



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA SEPARADORA DE
ACEITE WESTFALIA OSD Y OSC PARA LA EMPRESA
REPSOL ECUADOR**

AUTOR: GUERRA MEDINA, ANDREA ALEJANDRA

DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. OLMEDO, FERNANDO

SANGOLQUÍ, JUNIO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICADO

Ing. Hugo Ortiz

Ing. Fernando Olmedo

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Diseño y Simulación de un sistema de control automático para la separadora de aceite Westfalia OCS Y OSD para la empresa Repsol Ecuador”, realizado por Andrea Alejandra Guerra Medina, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf.). Autorizan a Andrea Alejandra Guerra Medina que lo entregue al Ingeniero Francisco Terneus en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, junio de 2015



Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR



Ing. Fernando Olmedo
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

ANDREA ALEJANDRA GUERRA MEDINA

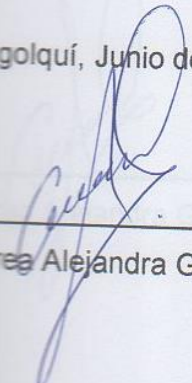
DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “*Diseño y simulación de un sistema de control automático para la separadora de aceite Westfalia OSD y OSC para la empresa Repsol Ecuador*”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, Junio de 2015



Andrea Alejandra Guerra Medina

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

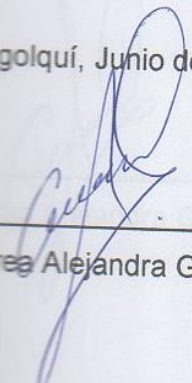
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Andrea Alejandra Guerra Medina

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado “Diseño y simulación de un sistema de control automático para la separadora de aceite Westfalia OSD y OSC para la empresa Repsol Ecuador”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, Junio de 2015



Andrea Alejandra Guerra Medina

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría, paciencia y fortaleza en los momentos más difíciles, a mi familia por ser mi pilar fundamental durante este proceso en especial a mi madre por su amor infinito y a mi hermano por su ayuda incondicional, a mi novio Dennys por creer en mis sueños y ayudarme a plasmarlos en este proyecto de grado.

Andrea Guerra

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres, Julia y Henry por su amparo durante toda mi vida y a mis abuelitos Inés y Luis por su inmenso cariño.

Un agradecimiento para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por brindarme los conocimientos necesarios en el desarrollo de este proyecto, a mis profesores por inculcarme a más de conocimiento valores, a mis compañeros que de alguna manera dejaron huella en mi vida.

Un sincero agradecimiento a mi director y codirector por ser una guía fundamental en la elaboración del proyecto haciendo posible el desarrollo satisfactorio del mismo.

Un especial agradecimiento a REPSOL Ecuador por brindarme la oportunidad de elaborar este proyecto y por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este, ya que esto no hubiese sido posible sin su aporte.

Andrea Guerra

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO 1	1
PRELIMINARES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	5
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1. PURIFICADORA CENTRÍFUGA DE ACEITE	7
2.1.1. DEFINICIÓN.....	7
2.1.2. PARTES DE LA PURIFICADORA.....	7
2.2. PROCESO DE PURIFICACIÓN DE ACEITE	9
2.2.1. PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PURIFICADORA DE ACEITE.....	9
2.2.2. CONDICIONES DE ARRANQUE DE LA UNIDAD SEPARADORA	18
2.3. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL PROCESO DE SEPARACIÓN	19
2.3.1 FUNCIÓN MATEMÁTICA.....	19
CAPÍTULO 3	23
DISEÑO	23
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	23
3.1.1 OPERACIÓN DE LA UNIDAD SEPARADORA.....	23
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	27
3.2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES DEL DISEÑO.....	27
3.2.2 DIAGRAMAS P&ID DEL DISEÑO.....	28

3.2.3	DIAGRAMA DE PUESTA EN MARCHA	29
3.2.4	ESPECIFICACIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN	33
3.3	SOFTWARE DEL CONTROLADOR.....	37
3.3.1	LÓGICA DE CONTROL.....	37
3.3.2	MATRIZ CAUSA-EFECTO	38
3.3.3	MATRIZ QFD	43
3.3.3.1	<i>Matriz de decision.....</i>	45
3.3.3.2	<i>Selección de Alternativas</i>	44
3.3.3.3	<i>Parámetros para la selección de las opciones.....</i>	46
3.4	INTERFAZ DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	48
3.4.1	DISEÑO DE INTERFAZ HMI	48
3.4.2	FUNCIONES DEL SOFTWARE HMI (TIA PORTAL V12)	52
3.4.3	SIMULACIÓN	53
CAPÍTULO 4	71	
ANÁLISIS DE FALLAS.....	71	
4.1	CONFIABILIDAD	71
5.1	HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD.....	73
4.5.1.	MTBF	73
4.5.2.	MTTR.....	76
4.5.3.	FUNCIÓN DE FIABILIDAD.....	77
4.5.4.	DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO	79
4.5.5.	ÁRBOL DE PROBLEMAS Y ÁREAS DE INTERVENCIÓN	79
CAPÍTULO 5	85	
PRUEBAS Y RESULTADOS	85	
5.1.	PRUEBAS	85
5.2.	RESULTADOS.....	97
CAPÍTULO 6	100	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100	
6.1.	CONCLUSIONES.....	100
6.2.	RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102	
GLOSARIO	104	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Sistema de Lubricación	2
FIGURA 2 Vista isométrica de la Unidad Separadora	8
FIGURA 3 Vista en sección de la Unidad Separadora	9
FIGURA 4 Representación de la sedimentación de partículas	10
FIGURA 5 Comparación de contenedores para el tiempo de sedimentación.....	11
FIGURA 6 Separación de líquidos inmiscibles en una cámara cilíndrica.....	11
FIGURA 7 Principio de funcionamiento de una purificadora centrífuga cilíndrica.	12
FIGURA 8 Ejemplificación de la fuerza centrífuga	13
FIGURA 9 Disposición de fluidos en la bola de la Unidad Separadora.....	14
FIGURA 10 Ingreso de agua de maniobra a la cámara de cierre del tambor.....	15
FIGURA 11 Ascenso del pistón axial y cierre del tambor.	15
FIGURA 12 Ingreso de agua de desplazamiento a la bola (bowl).....	16
FIGURA 13 Ingreso de aceite sucio a la bola (bowl).	16
FIGURA 14 Producción de aceite limpio en el proceso de separación.	17
FIGURA 15 Descarga de agua y aceite limpio en el proceso de separación.	17
FIGURA 16 Distribución de velocidad cerca de una frontera.....	19
FIGURA 17 Sumatoria de Fuerzas en una partícula de impureza.	20
FIGURA 18 Variación del radio en una centrífuga de discos.	21
FIGURA 19 Ubicación de la interface sólido líquido (Rt).....	22
FIGURA 20 Ubicación de los dispositivos de señalización y maniobra.....	24
FIGURA 21 Representación del Controlador de la Unidad Separadora.....	25
FIGURA 22 Esquema del proceso de separación.....	29
FIGURA 23 Diagrama de Flujo del proceso de separación de aceite.....	30
FIGURA 24 Subrutina correspondiente a la secuencia de separación.....	31
FIGURA 25 Subrutina correspondiente al programa de eyección.....	32
FIGURA 26 Subrutina correspondiente al programa de separación	33
FIGURA 27 Matriz QFD. Elaborado por: Autor del proyecto.	45
FIGURA 28 Esquema de la arquitectura y navegación para el sistema.....	50
FIGURA 29 Distribución de pantallas en el HMI.....	51
FIGURA 30 Plano de resumen de las principales funciones (ejemplo).	54
FIGURA 31 Pantalla de inicio del programa de simulación	57

FIGURA 32 Pantalla “SINÓPTICA DEL PROCESO” de la interfaz HMI.	58
FIGURA 33 Pantalla “DATOS DE PUESTA EN MARCHA” de la interfaz HMI.	60
FIGURA 34 Pantalla “PANEL DE FUNCIONES” de la interfaz HMI.	60
FIGURA 35 Pantalla “ARMARIO DE CONTROL” de la interfaz HMI.	62
FIGURA 36 Pantalla “LISTA DE TEMPORIZADORES” de la interfaz HMI.	62
FIGURA 37 Pantalla 1 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.	63
FIGURA 38 Pantalla 2 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.	63
FIGURA 39 Pantalla 3 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.	63
FIGURA 40 Pantalla 3 “ALARMAS” de la interfaz HMI.	64
FIGURA 41 Encendido del Sistema.	65
FIGURA 42 Activación de calentadores de aceite.	66
FIGURA 43 magen del proceso de separación.	66
FIGURA 44 Imagen de la pantalla de medición de temperatura.	67
FIGURA 45 Activación de tecla PID.	67
FIGURA 46 Activación de tecla Ingreso de valores.	68
FIGURA 47 Pantalla numérica para el ingreso de valores.	68
FIGURA 48 Estado de la lógica de control en tiempo real.....	69
FIGURA 49 Software S7-PLCSIM1 para forzar las entradas en la simulación del proceso de separación.....	70
FIGURA 50 Número de fallas de un componente de enero a noviembre de 2013.	72
FIGURA 51 Representación gráfica de la función de probabilidad de fallas en la Unidad Separadora.	73
FIGURA 52 Tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada no especificada por fallo.	74
FIGURA 53 Gráfica del los sistemas analizados y las averías presentadas.	75
FIGURA 54 Función de fiabilidad para la unidad separadora.	78
FIGURA 55 Diagrama “Espina de pescado” para los fallos en la unidad separadora.....	80
FIGURA 56 Problema central en la separadora de aceite.....	79
FIGURA 57 Copa del árbol	81
FIGURA 58 Efectos producidos por el problema central.....	81
FIGURA 59 Causas por las que se genera el Problema Central.....	82
FIGURA 60 Árbol de problemas: Causas- Efectos	83

FIGURA 61	Representación de las etapas del calentador de aceite.	85
FIGURA 62	Armario de control. Etapa 1 del calentador activa, posición TC.....	86
FIGURA 63	Curva de temperatura. Etapa 1 del calentador activa, posición TC.....	87
FIGURA 64	Armario de control. Etapa 1 del calentador activa, posición TCH.....	88
FIGURA 65	Curva de temperatura. Etapa 1 activo, posición TC.....	88
FIGURA 66	Armario de control. Etapa 2 del calentador activa, posición TC.....	89
FIGURA 67	Curva de temperatura. Etapa 2 calentador activo posición TC.....	89
FIGURA 68	Armario de control. Etapa 2 del calentador activa, posición TCH.....	90
FIGURA 69	Curva de temperatura. Etapa 2 del calentador activa, posición TCH.....	90
FIGURA 70	Armario de control. Etapa 3 del calentador activa, posición TC.....	91
FIGURA 71	Curva de temperatura. Etapa 3 del calentador activa, posición TC.....	91
FIGURA 72	Armario de control. Etapa 3 del calentador activa, posición TCH.....	92
FIGURA 73	Curva de temperatura. Etapa 3 del calentador activa, posición TCH.....	92
FIGURA 74	Armario de control. Encendidas las 3 etapas.	93
FIGURA 75	Curva de temperatura. Encendidas las 3 etapas.....	93
FIGURA 76	Presión de descarga fuera de rango.....	94
FIGURA 77	Caudal de aceite fuera de rango.	95
FIGURA 78	Presión de descarga fuera de rango.....	95
FIGURA 79	Temperatura fuera de rango.	96
FIGURA 80	Curva de temperatura, calentadores apagados.....	98
FIGURA 81	Proceso de separación activo, cumplimiento de parámetros.....	99
FIGURA 82	Parámetro de temperatura.....	99

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1 Historial de Energía producida en el Boque 16.....	2
CUADRO 2 Partes principales de la separadora de aceite	7
CUADRO 3 Propiedades del aceite empleado en el proceso de separación....	13
CUADRO 4 Características del motor eléctrico de la Unidad Separadora.....	14
CUADRO 5 Dispositivos de señalización y maniobra ubicados el armario de control de la Unidad Separadora	23
CUADRO 6 Descripción de teclas del Controlador de la Unidad Separadora...	25
CUADRO 7 Componentes y localización de elementos de la instrumentación.	33
CUADRO 8 Componentes de un S7-300	34
CUADRO 9 Características de la pantalla KTP1000 Basic DP.....	36
CUADRO 10 Matriz Causa-Efecto del desarrollo del sistema.....	40
CUADRO 11 Matriz 1 Causa-Efecto de la lógica de control.....	41
CUADRO 12 Matriz Causa-Efecto de la lógica de control (condicional)	42
CUADRO 13 Requerimientos de los Usuarios del HMI. Prioridad 0 - 5.....	44
CUADRO 14 Características técnicas del HMI	44
CUADRO 15 Alternativas de Software para el diseño del HMI.....	46
CUADRO 16 Selección de opciones para el desarrollo del Software.....	47
CUADRO 17 Contenido y funciones de las pantallas del HMI	49
CUADRO 18 Descripción de los elementos del plano de resumen.....	54
CUADRO 19 Designación de teclas de la pantalla Menú Principal.....	56
CUADRO 20 Designación de teclas de la pantalla Menú Principal.....	58
CUADRO 21 Designación de teclas del Panel de Funciones.	61
CUADRO 22 Indicación de alarmas en la simulación del proceso.....	64
CUADRO 23 Fallas presentados en el año 2013 en la unidad separadora.....	71
CUADRO 24 Función de probabilidad para las fallas en la Unidad Separadora	72
CUADRO 25 Análisis de averías en la Unidad Separadora, año 2009	74
CUADRO 26 Cálculo de MTBF por año.....	75
CUADRO 27 Determinación del número de averías por año	76
CUADRO 28 Recurrencia de fallas en la Unidad Separadora.	78
CUADRO 29 Lista de temporizadores empleados en el proceso de separación.....	96

RESUMEN

Las unidades separadoras de aceite se asocian directamente al proceso de generación eléctrica ya que son las encargadas de purificar el aceite que lubrica el motor-generador; en la actualidad en la Planta de Generación a Crudo se dispone de siete motores marca Wärtsila 18V32LN por lo que requiere que las separadoras de aceite tengan un nivel óptimo de funcionamiento; para ello se han analizado las variables presentes en el sistema para de esta manera evaluar las características que puedan influir en el normal funcionamiento de la unidad separadora. Los parámetros que se tomaron en cuenta para la simulación del proceso de purificación de aceite son: presión de descarga de aceite limpio, el caudal del aceite, la presión de agua y la temperatura del producto, puesto que se consideran los más críticos dentro del proceso, así mismo se realizará un análisis de las fallas presentes en el sistema. Para la lógica de control se ha utilizado de un controlador lógico programable (PLC), en el cual que se han considerado todos los parámetros ya mencionados así como los fallos y alarmas; para la visualización del proceso se ha diseñado una interfaz Humano - Máquina, la misma que se adapta a los requerimientos de los operadores del sistema. Como último punto se presentan conclusiones y se proponen recomendaciones en el proyecto realizado.

PALABRAS CLAVE:

- **UNIDAD SEPARADORA**
- **ACEITE**
- **WÄRTSILA**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**
- **INTERFAZ**

ABSTRACT

The oil separator units are directly associated power generation process as they are responsible for purifying the oil that lubricates the engine - generator ; today in Generation Plant Oil is available seven engines Wärtsila brand 18V32LN so requires oil separator having an optimal level of functioning ; This has been analyzed for the variables in the system to thereby evaluate the characteristics that may affect the normal operation of the separator unit ; the parameters taken into account for the simulation of the process of purification of oil are discharge pressure of clean oil , the oil flow rate , water pressure and temperature of the product, since it is considered the most critical in the process , also an analysis of faults in the system will perform. To control logic has made use of a programmable logic controller (PLC), the same that have considered all the aforementioned parameters and faults and alarms; for displaying the process has been designed a Human- machine, adapting it to the requirements of the system operators interface. As a last point, conclusions and recommendations are proposed in the project done.

KEYWORDS:

- **SEPARATOR UNIT**
- **OIL**
- **WÄRTSILA**
- **LOGIC CONTROLLER**
- **INTERFACE**

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA SEPARADORA DE ACEITE WESTFALIA OSD Y OSC PARA LA EMPRESA REPSOL ECUADOR

La Planta de Generación a crudo, ubicada en el la provincia de Orellana (Bloque 16), propiedad de Repsol, inició su operación en el año 2004; y es la encargada de generar y suministrar energía eléctrica para la extracción, transporte y tratamiento de Crudos Pesados. Actualmente la planta genera 42 MW de potencia, distribuida en siete unidades de marca Wärtsila 18V32LN, de las cuales todas se encuentran en funcionamiento.

Los motores utilizan crudo pesado (heavy fuel oil) como combustible para su funcionamiento o transferencia de energía calorífica en energía eléctrica.

Las purificadoras dentro de la generación eléctrica son de suma importancia puesto que son las encargadas de separar impurezas del aceite lo cual prolonga la vida útil del mismo; a su vez, la calidad del aceite va a determinar el correcto funcionamiento de los motores por lo que es importante una correcta purificación del lubricante.

CAPÍTULO 1

PRELIMINARES

1.1. ANTECEDENTES

Repsol es una compañía energética global cuyo principal objetivo es contribuir en la construcción de un modelo energético sostenible a largo plazo, a través del desarrollo de energías inteligentes, que beneficien el crecimiento económico de la sociedad y el bienestar de las personas.

Para que Repsol Ecuador pueda mantener sus operaciones necesita de un sistema de autogeneración eléctrica, cuyas fuentes de energía primaria utilizadas son el crudo, el gas asociado a la producción y el diésel. En dicho sistema el crudo produce aproximadamente el 42%, el gas el 24% y el diésel el 34% de la energía total producida. Un historial de la energía directa producida en el Bloque 16 se muestra en el Cuadro 1

La Planta de Generación a Crudo opera en base a siete motores de combustión interna de procedencia Finlandesa marca Wärtsilä modelo 18V32LN. La planta genera 42 MW de potencia y se caracteriza por su alta eficiencia considerando que estos motores utilizan crudo pesado como combustible para su funcionamiento o transferencia de energía calorífica en energía eléctrica, esta energía es empleada en la extracción, transporte y tratamiento de Crudos Pesados.

Cuadro 1

Historial de Energía producida en el Boque 16.

TIPO DE FUENTE	ENERGÍA PRODUCIDA, EN [MJ]		
	2010	2011	2012
Crudo	1.197.284.400	1.223.452.800	1.229.868.612
Gas	740.023.200	767.368.800	710.667.252
Diésel	999.882.000	907.873.200	985.716.720
TOTAL	2.937.189.600	2.898.694.800	2.926.252.584

Fuente: (Repsol Ecuador, 2012)
Elaborado por: Autor del proyecto

La planta de Generación a crudo está conformada por trece sistemas, siendo uno de ellos el Sistema de Lubricación (Cuadro 1), cuya función principal es proporcionar al motor la cantidad suficiente de aceite lubricante (LO) limpio a la presión y temperatura necesarias. El LO lubrica el motor y elimina el calor (enfriamiento) y los contaminantes generados por el proceso de combustión (escape de gases del pistón).

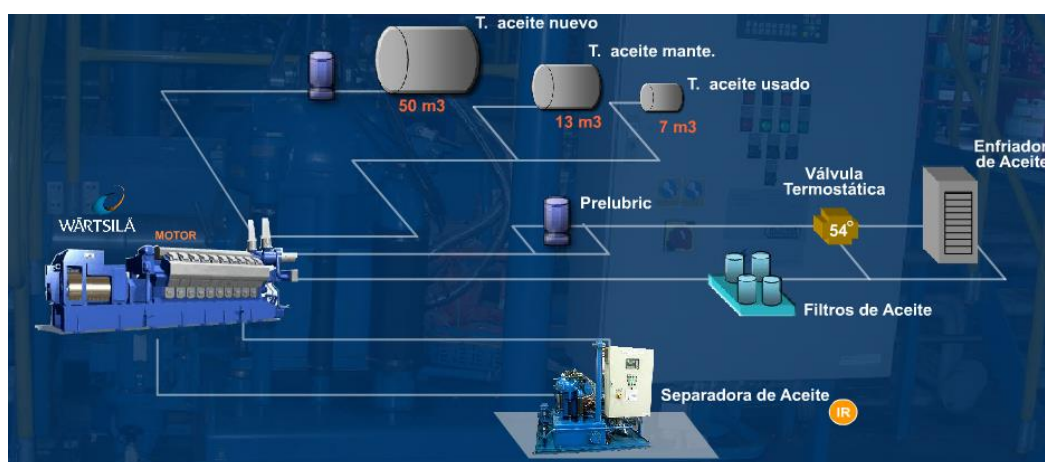


Figura 1. Sistema de Lubricación

Fuente: (REPSOL, 2010)

El funcionamiento adecuado del Sistema de Lubricación protege al motor de averías causadas por una presión demasiado baja, temperaturas excesivas, presión de pre-lubricación demasiado baja o impurezas en el aceite.

