM D-1500) .....	196
7.5	NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974).....	197
7.6	TENSIÓN INTERFACIAL (ASTM D-971).....	198
7.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	199
CAPÍTULO 8	.....	201
	IMPACTO AMBIENTAL.....	201
8.1	EFFECTOS DE LOS PCB's .....	201
8.1.1	EFFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE .....	202
8.1.2	EFFECTOS EN EL SER HUMANO.....	203
8.1.2.1	Efectos agudos.....	204

8.1.2.2 Efectos crónicos .....	204
8.1.2.3 Efectos toxicológicos .....	204
8.2 CONCENTRACIÓN DE PCB´s EN ACEITES DIELECTRICOS ...	205
8.2.1 PRUEBAS CUALITATIVAS.....	205
8.2.1.1 Kit para prueba rápida .....	206
8.2.2 PRUEBAS CUANTITATIVAS.....	206
8.3 MANEJO DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB´s .....	207
8.3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB´s .....	207
8.3.1.1 Precauciones en actividades de manejo de PCB´s .....	207
8.3.1.2 Equipos de protección personal (EPP) .....	208
8.3.1.3 Acciones en la empresa ante eventualidades .....	209
8.3.2 ALMACENAMIENTO Y DESTRUCCIÓN DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB´s .....	211
8.3.2.1 Almacenamiento .....	211
8.3.2.2 Destrucción.....	212
8.3.2.3 Procedimiento en la empresa .....	213
CAPÍTULO 9.....	215
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	215
9.1 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	215
9.2 RENTABILIDAD ECONÓMICA.....	218
CAPÍTULO 10.....	221
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	221
10.1 CONCLUSIONES .....	221
10.2 RECOMENDACIONES.....	223
BIBLIOGRAFÍA.....	225



## TABLAS

Tabla 1.1	Parámetros Normalizados de Viscosidad del Aceite.....	22
Tabla 1.2	Parámetros Normalizados de Factor de Potencia.....	24
Tabla 1.3	Vida útil del aceite dependiendo de la temperatura .....	26
Tabla 1.4	Niveles de Vacío .....	37
Tabla 1.5	Rangos de calificación norma ASTM D-877 .....	39
Tabla 1.6	Rangos de calificación norma ASTM D-1533 .....	40
Tabla 1.7	Rangos de calificación norma ASTM D-974 .....	40
Tabla 1.8	Rangos de calificación norma ASTM D-971 .....	41
Tabla 1.9	Rangos de calificación norma ASTM D-1500 .....	41
Tabla 1.10	Rangos de calificación norma ASTM D-1298 .....	42
Tabla 1.11	Clasificación del aceite según el índice de calidad .....	42
Tabla 2.1	Parámetros de desempeño actual .....	46
Tabla 3.1	Consumo de corrientes para la fuente de voltaje 24 VDC .....	88
Tabla 4.1	Inventario de materiales para la construcción y montaje .....	117
Tabla 4.2	Inventario elementos tablero de control .....	118
Tabla 4.3	Inventario instrumentación .....	119
Tabla 4.4	Cables utilizados en el sistema.....	136
Tabla 5.1	Datos calibración del transductor de presión .....	139
Tabla 5.2	Datos temperatura durante funcionamiento en modo automático .....	150
Tabla 5.3	Datos temperatura durante funcionamiento en modo manual ...	151
Tabla 5.4	Datos humedad durante funcionamiento de la purificadora.....	152
Tabla 5.5	Datos caudal de operación de la purificadora .....	153
Tabla 6.1	Funcionamiento de válvulas en el sistema.....	159
Tabla 6.2	Funcionamiento de válvulas en el sistema.....	163
Tabla 6.3	Posición de las válvulas en los modos de trabajo.....	170
Tabla 6.4	Cronología de tareas mantenimiento preventivo.....	186
Tabla 6.5	Problemas mantenimiento mecánico .....	187
Tabla 6.6	Problemas mantenimiento eléctrico .....	188
Tabla 7.1	Consideraciones de la norma ASTM D-877 Rigidez Dieléctrica	192
Tabla 7.2	Rangos para valores de tensión interfacial .....	199
Tabla 8.1	Concentraciones de PCB's en aceites dieléctricos.....	205

Tabla 9.1 Costos materiales mecánicos .....	215
Tabla 9.2 Costos elementos del tablero de control (1).....	216
Tabla 9.3 Costos elementos del tablero de control (2).....	217
Tabla 9.4 Costos Instrumentación .....	217
Tabla 9.5 Costos Proyecto.....	217
Tabla 9.6 Comparación de alternativas .....	220

## FIGURAS

Figura 1.1 Transformador de 20 MVA Termopichincha .....	9
Figura 1.2 Placa del transformador Termopichincha .....	10
Figura 1.3 Núcleo Acorazado.....	10
Figura 1.4 Núcleo tipo columna .....	11
Figura 1.5 Transformador de tanque con respiración libre .....	12
Figura 1.6 Tanque tipo conservador .....	13
Figura 1.7 Tanque sellado .....	13
Figura 1.8 Accesorios de un transformador .....	14
Figura 1.9 Estructura de la celulosa.....	17
Figura 1.10 Papel kraft.....	18
Figura 1.11 Curvas resistencia tracción – envejecimiento .....	18
Figura 1.12 Isoparafinas .....	20
Figura 1.13 Base nafténica .....	20
Figura 1.14 Compuesto aromático.....	21
Figura 1.15 Curva viscosidad vs. Temperatura aceites dieléctricos .....	22
Figura 1.16 Proceso de fabricación del aceite dieléctrico .....	26
Figura 1.17 Causales de falla en 94 transformadores de potencia durante 1997-2001 difundida por: IMIA W.G.....	27
Figura 1.18 Porcentajes en toneladas de aceite dieléctrico con PCB's por países .....	30
Figura 1.19 Destino de los PCB's hasta el año 1982 (miles de TON) .....	30
Figura 1.20 Distribución de toneladas de PCB's .....	32
Figura 1.21 Rangos de presión para bombas de vacío .....	35
Figura 1.22 Esquema bomba de vacío de paletas rotatorias.....	35
Figura 1.23 Esquema de funcionamiento Bomba de paletas rotatorias.....	36
Figura 1.24 Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío .....	37
Figura 1.25 Tierras fuller.....	38
Figura 1.26 Cantidad de tierra fuller en lb/gl .....	38
Figura 2.1 Lateral derecho y posterior de la purificadora.....	43
Figura 2.2 Frente de la purificadora con sus componentes .....	44
Figura 2.3 Lateral derecho de la purificadora con sus componentes.....	45

Figura 2.4	Proceso modo de operación básica de la purificadora .....	46
Figura 2.5	Manómetro de presión .....	48
Figura 2.6	Control presión antiguo .....	48
Figura 2.7	Manómetro compuesto .....	49
Figura 2.8	Sección de tubería posterior a bomba de engranajes .....	50
Figura 2.9	Válvula de bola .....	51
Figura 2.10	Válvula de compuerta .....	52
Figura 2.11	Electroválvula .....	52
Figura 2.12	Válvula de retorno reguladora de presión .....	53
Figura 2.13	Válvula Check .....	53
Figura 2.14	Frente del tanque principal .....	53
Figura 2.15	Entrada de aceite y soporte de filtros .....	54
Figura 2.16	Filtros antiguos .....	54
Figura 2.17	Filtros nuevos .....	54
Figura 2.18	Limpieza superior tanque principal .....	55
Figura 2.19	Bomba de vacío y tanque de aceite .....	56
Figura 2.20	Tierras fuller .....	56
Figura 2.21	Bomba de engranajes .....	57
Figura 2.22	Reemplazo de orines y empaques .....	58
Figura 2.23	Transformador .....	59
Figura 2.24	Borneras y cableado antiguos .....	59
Figura 2.25	Interior del panel antiguo .....	60
Figura 2.26	Exterior frontal del panel antiguo .....	61
Figura 2.27	Switch de nivel .....	62
Figura 3.1	Conexión al proceso transmisor de humedad EE381 .....	65
Figura 3.2	Diseño del filtro de tierras fuller .....	66
Figura 3.3	Sistema de bombeo de la purificadora .....	67
Figura 3.4	Placa de la bomba .....	74
Figura 3.5	Tanque seleccionado para by-pass .....	77
Figura 3.6	Bosquejo del sistema BY-PASS .....	78
Figura 3.7	Configuración By-pass .....	80
Figura 3.8	Carga aplicada al sistema de apertura de la puerta .....	80
Figura 3.9	Esfuerzo cortante simple .....	81
Figura 3.10	Esfuerzo normal en la placa .....	82

Figura 3.11 Mallado FEM en Solid Works.....	83
Figura 3.12 Resultado simulación FEM Solid Works .....	83
Figura 3.13 Propuesta del remolque.....	85
Figura 3.14 Estructuración de alimentación y distribución principal.....	86
Figura 3.15 Fuente de voltaje 24 DVC / 3A .....	89
Figura 3.16 Adecuación Fuente de voltaje 24 DVC / 3A.....	89
Figura 3.17 Placa del motor eléctrico de la bomba de aceite .....	90
Figura 3.18 Selección automática de motor página web siemens .....	90
Figura 3.19 Contactor para los dos motores eléctricos.....	92
Figura 3.20 Contactor para los dos calentadores .....	93
Figura 3.21 Relé de estado sólido .....	94
Figura 3.22 Guardamotor Bomba de aceite.....	95
Figura 3.23 Guardamotor Bomba de vacío.....	95
Figura 3.24 Disyuntor calentador E.....	96
Figura 3.25 Disyuntor calentador C y D.....	97
Figura 3.26 Breakers para control.....	97
Figura 3.27 Supresor de transientes.....	98
Figura 3.28 Switch de nivel Liquiphant T FLT20.....	101
Figura 3.29 Transductor de presión Cerabar T PMP131 .....	102
Figura 3.30 RTD PT100.....	102
Figura 3.31 Transmisor de temperatura TMT80 .....	102
Figura 3.32 Transmisor de humedad EE381 .....	103
Figura 3.33 PLC Twido TWDLMDA20DRT.....	103
Figura 3.34 Pantalla Magelis XBT N200 .....	104
Figura 3.35 Interfaz software de programación PLC Twido Suite bloque PID .....	107
Figura 3.36 Interfaz software de programación HMI.....	110
Figura 3.37 Configuración de elementos en Twido suite .....	111
Figura 3.38 Configuración de la red Modbus en twido suite .....	111
Figura 3.39 Configuración de la red Modbus en Vijeo designer lite .....	112
Figura 4.1 Corte plasma placa lateral estructura .....	120
Figura 4.2 Extracción de válvula manual V2.....	121
Figura 4.3 Soldadura de perfil.....	121
Figura 4.4 Rehabilitación de las puertas de la estructura .....	122

Figura 4.5 Montaje de manómetros en tablero .....	123
Figura 4.6 Tapa visor del tanque principal .....	124
Figura 4.7 Montaje del transductor de presión.....	125
Figura 4.8 Conexión eléctrica transductor de presión.....	126
Figura 4.9 Elemento primario transmisor de humedad .....	127
Figura 4.10 Agujero en la tubería de salida .....	127
Figura 4.11 Soldadura de acople en la tubería de salida.....	127
Figura 4.12 Montaje transmisor de humedad .....	128
Figura 4.13 Soldadura de acoples en tanque principal .....	129
Figura 4.14 Montaje de detectores de nivel en tanque principal.....	129
Figura 4.15 Ensamblaje conector detector de nivel .....	130
Figura 4.16 Montaje RTD en tubería.....	130
Figura 4.17 Cableado del transmisor de temperatura.....	131
Figura 4.18 Taladrado de placa de montaje del tablero.....	132
Figura 4.19 Cableado de Contactores y salidas del PLC.....	133
Figura 4.20 Prensado para hacer orificios en la puerta del tablero de control .....	133
Figura 4.21 Prensado de orificios para terminales de manguera BX.....	134
Figura 4.22 Clasificación de las borneras .....	135
Figura 4.23 Montaje completo del tablero de control .....	136
Figura 4.24 Vista lateral purificadora automatizada .....	137
Figura 4.25 Purificadora luego de trabajos de construcción y montaje.....	137
Figura 5.1 Calibrador de presión.....	138
Figura 5.2 Imán test de funcionamiento detector de nivel.....	139
Figura 5.3 Punto de referencia test detector de nivel.....	140
Figura 5.4 Test de funcionamiento detector de nivel .....	140
Figura 5.5 Funcionamiento nivel bajo detector de nivel .....	140
Figura 5.6 Calibrador de procesos.....	142
Figura 5.7 Electroválvula SV1 lubricación bomba de vacío .....	143
Figura 5.8 Electroválvula SV2 entrada aceite a tanque principal.....	143
Figura 5.9 Electroválvula LV purga de aire y aceite.....	144
Figura 5.10 Relé de estado sólido para la activación del calentador # 3 ...	145
Figura 5.11 Configuración entradas análogas del PLC.....	145
Figura 5.12 Presión del sistema en funcionamiento .....	148

Figura 5.13 Nivel de aceite en el tanque principal .....	149
Figura 5.14 Estado de los actuadores en el funcionamiento .....	149
Figura 5.15 Gráfico de la temperatura en el modo automático .....	153
Figura 5.16 Gráfico de la temperatura en el modo manual.....	154
Figura 5.17 Gráfico de la temperatura de los dos modos de operación.....	155
Figura 5.18 Grafico comportamiento de la humedad durante operación ...	156
Figura 5.19 Grafico comportamiento del caudal de operación.....	156
Figura 5.20 Finalización de trabajos referentes al proyecto.....	157
Figura 6.1 Válvulas vista frontal de la purificadora.....	160
Figura 6.2 Válvulas vista posterior de la purificadora.....	160
Figura 6.3 Antiguo termómetro y nueva RTD .....	161
Figura 6.4 Manómetros montados en el tablero.....	161
Figura 6.5 Transductor de presión y válvula de corte .....	162
Figura 6.6 Transmisor indicador de humedad .....	162
Figura 6.7 Detectores de nivel montados en el tanque principal.....	163
Figura 6.8 Receptor sensor óptico y electroválvula LV .....	164
Figura 6.9 Tablero de control.....	164
Figura 6.10 Interruptor principal grande.....	164
Figura 6.11 Voltímetro y amperímetro .....	165
Figura 6.12 Interruptor negro pequeño .....	165
Figura 6.13 Pulsador verde.....	165
Figura 6.14 Pulsador rojo.....	165
Figura 6.15 Luz piloto verde .....	165
Figura 6.16 Luz piloto roja .....	166
Figura 6.17 Pulsador vino RESET .....	166
Figura 6.18 Pulsador paro emergencia.....	166
Figura 6.19 Pantalla magelis.....	166
Figura 6.20 Panel de bienvenida .....	167
Figura 6.21 Panel de temperatura RTD.....	167
Figura 6.22 Panel de presión.....	168
Figura 6.23 Panel de temperatura de salida.....	168
Figura 6.24 Panel de humedad.....	168
Figura 6.25 Panel de nivel de aceite.....	168
Figura 6.26 Panel de estado del proceso .....	169

Figura 6.27 Enchufe y conector de alimentación .....	171
Figura 6.28 Borneras de alimentación .....	171
Figura 6.29 Teclas de desplazamiento .....	172
Figura 6.30 Interruptor negro pequeño .....	172
Figura 6.31 Teclas para encendido de cargas .....	173
Figura 6.32 Frente del panel de control .....	177
Figura 6.33 Mantenimiento de filtros en el tanque principal.....	180
Figura 6.34 Mantenimiento de tanque principal .....	181
Figura 6.35 Mantenimiento de tanque y aceite de vacío.....	181
Figura 6.36 Mantenimiento de tierras fuller.....	182
Figura 6.37 Mantenimiento RTD y transmisor de temperatura .....	183
Figura 6.38 Mantenimiento de flotadores antiguos .....	183
Figura 6.39 Mantenimiento detectores de nivel nuevos.....	184
Figura 6.40 Mantenimiento transductor presión.....	184
Figura 6.41 Mantenimiento transmisor de humedad.....	185
Figura 7.1 Espinterómetro .....	192
Figura 7.2 Equipo para análisis de contenido de agua .....	195
Figura 7.3 Equipo para análisis colorimétrico .....	196
Figura 7.4 Equipo para análisis del número de neutralización.....	198
Figura 7.5 Equipo para análisis de tensión interfacial.....	199
Figura 8.1 Transferencia de PCB's a organismos vivos .....	203
Figura 8.2 Ensayo colorimétrico concentración de PCB's .....	206
Figura 8.3 Etiqueta de un transformador con aceite contaminado de PCB's .....	210



## RESUMEN

Comprometido con el constante mejoramiento de los procesos de mantenimiento que se realizan en la Central Termoeléctrica Guangopolo de la empresa CELEC EP TERMOPICHINCHA, en el presente documento se describe todo el proceso desarrollado para repotenciar y automatizar la purificadora marca KATO utilizada para tratar aceite dieléctrico de los transformadores de potencia. Partiendo del levantamiento técnico en el que se diagnóstica las necesidades de la purificadora, se propone alternativas de diseño y se ejecuta trabajos de mantenimiento mecánico para mejorar la eficiencia del sistema (aumentar el caudal de operación), y se implementa un nuevo sistema de control basado en la automatización del proceso mediante la adición de un PLC para disminuir los tiempos de operación y facilitar el mando (supervisión) del operador sobre la purificadora. Paralelamente se realiza un estudio profundo de las propiedades y características de este fluido mediante el análisis de pruebas basadas en normas ASTM, las mismas que permiten evaluar las condiciones de degradación del aceite dieléctrico y el correcto desempeño de la purificadora. Finalmente se dedica un capítulo al impacto ambiental, ya que en ciertos aceites dieléctricos se puede hallar PCB's, que son compuestos altamente tóxicos y perjudiciales para el humano y el medio ambiente.

### Palabras clave

- Re-potenciación
- Automatización
- Purificadora
- Aceite dieléctrico
- Termopichincha

## ABSTRACT

This Project is oriented to improve maintenance procedures from Thermo electrical Plant CELEC EP TERMOPICHINCHA. This document describes the procedure to repower and automate a purifier (KATO brand) used to treat dielectric oil from power transformers. It begins with a technical research to find purifier's requirements. This Project proposes design alternatives and implements mechanical maintenance tasks to improve the efficiency of system (increasing the flow of operation). Also, it implements a new control system based on the automation of process, adding a PLC to decrease operation times and to facilitate the use of the purifier to the operator. At the same time, this Project made a deep survey about fluid's properties through tests based on ASTM standards. These standards allow to evaluate the conditions of degradation of dielectric oil and check the correct performance of the purifier. Finally, there is a chapter about environmental impact because some kinds of oils contains PBC`s, this compounds are toxic and harmful to the health and the environment.

### Keywords

- Repowering
- Automation
- Purifier
- Dielectric oil
- Termopichincha

Re-Potenciación y Automatización de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO utilizada en la Central Termoeléctrica Guangopolo de la empresa CELEC EP TERMOPICHINCHA

## **ANTECEDENTES**

Termopichincha, al igual que cualquier central de generación eléctrica, utiliza transformadores de alta potencia para elevar el voltaje al valor nominal utilizado en el Sistema Nacional Interconectado, y transformadores de servicio para uso de energía en toda la planta.

Desde hace varios años en la industria se han utilizado algunos tipos de aceite especial que ayudan al correcto funcionamiento de los transformadores. Con el transcurrir del tiempo ha incrementado la necesidad de generar energía eléctrica, consecuentemente se ha hecho indispensable la fabricación de aceites que cumplan características para el buen desempeño de los transformadores. Es ahí donde aparecen los aceites minerales, que son mezclas de hidrocarburos de alto peso molecular provenientes de la refinación de destilados de petróleo.

Según Ernesto Gallo (2007, pág. 4), básicamente este aceite mineral, llamado aceite dieléctrico (aislante), cumple con las siguientes características:

- Aislamiento eléctrico de bajo costo.
- Es muy eficiente en enfriamiento y transferencia de calor.
- Ocupa muy bien los espacios del ensamble del núcleo y bobinas, suministrando mejores propiedades al transformador.

- Restringe que O<sub>2</sub> y agua permeen el papel aislante y otros materiales.
- Excelente rigidez dieléctrica, es muy estable y es re-generable.

Como el aceite dieléctrico es re-generable, en la empresa se cuenta con una purificadora marca KATO de la serie KLV-3A de origen japonés adquirida aproximadamente en 1980.

Esta purificadora, a causa de su tiempo de trabajo, el incorrecto uso y el escaso mantenimiento, está deteriorada y con defectos de funcionamiento, ya que todo el proceso se lo realiza de forma manual con un operador, es decir, el sistema de control es obsoleto.

La purificadora consta de un tanque en donde el aceite entra caliente a 50 °C, pasa por unos filtros donde con ayuda de una bomba de vacío se forman burbujas de aire y se separa el exceso de humedad y gases contaminantes. El aceite es extraído del tanque mediante una bomba de engranajes y llevado hacia un depósito de filtros de tierras fuller y de tela (fieltros) para luego recircular nuevamente.

Otro problema encontrado es que el sistema de filtrado es inadecuado, debido a que se utiliza tierras fuller de grano grueso, haciendo que el aceite que se pretende regenerar tarde más en hacerlo y no sea de la calidad esperada. Además, el sistema no cuenta con un bypass necesario para trabajos de mantenimiento de disyuntores u otros artefactos que lo ameriten.

La estructura que contiene a la purificadora está destruida. Los mecanismos de apertura de puertas para realizar el mantenimiento no sirven y sobre todo resulta difícil trasladarla de un sitio a otro.

## JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Dentro de la generación eléctrica, los transformadores cumplen un papel importante, por lo que deben estar en perfecto estado y funcionando de manera adecuada. Existen componentes dentro del mismo que son débiles, como es el caso del papel aislante, el cual debido a la temperatura y a las condiciones ambientales y de trabajo absorbe gran cantidad de humedad. Se puede decir que el papel aislante es uno de los elementos más importantes porque de este depende la vida útil del transformador, en otras palabras, la vida útil del transformador es la vida útil del papel aislante.

Es por esta razón que el aceite dieléctrico juega otro papel relevante, ya que es el encargado de mantener en buen estado al transformador. Su constante purificación es indispensable para mantener un aceite de calidad y óptimas características.

Es ahí donde surge la necesidad de mantener en la empresa, una purificadora de aceite dieléctrico que garantice la vida útil de los transformadores. Una opción para que el sistema cumpla con este requerimiento es la repotenciación y la automatización de la purificadora. Así, se pueden prevenir problemas como explosiones de transformadores, que ocasionarían graves daños por cortocircuitos de gran magnitud, ocasionando pérdidas económicas y perjuicio a los sistemas involucrados en la generación.

El principal inconveniente que presenta la purificadora es que según el catálogo de especificaciones técnicas la capacidad de regeneración del aceite es de 2000 l/h, sin embargo, mediante mediciones actualmente dicho valor es de aproximadamente 1200 l/h, es decir, el sistema no está

trabajando eficientemente. Es por eso que es fundamental Re-potenciar todo el sistema.

Este equipo, es el único destinado a regenerar el aceite dieléctrico de los transformadores de todas las centrales que pertenecen a Termopichincha en el Ecuador, exponiéndose a la manipulación por personas que muchas veces no conocen la forma adecuada de operarla.

De no llevarse a cabo el proyecto, se corre el riesgo de ocasionar cualquier tipo de daño a nivel de los transformadores.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Re-potenciar y Automatizar la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO que utiliza la empresa pública de generación eléctrica TERMOPICHINCHA, para disminuir el tiempo de operación de la misma y verificar la calidad del aceite regenerado mediante parámetros establecidos en la Norma *ASTM D-923*.

### **ESPECÍFICOS**

-Re-diseñar el sistema mecánico/hidráulico a partir de un levantamiento técnico, implementando un by-pass para la recirculación del aceite y un nuevo mecanismo de filtro de tierras fuller.

-Implementar modernos dispositivos de medición (instrumentación) para verificar el proceso de purificación, basado en las normas para el aceite regenerado: *ASTM D-877 (Rigidez Dieléctrica)* y *ASTM D-1533 (Contenido de Agua)*.

-Diseñar un sistema de control eficiente para automatizar el proceso de purificación mediante la adición de un PLC.

-Elaborar un Manual de Operación y Mantenimiento para capacitar a los operadores destinados a manipular posteriormente a la purificadora.

## **ALCANCE**

El proyecto constará de un análisis de presiones de todo el sistema y la verificación del estado de todos los componentes mecánicos a partir de un levantamiento técnico, con el fin de determinar las causas por las que la purificadora no trabaja en su capacidad normal. De esta forma se rediseñará el sistema mecánico/hidráulico implementando el bypass para la recirculación, la sustitución del sistema de filtraje de tierras fuller y el redimensionamiento de ciertos elementos sin afectar los parámetros originales de diseño del equipo.

Además, se refaccionará por completo la estructura metálica y se adicionará un sistema para poder movilizar la misma de forma sencilla.

Adicionalmente se va automatizar el proceso, para mejorar la operación de la purificadora, implementando nueva instrumentación y diseñando un sistema de control eficiente.

Toda la mejora que se le dará al equipo será evaluada con las siguientes normas de calidad que debe cumplir el aceite dieléctrico regenerado: *ASTM D-923, Standard Practices for Sampling Electrical Insulating Liquids*<sup>1</sup>.

Aplicando técnicas de interpretación y utilidad de pruebas según (ASTM, 2013) de degradación como:

---

<sup>1</sup>ASTM Publicaciones para pruebas y materiales, disponibles en la página web (<http://www.astm.org/>).d

- *ASTM D-877, Rigidez Dieléctrica*
- *ASTM D-1298, Gravedad Específica*
- *ASTM D-1533, Contenido de Agua*
- *ASTM D-1500, Color*
- *ASTM D-974, Número de Neutralización*

Finalmente se elaborará un manual de Operación y Mantenimiento.

## **ÁREA DE INFLUENCIA**

Este proyecto beneficiará a la empresa TERMOPICHINCHA en el área de Mantenimiento Eléctrico y Operaciones de todas las centrales eléctricas que requieran de la purificadora, disminuyendo los tiempos de operación para regenerar el aceite dieléctrico y manteniendo en óptimo estado los transformadores y sus componentes, mejorando el desempeño y la vida útil de los mismos.

## **MARCO CONTEXTUAL DE LA EMPRESA**

A continuación se detalla una reseña y datos de la empresa CELEC EP – Unidad de Negocio, TERMOPICHINCHA (Central Guangopolo), tomados de la página web corporativa (CELEC EP TERMOPICHINCHA, 2013).

### **RESEÑA HISTORICA**

La Central Termoeléctrica Guangopolo se encuentra ubicada en el Valle de los Chillos, Provincia de Pichincha. Inició su operación para generación termoeléctrica en abril de 1977, contando con una potencia instalada de 31.2MW, distribuida en 6 unidades marca Mitsubishi MAN.



En agosto de 2006, se inicia una nueva etapa de crecimiento para TERMOPICHINCHA S.A, con la instalación de una unidad de 1.8 MW marca Wartsila, para una potencia total instalada de 33 MW.

Las unidades de generación de la Central para su operación utilizan residuo de la Refinería Shushufindi. La producción de la Central se entrega al Sistema Nacional Interconectado a través de la Subestación Vicentina.

### **MISIÓN**

Contribuimos al bienestar y desarrollo nacional, mediante la producción de energía eléctrica con altos índices de disponibilidad, confiabilidad y eficiencia, con su talento humano comprometido y competente, actuando responsablemente con la comunidad y el ambiente.

### **VISIÓN**

Ser la empresa pública líder que garantiza la soberanía eléctrica e impulsa el desarrollo del Ecuador.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

La purificación del aceite dieléctrico de los transformadores está inmersa en uno de los sistemas auxiliares o de apoyo de todo el proceso que conlleva la generación termoeléctrica.

Una central termoeléctrica no es más que una industria dedicada a la transformación de energía mecánica inducida en forma de calor mediante la combustión de bunker y diésel en motores estacionarios, a energía eléctrica obtenida por el acople de un volante con un generador, para posteriormente distribuir esta energía en una subestación que contiene transformadores de potencia.

Generalmente las plantas de generación eléctrica se establecen geográficamente en lugares donde se pueda aprovechar al máximo los recursos necesarios para la producción y no afecten al medio ambiente. Por esta razón es indispensable transportar la energía hasta las subestaciones eléctricas ubicadas alrededor de los sectores de consumo mediante líneas de alta tensión (A.T.), y de ahí distribuir a los hogares mediante líneas de baja tensión (B.T.). Para lograr esto se necesita de varios tipos de transformadores.

Este capítulo contemplará aspectos básicos de los transformadores de potencia y sus componentes, así como también de características del aceite dieléctrico, normas establecidas para las pruebas de degradación del mismo y los fundamentos necesarios para la comprensión del proceso de regeneración del aceite en la purificadora.

La profundidad en el estudio de los transformadores está fuera del alcance de este proyecto, por esta razón, no se hará énfasis en dichos aspectos.

## 1.1 TRANSFORMADORES DE ALTA POTENCIA

Los transformadores de potencia son "... máquinas estáticas que tienen la misión de transmitir, mediante un campo electromagnético alterno, la energía eléctrica de un sistema, con determinada tensión, a otro sistema con tensión deseada" (Oliva, 1988, pág. 5).



Figura 1.1 Transformador de 20 MVA Termopichincha  
Fuente: (Autor, 2014)

Pérez (2001, págs. 6-8) clasifica a los transformadores de acuerdo al propósito de funcionamiento para el cuál se los emplea:

- Generación: Transformadores elevadores (mayores a 500 kVA) conectados después del generador en una planta de generación eléctrica para posterior transmisión a línea de alta tensión.
- Subestación: Transformadores reductores conectados al final de una línea de alta tensión para posterior sub-transmisión.
- Distribución: Transformadores reductores para líneas de consumo.

- De Medida: Transformadores de potencial (TP) y de corriente (TC), encargados de abastecer voltaje y corriente a equipos de protección y control.



MEIDEN TRANSFORMADOR			
CAPACIDAD NOM.	15000 / 20000 kVA	JEC-168 (1966)	
FASES	3	FRECUENCIA	60 Hz
ENFRIAMIENTO	ONAN / ONAF	TIPO	BORS D
GRUPO DE CONEXION	Y d 1	TIPO DIAFRAGMA	
ALTURA	2440 M.S.N.M.		
IMPEDANCIA (75°C)	BASADA EN 15000kVA 6.56 %	BASADA EN 20000kVA	8.75 %
VOLTAGE NOM. (kV)	BAJA TENSION 6600	ALTA TENSION 138000	NEUTRO
B.I.L. (kV)	80	550	110 (ANSI)
PESO TOTAL	41200kg	AIRE DE ENF.	560 m <sup>3</sup> /min
BOB. Y NUCLEO	17500kg	SERIE NO.	588946T1
CANTIDAD DE ACEITE	1500 l	FECHA	SEP. 1976

Figura 1.2 Placa del transformador Termopichincha

Fuente: (Autor, 2014)

### 1.1.1 COMPONENTES

Pérez (2001, págs. 5-10), en su libro Transformadores de distribución describe y organiza a los componentes según al sistema interno al cuál pertenecen:

#### 1.1.1.1 Núcleo

Conformado por láminas de acero aisladas por los dos lados para disminuir pérdidas por corrientes parásitas y mejorar el flujo magnético. El tipo de núcleo puede ser Acorazado, si cubre a los devanados de alta y baja tensión, o de Columna si las bobinas están alrededor del núcleo.

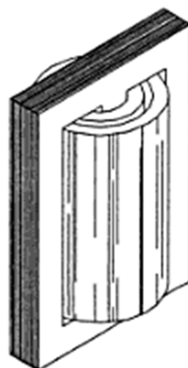


Figura 1.3 Núcleo Acorazado

Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6)

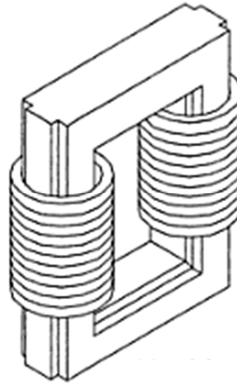


Figura 1.4 Núcleo tipo columna

Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6)

### **1.1.1.2 Devanados**

Primario y Secundario: Fabricados generalmente de cobre, son los encargados de generar flujo magnético que por inducción producen una fuerza electromotriz en el secundario, la misma que se ve reflejada en el voltaje deseado, sea el transformador elevador o reductor.

### **1.1.1.3 Material Aislante**

Es uno de los elementos más importantes debido a que de este depende la vida útil del transformador, y tiene la finalidad de aislar eléctricamente los devanados, el núcleo y las partes metálicas que forman la estructura. Algunos de los materiales que sirven como aislante son por ejemplo: papel kraft, papel manila, cartón prensado, barniz, porcelanas, etc.

### **1.1.1.4 Aceite Mineral**

Se encuentra almacenado en un tanque y restringe la humedad que afecta al material aislante, evitando que este se permee. Como parte fundamental de este proyecto se profundizará el estudio del aceite posteriormente.

### 1.1.1.5 Estructura y Tanque

Contiene todo el conjunto del transformador y provee protección mecánica al núcleo, devanados y aceite mineral, protegiendo de humedad y contaminación externa.

Existen tres tipos de tanques:

-Respiración Libre: El aire que se encuentra sobre el aceite depositado en el fondo del tanque tiene salida a la atmosfera mediante una tubería de respiración. Hay mayor riesgo de desgaste del papel aislante por la humedad circundante en el tanque.

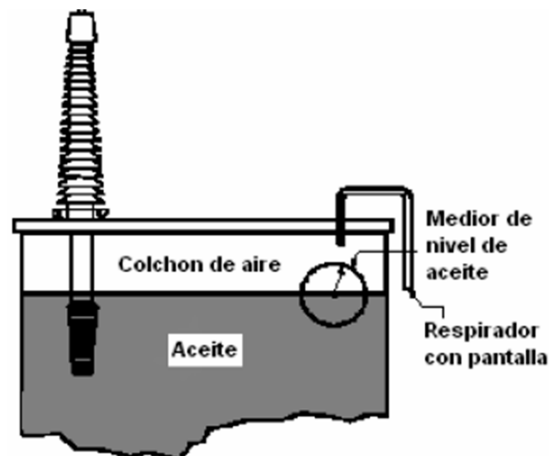


Figura 1.5 Transformador de tanque con respiración libre

Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

-Tanque Conservador: Existe un tanque llamado de expansión o de conservación sobre el transformador con el fin de mantener lleno de aceite el tanque principal y evitar el contacto de la humedad con los elementos internos del mismo, así se reduce el ingreso de oxígeno.

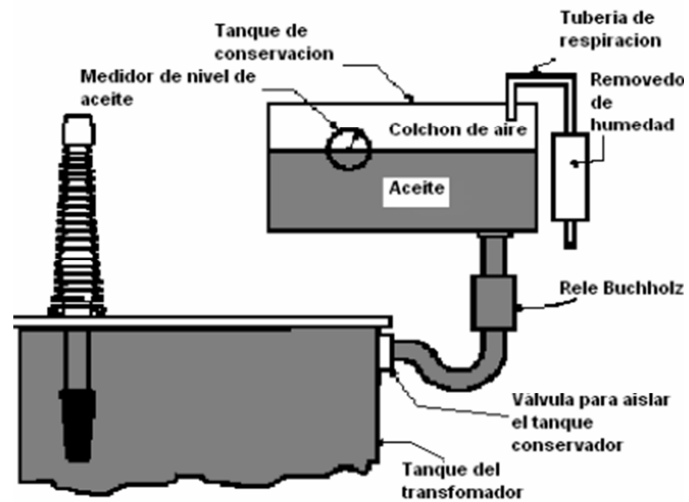


Figura 1.6 Tanque tipo conservador

Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

-Tanque Sellado: Este tanque es similar al de respiración libre, solo que en lugar de una tubería abierta, tiene una válvula de alivio para mantener una presión interna de +0 a -5 psi y la tapa superior no necesita pernos porque está soldada.

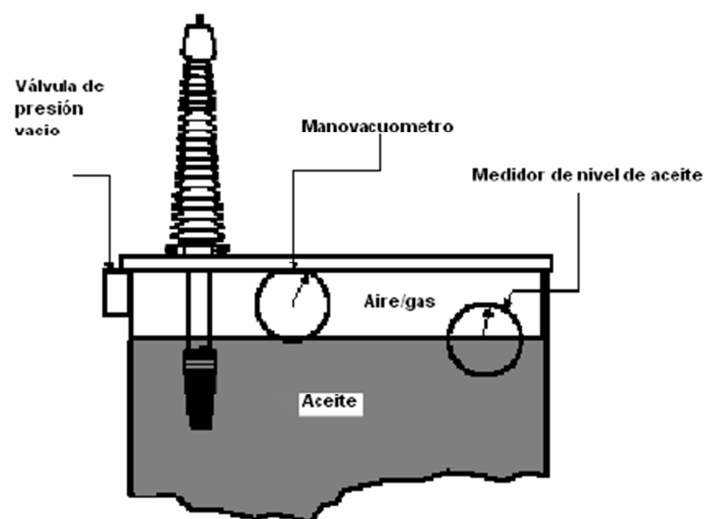


Figura 1.7 Tanque sellado

Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

De acuerdo al tipo de transformador, se encuentran accesorios y elementos indispensables para el correcto funcionamiento del mismo.

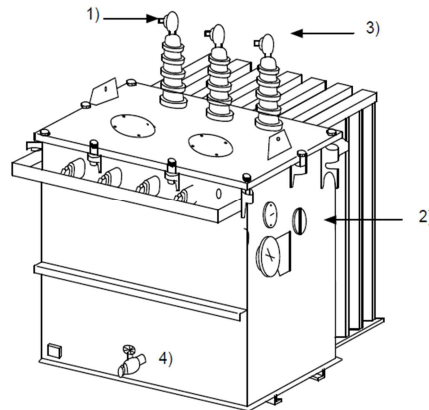


Figura 1.8 Accesorios de un transformador

Fuente: (Pérez, 2001)

- 1) Bushings de porcelana
- 2) Taps (selección de derivaciones)
- 3) Terminales de alta o baja tensión
- 4) Válvula de aceite mineral

Existe además instrumentación y aparatos de medida que permiten mantener un control y una observación de parámetros como temperatura del transformador con termómetros, nivel del aceite, y en algunos casos radiadores con ventiladores a los dos lados de la estructura para mantener una temperatura adecuada para todo el sistema.

La estructura está diseñada para mejorar la transferencia de calor generada internamente en el transformador, de manera que con ayuda del aceite mineral se mantenga en óptimas condiciones a todo el sistema.

#### 1.1.1.6 Sistema de Enfriamiento

Existen los transformadores sumergidos en aceite y en seco.

##### 1.2.1.5.1 Sumergidos en aceite

-OA: Transformador con enfriamiento natural más utilizado en la industria por su bajo costo. El aceite mineral circula por convección natural en el tanque.



-OA/FA: Enfriamiento con aire forzado, es el mismo sistema anterior añadido ventiladores para mejorar la disipación del calor. Esto implica una mejor eficiencia del transformador por la reducción de pérdidas por calor.

-OA/FA/FOA: Adicional a los ventiladores que proveen de enfriamiento por aire, la circulación forzada del aceite se logra con bombas que pueden ir conectadas a los cabezales de los mismos.

-FOA: Enfriamiento con aire y aceite forzado mediante la circulación a través de intercambiadores de calor exteriores.

-OW: Enfriamiento por agua, el mismo que se encuentra dispuesto fuera del tanque en un intercambiador de calor tubular. El agua se drena por gravedad y el aceite fluye en contacto con los tubos.

-FOW: Similar al FOA, solo que el enfriamiento se realiza en un intercambiador de calor modelo agua-aceite sin la necesidad de ventiladores.

#### 1.2.1.5.2 En seco

-AA: Enfriamiento propio, carece de aceite u otro fluido como aislante, el aire es el único medio aislante que rodea al núcleo y devanados.

-AFA: Con aire forzado mediante un ventilador que lleva el aire por un ducto hacia el núcleo y devanados.

-AA/FA: Enfriamiento propio y con aire forzado, control de los dos sistemas mediante un relevador térmico.

#### 1.1.1.7 Sistema de asilamiento

El sistema de asilamiento en un transformador consta de dos medios:

-Sólido (Papel Aislante)

-Fluido (Aceite Mineral – Dieléctrico)

Estos dos componentes son de gran importancia para el correcto funcionamiento de un transformador, ya que debido a varios factores principalmente ambientales y otros de esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos a los que están expuestos, se degradan ocasionando serios problemas que pueden terminar en desastres si no se los atiende a tiempo con un mantenimiento apropiado.

### **1.1.2 PAPEL AISLANTE**

Según Ernesto Gallo, este componente es tan importante que en su libro menciona: “La vida útil del transformador es la vida útil del papel aislante” (Gallo, 2007, pág. 1)

Cuando un papel aislante es apto para el trabajo de un transformador y se encuentra en buenas condiciones, debe cumplir con las siguientes funciones básicas:

- Resistencia eléctrica: Capaz de soportar voltajes altos incluidos esfuerzos de impulso y transientes, que son elevaciones violentas de voltaje en periodos de tiempo muy cortos.

- Resistencia mecánica a la tracción: Debe soportar los esfuerzos axiales originados por corto circuitos.

- Resistencia térmica y buena transferencia de calor.

- Capacidad para mantener sus características deseables: El período de su vida útil debe ser de duración razonable, contando con un apropiado mantenimiento.

- Excelente rigidez dieléctrica.

- Debe ser químicamente estable.

Generalmente los medios aislantes sólidos están formados por celulosa, que es una de las variadas sustancias vegetales que surgen de la formación de repetidas cadenas de anillos de glucosa (aproximadamente 1200 anillos). La fórmula molecular de la celulosa es:  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , siendo  $n$  el grado de polimerización, que es un proceso químico en donde moléculas de bajo peso molecular se agrupan formando una de gran peso molecular llamada polímero.

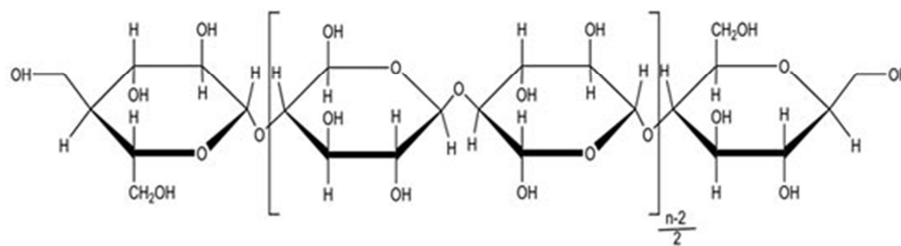


Figura 1.9 Estructura de la celulosa  
Fuente: (Alcántara, 2010)

### 1.1.2.1 Papel Kraft

Uno de los materiales sólidos que más se utilizan en la industria como medio aislante es el papel dieléctrico de pulpa de madera kraft, llamado así por el proceso al que se aplica a la madera para conseguir características aislantes. Este proceso consiste en la cocción de troncos de madera en una solución catalizadora de sulfato de sodio (procedimiento al sulfato) e hidróxido de sodio para extraer la lignina de la fibra de la madera.

Ernesto Gallo (2007, pág. 10) manifiesta que este tipo de papel posee una gran resistencia mecánica y eléctrica, es un excelente absorbente de los degradantes del aceite porque es extremadamente poroso. Además sirve como catalizador en el proceso de oxidación de los hidrocarburos del aceite mineral y como filtro prensa por su alta afinidad con el agua, especialmente en la zona inferior de las bobinas donde la temperatura es más baja.



Figura 1.10 Papel kraft  
Fuente: (Weidmann, 2013)

El papel kraft inmerso en un buen aceite mineral libre de agua y de productos oxidantes, resulta ser la mejor combinación como sistema de aislamiento para el transformador; por esta razón la resistencia dieléctrica del conjunto aislante papel-aceite aumenta en un 23% en comparación a la suma de las resistencias que ofrecen cualquiera de los dos materiales solos.

La siguiente figura muestra como este papel comparado con otros posee mayor estabilidad térmica y buena resistencia a la tensión axial ante el efecto debido al envejecimiento y al agua.

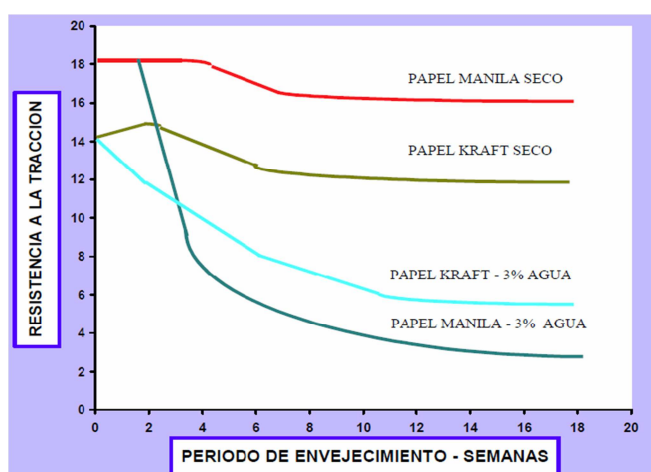


Figura 1.11 Curvas resistencia tracción – envejecimiento  
Fuente: (Gallo, 2007, pág. 10)

## 1.2 ACEITE DIELECTRICO (MINERAL)

El aceite mineral es resultado de la mezcla apropiada obtenida mediante procesos especializados de destilación y refinación de hidrocarburos:

isoparafínicos, nafténicos y aromáticos que poseen entre 16 y 22 átomos de carbono, los cuales aportan las características necesarias para que el aceite cumpla con 3 funciones principales internamente en el transformador (refrigerante, aislante eléctrico y protector), conservando al mismo tiempo una buena estabilidad a la oxidación y una aceptable tendencia a la gasificación.

El petróleo que es la fuente principal para la fabricación de aceite mineral para transformadores también posee compuestos que son no-hidrocarburos, es decir, compuestos que en lugar de átomos de carbono, tiene átomos de azufre, oxígeno o nitrógeno. Cuando el aceite dieléctrico contiene no-hidrocarburos como ácido nafténico, esteres, alcohol, bases de silicona, se llama aceite sintético. En la actualidad apenas el 10% de la industria utiliza este tipo de aceites en los transformadores, debido a que son solo útiles en casos donde se requiera extrema seguridad para amplios tiempos de servicio.

Existe casos de aplicaciones severas en donde a los aceites dieléctricos con base mineral se los complementa con aditivos de inhibidor de oxidación para mejor confiabilidad.

### **1.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Transequipos (2007, págs. 58-60), distingue porcentajes comunes de los compuestos que forman el aceite mineral:

Compuestos isoparafínicos: de 35% a 40%

Compuestos nafténicos: de 50% a 60%

Compuestos aromáticos: de 4% a 8%

A continuación se describen las 3 principales bases de hidrocarburos que forman el aceite dieléctrico:

### 1.2.1.1 Hidrocarburos Isoparafínicos

“Son compuestos de la familia de los alcanos (hidrocarburos saturados) con formula general  $C_nH_{2n-2}$  formados por cadenas abiertas como las parafinas normales, pero con ramificaciones laterales en su estructura” (Gallo, 2007, pág. 5)

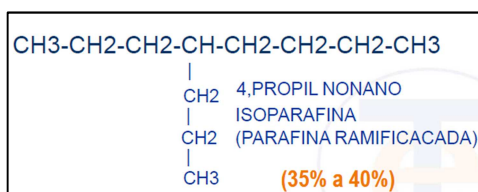


Figura 1.12 Isoparafinas

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 5)

Algunas de las características que este hidrocarburo provee al aceite dieléctrico son:

- Fácil flujo del aceite a bajas temperaturas (refrigerante), debido a que el punto de fluidez es menor que en las parafinas normales.

- Poca tendencia a la gasificación.

- Buena estabilidad a la oxidación.

### 1.2.1.2 Hidrocarburos Nafténicos

“También llamados cicloparafinas. Son compuestos de la familia de los alcanos con formula general  $C_nH_{2n}$ , que poseen en su estructura grupos anulares de alrededor de 6 átomos de carbono.” (Gallo, 2007, pág. 6)

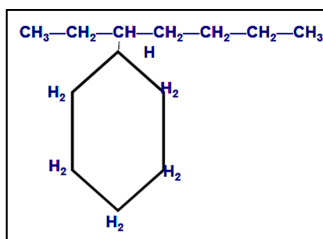


Figura 1.13 Base nafténica

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 6)

Las características principales de esta base son:

- Buena Fluidez a bajas temperaturas.
- Pobre tendencia a gasificación y formación de carbones por descargas eléctricas.
- Buena estabilidad ante la oxidación.
- Alta tensión interfacial y coeficiente de expansión admisible.

### 1.2.1.3 Hidrocarburos Aromáticos

“Están formados por estructuras anulares en donde una valencia de un átomo de carbono está instaurada. Los aromáticos presentes en el aceite aislante presentan ramificaciones que los hacen relativamente estables a la oxidación” (Gallo, 2007, pág. 6)

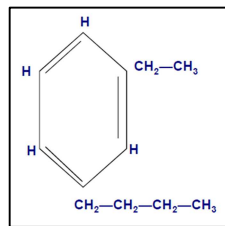


Figura 1.14 Compuesto aromático

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 7)

La empresa Shell, en su artículo sobre transformadores publicado en la web menciona algunas de las propiedades de este hidrocarburo:

- Al estar en exceso el aceite, el bajo coeficiente de expansión que presentan los hidrocarburos aromáticos dificultan la disipación de calor y con ello se permite la refrigeración.
- Actúan como captores de oxígeno por la formación de compuestos químicos estables que no traen reacciones de oxidación.
- Alto poder de solvencia frente a resinas y lacas que pueden deteriorar el aislamiento de los devanados (bajo punto de anilina).
- Son inhibidores naturales del aceite contra la oxidación.

## 1.2.2 PROPIEDADES

Al hablar de las propiedades del aceite dieléctrico implícitamente se está estudiando los agentes químicos, variables físicas y eléctricas que degradan de alguna u otra forma a este medio aislante.

Shell (2001, págs. 18-21), en su revista publicada destaca las propiedades de este fluido que seguidamente se describen:

### 1.2.2.1 Propiedades Físicas

#### 1.2.2.1.1 Viscosidad

Los aceites dieléctricos deben tener una baja viscosidad para mejorar la disipación del calor.

Mediante la norma ASTM D-445 o D-88 se establecen las máximas viscosidades a ciertas temperaturas de evaluación.

Tabla 1.1 Parámetros Normalizados de Viscosidad del Aceite

Temperatura	Viscosidad
100 °C	3 cSt.
40 °C	12 cSt.
0 °C	76 cSt.

Fuente: (SHELL, 2011, pág. 18)

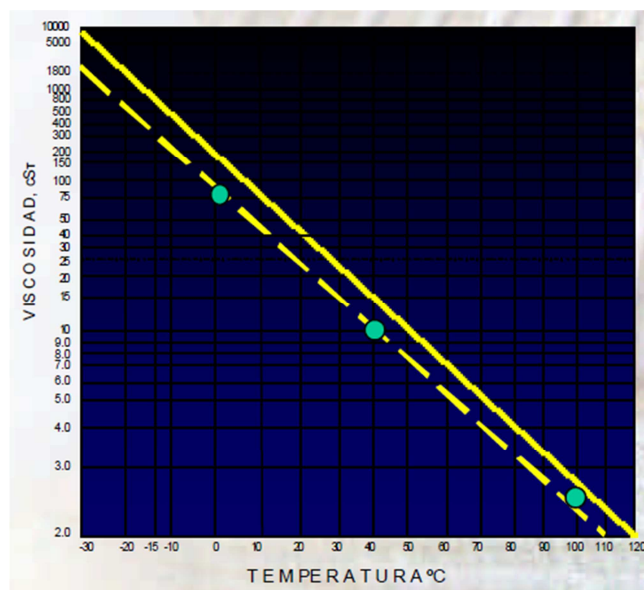


Figura 1.15 Curva viscosidad vs. Temperatura aceites dieléctricos  
Fuente: (SHELL, 2011, pág. 18)



#### 1.2.2.1.2 Punto de Fluidez

Es la temperatura en la cual el aceite dieléctrico deja de fluir cuando está en un proceso de enfriamiento continuo.

$T \geq 0\text{ °C}$  (Presencia dominante de hidrocarburos parafínicos)

$T = -10\text{ °C}$  (Presencia dominante de hidrocarburos isoparafínicos)

$-20\text{ °C} \leq T \leq -35\text{ °C}$  (Presencia de hidrocarburos nafténicos)

$-40\text{ °C} \leq T \leq -60\text{ °C}$  (Presencia de hidrocarburos aromáticos)

El punto de fluidez aceptable para aceites dieléctricos según la norma ASTM D-97 está en el rango de  $-40\text{ °C}$  a  $-50\text{ °C}$ .

#### 1.2.2.1.3 Punto de Inflamación

Es la mínima temperatura a la cual el aceite produce vapores que mezclados con el oxígeno son explosivos ante la presencia de una llama. Este valor mínimo es  $145\text{ °C}$ , mientras más alto, más seguro es su uso en los transformadores.

#### 1.2.2.1.4 Tensión interfacial

Efecto producido en la superficie de contacto de dos líquidos insolubles, que tiende a modificar la tensión superficial de ambos y por ende el aumento de la humedad de saturación del aceite haciéndolo más conductor de electricidad. Según el método de evaluación de esta propiedad ASTM D-971, la mínima tensión interfacial aceptada es  $40\text{ dinas/cm}$ .

#### 1.2.2.1.5 Punto de Anilina

“Temperatura a la cual un aceite dieléctrico se disuelve en un volumen igual de anilina. Sirve como parámetros de control de calidad” (SHELL, 2011, pág. 19)

Un buen aceite dieléctrico posee temperaturas de disolución entre 78 °C a 86 °C, aunque el método ASTM D-611 establece que el punto de anilina aceptado es de 63 °C a 84 °C.

#### 1.2.2.1.6 Color

La intensidad de color del aceite depende de que hidrocarburo predomina, siendo así, blanco y transparente cuando el aceite está en mayor cantidad con isoparafínicos. Cuando el aceite es amarillo claro a amarillo verdoso, posee más hidrocarburos nafténicos. Los aromáticos dan una coloración naranja a marrón oscuro.

El método ASTM D-1500 establece que para los aceites dieléctricos la coloración debe ser amarillo claro (0,5).

### 1.2.2.2 Propiedades Eléctricas

#### 1.2.2.2.1 Factor de Potencia

Es el valor que indica las pérdidas de corriente cuando el equipo se encuentra en operación. Estas pérdidas se producen cuando en el aceite hay compuestos polares, los mismos que son la causa de aumentos anormales de temperatura.

En el método ASTM D-924 se indica el máximo factor de potencia permisible.

Tabla 1.2 Parámetros Normalizados de Factor de Potencia

Temperatura	% Factor Pot.
25 °C	0,05%
100 °C	0,30%

Fuente: (SHELL, 2011, pág. 20)

#### 1.2.2.2 Rigidez dieléctrica

Es el mínimo voltaje en el que entre dos electrodos metálicos se produce un arco eléctrico. La rigidez dieléctrica indica la capacidad que posee el aceite para soportar tensiones eléctricas sin fallar.

Cuando el aceite presenta una baja resistencia dieléctrica es porque está contaminado con agua, carbón o algún elemento extraño, no obstante cuando su resistencia es alta, quiere decir todo lo contrario.

Para eliminar estos contaminantes se utiliza procesos de filtración o centrifugación.

#### 1.2.2.3 Propiedades Químicas

##### 1.2.2.3.1 Estabilidad a la oxidación

Un aceite dieléctrico con buenas condiciones debe ser muy estable ante la oxidación ya que debido a la presencia del aire, las altas temperaturas de operación y la influencia de metales como hierro y cobre se puede alterar químicamente la composición del aceite, dando lugar a la formación de ácidos y lodos que reducen la capacidad aislante del aceite y obstruyen la transferencia de calor internamente, provocando pérdidas de potencia eléctrica al transformador.

#### 1.2.3 VIDA ÚTIL DEL ACEITE DIELECTRICO

En la actualidad se puede establecer un indicador que muestra aproximadamente la vida útil del aceite aislante, el mismo que se define como: “El tiempo durante el cual el aceite alcanza un número de neutralización de 3.0 mg KOH/g” (Gallo, 2007, pág. 11). Este tiempo depende de algunos factores como:

- Cantidad de aire disuelto en el aceite

- Hidrólisis del agua presente en el transformador
- Descomposición de la celulosa del papel aislante (kraft)
- Temperatura de operación del transformador

Tabla 1.3 Vida útil del aceite dependiendo de la temperatura

Número de Neutralización vs Temperatura	
Temperatura ( °C) de Operación del Equipo	Vida útil del aceite dieléctrico en años
60	20
70	10
80	5
90	2,5
100	1,25
110	7 meses

Fuente: (SHELL, 2011, pág. 27)

#### 1.2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN

En la siguiente ilustración, tomada del tutorial de lubricantes Shell, se muestra el proceso completo para la obtención del aceite dieléctrico.

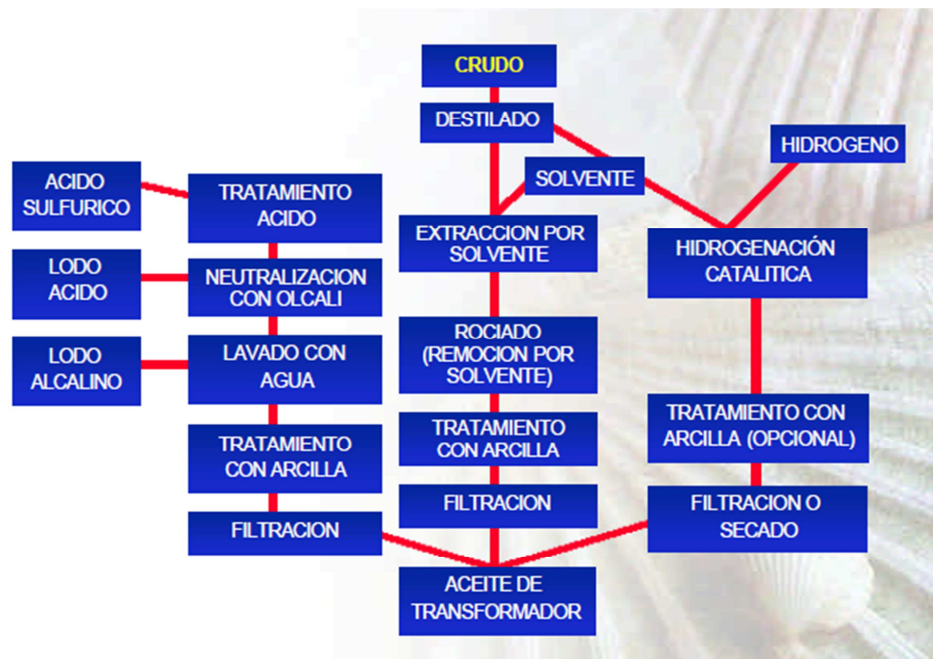


Figura 1.16 Proceso de fabricación del aceite dieléctrico

Fuente: (SHELL, 2011, pág. 24)

### 1.2.5 CAUSAS DE FALLA EN TRANSFORMADORES

Como se mencionó anteriormente, los transformadores tienen una vida útil que depende de 3 factores, los mismos que engloban principalmente al estado del sistema de aislamiento. En otras palabras, si al aceite dieléctrico se le da un mantenimiento adecuado que regenere sus propiedades y elimine los compuestos oxidantes, ácidos y lodos, se evitará la descomposición de la celulosa conservando en excelentes condiciones el papel aislante (kraft), así el transformador tendrá mejores expectativas de vida útil.

Recientes estudios, que en su mayoría son realizados por empresas aseguradoras, han demostrado que la edad media para los transformadores es alrededor de los 30 años o más.

La organización internacional IMIA Working Group, publicó los resultados del estudio de las principales causas de falla de 94 transformadores con potencias iguales o superiores a 25 MVA, situados en diferentes lugares del mundo.

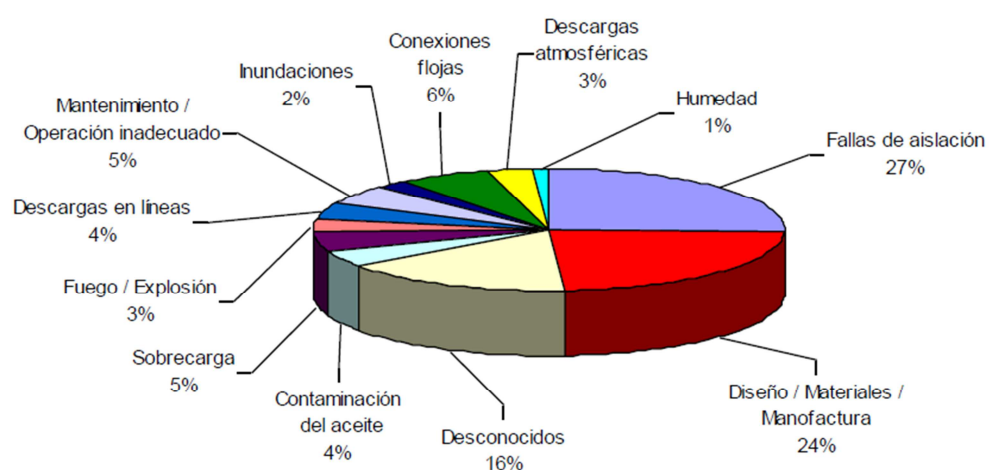


Figura 1.17 Causales de falla en 94 transformadores de potencia durante 1997-2001 difundida por: IMIA W.G.  
Fuente: (Alvarez & Del Pozo, 2007, pág. 1)

Como se puede observar, la primera causa de fallas en transformadores se da por el sistema de aislamiento.

### **1.3 QUÍMICOS PCB's**

A partir de 1929 se introdujeron en algunos aceites, compuestos sintéticos llamados PCB's (Bifenil Policlorados) constituidos por átomos de carbono, hidrógeno y cloro que daban al fluido hidráulico propiedades muy buenas para su propósito debido a su excelente estabilidad y a su difícil degradabilidad. Su fórmula química es  $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$ .

#### **1.3.1 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Las propiedades de estos compuestos varían según el contenido de cloro. Al aumentar la cantidad del cloro, el químico se vuelve más persistente y más peligroso.

Entre las características que se indican en manual de procedimientos para el manejo de PCB's en el sector eléctrico ecuatoriano elaborado por CONELEC (2012), se menciona las de mayor relevancia:

- Son líquidos de viscosidad variable y son más pesados que el agua, La densidad y la viscosidad incrementan cuando el cloro se halla en mayor concentración.

- Los PCB's comerciales poseen una coloración amarillo claro u oscuro.

- Son muy solubles en aceites e insolubles en agua. Pueden ser fácilmente absorbidos por tejidos grasos.

- Alta resistencia al envejecimiento, no se deterioran con el uso.

- Muy buena estabilidad frente al calor, pueden descomponerse solamente a temperaturas muy elevadas (1000 °C)

- Resistentes hacia agentes químicos, oxidación, ácidos, bases.

- Excelentes aislantes eléctricos, elevada constante dieléctrica y baja conductividad térmica.

Todas estas positivas características han hecho posible que los PCB's sean ideales en cuanto al aislamiento dentro de los transformadores, sin embargo posee parámetros que no favorecen en lo absoluto al medio ambiente y sobre todo al ser humano:

- Son bioacumulativos y muy persistentes en el medio ambiente.

- No son biodegradables ni metabolizantes.

- Pueden acumularse en los tejidos adiposos del cuerpo.

### **1.3.2 FABRICACIÓN**

Los PCB's en la industria fueron introducidos en gran magnitud entre los años 1929 y 1977, pero a finales de 1960 estudios e investigaciones reconocieron a los PCB's como una amenaza para el medio ambiente y la salud humana por ser altamente tóxicos y cancerígenos.

A pesar de eso se mantuvo su producción en ciertas aplicaciones industriales, especialmente en los transformadores. No fue hasta 1979 que se prohibió su fabricación tras comprobarse su alta peligrosidad.

“Se estima que desde 1930 se han producido 1.2 millones de toneladas en todo el mundo, siendo producidos más de la mitad en plantas industriales de USA.” (Moreno & Pilco, 2012, pág. 96)

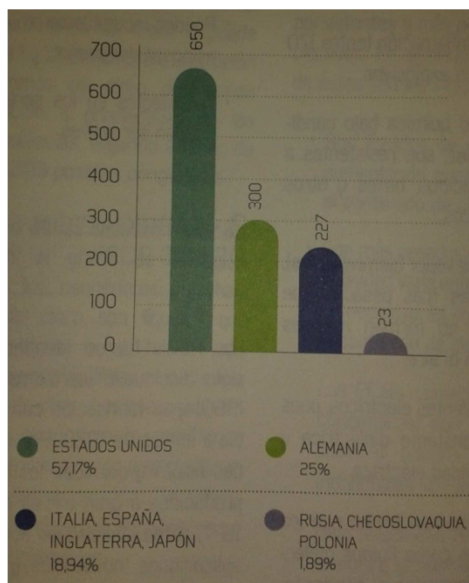


Figura 1.18 Porcentajes en toneladas de aceite dieléctrico con PCB's por países

Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 96)

“En 1982, de la producción total de PCB's, 48 mil toneladas fueron destruidas, 780 mil toneladas seguían en uso, almacenados o en rellenos, 372 mil toneladas no se sabe que paso...” (Moreno & Pilco, 2012, pág. 97)

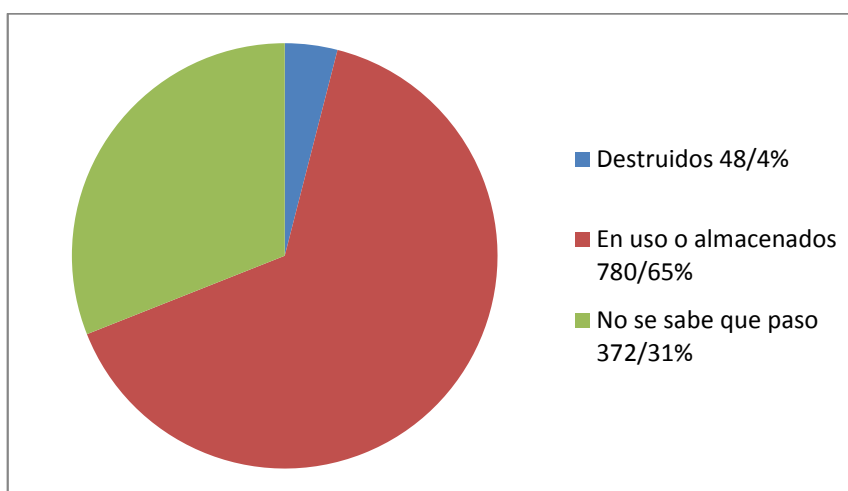


Figura 1.19 Destino de los PCB's hasta el año 1982 (miles de TON)

Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 97)

### 1.3.3 USOS

De acuerdo al propósito de utilización, los PCB's se clasificaron de la siguiente manera:



### **1.3.3.1 Usos Cerrados**

Es cuando los PCB's se mantienen dentro de un equipo o máquina y por ningún motivo pueden estar en contacto con el ambiente o el hombre.

- Fluidos dieléctricos
- Transformadores
- Disyuntores
- Reguladores de tensión
- Condensadores
- Motores eléctricos
- Electroimanes

Hay que considerar que cuando se realiza mantenimiento de los anteriormente mencionados elementos, pueden ocurrir emisiones al ambiente.

### **1.3.3.2 Usos parcialmente cerrados**

En estos usos, el aceite con PCB's no está inmerso de forma directa con el ambiente, pero se puede liberar mediante el proceso en el que se encuentre, por ejemplo:

- Fluidos hidráulicos
- Fluidos de transferencia de calor
- Sistemas hidráulicos en equipos de minas y embarcaciones
- Bombas de vacío
- Cables eléctricos

### **1.3.3.3 Usos Abiertos**

Correspondientes a los usos en los que los PCB's están en elementos que pueden permitir fácilmente su transferencia al medio ambiente:

- Lubricantes
- Tintas
- Ceras
- Adhesivos
- Revestimientos
- Materiales aislantes
- Pesticidas y agroquímicos
- Pinturas epóxicas y marinas
- Materiales de construcción: asfalto, selladores, etc.
- Plastificantes
- Líquidos para análisis de viscosidad
- Barnices, parafinas, resinas sintéticas, etc.

#### 1.3.3.4 DISTRIBUCIÓN SEGÚN USOS

Se estima que aproximadamente 336 mil toneladas se han utilizado en transformadores.

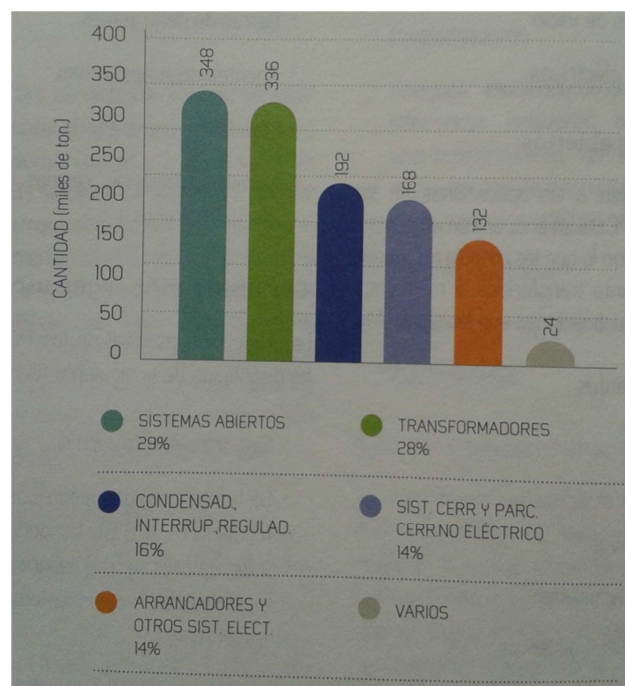


Figura 1.20 Distribución de toneladas de PCB's  
Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 102)

## 1.4 SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO

Desde la aparición de los medios aislantes para los transformadores en la industria, se ha venido desarrollando y mejorando los sistemas o procesos de mantenimiento de los mismos, enfocados siempre a proteger al papel aislante del agua y de los productos de oxidación el aceite.

Una purificadora de aceite dieléctrico no solo está destinada a una tarea, sino a varias, dependiendo del diagnóstico del transformador y de su medio aislante para evitar el uso innecesario de algunos componentes que conforman el sistema. De esta manera se puede realizar las siguientes formulaciones de mantenimiento según Ernesto Gallo (2007, pág. 96):

- Tratamiento al aceite por termovació y adición de inhibidor
- Secado del transformador
- Regeneración o desludificación de aislamientos
- Regeneración o desludificación de aislamiento con secado

En fin, el objetivo de estos sistemas es tratar el medio aislante y el transformador internamente para eliminar el exceso de agua, humedad, lodos, etc.

Todo esto se logra elevando la temperatura del aceite y manteniéndola entre los 40 °C y 50 °C (dependiendo de las condiciones ambientales del lugar en donde se esté trabajando), para permitir la deshidratación del aceite mediante la aplicación de vacío en un tanque, que con ayuda de un elemento desgasificador se logra formar una película delgada de aceite mientras este ingresa y así evacuar el exceso de humedad hacia el exterior con ayuda de la bomba de vacío.

El aceite que ya paso por este elemento desgasificador, cae por gravedad hacia el fondo del tanque, el mismo que es extraído por una bomba de engranajes y llevado hacia un sistema de filtraje en donde se eliminan los lodos con ayuda de un filtro de tierras fuller y se limpia el aceite por completo con filtros de tela (fieltros).

Así, el aceite recircula nuevamente por el transformador y la purificadora repitiendo todo el proceso anterior hasta que sea necesario según los cálculos de tiempo de operación.

Dependiendo del diagnóstico del medio aislante y el transformador se someterá al aceite solamente al o a los procesos necesarios.

#### **1.4.1 BOMBAS DE VACÍO**

Como se dijo anteriormente, es necesario reacondicionar el sistema de aislamiento de un transformador para remover humedad, gases disueltos, productos insolubles que pueden estar presentes en el aceite. Para esto no hay mejor herramienta que la aplicación del vacío.

Dependiendo de la capacidad y la presión del sistema de purificación, se deberá emplear una bomba de vacío apropiada.

Talavera y Farías (1995, pág. 6) mencionan que los parámetros más importantes de los sistemas de vacío son:

- La presión más baja que pueden lograr
- El rango de presión
- La velocidad de bombeo
- La presión de descarga
- Gas residual

### 1.4.1.1 Clasificación

Existen varios tipos de bombas para vacío y se caracterizan principalmente por los rangos de presión de trabajo.

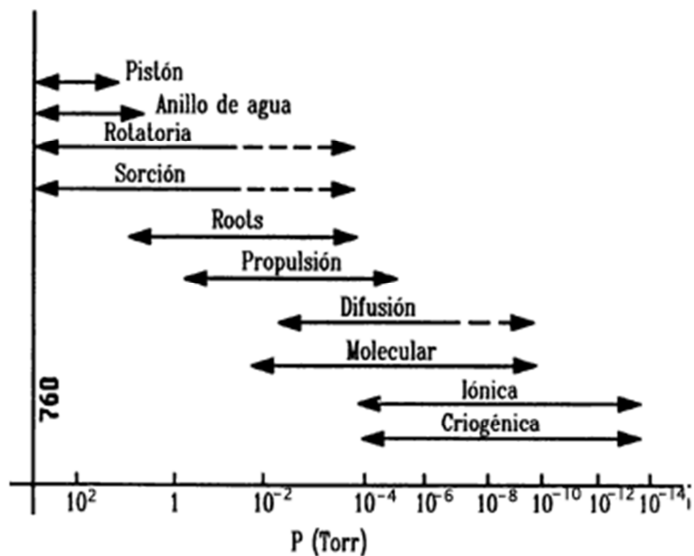


Figura 1.21 Rangos de presión para bombas de vacío  
Fuente: (Talavera & Farías, 1995)

Una de las bombas más utilizadas en la industria es la de paletas rotatorias, el siguiente gráfico muestra su funcionamiento:

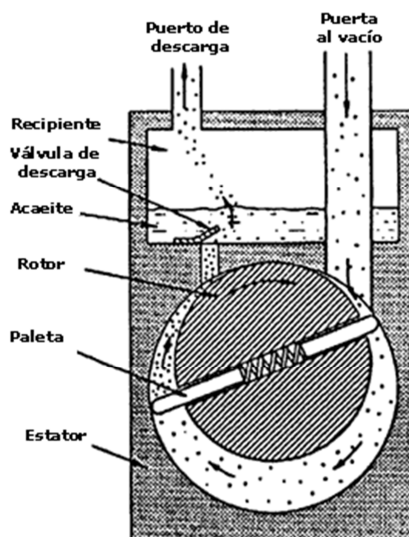


Figura 1.22 Esquema bomba de vacío de paletas rotatorias  
Fuente: (Talavera & Farías, 1995)

A: “Las paletas deslizantes se mueven cuando el rotor gira. El volumen entre la entrada y la paleta inferior es incrementado; esto causa que el gas se mueva dentro de esta área desde la entrada” (Talavera & Farías, 1995)

B: “El gas ha sido aislado del sistema de vacío y comienza a empujarse hacia la válvula de descarga.” (Talavera & Farías, 1995)

C: “El gas se comprime ligeramente arriba de la presión atmosférica. La válvula de descarga se abre y el gas es expulsado fuera de la bomba a través de aceite en el recipiente.” (Talavera & Farías, 1995)

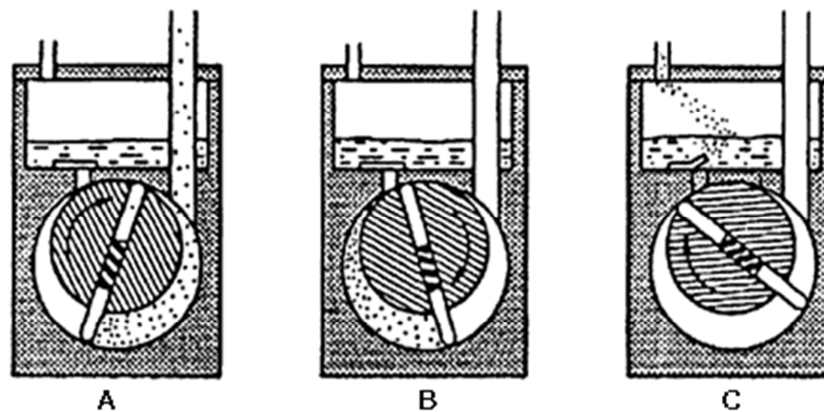
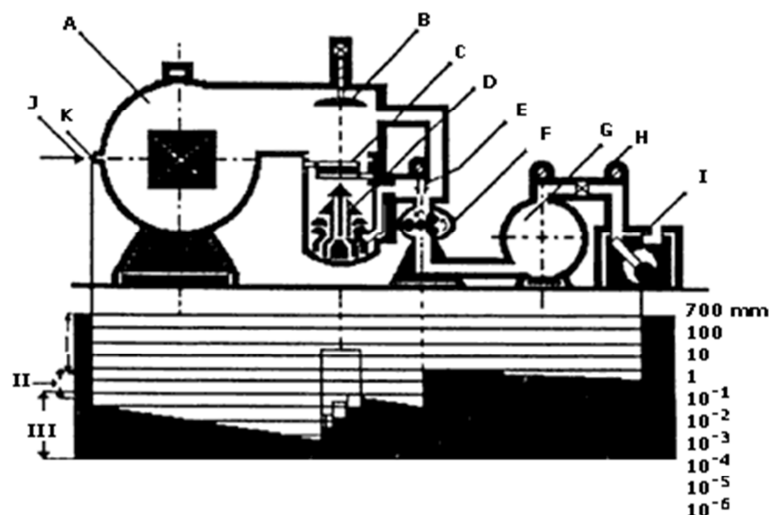


Figura 1.23 Esquema de funcionamiento Bomba de paletas rotatorias  
Fuente: (Talavera & Farías, 1995)

Para entender el principio de funcionamiento de una bomba de vacío tipo pistón se hará una analogía con un compresor de pistones, ya que el proceso es contrario. El compresor toma aire del exterior para mediante la compresión en cámaras expulsar al aire con mayor presión, lo contrario ocurre con las bombas de vacío tipo pistón, estas succionan el aire en un volumen sellado generando un vacío parcial y sacan el aire acumulado al ambiente de forma lenta y con presión positiva baja.



- A. Cámara de vacío.  
 B. Válvula principal.  
 C. Impedancia.  
 D. Bomba de difusión.  
 E. Canal de acceso.  
 F. Bomba tipo Roots.  
 G. Cámara de prevacío o condensador.  
 H. Medidor de presión.  
 I. Bomba rotatoria de pistón.  
 J. Flujo de gas.  
 K. Válvula de aguja.
- I. Bomba de pistón.  
 II. Bombas tipo Roots.  
 III. Bomba de difusión.

Figura 1.24 Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío

Fuente: (Talavera & Farías, 1995)

Según consenso internacional, el vacío se clasifica según los siguientes niveles:

Tabla 1.4 Niveles de Vacío

Grueso	750 a 1 Torr	Bombas secas, de pistón, de anillo líquido, eyectores
Medio	De 1 a 10 <sup>-3</sup> Torr	Bombas de pistón, boosters, eyectores
Alto	De 10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-7</sup> Torr	Bombas de difusión, criogénicas y turbomoleculares
Ultra alto	Por debajo de 10 <sup>-7</sup> Torr	Bombas de difusión, criogénicas y turbomoleculares

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 80)

### 1.4.2 TIERRAS FULLER

“Es una arcilla absorbente con base en silicatos de aluminio hidratado, la cual se encuentra naturalmente en forma bruta.” (Gallo, 2007, pág. 112)

Al someter a esta arcilla a procesos de calcinación se puede obtener un producto muy útil que sirve como sustancia adsorbente de partículas ácidas.

Generalmente se comercializa en varios tamaños de granulometrías de acuerdo a la aplicación en la que se la utilice.



Figura 1.25 Tierras fuller  
Fuente: (Gallo, 2007, pág. 112)

“La cantidad de tierra fuller requerida depende del estado inicial de acidez (NN) del aceite a tratar y del punto final en NN que se desea alcanzar” (Gallo, 2007, pág. 112)

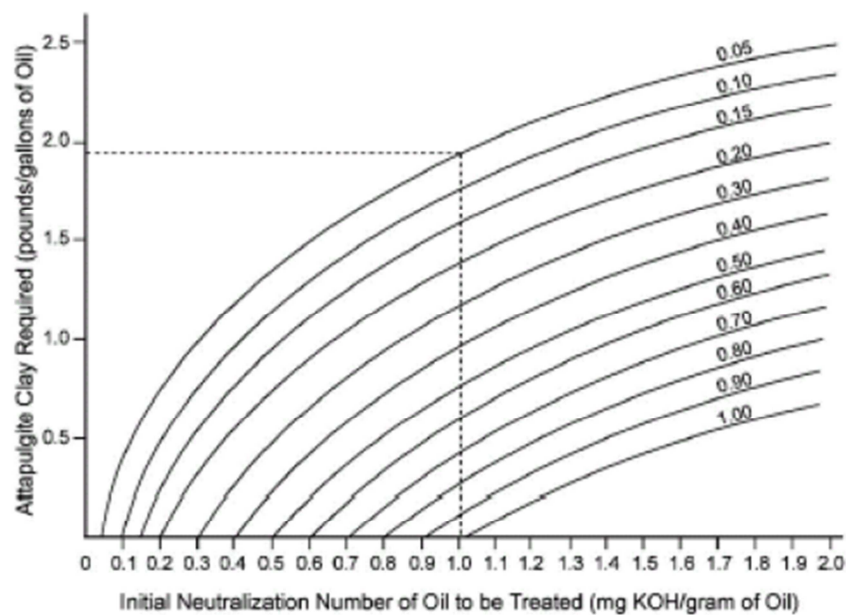


Figura 1.26 Cantidad de tierra fuller en lb/gl  
Fuente: (Gallo, 2007, pág. 113)

## 1.5 ESPECIFICACIÓN DE NORMAS

En la Norma ASTM D-117 acerca de los líquidos y gases con aislamiento eléctrico, se especifican alrededor de 33 propiedades y 55 métodos de prueba para aceites aislantes con base en hidrocarburos, dentro de la cual,



está la norma ASTM D-923 que establece algunas de las prácticas estándar para el muestreo de líquidos con aislamiento eléctrico.

Según recomendaciones, por consenso internacional, es necesaria solamente la aplicación de 8 de estas prácticas para el análisis de calidad del aceite dieléctrico.

Para el análisis de calidad del aceite dieléctrico que se utilizará en este proyecto, se interpretará solo 6 normas ASTM:

### 1.5.1 RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D-877)

“Se define como rigidez dieléctrica a la capacidad de un aislante para soportar tensión eléctrica a determinada rampa de incremento de la misma sin fallar.” (Gallo, 2007, pág. 28)

Esta prueba se la realiza aplicando voltaje paulatinamente a dos electrodos de bronce sumergidos en aceite dieléctrico en un vaso de prueba apropiado, los mismos que están separados a cierta distancia y son de una geometría específica, según la norma que se esté aplicando.

Si bien esta prueba puede dar un primer indicio de la presencia de contaminantes en el aceite tales como: agua, impurezas, fibras de celulosa o partículas conductoras; No indica que haya ausencia de dichos contaminantes cuando su valor es bueno (alto).

Tabla 1.5 Rangos de calificación norma ASTM D-877

<b>Aceptable</b>	<b>Valor mayor de 30 kV/2.5 mm</b>
<b>Questionable</b>	Valor entre 25 y 30 kV/2.5 mm
<b>Inaceptable</b>	Valor por debajo de 25 kV/2.5 mm

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### 1.5.2 CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533)

Esta norma se puede verificar mediante el método preciso y totalmente automático de Karl Fisher, basado en la titulación coulométrica.

Es considerada muy importante porque permite valorar de forma exacta el contenido total de agua en el aceite dieléctrico, sustituyendo la deficiencia que puede arrojar los resultados de la norma de rigidez dieléctrica.

Según S.D. Myers (2004), con este valor se puede calcular el porcentaje aproximado de agua en el papel aislante, teniendo en cuenta la temperatura del aceite en la parte baja del transformador.

Tabla 1.6 Rangos de calificación norma ASTM D-1533

<b>Aceptable</b>	<b>Valor menor de 30 ppm</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 30 y 34.9 ppm
<b>Inaceptable</b>	Valor por encima de 35 ppm

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### 1.5.3 NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974)

“Se define como: Peso en miligramos de KOH (Base), que se requiere para neutralizar el ácido de un gramo de muestra de aceite.” (Gallo, 2007, pág. 36)

Debido a que el aceite se encuentra constantemente en un proceso de degradación, es importante realizar un monitoreo periódicamente mediante esta norma.

Tabla 1.7 Rangos de calificación norma ASTM D-974

<b>Aceptable</b>	<b>Valor menor de 0.05 mgKOH/g</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 0.06 y 0.1 mgKOH/g
<b>Inaceptable</b>	Valor por encima de 0.1 mgKOH/g

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### 1.5.4 TENSIÓN INTERFACIAL (ASTM D-971)

Sirve para medir la fuerza de atracción molecular entre el agua y el aceite. El procedimiento se lo realiza con la ayuda de un tensiómetro de precisión, aplicando una fuerza a un anillo de platino-iridio. Se mide en dinas/cm.

Este valor permite saber la afinidad que tiene el agua con el aceite dieléctrico, ya que en el aceite pueden existir disueltos compuestos polares de degradación que facilitan la captación de humedad.

Tabla 1.8 Rangos de calificación norma ASTM D-971

<b>Acceptable</b>	<b>Valor mayor de 32 Dinasc/cm</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 28 y 31.9 Dinasc/cm
<b>Inacceptable</b>	Valor por debajo de 27.9 Dinasc/cm

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### 1.5.5 COLOR (ASTM D-1500)

Sirve para determinar el color del aceite dieléctrico a partir de patrones estándar establecidos en la norma, mediante la comparación con ayuda de un colorímetro.

Los valores cuantificados resaltan el grado de contaminación por acidez y es muy útil para observar un cambio sensible en periodos de tiempo cortos.

Tabla 1.9 Rangos de calificación norma ASTM D-1500

<b>Acceptable</b>	<b>Valor menor de 3.5</b>
<b>Inacceptable</b>	Valor mayor de 3.5

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### 1.5.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298)

“Es el valor adimensional que da la razón entre la masa de un volumen dado de aceite, y la masa de agua para ese mismo volumen. Es un examen rápido para detectar la presencia de contaminantes.” (Gallo, 2007, pág. 41)

Además ayuda a conocer el origen del aceite (nafténico o parafínico) ya que un aceite con base parafínica tiene una gravedad específica menor que 0.84 y con un valor cercano a 1, se puede prever la posibilidad de existencia de ascarel (PCB's).

Tabla 1.10 Rangos de calificación norma ASTM D-1298

<b>Acceptable</b>	<b>Valor entre 0.84 y 0.91</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor por debajo de 0.84
<b>Inacceptable</b>	Valor por encima de 0.91

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

## 1.6 PARÁMETROS DE CALIDAD PARA EL ACEITE

### DIELÉCTRICO

Para establecer si el aceite dieléctrico analizado a partir de todas las normas mencionadas anteriormente, es necesario calcular un índice:

#### 1.6.1 ÍNDICE DE CALIDAD (IC)

Este valor se obtiene de la razón entre la TENSIÓN INTERFACIAL y el NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN, y debe ser lo más alto posible.

Permite determinar la necesidad de mantenimiento del aceite dieléctrico mediante la regeneración para eliminar la acumulación de lodos, ácidos y agua.

Tabla 1.11 Clasificación del aceite según el índice de calidad

<b>Calificación</b>	<b>Índice de Calidad (IC)</b>
<b>Aceite excelente</b>	IC $\geq$ 5000
<b>Aceite bueno</b>	1500 $\leq$ IC < 5000
<b>Inicio de degradación</b>	600 $\leq$ IC < 1500
<b>Degradación avanzada</b>	300 $\leq$ IC < 600
<b>Aceite marginal</b>	150 $\leq$ IC < 300
<b>Aceite malo</b>	45 $\leq$ IC < 150
<b>Aceite muy malo</b>	22 $\leq$ IC < 45
<b>Aceite extremadamente malo</b>	6 $\leq$ IC < 22
<b>Aceite condición desastrosa</b>	IC < 6

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 38)

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE LA PURIFICADORA DE ACEITE DIELECTRICO

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO ACTUAL DE LA PURIFICADORA

De acuerdo a lo planificado, el día Sábado 1 de Junio de 2013, se realizó una observación exhaustiva del funcionamiento actual de la purificadora mediante la regeneración del aceite dieléctrico, contenido en las cámaras de extinción del arco eléctrico de 9 disyuntores (cada uno con 120 litros de aceite), ubicados en la subestación de la empresa.

Fue necesario adquirir un tanque plástico de 1200 litros para extraer el aceite de los disyuntores y recircular a través de la purificadora, ya que en la empresa no se cuenta con un sistema adecuado para este fin. Además se introdujo una válvula de entrada al tanque de plástico para la evacuación de aire mediante una bombona de nitrógeno.

Una vez que se extrajo el aceite de 3 disyuntores se procedió con la conexión al KATO para la purificación del aceite (360 litros).



Figura 2.1 Lateral derecho y posterior de la purificadora  
Fuente: (Autor, 2014)

### 2.1.1 MODO DE OPERACIÓN ACTUAL DE LA PURIFICADORA

A continuación se describirá paso a paso el modo de operación del sistema:

- Primeramente es necesario verificar que todas las purgas de aceite estén cerradas, así como también la posición de las válvulas de paso en todo el sistema.

- La válvula de entrada, salida y de bypass del tanque de vacío deben estar completamente abiertas.

- Se enciende solamente la bomba de aceite. Al inicio se utiliza la válvula de bypass porque la bomba de vacío no está encendida y la electroválvula para el ingreso de aceite al tanque principal permanece cerrada.

- Después de un corto período de tiempo se enciende la bomba de vacío, donde el operador debe estar pendiente del nivel del tanque principal para cuando éste se encuentre bajo el límite inferior se proceda cerrando la válvula de bypass del tanque principal o de vacío.

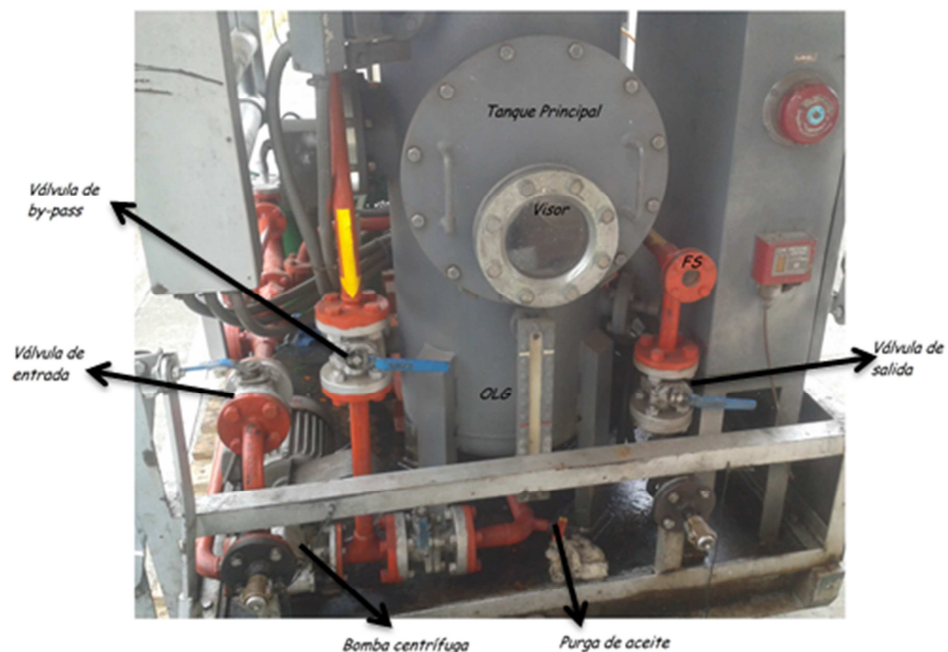


Figura 2.2 Frente de la purificadora con sus componentes  
Fuente: (Autor, 2014)

-Si el nivel de aceite permanece en el límite inferior y no sube, es necesario controlarlo mediante la válvula de salida del KATO, es decir, manualmente cerrar poco a poco la válvula hasta que el nivel en el tanque principal se estabilice (dentro del rango del visor). Mientras el sistema purifica el aceite, un operador debe estar pendiente del nivel del tanque principal y manipular las válvulas de entrada y salida para evitar las alarmas o que el sistema se dispare.