Una de las unidades principales del Sistema de Lubricación es la UNIDAD SEPARADORA marca Westfalia modelo OSD 18-0196-067/10, la cual es la encargada de separar partículas de sólidos y agua del aceite lubricante del motor, para ello utiliza fuerzas centrífugas y platos de separación montados en un bowl que gira a altas revoluciones, para mejorar la eficiencia de separación la temperatura del aceite se eleva de 90 a 95°C mediante un calentador eléctrico.

El correcto funcionamiento del sistema de lubricación asegura una reducción del rozamiento o fricción lo cual optimiza la duración de los componentes, disminuye el desgaste y reduce el calentamiento de los elementos del motor que se mueven unos con respecto a otros.

El fallo en el sistema de lubricación se traduce en una parada no programada de uno o varios motores, lo cual significa, que se libera del sistema eléctrico 6 MW por cada motor, teniendo en cuenta que para alcanzar la producción diaria de 36 000 barriles se debe generar 100 MW, la parada de un motor representaría una pérdida aproximada de 2160 barriles de crudo en un día.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la purificadora se suscitan paradas debido a la presencia de fallas en el programa de separación de producto; estas paradas pueden ser de largos periodos lo cual se refleja en la calidad de aceite suministrada el motor, a su vez la constante supervisión de la unidad transforma a esta tarea en una acción repetitiva lo que puede desencadenar en errores de operación los mismos que conllevan a fallas mayores.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La Planta de Generación a Crudo es la encargada de generar y suministrar Energía Eléctrica para la extracción, transporte y tratamiento de Crudos Pesados.

En la Planta está presente el Sistema de Lubricación, cuya función es proporcionar al motor una cantidad suficiente de aceite lubricante limpio a la presión y temperatura necesarias, el Sistema de Lubricación consta de un elemento fundamental el cual es la Separadora (Centrifugadora) de Aceite, la misma que, al producirse un fallo detiene su funcionamiento, lo que representa paros innecesarios e inesperados de la unidad, provocando así que el proceso de separación/purificación de aceite no se realice, impidiendo la eliminación de sólidos y agua presentes en el aceite que podrían ocasionar daños severos en las diferentes partes que necesitan lubricación en el motor, por ejemplo cojinetes, cigüeñal y camisas.

El presente proyecto busca generar un monitoreo todas las variables del proceso como son la temperatura del devanado del motor, nivel de aceite, presión de salida de aceite limpio, nivel del tanque de lodos, nivel de vibraciones, temperatura mínima y máxima del aceite, corriente del motor de la centrífuga, velocidad de giro del tambor para con esta información rediseñar el controlador de temperatura de aceite para mantener dicha temperatura en el rango de operación, de esta manera evitar paros en la unidad.

Todo el proceso permitirá elaborar un árbol de fallas, causas, soluciones y un programa de mantenimiento correctivo, el mismo que disminuirá los tiempos de paro de la Unidad Separadora lo que asegura un correcto proceso de separación/purificación del aceite evitando daños en los elementos que requieren lubricación en el motor.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

La elaboración de la presente propuesta iniciará con la investigación y recolección de datos de operación de la Separadora de Aceite marca Westfalia modelo OSC 15-96-067, con la finalidad de determinar las variables de entrada y salida de energía y masa al volumen de control, de esta forma será posible determinar a través de una función matemática las variables que tienen más influencia, el mismo que precederá al diseño del Sistema de Control óptimo.

Se propondrá un diseño de interfaz Humano – Máquina para el proceso de Separación/purificación.

Se elaborará la documentación del árbol de fallas causa-efecto y programa de mantenimiento correctivo de la Separadora de Aceite y el posible plan de Implementación e Instalación del Sistema de Control Automático diseñado.

Adicionalmente se presentará la Simulación del Sistema Automático diseñada.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el desempeño de las purificadoras de aceite Westfalia modelos OSD y OSC.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado actual del Separadora de Aceite Westfalia modelos OSD y OSC.

- Examinar las alternativas de diseño que optimicen el funcionamiento de la Separadora de Aceite.
- Establecer los principios matemáticos para el proceso de transferencia energética del sistema.
- Diseñar y simular el Sistema de Control Automático de las Separadoras modelos OSD y OSC.
- Aplicar la metodología TPM pura para elaborar el árbol de fallas, causas – efecto.
- Desarrollar el programa de mantenimiento para la Separadora de Aceite, y el plan de implementación e instalación del Sistema de Control Automático.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. PURIFICADORA CENTRÍFUGA DE ACEITE

2.1.1. Definición

Una separadora de aceite es un dispositivo electromecánico que usa la fuerza centrífuga para su funcionamiento y se encarga de separar dos líquidos de diferentes densidades o restos de sólidos presentes en un fluido.

2.1.2. Partes de la purificadora

Las partes principales de la unidad separadora de aceite se muestran en las Figuras 2 y 3 las mismas que se encuentran identificadas por medio de un número y detalladas en el Cuadro 2.

Cuadro 2

*Partes principales de la separadora de aceite*¹

Número	Elemento
1	Motor eléctrico
2	Armario de control
3	Calentador eléctrico
4	Tanque de lodos
5	Alimentación de aceite sucio
6	Salida de aceite limpio
7	Entrada de agua de desplazamiento

¹ Continúa Tabla 2 →

8	Presostato (aceite limpio)
9	Presostato (salida de agua)
10	Válvula reguladora
11	Diafragma
12	Programador
13	Rodete de maniobra (agua sucia)
14	Rodete (aceite limpio)
15	Platos separadores
16	Recinto de sólidos
17	Salida de agua sucia
18	Salida de agua de maniobra
19	Salida de sólidos

Fuente: (Westfalia, 2009)

Elaborado por: Autor del proyecto.

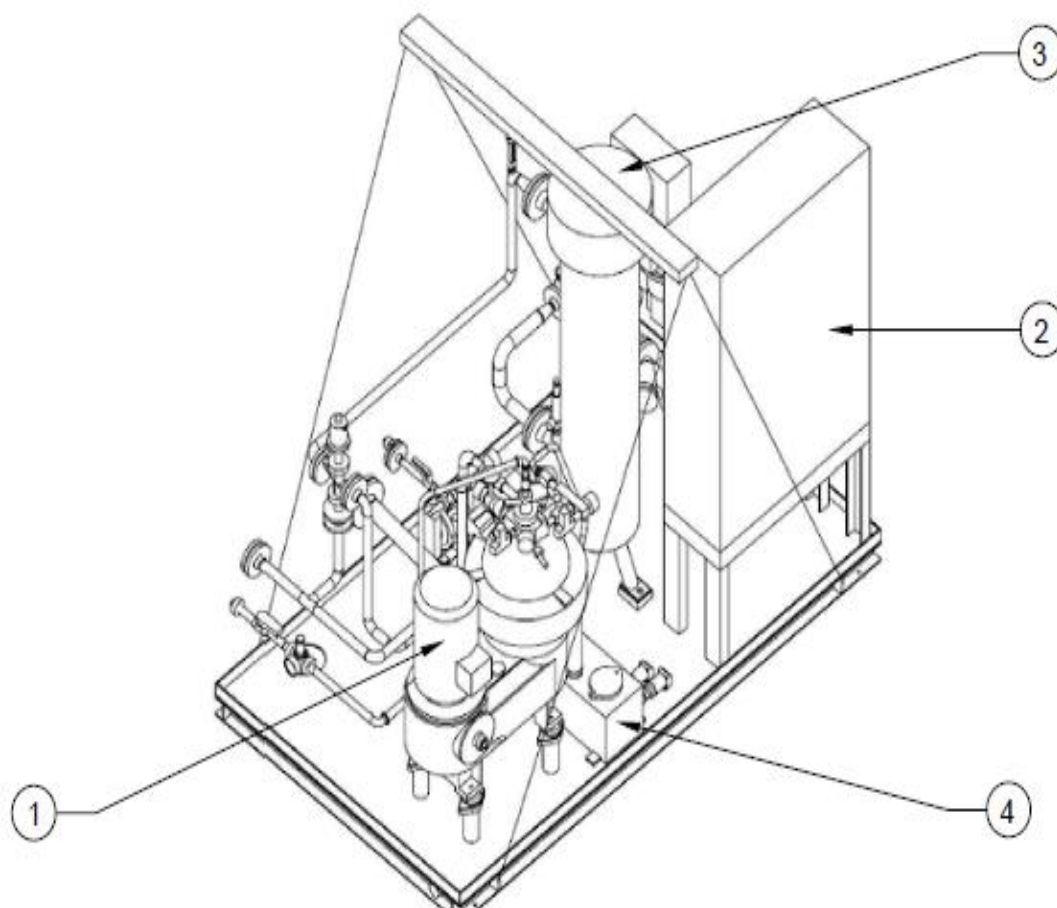


Figura 2. Vista isométrica de la Unidad Separadora

Fuente: (Westfalia, 2009)

Elaborado por: Autor del proyecto

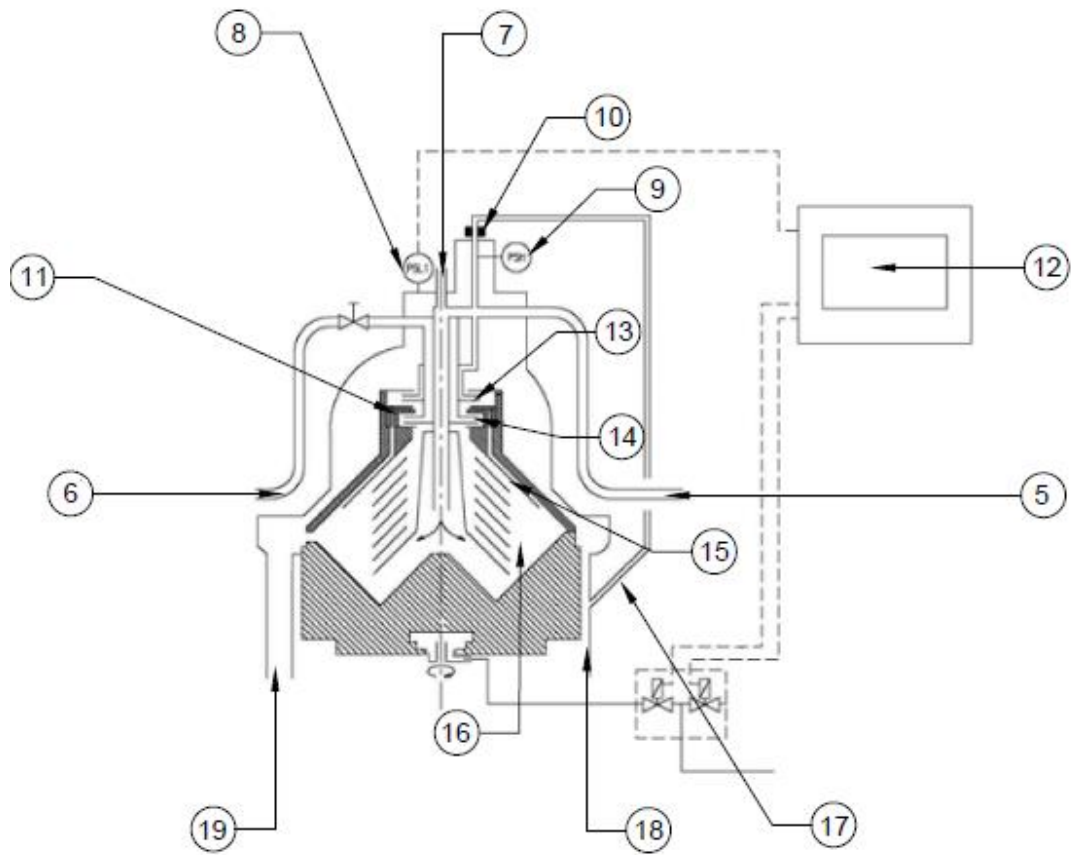


Figura 3. Vista en sección de la Unidad Separadora

Fuente: (Westfalia, 2009)

Elaborado por: Autor del proyecto

2.2. PROCESO DE PURIFICACIÓN DE ACEITE

2.2.1. Principios básicos de funcionamiento de la Purificadora centrífuga de aceite.

Las centrífugas se utilizan para separar mezclas de líquidos o para eliminar sólidos contenidos en suspensión en líquidos o mezclas de líquidos. Durante el funcionamiento del motor el aceite se encarga de la lubricación del motor así como del enfriamiento y la eliminación de los contaminantes que se generan en el proceso de combustión por tanto la purificadora opera de forma continua separando el sedimento y el agua del aceite lubricante.

El principio básico en el proceso de separación consiste en el asentamiento de los sólidos pesados en el fondo de un recipiente horizontal, sin movimiento, al cabo de cierto tiempo debido a la fuerza de gravedad.

En la Figura 4 se aprecia la sedimentación estática de los sólidos en un recipiente sin movimiento, este proceso se suscita por efecto de la gravedad y la diferencia de densidades entre los sólidos y el agua después de cierto tiempo (tiempo de sedimentación) en donde el líquido de menor densidad flotará en la parte superior (aceite).

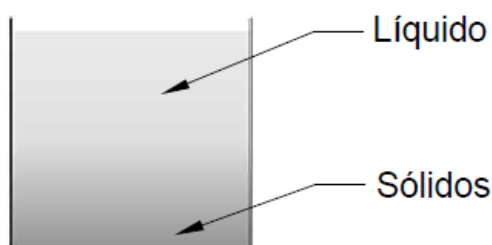


Figura 4. Representación de la sedimentación de partículas por diferencia de densidades.

Fuente: (Quishpe, 2012)

Elaborado por: Autor del proyecto

El tiempo de sedimentación depende del área de y la profundidad del recipiente (Figura 5), es decir, que el tiempo de asentamiento se reducirá cuando se maximice el área y se reduzca la profundidad del contenedor para un volumen de líquido específico, así mismo, cuanto mayor sea la diferencia de densidades entre el líquidos y los sólidos, más eficaz será la clarificación.

El principio de funcionamiento se basa en la teoría de separación por gravedad, sin embargo en una centrífuga se emplean dos fuerzas de igual magnitud pero de sentido contrario generadas cuando un cuerpo gira alrededor de un eje; una de estas fuerzas trata de desviar el cuerpo hacia el centro del eje de giro a la que se denomina fuerza centrípeta mientras que la segunda fuerza, llamada fuerza centrífuga es la que trata de alejarlo del eje; la fuerza centrífuga es la que se aprovecha en los distintos procesos de

separación de líquidos (Figura 6), sólidos y gases; así como también mezclas entre ellos.

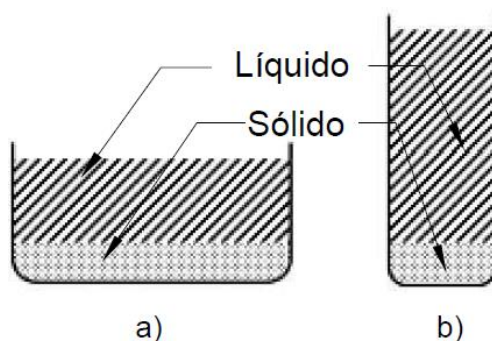


Figura 5. Comparación de contenedores para el tiempo de sedimentación de sólidos. a) Favorable. b) Desfavorable

Fuente: (Quishpe, 2012)

Elaborado por: Autor del proyecto

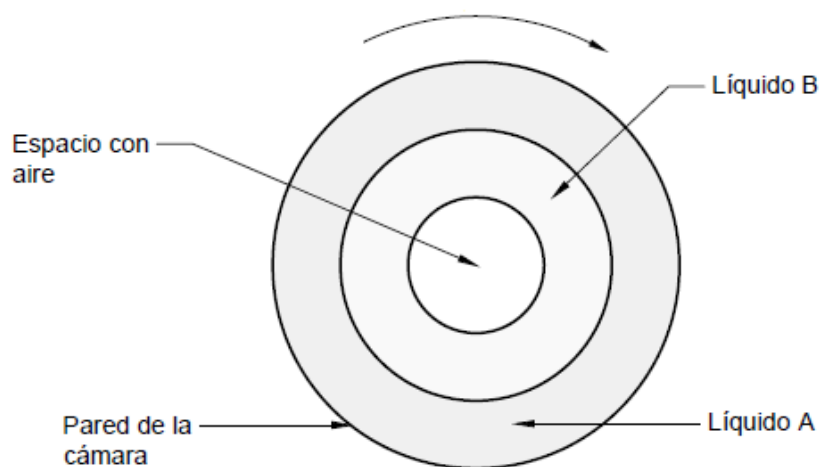


Figura 6. Separación de líquidos inmiscibles en una cámara cilíndrica. (Vista superior)

Fuente: (Quishpe, 2012)

Elaborado por: Autor del proyecto

En un recipiente cilíndrico la fuerza centrífuga actúa en dirección de las paredes del contenedor (Figura 7), esta fuerza provoca la sedimentación de las partículas sólidas pesadas a través de una capa de líquido o la filtración en un recipiente en rotación.

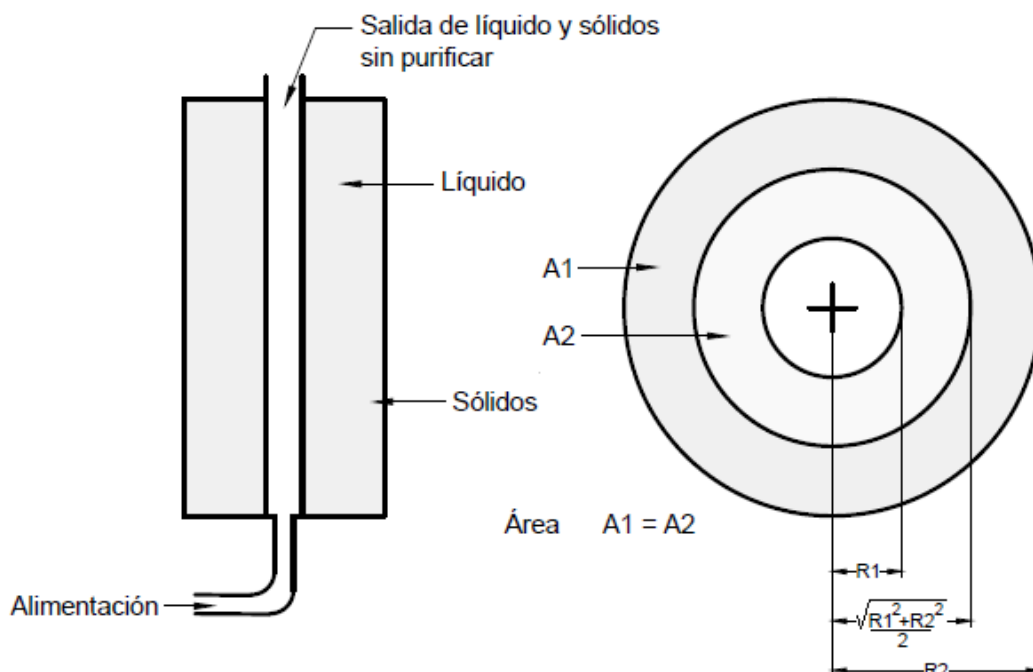


Figura 7. Principio de funcionamiento de una purificadora centrífuga cilíndrica.

Fuente: (Quishpe, 2012)

Elaborado por: Autor del proyecto

Al girar el tambor de la centrífuga se generan grandes fuerzas centrífugas (Figura 8). Por acción de estas fuerzas centrífugas, se logra en un tiempo muy breve la separación de los líquidos mezclados y/o la eliminación de los sólidos.

Los componentes de mayor densidad se desplazan hacia la periferia del tambor, mientras que los de menor densidad se dirigen hacia el centro del mismo. Para obtener estas fuerzas centrífugas considerables se imprime gran velocidad al tambor. Las altas velocidades de rotación permiten obtener una gran eficiencia, pero, además, someten el material de la centrífuga a grandes esfuerzos. La velocidad de rotación del tambor es un parámetro importante, el mismo que depende de las propiedades químicas y físicas del producto a centrifugar, tales como:

- Temperatura
- Densidad de los componentes líquidos y sólidos

- Material del tambor de la Unidad Separadora



Figura 8. Ejemplificación de la fuerza centrífuga

Fuente: (Westfalia, 2009)

El aceite a purificar consta de las propiedades químicas mostradas en el Cuadro 3.