-Una vez estabilizado el nivel se procede a encender las resistencias eléctricas necesarias para el calentamiento del aceite. Actualmente existen 3 resistencias que son encendidas manualmente una por una dependiendo el lugar donde se esté trabajando y la cantidad de aceite que se pretende regenerar, para conseguir una temperatura aproximada de 50 °C.

-La temperatura del sistema se controla manualmente mediante una perilla que está acoplada a un termostato, permitiendo controlar las resistencias eléctricas para obtener mayor o menor calor.

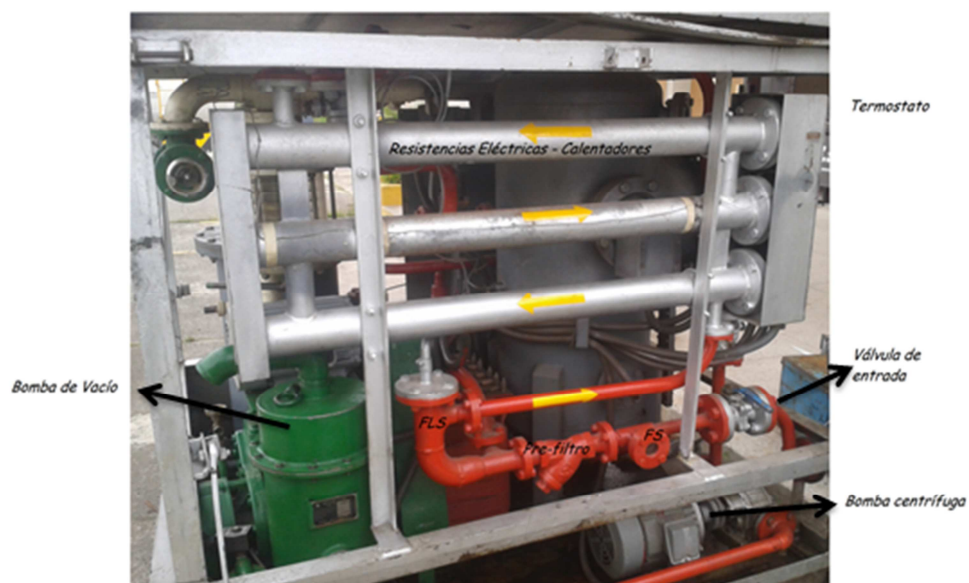


Figura 2.3 Lateral derecho de la purificadora con sus componentes  
Fuente: (Autor, 2014)

Este procedimiento es continuo y debe estar siempre supervisado por un operador ya que el sistema de control es totalmente manual. El equipo debe funcionar por varias horas dependiendo del volumen de aceite a purificar. La instrumentación, el sistema de control y las alarmas que actualmente posee la purificadora se analizarán posteriormente.

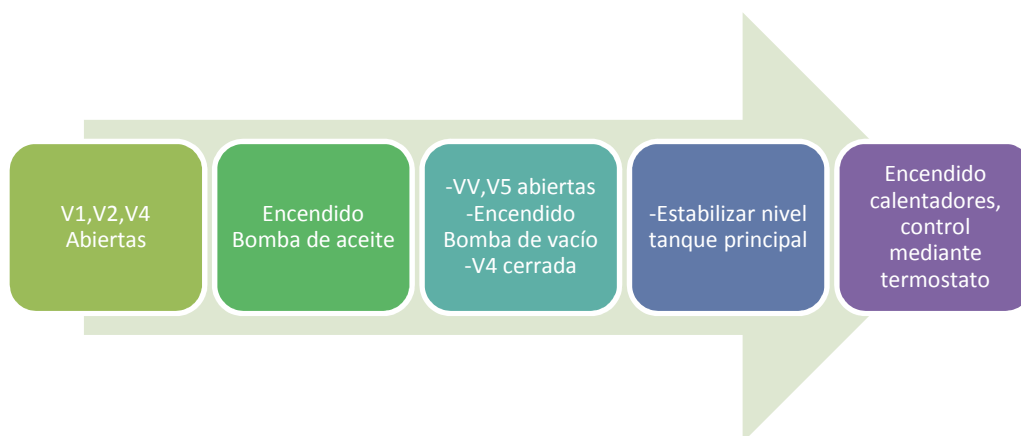


Figura 2.4 Proceso modo de operación básica de la purificadora  
Fuente: (Autor, 2014)

## 2.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ACTUAL

Los siguientes datos fueron tomados durante el funcionamiento de la purificadora:

Caudal de purificación: 1 vuelta completa del Flujómetro (10 litros de aceite) en 30 segundos. En una hora de recirculación se estima 1200 litros de aceite purificado.

Tabla 2.1 Parámetros de desempeño actual

<b>Disyuntores</b>	<b>3</b>
<b>Total de litros de aceite a purificar</b>	360 l
<b>Caudal de regeneración</b>	1200 l/h
<b>Total horas a purificar</b>	2 h 30 min
<b>Presión del sistema</b>	2 – 4 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Temperatura del aceite</b>	40 – 60 °C (Inestable)
<b>Nivel del tanque principal</b>	Muy Inestable
<b>Pérdidas de aceite</b>	Aproximadamente 30 litros

Fuente: (Autor, 2014)



El control de temperatura es deficiente ya que las resistencias eléctricas se apagan continuamente, sin mantener estable los 50°C necesarios para que la regeneración cumpla las expectativas deseadas.

El operador debe estar presente durante todo el tiempo de funcionamiento de la purificadora manipulando las válvulas de entrada y salida del sistema, porque el nivel no permanece estable en el rango determinado, provocando el disparo de los motores y encendiendo las alarmas constantemente.

No existe un parámetro que ayude a identificar en qué porcentaje se logró regenerar el aceite, simplemente se calcula el tiempo estimado de operación de acuerdo al volumen de aceite (el equivalente en horas a 8 veces el volumen de aceite).

## **2.3 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS (MECÁNICOS/ELÉCTRICOS) QUE CONFORMAN LA PURIFICADORA**

Ver anexo 1

## **2.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO**

### **2.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES DEL SISTEMA**

Por tratarse de un proceso en el que interviene más de una presión, incluyendo una de vacío, es necesario estudiar cada una para mantener el correcto funcionamiento de la purificadora posterior a la automatización que se pretende realizar.

El sistema actualmente cuenta con un manómetro de presión tipo bourdon, el mismo que se encuentra conectado al proceso mediante una acople de rosca NPT ¼ pulgadas, justo antes de la entrada al tanque de

tierras fuller o a la salida de la bomba de aceite. El indicador se encuentra en el tablero de control y permite monitorear la presión dentro del rango establecido: 0-5 kg/cm<sup>2</sup>

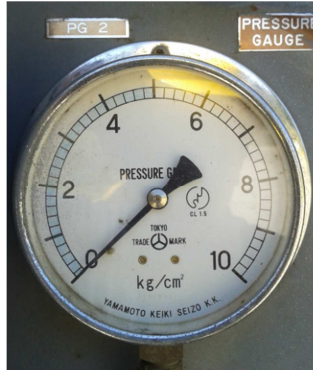


Figura 2.5 Manómetro de presión  
Fuente: (Autor, 2014)

En ese mismo tramo de tubería existe una manguera de cobre, que al igual que la manguera del manómetro capta la presión del sistema y la lleva hacia un control de presión.



Figura 2.6 Control presión antiguo  
Fuente: (Autor, 2014)

Este control permitía, mediante un switch de presión, detener por completo todo el funcionamiento (motores y resistencias) cuando la presión supera 3kg/cm<sup>2</sup>, ya que una presión alta puede ser motivo de una obstrucción o también un alto nivel de aceite en el tanque de filtros, que pueden llevar a un daño de la bomba centrífuga.

Durante la operación de la purificadora en la regeneración del aceite de los disyuntores se observó la importancia de mantener un monitoreo preciso

a la presión del sistema, ya que cuando se retorna el aceite purificado a los disyuntores se produce una variación de la presión debido al peso que genera el aceite por la gravedad.

Es recomendable no sobrepasar los 4 Kg/cm<sup>2</sup>; para esto el operador debe manipular las válvulas de entrada y salida.

Con respecto a la presión de vacío, la bomba mantiene una presión de operación de 4 Torr (cuando se trata de presiones muy bajas o presiones de vacío se trabaja con esta unidad).



Figura 2.7 Manómetro compuesto  
Fuente: (Autor, 2014)

En el tablero se cuenta con un manómetro de presión positiva y negativa, el mismo que está conectado al tanque principal (tanque de vacío) mediante una manguera de cobre.

En este indicador se puede visualizar la presión de vacío que mantiene la purificadora en cm de Hg.

El tanque de filtros es el elemento que recibe de forma directa la presión descargada por la bomba de aceite, por esta razón y por recomendación la presión en el tanque de filtro no debe superar los 3Kg/cm<sup>2</sup>, quedando así los valores de presión del sistema para posterior criterio de diseño y selección.

### 2.4.1.1 Diagnóstico del estado de la tubería

La tubería es de acero con un recubrimiento interno (pintura al horno) apta para las propiedades de trabajo del aceite dieléctrico.

Para conocer el estado de la tubería, durante el funcionamiento se mantuvo una inspección periódica del flujómetro, tomando en cuenta el tiempo que tarda la manilla en dar una vuelta completa.

Los resultados de tiempo y el cálculo del caudal durante la operación de la purificadora, se mantuvieron constantes. Así se puede predecir de forma empírica que aparentemente no existen obstrucciones de considerable importancia.

Además se desmontó secciones de tubería en puntos clave de todo el sistema, para una inspección visual del estado de las mismas, por ejemplo:

- Sección de tubería antes del pre-filtro y del tanque de filtros
- Sección de tubería antes y después de la bomba de engranajes
- Sección de tubería de bypass de tanque principal



Figura 2.8 Sección de tubería posterior a bomba de engranajes  
Fuente: (Autor, 2014)

De acuerdo a lo que se pudo visualizar, la tubería mantiene un buen estado y no presenta ningún tipo de obstrucciones gracias a los tres filtros que posee la purificadora y a las características que facilitan la circulación del aceite mineral. Sin embargo, es recomendable realizar un *flushing* a toda la tubería para asegurarse de mantener un óptimo estado de todo el sistema hidráulico.

El *flushing* es una limpieza a fondo de la tubería. Existen algunos métodos para la ejecución de este procedimiento, los mismos que se basan en normas, especialmente cuando se trata de tubería de gran tamaño que transporta crudo.

En el caso de la purificadora, por tratarse de un sistema pequeño con el diámetro nominal de 1 ¼ in, se puede realizar el *flushing* con un PIG (*pipe inspection gauge*) que es un dispositivo al 95% del diámetro de la tubería formado por dos anillos de polímero a los extremos e impulsado por aire a muy alta presión mediante un compresor. También se puede hacer circular por todo el sistema el mismo fluido al doble de la velocidad de trabajo mediante una bomba (no la de operación) que permita el caudal requerido.

Para cualquiera de los dos procedimientos es muy necesario desconectar actuadores, bombas, filtros, válvulas, etc.

#### **2.4.1.2 Evaluación del funcionamiento de las válvulas**

En el sistema se cuenta con válvulas de bola para el aceite dieléctrico y válvulas de compuerta para el vacío. Durante la operación de la purificadora se verificó el funcionamiento de las mismas, hallando únicamente problemas con la posición de las manijas, que están ligeramente desviadas con respecto al sentido de la tubería.



Figura 2.9 Válvula de bola  
Fuente: (Autor, 2014)

Se comprobó mediante la apertura y cierre completo que las válvulas de compuerta de vacío se encuentran en perfecto estado. No se encontró ningún paso de aire mientras la válvula permaneció cerrada.



Figura 2.10 Válvula de compuerta  
Fuente: (Autor, 2014)

Con respecto a la electroválvula que permite generar el vacío dentro del tanque principal, es recomendable reemplazarla, pero debido al presupuesto limitado, se mantendrá en funcionamiento la misma hasta que necesite definitivamente un cambio.



Figura 2.11 Electroválvula  
Fuente: (Autor, 2014)

La válvula reguladora de presión se encuentra funcionando con normalidad; en caso de pérdida o aumento de presión del sistema se recomienda calibrar la misma ajustando la tuerca. Si el problema persiste se debe revisar empaques.



Figura 2.12 Válvula de retorno reguladora de presión  
Fuente: (Autor, 2014)

El flujómetro no varía en operación y la salida del aceite al final de la purificadora es normal. La válvula anti retorno (*check*) está en buenas condiciones.



Figura 2.13 Válvula Check  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 2.4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL TANQUE PRINCIPAL



Figura 2.14 Frente del tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

El tanque es de acero inoxidable, conformado por el elemento desgasificador que contiene tres filtros. El aceite proveniente de la tubería

entra al tanque mediante la electroválvula y es repartida hacia los tres filtros a través de una caja donde van soldados los soportes de los filtros.



Figura 2.15 Entrada de aceite y soporte de filtros  
Fuente: (Autor, 2014)

Para prevenir que impurezas bloqueen la salida del aceite o dificulten el proceso de desgasificación mediante la bomba de vacío, se reemplazó los filtros porque se encontraban en mal estado.



Figura 2.16 Filtros antiguos  
Fuente: (Autor, 2014)



Figura 2.17 Filtros nuevos  
Fuente: (Autor, 2014)



La parte superior del tanque mostraba acumulación de óxido, ya que hace mucho tiempo no se desmontaba el tanque para un mantenimiento adecuado. Se procedió con la limpieza, pero debido a lo difícil que resultaba introducir el brazo y con el peligro de hacer contacto con los restos de este aceite, solamente se logró eliminar una parte de la oxidación.



Figura 2.18 Limpieza superior tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

### **2.4.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BOMBA DE VACÍO**

Como cualquier dispositivo de desplazamiento que involucra pistones, se debe mantener una adecuada lubricación por lo que es indispensable sustituir el aceite que se encuentra alojado en el tanque propio de la bomba de vacío. Para esto simplemente fue necesario purgar el aceite usado y realizar una limpieza del visor que permite observar el nivel y el estado de este aceite.

Toda la humedad que se separa del aceite dieléctrico llega hasta este tanque donde el aceite de la bomba de vacío cumple un papel importante, que es absorber. El resto de humedad sale al exterior en forma de vapor.

Como las bombas de vacío no poseen filtros, muchas veces este aceite se satura de vapor de humedad y se emulsifica, adquiriendo un aspecto lechoso que nos indica que es imprescindible un cambio de aceite.

Existen algunas variedades de aceites para bombas de vacío, las mismas que se ajustan al tipo de refrigeración que poseen. La mayoría de estos lubricantes son de origen sintético compuestos de poliéster.



Figura 2.19 Bomba de vacío y tanque de aceite  
Fuente: (Autor, 2014)

#### **2.4.4 ANÁLISIS MECÁNICO DEL TANQUE DE FILTROS (TIERRAS FULLER)**

Previo al análisis del tanque de filtros y las tierras fuller, se realizó un mantenimiento preventivo a todo el tanque:

- Se sustituyó el juego de los tres filtros de tela (fieltros)
- Se envió las tierras fuller al laboratorio para procedimientos de limpieza a fondo
- Se limpió el interior del tanque



Figura 2.20 Tierras fuller  
Fuente: (Autor, 2014)

Encontrar tierras fuller con el mismo tamaño de gránulos, ha resultado tarea complicada, puesto que en Ecuador no existe un distribuidor que oferte este tipo de productos. La mayoría de ellos se encuentran solamente en países como México y Colombia.

Luego de una exhaustiva búsqueda se logró dar con un contacto que importa materiales químicos para la industria petrolera, PetroEquipos S.A., quienes ofertaron arcilla ultraclear para el tamaño de tamiz 30/60 (Ver anexo 2). Este número indica que el tamaño del gránulo sirve para filtros con tamiz 30/60, en otras palabras 30 y 60 agujeros en una pulgada sin contar el ancho de la malla, lo que para el filtro que posee actualmente la purificadora resulta no apto, ya que la malla tiene agujeros de mayor tamaño y la arcilla fácilmente saldría del tamiz.

#### **2.4.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA DE ENGRANAJES**

En las pruebas realizadas con la purificadora, se logró escuchar un sonido extraño proveniente de la bomba de engranajes.

Se desmontó la bomba que estaba acoplada mediante bridas a la tubería y se procedió con el mantenimiento correctivo con el objetivo de encontrar el problema que causaba tal sonido durante el funcionamiento del equipo.



Figura 2.21 Bomba de engranajes  
Fuente: (Autor, 2014)

Una vez desmontada la bomba se la trasladó al taller, donde con ayuda de personal mecánico se desarmó por completo para verificar que cada uno de los elementos internos se halle en óptimo estado.

Lo que se pudo observar fue que los rodamientos no tenían ningún daño como fractura, desgaste mecánico, etc.

Se hallaron problemas en los orines internos, donde uno de ellos estaba roto y dos empaques exteriores estaban totalmente destrozados. Se procedió con una limpieza a fondo de toda la bomba de engranajes con diésel y vapor caliente, para posteriormente cubrir las ranuras con una capa de silicón rojo y colocar nuevos empaques y orines.



Figura 2.22 Reemplazo de orines y empaques  
Fuente: (Autor, 2014)

## **2.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO**

### **2.5.1 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR INTERNO**

La purificadora cuenta con un transformador de voltaje propio, ya que cuenta con 2 tomas externas: Una para 220 VAC y otra para 440 VAC a 60 Hz. Independientemente de la tensión con la que se alimenta la purificadora, el transformador posee varios *taps*, los mismos que están conectados al

tablero para obtener siempre 440 VAC para las cargas (circuito de potencia) y 220 VAC para el circuito de control.

Con respecto al funcionamiento y estado del transformador no se halló ningún inconveniente. A pesar que este se encuentra en medio de todo el sistema y resulta complicado acceder al 100% se logró visualizar y tomar varias mediciones de la tensión de entrada y salida del transformador.



Figura 2.23 Transformador  
Fuente: (Autor, 2014)

## 2.5.2 VERIFICACIÓN DE CONEXIONES Y TOMAS DE VOLTAJE

La purificadora no contaba con un cable de conexión adecuado, carecía de conectores y simplemente se introducía los hilos de cobre en las borneras. Se construyó un nuevo cable de aproximadamente 20 metros con conectores a los dos extremos, tanto para alimentación como para conexión de 220 VAC, evitando así cualquier cortocircuito o accidente eléctrico.

Las conexiones y cableado actual de la purificadora están en deplorable condición, no existe una correcta distribución de los cables y todo el tablero presenta daños debido al tiempo y uso de la purificadora.

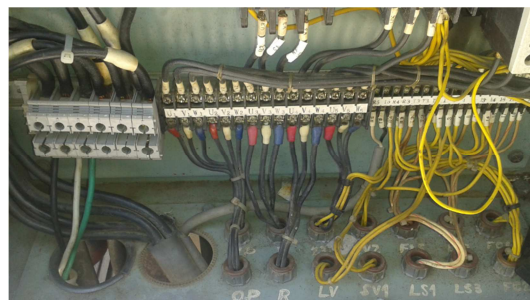


Figura 2.24 Borneras y cableado antiguos  
Fuente: (Autor, 2014)

### 2.5.3 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE ELEMENTOS Y PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Existen 5 contactores en total, 3 de ellos son originales del fabricante y corresponden a las 3 resistencias eléctricas. Los otros dos ya han sido reemplazados.

Como se pretende construir por completo un nuevo tablero, es pertinente dimensionar nuevos contactores para cada una de las cargas porque los anteriormente mencionados son obsoletos y muy antiguos.

El sistema carece en su totalidad de protecciones eléctricas, simplemente existe un interruptor automático para la alimentación de todas las cargas.

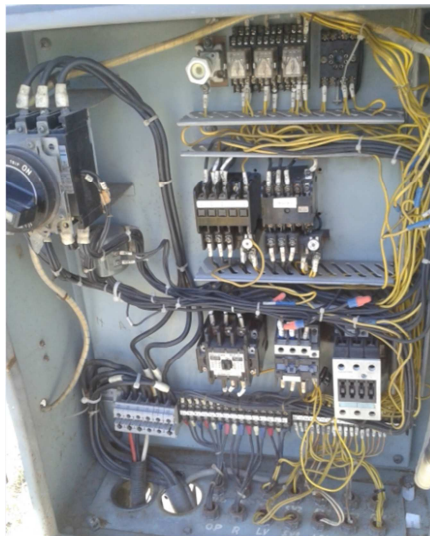


Figura 2.25 Interior del panel antiguo  
Fuente: (Autor, 2014)

## 2.6 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL

### 2.6.1 PRUEBAS DE ENCENDIDO, PUESTA EN MARCHA Y ALARMAS

Tal y como se describió al inicio de este capítulo, para el encendido se posiciona el interruptor principal en ON y se energiza primero la bomba de aceite, siguiendo la bomba de vacío y por último el número de resistencias necesarias.

Cabe recalcar que antes de poner en marcha todo el proceso se debe verificar el sentido de giro de ambos motores, los mismos que poseen una flecha en la carcasa. En caso de que el sentido de giro no sea el correcto, hay que cambiar o cruzar 2 fases de la alimentación.

El panel cuenta con una luz piloto que muestra si el equipo está energizado y 5 adicionales que indican cuál de las cargas está funcionando. También hay un botón de *reset* para cuando el sistema entra en alarma.



Figura 2.26 Exterior frontal del panel antiguo  
Fuente: (Autor, 2014)

Las alarmas se activan por cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando el nivel de aceite supera el límite superior y está próximo a mantener contacto con los filtros, todo el sistema se apaga y una baliza da el aviso.

- Cuando la presión de entrada al tanque de filtros supera  $3 \text{ kg/cm}^2$ , todo el sistema se apaga y una baliza da el aviso.

Cualquiera de estos dos casos restablece el funcionamiento de la purificadora con el botón *reset*.

## 2.6.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE SENSORES Y ACTUADORES

Cuando se realizó el mantenimiento del tanque principal se aprovechó también para verificar el funcionamiento de los interruptores de nivel. No se

encontró mayor problema con en el switch de límite superior ni con en el de alarma. Con el switch de nivel inferior no se logró verificar si la bomba de aceite se apagaba.

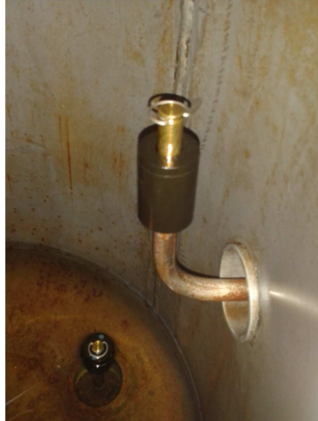


Figura 2.27 Switch de nivel  
Fuente: (Autor, 2014)

El termostato está funcionado correctamente de acuerdo a la temperatura ajustada con la perilla.

El switch de presión no funciona y no se ha logrado comprobar que el sistema entre en alarma en un determinado valor de  $\text{kg/cm}^2$ .

Todos los indicadores están funcionando sin ninguna novedad:

- Voltímetro
- Amperímetro
- Manómetros
- Termómetro

Con respecto a los actuadores se recomienda reemplazar las dos bombas, ya que su mal funcionamiento no permite que la purificadora trabaje al 100% de caudal. De igual manera se recomendó cambiar la electroválvula, pero como todo esto sale del límite de presupuesto por su elevado costo y trámites de importación, se deja como sugerencia importante adquirir nuevos equipos.



### **2.6.3 ESTUDIO DEL SISTEMA DE CONTROL ACTUAL (LÓGICA DE RELÉS)**

La lógica de control original de la purificadora es sencilla, puesto que para todo el proceso el operador debe ir encendiendo una a una las cargas de acuerdo a los requerimientos de regeneración que se demande.

Cada carga tiene un interruptor de dos posiciones en serie a la bobina de cada contactor, este a su vez cierra los contactos de potencia en las líneas trifásicas. Una luz piloto se encuentra en paralelo a la bobina.

Mientras la bomba de vacío no esté encendida, no se energiza la válvula solenoide y se impide la entrada de aceite al tanque principal.

Las resistencias eléctricas pueden dejar de funcionar por dos razones:

- El termostato superó una temperatura determinada
- El nivel de aceite está en el límite superior

Cuando el nivel de aceite es bajo, la bomba de aceite deja de funcionar.

En el plano anexo al levantamiento técnico se muestra con más detalle el circuito de control y potencia antiguos de la purificadora.

## **2.7 LEVANTAMIENTO TÉCNICO**

### **2.7.1 SISTEMA MECÁNICO**

Ver Anexo 3

### **2.7.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO**

Ver Anexo 4

### **2.7.3 SISTEMA DE CONTROL**

Ver Anexo 4

## CAPÍTULO 3

### SIMULACIÓN, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN

#### 3.1 SISTEMA MECÁNICO

##### 3.1.1 PROPUESTA PARA REEMPLAZO O REPARACIÓN DE VÁLVULAS Y TUBERÍA

La electroválvula correspondiente al desfogue de aire (LV), necesitó de mantenimiento correctivo puesto que no servía en lo absoluto.

Tal y como se identificó, en todo el proceso del sistema de purificación de aceite, la tubería no necesita de un mantenimiento correctivo emergente. Es recomendable entonces, realizar un flushing de la misma aproximadamente 6 meses después de transcurrido la finalización del proyecto de la automatización de la purificadora, debido a que no se puede saber con certeza cómo responderá el sistema con el nuevo funcionamiento. Hablando en términos de mantenimiento, se podrá utilizar vapor caliente a presión que se dispone en la central para limpiar secciones de tubería que se desee.

Como se dispone de un transmisor indicador de humedad (ppm de agua en aceite dieléctrico), se debe acoplar a la tubería dicho instrumento mediante una sección de acople para soldar, con rosca interna (hembra) NPT ½". Por recomendaciones del fabricante del transmisor, éste ser montado a la salida del proceso, dispuesto en forma horizontal.

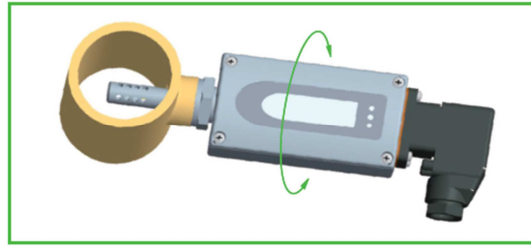


Figura 3.1 Conexión al proceso transmisor de humedad EE381  
Fuente: (E+E ELEKTRONIK, 2012)

De igual forma, se debe montar dos switch de nivel en el tanque principal. La conexión al proceso de estos 2 sensores son NPT ½”.

En lugar del anterior dispositivo de alarma para la presión, se debe acoplar a la tubería un transductor de presión de rosca macho de ½”. Como el tubo soldado a la tubería es de 3/8”, se aprovechará para agregar al nuevo instrumento, una válvula de corte del mismo diámetro para poder realizar trabajos posteriores de mantenimiento. Luego mediante una reducción de ½ a 3/8 se acoplará el sensor.

El procedimiento de montaje y la disposición de toda esta nueva instrumentación se detallarán en el capítulo 4.

Con respecto a todas las válvulas que posee el sistema, ninguna necesita ser reemplazada, simplemente es necesario considerar un cambio de empaques en las bridas al momento de manipular las mismas, puesto que cada vez que se desarma alguna válvula es mejor cambiar los orines para evitar fugas de aceite, así como realizar un reajuste de las bridas aledañas.

### **3.1.2 DIMENSIONAMIENTO Y RE-ADECUACIÓN DEL FILTRO DE TIERRAS FULLER**

Los gránulos de tierras fuller que contiene el filtro actualmente nunca se han reemplazado porque en Ecuador no existe ninguna empresa dedicada a la distribución de este tipo de arcilla. Lo único que se ha realizado es

limpiezas periódicas con jabón líquido neutro y secado en hornos especiales del laboratorio químico de la empresa.

Debido a los años que la purificadora se ha mantenido operando con dichas tierras, se propone el diseño del filtro con malla 30/60 acorde al tamaño de los gránulos de arcilla ultraclear que oferta PETROEQUIPOS S.A.

La readecuación de este filtro está basada en el espacio y la posición que se tiene dentro del tanque, considerando el acople del mismo a la tubería perforada. Las dimensiones no fueron alteradas con respecto al filtro actual.

El tamaño del tamiz cilíndrico debe ser 30/60. En el anexo 5 se incluyen los planos detallados del diseño de este filtro.

Se dejó a consideración de la empresa la construcción de este filtro porque PETROEQUIPOS S.A. puede importar mínimo 40 estivas de arcilla ultraclear de 50 Kg c/u.



Figura 3.2 Diseño del filtro de tierras fuller  
Fuente: (Autor, 2014)

### 3.1.3 CÁLCULOS PARA ANALIZAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Es necesario realizar varios cálculos mediante la ecuación general de la energía para sistemas en serie que incluyen una bomba. Tomando en cuenta las dos presiones principales del sistema, que son la del tanque principal de vacío y la de la entrada al tanque de filtros, se obtendrá aproximadamente la potencia que se transmite al fluido para compararla con la potencia puesta en la bomba y de esta forma analizar la eficiencia de la bomba de engranajes en esta parte del proceso, considerando como punto de referencia al nivel de aceite en el tanque principal.

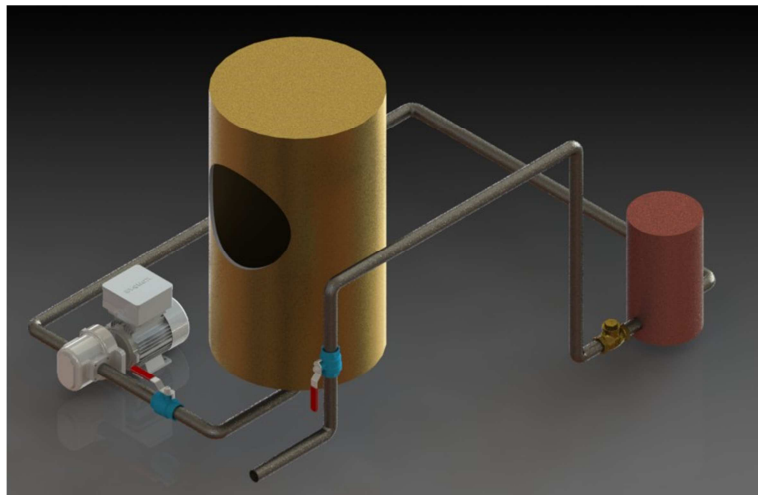


Figura 3.3 Sistema de bombeo de la purificadora

Fuente: (Autor, 2014)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

(ec 3.1)

Esta es la ecuación que rige el comportamiento del sistema, donde la velocidad en el punto 1 y 2 se anulan porque el fluido se encuentra en estado estacionario al nivel de los tanques que son tomados como referencia.

Despejado la energía añadida al fluido:

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

(ec 3.2)

$H_L$  son todas las pérdidas que se generan en todo el proceso y la mayoría de ellas está relacionada con la velocidad lineal del fluido.

$$Q = v \times A$$

(ec 3.3)

El área es la sección transversal de la tubería, considerando el radio nominal interno. El caudal en todo el trayecto siempre es el mismo.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 Q}{\pi d^2}$$

(ec 3.4)

Para los siguientes cálculos se considera el caudal medido durante el funcionamiento de la purificadora que es 1200 l/h. El caudal nominal de la máquina es 2000 l/h.

$$Q = 1200 \frac{l}{h} \times \frac{1000 cm^3}{1 l} \times \frac{1 h}{3600 s} = 333.33 \frac{cm^3}{s}$$

$$d = 1 \frac{1}{4} in = 3.175 cm$$

$$v = \frac{4 Q}{\pi d^2}$$

$$v = \frac{4 \times 333.33 \frac{cm^3}{s}}{\pi (3.175 cm)^2}$$

$$v = 42.1 \frac{cm}{s} = 0.421 \frac{m}{s}$$

Es necesario determinar si el flujo es laminar o turbulento, mediante el número de Reynolds, para conocer que ecuaciones y procedimiento seguir.

$$NR = \frac{v \times d}{\nu}$$

(ec 3.5)

Siendo  $\nu$ , la viscosidad cinemática aproximada del aceite dieléctrico a la temperatura de trabajo (50 °C):  $8 \text{ cSt} = 0,08 \text{ cm}^2/\text{s}$

$$NR = \frac{v \times d}{\nu}$$

$$NR = \frac{42.1 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times 3.175 \text{ cm}}{0.08 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}}$$

$$NR = 1670.8$$

Como  $NR < 2000$ , entonces el flujo es laminar.

De acuerdo a este caso, según Mott (1996) en los sistemas en serie se deben considerar las siguientes pérdidas:

- Pérdidas de salida de tanque
- Pérdidas por codos y T
- Pérdidas por fricción de la tubería
- Pérdidas por válvulas
- Pérdidas de entrada a tanque
  - Pérdidas a la salida del tanque principal (entrada a la tubería)

$$h_1 = K \times \frac{v^2}{2g}$$

(ec 3.6)

K es el coeficiente de resistencia a la entrada y depende de la forma en la que se encuentra dispuesta la tubería dentro del tanque, en este caso el valor de K es 1 porque se trata de un conducto de proyección hacia adentro. (Mott, 1996, pág. 280)

$$h_1 = 1 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_1 = 9.04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Pérdidas en codos y T

Para codos y válvulas el coeficiente de resistencia K está dado por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{L_e}{D} \times f_T$$

(ec 3.7)

Tanto el término  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$  dependen del tipo de elemento al cuál vaya acoplada la tubería, estos valores se encuentran en la tablas 10.4 y 10.5 (Mott, 1996, págs. 283,284)

Considerando todos los codos del sistema como estándar 90°, tenemos  $L_e/D=30$  y el diámetro de la tubería  $1 \frac{1}{4}$  in,  $f_T=0.022$

$$h_2 = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_2 = \frac{L_e}{D} \times f_T \times \frac{v^2}{2g}$$

Como tenemos 9 codos entonces:

$$h_{2a} = 9 \times 30 \times 0.022 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = \mathbf{0.054 \text{ m}}$$

En el tramo de la tubería se tiene dos T, una para bypass del tanque de vacío si flujo y otra para retorno de aceite y regulación de presión con flujo.

$$h_{2b} = 1 \times 20 \times 0.022 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = \mathbf{4 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$h_{2c} = 1 \times 60 \times 0.022 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = \mathbf{0.012 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h_2 = 0.07 \text{ m}}$$

- Pérdidas por fricción

La ecuación que rige las pérdidas por fricción es:



$$h_3 = f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (\text{ec 3.8})$$

Donde L es la longitud total de la tubería, d el diámetro nominal de la tubería, y el factor de fricción f se calcula de la siguiente manera cuando se trata de flujo laminar:

$$f = \frac{64}{NR} \quad (\text{ec 3.9})$$

$$f = \frac{64}{1670.8} = 0.038$$

$$h_3 = 0.038 \times \frac{6.5 \text{ m}}{0.03175 \text{ m}} \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\mathbf{h_3 = 0.07 \text{ m}}$$

- Pérdidas en válvulas

$$h_{4a} = \frac{L_e}{D} \times f_T \times \frac{v^2}{2g}$$

Al igual que los codos las válvulas, dependiendo el tipo y funcionalidad, posee distintos valores de  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$

Válvula de globo completamente abierta

$$h_{4a} = 2 \times 340 \times 0.022 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.14 \text{ m}$$

Válvula check

$$h_{4b} = 150 \times 0.022 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.03 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_4 = 0.17 \text{ m}}$$

- Pérdida a la entrada del tanque de filtros (salida de tubería)

$$h_5 = K \times \frac{v^2}{2g}$$

Cuando se trata de este tipo de pérdidas el autor recomienda que el valor de K sea siempre 1, sin importar el tipo de conexión de la tubería al tanque.

$$h_5 = 1 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_5 = 9.04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Pérdidas a la salida del tanque de filtros (entrada a la tubería)

De la misma forma que con la salida de tubería del tanque principal, tenemos para el tanque de filtros:

$$h_6 = 1 \times \frac{(0.421 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_6 = 9.04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ahora que se encontró todas las pérdidas, sumamos para obtener el total:

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_L = 0.34 \text{ m}$$

Con respecto a las dos presiones de referencia, se tomó mediciones del manómetro durante la operación de la máquina para P2 y para P1 se considera el vacío de operación en el tanque que son 4 Torr:

$$P_1 = 4 \text{ Torr} \times \frac{1 \text{ Pa}}{0.0075 \text{ Torr}} = -533.33 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_2 = 4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{(100 \text{ cm})^2}{1 \text{ m}^2} = 392400 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

La diferencia de alturas es un aproximado, puesto que no se puede medir el nivel de aceite en el tanque con el punto de referencia 2. Como se trata de un valor pequeño no influye mucho en los cálculos.

Basados en un valor aproximado de la densidad del aceite dieléctrico a 50 °C, se calcula el peso específico del mismo:

$$\delta = 0.86 \frac{g}{cm^3} \times \frac{1 kg}{1000 g} \left( \frac{100 cm}{1 m} \right)^3 = 860 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma = \delta \times g = 860 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 8436.6 \frac{N}{m^3}$$

Ahora, tenemos todos los valores para calcular la energía que añade la bomba de engranajes al fluido, en otras palabras, la carga total sobre la bomba o como algunos fabricantes la denominan, La carga dinámica total (TDH):

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

$$h_A = \frac{392400 \frac{N}{m^2} - (-533.33 \frac{N}{m^2})}{8436.6 \frac{N}{m^3}} + (0.4 m) + 0.34 m$$

$$\mathbf{h_A = 47.3 m}$$

Para calcular la potencia transmitida al fluido considerando un caudal de 1200 l/h, se tiene la siguiente ecuación:

$$Pot = h_A \times \gamma \times Q$$

(ec 3.10)

$$Pot = 47.3 m \times 8436.6 \frac{N}{m^3} \times 3.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$\mathbf{Pot = 133 W}$$

Para analizar la posibilidad del reemplazo de la bomba, se considera aproximadamente un rendimiento típico de una bomba de engranajes que oscila entre 70 y 90 %.

Tomamos un valor de 0.8 ya que el rendimiento de cada bomba depende de las características de la misma, así como del proceso. En general no

importa encontrar un valor exacto, sino observar la diferencia entre la potencia calculada y la que posee la bomba en su placa a fin de argumentar un cambio necesario.

$$EM = \frac{P_A}{P_1} = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}}$$

(ec 3.11)

$$P_1 = \frac{P_A}{EM}$$

$$P_1 = \frac{133 \text{ W}}{0.8}$$

$$P_1 = \frac{133 \text{ W}}{0.8}$$

$$P_1 = 166 \text{ W}$$

La potencia que la bomba posee en su placa es la siguiente:

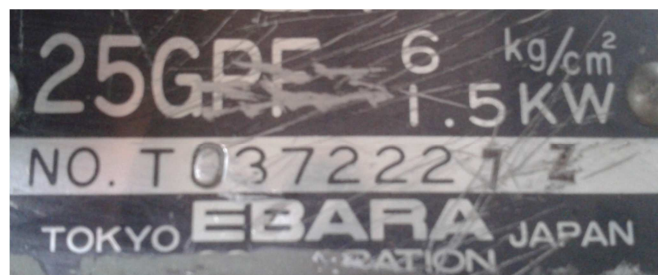


Figura 3.4 Placa de la bomba

Fuente: (Autor, 2014)

Tomando en cuenta que en el análisis anterior se estimó 0.8 para la eficiencia en un 40% del trayecto del fluido a través de la bomba, se hace referencia a 480 W en lugar de los 1.5 kW que muestra la placa.

Placa de la bomba  $P_1 = 480 \text{ W}$

Calculada  $P_1 = 166 \text{ W}$

Como se puede observar, la potencia calculada está muy por debajo de la potencia que debería entrar en la bomba.

### **3.1.4 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO**

Como se había mencionado el caudal de operación normal de la bomba es 2000 l/h y de acuerdo a las mediciones que se han realizado, en el mejor de los casos se ha logrado un caudal máximo de 1200 l/h. Este valor, más que el comparado en los cálculos de potencia, nos da un indicio de que es imprescindible un reemplazo de la misma para optimizar el sistema de bombeo.

El problema, que a simple inspección visual en un mantenimiento típico de la bomba no se puede observar, surge en el desgaste de los dientes de los engranajes por el tiempo y las condiciones de uso. Al no existir una tolerancia de contacto óptima entre los dientes, gran parte del fluido que ingresa por la cámara de succión no pasa a la cámara de descarga y se regresa, obstruyendo el paso regular a la velocidad nominal del aceite. En otras palabras, no se logra el sello necesario, que se forma por el contacto de la capa límite del aceite y los dientes, para que todo el fluido se transmita a la cámara de descarga y no regrese a la cámara de succión.

El inconveniente con el desgaste de los dientes, en realidad es algo que se debe esperar en este tipo de procesos, ya que la bomba recircula aceite dieléctrico que muchas veces tiene condiciones deplorables. En el fluido se puede encontrar un porcentaje alto de humedad, ácidos, lodos y en el peor de los casos sólidos en suspensión que a la larga y con el tiempo de uso que son alrededor de 30 años, ha generado un desgaste en los engranajes.

### **3.1.5 DISEÑO DE BY-PASS PARA ACOPLE CON SISTEMA A TRATAR**

Existen sistemas en los que no se puede acoplar directamente la purificadora para tratar el aceite dieléctrico que estos contengan, un ejemplo son los disyuntores de potencia.

Para esto es necesario utilizar un sistema de by-pass, que permita extraer primero el aceite del contenedor a un tanque y después conectarlo directamente a la purificadora y así regenerar el aceite mediante recirculación.

#### **3.1.5.1 Dimensionamiento y selección del tanque**

Se tomó en cuenta los siguientes puntos, a fin de que el tanque cumpla los requerimientos necesarios para depositar y recircular el aceite dieléctrico de cualquier sistema al que se lo conecte a través del by-pass.

- Capacidad del tanque para poder depositar y recircular el aceite de las cámaras de extinción de 6 disyuntores de potencia. Aproximadamente 800 litros.

- Cierre hermético para poder realizar el vacío en todo el proceso a través del by-pass.

- Facilidad de conexión y acople de mangueras para el depósito del aceite en el tanque.

- Facilidad de movilidad y transporte del mismo.

- Tanque ligero y con buena resistencia.

- Antioxidante, apto para características del proceso y del fluido (50 °C).

Lo primero que se consideró para dimensionar este tanque es el material, puesto que como debe ser trasladado de un lado a otro no es

conveniente fabricar o adquirir un tanque de acero inoxidable debido al peso. Entonces, se optó por buscar fabricantes de tanques de PVC o polietileno.

Dentro de la gama de tanques que ofrece PLASTIGAMA, la mayoría son para almacenamiento de agua potable (consumo humano) y no se asegura el correcto funcionamiento a la temperatura deseada en el proceso, ni el cierre para evitar fugas de aire.

ROTOPLAS ofrece una variedad de tanques que sirven para almacenar biol o que sirven como tanques elevados para agua, los mismos que cuentan con el cierre hermético que se necesita ya que la tapa es roscable. Además posee dos agujeros, uno en la parte superior de  $\frac{3}{4}$ " y otro en la parte inferior de 2" que pueden servir para el acople de las mangueras.

El recubrimiento interno de esta variedad posee tres capas y estabilizadores UV que impiden la proliferación de moho, evitan la oxidación y le dan mayor durabilidad y resistencia.

La capacidad nominal de este tanque que se ajusta al proceso es de 1100 litros.



Figura 3.5 Tanque seleccionado para by-pass  
Fuente: (ROTOPLAS, 2013)

### 3.1.5.2 Adecuación del tanque para el sistema BY-PASS

Como se mencionó anteriormente, se dispone de dos agujeros para el acople a la purificadora o al sistema del cual se vaya a extraer el aceite dieléctrico.

Se configuró la posición y el acople de las válvulas, para que este sistema de recirculación funcione sea cual sea la disposición de entrada o salida de este tanque de by-pass.

A continuación se describe un bosquejo del sistema:

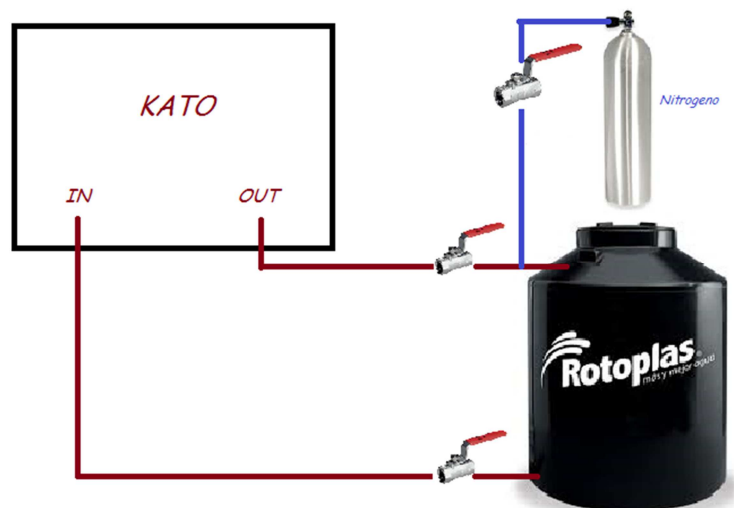


Figura 3.6 Bosquejo del sistema BY-PASS  
Fuente: (Autor, 2014)

Este sistema servirá para extraer primeramente el aceite de cualquier recipiente y luego para recircular a través de la purificadora. La bombona de nitrógeno sirve para mantener las condiciones de forma del tanque de plástico, puesto que como se encuentra afectado por el vacío y la succión de aceite de las bombas de la purificadora, este tiende a contraerse (“chuparse”).

Como el nitrógeno es un gas seco no afecta en lo absoluto la regeneración del aceite, cosa que no ocurre si el tanque de plástico tuviera



una entrada de aire natural que evite su deformación, en ese caso la purificadora no podría eliminar el exceso de humedad del aceite.

Es importante mantener un control de la salida del nitrógeno de la bombona hacia el tanque de plástico, para eso es necesario adecuar una válvula y un manómetro.

Toda la adecuación debe ayudar a mantener la hermeticidad que se requiere, por eso es indispensable montar correctamente la tubería, válvulas, T, codos, etc.

A continuación se describe el orden y la forma en la que deben colorarse los acoples para asegurar que el by-pass cumpla su función.

Agujero de  $\frac{3}{4}$ " superior (tanque de plástico)

1) Unión de  $\frac{3}{4}$ " rosca hembra para ajuste interno de neplo

2) Neplo de  $\frac{3}{4}$ " rosca macho, largo 2"

3) Unión de  $\frac{3}{4}$ " rosca hembra para ajuste externo de Neplo

4) T de  $\frac{3}{4}$ " para acople a manguera de nitrógeno (Rosca hembra)

5) Reducción de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{4}$ " (acople manguera nitrógeno de  $\frac{1}{4}$ ", ajuste con abrazadera)

6) Acople para manguera de  $\frac{1}{4}$ "

7) Válvula de bola de  $\frac{1}{4}$ " (salida de nitrógeno)

8) Acople de  $\frac{3}{4}$ " para válvula

9) Válvula de bola de  $\frac{3}{4}$ " (Entrada de aceite a tanque de plástico)

10) Acople de  $\frac{3}{4}$ " conexión rápida

Agujero de 2" inferior (tanque de plástico)

11) Unión de 2" rosca hembra para ajuste interno de Neplo

12) Neplo de 2" rosca macho

- 13) Unión de 2" rosca hembra para ajuste externo de Neplo
- 14) Reducción de 2" a  $\frac{3}{4}$ "
- 15) Válvula de bola de  $\frac{3}{4}$ " (Salida de aceite de tanque de plástico)
- 16) Acople de  $\frac{3}{4}$ " conexión rápida

El detalle de esta configuración se encuentra en el Anexo 6

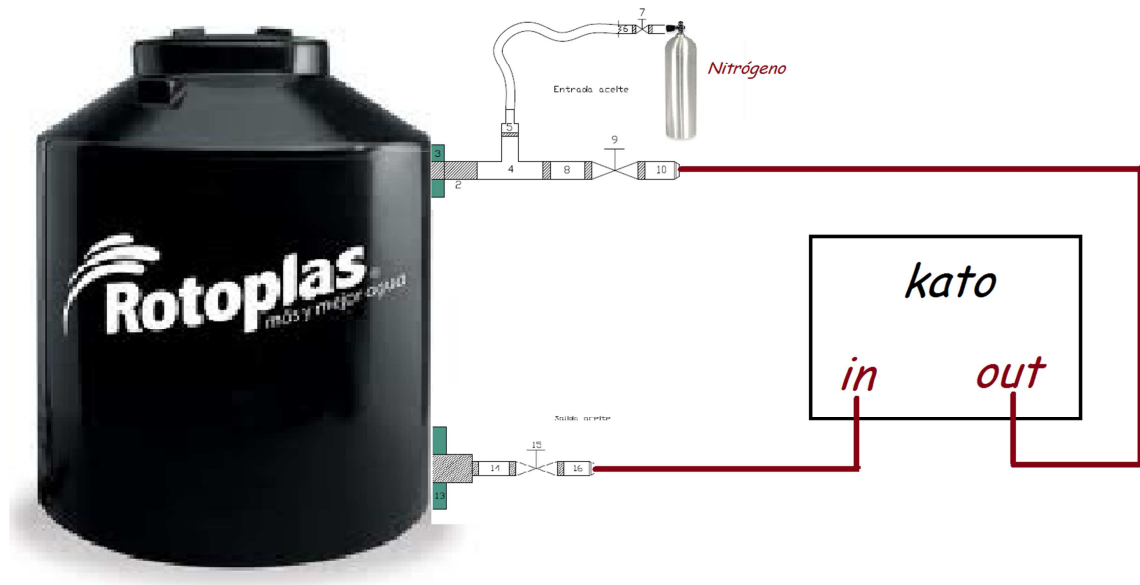


Figura 3.7 Configuración By-pass  
Fuente: (Autor, 2014)

### 3.1.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

#### 3.1.6.1 Cálculos de Ingeniería

Para el desarrollo de cálculos se aplican los conceptos básicos de esfuerzos a los elementos y puntos críticos que soportan el peso de la puerta cuando está totalmente abierta.

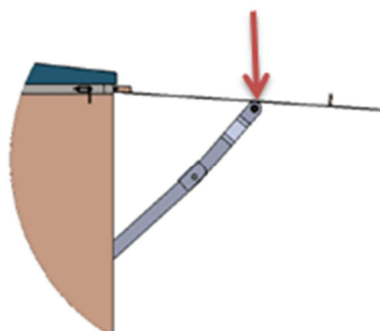


Figura 3.8 Carga aplicada al sistema de apertura de la puerta  
Fuente: (Autor, 2014)

Los elementos que se ven directamente afectados son los pernos, ya que están sometidos a un esfuerzo cortante, para ello comprobaremos que el diámetro de los mismos sea el adecuado para soportar la carga que produce el peso de la puerta.

Se considera un peso de la puerta de aproximadamente 100 kg, es decir 980 N debido al efecto de la gravedad.

El perno superior es el elemento que soporta la mayoría de la carga. El perno intermedio no se ve muy afectado ya que la junta soldada mantiene la posición para el límite de apertura de la puerta.

A continuación se describe una figura que muestra el esfuerzo cortante simple al que está sometido el perno.

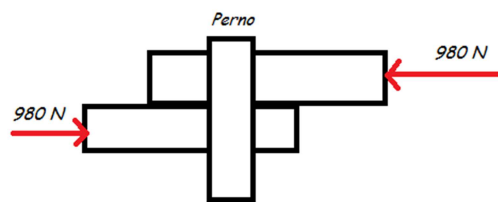


Figura 3.9 Esfuerzo cortante simple  
Fuente: (Autor, 2014)

$$\tau = \frac{V}{A}$$

(Ec 3.12)

$$\tau = \frac{V}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

De donde el esfuerzo cortante máximo promedio de un perno es 140 MPa.

$$140 \text{ MPa} = \frac{980 \text{ N}}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Despejando el diámetro mínimo necesario para soportar dicha carga.

$$d = 3 \text{ mm}$$

Como el peso de la puerta no ejerce un esfuerzo cortante crítico, el diámetro de 12 mm que se consideró para rehabilitar las juntas de los eslabones no se ve afectado y su propósito es permitir el movimiento de las juntas para levantar la puerta y mantenerla abierta.

A fin de verificar mediante simulación, se calcula el esfuerzo de aplastamiento máximo de la placa en el punto crítico que es el agujero para el perno.

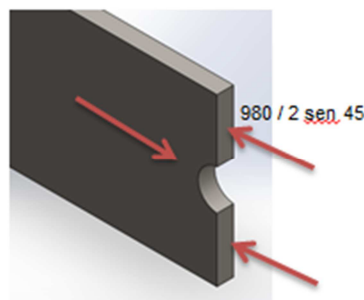


Figura 3.10 Esfuerzo normal en la placa  
Fuente: (Autor, 2014)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

(Ec 3.13)

$$\sigma = \frac{980 \text{ sen } 45}{12 \times 5}$$

$$\sigma = 12 \text{ MPa}$$

### 3.1.6.2 Simulación de elementos finitos

Con ayuda del simulation express de solid works, se sometió al sistema de apertura a las mismas condiciones de carga cuando la puerta está totalmente abierta, los resultados fueron los siguientes:

Se utilizó como material el acero ASTM A36

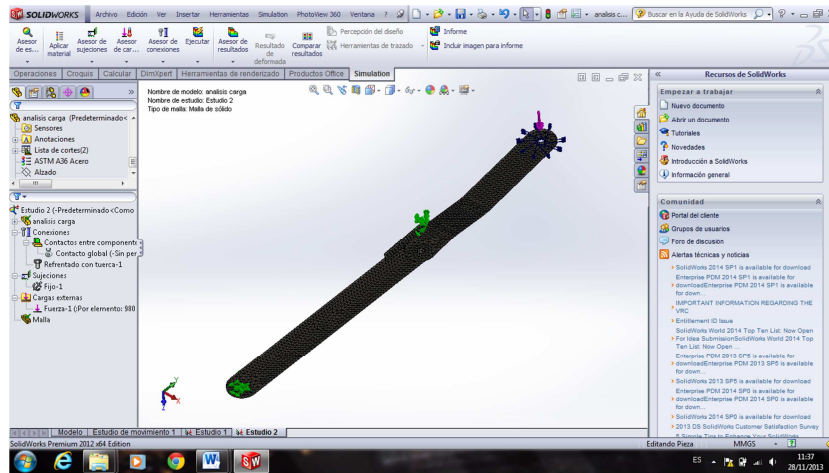


Figura 3.11 Mallado FEM en Solid Works  
Fuente: (Autor, 2014)

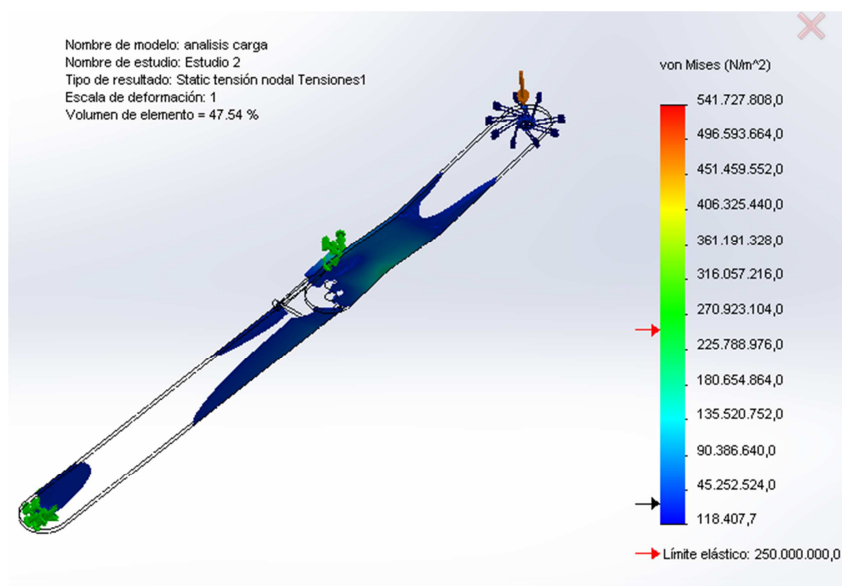


Figura 3.12 Resultado simulación FEM Solid Works  
Fuente: (Autor, 2014)

Con esto se puede observar que el esfuerzo máximo es de 27198878 MPa, y tomando en cuenta que el máximo esfuerzo permisible es de:

$$\sigma_{adm} = 0.66 * [\sigma] \pm 10\%$$

$$\sigma_{adm} = 0.66 * [250000000] \pm 10\%$$

$$\sigma_{adm} = 165000000 \pm 10\%$$

$$\sigma_{adm_{maximo}} = 181500000Pa$$

$$\sigma_{maximo} < \sigma_{adm_{maximo}}$$

$$27198878 < 181500000Pa$$

El mecanismo de apertura cumple con los requerimientos.

Adicionalmente se menciona que el valor del esfuerzo de aplastamiento máximo en la placa de 12 MPa, está muy por debajo del límite elástico de este material.

### **3.1.6.3 Selección de materiales**

Las juntas o eslabones, como se los hace referencia en los planos, fueron rehabilitados, se realizó trabajos de latonería, enderezado y pintura de los elementos que se encontraban en mal estado a fin de que el mecanismo de apertura funcione adecuadamente.

Se seleccionaron pernos M12 de 18 mm de longitud con sus respectivas arandelas y tuercas para las juntas y bisagras de la puerta.

Se seleccionó acoples de ½" de acero para soldar mediante SMAW 6011 Y MIG MAG las conexiones a la tubería y tanques para acople de la instrumentación.

La purificadora siempre necesita ser trasladada de un lugar a otro para regenerar aceite de los transformadores de todas las centrales que pertenecen a Termopichincha y esto resulta un problema porque muchas veces se maltrata a la misma en el proceso de colocarla en un camión con ayuda de un montacargas, perjudicando muchas veces la estructura con golpes que se podrían evitar.

Por esta razón se seleccionó las características primordiales de un remolque para facilitar el transporte del sistema de purificación y se deja en constancia un informe que incluyen tres cotizaciones para que la empresa analice el presupuesto y se pueda proceder a la compra.

Las características del remolque son las siguientes:

- Capacidad: 1.5 – 2 Toneladas
- Dimensiones: 1.5 x 2.5 metros
- Doble eje con 2 pares de llantas RIN 14 o 15
- Suspensión con balancín y paquetes o resortes
- Sistema de luces (direccionales, medias, freno, retro)
- Acople para barra de tiro
- Sistema de frenos dependiente

Una idea del tipo de remolque que servirá para transportar la purificadora fue enviada en una fotografía por una de las empresas constructoras.



Figura 3.13 Propuesta del remolque  
Fuente: (Trailer Muentes CIA. LTDA., 2013)

Queda a criterio de la empresa la adquisición de este remolque. En el anexo 7 se muestran planos detallados de la estructura que sirvieron para la rehabilitación de las puertas y para el caso de requerir el remolque se adjunta también 3 cotizaciones.

## **3.2 SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO**

### **3.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE ALIMENTACIONES ELÉCTRICAS**

En la empresa se cuenta con voltajes de 220 y 440 VAC. Con cualquiera de estos 2 valores conectados a la toma principal de la purificadora se tiene para el circuito de potencia 440 VAC y para el control 200 VAC, que son obtenidos de un transformador propio del sistema.

Como la mayoría de veces que se alimenta la purificadora para su funcionamiento se utiliza 220 VAC se dejó habilitado la toma principal y un cable con conectores nuevos. Quedando de esta forma las conexiones a las respectivas borneras ubicadas en el tablero de control.

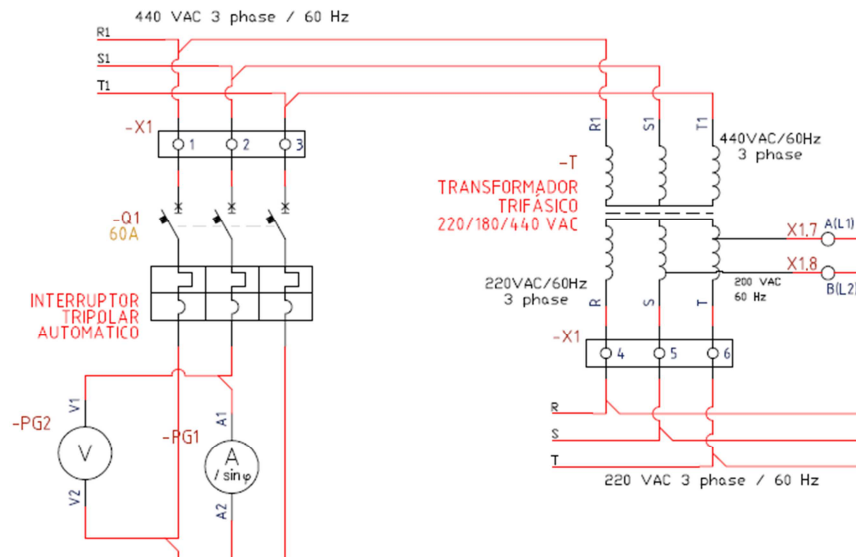


Figura 3.14 Estructuración de alimentación y distribución principal  
Fuente: (Autor, 2014)

Existen dos Taps del transformador que dan 180-200 VAC y sirven para todo el circuito de control. Se utilizó el mismo interruptor tripolar automático del antiguo tablero ya que se encontraba en perfecto estado.

Este interruptor sirve como protección magneto-térmica para toda la distribución y su valor de corriente de disparo está calculado en base a lo siguiente:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times fp$$

(Ec 3.14)

De donde:

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V \times fp}$$

(Ec 3.15)



Entonces los valores de corriente que consume cada carga son los siguientes:

Bomba de vacío

$$I = \frac{2200 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.9}$$

$$I = 3.21 \text{ A}$$

Bomba de aceite

$$I = 1.1 \text{ A}$$

Resistencias x 3

$$I = 14.6 \text{ A}$$

Corriente consumida por las cargas

$$I = 48.11 \text{ A}$$

Asumiendo que los tres calentadores están funcionando al mismo tiempo que las dos bombas, más la corriente que utiliza todo el circuito de control, se tiene una corriente de operación nominal de:

$$I = 50 \text{ A}$$

El interruptor fue seleccionado considerando el 15% de esta corriente para permitir el arranque principalmente de los motores de las 2 bombas.

La corriente de disparo de este interruptor marca FUJI es 60 A.

Para facilitar la manipulación del operador este breaker automático se encuentra empotrado en una caja moldeable, el código técnico es: EA63 de 60 A.

Además se dispuso de 1 voltímetro y un amperímetro para que el operador pueda verificar los valores de voltaje de alimentación y consumo de corriente para las cargas.

### 3.2.2 ADECUACIÓN ELÉCTRICA PARA LA FUENTE DE VOLTAJE

No se diseñó ni construyó una fuente de voltaje propia, a fin de asegurar que el PLC y los instrumentos alimentados por esta fuente se mantengan protegidos de la mejor manera. Lo que se hizo, es dimensionar el valor de la corriente que consume todo el sistema de instrumentación y control para seleccionar una fuente de voltaje de 24VDC adecuada.

La siguiente tabla muestra aproximadamente los valores de corriente que consumen todos estos equipos:

Tabla 3.1 Consumo de corrientes para la fuente de voltaje 24 VDC

<b>Consumo de corriente Fuente de Voltaje 24 DC</b>		
<b>Componente</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Corriente (mA)</b>
<b>Base modular PLC Twido</b>	19	791,67
<b>Módulo salidas relé</b>	4	166,67
<b>Módulo E/S Analógicas</b>	4	166,67
<b>SALIDAS DIGITALES</b>		
<b>Luz piloto verde</b>		18,00
<b>Luz piloto roja</b>		18,00
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>		
<b>I0.0 Interruptor de 2 posiciones</b>		5,00
<b>I0.1 Pulsador verde</b>		5,00
<b>I0.2 Pulsador rojo</b>		7,00
<b>I0.3 Paro emergencia</b>		7,00
<b>I0.4 Switch nivel bajo</b>		22,00
<b>I0.5 Switch nivel LSA</b>		22,00
<b>I0.7 Pulsador Reset</b>		5,00
<b>I0.8 LS1 (Switch nivel alto)</b>		7,00
<b>I0.10 LS3 (Switch nivel alarma)</b>		7,00
<b>I0.11 FLS (Flow level switch)</b>		7,00
<b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>		
<b>Transductor de presión</b>	0.8	34,00
<b>Transmisor de humedad y temp</b>		440,00
<b>Transmisor de temperatura (RTD)</b>		3,50
<b>SALIDAS ANALOGICAS</b>		
<b>Relé estado sólido</b>	2	84,00
<b>DISPLAY (HMI)</b>	1	200,00
	<b>TOTAL (mA)</b>	<b>2016,50</b>
	<b>A</b>	<b>2,02</b>

Fuente: (Autor, 2014)

De esta manera la fuente de voltaje de 24 VDC seleccionada fue de 3A marca weidmuller con código técnico CP M SNT 70W 24V 3A



Figura 3.15 Fuente de voltaje 24 DVC / 3A  
Fuente: (WEIDMULLER, 2013)

La adecuación eléctrica para la fuente se muestra a continuación, se consideró un breaker magneto-térmico de 3A marca merlin gerlin C60N 1P 1D 3A CURVA C.

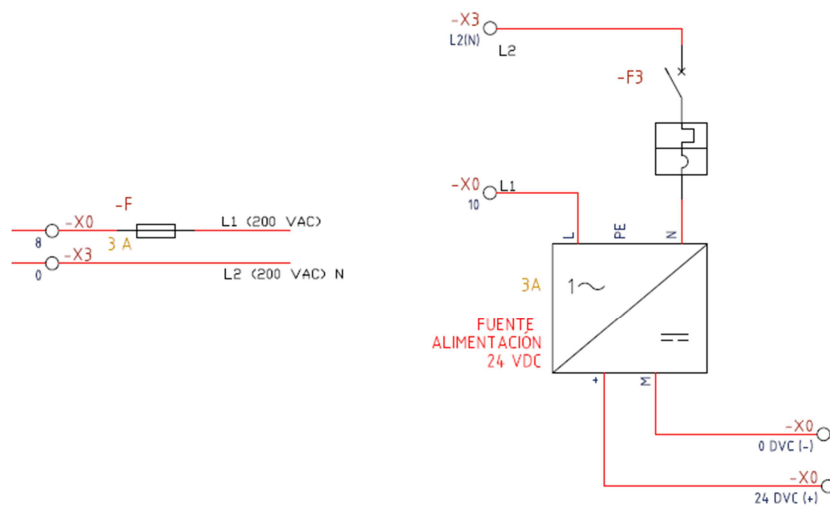


Figura 3.16 Adecuación Fuente de voltaje 24 DVC / 3A  
Fuente: (Autor, 2014)

### 3.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR PARA LA BOMBA DE ENGRANAJES

En el posible caso de que la bomba de engranajes que se pretende cambiar no incluya el motor eléctrico, se dimensiona de acuerdo a dos catálogos un nuevo motor basado en las características del anterior.

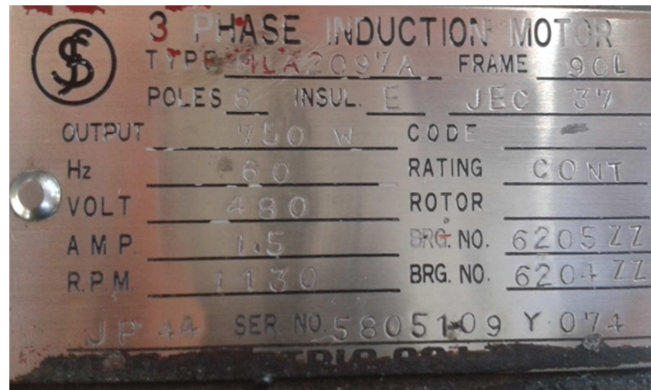


Figura 3.17 Placa del motor eléctrico de la bomba de aceite  
Fuente: (Autor, 2014)

Se puede considerar rebobinar el motor en lugar de adquirir uno nuevo, esto al igual que la compra de la bomba se deja a criterio de la empresa.

La página web de SIEMENS, cuenta con un sistema automático para la selección de motores. Los datos ingresados fueron:

- Clase de eficiencia: estándar IE1
- Potencia mínima para frecuencia 60 Hz: 0.86kW
- Revoluciones: 1200 rpm
- Voltaje: 460

El tipo de motor que arrojo el sistema fue: 1LA7090-6AA1

Type of motor : 1LA7090-6AA1.

Basic Data | Options 1 | Options 2 | conditions

The configuration is incomplete. Please select all blue items. 65.4

Since 2011-06-16, according to EU regulation 640/2009, a minimum efficiency rating of IE2 is mandatory for all motors in the EU with a rated output between 0.75 and 375 kW On 2013-10-01, changes to the exemptions for site altitude and temperature range will be implemented.

**ATTENTION: 1LA7 motors from frame size 100 to 160 are up to the exceptions: Ship, PM and Ex proof executions no longer available for order / deliverable**

performance data	basic parameters
Efficiency class: Standard Efficiency (IE1)	Frame size: 090 S
Rated output 50Hz: 0,75 kW	Frame Material: Aluminum
Rated output 60Hz: 0,86 kW	Type of construction: choose value...
Rated output 60Hz (hp): no value	Terminal box position: Top (standard)
Synchronous speed 50Hz: 1000 min-1	Motor protection: Without (standard)
Synchronous speed 60Hz: 1200 min-1	efficiency according to: 60034-2-1:2007 (IE)
Pole number: 6-pole	
Voltage selection: (1) 230 VDI400 VY, 50 Hz, 480 VY, 60 Hz	
Frequency 50Hz: Yes	
Frequency 60Hz: Yes	
Duty type: S1 (Standard)	

Documents | Reset configuration | Add to Cart | Cancel

Figura 3.18 Selección automática de motor página web siemens  
Fuente: (SIEMENS, 2013)

Se trata de un motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla de 6 polos.

De igual manera se identificó un motor con las mismas características en la marca ABB

-Clase de eficiencia: IE2

-Potencia: 0.75 kW

-Revoluciones: 1155 rpm

-Frecuencia: 60 Hz

-Voltaje: 440

El tipo de motor es: M2BA 90 SLC 6, más características adjuntas en el anexo 8.

### **3.2.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA EL TABLERO DE CONTROL**

#### **3.2.4.1 Selección de Contactores**

En primera instancia se detalla la selección de los contactores para la activación de las cargas, de acuerdo con la potencia de cada una de ellas y las características del sistema trifásico de alimentación.

Voltaje: 440 VAC trifásico

Frecuencia: 60 Hz

Numero de polos: 3

Motor bomba de vacío: 2.2 kW, 3.21 A

Motor bomba de aceite: 0.75 kW

El tipo de contactor que sirve para estas dos cargas, es el que fue seleccionado con el valor de la potencia del motor de la bomba de vacío.

Generalmente los parámetros más importantes para la selección de un contactor son los que anteriormente se describieron añadiendo el tipo de

carga (resistiva o motor), el tipo de bobina (estándar) y el número de contactos auxiliares que se requieren, en el caso de este proyecto no se requieren contactos auxiliares porque todo el control se lo realizó con el PLC.

Teniendo así:

Ficha de producto  
Características

LC1D09M7  
contactor TeSys LC1D - 3 P - AC-3 440V 9 A -  
220 V AC



Principal

Rango de producto	TeSys d
Tipo de producto o componente	Conector
Modelo de dispositivo	LC1D
Aplicación de contactor	Carga resistiva Control del motor
Categoría de empleo	AC-1 AC-3
Tipo de circuito de control	CA
Tipo de bobina	Estándar
Número de polos	3P
Comp. contacto polo	3 NO
Tensión de circuito de control	220 V CA 50/60 Hz

Complementario

Tecnología de bobina	Sin supresor de diodo de limitación de pico bidireccional incorporado
Cubierta protectora	Con
Intensidad asignada de empleo (Ie)	9 A ≤ 60 °C AC AC-3 circuito de alimentación 25 A ≤ 60 °C AC AC-1 circuito de alimentación
Potencia del motor en kW	2,2 kW 220...240 V AC 50/60 Hz 4 kW 380...400 V AC 50/60 Hz

Figura 3.19 Contactor para los dos motores eléctricos  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Vale la pena resaltar que la corriente nominal de operación (Ie) se ve relacionada con la potencia de la carga, en el caso de este contactor la corriente nominal de operación máxima que tolera son 9 A. El valor de la corriente de arranque no se vincula a Ie.

De igual manera se seleccionó dos contactores para el control ON OFF de los calentadores de 10 kW.

Ficha de producto  
Características

LC1D25M7  
contactor TeSys LC1D - 3 P - AC-3 440 V 25 A  
- 220 V CA



Principal

Rango de producto	TeSys d
Tipo de producto o componente	Conector
Modelo de dispositivo	LC1D
Aplicación de contactor	Carga resistiva Control del motor
Categoría de empleo	AC-1 AC-3
Tipo de circuito de control	CA
Tipo de bobina	Estándar
Número de polos	3P
Comp. contacto polo	3 NO
Tensión de circuito de control	220 V CA 50/60 Hz

Complementario

Tecnología de bobina	Sin supresor de diodo de limitación de pico bidireccional incorporado
Cubierta protectora	Con
Intensidad asignada de empleo (Ie)	25 A $\pm$ 60 °C AC AC-3 circuito de alimentación 40 A $\pm$ 60 °C AC AC-1 circuito de alimentación
Potencia del motor en kW	5,5 kW 220...240 V AC 50/60 Hz 11 kW 380...400 V AC 50/60 Hz

Figura 3.20 Contactor para los dos calentadores  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Para el control PID, se requiere de un dispositivo que controle la salida de voltaje. Para ello se debe dimensionar este elemento con las características de circuito de control y el de potencia:

Tensión de mando nominal: 0-24 VDC

Tensión nominal de conexión: 0-440 VAC

Potencia al voltaje nominal de la carga: 10 kW

Este componente es conocido como relé de estado sólido y permite aislar el circuito de mando del circuito de fuerza, de esta manera se aprovecha la salida análoga del PLC para controlar la carga que esté conectada en el lado de potencia. El relé seleccionado es de la marca Weidmuller y su código es: PSSR 24VDC/3PH AC 20 A.



Figura 3.21 Relé de estado sólido  
Fuente: (WEIDMULLER, 2013)

### 3.2.4.1 Selección de Protecciones

Como la conexión de los dos motores y los 3 calentadores es directa, el dimensionamiento de los relés térmicos, disyuntores magnetotérmicos y guardamotores debe realizarse de la misma forma que los contactores, es decir con la potencia o corriente nominal de operación.

Angulo (1980, pág. 10) en el capítulo sobre protecciones de su publicación distingue tres formas de combinación:

- Fusible → Contactor → Relé Térmico
- Disyuntor → Contactor → Relé Térmico
- Disyuntor → Contactor

En realidad no se utiliza fusible porque la misma protección y aún mejor la garantiza un guardamotor, que es la tercera configuración que se usó para los dos motores.

El fusible fue dimensionado para la línea que alimenta todo el control a 200 VAC. El tamaño del fusible debe oscilar entre 1.5 y 3 Veces la corriente nominal de operación, que en caso de todo el sistema de control no debería sobrepasar los 3 A.

Es así como se seleccionó un fusible de 3 A clase gL.



“El disyuntor debe estar equipado con unidades de disparo térmico y magnético instantánea normalmente ajustables. Este tipo de disyuntor es conocido como guardamotor” (Angulo, 1980, pág. 10)

Basado en la potencia y corriente nominal de los motores se dimensionó 2 guardamotores de corriente de disparo ajustable.

Product data sheet  
Characteristics

GV2ME07

TeSys GV2-Circuit breaker-thermal-magnetic -  
1.6...2.5 A - screw clamp terminals



Main

Range of product	TeSys GV2
Device short name	GV2ME
Product or component type	Circuit breaker
Circuit breaker application	Motor protection
Poles description	3P
Network type	AC
Utilisation category	Category A conforming to IEC 60947-2 AC-3 conforming to IEC 60947-4-1
Network frequency	50/60 Hz conforming to IEC 60947-4-1

Motor power kW	1.5 kW at 690 V AC 50/60 Hz 1.1 kW at 500 V AC 50/60 Hz 0.75 kW at 400/415 V AC 50/60 Hz
----------------	--

Figura 3.22 Guardamotor Bomba de aceite  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Product data sheet  
Characteristics

GV2ME10

TeSys GV2 - Circuit breaker - thermal-  
magnetic - 4...6.3 A - screw clamp terminals



Main

Range of product	TeSys GV2
Device short name	GV2ME
Product or component type	Circuit breaker
Circuit breaker application	Motor protection
Poles description	3P
Network type	AC
Utilisation category	AC-3 conforming to IEC 60947-4-1 Category A conforming to IEC 60947-2
Network frequency	50/60 Hz conforming to IEC 60947-4-1

Motor power kW	2.2 kW at 400/415 V AC 50/60 Hz 3 kW at 500 V AC 50/60 Hz 4 kW at 690 V AC 50/60 Hz
----------------	---

Figura 3.23 Guardamotor Bomba de vacío  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Para la protección del calentador correspondiente al control PID que se activa con el relé de estado sólido, se dimensionó un disyuntor magnetotérmico con la misma configuración anterior. Por la potencia y la corriente nominal de operación de esta resistencia, este disyuntor es más robusto e igualmente se puede ajustar el valor para el disparo.

### Ficha de producto Características

LV429636  
NSX100F TM25D 3P3R; interruptor automatico Compact




#### Principal

Interruptor automático	Compact NSX100F
Aplicación	Distribución
Número de polos	3P
Descripción polos protegidos	3t
Tipo de red	AC
Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Corriente nominal	100 A 40 °C
Tensión asignada de aislamiento	800 V AC 50/60 Hz
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	8 kV
Tensión asignada de empleo	690 V AC 50/60 Hz
Tipo de poder de corte	F

Figura 3.24 Disyuntor calentador E  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Para los dos calentadores restantes se seleccionó relés térmicos. Se trata del Relé para sobrecarga LRD226 de Telemecanique, totalmente ajustable y con fácil conexión al contactor.

**Item # LRD226, TeSys D IEC Overload Relays, Amb. Comp. Bimetallic Class 10 w Single Phase Sensitivity**



TeSys D IEC Overload Relays, Amb. Comp. Bimetallic Class 10 w Single Phase Sensitivity

TeSys D IEC Bi-Metallic Overload Relay 600V 24A

**SPECIFICATIONS**

Ambient Compensated Bimetallic	Yes
Solid State	No
Class 10	Yes
Class 20	No
Single Phase Sensitivity	Yes
For Use With Contactors	LC1D25 thru LC1D32
Current Setting Range	16A to 24A

Figura 3.25 Disyuntor calentador C y D  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Con respecto al sistema de control se incluyó breakers magnetotérmicos para proteger los elementos principales:

- PLC: Breaker de 2 polos 2A (C60N C 2P 2A)
- Fuente DC: Breaker de un polo 3 A (C60N 1P 1D 3A)
- Módulo análogo del PLC: Breaker de 1 polo 1A (C60N C 1P 1A)

*interruptores  
automáticos  
termomagnéticos*

**C60N**  
IEC 898: 6000 A / IEC 947-2: 10kA  
curvas B, C y D



referencias	tipo	In (A)	referencia curva	ancho en pasos de 9 mm	funciones principales aplicaciones		
	1P  1 polo protegido	0,5	-	24067	-	2	<b>funciones principales aplicaciones</b> Mando y protección contra las sobrecargas y cortocircuitos en: ■ Instalaciones domésticas. ■ Distribución terminal, terciario e industrial. <b>descripción características</b> ■ Calibre In: 0,5 a 63A. ■ Temperatura de referencia: 30 °C (curvas B y C, 40° C curva D). ■ Tensión de empleo: 240/440 V CA. ■ Tensión de impulso Uimp: 6 kV. ■ Tensión de aislación Ui: 500 V. ■ Poder de corte: según IEC 898.
		1	24045	24395	24625		
		2	24046	24396	24626		
		3	24047	24397	24627		
		4	24048	24398	24628		
		6	24049	24399	24629		
		10	24050	24401	24630		
		16	24051	24403	24632		
		20	24052	24404	24633		
		25	24053	24405	24634		
		32	24054	24406	24635		
		40	24055	24407	24636		
		50	24056	24408	24637		
		63	24057	24409	24638		

Figura 3.26 Breakers para control  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

Adicionalmente, por recomendación de Ingenieros del área de SCADA de la central, se adquirió un supresor de transientes para garantizar una mayor protección del dispositivo más importante del proyecto, el PLC.

Los transitorios, son perturbaciones que deforman la onda sinusoidal AC durante periodos de tiempo muy cortos ( $<2\text{ms}$ ) debido a la conmutación de cargas inductivas o a descargas atmosféricas (rayos). Los elementos más sensibles a esto son dispositivos electrónicos como el PLC.

Simplemente con el voltaje de alimentación que es 24 VDC se seleccionó este supresor, VPU III R 24V/4KV AC/DC de Weidmuller.



Figura 3.27 Supresor de transientes  
Fuente: (WEIDMULLER, 2013)

### **3.3 SISTEMA DE CONTROL**

#### **3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR**

##### **3.3.1.1 Nivel**

Es fundamental mantener el nivel de aceite en el tanque principal (de vacío) en un rango que permita eliminar el exceso de humedad sin perturbar demasiado el caudal de operación de la purificadora.

De acuerdo al diagnóstico previo al diseño, se encontró que un switch de nivel de los tres existentes dentro del tanque no funcionaba, exponiendo a la bomba de engranajes a succionar una escasa cantidad de aceite cuando el nivel descendía. El control antiguo era sencillo, solo daba una alarma cuando el aceite llegaba al límite superior.

### **3.3.1.2 Presión**

Esta variable permite monitorear el sistema de bombeo y la salida de aceite al pasar por el filtro de tierras fuller. De acuerdo con los parámetros del fabricante la máxima presión que tolera el filtro es de 3 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo el sistema de bombeo puede trabajar entre 4-6 Kg/cm<sup>2</sup>. Para evitar inconvenientes se estableció como tope máximo el valor de 3 kg/cm<sup>2</sup>. Esta variable puede dar un indicio de falla en la bomba de engranajes, fugas, obstrucciones, etc. El control antiguo no funcionaba adecuadamente ya que el manómetro análogo estaba montado lejos de la captación en la tubería.

### **3.3.1.3 Temperatura**

Es recomendable operar a la purificadora a una temperatura de 50 °C porque dicho valor permite que el proceso de desgasificación dentro del tanque principal elimine la humedad. Sin embargo el fabricante recomienda mantener un rango de funcionamiento entre 40 y 50 °C.

Lo más importante es no sobrepasar los 60 °C porque se estaría alterando las propiedades dieléctricas del aceite.

Hay que considerar que el lugar, el clima, la altitud y la cantidad de aceite a regenerar, afecta directamente en el número de resistencias que deben encenderse. Además hay que tomar en cuenta que una sola resistencia es capaz de calentar el aceite a más de 50 °C en un instante.

### **3.3.1.4 Humedad**

Muchas veces la purificadora intenta regenerar el aceite dieléctrico de transformadores que están en deplorable estado, afectando sobre todo a la bomba de engranajes. Por eso es fundamental observar continuamente un valor que indique la cantidad de agua que trae consigo el aceite, para

verificar el correcto funcionamiento del sistema, el tiempo de operación de la misma y así poder predecir de forma implícita la calidad del fluido antes de realizar las pruebas en un laboratorio mediante normas establecidas.

Todo este conjunto de variables deben estar totalmente enlazadas al funcionamiento continuo de la purificadora, desde las señales que otorguen los sensores hasta los actuadores y alarmas.

### **3.3.2 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Para la selección de toda la instrumentación nueva a utilizarse en el diseño de control automático, se consideró los siguientes parámetros del proceso:

-Fluido: Aceite dieléctrico (mineral) / Aceite de transformadores

-Viscosidad:

10 cSt. a 40 °C

6 cSt. a 60 °C

-Densidad máxima a 20 °C: 0.895 g/cm<sup>3</sup>

-Temperatura de trabajo: 40-50 °C

-Diámetro de la tubería: 1 ¼ plg

-Caudal de trabajo: 2000 l/h

-Conexión al proceso: NPT ½"

-Presión del sistema: máx 3 kg/cm<sup>2</sup>

Todos estos valores fueron obtenidos de tablas de propiedades del aceite, de la placa de la purificadora y de planos antiguos del sistema.

Los instrumentos que a continuación se describen fueron previamente seleccionados con los parámetros anteriormente mencionados y cotizados por proveedores de Termopichincha.

### 3.3.2.1 Switch de nivel por frecuencia

Se trata de un switch de nivel que cambia su contacto NO a NC cuando el aceite entra en contacto con dos horquillas que vibran a cierta frecuencia. El contacto del fluido con el sensor varía la frecuencia con la que vibran las horquillas, cambiando el estado de los terminales que dan la señal de on/off al PLC.



Figura 3.28 Switch de nivel Liquiphant T FLT20

Fuente: (ENDRESS & HAUSSER, 2013)

### 3.3.2.2 Transductor de presión

El tipo del elemento primario del instrumento es una membrana que censa la presión y la transforma en una señal eléctrica.

El principal aspecto a considerar en la selección de este sensor de presión fue el rango. Para una salida de 4-20 mA que se utiliza en el módulo análogo del PLC se eligió un transductor de presión para el rango de 0-6 Bar. La salida análoga sirve para monitorear esta variable en la pantalla y para dar una alarma que dispare a todo el sistema cuando el valor exceda los 3 kg/cm<sup>2</sup>.



Figura 3.29 Transductor de presión Cerabar T PMP131  
Fuente: (ENDRESS & HAUSSER, 2013)

### 3.3.2.3 RTD y transmisor de temperatura

La RTD que más se ajusta al proceso es la PT100, ya que su corta escala, a diferencia de las termocuplas, permite a través del transmisor estándar TMT80 obtener una señal eléctrica más apta al rango de temperatura que se requiere en la purificadora. El cambio de resistividad que se produce por la variación de temperatura se transforma mediante el transmisor en una señal análoga de 4-20 mA para poder realizar el control de temperatura.



Figura 3.30 RTD PT100  
Fuente: (ENDRESS & HAUSSER, 2013)



Figura 3.31 Transmisor de temperatura TMT80  
Fuente: (ENDRESS & HAUSSER, 2013)

Este transmisor tiene la facilidad de montarse sobre la misma RTD en el proceso.



### 3.3.2.4 Transmisor de Humedad

Debido a la complejidad del instrumento y a las características del fluido a ser medido, este transmisor fue muy costoso y se tuvo que importar porque ningún distribuidor en Ecuador lo tenía.

Su conexión es sencilla, la señal de 0-100 ppm que equivalen a 4-20 mA es llevada para monitoreo y control con el PLC.

Por recomendación del fabricante se debe montar al mismo de forma perpendicular a la tubería y de preferencia a la salida del proceso.

El instrumento viene con indicador incorporado.



Figura 3.32 Transmisor de humedad EE381  
Fuente: (E+E ELEKTRONIK, 2012)

El cableado eléctrico y la instalación de todos estos instrumentos se pueden ver con más detalle en los planos de diseño del anexo 11 y en las hojas técnicas de los sensores en el anexo 9.

Por recomendación del área de SCADA de Termopichincha, se seleccionó un PLC Twido, Un módulo extra de salidas digitales y un módulo de entradas y salidas analógicas para todo el diseño de control. Para la interfaz se utilizó un display Magelis de 2x20. Cada uno con su software de programación.



Figura 3.33 PLC Twido TWDLMDA20DRT  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)



Figura 3.34 Pantalla Magelis XBT N200  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

### 3.3.3 DISEÑO DE CONTROL ON/OFF PARA NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE PRINCIPAL

Para el nuevo control se implementó dos switch de nivel, uno de nivel inferior y uno para nivel intermedio.

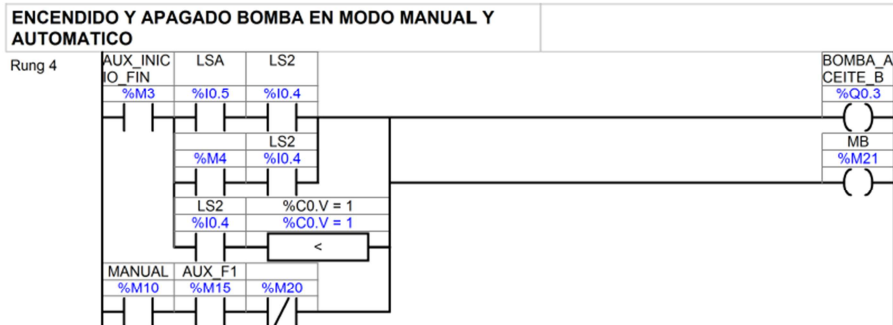
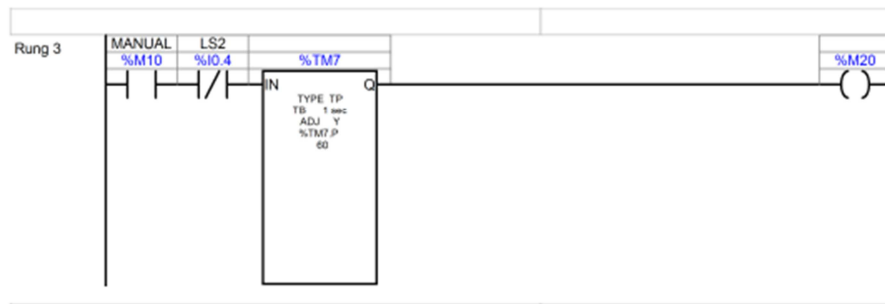
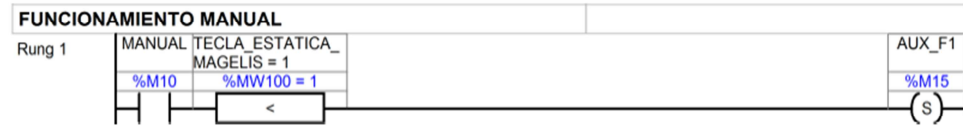
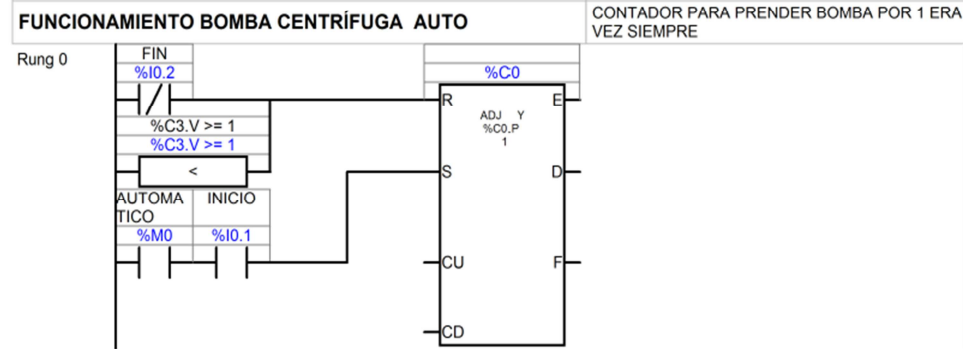
En total hay 4 switch de nivel:

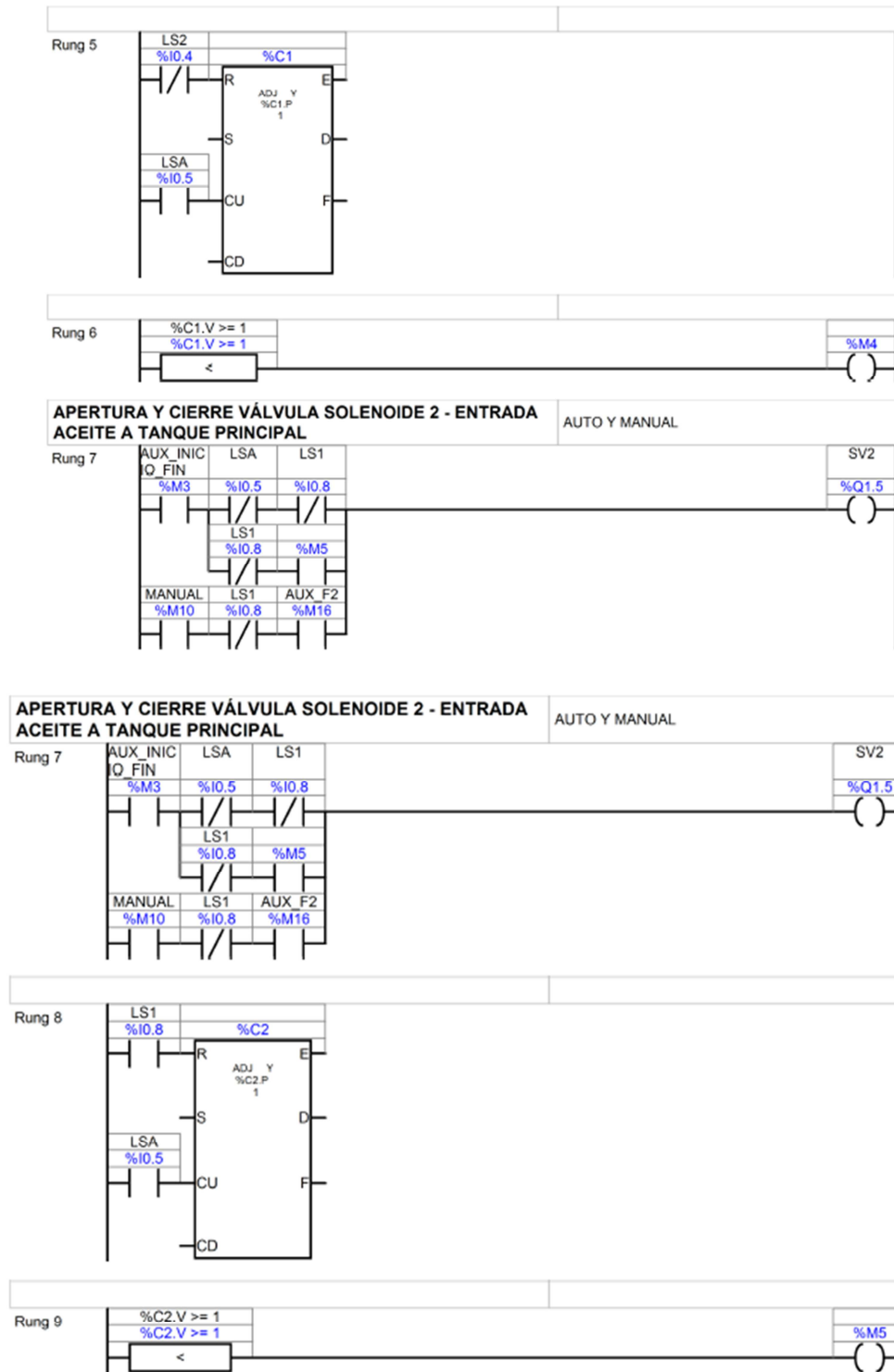
- Bajo
- Medio
- Alto
- Alarma

El control se basa en permitir la entrada de aceite al tanque mediante la válvula solenoide 2 y la extracción mediante la bomba de engranajes. Cada uno se activa o desactiva de acuerdo al orden en el que vayan conmutando los switch.