Cuadro 3

Propiedades del aceite empleado en el proceso de separación.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD	NORMA
Grado S.A.E	40	-	
Densidad a 15 °C	0,92	Kg/dm ³	ISO 3675
Viscosidad Cinemática a 40 °C	140	mm ² /s	ISO 3104
Viscosidad Cinemática a 100 °C	14	mm ² /s	ISO 3104

Fuente: (Lubmarine, 2014)

Elaborado por: Autor del proyecto.

De acuerdo con el fabricante, la velocidad de rotación del tambor para un producto hasta 1,05 Kg/dm³ (a 15 °C) es de 10 000 rpm.

La separadora de aceite Westfalia OSC 15 – 96 – 067 que es el objeto de estudio de este proyecto emplea un motor eléctrico con las características descritas en el Cuadro 4, el mismo que se encarga de la transmisión de velocidad.

Cuadro 4**Características del motor eléctrico de la Unidad Separadora**

Potencia	5,5 kW
Velocidad a 60 Hz	3 460 rpm
Forma constructiva	132 SB 02

Fuente: (Westfalia, 2009)

Elaborado por: Autor del proyecto.

Modo de funcionamiento de la unidad separadora

La unidad Separadora maneja fluidos de distintas características, como se muestra en la Figura 9.

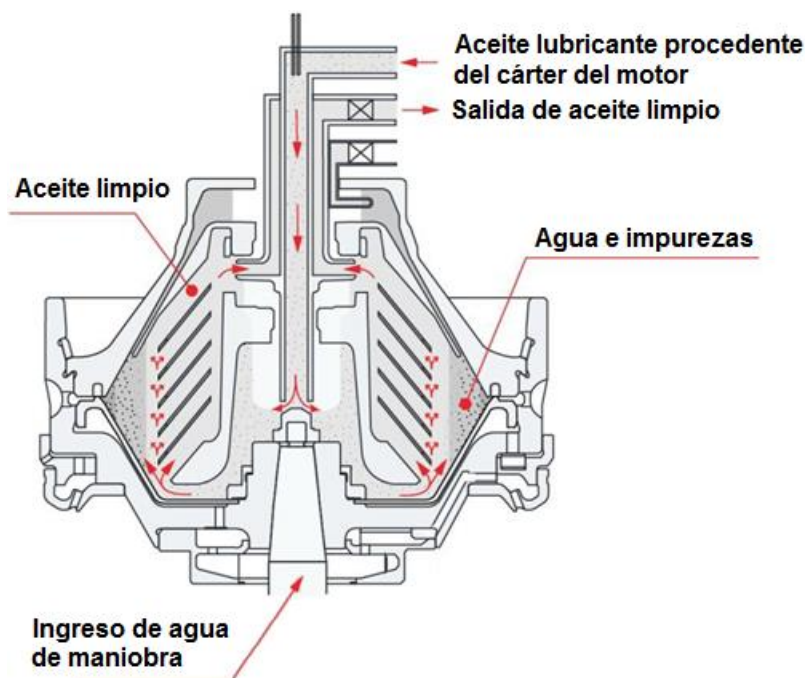


Figura 9. Disposición de los distintos fluidos en la bola de la Unidad Separadora.

Fuente: (WÄRTSILÄ, 2014)

El proceso de purificación se lleva a cabo a partir del arranque de la centrífuga en el cual el tambor acelera hasta alcanzar su velocidad nominal, una vez transcurrido el tiempo de arranque se abre la válvula de agua de maniobra (Figura 10) la cual es controlada por un temporizador y es la encargada de enviar agua a la cámara de cierre para que el pistón axial ascienda cerrando así el tambor (Figura 11).

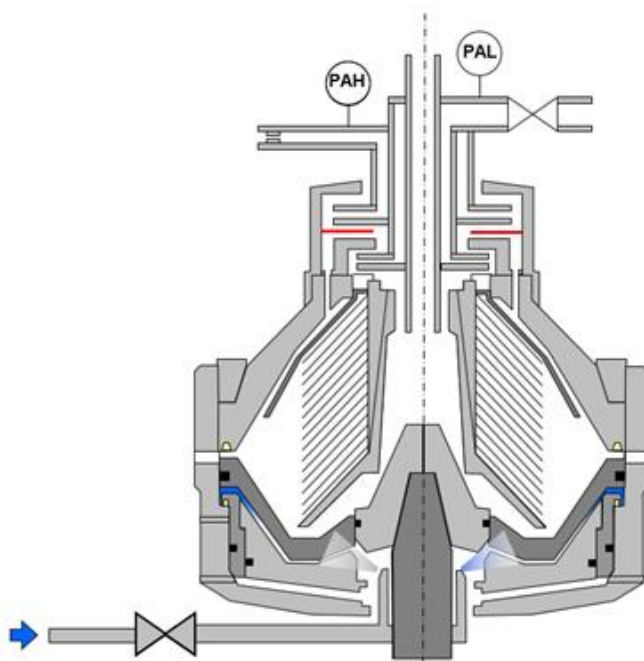


Figura 10. Ingreso de agua de maniobra a la cámara de cierre del tambor.
Fuente: (Westfalia, 2007)

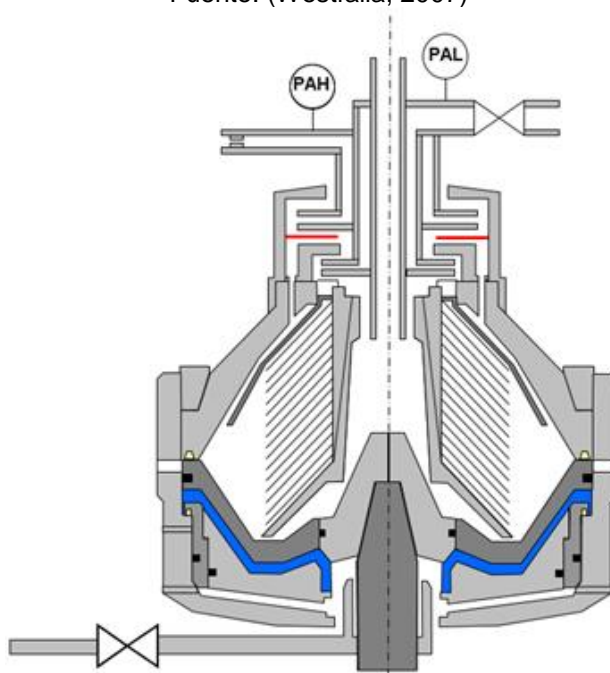


Figura 11. Ascenso del pistón axial y cierre del tambor.
Fuente: (Westfalia, 2007)

Con el tambor cerrado se puede ingresar producto en la bola (bowl) de la Unidad Separadora, este proceso se puede visualizar en las Figuras 12 y Figura 13.

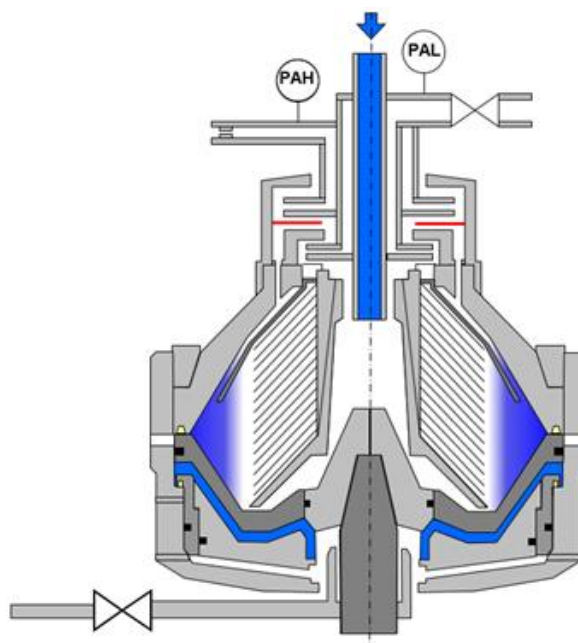


Figura 12. Ingreso de agua de desplazamiento a la bola (bowl).

Fuente: (Westfalia, 2007)

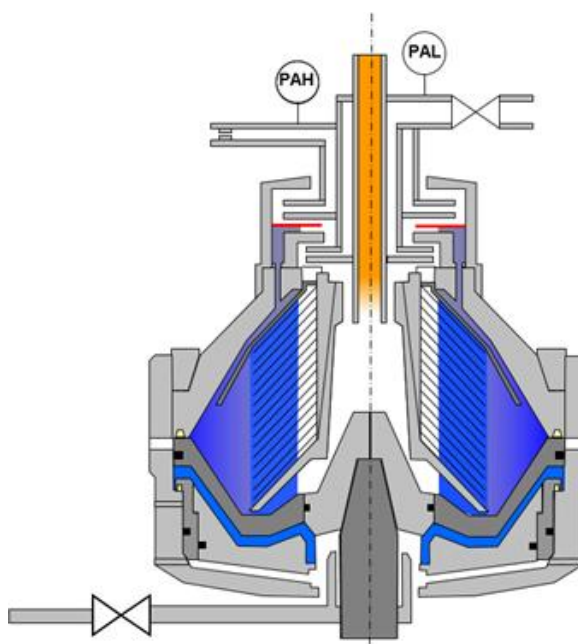


Figura 13. Ingreso de aceite sucio a la bola (bowl).

Fuente: (Westfalia, 2007)

Sin el sello hidráulico, el aceite saldría por el ducto de descarga de agua sucia, provocando pérdidas de producto; se dispone de un tiempo de retardo entre el cierre de la válvula de agua de llenado y la apertura de la válvula de alimentación.

El tambor se llena con aceite y comienza el proceso de separación, produciendo aceite limpio (Figura 14) y acumulando sólidos e impurezas.

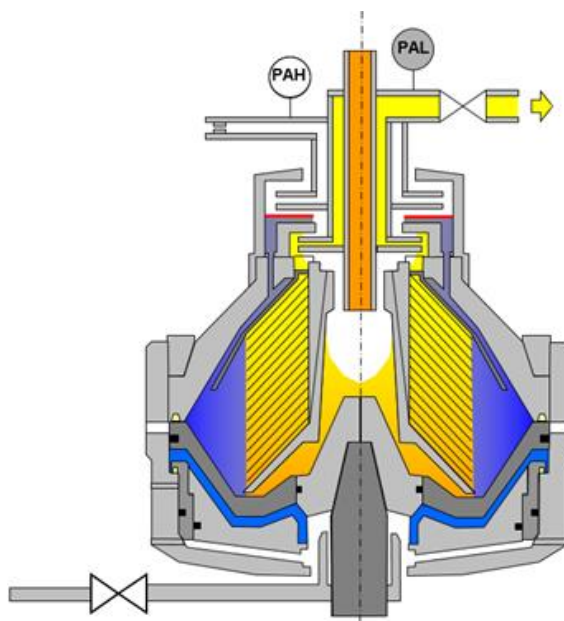


Figura 14. Producción de aceite limpio en el proceso de separación.
Fuente: (Westfalia, 2007)

El aceite limpio y el agua sucia se descargan de forma continua, como se muestra en la Figura 15.

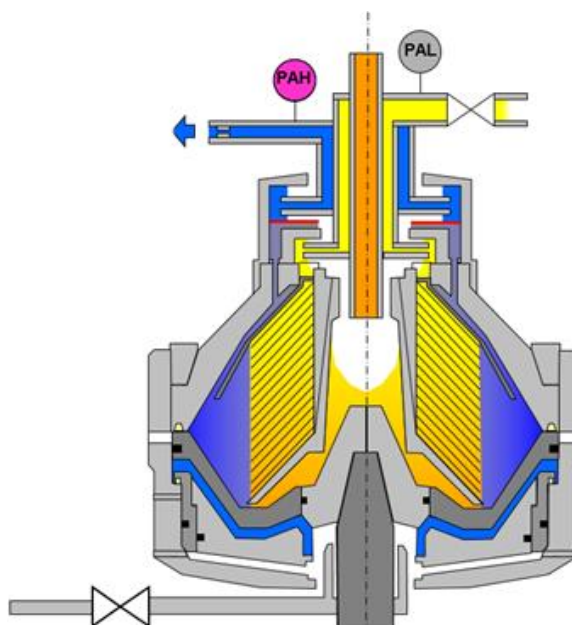


Figura 15. Descarga de agua y aceite limpio en el proceso de separación.
Fuente: (Westfalia, 2007)

Condiciones de líquido de cierre

Entre las consideraciones para el líquido que se usará para realizar el sello u obturación líquida dentro de la bola purificadora se tiene:

- Debe ser insoluble en el líquido liviano.
- Puede o no ser soluble en el líquido pesado.
- Debe tener un peso específico igual o mayor al del líquido pesado.

2.2.2. Condiciones de arranque de la Unidad Separadora

Previo al arranque de la unidad separadora es necesario comprobar que las líneas de distribución de producto estén llenas para el servicio. Así mismo se debe detener de forma inmediata el proceso de arranque si se presentan ruidos y/o vibraciones anormales en la unidad.

Arranque del módulo de purificación

Para el arranque del módulo de funcionamiento se requiere cumplir el siguiente procedimiento:

- Abrir las válvulas de cierre ubicadas en las tuberías de agua, aire comprimido y aceite.
- Conectar la tensión mediante el interruptor principal.
- Comprobar el funcionamiento de los diodos LED accionando el pulsador para "Control de lámparas".
- Arrancar el motor de la centrífuga llevando el selector "Centrífuga 1" a la posición de encendido.
- Esperar hasta que el tambor de la centrífuga haya alcanzado la velocidad de régimen.
- Poner en marcha la bomba de alimentación llevando el selector "Bomba de alimentación – 1" a la posición de encendido

2.3. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE ACEITE.

2.3.1 Función matemática

Para el desarrollo de la función matemática del proceso de separación se parte de la ecuación del esfuerzo cortante producido cerca de una pared (Figura 16), la misma que se define como:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dn} \quad (1)$$

Donde:

τ = tensión cortante

μ = coeficiente de viscosidad dinámica

$\frac{dv}{dn}$ = gradiente de velocidad en dirección normal al flujo

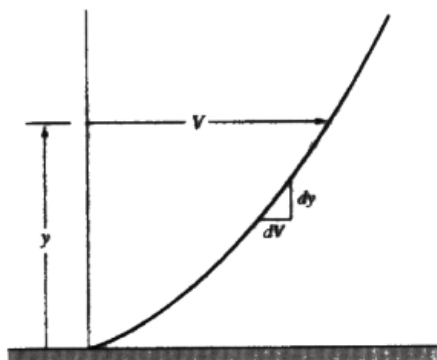


Figura 16. Distribución de velocidad cerca de una frontera.

Fuente: (Torres, 2011)

Para definir el arrastre sobre una esfera (partícula) en un fluido viscoso se aplica la ley de Stokes

$$E = 6 \cdot \pi \cdot r_{esfera} \cdot \mu \cdot V \quad (2)$$

Donde:

$E = \text{empuje}$

$r_{\text{esfera}} = \text{radio de la esfera}$

$V = \text{velocidad esfera}$

Haciendo un análisis de fuerzas (Figura 17) para la partícula y analizando las condiciones iniciales en la que las esfera parte del reposo ($V = 0$) se obtiene la ecuación (3)

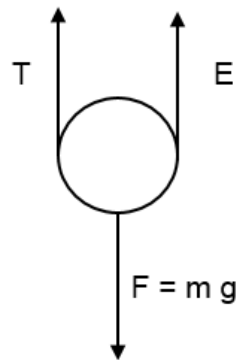


Figura 17. Sumatoria de Fuerzas en una partícula de impureza.
Elaborado por: Autor del proyecto.

$$\sum F = -E - F_{\text{viscosa}} + (-mg) = 0 \quad (3)$$

En el proceso de purificación de la unidad separadora interviene la aceleración centrípeta (4) ya que se relaciona con el cambio de dirección de la velocidad de la partícula cuando esta recorre una trayectoria curvilínea.

$$a_r = \omega^2 r \quad (4)$$

En donde:

$a_r = \text{aceleración centrípeta}$

$\omega = \text{velocidad angular}$

$r = \text{distancia radial al centro de rotación}$

Cuando una disolución se precipita, la velocidad de sedimentación está determinada por la ley de Stokes y se expresa como:

$$V_{\text{sedimentación}} = \frac{2}{9} \frac{r^2(\delta - p)}{\mu} a_r \quad (5)$$

Donde

$\delta =$ densidad de sedimentación

$p =$ densidad del fluido

$\mu =$ viscosidad dinámica

$$r = \frac{d_p}{2} \quad (6)$$

$d_p =$ diámetro de rotación

Como se observa en la Figura 18 la variación del radio R_0 dependerá de la cantidad de impurezas acumuladas en las paredes del bowl, lo que define a la ecuación (7)

$$V_{\text{sedimentación}} = \frac{dr}{dt} \quad (7)$$

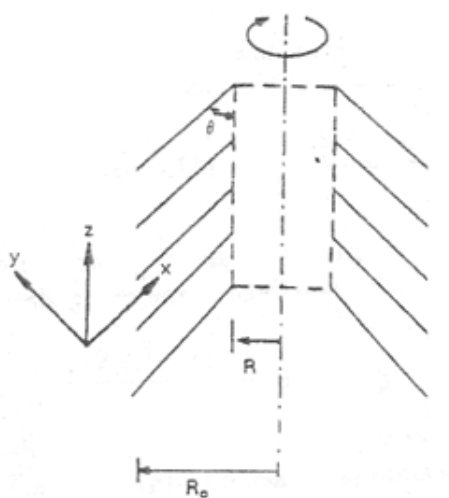


Figura 18. Variación del radio en una centrífuga de discos.

Fuente: (Torres, 2011)

Reemplazando las ecuaciones (4) y (6) en la ecuación (5) se tiene:

$$V_{\text{sedimentación}} = \frac{dp^2(\delta - p) \omega^2 r}{18\mu} \quad (8)$$

Para el cálculo se toman como condiciones iniciales

$$\begin{cases} t = 0 & r = R_1 \\ t = t & r = R_2 \end{cases}$$

$$\int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \int_0^t \frac{dp^2(\delta - p) \omega^2}{18\mu} dt \quad (9)$$

La ecuación (10) permite determinar el tiempo de filtrado antes de que los lodos sobrepasen la medida de la interface sólido-líquido (Figura 19) este valor se encuentra determinado por el fabricante y debe ser acatado para no provocar daños en la unidad separadora.

$$t = \frac{18\mu}{dp^2(\delta - p) \omega^2} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (10)$$

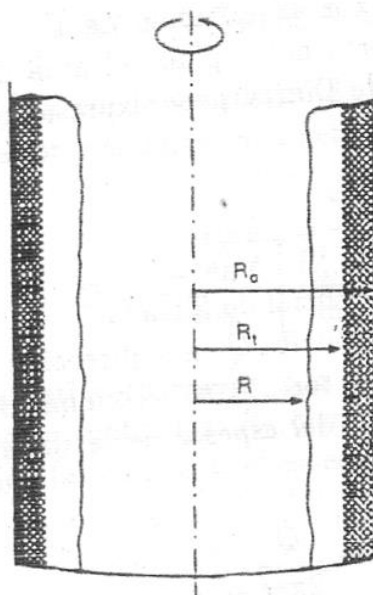


Figura 19. Ubicación de la interface sólido líquido (Rt)

Fuente: (Torres, 2011)

CAPÍTULO 3

DISEÑO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1.1 Operación de la Unidad Separadora

En esta sección se describirá la operación de la unidad separadora así como los elementos involucrados en el proceso, además la lógica de control implementada para el desarrollo del software de control.

Como primer punto se analizará el armario de control y la función de los componentes integrados en él. En la Figura 20 se muestra el detalle de los elementos incorporados en el armario; en la Tabla 5 se detallan la función de los dispositivos de señalización y maniobra que lo constituyen.

Cuadro 5 Dispositivos de señalización y maniobra ubicados el armario de control de la Unidad Separadora²

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1A1	Aparato de servicio	Equipo programador.
3H1	Led calentador de aceite etapa 1.	LED-Indicador, verde.
3H2	Led calentador de aceite etapa 2.	LED-Indicador, verde.
3H3	Led calentador de aceite etapa 3.	LED-Indicador, verde.
3H6	Led calentador de aceite fallo.	LED-Indicador, rojo.
0M3	Ventilador del armario.	Ventilador del armario.
Q1	Interruptor principal.	Disyuntor.

² Continúa Tabla 5→

1S1	Parada de la centrífuga.	Pulsador, rojo.
1S2	Arranque de la centrífuga.	Pulsador, negro.
2S1	Parada de la bomba de alimentación.	Pulsador, rojo.
2S2	Arranque de la bomba de alimentación	Pulsador, negro.
3S1	Calentador de aceite etapa 1 [10 kW]	Interruptor giratorio, negro, con retención.
3S2	Calentador de aceite etapa 2 [15 kW]	Interruptor giratorio, negro, con retención.
3S3	Calentador de aceite etapa 3 [20 kW]	Interruptor giratorio, negro, con retención.
4S1	Bomba de lodos.	Interruptor giratorio, negro, con retención.

Fuente: (Westfalia, 2007)

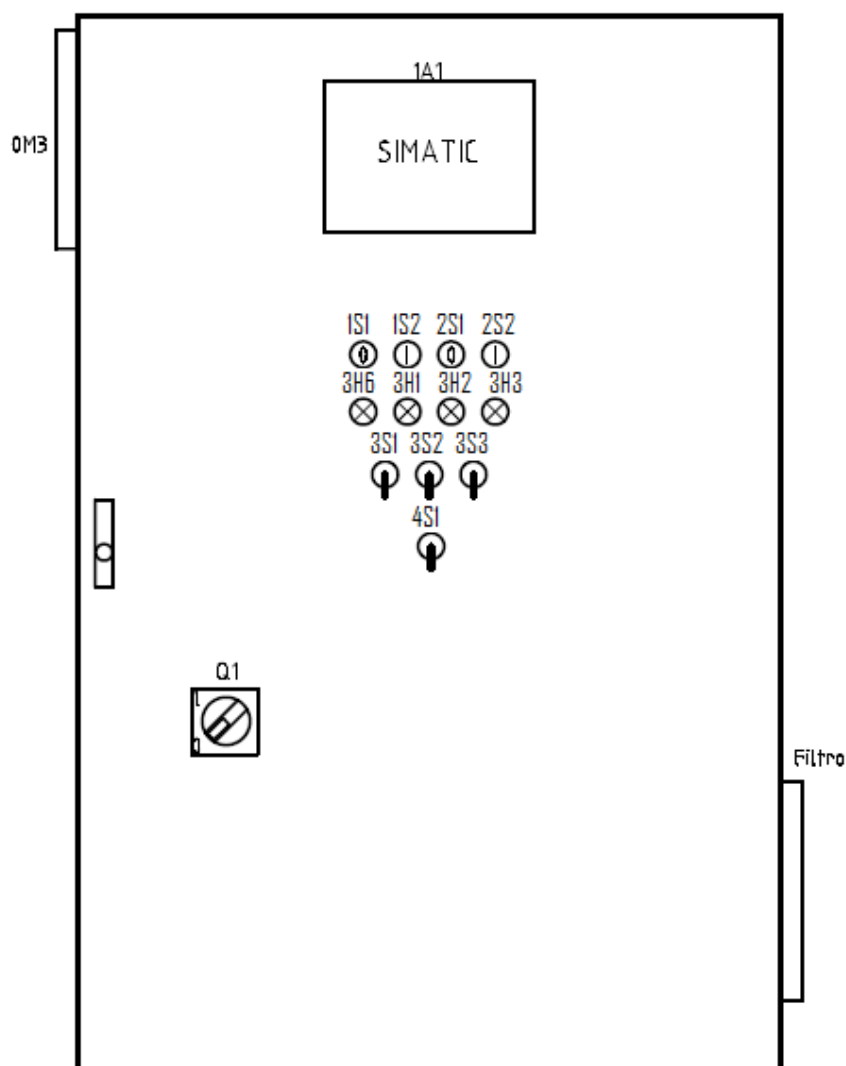


Figura 20. Ubicación de los dispositivos de señalización y maniobra del armario de control.

Fuente: (Westfalia, 2007)

En la Figura 21 se muestra una representación del controlador de la unidad separadora, mientras que en el Cuadro 5 se describe las teclas que lo conforman así como una descripción de la función que realiza cada una de ellas.

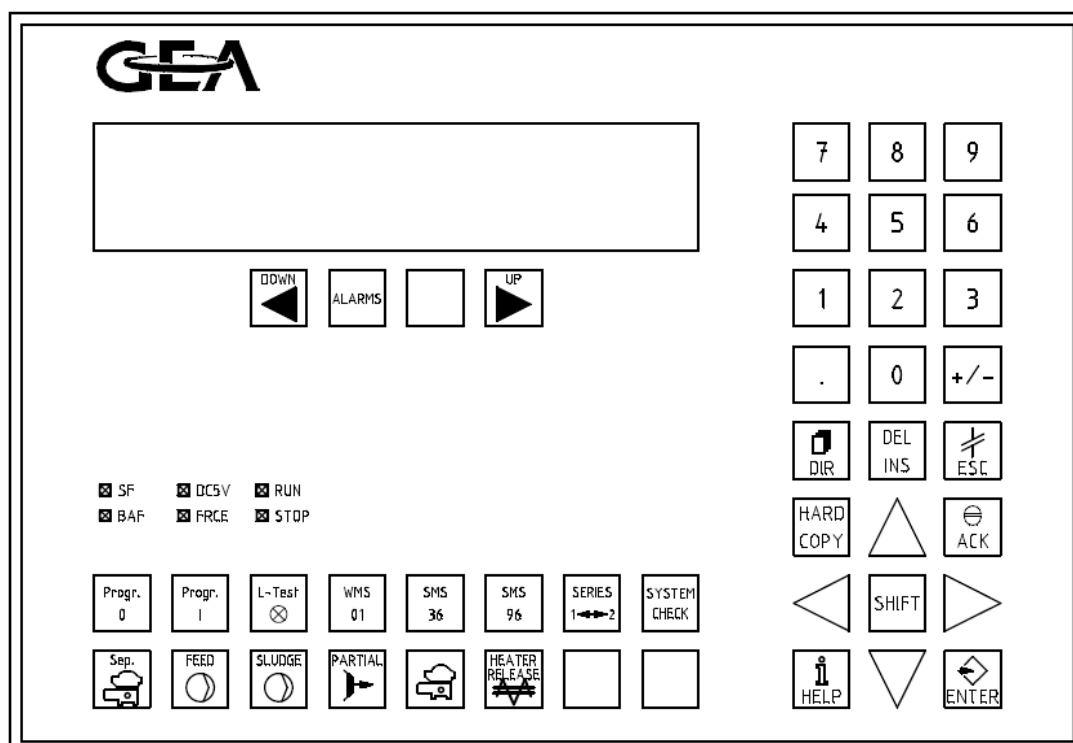


Figura 21 Representación del Controlador de la Unidad Separadora

Fuente: (Westfalia, 2007)

Cuadro 6 Descripción de teclas del Controlador de la Unidad Separadora

TECLA	DESCRIPCIÓN
DOWN	Permite leer el CPU del controlador
ALARMS	Verificación de la lista de alarmas
UP	
Program 0	Permite que el equipo realice dos descargas totales previas al funcionamiento del ciclo normal de separación. Mientras se produce la centrifugación, esta tecla cierra la válvula de entrada de producto y vacía el tambor.
Program 1	Inicia el programa de centrifugación. Para el funcionamiento de este proceso se requiere que alcance la temperatura mínima de centrifugación. Al culminar el programa se abre la válvula a la entrada de producto.

Continúa Tabla 6 →

L-Test	Realiza un test de funcionamiento de los LEDs: <ul style="list-style-type: none"> - SF - DC5V - RUN - BAF - FRCE - STOP
WMS 01	Activa el sistema de control del contenido de agua dentro del proceso de separación de la Unidad Centrífuga.
SMS 36	Activa el sistema de control del recinto de lodos. Aplicable para modelos de centrifugas de modelo 036.
SMS 96	Activa el sistema de control del recinto de lodos. Aplicable para modelos de centrifugas de modelo 096.
SERIES	Aplica cuando se comunican varias unidades en una red de interface multipunto (MPI)
CHECK	Prueba el sistema y verifica si la descarga de agua se está realizando en modo WMS o mediante SMS.
Sep.	El led incluido en esta tecla indica el estado momentáneo de la bomba de alimentación. <ul style="list-style-type: none"> - Luz permanente: servicio - Parpadeo lento: perturbación de la protección del motor. - Parpadeo rápido: fase de arranque
FEED	El led incluido en esta tecla indica el estado momentáneo de la bomba de alimentación. <ul style="list-style-type: none"> - Luz permanente: servicio - Parpadeo lento: perturbación de la protección el motor. Parpadeo rápido: marcha posterior al funcionamiento de la bomba.
SLUDGE	El led incluido en esta tecla indica el estado momentáneo de la bomba de lodos. <ul style="list-style-type: none"> - Luz permanente: servicio - Parpadeo lento: perturbación de la protección el motor. Parpadeo rápido: marcha posterior al funcionamiento de la bomba de lodos.
PARTIAL	Preselección de descargas parciales.
HEATER RELEASE	Activa un sistema de calefacción comandado desde la función del proceso.
ESC	
Flechas	Desplazan el cursor hacia arriba, abajo, derecha e izquierda respectivamente.
Bloque numérico	Permiten el ingreso de

Continúa Tabla 6 →

	permitidas para el usuario
Tecla de signos	Para cambiar signo positivo a negativo y viceversa
SHIFT	Activa la segunda función de las teclas ocupadas con doble función.
ESC	Tecla de interrupción, esta tecla realiza las acciones de: <ul style="list-style-type: none"> - Anulación de acciones ya iniciadas - Eliminación de caracteres introducidos - Retorno al menú precedente
ENTER	Tecla de aceptación, esta tecla realiza las acciones de: <ul style="list-style-type: none"> -
ACK	Confirmación de que el operador conoce la existencia de una alarma
HELP	Visualización de información. Muestra texto ayuda

Fuente: (GEA)

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

3.2.1 Especificaciones generales del diseño

Para el diseño del sistema de control se requiere conocer las variables del proceso y sus rangos de operación con sus respectivas consideraciones:

- Presión de descarga de aceite. Valor promedio [2.0 Bar.]
- Caudal de aceite [1150 < X < 1350 lt / hora]
- Presión de entrada de agua a la Unidad Separadora [>4 Bar.]
- El rango de temperatura del aceite a purificar debe oscilar entre los [80°C < X < 105 °C]

3.2.2 Diagramas P&ID del diseño

Para los esquemas se usó la simbología de la norma ISA-S5.3, la simbología usada para el diagrama se muestra en el Anexo 2 y el diagrama P&ID se muestra en el Anexo 3.

Para la explicación del proceso de separación se emplea un esquema (Figura 22) en donde se muestra los principales componentes del sistema. Como se puede observar la alimentación de producto se la realiza por la línea 1, en este punto el aceite pasa por un proceso de calentamiento para cumplir con el requerimiento de temperatura, cuando el producto se encuentra entre 80°C y 105 °C ingresa a la unidad separadora, cuando este parámetro no se cumple el aceite recircula, la válvula 5 es la encargada de direccionar el flujo. El aceite limpio posterior al proceso de purificación retorna al cárter del motor a través de la línea 6, la descarga de producto purificado es monitoreada por el indicador de presión y controlada por el switch de baja presión PSL 1; se requiere que esta presión sea mayor a 2 Bar.

La línea 2 se destina al ingreso de agua a la unidad separadora, para que el proceso de purificación se pueda llevar a cabo la presión de entrada de agua a la unidad separadora debe ser mayor a 4 Bar. La línea de agua posee dos bifurcaciones: “agua de desplazamiento” y “agua de maniobra” la primera es el agua que ingresa al bowl (línea 3) de la purificadora para realizar una limpieza o lavado previo al ingreso de aceite mientras que el agua de maniobra (línea 4) es empleada para la apertura y cierre de la cámara, esta actúa como sello hidráulico y es la encargada de mantener el producto dentro de la cámara mientras el proceso está activo.

La línea 10 corresponde a lodos y la línea 11 a las aguas aceitosas, las mismas que son eliminadas al tanque de lodos (12).

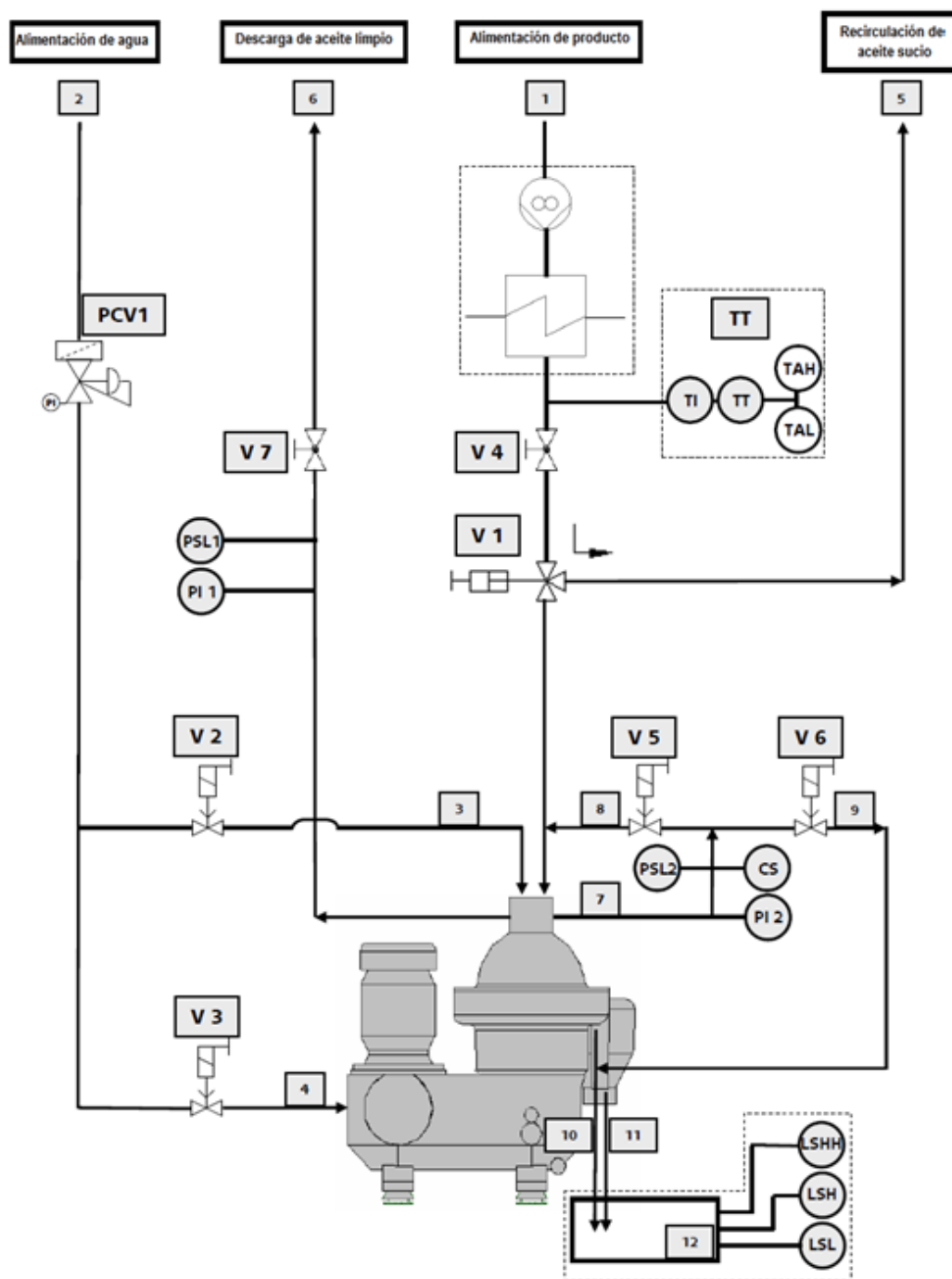


Figura 22. Esquema del proceso de separación.

Fuente: (GEA)

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.2.3 Diagrama de puesta en marcha

En la Figura 23 se muestra el diagrama de flujo del proceso de separación.

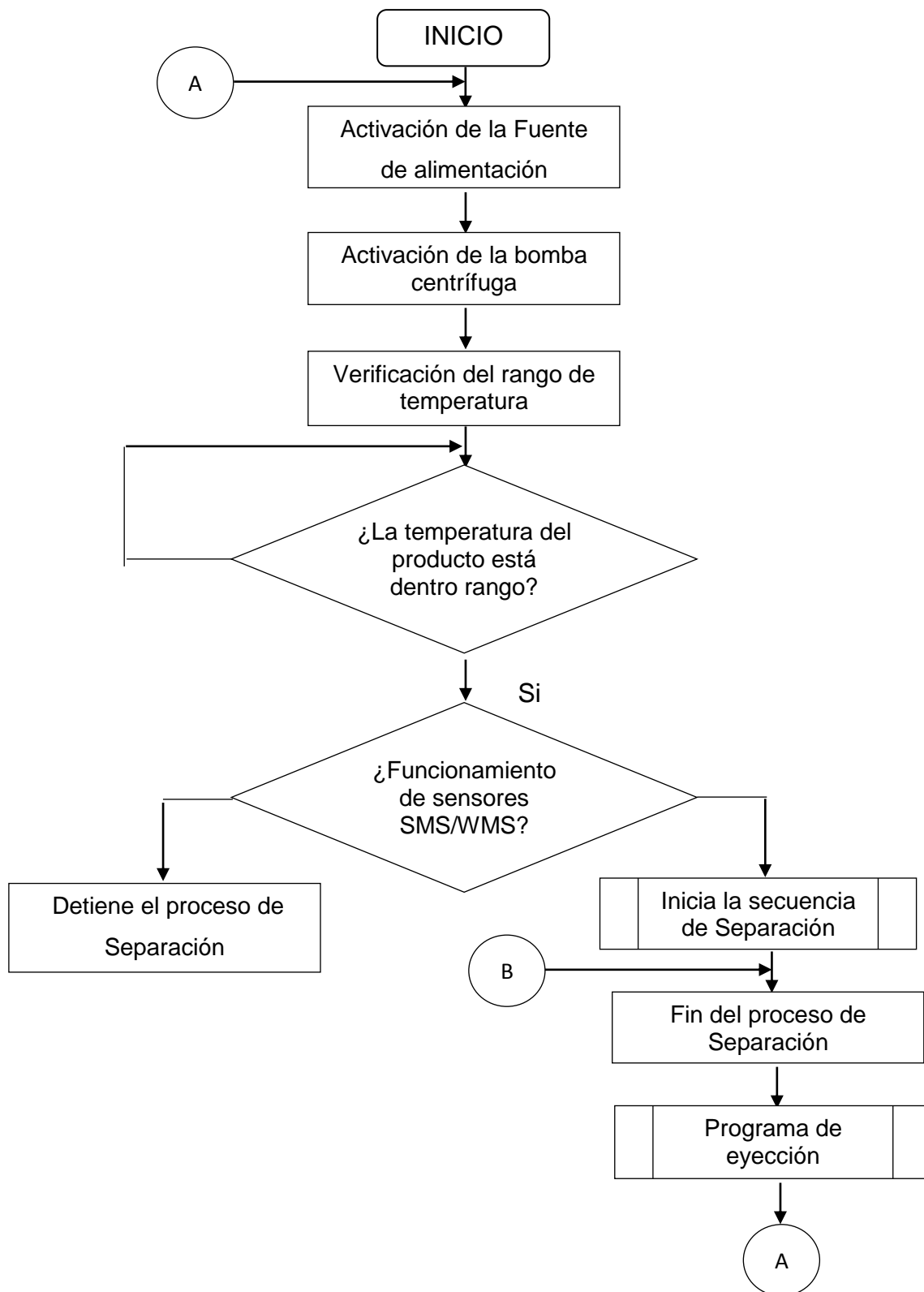


Figura 23. Diagrama de Flujo del proceso de separación de aceite

Para el inicio del ciclo de centrifugación es necesario activar la fuente de alimentación (Q0), posterior a esto se debe activar la bomba centrífuga (1S2) para asegurar que existe producto a purificar; el producto ingresa a los calentadores de aceite y el sistema de control verifica que la temperatura se encuentre dentro de rango, cuando se cumple esta condición se verifica que los sensores SMS/WMS estén en funcionamiento, cuando la condición no se cumple se detiene el proceso de separación por el contrario, si los sensores mencionados están en funcionamiento, se inicia la secuencia de separación.

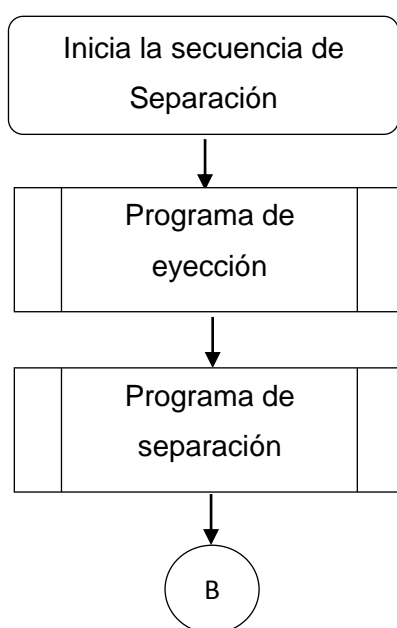


Figura 24. Subrutina correspondiente a la secuencia de separación

La secuencia de separación está conformada por el proceso de eyección y el programa de separación. Cuando se han cumplido estas subrutinas retorna al ciclo principal (en B) y finaliza el proceso de separación realizando un programa de eyección para asegurar que el bowl se encuentra libre de producto.