Abajo se describe una parte de la programación (ladder) del PLC en imágenes sucesivas.

**3 LD Control de nivel tanque principal**





### 3.3.4 DISEÑO DE CONTROL PARA TEMPERATURA DEL PROCESO

La configuración para realizar un control PID en el proceso de purificación resulta sencilla cuando se configura en modo auto tuning a la

función avanzada PID del PLC Twido en la programación que se realiza en el software Twido Suite.

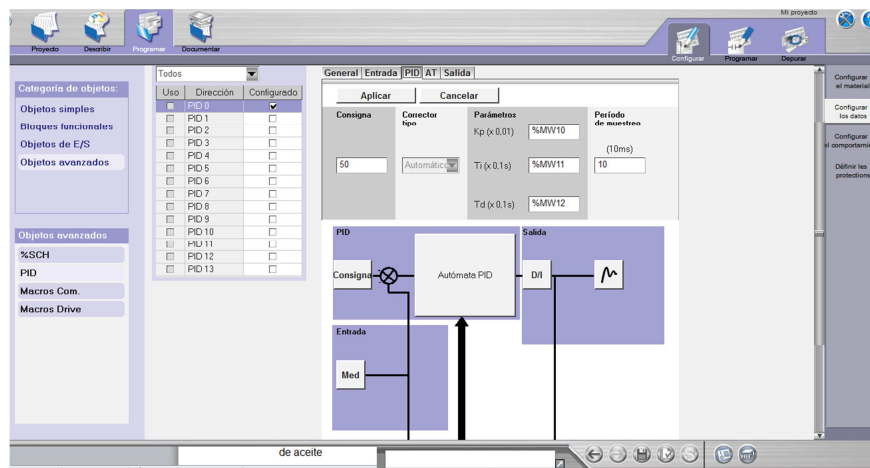


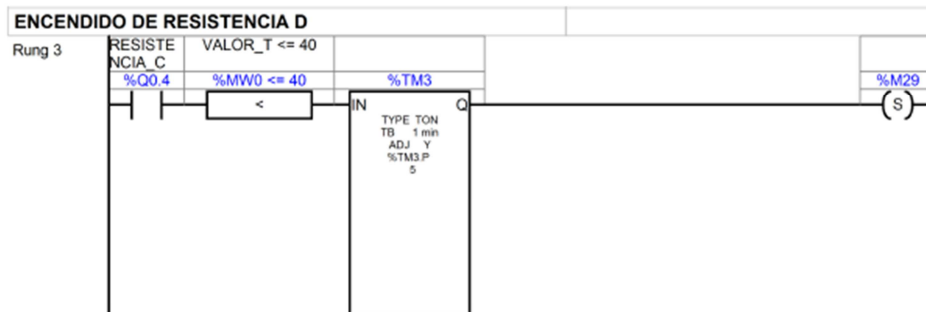
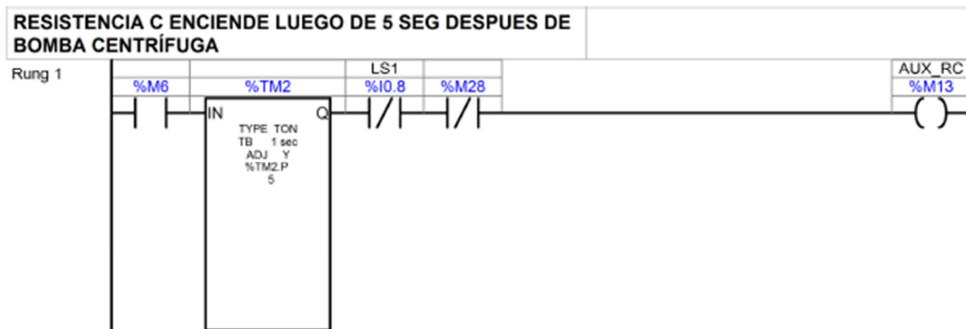
Figura 3.35 Interfaz software de programación PLC Twido Suite bloque PID  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

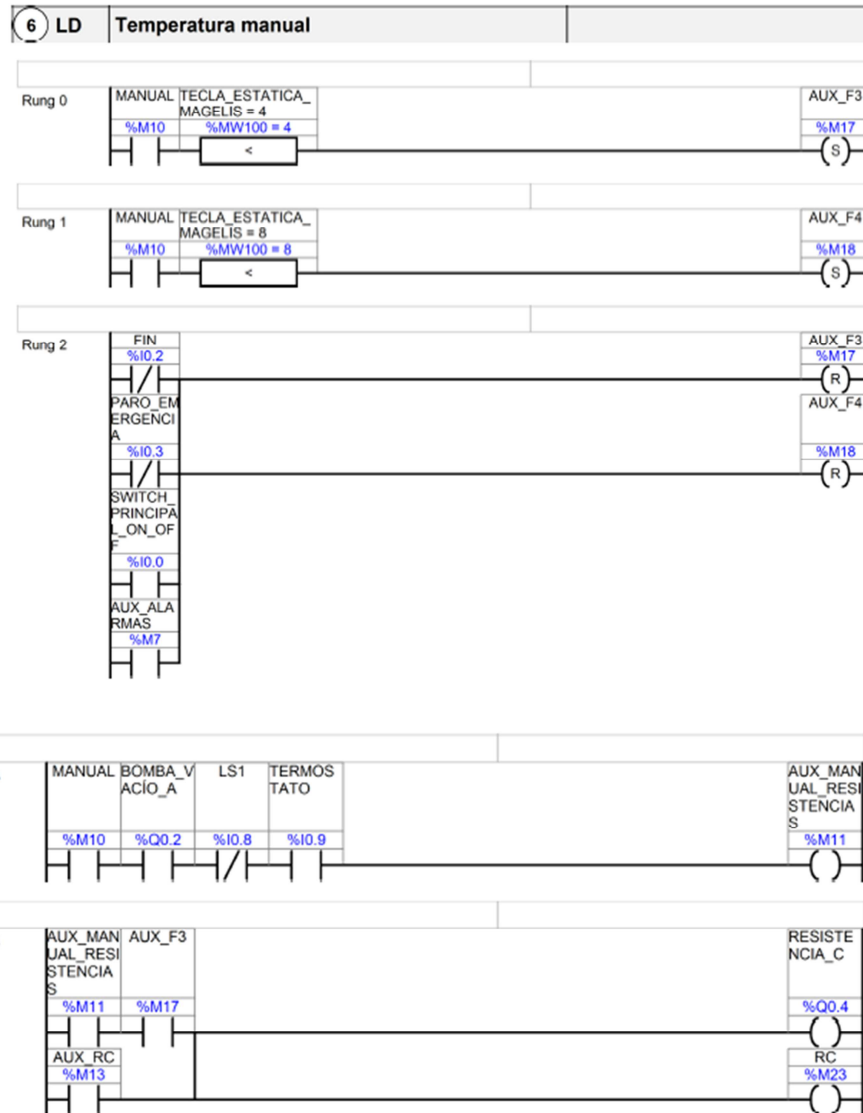
Este modo permite que el controlador, mediante algoritmos en lazo cerrado, establezca valores de KP, KI y KD adecuados para el proceso en el que se están adquiriendo datos de un sensor permitiendo manipular cierta salida de forma análoga o en PWM.

Tal y como indica la ayuda del software se requiere de un conocimiento previo de controladores PID así como rigurosidad al momento de configurar la programación del control para obtener resultados satisfactorios. A pesar de que la conexión y configuración aparentemente resulta fácil, en este proyecto no se puede involucrar un control PID porque habría que reconfigurar el mismo cada vez que se conecte la purificadora a los diferentes transformadores y disyuntores a los que se realice tratamiento de aceite. Hay que considerar que no todos los transformadores tienen la misma capacidad y por ende el sistema de control en lazo cerrado siempre tendrá una planta diferente, es decir, el operador no está en capacidad de configurar estos parámetros cada vez que utilice la purificadora.

Por esta razón se estableció un control on/off más complejo que funciona de forma óptima mediante la señal de la RTD y el transmisor de temperatura.

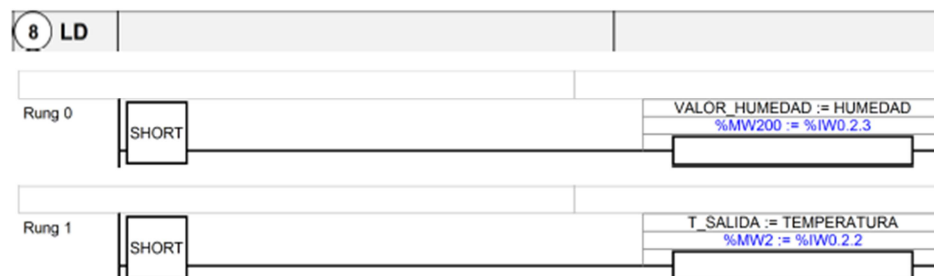
El control logra mantener en alrededor de 50°C a la temperatura mediante la activación de los calentadores.





### 3.3.5 DISEÑO DE CONTROL PARA MONITOREO DE HUMEDAD

Esta variable lo único que necesita es ser visualizada en la pantalla para que de acuerdo al valor que el operador observe, se tome una decisión.



Para lograr llevar las variables del PLC a la pantalla y viceversa se debe realizar una red modbus entre el controlador y el display. La programación de la HMI se lo realiza en el software Vijeo designer – lite.

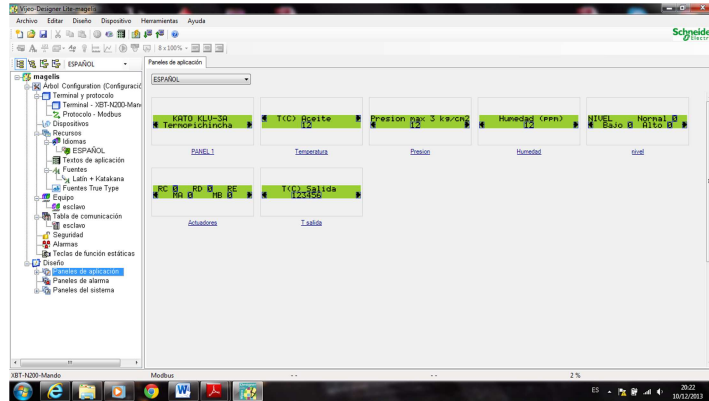


Figura 3.36 Interfaz software de programación HMI  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

### 3.3.6 VINCULACIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LAS VARIABLES, MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC Y LA HMI.

La purificadora puede funcionar de acuerdo al diseño de control de forma manual o automática. En el modo manual, el control se basa en que el operador debe encender una a una las cargas y mantener mediante manipulación de válvulas el control del nivel, así mismo se ayuda de una perilla para asignar la temperatura de disparo de un termostato que evita que la temperatura sobrepase los 50 °C. Todo lo que esté ajeno al funcionamiento normal se convierte en alarma mediante el sonido de una baliza.

En el modo automático, solo basta con presionar un pulsador y todo el sistema se mantiene en orden y funcionando adecuadamente sin necesidad de que el operador manipule valvulería. Lo único que debe realizar el operador es monitorear el proceso mediante la pantalla.

En el anexo 10 se puede observar la toda la documentación de la programación del PLC.



### 3.3.6.1 Configuración de la red MODBUS para la HMI entre el PLC y el display.

Para conectar la pantalla magelis y el PLC twido se configuró una red MODBUS en donde el display actúa como maestro y el plc como esclavo, ya que estos dos equipos Schneider manejan este protocolo.

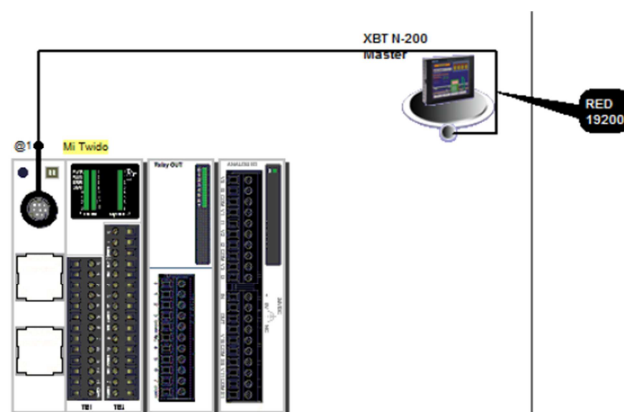


Figura 3.37 Configuración de elementos en Twido suite  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

A continuación se describen los pasos para configurar correctamente la red Modbus tanto en el software de programación del PLC como de la pantalla:

-En Twido suite se adiciona a la pantalla de descripción un elemento de red modbus llamado “magelis”, se une con el puntero la salida del conector mindin del PLC a la pantalla magelis y se establece quien es maestro y esclavo con sus respectivas direcciones.

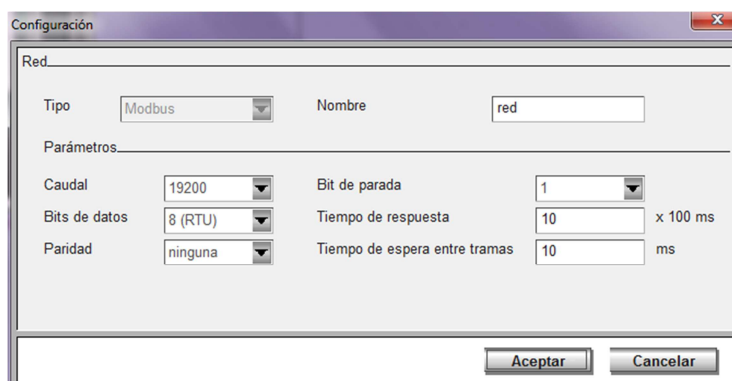


Figura 3.38 Configuración de la red Modbus en twido suite  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

-De igual manera se configura los parámetros de la red en vijeo designer lite, exactamente igual.

Figura 3.39 Configuración de la red Modbus en Vijeo designer lite  
Fuente: (SCHNEIDER, 2013)

-Para manipular las variables para el envío y transmisión de datos configuramos palabras de memoria, es decir, en programación del PLC %MWi. Por ejemplo la señal que se obtiene de la RTD se guarda en %MW0 y la pantalla obtiene este dato accediendo al esclavo en la dirección 1.

-De igual manera se utiliza las teclas de función estáticas de la pantalla (F1, F2, F3, F4) para encender en el modo manual las cargas. Cuando se presiona cualquiera, se guarda un cierto valor en la dirección %MW100 que esta por default en la programación y la misma se puede utilizar en la programación ladder del PLC.

En este paso se debe tomar en cuenta que está dirección %MW100 debe estar en una posición intermedia entre todas las palabras de memoria que se estén utilizando, porque de lo contrario la pantalla da un error. En otras palabras debe existir por lo menos una dirección que utilice el PLC con una dirección mayor a %MW100, por ejemplo %MW200.

-Para conectar el PLC y la pantalla luego de haber configurado todos los parámetros, utilizamos el cable mindin-rj45 (código del cable: XBT Z9780).

-Para descargar la programación de los paneles de la HMI en la pantalla hay que seguir una serie de pasos extra, los cuales están mencionados con claridad en el ANEXO 12. Adicionalmente en dicho anexo se encuentra toda la documentación de la programación de la HMI.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE**

#### **4.1 REQUERIMIENTOS DE CONTRUCCIÓN Y MONTAJE**

La repotenciación y automatización de la purificadora involucran cambios en el sistema que no deben alterar, en ningún aspecto, el funcionamiento durante trabajos de regeneración de aceite dieléctrico. Por ello, se debe considerar ciertos requerimientos previos a la construcción y montaje de los nuevos elementos.

##### **4.1.1 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS**

-Mantener la hermeticidad en todo el sistema, tanto en la tubería como en los tanques y demás elementos, para evitar cualquier entrada de aire que perjudique el proceso de des humidificación.

-Considerar acciones de sumo cuidado y limpieza para no contaminar el sistema al momento de realizar trabajos como corte de estructura, taladrado, soldadura, etc.

-Proteger a los elementos más sensibles como por ejemplo el transformador interno, para evitar choques eléctricos cuando se realice trabajos de soldadura.

-Evitar derrames innecesarios de aceite dieléctrico, tomar en cuenta el uso de trapos y baldes para recoger el aceite que no se puede salvar.

-Cerrar válvulas para realizar cualquier tipo de trabajo durante la construcción y el montaje del proyecto.

#### **4.1.2 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS**

- Correcta ubicación de la instrumentación en el sistema.
- Cableado adecuado con protecciones para que los cables no se deterioren por la manipulación del aceite, humedad y suciedad.
- Aprovechar el espacio destinado para los elementos de control en el tablero, organizar de tal manera que todo entre sin problemas y se pueda manipular los cables con facilidad.
- Verificar más de una vez el cableado para prevenir malas conexiones.
- Etiquetar correctamente los cables para que el operador pueda realizar mantenimiento con facilidad.
- Utilizar terminales en todos los cables para asegurar las conexiones.
- Usar borneras para distribuir mejor el cableado.

#### **4.2 ADQUISICIÓN E INVENTARIO DE MATERIALES**

La parte más importante de este proyecto, fue sin duda el tablero de control, puesto que se adecuó el sistema de la purificadora para que el funcionamiento sea automático. Esto implicó que el antiguo tablero definitivamente no servía en lo absoluto, por esta razón se consideró al armario como el cerebro y el eje principal de la repotenciación y la automatización de la purificadora.

El primer paso para conseguir los elementos necesarios para desarrollar el proyecto fue solicitar al menos 3 cotizaciones de tres proveedores registrados de Termopichincha. Uno de ellos reconocido por su amplia gama de productos Schneider (Marca con la que trabaja Termopichincha) es ELSYSTEC S.A.

La cotización de ELSYSTEC, que contenía todos los elementos de control, fue aprobada junto con un diagrama P&ID y eléctrico del proyecto de automatización del sistema. EUROINSTRUMENTS, fue la empresa de la cual se adquirió la mayoría de sensores.

Respecto al material mecánico que se utilizó en la construcción y el montaje, la empresa proporcionaba todo lo que se requería si existía en la bodega de la misma. Cuando no se disponía de algún material se compraba conforme se necesitaba.

#### **4.2.1 MATERIALES PARA EL MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN**

A continuación se presenta un cuadro de los materiales utilizados en la construcción y el montaje de la instrumentación y del tablero de control.

Tabla 4.1 Inventario de materiales para la construcción y montaje

<b>Inventario de materiales para la construcción y montaje del proyecto Repotenciación y Automatización purificadora de aceite dieléctrico KATO</b>			
<b>N. -</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantida d</b>	<b>Características/Observaciones</b>
1	Electrodo revestido 6011	20	Soldadura de estructura metálica
2	Electrodo revestido 7018	20	Soldadura de acoples, uniones para conexión al proceso de instrumentación
3	Perno M5 x 20	10	Ajuste de planchas laterales inferiores de la estructura
4	Perno M12 x 35, arandela y tuerca	16	Ajuste de eslabones para apertura de puertas de la estructura
5	Perno M10 x 30, arandela de presión y tuerca	4	Ajuste de tablero de control a soporte base
6	Acople soldable NPT 1/2", rosca hembra para tubería	5	Conexión al proceso de la instrumentación
7	Tubería de cobre	4 m	Rehabilitación manómetro de vacío
8	Válvula de bola, 3/8"	1	Válvula de corte para transductor de presión
9	Acople 3/8" macho a 1/2" hembra, acero inoxidable	1	Válvula de corte para transductor de presión
10	Acople de 1/2" hembra	1	Inserción para RTD
11	Teflón	10	Diez rollos pequeños, para instalación.
12	Tablero (armario) de poliéster	1	Dimensiones 847 x 636 x 300 mm
13	Placa de acero galvanizado	1	Tablero de control, dimensiones 800 x 600 mm
14	Canaleta grande	4 m	Para cables del tablero de control
15	Canaleta mediana	2 m	Para cables de elementos de mando del tablero
16	Riel DIN	2 m	Montaje de los elementos del tablero de control
17	Bornera grande WDU 35mm	6	Para cables de alimentación, 220/440 VAC
18	Bornera mediana WDU 10 mm	15	Para cables de los actuadores
19	Bornera pequeña WDU 2.5 mm	70	Para cables de control y sensores
20	Bornera pequeña de tierra	5	Para protección y tierra de elementos del tablero
21	Topes laterales para bornera	15	Evita que las borneras se muevan de su sitio
22	Cable flexible # 10 AWG	5 m	Alimentación del tablero de control
23	Cable flexible # 12 / 14 AWG	20 m	Cableado de potencia (Cargas)
24	Cable flexible # 16 AWG	10 m	Cableado control de actuadores
25	Cable flexible # 18 AWG	100 m	Cableado de control e instrumentación
26	Amarras grandes	1	1 Paquete para cables grandes
27	Amarras pequeñas	1	1 Paquete para cables de control
28	Manguera reforzada BX de 1/2"	50 m	Manguera para recubrir y proteger cables a través de todo el sistema.
29	Terminales para manguera BX 1/2"	50	Inicio y fin de manguera
30	Manguera reforzada BX de 2"	2 m	Manguera para recubrir y proteger cables de alimentación
31	Terminales para manguera BX 2"	4	Inicio y fin de manguera

Fuente: (Autor, 2014)

#### 4.2.2 ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL

El detalle de los elementos de mando y de control que conforman el tablero, se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 4.2 Inventario elementos tablero de control

N.-	Elemento	Cantidad	Características/Observaciones
1	Interruptor magnetotérmico automático	1	Interruptor principal, alimentación
2	Transformador de corriente de 100 a 1 Amp	1	Para amperímetro análogo
3	Amperímetro análogo 0-100 A	1	Muestra la corriente que demanda el sistema
4	Voltímetro análogo 0-600 VAC	1	Voltaje de alimentación de actuadores
5	Fuente de voltaje 24 VDC	1	Alimentación PLC, HMI, instrumentación
6	Breaker 1P 3A	1	Breaker magnetotérmico protección fuente
7	PLC Twido TWDLMDA20DRT	1	Módulo expandible, 12 in / 8 out
8	Breaker 2P 2A	1	Breaker magnetotérmico protección PLC
9	Supresor de transientes	1	Protección PLC
10	Módulo out relé TM2DRA8RT	1	Módulo de salidas a relé, PLC Twido
11	Módulo in/out análogas TM2AMM6HT	1	Módulo análogo PLC Twido
12	Breaker 1P 1A	1	Breaker magnetotérmico protección módulo análogo
13	Guardamotor 4-6.3 A (GV2ME10)	1	Protección motor bomba de vacío
14	Guardamotor 1.6-2.5 A (GV2ME07)	1	Protección motor bomba de aceite
15	Relé térmico 16-24 A (LRD226)	2	Protección calentadores
16	Breaker termomagnético NSX100F	1	Protección calentador
17	Contactador 9A 220 VAC (LC1D09M7)	2	Contactador de motores eléctricos
18	Contactador 25 A 220 VAC (LC1D25M7)	2	Contactador de calentadores
19	Relé de estado sólido PSSR 24VDC 3PH AC 20A	1	Activación de calentador
20	Interruptor de maneta corta	1	Interruptor principal de control
21	Pulsador NO verde	1	Inicio de funcionamiento
22	Pulsador NC rojo	1	Fin funcionamiento
23	Pulsador NC vino	1	Reset
24	Pulsador NC paro emergencia	1	Emergencia
25	Luz piloto verde	1	Proceso normal
26	Luz piloto roja	1	Alarma
27	Pantalla display magelis 2x20	1	HMI

Fuente: (Autor, 2014)



### 4.2.3 INSTRUMENTACIÓN

La nueva y moderna instrumentación que se introdujo en el sistema, permitió realizar una automatización robusta con datos continuos del estado y variables del proceso, a continuación se detalla un cuadro de los sensores adquiridos.

Tabla 4.3 Inventario instrumentación

N.-	Elemento	Cantidad	Características/Observaciones
1	Transmisor indicador de humedad y temperatura	1	E+E Elektronik EE381, 0-100 ppm, 0-100 °C, 4-20 mA
2	Transductor de presión	1	Cerabar T PMP 131, 0-6 Bar / 4-20 mA, Endress & Hauser
3	Detector de nivel	2	Liquiphant T FTL20 / Switch out Endress & Hauser
4	RTD + Transmisor de temperatura	1	PT100, TMT80, 4 hilos / 4-20 mA Endress & Hauser

Fuente: (Autor, 2014)

Si bien es cierto se utilizó varios materiales que no se mencionan en los cuadros de inventario, debido a la escasa importancia o uso durante la construcción.

Los cuadros anteriormente descritos servirán más adelante en el análisis económico y financiero del proyecto

### 4.3 ADECUACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

Debido a que se necesitaban más elementos de control y protecciones eléctricas para la automatización de la purificadora, se adquirió un armario más grande, con dimensiones acorde a todo lo que iba a llevar dentro. Por eso fue apropiado realizar cambios en la estructura metálica para que el tablero pueda ingresar sin dificultad y ocupar el espacio destinado que contenía la antigua caja de control.

#### 4.3.1 CORTE Y SOLDADURA DE PERFILES

El primer paso fue cortar el perfil frontal de la estructura y la base soporte del tablero para volver a soldar después más abajo, ya que la altura del mismo topaba con la tubería de vacío. En un principio se utilizó sierra, pero resultaba muy difícil cortar de esa manera los perfiles, así que se optó por cortar con la amoladora, el problema con esto fue que las chispas podían dañar parte de la tubería, instrumentos o el transformador, entonces se cubrió con madera para proteger dichos elementos.

La base fue cortada considerando la altura del tablero para que no tope la tubería de vacío, con un espacio de tolerancia de 80 mm. Luego de esto, se procedió a soldar el soporte nuevamente a los perfiles base y el perfil frontal. Se utilizó soldadura eléctrica con electrodo revestido 6011.

#### 4.3.2 CORTE Y ENSAMBLAJE DE PLACA LATERAL

Adicionalmente fue necesario cortar la placa lateral de la estructura para permitir la apertura de la puerta del armario de control. Se usó plasma porque el corte era largo y debía mantener linealidad.

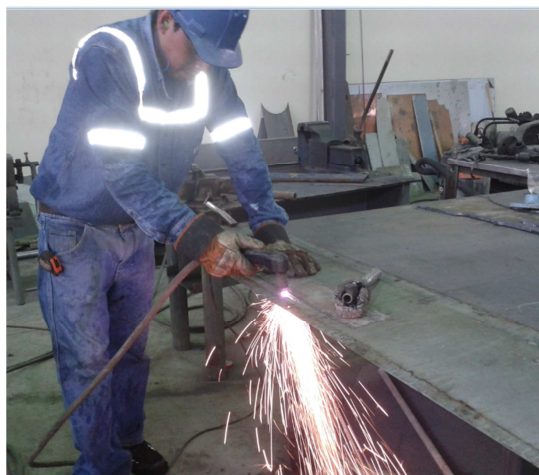


Figura 4.1 Corte plasma placa lateral estructura  
Fuente: (Autor, 2014)

### 4.3.3 ADECUACIÓN DE LA TUBERÍA DE SALIDA

Una sección de tubería a la salida del sistema obstruía la parte posterior del tablero, por ese motivo se tuvo que desviar la base que soportaba toda la tubería, el visor y la válvula V2, unos cuantos grados para que el tablero sea introducido y la puerta lateral de la estructura pueda cerrar.

La base estaba empernada, solo se cortó una junta y se volvió a soldar de tal forma que al momento de empotrar la base a la estructura, la tubería ya no topaba con el armario.

En la fotografía de abajo se está extrayendo la válvula V2 para poder realizar trabajos de soldadura.



Figura 4.2 Extracción de válvula manual V2  
Fuente: (Autor, 2014)

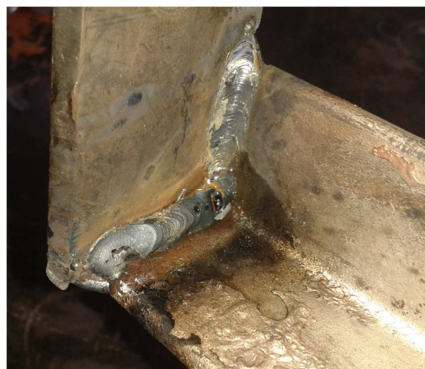


Figura 4.3 Soldadura de perfil  
Fuente: (Autor, 2014)

#### **4.3.4 REHABILITACIÓN DE LAS PUERTAS DE LA ESTRUCTURA**

Rehabilitar la apertura de las puertas de la estructura fue parte del trabajo que se realizó durante el montaje y construcción, ya que estas se encontraban muy deterioradas.

El trabajo consistió en enderezar, uno a uno los eslabones que permitían la apertura, con un combo en el yunque. Luego de esto se reemplazó los pernos y se dio un ajuste en las juntas que unían la puerta con el eslabón, dejando una tolerancia que permitía la rotación para que la puerta se cierre por completo.



Figura 4.4 Rehabilitación de las puertas de la estructura  
Fuente: (Autor, 2014)

### **4.4 ENSAMBLAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DE LA PURIFICADORA A LA ESTRUCTURA**

#### **4.4.1 TUBERÍA DE SALIDA**

Al desviar la tubería para que el tablero pueda ingresar, fue necesario un reajuste de todas las bridas de la sección tratada, ya que por el movimiento estas tienden a aflojarse.

En primera instancia se emperno la base al piso de la estructura, seguido de las bridas correspondientes a la válvula manual V2. Es importante realizar siempre una limpieza de las piezas mecánicas con un poco de solvent o

diésel y verificar el estado de los orines, colocarlos bien antes de pasar el perno y ajustar la tuerca.

Una vez que todo ensambló, se procedió con el ajuste de todas las bridas, empezando con las del Fluviómetro hasta la brida del acople rápido.

#### 4.4.2 COMPONENTES MECÁNICOS DEL TABLERO

Los indicadores mecánicos (manómetros análogos) fueron montados sobre una placa, empernados al lado izquierdo del tablero de control, de esta manera el operador podrá seguir monitoreando la presión de vacío en el tanque principal y la presión de entrada al tanque de filtros.



Figura 4.5 Montaje de manómetros en tablero  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 4.4.3 BOMBA DE ACEITE

Cuando se realizó mantenimiento de la bomba de aceite, fue necesario tomar precauciones para disminuir el derrame excesivo del aceite, puesto que a la salida de la bomba no existe una válvula de corte para poder ejecutar mantenimiento, se optó por retirar brevemente las bridas y colocar un tapón de caucho. Al igual que las bridas, es muy importante verificar que todos los empaques de la bomba estén en buen estado y correctamente colocados.

#### 4.4.4 TANQUE PRINCIPAL

Mantener la hermeticidad en todo el sistema es un aspecto muy importante a considerar cuando se realiza ensamblaje de los componentes mecánicos de la purificadora. La tapa visor frontal del tanque principal, seguramente es una de las piezas mecánicas por donde se puede filtrar aire si no se ajusta adecuadamente. Esta tapa tiene una ranura donde se aloja un empaque circular de gran diámetro. Entre dos personas se puede colocar este sello por su peso, cerciorándose de que esté bien ubicado antes de ajustar. Se coloca primero un perno superior y otro inferior para sostener y evitar que se caiga mientras se colocan los demás pernos y tuercas. Se debe ajustar de forma cruzada los pernos para que el acople sea homogéneo.



Figura 4.6 Tapa visor del tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 4.4.5 TANQUE DE FILTROS

Para diseñar el tamiz cilíndrico, se abrió el tanque de filtros y se desarmó el filtro. El plano correspondiente al anexo 5 muestra el ensamble de cada una de las piezas que conforman el filtro de tierras fuller.

## 4.5 MONTAJE DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Seguidamente y en el orden que se fue implementando la conexión al proceso para alojar la nueva instrumentación, se describe el procedimiento que se realizó para cada uno de ellos.

### 4.5.1 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Como el antiguo sistema de control para la alarma de presión era obsoleto, se desinstalo la tubería de cobre y en su lugar se modificó la toma de la tubería para conectar el transductor de presión con los siguientes elementos:

- Válvula de bola de 3/8"
- Neplo NPT 3/8"
- Acople hembra de 3/8" a 1/2"



Figura 4.7 Montaje del transductor de presión  
Fuente: (Autor, 2014)

Es indispensable envolver las roscas con abundante teflón antes ensamblar. El ajuste debe ser firme para evitar fugas, pero no hay que exagerar para que no se dañe el roscado o se aíse.

El código de referencia del sensor es: PMP131-A1B01A1R

Las dimensiones del instrumento, que sirvieron para la adecuación y montaje, se muestran con más detalle en el anexo 9 referente a datasheets.

Para el cableado se utilizó colores estándar y se cubrió con manguera BX reforzada hasta el tablero, la conexión eléctrica se muestra a continuación, para mayor referencia observar el plano anexo 11.

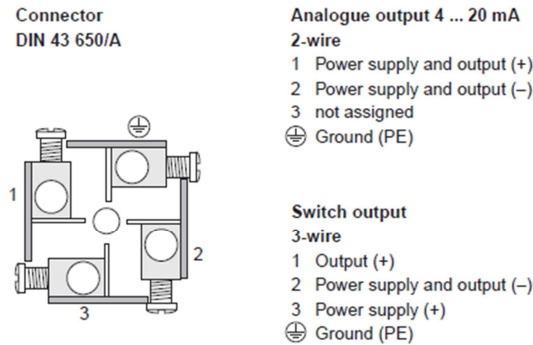


Figura 4.8 Conexión eléctrica transductor de presión  
Fuente: (ENDRESS + HAUSER, 2013)

#### 4.5.2 TRANSMISOR INDICADOR DE HUMEDAD

Se analizó mediante recomendaciones del fabricante y con ayuda de las dimensiones del transmisor, el espacio para montar este instrumento y obtener la mejor y más exacta medición de humedad posible.

Se llegó a la conclusión de que un espacio entre la válvula manual V2 y el acople rápido en la tubería de salida, era el lugar ideal para montar este sensor. Cuando se desarmó la base de este tramo de tubería para ejecutar trabajos de soldadura, se aprovechó para desarrollar el agujero donde se soldaría el acople de ½" para introducir el transmisor.

Primero se punteó justo en el centro de lado derecho de la tubería para poder realizar el agujero en el taladro con una broca grande de 3/8" de diámetro. Este orificio obviamente es más pequeño, pero no interesa que sea de ½" porque el elemento primario es una especie de tubo delgado.



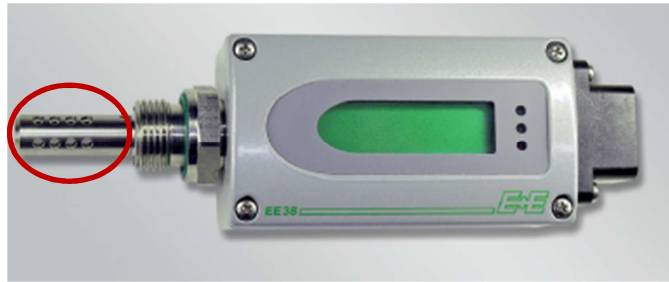


Figura 4.9 Elemento primario transmisor de humedad  
Fuente: (E+E ELEKTRONIK, 2013)

El orificio en la tubería, luego del taladrado quedó de esta manera:



Figura 4.10 Agujero en la tubería de salida  
Fuente: (Autor, 2014)

Luego de esto, se procedió a lijar la pintura de la tubería y limpiar el acople para soldar mediante MIG MAG. El acople fue desbastado lateralmente en la amoladora de banco para que adquiera un contorno circular que se ajuste a la forma de la tubería.

Con la soldadora primero se marcó dos puntos para fijar el acople a la tubería y luego realizar el cordón de soldadura alrededor del contorno circular del acople.



Figura 4.11 Soldadura de acople en la tubería de salida  
Fuente: (Autor, 2014)

Después de una exhaustiva limpieza se instaló el tramo tal como se indica en el punto 4.4.1, Las conexiones eléctricas se muestran con más detalles en el anexo 11.

Finalmente se envolvió con teflón la rosca del instrumento y se ajustó en el acople.



Figura 4.12 Montaje transmisor de humedad  
Fuente: (E+E ELEKTRONIK, 2013)

Este transmisor no necesitaba ser calibrado, puesto que vino con un certificado de calibración que se lo puede revisar en el anexo 9. El código de referencia del producto es: EE381-TEHA03D08/BL6-T05-X01.

#### **4.5.3 DETECTORES DE NIVEL**

De igual manera que el instrumento anterior, se debe considerar las dimensiones para analizar el lugar donde van a alojarse los detectores.

Estos dos detectores servirán como switch de límite de nivel inferior y como switch de nivel normal, por esta razón se realizó mediciones y se asignó puntos de referencia simétricos en el rango que ocupa el aceite dentro del tanque.

Se realizó dos agujeros de ½” en el tanque principal. Para esto fue necesario deshabilitar una de las bridas inferiores para purgar toda la suciedad que se desprenda por el trabajo y abrir la tapa visor para poder manipular el taladro.

Se lijó alrededor de los dos orificios y se desbasto el acople para que los contornos se junten y poder soldar. Se empleó soldadura eléctrica con

electrodo revestido 7018 para lograr una resistente fijación con un cordón totalmente hermético evitando cualquier tipo de fuga de aceite.



Figura 4.13 Soldadura de acoples en tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

Cuando los elementos mecánicos se enfriaron, se procedió con una limpieza total del tanque con una pequeña cantidad del mismo aceite dieléctrico, purgando toda la suciedad por la brida inferior que estaba abierta. Luego se ensamblaron nuevamente todas las piezas y se colocaron los detectores con abundante teflón.

En los instrumentos existe una referencia exteriormente, ya que la posición de las horquillas dentro del tanque, deben quedar completamente horizontales para un óptimo desempeño. Considerando esto se ajustaron los dos detectores, el tanque quedó así:



Figura 4.14 Montaje de detectores de nivel en tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

El tipo de conexión eléctrica para los dos detectores es como switch de nivel inferior, más detalle en el anexo 9 y 11.

La siguiente figura muestra el ensamblaje del conector para los cables eléctricos.

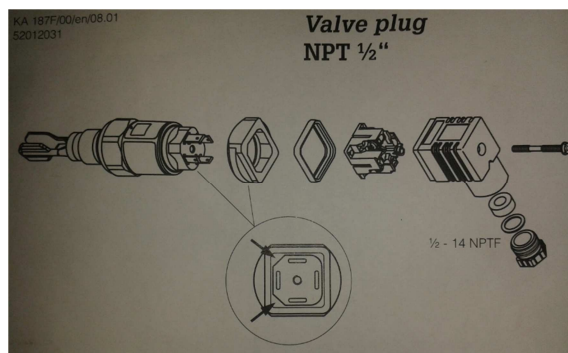


Figura 4.15 Ensamblaje conector detector de nivel  
Fuente: (ENDRESS + HAUSER, 2013)

El código de referencia del producto es: Liquiphant FTL20-022C

#### 4.5.4 RTD Y TRANSMISOR DE TEMPERATURA

De todos los instrumentos, este en particular fue el más sencillo de montar ya que el acople para la inserción del antiguo termómetro era de  $\frac{1}{2}$ " y no fue necesario manipular en lo absoluto la tubería, simplemente se envolvió la rosca de la RTD con teflón y se ajustó en el orificio.

El código de referencia de la RTD es: PT100 TST487-2A2B



Figura 4.16 Montaje RTD en tubería  
Fuente: (Autor, 2014)

Lo único que se consideró es la conexión del transmisor y el cableado hacia el tablero.

El transmisor TMT80 se monta directamente en el encapsulado de la RTD de la siguiente manera:



Figura 4.17 Cableado del transmisor de temperatura  
Fuente: (Autor, 2014)

Para mayor detalle de toda la instrumentación, verificar las hojas técnicas de los mismos en el anexo 9.

#### **4.6 CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL**

Vale la pena enfatizar que el tablero de control es el eje y cerebro de este proyecto, razón por la cual se describe paso a paso el procedimiento realizado hasta poner en funcionamiento el nuevo sistema de control de la purificadora.

-Como primer paso, está organizar tentativamente en la placa de montaje los elementos para tener una idea de cómo se van a colocar la riel DIN y las canaletas.

-Ahora, con esa idea, se trazaron líneas indicativas para la posición de las canaletas, rieles y elementos. Una vez designado el lugar para cada objeto se procede a colocar las canaletas, se perfora la placa con un taladro para empernar las mismas. En las esquinas hay que cortar a 45° para que el ángulo que formen las dos canaletas sea recto. Generalmente se ubican estos objetos a los laterales y bajo cada línea de elementos de control permitiendo un cableado ordenado.

Luego, de igual manera se taladran orificios para empernar las rieles.



Figura 4.18 Taladrado de placa de montaje del tablero  
Fuente: (Autor, 2014)

Se debe tener en cuenta que para llevar el cableado de todos los sensores y actuadores hacia el tablero, hay que colocar un riel inferior solo para borneras.

-Una vez distribuidas las rieles, se colocan uno a uno los elementos tal y como se organizó anteriormente.

Algunos de los componentes no pueden ser montados sobre riel DIN, sino que deben ser empernados individualmente al tablero.

Los espacios faltantes en la placa, se dejaron para acomodar el interruptor principal y el relé de estado sólido.

-Gran parte del tiempo invertido en el proyecto, se destinó para cablear todos los equipos a través de las canaletas. Se empleó terminales tipo puntero, tipo u y cerrados para conectar los dispositivos de forma segura. Además se etiquetó cada extremo de los cables indicando de donde a donde iba, utilizando nomenclatura basada en la norma IEC.



Figura 4.19 Cableado de Contactores y salidas del PLC  
Fuente: (Autor, 2014)

-En la puerta del tablero se efectuó cortes circulares y cuadrados con ayuda del sacabocados, para introducir los elementos de mando con los cuales el operador manejará el funcionamiento de la purificadora.



Figura 4.20 Prensado para hacer orificios en la puerta del tablero de control  
Fuente: (Autor, 2014)

Antes de ejecutar los cortes y el prensado para obtener los orificios, se organizó los elementos de la manera más ergonómica y sistémica posible, con el objetivo de que el operador pueda maniobrar fácilmente todos los pulsadores, teclas e interruptores de mando incluyendo el paro de emergencia.

-La maneta del interruptor principal de la alimentación eléctrica del tablero, debía sobresalir por la puerta para que el operador encienda el

sistema de control sin necesidad de abrirla. Como el tablero era ancho, se tuvo que construir un alza y ajustar su altura para que la maneta quede al ras de la puerta. Sobre esta, se empernó el interruptor.

Para poner la placa de montaje dentro del armario y fijarla bien, se aprovechó el grosor de unos aisladores para elevar unos cuantos milímetros la misma, así se consiguió altura y fijación. El transformador de corriente para el amperímetro fue montado al lado izquierdo interno del tablero.

-Al igual que para los componentes montados sobre la placa metálica, en la parte posterior de la puerta se adhirió canaletas más pequeñas para cablear todos los elementos de mando, incluido el cable de red Modbus (mindin-rj45) necesario para la transferencia de datos entre el PLC Twido y la pantalla magelis.

-En la parte inferior del tablero se perforaron agujeros circulares de  $\frac{1}{2}$ " y 2" para conectar los terminales de las mangueras BX que contenían cables de los sensores y actuadores.



Figura 4.21 Prensado de orificios para terminales de manguera BX  
Fuente: (Autor, 2014)

Al finalizar todos los trabajos mencionados con anterioridad, se revisó nuevamente el cableado y etiquetado de los componentes para poder montar el tablero en la base de la estructura metálica y proceder con la conexión de sensores y actuadores.



En el anexo 17 se muestran más fotografías referentes a este capítulo.

## 4.7 ADECUACIONES ELÉCTRICAS

En este ítem se destacan aspectos que se valoraron durante el montaje del tablero y las conexiones al sistema.

El siguiente esquema muestra la clasificación y uso de las borneras en el tablero, con su respectiva nomenclatura.



Figura 4.22 Clasificación de las borneras  
Fuente: (Autor, 2014)

Con esta figura y las referencias de los planos en el anexo 11, el operador podrá realizar mantenimiento de cualquier elemento con facilidad.

Los cables utilizados para los diferentes componentes eléctricos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Cables utilizados en el sistema

Número de y tipos de cables utilizados en el montaje del proyecto		
Número	Tipo	Uso
10 AWG	Multifilar	-Extensión de alimentación -Cableado de enchufes a borneras -Cables de transformador -Cableado de borneras hacia interruptor principal
12 AWG	Multifilar, flexible	-Cableado de actuadores desde (alimentación) Contactores hasta terminales de motores y calentadores
14 AWG	Multifilar, flexible	-Voltímetro y amperímetro -Actuadores medianos (Solenoides, baliza) -Salidas de PLC a bobinas de Contactores
16 AWG	Multifilar, flexible	-Actuadores pequeños (Luces piloto) -Alimentaciones con 24 VDC (azul +, negro -) -Cableado de breakers de protección -Cableado de tierras (Color verde)
18 AWG	Multifilar, flexible	-Cableado borneras a entradas de PLC -Cableado módulo de entradas y salidas analógicas) -Sensores, transmisores, transductor, etc.

Fuente: (Autor, 2014)

Como se mencionó antes, para precautelar la vida de los cables y evitar cualquier accidente eléctrico, se protegió absolutamente todo el cableado fuera del tablero con manguera reforzada BX.

El sistema y el tablero de control luego de todos los trabajos quedaron de esta manera:



Figura 4.23 Montaje completo del tablero de control

Fuente: (Autor, 2014)



Figura 4.24 Vista lateral purificadora automatizada  
Fuente: (Autor, 2014)



Figura 4.25 Purificadora luego de trabajos de construcción y montaje  
Fuente: (Autor, 2014)

## CAPÍTULO 5

### PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 5.1 ANÁLISIS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

##### 5.1.1 CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Antes de montar cada instrumento en los diferentes acoples, fue necesario calibrar los mismos para verificar que el valor de la señal de 4-20 mA corresponda al valor real de la variable medida.

##### 5.1.1.1 Transductor de presión

En la empresa se contaba con un calibrador de presión marca fluke. El mismo que se conectó al cabezal del transductor y mediante pliegues se bombea aceite desde un recipiente hacia el instrumento. Mientras se bombea el aceite, en el display del calibrador se muestra la presión ejercida sobre el sensor. Existe una perilla que permite ajustar exactamente la presión que se desea aplicar.



Figura 5.1 Calibrador de presión  
Fuente: (FLUKE, 2013)

Por otro lado, se alimentó con una fuente de voltaje de 24 VDC al transductor y se cerró el circuito con un multímetro digital para comprobar el valor de la corriente.

Los datos obtenidos de tres mediciones fueron los siguientes:

Tabla 5.1 Datos calibración del transductor de presión

Calibrador	Multímetro
0 Bar	4.2 mA
3 Bar	12.1 mA
6 Bar	20 mA

Fuente: (Autor, 2014)

De los datos obtenidos se puede concluir que el transductor se encuentra en buen estado, las mediciones que proporciona son confiables y exactas.

#### 5.1.1.2 Detectores de nivel

Se empleó dos maneras para verificar el correcto funcionamiento de los detectores de nivel. En ambos casos, el objetivo era comprobar la continuidad de los cables que enviarían la señal NC o NO a las entradas del PLC.

En primer lugar se testeó el instrumento con un imán probador incluido en el paquete del sensor, donde se debía acercar el polo norte del imán al punto de referencia en el detector que previamente estaba alimentado con 24 VDC, y comprobar el color de los leds indicadores.



Figura 5.2 Imán test de funcionamiento detector de nivel

Fuente: (ENDRESS + HAUSER, 2014)



Figura 5.3 Punto de referencia test detector de nivel  
Fuente: (Autor, 2014)

Configurado el detector para nivel bajo, al acercar el imán al punto de referencia, los dos led (verde y rojo) deben encenderse. Al alejar se debe apagar el led rojo. Tal y como se menciona, se comprobó con el imán el correcto estado de los leds.

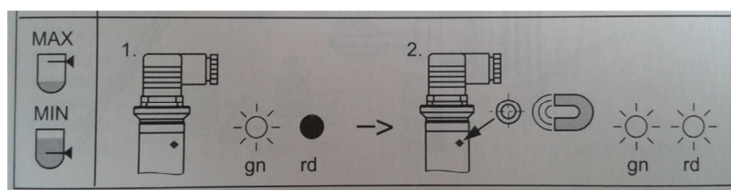


Figura 5.4 Test de funcionamiento detector de nivel  
Fuente: (ENDRESS + HAUSER, 2014)

La otra forma de comprobar el funcionamiento, fue en realidad un poco empírica. Se preparó un pequeño recipiente con agua y se sumergió las horquillas del detector hasta comprobar continuidad en los cables y el estado de los leds.

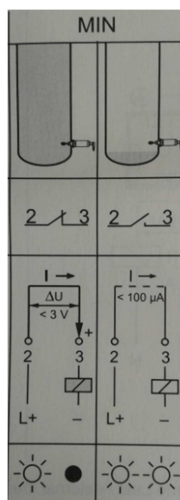


Figura 5.5 Funcionamiento nivel bajo detector de nivel  
Fuente: (ENDRESS + HAUSER, 2014)

Las entradas en la programación fueron configuradas como normalmente abiertas (NO).

#### **5.1.1.3 Transmisor indicador de humedad**

Tal y como se indicó anteriormente, este instrumento no fue calibrado por dos razones:

-El paquete de envío proveniente de Austria (Lugar de fabricación e importación del instrumento), incluía un certificado de calibración con los datos obtenidos y estándares utilizados.

-El elemento primario del instrumento es muy sensible y no existe método de verificar o calibrar el mismo. Por recomendación del fabricante es importante no manipular ningún elemento del transmisor.

Eso fue lo que se consideró, a parte del sumo cuidado con el que se manipulaba el equipo por su elevado precio. En la programación del PLC, se planteó el rango de 0-100 ppm equivalente a 4-20 mA.

#### **5.1.1.4 RTD y Transmisor de temperatura**

El propósito de la calibración del transmisor de temperatura, era encontrar el rango adecuado en el que la señal de 4-20 mA corresponda exactamente con el valor de la temperatura que se tiene en la tubería a la salida de los tres calentadores.

Para esto, personal técnico del área de SCADA de la empresa colaboró con la manipulación y conexión de la RTD y el transmisor de temperatura a un calibrador de procesos para tomar datos y definir dicho rango, puesto que su uso requiere de cierto conocimiento del equipo.



Figura 5.6 Calibrador de procesos  
Fuente: (FLUKE, 2014)

Al final, el rango más adecuado para la medición de temperatura fue de 0 a 100 °C.

### 5.1.2 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Se utilizó una salida a relé del PLC para activar cada uno de los actuadores que conforman el sistema de la purificadora.

Con respecto al funcionamiento de las bombas, no hubo ningún inconveniente en cuanto a la parte mecánica.

Donde sí fue necesaria una comprobación del funcionamiento mecánico fue en las electroválvulas ya que por su antigüedad no se lograba visualizar ningún dato que pudiese mostrar el código, tipo o estado del solenoide.

La válvula solenoide SV1 destinada a lubricar el sistema mecánico de la bomba de vacío fue observada mientras se activaba el motor eléctrico de la misma con la tecla F2 de la HMI. Se desmontó la electroválvula de la tubería y en un breve instante, con el objetivo de no dejar por mucho tiempo sin lubricación a la bomba, se logró palpar la apertura mecánica mediante el solenoide. El aceite de vacío goteó, muestra de que la válvula se abrió, y dejó de hacerlo cuando se apagó el sistema. Entonces para la programación de la salida de este elemento se consideró el estado de SV1 como NC (normalmente cerrada).





Figura 5.7 Electroválvula SV1 lubricación bomba de vacío

Fuente: (Autor, 2014)

Verificar el estado de la electroválvula SV2 resultó más sencillo, ya que se puede observar el goteo de aceite por el desgasificador en el tanque principal a través del visor. Cuando se energizó el solenoide, efectivamente el aceite comenzó a gotear por los filtros. El plano eléctrico antiguo de la purificadora sirvió para corroborar el estado (NC) de esta válvula, cosa que no se pudo comprobar con SV1 ni con LV.



Figura 5.8 Electroválvula SV2 entrada aceite a tanque principal

Fuente: (Autor, 2014)

La electroválvula para el desfogue en la tubería de vacío (LV) tuvo que ser desmontada, ya que en un principio no funcionaba de ninguna manera. Cuando se le dio mantenimiento se logró detectar que un tapón estaba mal ubicado, obstruyendo la salida de aire. Lo curioso de esta válvula es que su estado era (NO), a diferencia de las dos anteriores.

La programación del PLC hace que esta válvula permanezca cerrada mientras la bomba de vacío está en marcha, a menos de que dentro del tanque se produzca nubosidad por el exceso de humedad que contenga el aceite tratado o por la generación de burbujas debido al nivel alto. En ese

caso la válvula se abrirá para ayudar a purgar el exceso de humedad o aceite hacia el exterior y evitar que el condensador se sature.

Los sensores ópticos son los que detectan cualquiera de estas dos anomalías.

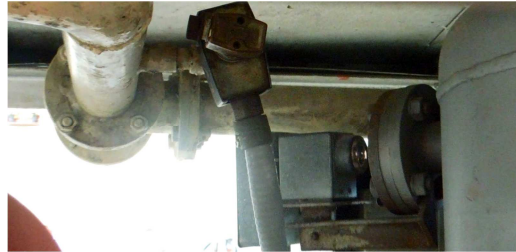


Figura 5.9 Electrovalvula LV purga de aire y aceite  
Fuente: (Autor, 2014)

### **5.1.3 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO**

#### **5.1.3.1 Motores eléctricos**

Antes de poner en operación a la purificadora fue indispensable observar el sentido de giro de los dos motores eléctricos, puesto que no se sabe cómo están distribuidos los cables de la red trifásica en cada una de las tomas donde se conecta la extensión para alimentar el tablero de control. Más de una vez fue necesario cambiar de posición dos de las líneas en las borneras de alimentación de 220 VAC para invertir el sentido de giro. Una flecha en la carcasa de cada motor eléctrico indica el correcto sentido de giro.

#### **5.1.3.2 Calentadores**

La gran potencia de las resistencias eléctricas permite calentar en breve instante el aceite que recircula a través del sistema. En la mayoría de los trabajos, por no afirmar que en todos, el número máximo de calentadores encendidos han sido 2. Por esta razón y con el fin de ahorrar de cierta manera el consumo de energía, se deshabilitó una de los calentadores.

El cableado de esta carga es normal al igual que las demás, simplemente cuando se requiera del uso de tres resistencias eléctricas, se debe habilitar una salida del PLC para energizar la bobina del relé de estado sólido que activará el actuador.



Figura 5.10 Relé de estado sólido para la activación del calentador # 3  
Fuente: (Autor, 2014)

Aunque poner en funcionamiento un calentador más no es recomendable, ya que con dos es suficiente, queda a criterio del personal técnico encargado de la purificadora, la habilitación de este elemento.

#### 5.1.4 COMPROBACIÓN Y CORRECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Luego de la calibración y de todos los ajustes, en la programación del PLC, las entradas análogas de los instrumentos fueron planteadas así:

Tabla de entradas y salidas

Uso	Dirección	Símbolo	Tipo	Ampliada	Mínimo	Máximo	Unidades
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW2.0	PRESION	4 - 20 mA	Personalizad	0	6	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW2.1	RTD	4 - 20 mA	Personalizad	0	100	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW2.2	TEMPERATURA	4 - 20 mA	Personalizad	0	100	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/>	%IW2.3	HUMEDAD	4 - 20 mA	Personalizad	0	100	Ninguno

Figura 5.11 Configuración entradas análogas del PLC  
Fuente: (TWIDO SUITE, 2013)

En un inicio, se comenzó programando por separado cada etapa del control. Primero fue el sistema de control de nivel en el tanque principal con la activación de la bomba de aceite y la electroválvula SV2, seguido de la activación de la bomba de vacío con todas las restricciones. Después, un

control de temperatura sencillo y finalmente el enlace de todas las variables con el proceso.

Cuando se tuvo el primer bosquejo de la programación completa, se simularon todos los posibles aspectos y estados del sistema para comprobar la respuesta del PLC y sobretodo la seguridad en el funcionamiento.

Al inicio el objetivo, luego de la simulación, era probar en la realidad el funcionamiento del sistema e ir ajustando la programación para que las respuestas sean cada vez mucho más eficientes. Hubo muchos cambios y mejoras que tuvieron que realizarse. Principalmente, los contactos de la programación estaban invertidos o los valores de los contadores y temporizadores estaban mal configurados, en fin, problemas sencillos que conforme más se probaba la purificadora, más eficiente se tornaba la actividad concurrente del sistema.

Como se requería plantear un modo de operación manual, similar al que poseía la purificadora antes de realizarse el proyecto, se involucraron los objetos y mandos manuales en las líneas de programación del modo automático, sin afectar ningún parámetro establecido.

En otras palabras la programación manual se estableció paralelamente a la programación automática.

Las teclas de la pantalla, al principio, actuaban como interruptores, es decir, al presionar una vez se encendía cierta carga y al volver a presionar se apaga. Esto trajo problemas con la transferencia de datos entre el PLC y la pantalla, causando confusión en el sistema. Por esta razón se optó por configurar las teclas como pulsadores para activar los actuadores. Para

apagar las cargas, al igual que en el modo automático, se usó el pulsador rojo.

El sistema de control de temperatura fue manipulado más de una vez, hasta conseguir la respuesta más óptima dentro del proceso. Cada vez que se probaba el funcionamiento de este lazo de control, surgían nuevas y mejores ideas que contribuían a mantener la temperatura adecuada para la desgasificación del aceite.

Vale la pena resaltar que no fue necesario un control tipo PID para estabilizar la temperatura en un determinado valor, ya que el control ON OFF respondía muy bien a las perturbaciones que se daban en el sistema.

A pesar de que la estructuración de un control PID en la programación del PLC resulta tarea muy sencilla con el auto-tuning de las constantes  $K_p$ ,  $K_d$  y  $K_i$ , no convenía establecer este tipo de control porque no hubo oportunidad de realizar pruebas de la purificadora con un transformador de potencia de gran capacidad. Para las pruebas simplemente se montó el tanque que permite realizar un by-pass de recirculación del aceite y definitivamente, por la capacidad de litros a regenerarse, la presión del sistema, el caudal y muchos otros aspectos involucrados en el proceso, la planta y las constantes que se hubiesen obtenido para el control PID, no estarían acordes ni responderían adecuadamente al funcionamiento del sistema cuando se requiera de la purificadora en una parada de planta para trabajos con transformadores grandes reales.

Toda la documentación de la programación del PLC, se encuentra en el capítulo 3 referente al diseño y en los anexos 10 y 11.

## 5.2 TOMA DE DATOS

Luego de todas las correcciones desarrolladas, sobre todo en la programación del PLC, la purificadora estaba completamente lista y funcionando al 100% en los dos modos de operación. Se tomaron una serie de datos que ayudaron a verificar el comportamiento del sistema y la mejora notable de la misma.

### 5.2.1 PRESIÓN

Gracias al nuevo transductor instalado en la tubería se obtuvieron mediciones más certeras de la presión del sistema. Como la cantidad de aceite que se recirculaba para las pruebas no era considerable como es el caso del volumen que contienen los tanques de los transformadores, la presión durante la operación siempre se mantuvo alrededor del 1 kg/cm<sup>2</sup>.

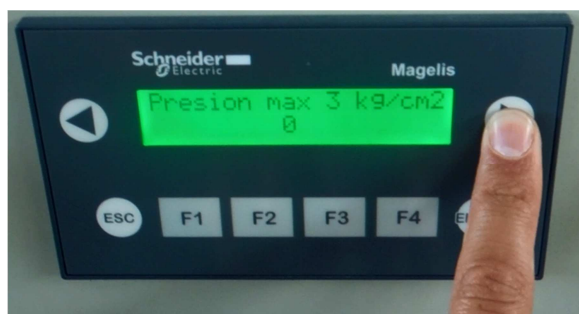


Figura 5.12 Presión del sistema en funcionamiento  
Fuente: (Autor, 2014)

La altura del nivel de aceite en el tanque de filtros incide directamente en el valor de la presión tomada por el transductor. Como no había un nivel de aceite importante, la presión se mantuvo constante casi todo el tiempo que permaneció funcionando la purificadora, sin dar ningún tipo de alarma por sobrepresión.

### 5.2.2 NIVEL

El volumen reducido de aceite tratado durante las pruebas, hacía que el nivel permanezca la mayor parte del tiempo bajo el límite normal. A lo que el

sistema respondió adecuadamente con el funcionamiento autónomo de la bomba de engranes, evitando la succión en vacío y equilibrando la recirculación del fluido para tener un proceso de desgasificación y filtrado más homogéneo.

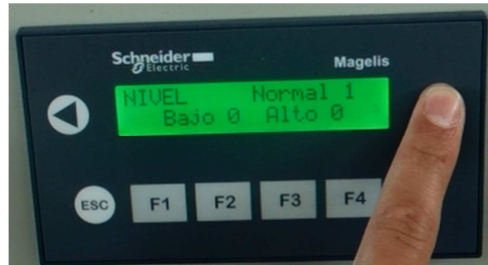


Figura 5.13 Nivel de aceite en el tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)



Figura 5.14 Estado de los actuadores en el funcionamiento  
Fuente: (Autor, 2014)

Lo contrario a lo mencionado, ocurre cuando el volumen de aceite a regenerar es considerable. En ese caso el nivel permanece la mayoría del tiempo sobre el límite normal. El control de la activación del solenoide SV2 responde perfectamente a las perturbaciones que se dan.

Se realizaron mediciones continuas de la presión, temperatura, caudal y humedad del sistema, con el objetivo comprobar que en ningún momento la activación o desactivación del motor de la bomba de aceite y de la electroválvula SV2, para estabilizar el nivel, afectaban el proceso continuo de regeneración.

### 5.2.3 TEMPERATURA

Los siguientes datos fueron tomados durante varias pruebas del funcionamiento de la purificadora. Se presentan valores de:

- Temperatura ambiente
- Temperatura de interrupción del termostato
- Temperatura a la entrada del tanque principal (RTD- salida de los calentadores)
- Temperatura a la salida del sistema (Transmisor de humedad)

La tabla muestra temperaturas desde el momento que se encendió el sistema en el modo automático. Los 20 datos descritos en la tabla fueron tomados durante un lapso de aproximadamente 4 minutos con un solo calentador en funcionamiento.

Tabla 5.2 Datos temperatura durante funcionamiento en modo automático

No. medición	RTD - T entrada ( °C ) tanque principal	T salida ( °C ) del sistema
1 (T ambiente)	22	19
2	25	20
3	28	22
4	33	23
5	36	25
6	42	27
7	44	28
8	46	32
9	47	32
10	48	34
11	49	34
12	50	35
13	50	34
14	51	36
15	49	38
16	50	38
17	49	39
18	49	38
19	48	40
20	50	39

Fuente: (Autor, 2014)



En el modo de operación manual, en un principio, se encendieron dos calentadores para observar la fluctuación de temperatura. La temperatura de interrupción del termostato fue establecida en aproximadamente 50 °C. Los siguientes datos fueron tomados en un lapso de 5 minutos.

Tabla 5.3 Datos temperatura durante funcionamiento en modo manual

No. medición	RTD - T entrada ( °C ) tanque principal	T salida ( °C ) del sistema
1 (T ambiente)	20	18
2	22	21
3	25	21
4	28	24
5	32	26
6	38	29
7	45	33
8	49	36
9	54	39
10	56	40
11	55	40
12	52	40
13	52	39
14	48	39
15	49	38
16	50	39
17	52	40
18	54	40
19	52	41
20	50	39

Fuente: (Autor, 2014)

Al utilizar un solo calentador en este modo, la fluctuación no era tan notoria como se ve en la tabla 5.3 en donde la temperatura se eleva hasta 56 °C por mantener encendidas dos resistencias. El único problema surge en que debido al retraso de la conmutación del termostato la temperatura no se estabiliza rápidamente como en el modo automático.

### 5.2.4 HUMEDAD

En la primera prueba, luego de corregir todo el sistema, se adicionó aceite al tanque de by-pass para poder analizar los datos del contenido de humedad en el aceite dieléctrico antes, durante y al finalizar la operación.

En un tiempo estimado de 20 minutos, que duró la operación, se tomaron datos aproximadamente cada 60 segundos.

Tabla 5.4 Datos humedad durante funcionamiento de la purificadora

No. Medición	Humedad (ppm)
1	40
2	38
3	32
4	25
5	20
6	18
7	15
8	9
9	8
10	6
11	5
12	5
13	4
14	4
15	4
16	4

Fuente: (Autor, 2014)

### 5.2.5 CAUDAL

El Flujiómetro consta de una manecilla que gira conforme el fluido avanza. Los datos se tomaron con un cronómetro midiendo el tiempo que tarda la pluma en dar una vuelta completa, que significan 10 litros.

Los datos se tomaron aproximadamente cada 2 minutos

Tabla 5.5 Datos caudal de operación de la purificadora

No. Medición	Tiempo (s)	Caudal (l/s) 10 litros / t	Caudal (l/h)
1	24,43	0,41	1473,60
2	22,56	0,44	1595,74
3	19,25	0,52	1870,13
4	20,35	0,49	1769,04
5	18,58	0,54	1937,57
6	18,87	0,53	1907,79
7	19,96	0,50	1803,61
8	18,22	0,55	1975,85
9	20,23	0,49	1779,54
10	18,97	0,53	1897,73

Fuente: (Autor, 2014)

## 5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.3.1 TEMPERATURA

Con los datos obtenidos en las pruebas, a continuación se muestran dos gráficas correspondientes al modo automático y manual.

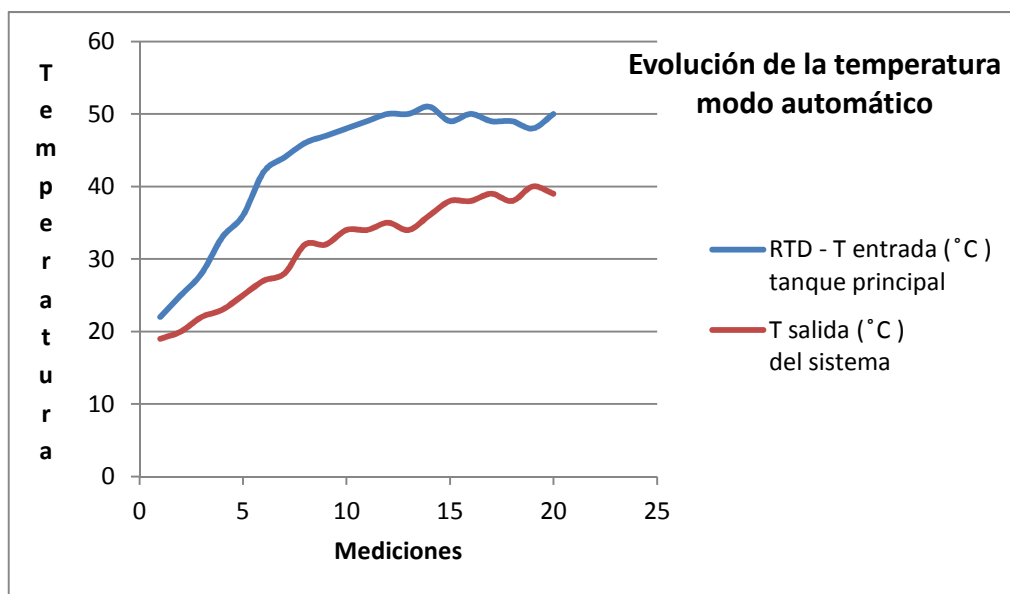


Figura 5.15 Gráfico de la temperatura en el modo automático

Fuente: (Autor, 2014)

Como se puede observar, el comportamiento durante el lapso en el que se tomó las mediciones, es bastante óptimo. Las únicas fluctuaciones que se dan por la activación del calentador oscilan entre 1 y 2 °C máximo. Lo que

permite mantener el estado de temperatura más adecuado para que el proceso de des humidificación sea muy eficiente. Este parámetro se lo analizará en el gráfico correspondiente a la humedad.

El modo manual, presentó un comportamiento del sistema de control menos óptimo ya que las fluctuaciones eran mucho más amplias, sobre todo porque se encendieron dos calentadores.

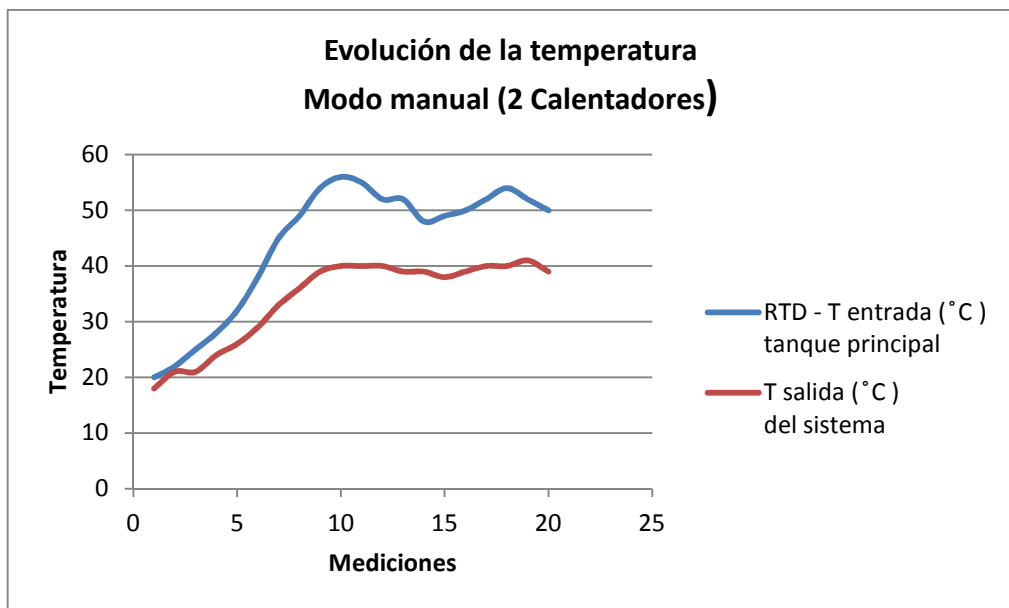


Figura 5.16 Gráfico de la temperatura en el modo manual  
Fuente: (Autor, 2014)

El problema era que las resistencias calentaban demasiado rápido el aceite y cuando el termostato conmutaba, la temperatura ya había alcanzado los 55 °C.

Como consecuencia de estos resultados, se establece que dependiendo el lugar y las características ambientales del aceite a tratarse mediante el modo manual, se analice el número de resistencias a encender para evitar sobrecalentamiento del fluido.

En la siguiente figura se puede comparar los dos tipos de control. Como se nota en el modo automático el sistema de control responde mejor y más rápido.

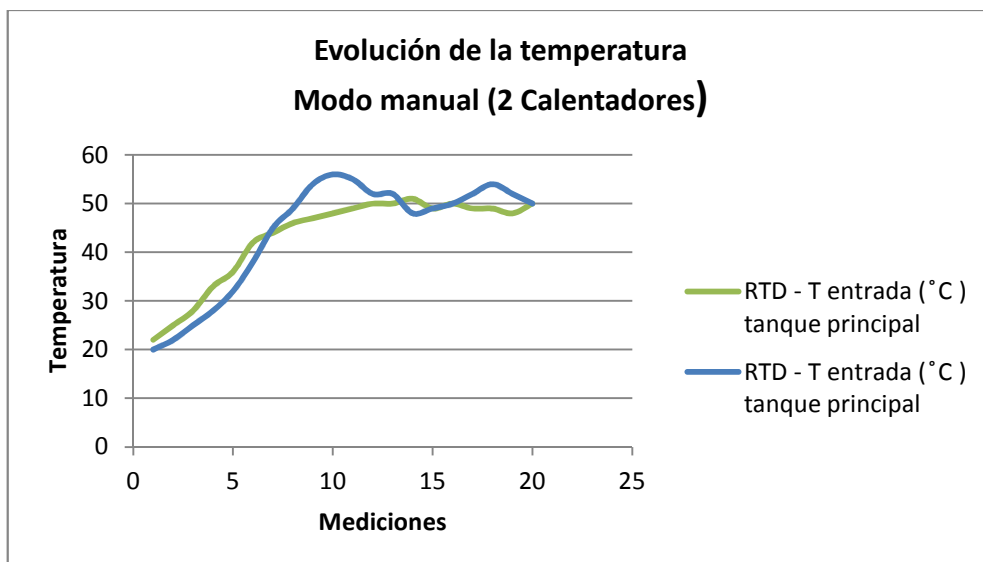


Figura 5.17 Gráfico de la temperatura de los dos modos de operación  
Fuente: (Autor, 2014)

La curva de color verde corresponde al modo automático y la de color azul al modo manual.

Obviamente la automatización y el nuevo sistema de control permitieron mejorar la estabilidad de la temperatura, incluso en el modo manual. Esto no ocurría antes de realizarse el proyecto y el operador debía manipular repetidamente el encendido de las cargas y la configuración del termostato.

### 5.3.2 HUMEDAD

El hecho de poder visualizar una variable que indique la cantidad de agua en el aceite y la calidad del mismo, fue un logro extraordinario para el funcionamiento de la purificadora. Este dato permite decidir implícitamente al operador el tiempo que necesita recircular el aceite en el sistema.

A continuación se muestra la gráfica correspondiente a los datos tomados para la humedad, en donde se puede observar la rapidez con la que el exceso de la misma es eliminado.

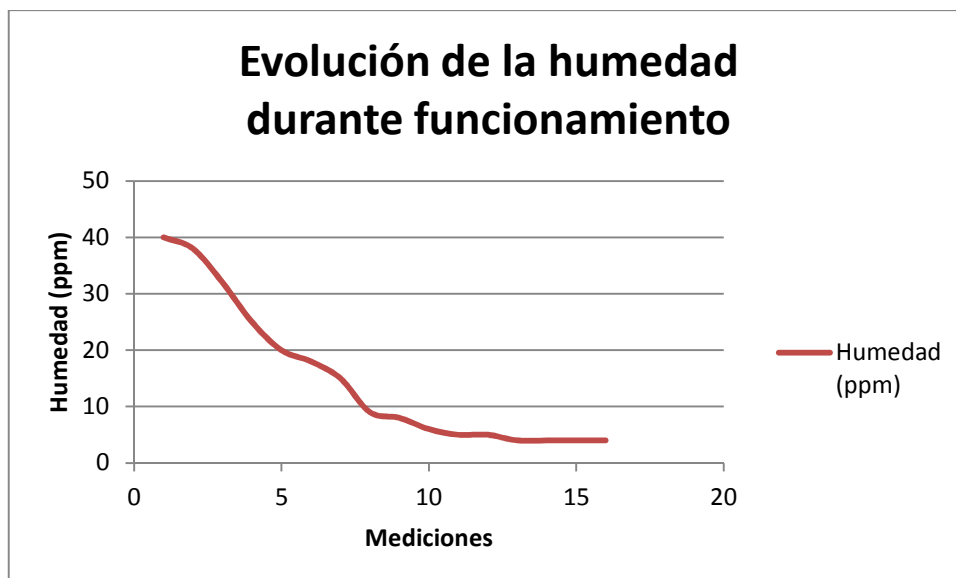


Figura 5.18 Grafico comportamiento de la humedad durante operación  
Fuente: (Autor, 2014)

### 5.3.3 CAUDAL

Un gran beneficio, luego de la repotenciación y la automatización, fue el aumento del caudal de operación que se consiguió con el mantenimiento del sistema mecánico y con la eficiencia del sistema de control. Todo el trabajo conjunto y homogéneo que ahora realiza la purificadora se nota en los valores de caudal que se tomaron durante las pruebas de funcionamiento.

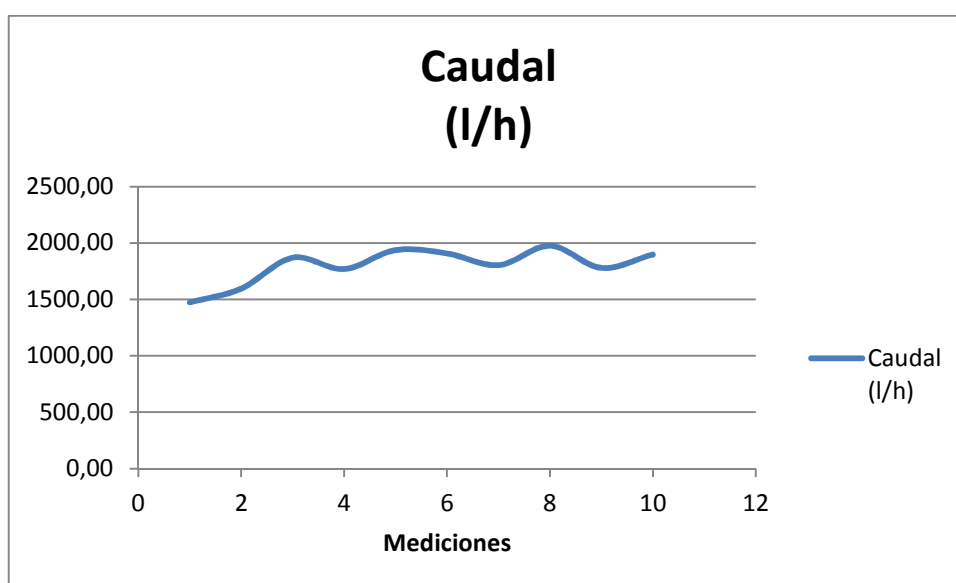


Figura 5.19 Grafico comportamiento del caudal de operación  
Fuente: (Autor, 2014)

En promedio, el sistema ahora trabaja aproximadamente a 1800 l/h. Se logró una mejora del 50% ya que previo a la realización del proyecto la misma conseguía en el mejor de los casos, un caudal de 1200 l/h.

#### 5.3.4 PROCESO

Hablando en general, el sistema de control propuesto, la nueva y moderna instrumentación, la automatización, los trabajos de mantenimiento mecánico y la repotenciación, contribuyeron con la modernización y mejora de una purificadora que se encontraba en deplorables condiciones permitiendo aprovechar al máximo las cualidades de un mecanismo que es indispensable para mantener en buen estado uno de los componentes más importantes dentro de una central termoeléctrica, los transformadores de potencia.

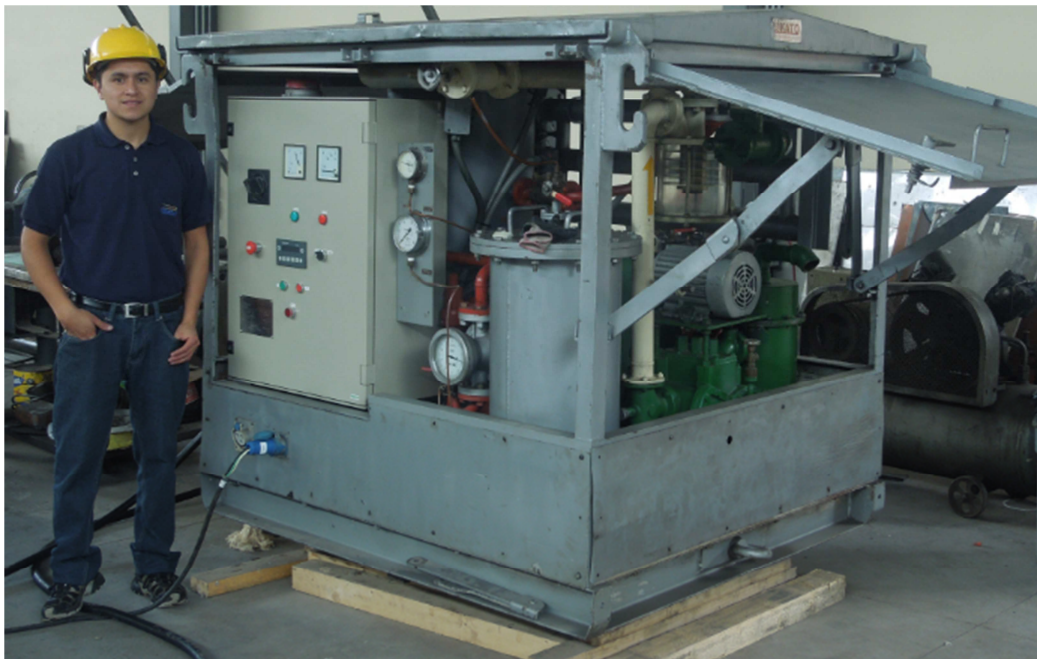


Figura 5.20 Finalización de trabajos referentes al proyecto  
Fuente: (Autor, 2014)

## **CAPÍTULO 6**

### **ELABORACIÓN DE MANUALES**

#### **6.1 MANUAL DE OPERACIÓN**

##### **6.1.1 OBJETIVO**

Familiarizar al operador de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO con el nuevo sistema de funcionamiento, para mejorar el tiempo y las maniobras de regeneración mediante los dos modos de trabajo implementados en la repotenciación y automatización de la misma.

##### **6.1.2 NOTAS DE SEGURIDAD**

Es muy importante que la persona a cargo del mantenimiento y operación de esta purificadora, lea las instrucciones de los manuales a fin de evitar contratiempos antes, durante y después del funcionamiento.

-La purificadora debe ser operada únicamente por personal autorizado y calificado para los trabajos que se requieren durante todo el proceso de regeneración de aceite dieléctrico.

-Disponer y utilizar todos los elementos de protección: guantes de nitrilo, gafas, casco, guantes para eléctrico, etc.

-Realizar siempre una inspección minuciosa de todo el sistema antes de realizar cualquier trabajo mediante las tareas programadas en el manual de mantenimiento.

-Verificar siempre las conexiones para la alimentación de la purificadora, cerciorándose que el voltaje sea 220 o 440 VAC Trifásico.



### 6.1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para un mejor entendimiento del sistema de regeneración luego de la repotenciación y automatización que se realizó, a continuación se describe los siguientes ítems.

#### 6.1.3.1 Válvulas

De acuerdo al diagrama de flujo e instrumentación correspondiente al anexo 13, se muestra a continuación una tabla con todas las válvulas del sistema, con el propósito de que el operador sepa con seguridad que válvula abrir o cerrar en los distintos trabajos que puede realizar la purificadora.

Tabla 6.1 Funcionamiento de válvulas en el sistema

ITEM	NOMENCLATURA	OBSERVACIÓN
V1-CV-100	Válvula de entrada	IN Sistema
V2-CV-100	Válvula de salida	OUT Sistema
V3-CV-100	Válvula de paso	IN tanque principal
V4-CV-100	Válvula de recirculación	By pass de tanque principal
V5-CV-100	Válvula de paso	OUT tanque principal
V6-CV-100	Válvula de purga	Tanque principal
V7-CV-100	Válvula de purga	Tanque de filtros
V8-CV-100	Válvula de purga	Salida sistema
V9-CV-200	Válvula de paso	Acople para conexión a Transformador
V10-CV-200	Válvula de purga	Condensador
SV1-CV-300	Válvula solenoide 1	Lubricación bomba vacío
SV2-CV-100	Válvula solenoide 2	Entrada aceite tanque principal
LV-CV-200	Válvula de escape vacío	Purga de humedad
VV-CV-200	Válvula de vacío	De paso
CV-CV-100	Válvula check	Antiretorno
RV1-CV-100	Válvula reguladora de presión	Recirculación

Fuente: (Autor, 2014)

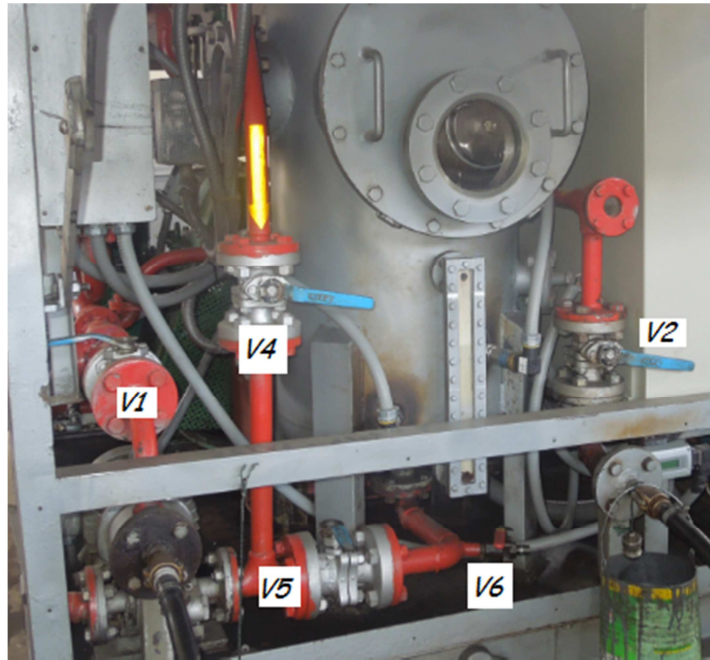


Figura 6.1 Válvulas vista frontal de la purificadora  
Fuente: (Autor, 2014)

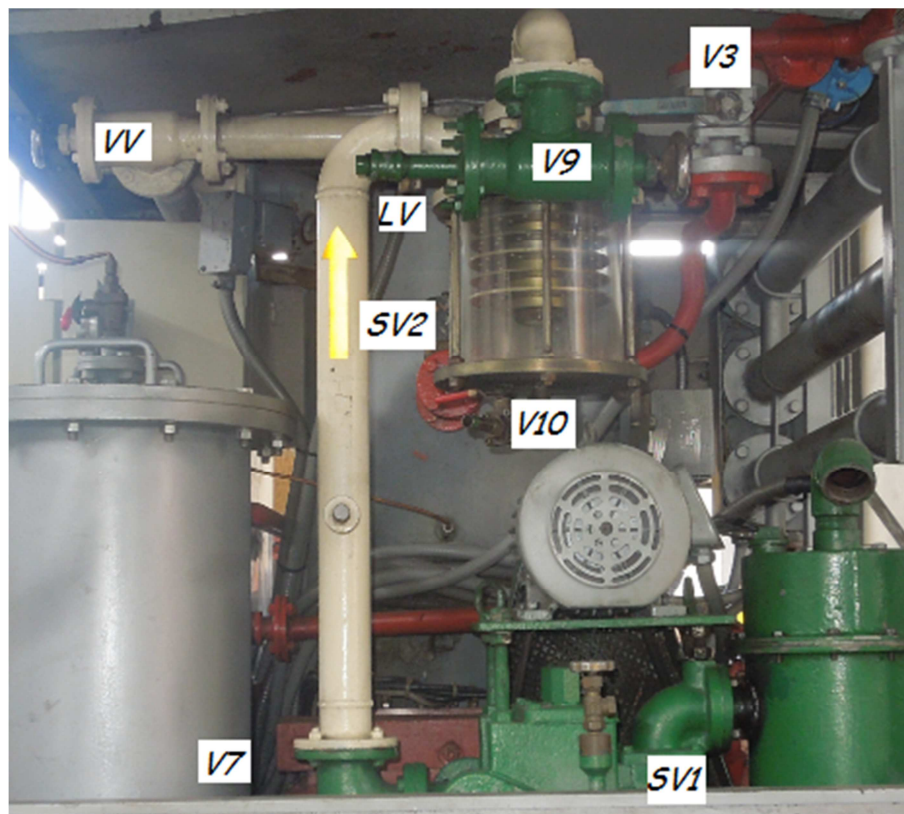


Figura 6.2 Válvulas vista posterior de la purificadora  
Fuente: (Autor, 2014)

### 6.1.3.2 Instrumentación

Es necesario identificar a los nuevos instrumentos que se conectaron al proceso y describir su comportamiento dentro de todo el sistema, ya que la mayoría de los antiguos sensores fueron deshabilitados para obtener una inspección continua de las variables desde la pantalla (display).

-Temperatura: En lugar del antiguo termómetro análogo que tomaba el valor de la temperatura en la tubería a la salida de los tres calentadores, se introdujo una RTD (PT100) de 4 cables conectados a un transmisor de 4-20 mA montado sobre la misma RTD.



Figura 6.3 Antiguo termómetro y nueva RTD  
Fuente: (Autor, 2014)

-Presión: Es necesario verificar la presión en todo el sistema, especialmente la presión de entrada al tanque de filtros y la presión del tanque principal. Para el vacío que se aplica al tanque principal se seguirá contando con el manómetro montado al lado derecho del panel de control.