El programa de eyección es el encargado de eliminar residuos de procesos previos de purificación, para ello llena el bowl de agua y hace dos descargas (desplazamientos), de esta manera se asegura que los lodos que pudieron adherirse a las paredes sean eliminados.

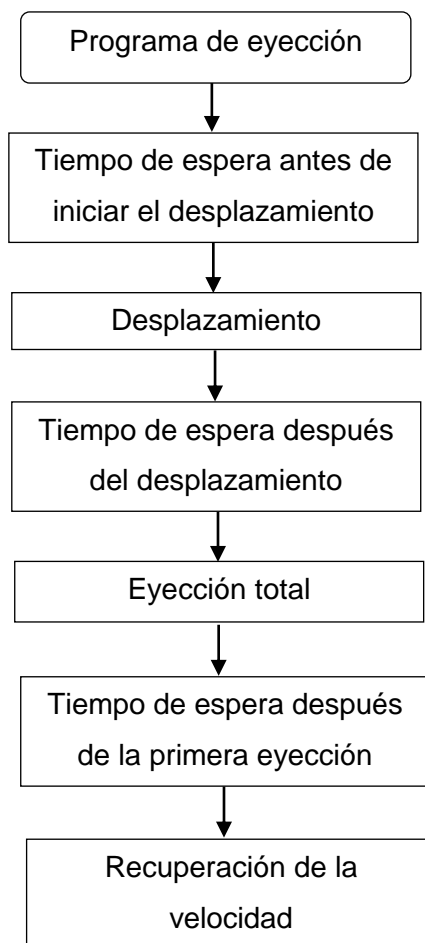


Figura 25. Subrutina correspondiente al programa de eyección.

El programa de separación inicia con el cierre de Bowl mediante el agua de maniobra lo que provoca un sello hidráulico, posterior a esto la cavidad se llena con aceite, luego de ella empieza a centrifugar, es aquí en donde se separan las partículas y lodos presentes en el producto. Activa el sensor “Flushing” y expulsa las impurezas hacia el tanque de lodos mientras que el aceite que ya ha sido purificado retorna al cárter del motor. Culminado el programa de separación regresa al programa principal.

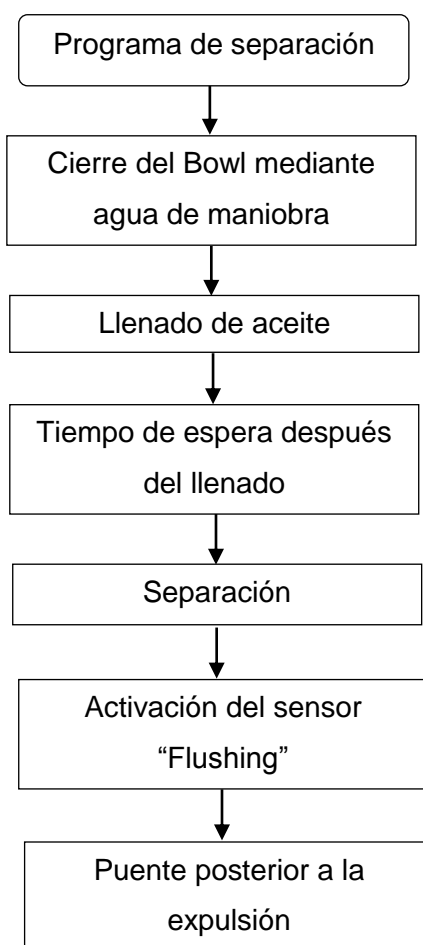



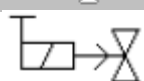

Figura 26. Subrutina correspondiente al programa de separación

3.2.4 Especificaciones de la instrumentación


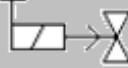
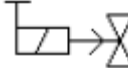













En el Cuadro 7 se describen los componentes que intervienen en el proceso de purificación de producto y su localización, los mismos que se incluyen en el esquema de la Figura 22.

Cuadro 7

Componentes y localización de elementos de la instrumentación.

COMPONENTES	SÍMBOLOS	NOMBRE DEL COMPONENTE	LOCALIZACIÓN
V ₁		Válvula de alimentación	1
V ₂		Válvula de desplazamiento de agua	3
V ₃		Válvula de operación de	2

Continúa Tabla 7 →

			agua	
Válvulas	V4		Válvula de pre-set	1
	V5		Válvula de circulación	8
	V6		Válvula de descarga de agua	9
	V7		Válvula de descarga de aceite limpio	6
	PCV1		Válvula reductora de presión	2
Interruptores	PSL 1		Interruptor de baja presión	6
	PSL 2		Interruptor de baja presión	7
	PSH 1		Interruptor de alta presión	6
	LSL		Interruptor de bajo nivel	12
	LSH		Interruptor de alto nivel	12
Sensores	LSHH		Interruptor de alto-alto nivel	12
	CS		Sensor de conductividad	7
	Transmisores	TT		Transmisor de temperatura
Indicadores	PI 1		Indicador de presión	6
	PI 2		Indicador de presión	7
	TI		Indicador de temperatura	1

Elaborado por: Autor del proyecto.

Las características técnicas de los instrumentos se detallan en el Anexo 4.

Controlador, módulo de entradas analógicas y Alimentación

La simulación del proceso de purificación de aceite se realizó en el software TIA V.12 en donde se usó un PLC SIMATIC S7-300 (los componentes se describen en la Cuadro 8) y la pantalla KTP1000 Basic DP (Cuadro 9).

Cuadro 8

Componentes de un S7-300

COMPONENTES	FUNCIÓN
Perfil soporte Accesorios: <ul style="list-style-type: none"> • Contacto de pantalla 	Bastidores del S7-300
Fuente de alimentación (PS)	La PS convierte la tensión de red (120/230 V c.a) en tensión de servicio de 24 V c.c y suministra la alimentación del S7-300, así como la alimentación de carga para circuitos de intensidad de carga de 24 V c.c
CPU Accesorios: <ul style="list-style-type: none"> • Conector frontal (CPU 31xC) 	La CPU ejecuta el programa de usuario, alimenta el bus posterior dl S7-300 con 5 V y se comunica con otras estaciones de la red MPI a través de la interfaz MPI.
Módulos de señales (SM) <ul style="list-style-type: none"> • Módulos de entrada digital • Módulos de salida digital • Módulos de entrada/salida digital • Módulos de entrada analógica • Módulos de entrada/salida analógica 	El módulo de señales adapta los distintos niveles de la señales de proceso al S7-300.
Accesorios: <ul style="list-style-type: none"> • Conector frontal 	
Módulos de función (FM) Accesorios: <ul style="list-style-type: none"> • Conector frontal 	Para el procesamiento de señales de proceso el módulo de función realiza tareas de tiempo crítico y tareas que requieren mucha memoria.
Procesador de comunicaciones (CP) Accesorios: Cable de conexión	El CP realiza las tareas de comunicación de la CPU para reducir el grado de carga de la CPU.
Módulo interface (IM) Accesorios: <ul style="list-style-type: none"> • Cable de conexión 	El módulo interface interconecta las diferentes filas de un S7-300
Cable de bus PROFIBUS con conector de bus	Interconecta estaciones de una subred MPI o PROFIBUS
Unidad de programación (PG) o PC con el paquete de software STEP 7	La PG sirve para configurar, parametrizar, programas y comprobar el S7-300

Cuadro 9
Características de la pantalla KTP1000 Basic DP

DISPLAY	
Diseño de pantalla	TFT
ancho de pantalla	211.2 mm
altura de pantalla	158.4 mm
Número de colores	256
RESOLUCIÓN (PIXELES)	
Resolución horizontal de la imagen	640 Pixel
Resolución vertical de la imagen	480 Pixel
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	
Tipo de tensión de suministro	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19.2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28.8 V
CORRIENTE DE ENTRADA	
Consumo de corriente (valor nominal)	0.6 A
Procesador	
tipo de procesador	RISC 32-bit
INTERFACES	
Número de RS 485	1
Número de interfaces USB	0
Número de interfaces de 20 mA (TTY)	0
Número de RS 232	0
Número de RS 422 interfaces de	1
Número de interfaces paralelas	0
Número de otras interfaces	0
PROTOCOLOS	
CAN	No
MODBUS	Si
EtherNet/IP	No
SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN	
STEP 7 Basic (TIA Portal)	Sí; a través de WinCC Basic (TIA Portal)
STEP 7 Professional (TIA Portal)	Sí; a través de WinCC Basic (TIA Portal)
WinCC flexible Compact	Si
WinCC flexible Standard	Si
WinCC flexible Advanced	Si

3.3 SOFTWARE DEL CONTROLADOR

3.3.1 Lógica de control

Para la lógica de control se emplea el lenguaje de programación ladder; la secuencia de programación posee las siguientes funcionalidades:

- Considera las condiciones de encendido de la Unidad Separadora.
- Se ha simulado el armario de control de la Unidad Separadora donde se incluyen los botones de encendido y apagado de la Bomba de alimentación (Feed Pump).
- Así mismo se cuenta con la función de encendido y apagado de la Bomba Centrífuga (Separator).
- Incluyen tres selectores que activan las etapas del calentador. Etapa 1: 10 kW, etapa 2: 15kW, etapa 3: 20 kW.
- Permite el manejo en modo automático o manual de la bomba de lodos.
- Se dispone de Indicadores que muestran el estado de la etapa del calentador de aceite. El Indicador tendrá un color verde tenue al estar apagado y verde más brillante cuando la etapa del calentador se encuentre encendida.
- Visualiza la curva de temperatura del aceite que ingresa a la Unidad Separadora en tiempo real.
- Incluye el estado operativo de la centrífuga:
 - Servicio en circuito cerrado: la válvula en la entrada de producto se encuentra en recirculación, esto ocurre cuando la centrífuga se encuentra en modo de arranque o perturbación, o no se ha iniciado el proceso.
 - Espera: se ha iniciado el proceso de centrifugación.
 - Desplazamiento: El contenido del tambor se desplaza sin que existan pérdidas. Se abre la válvula de agua de desplazamiento.
 - Espera después del desplazamiento: después del desplazamiento transcurre un tiempo de 5 segundos.
 - Descarga total: el recinto de los lodos del tambor se vacía accionando la válvula de agua de maniobra.
 - Alimentación: se encuentra activo el proceso de centrifugación.

- Considera las condiciones de alarma:
 - Alarma PAL: se registra cuando el proceso de centrifugación ha sido desconectado por el presostato (menor a 2 Bar) incorporado en la salida de aceite limpio.
 - LSHH Tanque de Lodos: Se registra cuando el proceso de centrifugación ha sido desconectado por el interruptor de nivel “high/high” incorporado en el tanque de lodos.
 - TSL Temperatura de entrada de producto: esta alarma se registra cuando en el proceso de centrifugación ha sido desconectado por el sensor térmico PT 100 incorporado en la alimentación.
 - TSH Temperatura de entrada de producto: Se registra cuando el proceso de centrifugación ha sido desconectado por el sensor térmico PT 100 incorporado en la alimentación.
 - Control de descargas: Se registra cuando el programa de descarga se ha interrumpido porque se ha activado el controlador de corriente.

3.3.2 Matriz causa-efecto

Estas Matrices evalúan el impacto del desarrollo del sistema de control en el estudio del proceso de separación de aceite, la matriz causa efecto consisten en una tabla de doble entrada, en la columna se indica las actividades o acciones del proyecto y en la fila se indica los aspectos afectados, los mismos que son:

- Eficiencia: se refiere a la dificultad del usuario para operar el software diseñado bajo los parámetros establecidos con la finalidad de obtener un resultado satisfactorio. Un efecto positivo indica una operación fácil mientras que un efecto negativo complica el manejo.
- Confiabilidad: se define como la probabilidad que el software pueda operar durante determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. Se califica como efecto positivo al manejo y funcionamiento adecuado del programa mientras que un efecto negativo aquel que disminuye la confiabilidad.

- Detección de fallas: Se define como la capacidad de pronosticar fallos con un plan de mantenimiento preventivo. Un efecto positivo es la realización de un cronograma de mantenimientos que se implemente caso contrario se toma como un efecto negativo.
- Supervisión: Permite conocer en tiempo real las incidencias del proceso.

Las acciones que a llevar a cabo en la simulación del proceso de purificación se definen a continuación:

- Poseer una interfaz gráfica para el manejo del sistema: supervisión del sistema de purificación. engloba los controles y valores de variables de proceso. Permite mostrar alarmas y fallos. Se puede reconfigurar la programación del PLC.
- Pantalla para el proceso de purificación: indica al operador el estado de los elementos del proceso.
- Pantalla que muestre la temperatura del calentador: se dispone de esta pantalla de tal manera que el operador pueda verificar el estado de esta variable.
- Botón de parada de emergencia: Se dispone de este botón en las pantallas de tal manera que su accionamiento sea rápido. Detiene inmediatamente el proceso de purificación.
- Interruptor giratorio para bomba de lodos: permite optar por el modo manual o automático de operación de la bomba de lodos.
- Instauración de indicadores: se aplicó la teoría de color para la observación por parte del operador del estado de elemento (color verde activo, color gris: desactivado)
- Información sobre alarmas y fallas: información completa para el operador la misma que ayudará a tomar acciones de control, esta información puede ser incluida en el plan de mantenimiento

Cuadro 10 Matriz Causa-Efecto del desarrollo del sistema

	Eficiencia	Confiabilidad	Detección de fallas	Supervisión
Poseer una interfaz gráfica para el manejo del sistema:	Positivo	Nulo	Positivo	Positivo
Pantalla para el proceso de purificación	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Pantalla que muestre la temperatura del calentador	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Botón de parada de emergencia	Positivo	Positivo	Nulo	Nulo
Interruptor giratorio para bomba de lodos	Positivo	Positivo	Positivo	Nulo
Instauración de indicadores	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Información sobre alarmas y fallas	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Elaborado por: Autor del proyecto.

Cuadro 11 Matriz 1 Causa-Efecto de la lógica de control (activación/desactivación)

	Activación del disyuntor	Centrífuga D01	Bomba de alimentación D03	Calentador de aceite etapa 1	Calentador de aceite etapa 2	Calentador de aceite etapa 3	Led indicador 3H1	Led indicador 3H2	Led indicador 3H3	Bomba de lodos D41	Interruptor de nivel L41	Interruptor de nivel L42	Interruptor de nivel L43	Bloque de electroválvulas V27	Switch de conductividad K61	Manómetro con interruptor límite P61
Interruptor Q1	X/XX															
Pulsador 1S1		X														
Pulsador 1S2		XX														
Pulsador 2S1			X													
Pulsador 2S2			XX													
Interruptor 3S1				X/XX			X/XX									
Interruptor 3S2					X/XX			X/XX								
Interruptor 3S3						X/XX		X/XX								
Interruptor 4S1									X/XX	X/XX	X/XX	X/XX				
Program 0														X		
Program 1														X	X	X
WMS 01															X/XX	

Elaborado por: Autor del proyecto.

Activación: X

Desactivación: XX

Cuadro 12 Matriz Causa-Efecto de la lógica de control (condicional)

	Centrífuga D01	Bomba de alimentación D03	Calentador de aceite etapa 1	Calentador de aceite etapa 2	Calentador de aceite etapa 3	Led indicador 3H1	Led indicador 3H2	Led indicador 3H3	Bomba de lodos D41	Interruptor de nivel L41	Interruptor de nivel L42	Interruptor de nivel L43	Bloque de electroválvulas V27	Válvula 3/2 V06	Program 0	Program 1
Interruptor Q1	1	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pulsador 1S1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulsador 1S2	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pulsador 2S1	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulsador 2S2	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Interruptor 3S1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
Interruptor 3S2	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	1
Interruptor 3S3	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1
Interruptor 4S1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-

Elaborado por: Autor del proyecto.

Desactivación: 0

Activado: 1

Condición no importa: -

Habiendo definido los aspectos más importantes a los que afectan al software de simulación podemos construir la matriz causa efecto como se muestra en el Cuadro 10.

En el Cuadro 11 se muestra la matriz causa-efecto de la lógica de control para activación y desactivación de elementos, en la columna se enumeran los dispositivos de maniobra del sistema y en la fila los dispositivos afectados al realizar una maniobra, con “X” se indican la activación de un elemento, mientras que “XX” indica la desactivación.

El Cuadro 12 muestra una matriz-causa efecto condicional, se marca con “0” las condiciones que necesariamente deben estar desactivadas, con “1” aquellas que debes ser activas y con “-“ las condiciones que no importa para que se lleve a cabo a acción indicada en la fila.

3.3.3 Matriz QFD

Para la etapa de diseño del sistema de interfaz humano-máquina (HMI) se requiere realizar un análisis de los requerimientos con la finalidad de establecer la arquitectura del Software. Para ello se aplicará la función de calidad (QFD; Quality Function Deployment) el cual es un método de diseño de productos y servicios que recoge las necesidades del cliente y las traduce a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del usuario. (Yacuzzi & Martín)

Para el desarrollo de la matriz de calidad es necesario organizar claramente los requerimientos del cliente (RC) y las características Técnicas (CT) puesto que es una herramienta de síntesis e integración conceptual. Las siguientes tablas (Cuadro 13 y Cuadro 14) muestran los datos obtenidos para los requerimientos del cliente y las características técnicas afines a las exigencias de diseño.

Cuadro 13 Requerimientos de los Usuarios del HMI. Prioridad 0 - 5

N.	Requerimientos del cliente (RC)	Prioridad
1	Diseño de módulo de entrenamiento Separadora de Aceite	5
2	Visualización de todo el proceso de separación	5
3	Optimización del tiempo de entrenamiento de técnicos	5
4	Base de datos con información de la Separadora	4
5	Facilidad de operación	4
6	Fácil implementación	3
7	Bajos costos de implementación	3
8	Bajos costos de operación	2
9	Bajos costos de mantenimiento	2

Elaborado por: Autor del proyecto.

Cuadro 14 Características técnicas del HMI

N.	Características Técnicas
1	Dimensiones
2	Software con programación visual- gráfica
3	Software de pruebas
4	Software de control y diseño
5	Interfaz amigable
6	Procesado digital de señales
7	Número ilimitado de puntos de entrada/salida
8	Interfaces de Comunicación
9	Tiempo Real
10	Sincronización entre dispositivos

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.3.3.1 Selección de Alternativas

Para la selección de alternativas se realiza una comparación entre las características de tres tipos de Software de control (Tabla 15) las mismas que serán evaluadas en la Tabla 16 agregando un valor porcentual dependiendo del peso que represente cada parámetro en base a los requerimientos.

Cuadro 15

Alternativas de Software para el diseño de la Interfaz Humano – Máquina.

SOFTWARE	CARACTERÍSTICAS
LABVIEW	Plataforma y entorno de desarrollo para diseño de sistemas. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado real o embebido, pues acelera la productividad. Su principal característica es la facilidad de uso, válido para todo tipo de programador. Pueden crearse programas de automatización de infinitos puntos de entradas/salidas.
WINCC	El software WinCC constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los Scadas para visualización y control de procesos industriales. Sus características más importantes se pueden resumir en: <ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura de desarrollo abierta (programación en C) • Comunicación con otras aplicaciones vía OPC • Comunicación sencilla mediante drivers implementados • Programación online: no es necesaria detener la runtime del desarrollo para poder actualizar las modificaciones en la misma.
INTOUCH	Software de operaciones en tiempo real. Permite reducciones de costes significativas asociadas al diseño, construcción despliegue y mantenimiento de aplicaciones seguras y estandarizadas para las operaciones de fabricación e infraestructura. Permite la sincronización de operaciones industriales obteniendo velocidad y rentabilidad sostenida.

Elaborado por: Autor del proyecto.

3.3.3.3 Parámetros para la selección de las opciones

Consiste en seleccionar los parámetros más importantes a considerar para obtener el sistema de secado óptimo asignándole un valor porcentual a cada factor según su importancia, y apoyándonos en opiniones de personas involucradas con el proceso de una u otra manera para así poder llegar a una solución acertada del problema.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

- Deficiente: 1
- Aceptable: 2
- Bueno: 3
- Muy bueno: 4
- Excelente: 5

Cuadro 16
Selección de opciones para el desarrollo del Software.