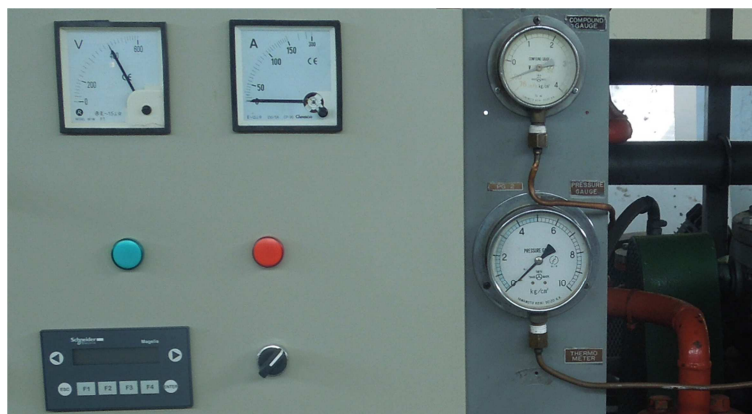


Figura 6.4 Manómetros montados en el tablero  
Fuente: (Autor, 2014)

Para la presión en la tubería antes del tanque de filtros, se introdujo un transductor de presión en lugar del control antiguo de presión que se encontraba dañado. Este transductor lleva la señal de 4-20 mA correspondiente a 0-6 bar (0-6 Kg/cm<sup>2</sup>) para que el operador visualice continuamente esta variable.



Figura 6.5 Transductor de presión y válvula de corte  
Fuente: (Autor, 2014)

-Humedad: Con el transmisor montado en la tubería de salida de aceite, el operador puede monitorear si efectivamente se está eliminando el exceso de humedad del fluido que recircula a través de la purificadora. Esta variable puede ser observada en la pantalla del panel del control o en el mismo instrumento, ya que este, posee indicador propio.

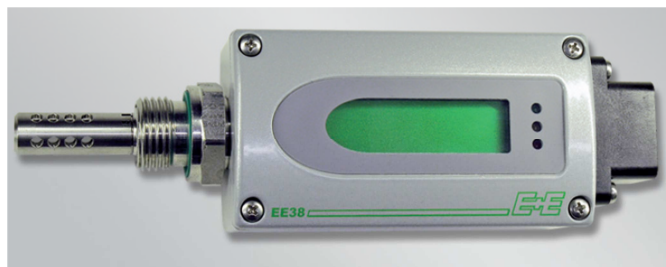


Figura 6.6 Transmisor indicador de humedad  
Fuente: (E+E ELEKTRONIK, 2012)

Este transmisor también posee un sensor que permite monitorear la temperatura a la salida de la purificadora.

-Nivel: Dentro del tanque principal, se sustituyó el switch de nivel bajo por uno nuevo y se adicione otro switch para el nivel de aceite intermedio, en total se cuentan con 4 switch distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 6.2 Funcionamiento de válvulas en el sistema

Símbolo	Función	Tipo
<b>LS3</b>	Alarma de nivel alto	Flotador
<b>LS1</b>	Límite de nivel superior	Flotador
<b>LSA</b>	Nivel normal (Intermedio)	Horquillas
<b>LS2</b>	Límite de nivel inferior	Horquillas

Fuente: (Autor, 2014)

LS2 y LSA son los dos nuevos detectores de nivel introducidos en el tanque principal.



Figura 6.7 Detectores de nivel montados en el tanque principal

Fuente: (Autor, 2014)

-Sensores ópticos: Los sensores ópticos del tanque principal, fueron rehabilitados y detectan presencia de nubosidad (burbujas) ocasionada cuando el aceite está muy caliente y el nivel es alto, para abrir la válvula solenoide LV y purgar aceite para evitar el paso hacia la tubería de vacío.



Figura 6.8 Receptor sensor óptico y electroválvula LV  
Fuente: (Autor, 2014)

### 6.1.3.3 Tablero de control

El nuevo tablero de control posee menor cantidad de elementos de mando y una pantalla que permite al operador monitorear el estado del proceso y las variables en todo el sistema.



Figura 6.9 Tablero de control  
Fuente: (Autor, 2014)

A continuación se describe uno a uno la funcionalidad de dichos elementos:

- Interruptor principal: Permite alimentar el sistema de control y de potencia del tablero.



Figura 6.10 Interruptor principal grande  
Fuente: (Autor, 2014)

- Voltímetro y Amperímetro: Son medidores de voltaje y corriente, respectivamente, que muestran la alimentación y el consumo de las cargas.



Figura 6.11 Voltímetro y amperímetro  
Fuente: (Autor, 2014)

- Interruptor principal de control: Permite ubicar el modo de funcionamiento de la purificadora, manual en lado izquierdo y automático en el lado derecho.



Figura 6.12 Interruptor negro pequeño  
Fuente: (Autor, 2014)

-Pulsador verde: Sirve para iniciar el proceso de purificación o regeneración en el modo automático.



Figura 6.13 Pulsador verde  
Fuente: (Autor, 2014)

-Pulsador rojo: Sirve para detener todo el sistema en cualquiera de los dos modos, manual o automático.



Figura 6.14 Pulsador rojo  
Fuente: (Autor, 2014)

-Luz piloto verde: Indica el funcionamiento normal del modo automático.

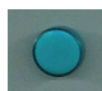


Figura 6.15 Luz piloto verde  
Fuente: (Autor, 2014)

-Luz piloto roja: Indicador de alguna anomalía producida en el sistema, alarma.



Figura 6.16 Luz piloto roja  
Fuente: (Autor, 2014)

-Pulsador vino: Permite resetear el sistema de control ante cualquier eventualidad que ocasione una alarma, siempre y cuando está se haya solucionado.



Figura 6.17 Pulsador vino RESET  
Fuente: (Autor, 2014)

-Pulsador paro de emergencia: Permite al operador detener todo el sistema en caso de alguna emergencia.



Figura 6.18 Pulsador paro emergencia  
Fuente: (Autor, 2014)

-Pantalla (Display): Es una interfaz sencilla que proporciona al operador los valores de temperatura, presión, humedad, nivel que se involucran en la regeneración del aceite. Permite además monitorear el proceso y el estado de los actuadores.

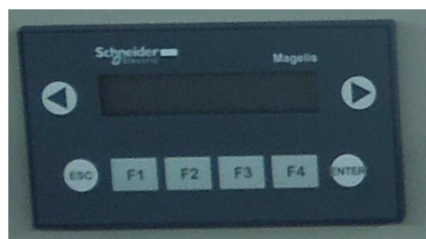


Figura 6.19 Pantalla magelis  
Fuente: (Autor, 2014)



Las teclas con el triángulo que se encuentran a los dos extremos del display, permiten desplazar los paneles hacia el lado izquierdo o derecho para verificar todas las variables y el proceso.

Con la tecla ESC se retorna al panel anterior o se ignora cualquier mensaje de error. La tecla ENTER no fue programado para ninguna función.

Las teclas F1, F2, F3, F4 serán explicadas en el modo de operación manual.

#### 6.1.3.4 Pantalla (Display)

La programación de la interfaz fue realizada para que el operador pueda desplazarse hacia la izquierda o derecha y verifique en cada panel los valores y el estado del proceso, de esta manera se planteó 7 paneles, descritos a continuación:

-Panel 1: Bienvenida



Figura 6.20 Panel de bienvenida  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 2: Temperatura salida de calentadores, entrada tanque principal / RTD, rango 0-100 °C



Figura 6.21 Panel de temperatura RTD  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 3: Presión entrada tanque de filtros, Transductor de presión, rango 0-6 bar (0-6 kg/cm<sup>2</sup>)

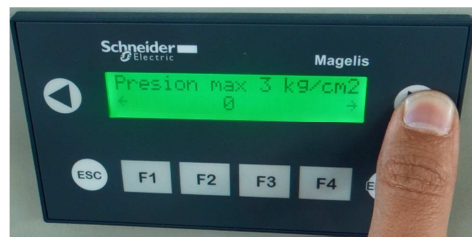


Figura 6.22 Panel de presión  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 4: Temperatura de salida de aceite, transmisor indicador de humedad y temperatura, rango 0-100 °C.



Figura 6.23 Panel de temperatura de salida  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 5: Humedad salida del sistema, transmisor indicador de humedad y temperatura, rango 0-100 ppm.

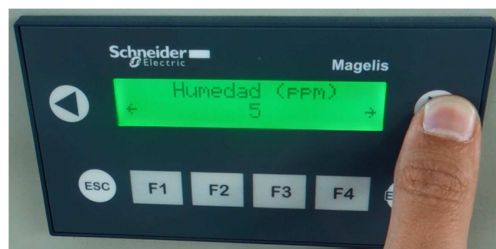


Figura 6.24 Panel de humedad  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 6: Nivel de aceite en el tanque principal:



Figura 6.25 Panel de nivel de aceite  
Fuente: (Autor, 2014)

-Panel 7: Estado de los actuadores (Cargas) en el proceso.

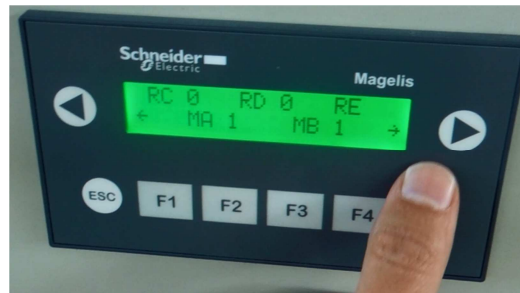


Figura 6.26 Panel de estado del proceso Fuente: (Autor, 2014)

En este panel se indica con el cero (0) cuando el actuador está apagado y con el uno (1) si está encendido.

RC es el calentador n.- 1 (C)

RD es el calentador n.- 2 (D)

RE es el calentador n.- 3 (E)

MA es el motor de la bomba de vacío

MB es el motor de la bomba de aceite

#### 6.1.4 DESCRIPCIÓN DE MODOS DE OPERACIÓN

##### 6.1.4.1 Sistema de válvulas

En primera instancia se muestra todas las válvulas con un cuadro, independientemente del modo de funcionamiento con el que el operador desee trabajar. El operador puede revisar el anexo 13 referente al plano correspondiente al diagrama de flujo e instrumentación para mejor comprensión.

Las válvulas con el número del 1 al 10 son manuales y el operador debe abrir o cerrar las mismas de acuerdo al tipo de trabajo que vaya a ejecutar con la purificadora. SV1, SV2 y LV se abrirán o cerrarán de forma automática mediante las salidas del PLC.

La válvula de vacío (VV) debe ser abierta justo antes de encender la bomba de vacío en el modo manual o antes de presionar el pulsador verde

en el modo automático. La manipulación de esta válvula es muy importante para el correcto funcionamiento del sistema, ya que si no se abre y la bomba de vacío está trabajando, puede ocasionar daños en la misma debido a la sobre presión.

Cuando el proceso de purificación haya culminado, se debe cerrar completamente esta válvula (VV) para que no ingrese aire y evitar que se contamine el aceite que ya fue regenerado.

Tabla 6.3 Posición de las válvulas en los modos de trabajo

<b>Modo de operación</b>	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	SV1	SV2	VV	LV
Re-circulación Interna														
Filtración														
Operación Continua														

Fuente: (Autor, 2014)

Cuadro vacío: Válvula abierta

Cuadro pintado: Válvula cerrada

La recirculación interna permite recuperar las propiedades dieléctricas del aceite que se encuentre dentro del sistema. Aquí se calienta el aceite y se elimina el exceso de humedad con el vacío, además se filtra mediante las tierras fuller y los fieltros de tela.

La filtración permite circular el aceite solo a través del tanque de filtros sin calentarlo ni aplicando vacío, esto sirve cuando se sabe que el aceite viene con lodos pero no con humedad.

La operación continua es el trabajo más demandado para la purificadora, ya que garantiza la regeneración completa del aceite de cualquier elemento al que se lo conecte.

#### 6.1.4.2 Modo de operación MANUAL

Aquí el operador decide, según el tipo de trabajo a realizarse, que actuadores encender.

- Tomar en cuenta las notas de seguridad y leer previamente la descripción del sistema.

- Asegurarse de que los conectores y el cable de alimentación se encuentren siempre en buen estado. Verificar que el voltaje sea 220 VAC trifásico / 60 Hz y conectarlo en el enchufe derecho más pequeño bajo el panel de control.



Figura 6.27 Enchufe y conector de alimentación  
Fuente: (Autor, 2014)

El conector para 440 VAC se encuentra deshabilitado, si requiere utilizarlo debe conectar los cables en las borneras correspondientes para dicho voltaje.



Figura 6.28 Borneras de alimentación  
Fuente: (Autor, 2014)

- Una vez conectado el cable, usted podrá verificar en el voltímetro el valor del voltaje, este siempre debe marcar alrededor de 400-440 VAC.

-Escoja el tipo de trabajo y coloque todas las válvulas manuales en la posición correcta, verifique el estado de las mismas y asegúrese bien antes de encender la purificadora.

-Gire a la derecha el interruptor principal grande. En ese instante se encenderá la pantalla (display verde). Usted puede examinar las variables y el estado del proceso pulsando las teclas de izquierda o derecha para cambiar de paneles antes encender cualquier carga.



Figura 6.29 Teclas de desplazamiento  
Fuente: (Autor, 2014)

-Coloque el interruptor negro pequeño en el lado izquierdo (modo manual).



Figura 6.30 Interruptor negro pequeño  
Fuente: (Autor, 2014)

- El operador puede encender como desee los actuadores, considerando el control básico que existía anteriormente, por ejemplo, no puede encender ninguna resistencia mientras no se haya encendido la bomba de vacío. La bomba de aceite no se encenderá si el nivel del tanque está bajo.

Las teclas que energizan los actuadores son las siguientes:



Figura 6.31 Teclas para encendido de cargas  
Fuente: (Autor, 2014)

F1: Enciende la bomba de aceite (de engranes).

F2: Enciende la bomba de vacío.

F3: Enciende el primer calentador.

F4: Enciende el segundo calentador.

-Para apagar todo, presione el pulsador rojo. Si requiere dejar encendido solo una bomba es necesario que primero apague todo con el pulsador y luego vuelva a encender solo lo que necesite.

-Generalmente se enciende primero la bomba de aceite mientras se logra estabilizar el nivel dentro del tanque principal. Es necesario verificar el sentido de giro de los dos motores, en caso de que estén invertidos hay que desconectar todo y cambiar de bornera a dos cables de la línea de alimentación. Al inicio es necesario purgar el aire del tanque de filtros con la válvula que se encuentra en la tapa superior, para evitar que el tanque se presurice.

-Usted puede mantener un nivel adecuado manipulando las válvulas V1, V2, V4 y V5 ya que el control del nivel en este modo no es tan eficiente como en el modo automático.

-Una vez estabilizado el nivel encienda la bomba de vacío, seguido del número de calentadores que desee. Tome en cuenta la cantidad de aceite a regenerar, la temperatura ambiente y el lugar (altitud) de trabajo. Sitúe la perilla del termostato en 50 °C máx. Cuando la temperatura alcance dicho

valor los calentadores de apagarán automáticamente, si la temperatura desciende nuevamente se volverán a encender solos.

-El proceso continuará y el operador puede ir monitoreando los valores de presión, temperatura, humedad, etc.

-Cuando ocurra algo fuera de lo normal en el sistema, una baliza dará el aviso y la luz piloto roja parpadeará continuamente. Mientras se arregla el inconveniente se puede mantener presionado el pulsador del reset para que la baliza deje de sonar. Los posibles causantes de alarma son:

Nivel alto de aceite dentro del tanque principal

Sobrepresión en el tanque de filtros

Exceso de temperatura  $\geq 65^{\circ}\text{C}$

-El operador debe cerciorarse de que el problema haya sido solucionado antes de volver a arrancar los actuadores de la purificadora.

-Para detener el funcionamiento luego de concluido el trabajo, presione el pulsador rojo y luego gire hacia la izquierda el interruptor principal grande. Cierre la válvula (VV) de vacío y luego cierre el resto de válvulas en todo el sistema.



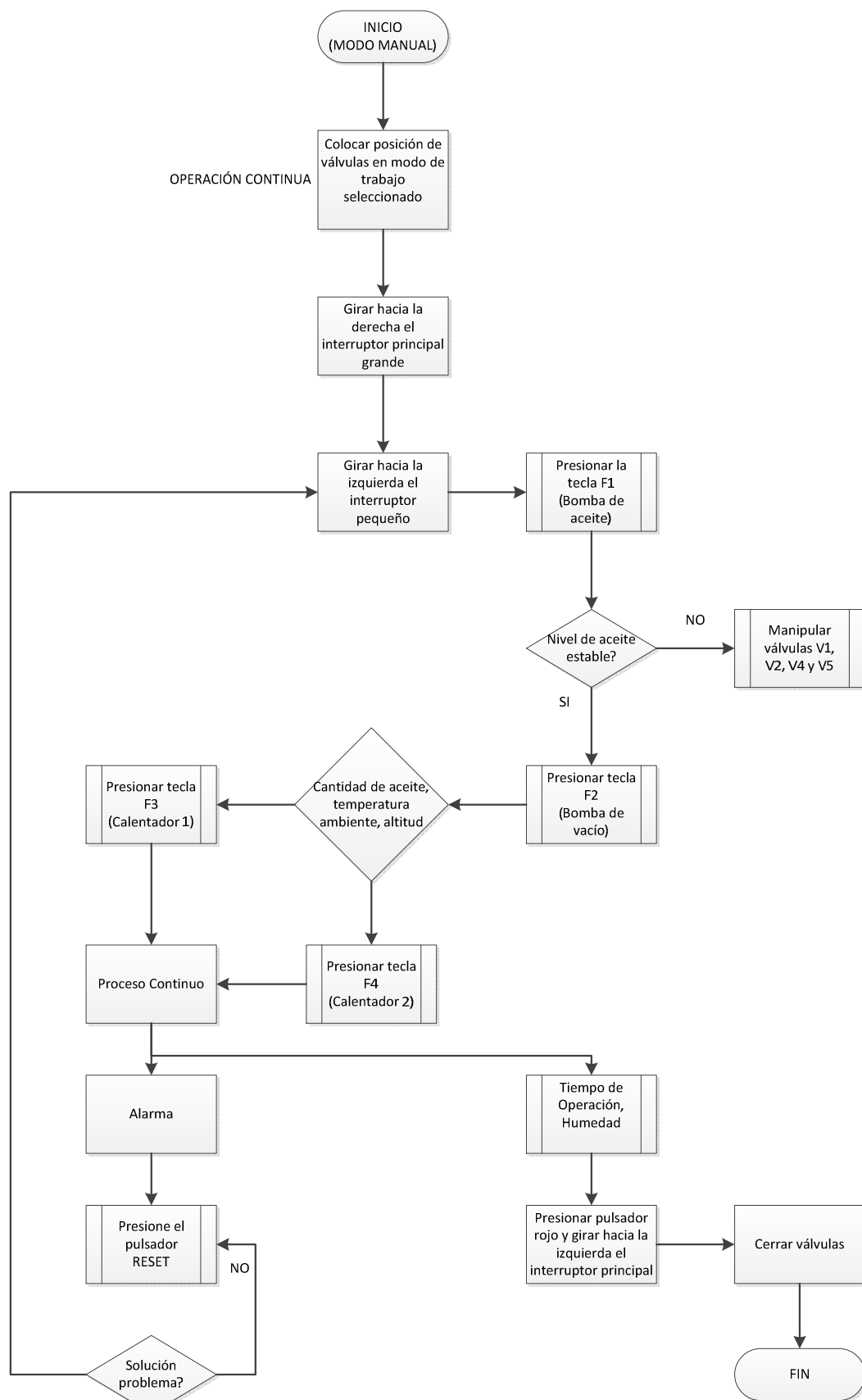


Diagrama de flujo proceso modo manual  
Fuente: (Autor, 2014)

### 6.1.4.3 Modo de operación AUTOMÁTICO

En este modo de operación basta con presionar un pulsador y todo el sistema funcionará automáticamente, corrigiendo perturbaciones mediante la activación o desactivación de los actuadores de forma autónoma.

- Tomar en cuenta las notas de seguridad y leer previamente la descripción del sistema.

- Al igual que en el modo anterior hay que asegurarse que el voltaje sea 220 VAC trifásico / 60 Hz y conectarlo en el enchufe derecho más pequeño bajo el panel de control. Considerar también el sentido de giro de los motores y cambiar la posición de dos cables de alimentación en las borneras en caso de que el giro esté invertido.

- Escoja el tipo de trabajo y coloque todas las válvulas manuales en la posición correcta, verifique el estado de las mismas y asegúrese bien antes de encender la purificadora.

- Gire a la derecha el interruptor principal grande. En ese instante se encenderá la pantalla (display verde). Usted puede examinar las variables y el estado del proceso pulsando las teclas de izquierda o derecha para cambiar de paneles antes encender cualquier carga.

- Coloque el interruptor negro pequeño en el lado derecho (modo automático).

- Presione el pulsador Verde para iniciar. Se encenderá la luz piloto verde.



Figura 6.32 Frente del panel de control  
Fuente: (Autor, 2014)

-Este modo solo requiere de supervisión continua en la pantalla y manipulación de válvulas en caso de una alarma.

-Cuando ocurra algo fuera de lo normal en el sistema, una baliza dará el aviso y la luz piloto roja parpadeará continuamente. Mientras se arregla el inconveniente se puede mantener presionado el pulsador del reset para que la baliza deje de sonar. Los posibles causantes de alarma son:

Nivel alto de aceite dentro del tanque principal

Sobrepresión en el tanque de filtros

Exceso de temperatura  $\geq 65^{\circ}\text{C}$

-El operador debe cerciorarse de que el problema haya sido solucionado antes de volver a presionar el pulsador verde.

-Para detener el funcionamiento luego de concluido el trabajo, presione el pulsador rojo y luego gire hacia la izquierda el interruptor principal grande. Cierre la válvula (VV) de vacío y luego cierre el resto de válvulas en todo el sistema.

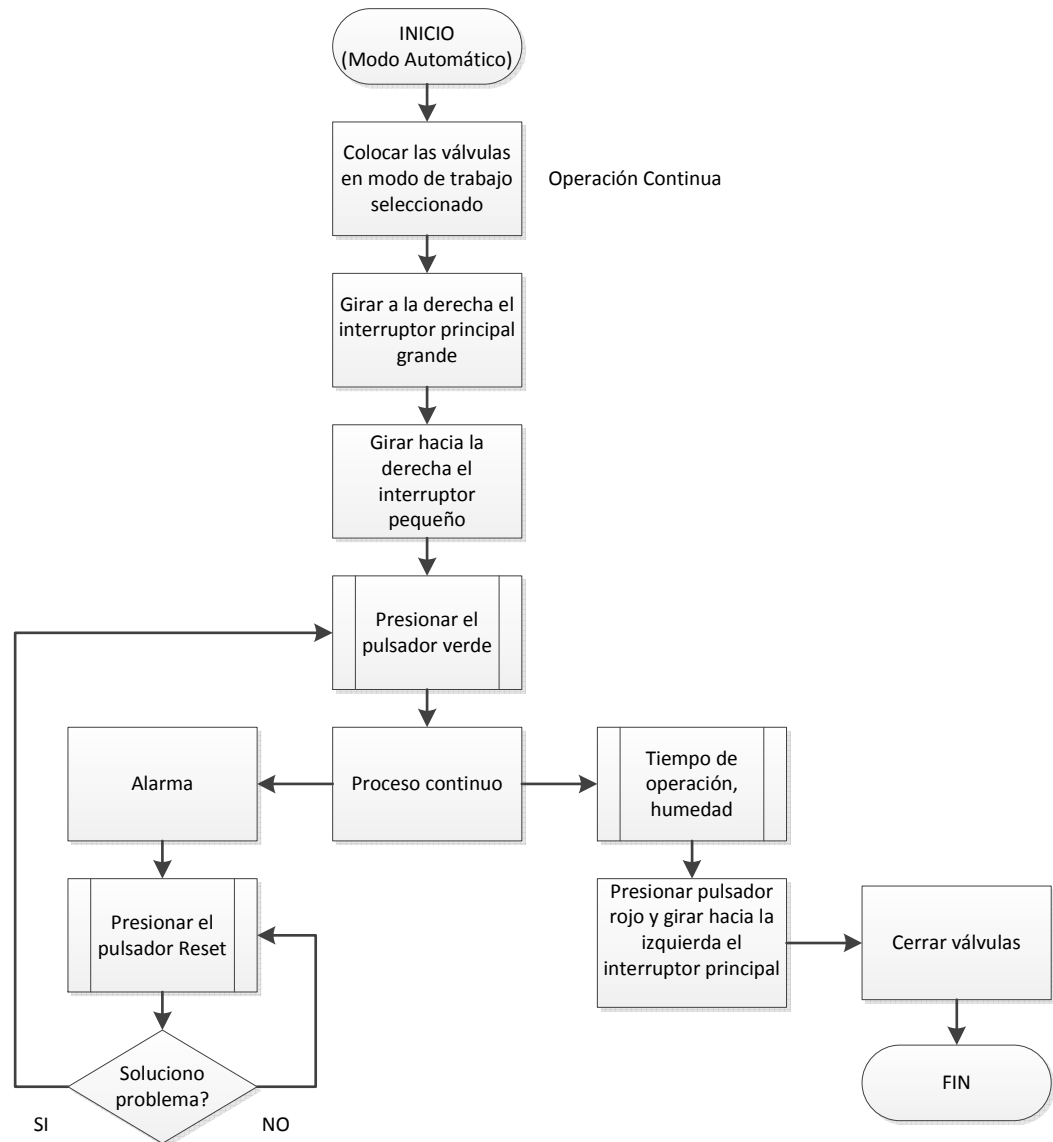


Diagrama de flujo proceso modo automático

Fuente: (Autor, 2014)

En los dos métodos se dispone del pulsador de paro de emergencia, en caso de cualquier eventualidad que salga de las manos del operador.

## **6.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO**

### **6.2.1 OBJETIVO**

Establecer criterios que permitan al operador realizar tareas programadas para dar mantenimiento preventivo a las diferentes partes que conforman el sistema de regeneración de la purificadora de aceite dieléctrico marca KATO cada cierto tiempo, así como establecer soluciones rápidas ante problemas que requieran de mantenimiento correctivo.

### **6.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **6.2.2.1 Sistema Mecánico**

##### **6.2.2.1.1 Tubería**

Tal y como se menciona en el capítulo 2 del escrito del proyecto, se recomienda realizar un mantenimiento a fondo de la tubería mediante la técnica del Flushing al menos 1 vez cada 2 años, dependiendo de la utilidad que se dé a la purificadora.

El Flushing es una limpieza a fondo de la tubería. Existen algunos métodos para la ejecución de este procedimiento, los mismos que se basan en normas, especialmente cuando se trata de tubería de gran tamaño que transporta crudo.

En el caso de la purificadora, por tratarse de un sistema pequeño con el diámetro nominal de 1 ¼ in se puede realizar el Flushing con un PIG pequeño (pipe inspection gauge) que es un dispositivo al 95% del diámetro de la tubería formado por dos anillos de polímero a los extremos y es impulsado por aire a muy alta presión mediante un compresor. También se puede hacer circular por todo el sistema el mismo fluido al doble de la

velocidad de trabajo mediante una bomba (No la de trabajo) que permita el caudal requerido.

Para cualquiera de los dos procedimientos es muy necesario desconectar actuadores, bombas, filtros, válvulas, etc.)

#### 6.2.2.1.2 Filtros del tanque principal

Luego de que la purificadora haya realizado aproximadamente 10 horas de servicio o el equivalente a tres transformadores de media potencia, hay que abrir la tapa visor del tanque principal y verificar el estado de los tres filtros, si se encuentran demasiado sucios es imprescindible una reemplazo, si no se puede realizar un trabajo más y luego sustituir.



Figura 6.33 Mantenimiento de filtros en el tanque principal  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 6.2.2.1.3 Tanque principal

Por lo menos una vez cada dos años, se debe abrir la tapa visor, el visor de rango de nivel y la brida inferior para realizar una limpieza profunda del tanque, ya que en la parte superior de la misma se tiende a generar oxidación que luego puede formar una especie de carbonización debido a la temperatura de trabajo que fácilmente se desprenden y pueden contaminar el aceite.

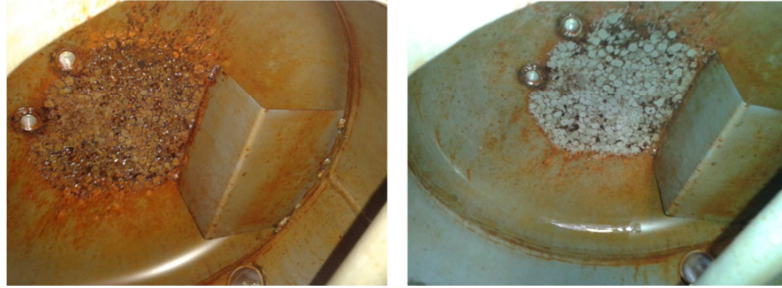


Figura 6.34 Mantenimiento de tanque principal

Fuente: (Autor, 2014)

Para esta limpieza puede utilizar el mismo aceite dieléctrico con trapos. Es muy importante el uso de guantes de nitrilo, gafas y protección para las vías respiratorias. La válvula V5 siempre debe permanecer cerrada durante este trabajo para evitar que la suciedad llegue a la bomba, puede purgar el aceite sucio por la brida inferior que se abrió o por la válvula 6.

#### 6.2.2.1.4 Aceite bomba de aceite vacío

Como una bomba de vacío carece de filtro, el aceite es más propenso a la saturación de humedad u otros contaminantes, por esta razón es recomendable cambiar el aceite por lo menos 1 vez cada dos trabajos. Puede que el aceite dieléctrico traiga consigo mucha humedad, un indicador es el color del lubricante de la bomba de vacío que puede verificarlo en el visor del tanque. Cuando el aspecto es lechoso, es imprescindible un cambio de aceite de vacío, asegúrese de que el aceite que utiliza es aceite para vacío y siempre mantenga el tanque limpio.



Figura 6.35 Mantenimiento de tanque y aceite de vacío

Fuente: (Autor, 2014)

#### 6.2.2.1.4 Tanque de filtros

Al igual que los filtros del tanque principal, es necesario verificar el estado de las tierras fuller y de los fieltros de tela. Remplace los fieltros de tela si se encuentran sucios luego de 10 horas de trabajo. Si las tierras fuller tienen un aspecto muy negro, envíe las mismas al laboratorio para una limpieza profunda.



Figura 6.36 Mantenimiento de tierras fuller  
Fuente: (Autor, 2014)

### 6.2.2.2 Instrumentación

#### 6.2.2.2.1 RTD

Para garantizar la medición del valor de temperatura que proporcione este instrumento, es fundamental que el operador realice una calibración del mismo una vez cada año. De esta manera se asegura que el proceso de desgasificación en el tanque principal no se vea perjudicado por errores de medición.

Cuando vaya a calibrar, realice una limpieza completa de la RTD. Cambie de teflón, limpie la tubería en el tramo de inserción y con ayuda de un limpia contactos dé mantenimiento al transmisor de temperatura que se encuentra encapsulado en la parte posterior de la RTD.

Para la calibración, sírvase de la ayuda del calibrador de procesos. Desconecte los 4 cables de la RTD que están en el transmisor y conéctelos al calibrador. Cuando verifique los valores, con ayuda de personal técnico de



SCADA compare estos y de ser necesario cambie el rango de la variable %IW2.1 (RTD) en la programación del PLC.



Figura 6.37 Mantenimiento RTD y transmisor de temperatura  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 6.2.2.2.2 Detectores de nivel

Cuando realice mantenimiento del tanque principal, aproveche y verifique el correcto funcionamiento de todos los switch de nivel. Limpie adecuadamente cada elemento y considere no tomar por las horquillas a los detectores nuevos cuando los manipule.

Cambie de teflón en las roscas de conexión al proceso de los detectores nuevos. Para comprobar el buen funcionamiento, acerque el imán probador al punto de referencia en el instrumento y observe el cambio de color de los led.

Verifique la continuidad en las borneras del tablero de control con un multímetro, para los switch antiguos.



Figura 6.38 Mantenimiento de flotadores antiguos  
Fuente: (Autor, 2014)



Figura 6.39 Mantenimiento detectores de nivel nuevos  
Fuente: (Autor, 2014)

### 6.2.2.2.3 Transductor de presión

En la línea de descarga de la bomba de aceite, justo antes de que el fluido ingrese al tanque de filtros fue instalado el transductor de presión con una válvula de corte para cuando se desee realizar mantenimiento. Cierre esta válvula y desconecte el instrumento para realizar verificar el rango de medición con el calibrador de presión, recuerde que el sensor tolera máximo 6 Bar de presión, no exceda este valor con el calibrador. De ser necesario al igual que la RTD, usted puede cambiar el rango de la variable %IW2.0 (Presión) en la programación del PLC. No se olvide de reemplazar el teflón cuando vuelva a conectar el transductor.



Figura 6.40 Mantenimiento transductor presión  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 6.2.2.2.4 Transmisor indicador de humedad

Cuando manipule este instrumento, por favor hágalo con precaución. No es necesario calibrar este sensor, ya que el elemento primario es bastante frágil. Simplemente realice una limpieza de la tubería en el tramo de salida de aceite y en el agujero de inserción, cambie de teflón.

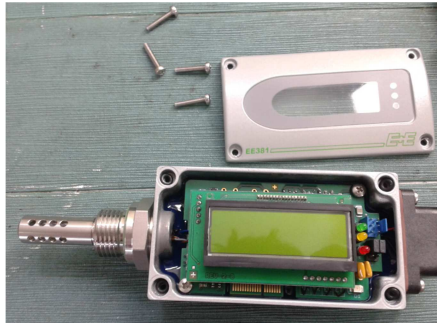


Figura 6.41 Mantenimiento transmisor de humedad  
Fuente: (Autor, 2014)

#### 6.2.2.3 Sistema Eléctrico

Luego de cada trabajo que realiza la purificadora siempre quedan restos de aceite regados por todo el sistema debido a la manipulación de mangueras de acople rápido. Es una buena costumbre limpiar toda la purificadora después de cada operación, así se logra mantener en buen estado las mangueras BX, los motores eléctricos, el transformador, las bombas, la instrumentación, etc.

Una forma de precautelar cualquier inconveniente con los motores eléctricos es verificar cuanto calor disipan tocando la carcasa con la mano, si están muy calientes pueda que algo ocurra, es necesario verificar corrientes, conexiones, estado de las protecciones.

Debido a las condiciones en las que se transporta a la purificadora, el tablero de control puede sufrir daños. Antes de cada trabajo abra el panel de control y verifique que nada se haya desconectado o salido de su lugar, en

caso contrario con ayuda de los planos y el etiquetado vuelva a conectar asegurándose de que el cableado sea el correcto.

Tabla 6.4 Cronología de tareas mantenimiento preventivo

MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Antes de cada trabajo	Durante la operación	Al finalizar el trabajo	Después de 10 horas de operación	1 vez al año	1 vez cada 2 años
Flushing de tubería						X
Cambio filtros tanque principal				X		
Limpieza tanque principal						X
Cambio aceite bomba de vacío				X		
Cambio de fieltros de tela (tanque de filtros)				X		
Limpieza de tierras fuller				X		
Calibración y mantenimiento RTD					X	
Mantenimiento switch de nivel						X
Calibración y mantenimiento Transductor de presión					X	
Mantenimiento transmisor de humedad						X
Limpieza de todo el sistema			X			
Verificar calor disipado carcasa motores		X				
Verificar cableado tablero de control	X					

Fuente: (Autor, 2014)

### 6.2.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Ningún elemento, de lo que respecta el sistema de la purificadora, está exento de cualquier tipo de daño. Puesto que no se puede predecir cuándo o cómo va a ocurrir inconvenientes que dificulten la operación y trabajo normal del sistema, a continuación se presentan posibles causas y soluciones que ameritan un mantenimiento correctivo.

## 6.2.3.1 Sistema mecánico

Tabla 6.5 Problemas mantenimiento mecánico

Problema	Causa	Solución
<b>Acumulación de aceite en el piso</b>	Fuga de aceite en brida	Verificar orines y reajustar brida
	Fuga en acople	Colocar nuevo teflón y reajustar
<b>Acumulación de aceite en la parte superior del transformador</b>	Exceso de aceite purgado solenoide (LV)	Acoplar una manguera de cobre a un recipiente de purga
<b>Sobrepresión en el tanque principal</b>	Acumulación de suciedad en tubería	Limpieza del tramo tapado
	Manómetro deteriorado	Reparación o reemplazo
<b>Escaso goteo de aceite en el tanque principal</b>	Filtros de desgasificación sucios	Cambio de filtros
<b>Fuerte sonido de la bomba de aceite (de engranajes)</b>	Sellos y empaques rotos	Cambio de orines
	Falla de rodamientos	reemplazo de rodamientos
	Succión en vacío	Abrir válvulas, verificar nivel de aceite
	Desgaste abrasivo	Realizar mantenimiento profundo
<b>Sobrepresión en el tanque de filtros</b>	Tierras fuller muy sucias	Limpieza de tierras fuller
	Filtros de tela sucios	Cambio de filtros
	Acumulación de suciedad en tubería	Limpieza del tramo tapado
<b>Fuga de aceite por válvula reguladora de presión</b>	Manómetro deteriorado	Reparación o reemplazo
	Empaque o resorte roto	mantenimiento de válvula
<b>Caudal de trabajo <math>\leq 1000</math> l/h</b>	Problemas en la bomba de aceite	mantenimiento emergente o reemplazo
	Acumulación de suciedad en tubería	Limpieza de tramo de tubería
	Problemas con el Flujómetro	Mantenimiento
<b>Humedad no desciende luego de operación con la purificadora</b>	Entrada de aire, sistema no hermético	Válvula de purga abierta, fugas de aire en visores
	Problemas con la bomba de vacío	Cambio de aceite, mantenimiento

Fuente: (Autor, 2014)

### 6.2.3.2 Sistema Eléctrico y de control

Debido a la extensión de la tabla, la misma continuará en la siguiente hoja.

Tabla 6.6 Problemas mantenimiento eléctrico

Problema	Causa	Solución
<b>Temperatura no desciende</b>	Medición errónea de la RTD	Calibrar temperatura y cambiar rango en la programación del PLC
	Termostato mal ubicado	Minorar la temperatura en la perilla del termostato
<b>Exceso de aceite en el condensador / continuo nivel alto de aceite</b>	Switch de alarma LS3 dañado	Verificar continuidad en borneras
	Solenoides (LV) no se abre para purgar	Sensores ópticos no alineados
	Switch de límite superior LS1 dañado	Verificar continuidad en borneras
<b>Bomba de aceite hace ruido fuerte</b>	Problema con el detector límite inferior (LS2)	Verificar cambio de luces led en el instrumento
	Válvulas cerradas	Abrir válvulas
<b>Escaso goteo de aceite por los filtros del tanque principal</b>	Solenoides (SV2) no se abre	Verificar cableado en tablero de control
	Problema con el detector de nivel normal (LSA)	Verificar cambio de luces led en el instrumento
<b>Humedad no desciende luego de la operación</b>	Problema con el transmisor de humedad	Verificar funcionamiento y cableado
<b>Sobrepresión tanque de filtros</b>	Medición errónea del transductor de presión	Calibrar presión y cambiar rango en la programación del PLC
<b>Motor de la bomba de aceite no arranca</b>	Guarda motor conmutó	Verificar corriente de arranque, y parametrizar correctamente en el guardamotor
	Salida del PLC desconectada	Verificar cableado hacia la bobina del contactor del motor de la bomba de aceite (KB)
	Pulsador o tecla disfuncionales	Verificar cableado de elementos de mando, continuidad y cableado.
	Inadecuado nivel de aceite	Verificar nivel y posibles daños del detector de nivel
	Problemas con el motor, sobre-calentado	Verificar bobinado del motor
<b>Motor de la bomba de vacío no arranca</b>	Guardamotor conmutó	Verificar corriente de arranque, y parametrizar correctamente en el guardamotor
	Salida del PLC desconectada	Verificar cableado hacia la bobina del contactor del motor de la bomba de aceite (KB)
	Pulsador o tecla disfuncionales	Verificar cableado de elementos de mando, continuidad y cableado.
	Fase perdida	Verificar el cableado hacia el motor
	Problemas con el motor, sobre-calentado	Verificar bobinado del motor

<b>Calentadores no encienden</b>	Bomba de vacío apagada	Energizar la bomba de vacío
	Temperatura de termostato baja	Colocar la perilla del termostato en 50 °C
	Medición errónea de la RTD	Calibrar temperatura y cambiar rango en la programación del PLC
	Switch de nivel conmutado	Verificar continuidad en borneras
<b>Sonido fuerte de la bomba de vacío</b>	Pulsador o tecla disfuncionales	Verificar cableado de elementos de mando, continuidad y cableado.
	Verificar color y nivel de aceite de vacío	Cambiar aceite de la bomba de vacío
	Problemas solenoide SV1	Verificar funcionamiento y cableado
<b>Alarma no se detiene</b>	Pulsador reset dañado	Verificar funcionamiento y cableado
	Medición errónea del transductor de presión	Calibrar presión y cambiar rango en la programación del PLC
	Medición errónea de la RTD	Calibrar temperatura y cambiar rango en la programación del PLC
<b>Ningún actuador se apaga</b>	Switch de nivel LS3 conmutado	Verificar continuidad en borneras
	Problemas con el pulsador rojo	Verificar funcionamiento y cableado
<b>La pantalla display no enciende</b>	Cable de red	Verificar conexión plc-pantalla
	Fuente de alimentación desconectada	Verificar cables de alimentación al PLC

Fuente: (Autor, 2014)

La mayoría de los problemas anteriormente mencionados son posibilidades que se pueden dar por el uso de la purificadora conforme pasa el tiempo. Definitivamente no es posible describir todos los inconvenientes que acarrear un mantenimiento correctivo, sin embargo el personal técnico está capacitado para analizar el problema antes de tomar una decisión, este manual es una guía que puede ayudar a encontrar soluciones adicionales al operador.

Un mantenimiento preventivo continuo y disciplinado es la única manera de evitar problemas que demanden mayores pérdidas.

## **CAPÍTULO 7**

### **ANÁLISIS Y PRUEBAS DE CALIDAD PARA EL ACEITE**

#### **DIELÉCTRICO REGENERADO**

Posterior a todo el desarrollo técnico ejecutado en la purificadora de aceite dieléctrico, es fundamental realizar pruebas que permitan conocer la calidad del aceite regenerado mediante normas ASTM establecidas para este tipo de fluidos.

En el capítulo 1, se explicó brevemente las características de 5 normas. A pesar de que en el perfil se mencionó solamente estas cinco, el laboratorio de control químico de la empresa elabora informes con 7 normas ASTM para verificar el estado de muestras de aceite tomadas de los transformadores, en este capítulo se profundizará todas estas pruebas.

Vale la pena recalcar, que el análisis de estas pruebas contribuye a determinar, principalmente, la cantidad de agua impregnada en el papel aislante del transformador y el estado de degradación del aceite; considerando que el estado de degradación del aceite depende del porcentaje de acidificación que posee el mismo, y que de igual forma afecta las propiedades del papel.

Ninguna de las pruebas puede dar un indicador preciso del estado del aceite dieléctrico, si son analizadas individualmente. Es necesario siempre realizar un análisis en conjunto, para tomar decisiones que puedan implicar mantenimiento del transformador.

Como las normas establecidas por la ASTM, son mayormente aplicables para aceites dieléctricos nuevos, nos guiaremos en una serie de criterios y



consideraciones propuestas por la compañía S.D. Myers, las mismas que se basan en el estudio de más de un millón de transformadores y que son mencionadas en el libro de Ernesto Gallo (2007, pág. 27), referente al Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo.

Por otro lado, cuando se realicen pruebas en aceites dieléctricos que no han estado en operación, es decir, en transformadores que hayan estado fuera de servicio durante cierto período de tiempo, habría que tomar algunas consideraciones cuando se pretenda analizar el aceite, como por ejemplo, tomar muestras nuevamente después de un mes de operación continua.

Con el propósito de cumplir los requerimientos del proyecto, se buscó un transformador que estuviese disponible para realizar mantenimiento y probar el funcionamiento y eficiencia de la purificadora en una operación considerable. Fue necesario entonces primero tomar una muestra de aceite de dicho transformador y mandar al laboratorio para análisis pre-mantenimiento. El transformador disponible fue uno de la central térmica Gualberto Hernández de la Empresa Eléctrica Quito, cuyos datos son: T3-CTGH / WestingHouse 13.8/138 kV/ L.ESPEC:935958 / No. serie: REP19681

Luego de esta premisa, se describe a continuación, cada una de las pruebas y los métodos que la empresa utiliza para analizar las muestras de aceite tomadas de los transformadores.

## **7.1 RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D-877)**

La purificadora, marca KATO, posee un kit propio para pruebas instantáneas de rigidez dieléctrica llamado chispómetro o espinterómetro. Debido a la mala manipulación y al uso de la misma durante varios años, el

kit está dañado y carece de las condiciones básicas que establece la norma ASTM D-877.



Figura 7.1 Espinterómetro  
Fuente: (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 32)

Ahora cualquier análisis de rigidez dieléctrica se realiza con una muestra en el laboratorio de control químico de la empresa.

El método que utiliza el laboratorio está basado en la norma ASTM D-877.

Tabla 7.1 Consideraciones de la norma ASTM D-877 Rigidez Dieléctrica

Consideraciones	Norma ASTM D-877
<b>Geometría de electrodos</b>	Discos 25 mm
<b>Separación</b>	0.1" (2.5 mm)
<b>Rampa</b>	3000 V/seg
<b>Alcance en kV</b>	Por debajo de 69 kV
<b>Sensibilidad a la humedad</b>	En el rango de 30 a 80 ppm o agua libre
<b>Aplicación recomendada según ASTM</b>	Aceptación aceite nuevo a granel o en tambores
<b>Sensibilidad a fibras de celulosa</b>	menos sensible

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 29)

El proceso de análisis consiste en aplicar voltaje con corriente alterna a un par de electrodos de cara plana (discos) sumergidos en el fluido a ser evaluado, en una escala de 3000 Voltios por segundo hasta que se grabe el instante mismo de la ruptura de la rigidez dieléctrica.

La norma establece que aceites con rigidez dieléctrica menor que 40 kV deberían darse de baja, pero como mencionamos anteriormente, este conjunto de normas son aplicables para fluidos nuevos. Solamente la experiencia del sector dedicado al diagnóstico y mantenimiento de transformadores ha logrado determinar valores que se adoptan a las condiciones de los aceites en operación continua.

Valores mayores a 30 kV son totalmente aceptables, entre 25 y 30 cuestionables y una rigidez dieléctrica menor que 25 kV es un indicio de que el aceite definitivamente es inaceptable.