Parámetros	Peso [%]	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Entorno gráfico	10	4	4	3
Tiempo reducido de desarrollo de aplicaciones	10	4	4	3
Adquisición de datos	10	4	4	4
Control de Instrumentos	10	4	4	2
Automatización Industrial	15	4	4	3
Diseño de Control	15	3	4	4
Base de datos	10	3	4	4
Costo de operación	5	3	4	4
Facilidad de interacción con el usuario	10	4	5	3
Robustez	5	4	5	2
TOTAL	100	37	42	32

Elaborado por: Autor del proyecto.

Conclusiones:

- De la evaluación de la matriz morfológica, se puede observar que la propuesta dos (software WINCC) fue la que obtuvo mayor puntuación, según los criterios de evaluación definidos, por tanto se considera ésta como la mejor solución al problema planteado.

- El diseño del software nace con la necesidad de generar un entrenamiento virtual para nuevos técnicos que requieren capacitación en el funcionamiento de la Separadora de aceite marca Westfalia.
- La interfaz a diseñar requiere ser amigable con el usuario, a su vez que muestre todos los sub procesos involucrados con el proceso de separación de aceite.
- Se requiere la simulación en tiempo real así como la evidencia de alarmas en el caso de presentarse algún desperfecto en la Separadora de aceite.

3.4 INTERFAZ DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

3.4.1 Diseño de Interfaz HMI

Para el diseño de la Interfaz Humano- Máquina en el Software TIA V.12 se siguieron los indicadores de la Guía Ergonómica de Interfaces de Supervisión (GEDIS) en donde se establecieron los elementos más relevantes, los mismos que han sido ordenados de acuerdo a su prioridad tal como se describe a continuación:

- **ARQUITECTURA:** en este punto se establecerá un mapa en el que se definen de manera general las diferentes pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de control.
Estas pantallas determinan la navegación dentro de programa de simulación. La arquitectura diseñada para la simulación del proceso de purificación de aceite se muestra en la Figura 28, la función de cada pantalla se detallan en la Tabla 17.
- **NAVEGACIÓN:** a partir de la arquitectura se determina la manera en que el operador se desplazará dentro de las pantallas del sistema.
En la Figura 28 se representa la posibilidad de navegación entre pantallas por medio de flechas.

Cuadro 17

Contenido y funciones de las pantallas del HMI

Nombre de la Pantalla	Descripción
SINÓPTICA DEL PROCESO	Llamada a la pantalla donde se visualiza el proceso de separación, esta pantalla permite visualizar el diagrama P&ID de la separadora con los datos de los sensores involucrados en el proceso.
DATOS DE PUESTA EN MARCHA	Llamada a la pantalla que contiene la información de puesta marcha, así como información del modelo de la unidad separadora.
PANEL DE FUNCIONES	Llamada a la pantalla de funciones. Esta pantalla permite activar o desactivar procesos de separación específicos.
ARMARIO DE CONTROL	Llamada a la pantalla que muestra el armario de control. Desde aquí se permite activación y desactivación de bombas así como configuración de los calentadores.
LISTA DE TEMPORIZADORES	Llamada a la pantalla que contiene el listado de temporizadores.
FLUJO DE PROCESO	Llamada a la pantalla en la que se muestran la secuencia del proceso. Permite visualizar en estatus del proceso de separación
ALARMAS	Llamada a la pantalla donde se muestran anomalías existentes en el sistema.

- **DISTRIBUCIÓN:** Se establece una plantilla para la creación de las diversas pantallas, aquí se define la ubicación de los elementos de acuerdo a su importancia distribuyendo de manera equitativa los

espacios. La Figura 29 muestra la plantilla que se ha seguido para la generación de las pantallas.

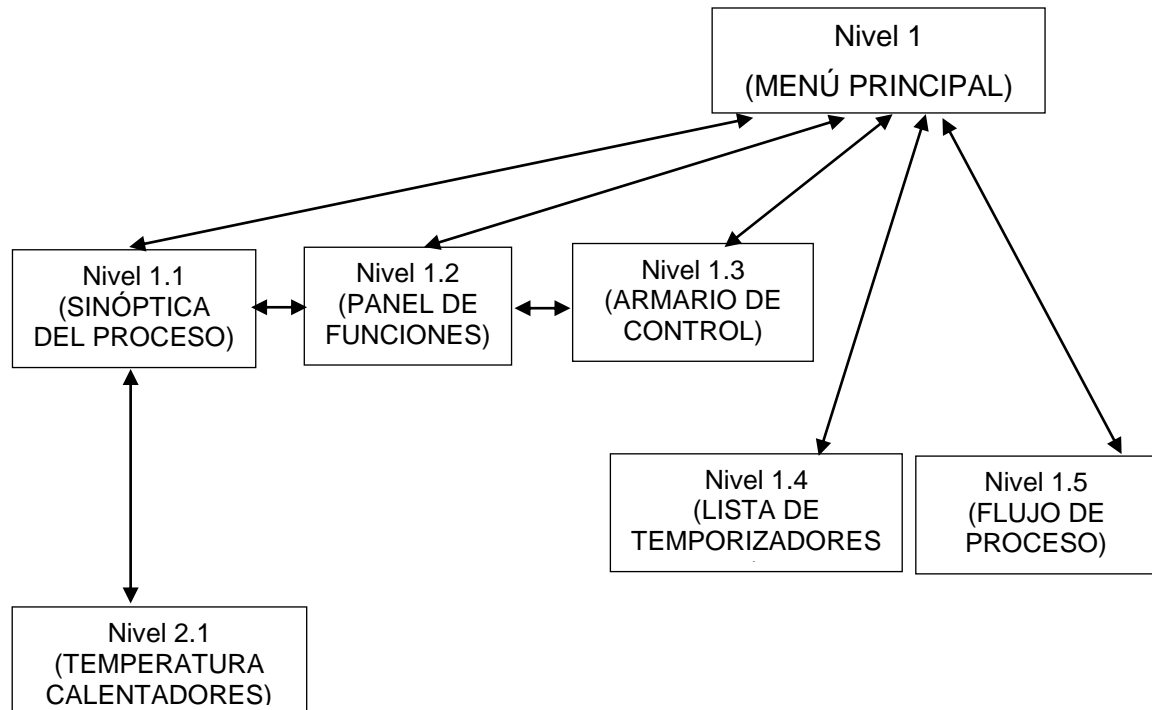


Figura 28 Esquema de la arquitectura y navegación para el sistema de separación de aceite.

Elaborado por: Autor del proyecto.

- **COLOR:** Este punto define una asignación correcta de colores para que el operador del sistema obtenga una mejor visualización de los elementos involucrados en el proceso así como el estado de los mismos. Los parámetros de color definidos en las pantallas fueron los siguientes:
 - Color de fondo de pantalla gris, (RGB 182, 182, 182) para que los elementos que se incluyan en la pantalla resalten.
 - Color de texto para el nombre de la empresa negro (RGB 0,0,0)

- Color de texto azul (RGB 111, 111, 173) para variables del proceso que pueden ser modificadas.
- Color verde claro para indicar un estado inactivo (RGB 182, 255,186)
- Color verde oscuro para indicar un estado activo (RGB 0, 255, 31)
- Color rojo claro para indicar un estado inactivo (RGB 255, 145, 168)
- Color rojo oscuro para indicar un estado activo (RGB 255, 0, 0)

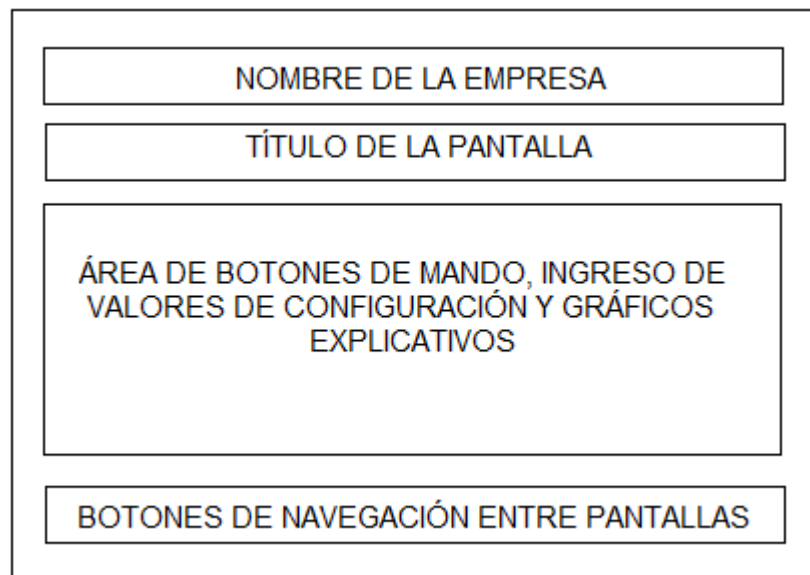


Figura 29 Distribución de pantallas en el HMI.

Elaborado por: Autor del proyecto.

- **ESTATUS DEL EQUIPO:** En esta fase se debe definir el estándar gráfico de símbolos e íconos que representen el estatus de los diversos equipos de la planta tales como ventiladores, bombas, bandas, válvulas, filtros, etc, así como los cambios de estado digitales (On/Off) de eventos que se requieren representar en las pantallas de proceso. Para este fin es importante recurrir a los estándares locales, nacionales o internacionales de manera que la simbología sea homogénea y fácil de reconocer y diferenciar por el operador. La simbología empleada en el proceso se describe en el Anexo 1.

- **INFORMACIÓN Y VALORES DEL PROCESO:** El despliegue de los datos analógicos de proceso es una de las maneras más importantes con las que se informa al operador sobre el estado de la planta. La representación en las pantallas de estas variables se lleva a cabo principalmente en dos modalidades: en los gráficos o mímicos de proceso, o bien en tablas y gráficos de tendencias. En la interfaz se podrá visualizar el valor de la variable temperatura en la pantalla “TEMPERATURA”.
- **COMANDOS E INGRESO DE DATOS:** En las pantallas “SINÓPTICA DEL PROCESO” y “ARMARIO DE CONTROL” se distribuyeron los botones que permiten encender y apagar la máquina y sus componentes con sus respectivas etiquetas de identificación. El usuario también puede modificar el valor de presión a la salida de aceite, presión de agua o caudal de aceite para comprobar el comportamiento del sistema.
- **ALARMAS:** En el proceso de purificación se incluyen alarmas que afectan de manera crítica al sistema, cuando se activa una alarma se despliega la información acerca de la misma

3.4.2 Funciones del Software HMI (TIA Portal V12)

- **Monitoreo:** capacidad de obtener y mostrar datos en tiempo real. Estos datos se pueden mostrarse como números, texto y/o gráficos con la finalidad de facilitar la interpretación de la información adquirida.
- **Supervisión:** esta función funciona a la par con el monitoreo y es la que permite ajustes de las condiciones de trabajo de manera remota.
- **Alarmas:** es la capacidad de reconocer eventos que saltan del flujo normal del proceso y reportarlos; estos se basan en límites de control preestablecidos.
- **Control:** implementación de algoritmos que se ajusten a los valores del proceso para mantener las variables dentro de los rangos de operación. El control va más allá de la supervisión puesto que prescinde de una interacción humana. Sin embargo la aplicación de

esta función desde un software que se ejecuta desde un controlador puede quedar limitada por el nivel de confiabilidad del controlador.

- Históricos: se define como la facultad para mostrar y almacenar datos del proceso a determinada frecuencia. La misma que se emplea para el análisis y corrección de procesos.

3.4.3 Simulación

La simulación de la lógica de control se realizó en el Software TIA V12.0 en el mismo que se han simulado las variables medidas por los sensores de presión de descarga, caudal de aceite a la salida de la Unidad Separadora, presión de descarga de aceite limpio, temperatura de salida de aceite, presión de agua de ingreso a la Centrífuga y nivel de aceite en la Unidad.

La pantalla gráfica proporciona información sobre los estados de funcionamiento y de anomalías de la centrífuga y muestra, en función de la programación, los correspondientes datos de proceso. Las pantallas que se visualizan son:

- Pantallas del sistema SCADA para visualización del proceso de purificación.
- Pantallas correspondientes al armario de control y pantalla comandos.
- Pantalla correspondiente al calentador de aceite en la que se verifica el estatus de la variable temperatura.
- Configuración de parámetros para el proceso de purificación.

Además forman parte del sistema de control, el armario de distribución y todos los componentes completos cuyo funcionamiento es dirigido o supervisado por el sistema de control gracias al montaje de accesorios conectados eléctricamente. Entre ellos podemos citar:

- la conexión de aceite sucio,
- la conexión de agua de maniobra.

El estado de las luces piloto en las distintas pantallas siguen los parámetros de color que se describen a continuación:

- Color **verde claro** para indicar estado de apagado.

- Color **rojo claro** para indicar estado de apagado.
- Color **verde oscuro** indica estado de encendido, se aplica principalmente para funciones activas.
- Color **rojo oscuro** indica estado de encendido, alarma de emergencia activada.

ESQUEMA DE FUNCIONES

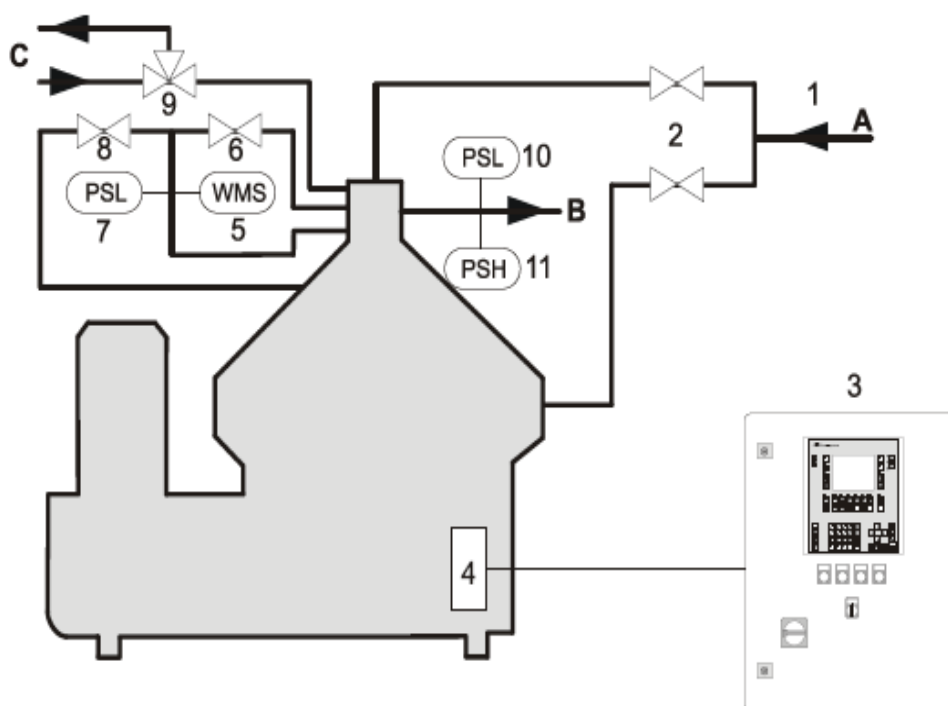


Figura 30. Plano de resumen de las principales funciones (ejemplo).
Elaborado por: Autor del proyecto.

Cuadro 18

Descripción de los elementos del plano de resumen

Elemento	Descripción
A	Entrada de agua
B	Salida de aceite limpio
C	Entrada de aceite limpio
1	Reductor de la presión del agua
2	Sistema de válvulas de alimentación completo con electroválvula para el agua de llenado,

	desplazamiento y maniobra
3	Sistema de control y regulación del motor para centrífuga
4	Caja de bornes (montada en el separador)
5	Detector de agua (sensor WMS)
6	Válvula de circulación
7	Detector de presión PSL para supervisión de zona de lodos
8	Detector de presión PSL para supervisión de zona de lodos
9	Detector de presión PSL para la salida de aceite limpio
10	Detector de presión PSL para la salida de aceite limpio

Elaborado por: Autor del proyecto.

HMI DE LA PANTALLA TÁCTIL

El programa de simulación del proceso de separación de aceite consta de ocho pantallas principales:

1. MENÚ PRINCIPAL
2. SINÓPTICA DEL PROCESO
3. DATOS DE PUESTA EN MARCHA
4. PANEL DE FUNCIONES
5. ARMARIO DE CONTROL
6. LISTA DE TEMPORIZADORES
7. FLUJO DE PROCESO
8. ALARMAS

DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS (INTERFAZ HMI)

El programa de simulación inicia con la pantalla de MENU PRINCIPAL (Figura 31). La descripción de las teclas que la conforman se realiza en el

Cuadro 19, en el mismo se muestra una imagen que simboliza a la tecla, su designación y la función que esta desempeñará al activarla dentro del programa de simulación.

Cuadro 19
Designación de teclas de la pantalla Menú Principal.

Símbol	Designación de	Descripción
o	la tecla	
	Imagen del proceso de separación	Llamada a la pantalla donde se visualiza el proceso de separación
	Datos de puesta en marcha	Llamada a la pantalla que contiene la información de puesta marcha
	Panel de funciones	Llamada a la pantalla de funciones.
	Armario de control	Llamada a la pantalla que muestra el armario de control.
	Lista de Temporizadores	Llamada a la pantalla que contiene el listado de temporizadores.
	Flujo de proceso	Llamada a la pantalla en la que se muestras la secuencia del proceso.
	Alarmas	Llamada a la pantalla donde se muestran anomalías existentes en el sistema.



Figura 31 Pantalla de inicio del programa de simulación

PROCESO DE SEPARACIÓN

Es la pantalla principal para el control y supervisión del proceso de separación (Figura 32) de la unidad separadora OSC 15-96-067. Esta pantalla muestra el esquema del proceso, los principales elementos que la conforman son:

- Esquemático del proceso de separación en donde se visualizarán el estado de las válvulas y sensores del sistema.
- Botones para la navegación entre pantallas.
- Opción para verificación de los valores de presión de descarga y caudal de aceite, presión de entrada de agua y temperatura del producto.

Los elementos antes mencionados se describen a detalle en el Cuadro 20.

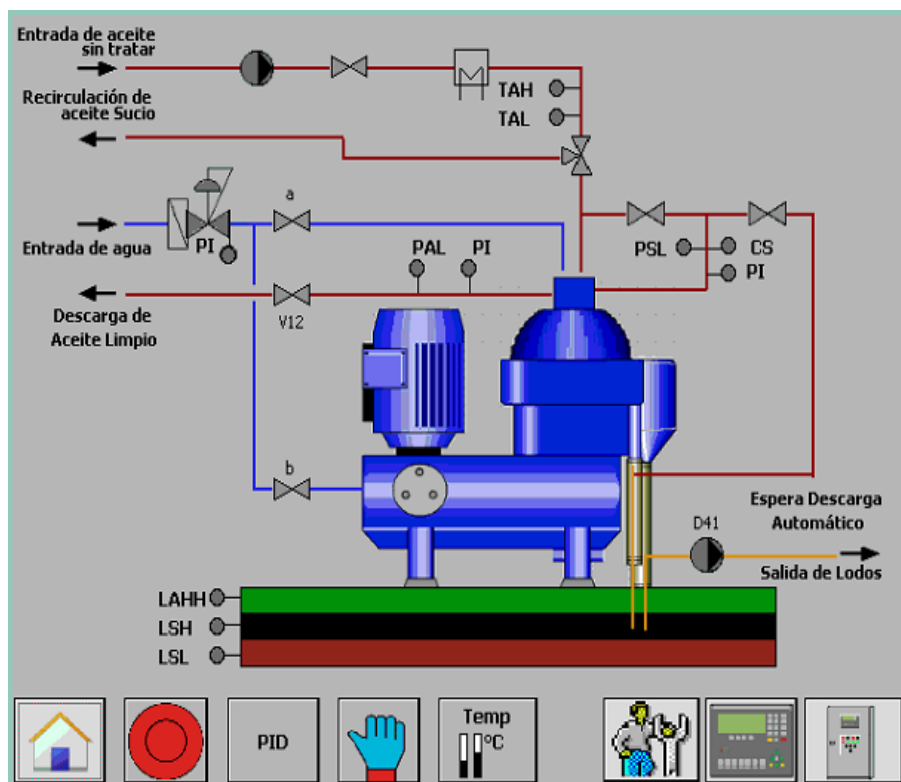


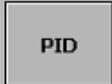






Figura 32 Pantalla “SINÓPTICA DEL PROCESO” de la interfaz HMI.
Elaborado por: Autor del proyecto.

Cuadro 20

Designación de teclas de la pantalla Menú Principal.

Símbolo	Designación de la tecla	Descripción
	Home	Llamada a la pantalla de inicio.
	Parada de emergencia	Detiene el proceso de separación en cualquier instante.
	Datos de variables	Permite visualizar las variables del proceso así como la denominación de válvulas y demás componentes.

	Ingreso de valores	Llamada a la pantalla que muestra el armario de control.
	Temperatura	Llamada a la pantalla que muestra el comportamiento de la variable temperatura generada por el calentador.
	Flujo de proceso	Llamada a la pantalla en la que se muestran la secuencia del proceso.
	Armario	Llamada a la pantalla en donde se muestra el armario de control y de donde se pueden maniobrar algunas acciones del proceso tal como encendido y apagado de bombas, y de los calentadores.

Elaborado por: Autor del proyecto.

DATOS DE PUESTA EN MARCHA

En el menú "Datos de la puesta en marcha" se pueden ver los datos de la separadora. Los datos de puesta en marcha se llaman desde el menú principal tocando el símbolo "Datos de puesta en marcha". La fecha y hora locales se ajustan de forma automática con el reloj interno de la computadora en donde se ha instalado el software.

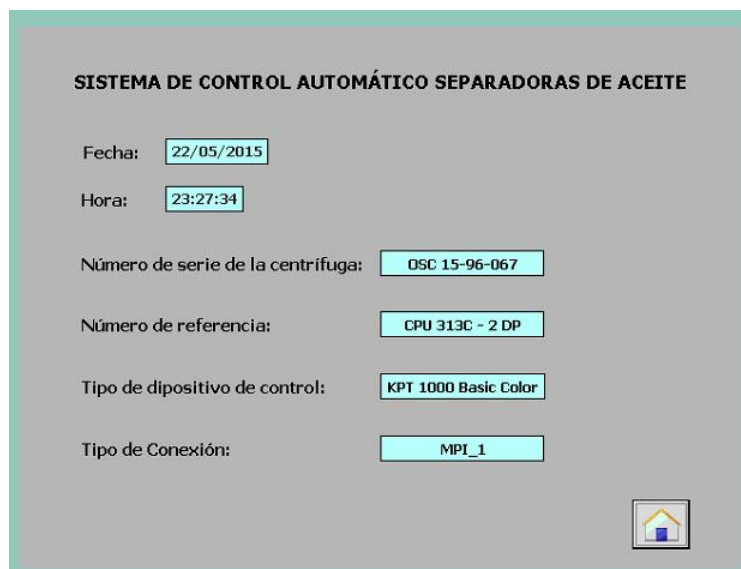


Figura 33. Pantalla “DATOS DE PUESTA EN MARCHA” de la interfaz HMI.

PANEL DE FUNCIONES

Las funciones del panel pueden ser activadas durante el proceso de separación. Dichas teclas tienen un LED para informar sobre el estado de la respectiva función. La Figura 5 muestra la representación del panel de funciones y en el Cuadro 21 se describe las teclas habilitadas en el proceso de simulación.

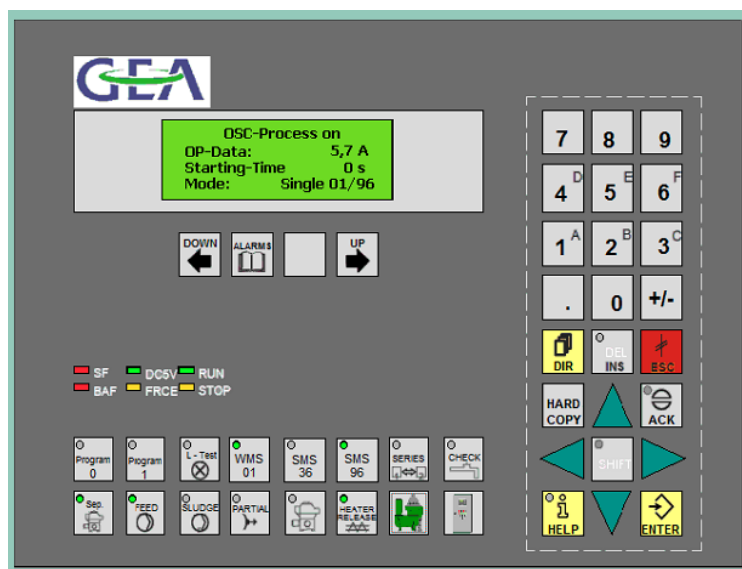









Figura 34. Pantalla “PANEL DE FUNCIONES” de la interfaz HMI.

Cuadro 21
Designación de teclas del Panel de Funciones

Tecla	Designación de la tecla	Descripción
	Programa de centrifugación OFF	En el modo de centrifugación, esta tecla cierra la válvula en la entrada de producto y vacía el tambor
	Programa de centrifugación ON	Inicia el programa de centrifugación
	Sistema de control del contenido de agua WMS	Activa las funciones del sensor WMS en el proceso.
	Sistema de control del recinto de lodos SMS	Activa las funciones del sensor SMS en el proceso.
	Estado de la centrífuga	Esta tecla carece de función. El LED se enciende cuando la centrífuga esta en servicio
	Imagen del proceso de separación	Llamada a la pantalla donde se visualiza el proceso de separación
	Armario	Llamada a la pantalla en donde se muestra el armario de control.

ARMARIO DE CONTROL

La pantalla “armario de control” (Figura 6) incluye las teclas que permiten el encendido y apagado de bombas (bomba de alimentación y bomba de lodos) así como la separadora, también permite la manipulación de las etapas del calentador de aceite y las teclas de navegación entre pantallas.

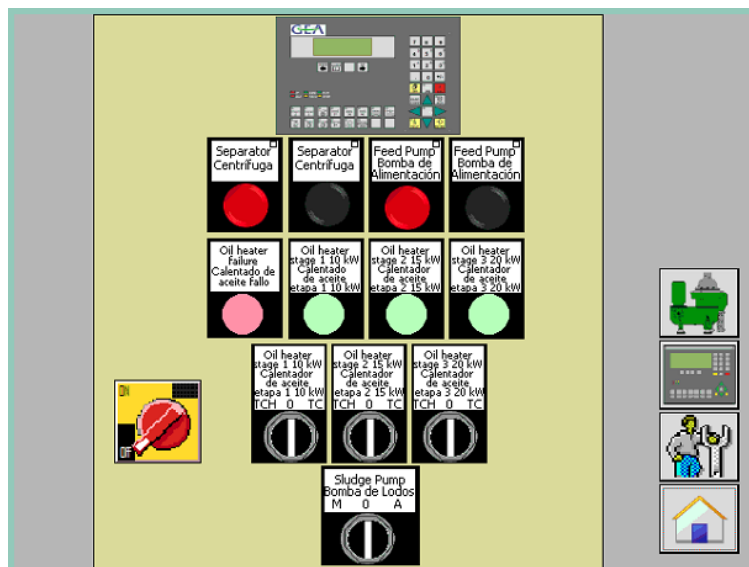


Figura 35. Pantalla “ARMARIO DE CONTROL” de la interfaz HMI.

LISTA DE TEMPORIZADORE

Los temporizadores se llaman desde el menú principal tocando el símbolo “Temporizadores”. La Figura 36 muestra los temporizadores estándar. Las listas de temporizadores se han establecido de acuerdo valores de ajuste que previenen anomalías de funcionamiento.

LISTA DE TIMERS		Página: 1/4
No:	FUNCIÓN	PRE-SET
00:	Partial-Ejection	2 s
01:	Displacement	8 s
02:	Filling	8 s
03:	Waiting-Start	10 s
04:	Total-Ejection	2,5 s
05:	Speed recovery tot	25 s
06:	Closing-impuls	0,1 s
07:	Alarm-delay	5 s
08:	Waiting after Displacement	10 s
09:	Waiting after Filling	10 s
10:	Separator starting	240 s

Figura 36. Pantalla “LISTA DE TEMPORIZADORES” de la interfaz HMI.

FLUJO DE PROCESO

Las Figuras 37, 38 y 39 representan a las pantallas de flujo de proceso aquí se muestra mediante un diagrama de flujo el estado del proceso mediante una secuencia lógica, la misma que permite la verificación del flujo normal de centrifugación.

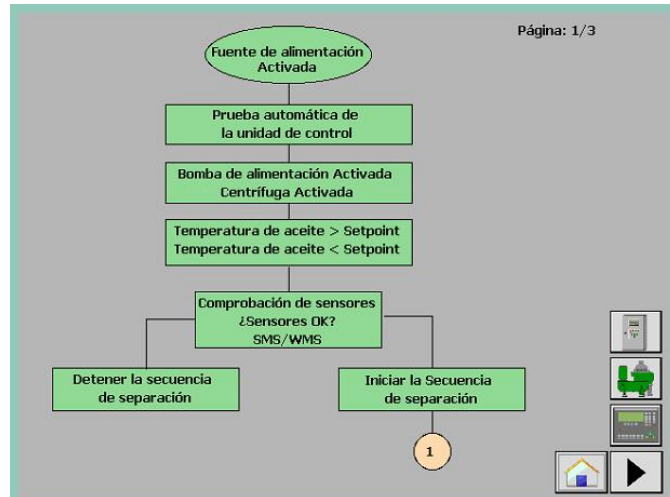


Figura 37. Pantalla 1 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.

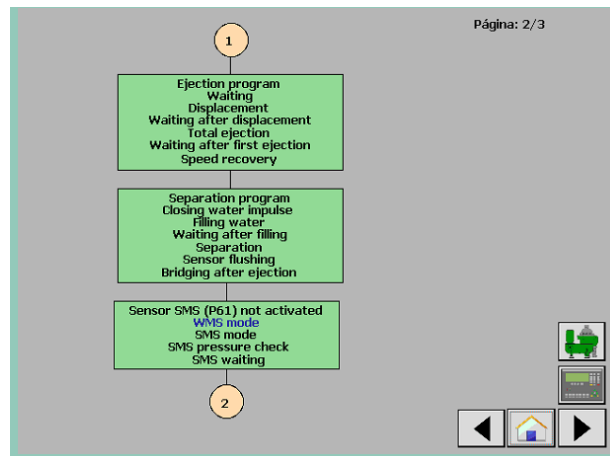


Figura 38. Pantalla 2 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.

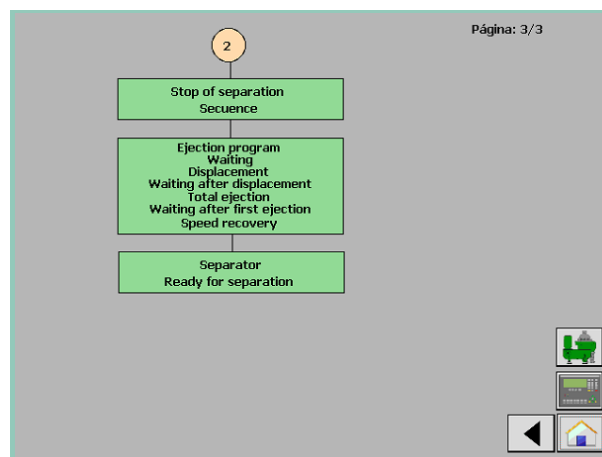


Figura 39. Pantalla 3 “FLUJO DE PROCESO” de la interfaz HMI.

ALARMAS

En el menú "alarmas" se registran los eventos que se producen en la centrifugadora según el modo de funcionamiento (Figura 40). En el Cuadro 22 se muestran las alarmas que reconoce el software.

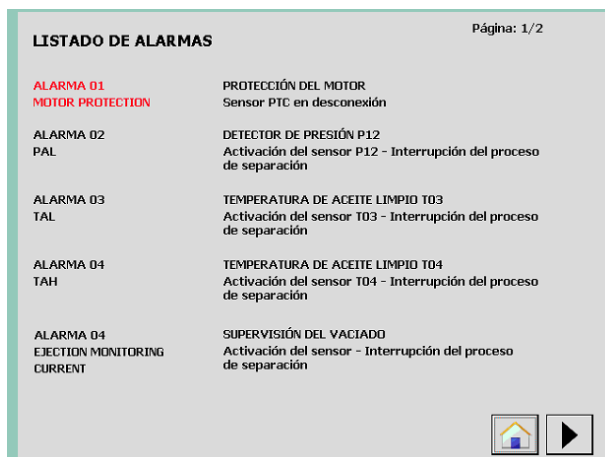


Figura 40. Pantalla 3 “ALARMAS” de la interfaz HMI.

Cuadro 22

Indicación de alarmas en la simulación del proceso de separación.

Indicación	Significado
Alarma # 01 Motor Protection	Protección del motor: Esta alarma se registra cuando los sensores PTC integrados en las bobinas del motor de la centrífuga provocan una desconexión.
Alarma # 02 PAL 1	Esta alarma se registra cuando el detector de presión mínima instalado en la salida de aceite limpio hace que el proceso de separación se interrumpa.
Alarma # 03 TAL Product feed	TAL-Temperatura de entrada del aceite limpio Esta alarma se registra cuando el sensor de temperatura PT100 instalado en la entrada hace que el proceso de separación se interrumpa.
Alarma # 04 Ejection monitoring	Supervisión del vaciado Activación del sensor de corriente CT.

current	Interrupción del proceso de separación.
Alarma # 05	LAHH-Depósito de lodos
LAHH Sludge tank	Esta alarma se registra cuando el limitador del nivel de llenado "high/high" instalado en el depósito de lodos hace que el proceso de separación se interrumpa.
Alarm #06	Error de la bomba de alimentación
Feed pump fault	Se registra el momento en el que se dispara el dispositivo de protección del motor de la bomba de alimentación.

PROCESO DE SIMULACIÓN

En la Figura 41 se indica la pantalla que se obtendría al iniciar el sistema, desde esta pantalla se debe iniciar con la secuencia del proceso, es decir a la activación de la bomba de alimentación y de los calentadores de aceite. La Figura 42 indica la activación de los calentadores y su visualización en los LEDs indicadores (color verde intenso)

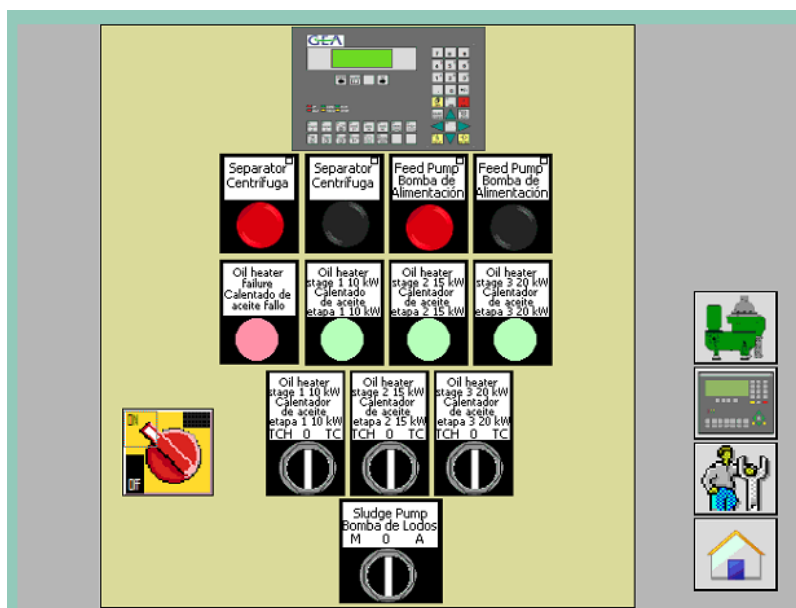


Figura 41. Encendido del Sistema.

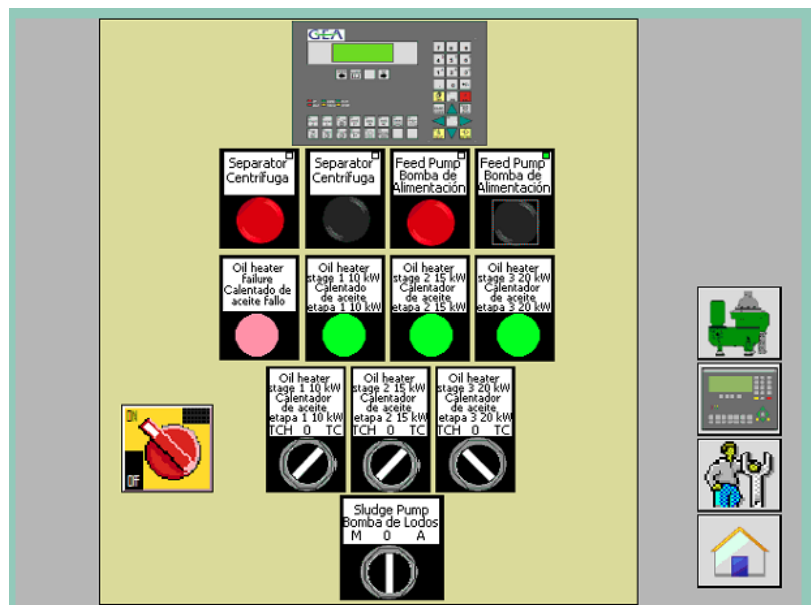


Figura 42. Activación de calentadores de aceite.

El incremento de temperatura se puede observar al presionar la tecla de la *imagen del proceso de separación* (Figura 43), en esta pantalla se activa la tecla temperatura y se puede observar la curva de temperatura (Figura 44). En esta pantalla se obtiene un registro de esta variable, su comportamiento conforme a la activación de las distintas etapas del calentador de aceite.

Si se presiona la tecla PID se muestra la denominación de las válvulas (Figura 44) que intervienen en el proceso, si se vuelve a presionar la tecla se oculta esta información.

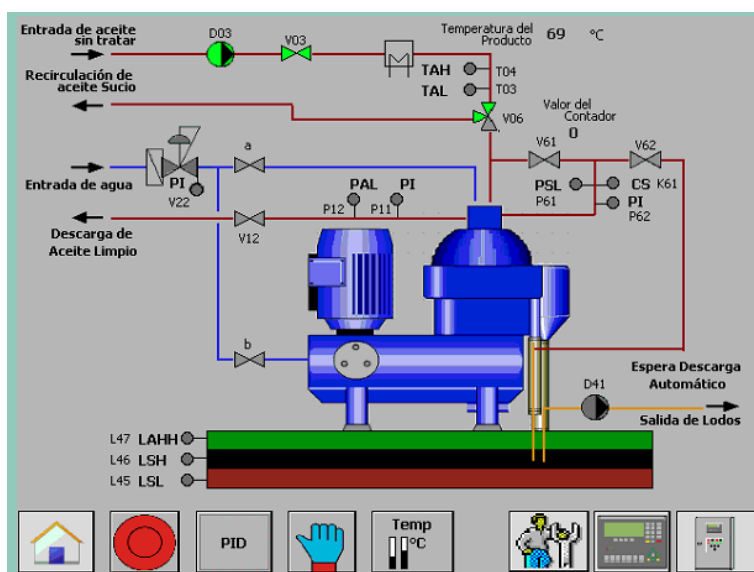


Figura 43. Imagen del proceso de separación.

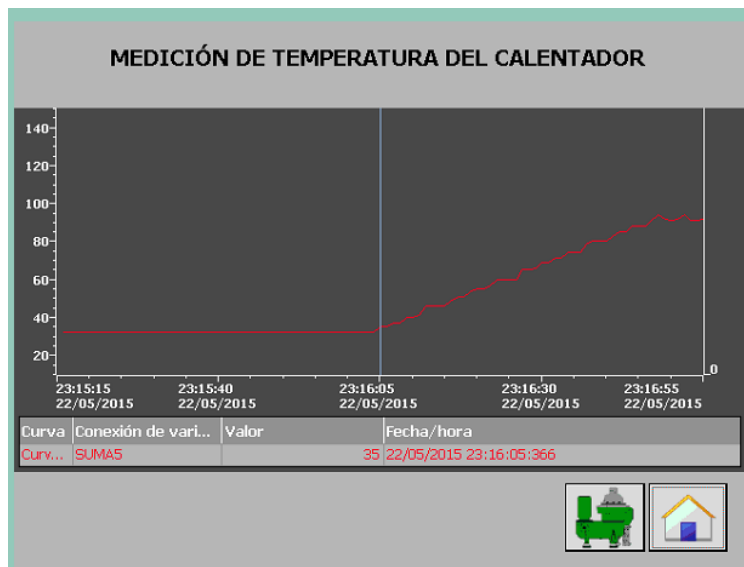


Figura 44. Imagen de la pantalla de medición de temperatura.

Para acceder a las variables que se pueden modificar (presión de descarga, caudal de aceite y presión de entrada de agua) se debe activar la tecla Ingreso de valores (Figura 46) la misma que habilita esta opción.