En el análisis de rigidez dieléctrica efectuado a la muestra de aceite del transformador de la EEQ, el resultado fue 48.9 kV.

Cuando existe concentración de humedad disuelta, gasificación o ciertas partículas en el aceite, esta prueba no resulta tan precisa. Por eso es indispensable tomar la muestra del fluido siguiendo un procedimiento estricto. Personal capacitado de laboratorio, se encarga de tomar una muestra que sirva para los fines pertinentes.

## **7.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298)**

Esta prueba, es un breve análisis que ayuda a identificar, sobre todo, el origen del aceite dieléctrico (composición). Se trata básicamente de encontrar la razón entre la masa de un volumen dado de aceite y la del agua mediante técnicas que implican medir la densidad del aceite.

Si bien, en un inicio se propuso la norma ASTM D-1298 para encontrar la gravedad específica de la muestra de aceite tomada al transformador, el laboratorio químico utiliza la norma ASTM D4052-11. Este método específica

el procedimiento para hallar la densidad y densidad relativa de fluidos mediante el uso de un densímetro digital.

No se logró tener acceso al medio utilizado ni al método para hallar este parámetro, simplemente se obtuvo los valores referenciales para analizar la composición del aceite.

Cuando se tiene una gravedad específica menor que 0.84, se puede asegurar que la base del aceite es parafínica. Cuando se tiene valores entre 0.84 y 0.91 se puede escatimar que el aceite es isoparafínico, nafténico y aromático en su orden correspondiente. Si el resultado de la prueba es mayor que 0.91, puede tratarse de un aceite con ascarel (PCB's). Cuando más se acerca a 1, existe más probabilidad que el fluido contenga este compuesto peligroso.

El resultado de la prueba correspondiente a la gravedad específica de la muestra de aceite fue 0.9013, que implícitamente nos dice que se trata de un fluido con base mayormente nafténica. Como se encuentra dentro del rango aceptable no hay por qué considerar ninguna acción, más bien, se tiene certeza debido a la composición, que el aceite presenta buena estabilidad ante la oxidación.

A pesar de esto, siempre es mejor tener un valor de gravedad específica bajo, ya que existe una relación inversa con el coeficiente de expansión.

### **7.3 CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533)**

A pesar de que el transmisor indicador de humedad montado en la tubería de salida de la purificadora ayuda a monitorear la cantidad de agua presente en el aceite durante la operación de mantenimiento, no especifica el valor exacto de ppm contenidos en el fluido que sirve para conocer la

cantidad de agua presente en el papel aislante, que es el material con mayor importancia.

Uno de los métodos más precisos y automáticos para hallar el valor de ppm de agua en una muestra de aceite, utilizado por el laboratorio de la empresa, es Karl Fisher por titulación Coulométrica.

Para esta prueba es necesario tomar correctamente la muestra de aceite, asegurándose que el recipiente este completamente seco y que al momento de purgar el fluido dentro del mismo, no se tome restos de agua lluvia que pueda existir en los alrededores del transformador y que puedan alterar los resultados. El equipo de titulación debe estar calibrado adecuadamente y por lo general se inyectan 5ml de la muestra en el aparato.



Figura 7.2 Equipo para análisis de contenido de agua  
Fuente: (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 31)

“La generación de yodo en el reactivo KARL FISHER, es un indicador directo del agua presente en la muestra de aceite, terminándose la reacción en el momento en que se consume la totalidad del agua presente.” (Gallo, 2007, pág. 31)

Básicamente, el equipo consiste en un instrumento que transduce la carga electrostática, medida en coulomb, que se origina debido a la reacción y la presenta en forma de ppm de agua.

Cuando se trata de aceites nuevos, la norma establece que son aceptables fluidos dieléctricos con una cantidad de agua menor o igual que 20 ppm. Si se trata de aceites en operación a 50 °C, se tolera un valor menor o igual que 30 ppm.

El resultado del contenido de agua de nuestra muestra de aceite fue de 9.68 ppm, valor que es aceptable según recomendaciones de la S.D. Myers. Esto concuerda con los parámetros que se establecen en la empresa, cuando el aceite supera los 16 ppm de agua es imprescindible realizar mantenimiento, ya que como asegura Ernesto Gallo (2007, pág. 32) en su libro, más del 90% del agua se encuentra en la celulosa del papel aislante y menos del 10% en el aceite. Esto se da porque cuando la temperatura baja, el fluido tiende a entregar agua al papel y este a absorberlo.

#### **7.4 COLOR (ASTM D-1500)**

En el laboratorio se dispone de una serie de discos patrón, que ayudan a comparar y clasificar la muestra de aceite de acuerdo al estándar establecido en la norma. El valor del color se obtiene al compararlos con estos discos, que están debidamente graduados.

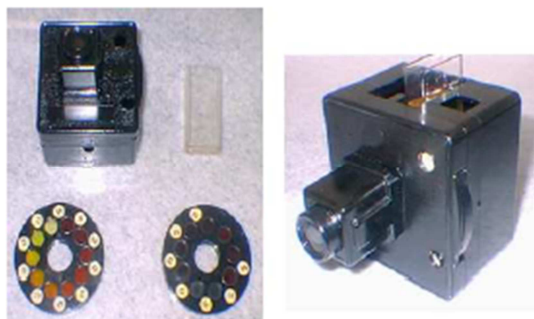


Figura 7.3 Equipo para análisis colorimétrico  
Fuente: (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 37)

“Sin embargo el color por sí solo no corresponde en todos los casos a un determinado nivel de degradación del aceite, se requiere tener la información de número de neutralización y tensión interfacial.” (Gallo, 2007, pág. 40)

Cuando el valor de esta prueba es menor que 3.5, el aceite es aceptable. El resultado de la muestra del transformador analizado fue 1.5

## **7.5 NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974)**

De acuerdo a la definición establecida en el marco teórico, es fácil deducir que este valor permite conocer el estado de degradación del aceite dieléctrico. Cuando mayor es el peso en miligramos de KOH (Base) requeridos para neutralizar el ácido de un gramo de la muestra de aceite, mayor es el nivel de degradación del fluido. En otras palabras, cuando el número de neutralización está en el rango de 0.06 a 1 mg (KOH)/g, es probable la presencia de agua o de agentes oxidantes. Si este valor sobrepasa a 1, definitivamente el aceite es inaceptable.

Este número, resulta de mayor utilidad con el valor de tensión interfacial. Posteriormente se analizará el caso.

El método utilizado para analizar el número de neutralización, basado en la norma, es el siguiente:

Se disuelven aproximadamente 20 gramos de aceite en una mezcla de Isopropanol y Tolueno, se titulan en presencia de un indicador de color, que en medio ácido es naranja y en medio básico es azul verdoso. La reacción termina cuando se obtiene un color azul o verdoso estable por 15 segundos. (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 33)



Figura 7.4 Equipo para análisis del número de neutralización  
Fuente: (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 33)

En el análisis a la muestra de nuestro transformador, se obtuvo 0.021 mg (KOH)/g, que es un valor muy aceptable.

## 7.6 TENSIÓN INTERFACIAL (ASTM D-971)

Como se mencionó, esta prueba complementa a la del número de neutralización ya que en ella se pueden detectar de forma cualitativa la aparición de compuestos intermedios de oxidación (alcoholes y aldehídos) que con el método anterior no se logra, en otras palabras, el ensayo de tensión interfacial permite descubrir el inicio de la oxidación y su avance, antes de que el estado de degradación sea crítico.

La presencia de compuestos polares que degradan el aceite, o peor aún la de ácidos pesados, generan mayor afinidad entre el agua y el aceite. Esto da lugar a una tensión interfacial débil que es signo de mal estado del fluido.

El ensayo consiste en separar un anillo de platino-iridio de la superficie el aceite mediante un tensiómetro, en donde se registra el valor de la tensión en dinas/cm.





Figura 7.5 Equipo para análisis de tensión interfacial

Fuente: (TRANSEQUIPOS, 2007, pág. 34)

La siguiente tabla muestra los valores estandarizados para el ensayo de tensión interfacial:

Tabla 7.2 Rangos para valores de tensión interfacial

<b>Acceptable</b>	<b>Valor mayor de 32 Dinasc/cm</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 28 y 31.9 Dinasc/cm
<b>Inacceptable</b>	Valor por debajo de 27.9 Dinasc/cm

Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

En el ensayo de la muestra del transformador, se obtuvieron 30.2 dinasc/cm. Este valor es cuestionable, pero como el análisis va en conjunto con la prueba del número de neutralización, no se puede afirmar que el proceso de oxidación del aceite ha iniciado, con el cálculo del índice de calidad (IC) se puede afirmar cualquier necesidad.

## 7.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de emitir cualquier criterio acerca del estado del aceite dieléctrico estudiado mediante las pruebas y ensayos referentes a los estándares anteriormente analizados, se describe el cálculo del índice de calidad.

$$IC = \frac{\textit{Tensión interfacial}}{\textit{Número de neutralización}} = \frac{TIF}{NN}$$

(Ec. 7.1)

$$IC = \frac{30.2}{0.021}$$

$$IC = 1438$$

Según los rangos de IC señalados por Ernesto Gallo (2007, pág. 38), cuando se tiene entre 600-1500, existe un comienzo de la degradación en el aceite. En este caso podemos observar que estamos en el límite superior, es decir, efectivamente, la oxidación está empezando a surgir en pequeñas cantidades.

Obviamente esto es notorio, principalmente por los valores de la gravedad específica y de la tensión interfacial hallados. En cuanto a lo que concierne una decisión, es necesario realizar mantenimiento al transformador considerando que las pruebas de la muestra no estipulan ninguna urgencia.

En el anexo 14, se muestra el informe detallado de los ensayos realizados por el laboratorio de control químico de la empresa y que fueron analizados en el transcurso de todo este capítulo.

## **CAPÍTULO 8**

### **IMPACTO AMBIENTAL**

Debido a las características nocivas y peligrosas para el medio ambiente y el ser humano, en este capítulo se abarcará el impacto ambiental que generan los PCB's en el entorno y todo lo referente al manejo de aceites dieléctricos compuestos con PCB's.

En el marco teórico (ítem 1.3), se estudió con profundidad las propiedades, fabricación y usos de este compuesto químico.

Todo lo que se describirá a continuación está basado en el Manual de procedimientos para el manejo de PCB's en el sector eléctrico ecuatoriano, desarrollado por el subcomité técnico del CONELEC, el mismo que se fundamenta en las siguientes normativas:

- TULAS (Texto unificado de legislación ambiental)
- Convenio de Estocolmo y Basilea
- Leyes y normas internacionales acerca del manejo de PCB's
- Ministerio de Ambiente y Ordenanzas Municipales

#### **8.1 EFECTOS DE LOS PCB's**

Para comprender de mejor manera las consecuencias ante la exposición de los PCB's, nos servimos de la ayuda que nos prestó el Ing. Fernando Granizo (2014), Especialista en gestión ambiental de la empresa, mediante una entrevista realizada.

Durante el diálogo, el especialista mencionó cualidades y características de los PCB's cuando están expuestos en el medio ambiente, tales como:

Los PCB's se comportan como sustancias mutagénicas y teratogénicas cuando están presentes en organismos vivos (plantas, animales, humanos), por ende, en pequeñas cantidades y a largo plazo pueden incurrir efectos cancerígenos y en periodos de gestación contribuyen a la malformación de fetos.

“Cuando la concentración de PCB's es alta en cierto organismo, se pueden producir intoxicaciones severas que pueden llevar a la muerte.” (Granizo, 2014)

Una propiedad importante que poseen estos químicos, es que son bioacumulantes, y en caso de un derrame fácilmente se transmiten y ascienden en los niveles tróficos.

#### **8.1.1 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE**

Así como los PCB's brindan características extraordinarias a las aplicaciones industriales en las que se utilizan, al ser liberadas al medio ambiente se convierten en un serio problema debido a la contaminación de gran escala que generan, puesto que cuando ocurre un derrame de aceite con PCB's, estos pueden fácilmente transferirse al suelo, agua subterránea aire, llegando a contaminar amplias extensiones.

“Se ha determinado que un litro de PCB's en el agua, crea una capa superficial de más de 8000 m<sup>2</sup> y contamina aproximadamente un millón de litros de agua potable.” (Moreno & Pilco, 2012, pág. 103)

Lo peor ocurre cuando por ejemplo la falla de un transformador provoca un incendio. El humo y las emanaciones son peligrosamente dañinos, ya que la incineración de estos aceites pueden producir grandes concentraciones de

dioxinas y furanos, estas sustancias son cinco millones de veces más tóxicas que el cianuro y estudios han comprobado que son cancerígenas.

Cuando los PCB's son liberados en el medio ambiente pueden ingresar en el hombre y en los animales a través de la inhalación, por ingestión o por contacto cutáneo, siendo imposible su eliminación mediante secreciones o la digestión, porque estos se quedan adheridos a los tejidos y órganos del cuerpo.

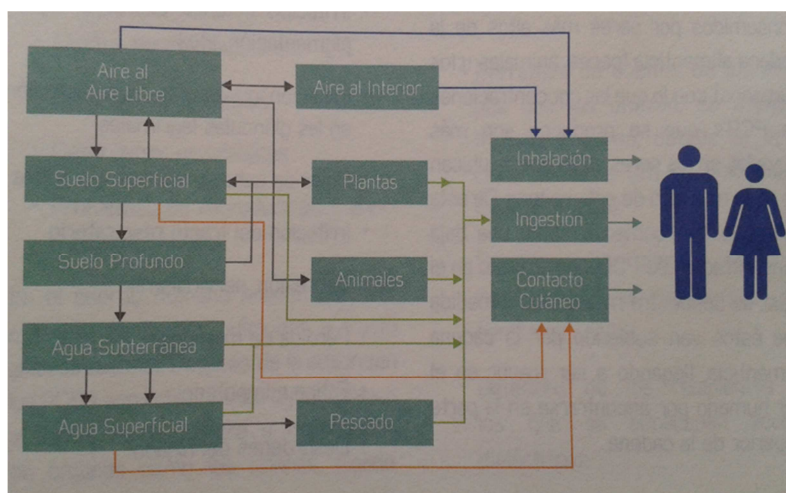


Figura 8.1 Transferencia de PCB's a organismos vivos

Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 103)

### 8.1.2 EFECTOS EN EL SER HUMANO

“Estudios realizados en seres humanos demuestran que los envenenamientos comienzan entre 800 y 1000 ppm, y los primeros síntomas inician en la piel y ojos.” (Moreno & Pilco, 2012, pág. 104)

Luego de la exposición, los PCB's son transportados mediante la sangre hacia los tejidos grasos para depositarse y acumularse en órganos como: hígado, corazón, riñones, pulmones, cerebro, piel, etc.

Moreno y Pilco en el manual de procedimientos para el manejo de PCB's mencionan algunos de los efectos ocasionados en el ser humano por la exposición con PCB's:

### **8.1.2.1 Efectos agudos**

Ocurren después de la exposición:

- Irritación cutánea
- Irritación ocular por hipersecreción en las glándulas lagrimales
- Dolor de cabeza, mareos y fiebre
- Irritación del tracto respiratorio
- Depresión, nerviosismo
- Pérdida de memoria
- Fatiga e impotencia
- Desórdenes del hígado

### **8.1.2.2 Efectos crónicos**

Ocurren después de la exposición prolongada:

- Trastornos del sistema inmunológico
- Trastornos hepáticos
- Efectos sobre la reproducción y el desarrollo
- Posible cancerígeno
- Trastorno del desarrollo neurológico

### **8.1.2.3 Efectos toxicológicos**

- Desórdenes en la piel
- Desórdenes en el hígado
- Efectos neuromusculares
- Desórdenes viscerales
- Desórdenes metabólicos
- Problemas de reproducción y anomalías fetales

## 8.2 CONCENTRACIÓN DE PCB´s EN ACEITES

### DIELÉCTRICOS

“Un aceite dieléctrico es considerado peligroso, cuando posee más de 50 ppm de PCB´s en su composición.” (Granizo, 2014)

Generalmente, se especifica la concentración de PCB´s en partes por millón, miligramos por kilogramo o en porcentaje en peso. Moreno & Pilco (2012, pág. 30), describen las equivalencias de estos tres parámetros:

1 ppm = 1 mg/kg

1000 ppm = 1 por mil en peso = 0.1% en peso

De acuerdo con el Manual de procedimientos para el manejo de PCB´s, la legislación nacional no establece norma para concentraciones, por lo que se basan en la norma EPA de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*), estableciendo lo siguiente:

Tabla 8.1 Concentraciones de PCB´s en aceites dieléctricos

Mayor a 500 ppm	Sustancia "pura de PCB´s"
50 - 500 ppm	Sustancia contaminada con PCB´s
5 - 50 ppm	Sustancia no contaminada con PCB´s
Menor a 5 ppm	Sin PCB´s

Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 30)

Existen varios métodos para encontrar la concentración de PCB´s en una muestra de aceite dieléctrico:

#### 8.2.1 PRUEBAS CUALITATIVAS

Se menciona a continuación los métodos principales y se describe solamente el utilizado en la empresa:

- Prueba de densidad
- Prueba de cloro
- Utilización de kits para pruebas rápidas

### 8.2.1.1 Kit para prueba rápida

Se trata de un kit para ensayo colorimétrico, llamado Clor-N-Oil propuesto por la fábrica Dexsil Corporation, el mismo que es utilizado por el área de Gestión Ambiental de la empresa para analizar la concentración de PCB's en muestras de aceite de transformadores.

El test permite evaluar la cantidad de ppm de PCB's mediante la coloración del aceite que reacciona al mezclarlo con otros compuestos químicos. Los resultados visuales se comparan con patrones que indican si la concentración es inferior o superior a 20, 50, 100 y 500 ppm.

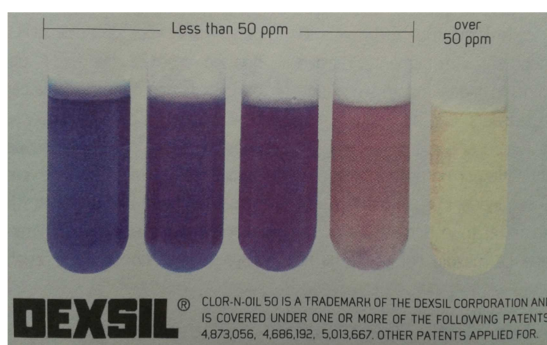


Figura 8.2 Ensayo colorimétrico concentración de PCB's

Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 112)

Moreno & Pilco (2012, pág. 32) resaltan que la prueba trabaja por el principio de detección de cloro, por lo que, se debe considerar que la contaminación con sal, sudor, agua de mar, etc. Pueden alterar los resultados verdaderos del test, por eso es necesario acompañar esta prueba con una cuantitativa como la cromatografía.

### 8.2.2 PRUEBAS CUANTITATIVAS

Con estas pruebas se puede analizar no solo muestras de aceite, sino también concentraciones de PCB's en agua o suelo.

- Equipo L2000DX ANALYZER (Dexsil)
- Cromatografía (Ver anexo 14)



Para obtener resultados verídicos cuando se requieren analizar las características del aceite dieléctrico de un transformador, personal técnico del laboratorio de control químico o de gestión ambiental, toman las muestras bajo normas y condiciones que se rigen a un procedimiento.

Para poder desarrollar todos los trabajos referentes al proyecto de repotenciación y automatización de la purificadora, primero se pidió analizar la concentración de PCB's en el aceite que contenía el sistema. En el anexo 15 se puede verificar el informe emitido por el área de gestión ambiental en donde la prueba colorimétrica arrojó resultados menores que 50 ppm.

Cuando la muestra de un aceite da como resultado más de 50 ppm, es decir está contaminado con PCB's, el área de gestión ambiental y mantenimiento no permiten la regeneración del aceite con la purificadora marca KATO.

## **8.3 MANEJO DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB's**

### **8.3.1 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB'S**

Con el objetivo de precautelar la salud del trabajador y evitar accidentes de cualquier índole, en el manual de procedimientos se mencionan algunos aspectos a considerar cuando se deban manipular artefactos o aceite dieléctrico contaminado con PCB's.

#### **8.3.1.1 Precauciones en actividades de manejo de PCB's**

-En el caso de tareas a realizarse en un transformador con aceite contaminado, el área encargada debe etiquetar el mismo, advertir y

capacitar al personal acerca de los riesgos y las medidas de seguridad necesarias antes de ejecutar cualquier tipo de trabajo.

-Restringir el uso de productos incandescentes o que provoquen altas temperaturas en la superficie del transformador, así como prohibir cualquier trabajo de corte o soldadura.

-No fumar en el área de trabajo con PCB's

-Mantener una adecuada ventilación durante los trabajos.

-Depositar los materiales de trabajo contaminados (pañños, trapos, etc.) en un contenedor adecuado y bien etiquetado para posterior eliminación.

-No mezclar aceite contaminado con PCB's en depósitos para desechos de otro tipo de lubricantes.

#### **8.3.1.2 Equipos de protección personal (EPP)**

La forma más común de contaminarse con PCB's es por absorción cutánea, es así, que el CONELEC en su manual recomienda utilizar mínimo los siguientes equipos de protección, considerando siempre una sustitución periódica de los mismos:

-Ropa de trabajo adecuada

-Overol impermeable con capucha y cierre delantero tipo TYVREX.

-Guantes de trabajo

-Casco

-Guantes de nitrilo

-Mascarilla con filtro de partículas

-Gafas de seguridad

-Calzado dieléctrico

Indistintamente del EPP que se utilice, el trabajador debe ser responsable de quitarse el equipo con cuidado, evitando contacto con la piel. Lavarse bien las partes del cuerpo más expuestas y evitar ingerir alimentos mientras se realizan trabajos.

### **8.3.1.3 Acciones en la empresa ante eventualidades**

El departamento de seguridad industrial en coordinación con salud ocupacional y gestión ambiental, tiene desarrollado planes de contingencia que involucran capacitación del personal y simulacros periódicos, en caso de que ocurra cualquier tipo de eventualidad como la explosión de un transformador.

Si la explosión de un transformador fuese el caso, lo principal es trasladarse a los puntos de encuentro y acatar órdenes del personal encargado. Se proveerá de equipo de protección, de ser necesario. Existen grupos capacitados que se organizan ante esta eventualidad, se equipan con los materiales necesarios y se encargan del problema dependiendo la magnitud.

En el caso de derrames de aceite dieléctrico contaminados con PCB's, el área de gestión ambiental tiene procedimientos para el manejo del fluido derramado y tiene instalado kits anti derrames en lugares específicos dentro de toda la planta. Estos kits poseen en su interior:

- Fundas de yute
- Palas
- Paños y salchichas absorbentes
- Tijeras
- Linterna

Granizo (2014) en la entrevista menciona que en primer lugar se cuenta con un inventario de todos los transformadores con sus características y concentración de PCB's, así como recipientes que contengan aceite. Cada transformador y contenedor es etiquetado adecuadamente.



Figura 8.3 Etiqueta de un transformador con aceite contaminado de PCB's  
Fuente: (Moreno & Pilco, 2012, pág. 115)

Ante una contingencia (derrame), primero se despliega barreras de contención, dependiendo el volumen de aceite derramado. Si existe una cantidad importante de fluido expuesto en el suelo (sobrenadante) se procede con la absorción del mismo mediante paños y salchichas absorbentes. El restante adherido, se extrae con todo el suelo (tierra, piedras) y se analiza si es posible una biorremediación.

Cuando el fluido se derrama sobre agua por ejemplo, se procede de similar forma, solo que los paños y salchichas absorbentes no son para suelo sino para un medio acuático.

En los dos casos, cuando es posible se procede con la eliminación de todos los materiales que contribuyeron a la absorción del derrame y a la limpieza del lugar. Si el aceite poseía PCB's se procede con el almacenamiento e inertización.

### **8.3.2 ALMACENAMIENTO Y DESTRUCCIÓN DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB'S**

En nuestro país no existen instalaciones para la eliminación de PCB's con las características necesarias. En casos extremos se exporta los desechos a países que posean la tecnología para destruir los mismos. El convenio de Basilea regula el proceso de manipulación, embalaje y transporte para el movimiento fronterizo de estos residuos peligrosos.

Mientras exista una disposición para la destrucción de desechos contaminados con PCB's en el Ecuador, el CONELEC ha ordenado mantener aislamiento e inertización.

Se debe contar con bodegas que cumplan las siguientes características básicas para el almacenamiento de los desechos:

#### **8.3.2.1 Almacenamiento**

-Situarse el lugar de almacenamiento por lo menos a 100 metros de puntos sensibles como: sembríos, canales de agua, quebradas, escuelas, hospitales.

-La bodega debe ser de una sola planta, techo apropiado, ventilación natural para evitar la incidencia directa del sol o lluvia y no acentuarse en terrenos inundables o pantanosos.

-Colocar la señalización dispuesta en la norma NTE INEN 439:1984 y 2266:2009, restringir ingreso al personal no autorizado.

-Acondicionar una buena iluminación, extintores y un sistema para detección de incendios.

-Piso impermeabilizado y construido de tal forma que ante un derrame el fluido no salga al exterior, utilizar canaletas colectoras.

-Contar con un cuarto para personal con instalación sanitaria, ducha, lavajojos, armarios para EPP, etc.

-Disponer de tanques para el proceso de inertización del aceite y para materiales contaminados con PCB's, con un volumen no mayor a 55 galones. Aquí pueden ser depositados desechos contaminados como: tierra, trapos, madera, cartones.

-Cuando se desee realizar un proceso de inertización se debe retirar del medio ambiente el objeto contaminado y depositarlo en un tanque que pueda ser relleno con hormigón, de esta forma se evita liqueo o lixiviado y se mantiene a los desechos totalmente inertes y bien encapsulados. Este proceso es similar al que se realiza con las pilas.

### **8.3.2.2 Destrucción**

La destrucción de los PCB's ha sido un tema de constante y actual estudio, ya que resulta difícil, dependiendo de la concentración de este químico en cierto fluido, su eliminación total. El principal método y mayormente utilizado a nivel mundial, es la incineración en hornos de altas temperaturas. Los países que industrialmente poseen un número considerable de estas instalaciones, son las que contribuyen con la eliminación a través de un proceso paralelo al que usualmente se dedican, por ejemplo los hornos de las cementeras.

Se describe a continuación este método y se mencionan otros que son útiles también para este fin.

-Incineración: Sirve primordialmente para desechos líquidos contaminados con PCB's. Se introducen en el horno junto con el combustible, de tal manera que este sustituya en parte al combustible

tradicional. La salida de gases contaminantes está bajo estrictas normas de control, para que las concentraciones de dioxinas y furanos que puedan hallarse en dichos gases, no superen los límites establecidos.

Como se requiere gran cantidad de energía para lograr una eliminación del 99.99 %, Moreno y Pilco (2012, pág. 55) destacan ciertas condiciones necesarias en las instalaciones, como: la temperatura debe alcanzar los 1200 °C, empleo de combustibles suplementarios, cámaras de combustión especiales, concentración de oxígeno, equipos de limpieza y contención de gases.

Luego de este tratamiento, lo que resulta de la incineración es principalmente dióxido de carbono y agua, así como ceniza orgánica.

“El cloro presente se convierte en cloruro de hidrógeno gaseoso, que se extrae junto con otros componentes mediante un equipo de control para contaminación atmosférica” (Moreno & Pilco, 2012, pág. 55)

Otros métodos que permiten eliminar los PCB's son:

- Procesos de decloración
- Sistemas de arco plasmático
- Reducción química en fase gaseosa
- Degradación biológica
- Oxidación con agua supercrítica

### **8.3.2.3 Procedimiento en la empresa**

De acuerdo a lo mencionado por el Ing. Fernando Granizo (2014), durante la entrevista, en la actualidad no existe un tratamiento efectivo o algún mecanismo óptimo de depuración de aceites contaminados con PCB's vigente en el país. La forma de proceder de acuerdo a la normativa, es

mantener el fluido en su sitio de origen en condiciones de aislamiento e inertización más adecuadas, evitando el contacto con humanos y con el medio ambiente.

En el caso de aceites dieléctricos que no están contaminados con PCB's, el procedimiento consiste en enviar los desechos a un gestor ambiental para su eliminación mediante hornos de alta temperatura, que superen los 1000°C. Termopichincha, envía los desechos de aceite dieléctrico mediante el ministerio del ambiente hacia los hornos que posee HOLCIM S.A.



## CAPÍTULO 9

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

El análisis económico y financiero de este proyecto nos ayuda a conocer la información de gastos incurridos, comparando diferentes opciones y analizando el beneficio para la empresa.

#### 9.1 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

A continuación se detalla los costos de insumos utilizados para la construcción del proyecto reflejados en la tabla 9.1, tabla 9.2 y tabla 9.3, donde se especifica el valor unitario de cada insumo y el valor total invertido.

Tabla 9.1 Costos materiales mecánicos

<b>COSTO MATERIALES MECÁNICOS</b>				
<b>N.-</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
1	Electrodo revestido 6011	20	1,85	37
2	Electrodo revestido 7018	20	2,18	43,6
3	Perno M5 x 20	10	0,1	1
4	Perno M12 x 35, arandela y tuerca	16	0,22	3,52
5	Perno M10 x 30, arandela de presión y tuerca	4	0,16	0,64
6	Acople soldable NPT 1/2", rosca hembra para tubería	5	0,92	4,6
7	Tubería de cobre (m)	4	2,1	8,4
8	Válvula de bola, 3/8"	1	7,32	7,32
9	Acople 3/8" macho a 1/2" hembra, acero inoxidable	1	4,5	4,5
10	Acople de 1/2" hembra	1	3,7	3,7
11	Teflón	10	0,25	2,5
<b>SUBTOTAL MATERIALES MECANICOS (\$)</b>				<b>116,78</b>

Fuente: (Autor, 2014)

Tabla 9.2 Costos elementos del tablero de control (1)

<b>COSTO ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL</b>				
<b>N.-</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
12	Tablero (armario) de poliéster	1	332,93	332,93
13	Placa de acero galvanizado	1	50,67	50,67
14	Canaleta grande (m)	4	0,87	3,48
15	Canaleta mediana (m)	2	0,54	1,08
16	Riel DIN	2	8,4	16,8
17	Bornera grande WDU 35mm	6	3,21	19,26
18	Bornera mediana WDU 10 mm	15	1,04	15,6
19	Bornera pequeña WDU 2.5 mm	70	0,58	40,6
20	Bornera pequeña de tierra	5	3,51	17,55
21	Topes laterales para bornera	15	0,57	8,55
22	Cable flexible # 10 AWG (m)	5	0,42	2,1
23	Cable flexible # 12 / 14 AWG (m)	20	0,33	6,6
24	Cable flexible # 16 AWG (m)	10	0,29	2,9
25	Cable flexible # 18 AWG (m)	100	0,27	27
26	Amarras grandes	1	2,7	2,7
27	Amarras pequeñas	1	2,2	2,2
28	Manguera reforzada BX de 1/2" (m)	50	2,9	145
29	Terminales para manguera BX 1/2"	50	1,56	78
30	Manguera reforzada BX de 2" (m)	2	3,8	7,6
31	Terminales para manguera BX 2"	4	2,5	10
32	Interruptor magnetotérmico automático	1	0	0
33	Transformador de corriente de 100 a 1 Amp	1	22	22
34	Amperímetro análogo 0-100 A	1	26,5	26,5
35	Voltímetro análogo 0-600 VAC	1	0	0
36	Fuente de voltaje 24 VDC	1	136,94	136,94
37	Breaker 1P 3A	1	9,76	9,76
38	PLC Twido TWDLMDA20DRT	1	318,31	318,31
39	Breaker 2P 2A	1	26,84	26,84
40	Supresor de transientes	1	107,88	107,88
41	Módulo out relé TM2DRA8RT	1	102,48	102,48
42	Módulo in/out análogas TM2AMM6HT	1	361,28	361,28
43	Breaker 1P 1A	1	9,76	9,76
44	Guardamotor 4-6.3 A (GV2ME10)	1	54,87	54,87
45	Guardamotor 1.6-2.5 A (GV2ME07)	1	54,87	54,87
46	Relé térmico 16-24 A (LRD226)	2	42,6	85,2
47	Breaker termomagnético NSX100F	1	136,09	136,09
48	Contactador 9A 220 VAC (LC1D09M7)	2	28,2	56,4
49	Contactador 25 A 220 VAC (LC1D25M7)	2	56,89	113,78
50	Relé de estado sólido PSSR 24VDC 3PH AC 20A	1	239,48	239,48

Fuente: (Autor, 2014)

Tabla 9.3 Costos elementos del tablero de control (2)

<b>COSTO ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL</b>				
<b>N.-</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
51	Interruptor de maneta corta	1	12,99	12,99
52	Pulsador NO verde	1	9,15	9,15
53	Pulsador NC rojo	1	9,15	9,15
54	Pulsador NC vino	1	9,15	9,15
55	Pulsador NC paro emergencia	1	12,14	12,14
56	Luz piloto verde	1	11,53	11,53
57	Luz piloto roja	1	11,53	11,53
58	Pantalla display magelis 2x20	1	278,71	278,71
59	Convertor USB-RS485	1	145,53	145,53
60	Convertor MINDIN-RS485	1	72,76	72,76
<b>SUBTOTAL ELEMENTOS TABLERO \$</b>				<b>3225,7</b>

Fuente: (Autor, 2014)

Tabla 9.4 Costos Instrumentación

<b>COSTO INSTRUMENTACIÓN</b>				
<b>N.-</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
61	Transmisor indicador de humedad y temperatura	1	2400	2400
62	Transductor de presión	1	402	402
63	Detector de nivel	2	310	620
64	RTD + Transmisor de temperatura	1	376	376
<b>SUBTOTAL INSTRUMENTACIÓN</b>				<b>3798</b>

Fuente: (Autor, 2014)

Tabla 9.5 Costos Proyecto

<b>COSTO PROYECTO</b>		
<b>GRUPO DE MATERIALES</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>SUBTOTAL MATERIALES MECANICOS</b>	116,78	1,64%
<b>SUBTOTAL ELEMENTOS TABLERO</b>	3225,7	45,17%
<b>SUBTOTAL INSTRUMENTACIÓN</b>	3798	53,19%
<b>SUBTOTAL GENERAL</b>	7140,48	100%
<b>IVA 12%</b>	856,8576	
<b>TOTAL</b>	<b>7997,3376</b>	

Fuente: (Autor, 2014)

La tabla 9.4 refleja los subtotales de cada grupo de materiales, obteniendo como total invertido la cantidad de 7140,48 (sin impuestos), dentro de este total el 1,64% ocupan los costos de materiales mecánicos, el 45,17% representan el costo de los elementos del tablero, y el 53,19% refiere la inversión en Instrumentación. Sumando los impuestos (IVA) finalmente se realiza una inversión total de aproximadamente 8000,00 dólares americanos.

Otros factores que se consideran al momento de realizar el análisis financiero es la inversión de mano de obra. En este caso la empresa auspiciante se hizo cargo de todos los gastos de alimentación y transporte del tesista por lo que no se han considerado.

## **9.2 RENTABILIDAD ECONÓMICA**

Al iniciar el proyecto, y con el afán de analizar la posible adquisición de una nueva purificadora, se contactó al fabricante de la purificadora actual con la marca, número de serie, año de fabricación del sistema de regeneración de aceite dieléctrico que la empresa posee desde 1981.

La compañía japonesa envió la cotización de una purificadora con similares características por un valor de 50 336,00 dólares americanos.

En el anexo 16 se puede encontrar la cotización de la empresa japonesa KATO ELECTRIC MFG CO. LTD

El proceso para adquirir la maquinaria nueva implicaba una inversión alta de tiempo que se requiere para la calificación de proveedores, licitación, aduanas, transporte, etc. y el recurso monetario era limitado, por lo que realizar este proyecto proporcionaba una oportunidad para mejorar las

cualidades deterioradas del sistema antiguo a una mínima inversión de 8 mil dólares como se analizó en el punto anterior.

De acuerdo a lo establecido en el Capítulo 5 se describen a continuación beneficios cualitativos que indican las mejoras realizadas al sistema tales como:

- *Facilidad en el manejo y operación de la purificadora:* el nuevo tablero permite al operador monitorear todas las variables desde el tablero de control y con el modo automático el sistema funciona independientemente.

- *Reducción de tiempos de trabajo:* permite al operador encargarse de tareas adicionales que implican el mantenimiento de un transformador, no tiene que estar preocupado por estabilizar el proceso de regeneración de la purificadora.

- *Sistema de control eficiente:* los dos modos de operación implementados en el sistema se encargan de mantener un proceso continuo y estable sin necesidad de que el operador atienda un gran número de alarmas.

- *Disponibilidad:* la repotenciación y automatización de este proyecto garantizan la disponibilidad de la purificadora para trabajos de mantenimiento requeridos por cualquier central de la empresa.

En general la empresa se beneficia por las cualidades antes mencionadas ya que las mejoras se verán reflejadas en la prevención y cuidado de los transformadores, evitando desastres como la explosión de un transformador que implicarían un costo elevado por cuantiosas pérdidas económicas, perjuicios a la salud del trabajador y al ambiente.

Mantener en buen funcionamiento a la purificadora evita que la empresa acuda a subcontrataciones para realizar mantenimiento de transformadores, que por ser un servicio escaso en el país los costos son elevados, ahorrando estos gastos a la entidad.

Tabla 9.6 Comparación de alternativas

<b>COSTO MAQUINARIA NUEVA 2014</b>	<b>COSTO PROYECTO DE MEJORA 2014</b>	<b>AHORRO 2014</b>
<b>\$ 50.336,00</b>	<b>\$ 8.000,00</b>	<b>\$ 42.336,00</b>
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO EXTERNO AL AÑO 2014 (Aproximado)</b>	<b>COSTO PROYECTO DE MEJORA 2014</b>	<b>AHORRO 2014</b>
<b>\$ 20.000,00</b>	<b>\$ 8.000,00</b>	<b>\$ 12.000,00</b>

Fuente: (Autor, 2014)

## CAPÍTULO 10

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 10.1 CONCLUSIONES

-El papel aislante de un transformador de potencia depende del estado de degradación del aceite dieléctrico, por ende, es primordial contar con un mecanismo de regeneración que se encuentre en óptimas condiciones, garantizando el restablecimiento de las propiedades y características del fluido a niveles estandarizados en las diferentes normas ASTM.

-Un correcto diagnóstico del transformador mediante análisis del aceite dieléctrico y un posterior mantenimiento del mismo (de ser necesario), contribuirá a conservar las características y propiedades del papel aislante en buenas condiciones, permitiendo extender la vida útil del transformador.

-El diseño de un by-pass permite ejecutar tareas de mantenimiento de elementos a los que no se tiene acceso de conexión directa, como es el caso de los Disyuntores de potencia, que se encuentran en una subestación eléctrica.

-Con la implementación del filtro de tierras fuller, que en su diseño incluye un nuevo tamiz cilíndrico de tamaño 30/60, se puede reemplazar periódicamente la arcilla del filtro en lugar de lavarla y secarla; de esta manera se asegura la retención completa de ácidos y lodos que puede traer consigo el aceite dieléctrico.

-El Monitoreo en tiempo real del contenido de humedad del aceite dieléctrico, permite al operador tener acceso a datos para conocer el estado del fluido conforme pasa el tiempo, dándole así una premisa, previo a un

análisis en el laboratorio. Durante pruebas del sistema se logró disminuir la humedad del aceite tratado de 40 ppm a 4 ppm en 20 minutos.

-Los dos modos de operación inmersos en el nuevo sistema de control, facilitan al operador el mando sobre la purificadora, con lo que se puede aprovechar el tiempo en tareas adicionales requeridas en el mantenimiento de transformadores y disminuir el período de funcionamiento (el manual de operación y mantenimiento desarrollado en el proyecto ayuda a capacitar al personal técnico para manipular el sistema).

-El mantenimiento y reparación de elementos mecánicos como la bomba de aceite y su motor eléctrico, el tanque principal, electroválvulas, etc., en conjunto con la automatización, aportaron a mejorar el desempeño de todo el sistema, dando como resultado un caudal de operación promedio de 1800 l/h.

-El control de temperatura ON/OFF implementado satisface las necesidades requeridas del sistema, manteniendo condiciones adecuadas dentro del tanque principal para una óptima des-humidificación. Se logró estabilizar la temperatura entre 48-50 °C.

-El conjunto de pruebas que se desarrollan en el laboratorio de control químico de la empresa mediante normas ASTM, permite evaluar las condiciones de degradación de una muestra de aceite de un transformador. Ninguna de estas pruebas por separado puede especificar con veracidad la necesidad de mantenimiento.

-Toda la inversión monetaria designada para el desarrollo del proyecto, contribuye a mantener un sistema eficiente para dar mantenimiento a transformadores de todas las centrales de Termopichincha a largo plazo,



ahorrando a la empresa aproximadamente 12000 \$ anuales por subcontratación de servicios de diagnóstico y mantenimiento.

## 10.2 RECOMENDACIONES

-Es recomendable contar con el bypass propuesto como diseño para el tratamiento de aceite de disyuntores en cada una de las centrales; de esta manera se evita el transporte de un tanque y elementos de acople que fácilmente se pueden implementar y almacenar en cada central.

-Las tierras fuller actuales del filtro nunca han sido reemplazadas, por lo que debería ser factible que Termopichincha adquiera nueva arcilla e implemente el tamiz cilíndrico propuesto en el diseño<sup>2</sup>.

-A pesar de que se dio un mantenimiento profundo a la bomba de engranajes, es recomendable comprar una nueva bomba ya que la actual tiene casi 30 años de servicio y siempre ha estado propensa a desgaste abrasivo por los contaminantes como lodos que puede traer consigo el aceite dieléctrico.

-TERMOPICHINCHA debería analizar la posibilidad de adquirir un remolque de los 3 cotizados, para evitar el maltrato que sufre la estructura por la manipulación de un montacargas al subirla al camión y la constante movilidad de la purificadora de un lugar a otro, especialmente en el Oriente.

-El operador debe ser el responsable de ejecutar tareas de mantenimiento programadas en el manual y registrar las mismas, con el fin de precautelar cualquier tipo de daño mecánico o eléctrico en el sistema.

---

<sup>2</sup> PetroEquipos es el único distribuidor en el país de arcilla ultraclear detallando una cotización en el Anexo 2.

-Es importante verificar constantemente el estado de la extensión, enchufes y conectores para la alimentación eléctrica de la purificadora. Con esto se puede evitar cortocircuitos que pueden afectar los elementos del tablero de control y sobretodo lesiones a personas.

-Ante una alarma en el sistema de la purificadora, el operador debe cerciorarse de solucionar la falla antes de poner en marcha nuevamente el proceso.

-Es fundamental que personal técnico capacitado del laboratorio, tome las muestras de aceite siguiendo un procedimiento que garantice un análisis veraz. De igual forma, se deben realizar estos análisis antes y después del tratamiento con la purificadora.

-Es ineludible aplicar y seguir el plan de seguridad industrial utilizando todo el equipo de protección personal (EPP) necesario antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento con el aceite dieléctrico; así mismo evitar derrames de aceite dieléctrico innecesarios, usar baldes de recolección y colocar los desechos utilizados en los depósitos adecuados.

-Termopichincha debe seguir comprometido con la seguridad del trabajador y con la preservación del medio ambiente, manteniendo planes para el almacenamiento e inertización de aceite dieléctrico contaminado con PCB's, (el cual es de extrema peligrosidad); de igual forma conservar procesos para preparar al personal ante una contingencia como es el caso de un derrame.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, J. (04 de 10 de 2010). Obtenido de Adabi de México, A.C.:  
<http://www.adabi.org.mx>
- Alvarez, R., & Del Pozo, M. (2007). Mantenimiento de transformadores de potencia. *XII ERIAC- Encuentro Regional Ibero-americano del CIGRÉ*. Iguazú, Brasil: CIGRÉ.
- Angulo, P. (1980). *Control Industrial*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- ASTM. (2013). *ASTM International*. Obtenido de  
<http://www.astm.org/Standards/D923.htm>
- CELEC EP TERMOPICHINCHA. (2013). *CELEC EP TERMOPICHINCHA*. Obtenido de  
<https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/informacion-cooperativa/la-empresa>
- E+E ELEKTRONIK. (2012). *E+E Elektronik Ges.m.b.H.* Obtenido de  
<http://www.epluse.com/en/products/moisture-in-oil-instrumentation/transmitter-for-moisture-in-oil-measurement/ee381/>
- ENDRESS & HAUSSER. (2013). *ENDRESS + HAUSSER*. Obtenido de  
<http://www.endress.com/corporate#products/~products-instruments>
- Gallo, E. (2007). Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo. *Seminario diagnóstico y mantenimiento de transformadores*. Bogotá: Transequipos.
- Granizo, F. (3 de Enero de 2014). Impacto ambiental y manejo de aceites dieléctricos contaminados con PCB's en la empresa. (C. Tapia, Entrevistador)

- Kelly, J., Myers, S., & Stebbins, R. (2004). *Transformer Maintenance Guide*. Ohio: TMI (Transformer Maintenance Institute).
- Moreno, A., & Pilco, Y. (2012). *Manual de procedimientos para el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB's) en el sector eléctrico ecuatoriano*. Quito-Ecuador: CONELEC.
- Mott, R. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. México: Prentice Hall.
- Oliva, E. R. (1988). *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Pérez, P. A. (2001). *Transformadores de distribución*. México: Reverté, S.A.
- SCHNEIDER. (2013). Catálogo de productos. *Lista de precios Ecuador*.
- SHELL. (2011). Aceite para transformadores. *El tutor de lubricación Shell*, 1-40. Obtenido de <http://www.shell.com>
- SIEMENS. (2013). *Industry Mall Ecuador*. Obtenido de <https://eb.automation.siemens.com/mall/es/ec/catalog/products/10028832?tree=CatalogTree&activeTab=config#ConfiguratorList>
- Talavera, L., & Farías, M. (1995). *El vacío y sus aplicaciones*. SEP: Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica.
- TRANSEQUIPOS. (2007). *Diagnóstico y mantenimiento de transformadores*. Bogotá.
- Weidmann. (2013). *Weidmann Electrical Technology Home*. Obtenido de <http://www.weidmann-electrical.com/en/markets-a-products/overview>
- WEIDMULLER. (2013). *Weidmuller*. Obtenido de <http://www.weidmuller.com/89862/Products/Electronics>