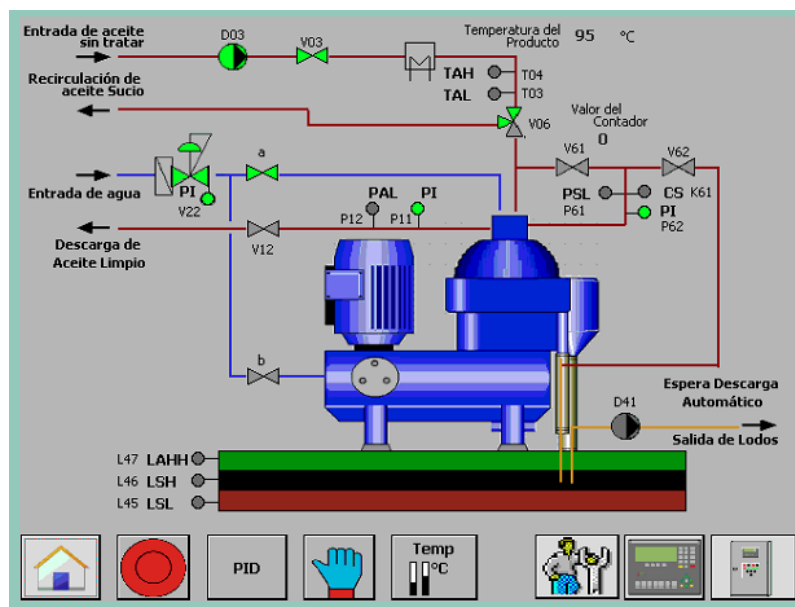


Figura 45. Activación de tecla PID.

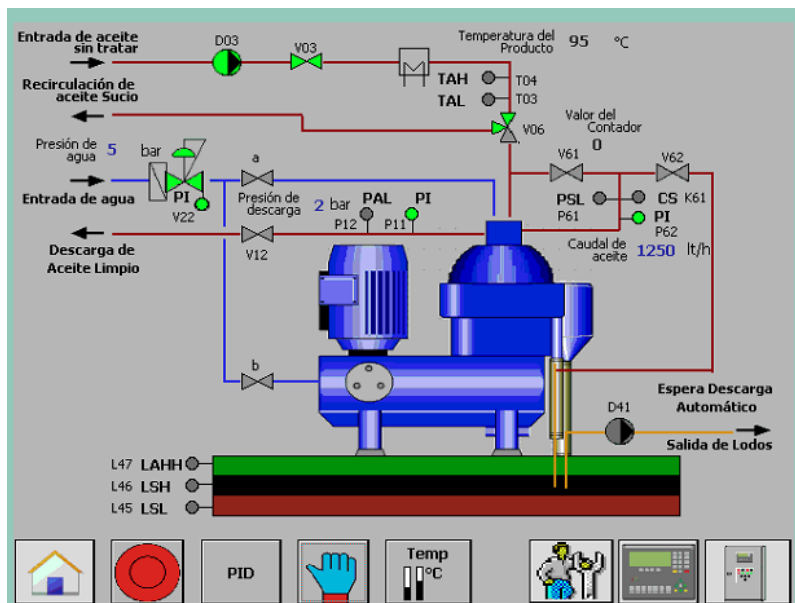


Figura 46. Activación de tecla Ingreso de valores.

INGRESO DE VALORES A MODIFICAR EN LA PANTALLA HM1

Una vez que se ha activado la tecla ingreso de valores solo se requiere dar click en la variable que se desea modificar (color azul), se desplegará una pantalla numérica (Figura 48), que admite valores enteros, se pulsa un enter y se modifica el valor, si los valores bar están fuera de rango la separadora procederá a detener el proceso y activar una alarma.

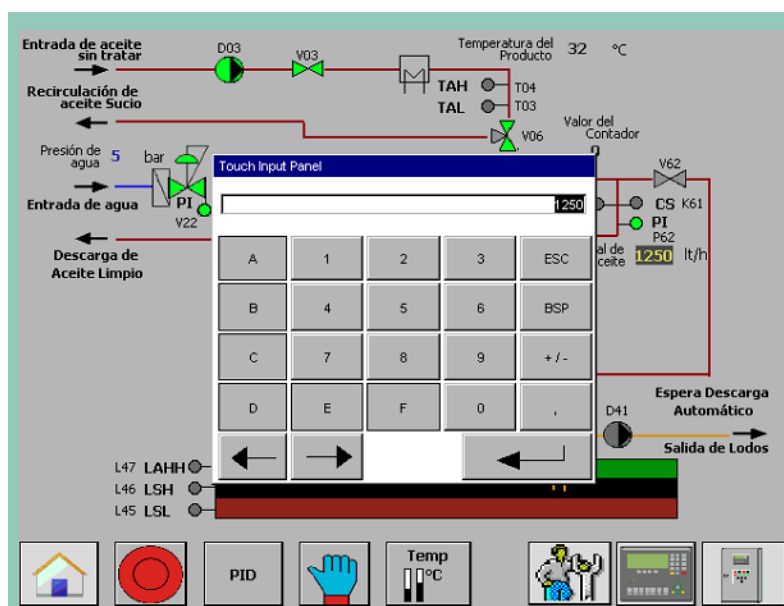


Figura 47. Pantalla numérica para el ingreso de valores.

En la simulación se pudo comprobar el funcionamiento de la lógica empleada y verificar el estado de las entradas, salidas y variables de memoria en tiempo real tal como se muestra en la Figura 48. Para la conmutación del estado de las entradas se empleó el Software S7-PLCSIM1 de esta manera se forzó la conmutación del estado de la variable para realizar pruebas y comprobar el funcionamiento de la lógica de programación, como se muestra en la Figura 49.

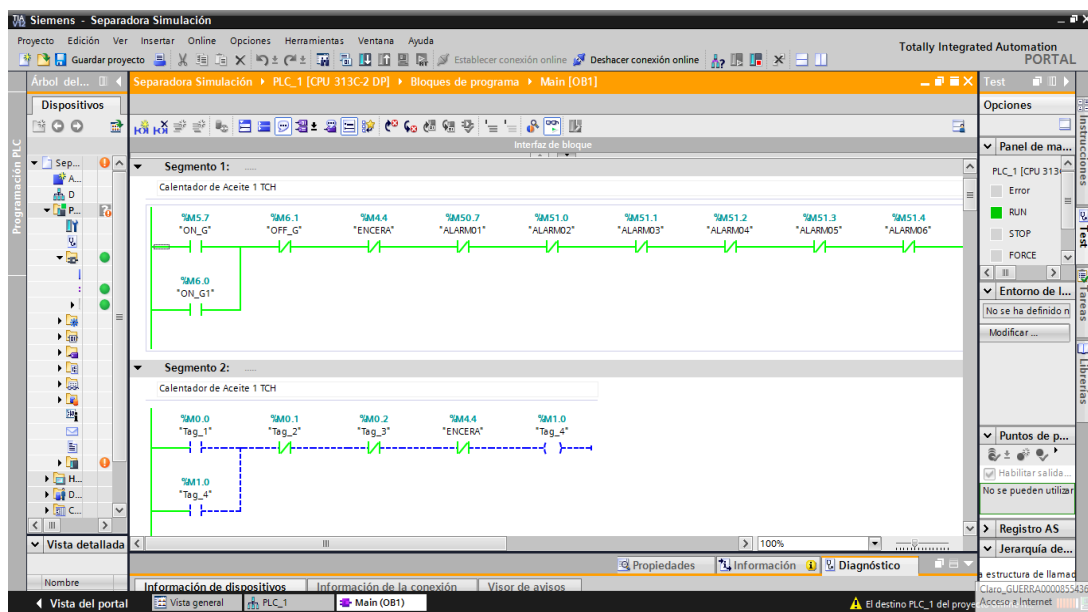


Figura 48. Estado de la lógica de control en tiempo real
Elaborado por: Autor del proyecto.

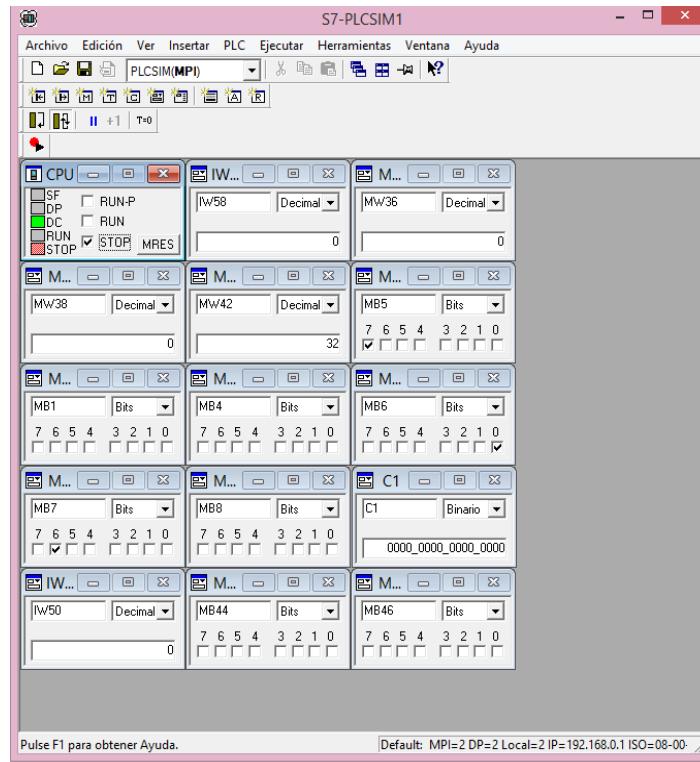


Figura 49. Software S7-PLCSIM1 para forzar las entradas en la simulación del proceso de separación
Elaborado por: Autor del proyecto.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE FALLAS

4.1 CONFIABILIDAD

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un componente, máquina o sistema funcione sin fallar por un periodo de tiempo determinado bajo condiciones de entorno preestablecidas. (Alvarez, 2013). Para determinar la probabilidad de que un componente falle se requiere determinar la función de probabilidad para un grupo de datos discretos. El número de fallas presentadas en la Unidad Separadora durante el periodo enero - noviembre de 2013 se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23 Fallas presentados durante el año 2013 en la Unidad Separadora

MES	FALLAS
Enero	0
Febrero	1
Marzo	5
Abril	0
Mayo	0
Junio	2
Julio	1
Agosto	2
Septiembre	8
Octubre	0
Noviembre	3
TOTAL	22

Fuente: (REPSOL, 2013)

Las fallas presentadas en la Unidad Separadora se representan mediante un gráfico de columnas tal como se muestra en la Figura 50.

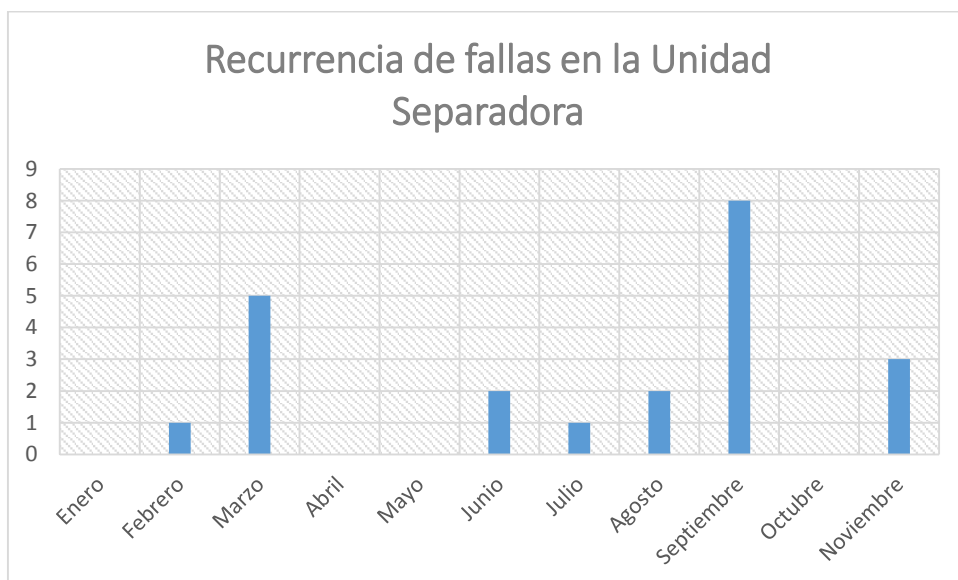


Figura 50 Número de fallas de un componente de enero a noviembre de 2013.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

La función de probabilidad para una variable discreta se define como:

$$f(x) = \begin{cases} P(X = x) & \text{si } X = x_1, x_2, \dots \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Denotada por

$$f(x): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \quad (11)$$

Para el caso de análisis de recurrencia de fallas en la Unidad Separadora en el año 2013 se obtendría la siguiente función de probabilidad.

Cuadro 24

Función de probabilidad de fallas en la unidad separadora

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f(x)	0	0,05	0,23	0	0	0,09	0,05	0,09	0,36	0	0,13

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

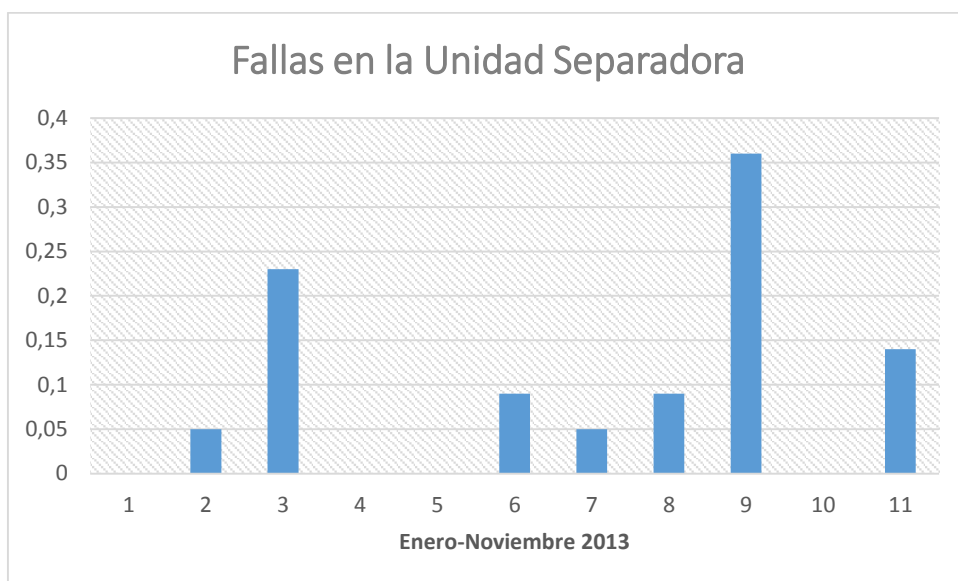


Figura 51 Representación gráfica de la función de probabilidad de fallas en la Unidad Separadora.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

La función de probabilidad (Figura 51) nos servirá para determinar la probabilidad de ocurrencia de fallas para los meses posteriores al análisis realizado, entonces:

$$P(x \in [11, \infty]) = 0,13 \quad (12)$$

5.1 HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD

4.5.1. MTBF

El factor MTBF mide el tiempo medio entre fallas; es decir el tiempo promedio en que un equipo, máquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla. Se obtiene dividiendo el tiempo total de operación entre el número de paros por fallas. (Alvarez, 2013). El MTBF se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{T}{\bar{n}} \quad (13)$$

Dónde:

T = tiempo de operación

\bar{n} = número medio de averías

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^N \frac{ni}{N}, ni = \text{averías}, N = \# \text{elementos} \quad (14)$$

Por ello se realizó un análisis de MTBF tomando en consideración los cuatro sistemas (Cuadro 25) que conforman la separadora y la carga de trabajo realizada durante un año por la Unidad.

Cuadro 25

Análisis de averías en la unidad separadora, año 2009

N°	Elementos	Tiempo Operación	Averías	n/N
	N	t (h)	n	
1	Sistema eléctrico		4	1
2	Instrumentos		3	0,75
3	Reciprocante	8726,75	0	0
4	Motor		0	0
TOTAL			7,00	1,75
MTBF (horas)			4986,71	

Elaborado por: Autor del proyecto.

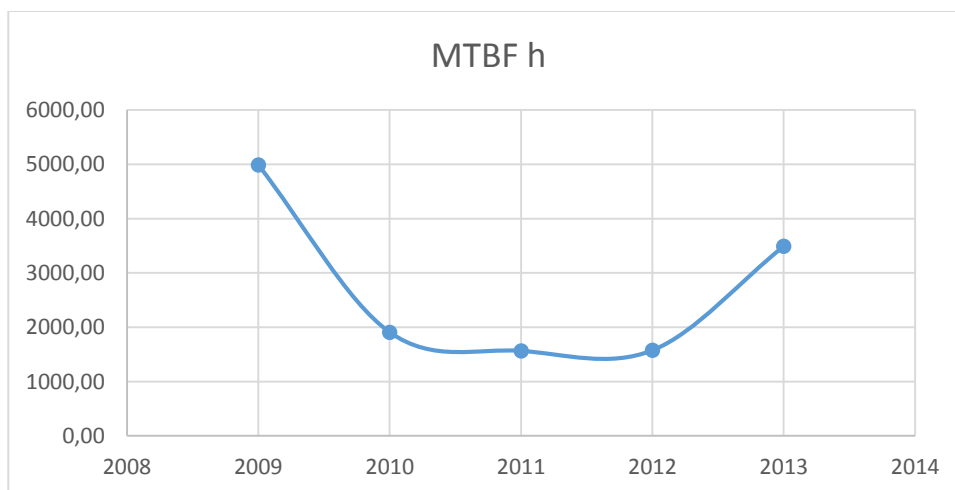


Figura 52 Tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada no especificada por fallo.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

Como conclusión del cálculo del índice MTBF (Figura 52) tenemos que entre el año 2012 y 2013 se redujo el tiempo de paro de la Unidad Separadora.

Cuadro 26
Cálculo de MTBF por año

N		4	
Año	Averías		n/N
	h	n	
2009	8726,75	7,00	1,75
2010	8583,00	18,00	4,5
2011	8608,58	22,00	5,5
2012	8664,42	22,00	5,5
2013	8729,75	10,00	2,5
Total	43312,50	79,00	19,75
MTBF (horas)			2193,03797

Elaborado por: Autor del proyecto.

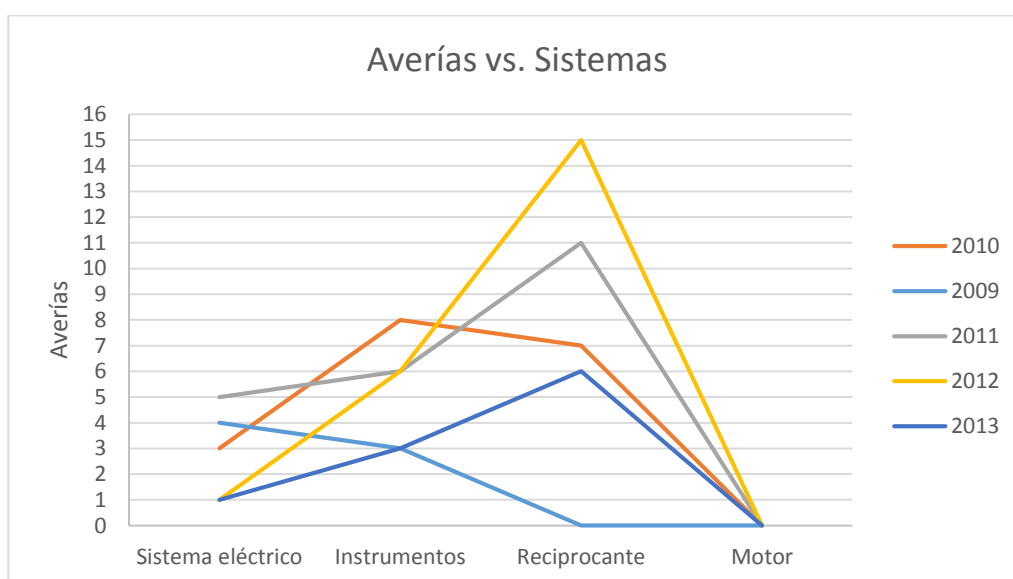


Figura 53 Gráfica de los sistemas analizados y las averías presentadas.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

Así mismo a partir de la gráfica de sistemas (Figura 53) podemos determinar que el Sistema Recíprocante es el que presentó más fallas y

tiempos de paro, dato que será tomado en cuenta para el plan de mantenimiento preventivo.

4.5.2. MTTR

Este indicador señala el tiempo promedio para restaurar la función de un equipo, maquinaria, línea o proceso después de una falla (3). Incluye tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo para conseguir la refacción, tiempo de planeación, etc. Es también un indicador de la mantenibilidad de un equipo.

Este indicador se obtiene dividiendo el tiempo total de las reparaciones entre el número total de fallas en un sistema. (Alvarez, 2013)

Obedece a la siguiente fórmula:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (15)$$

Dónde:

t_i = tiempo total empleado en restaurar la operación después de cada falla

N = número de fallas totales

Cuadro 27

Determinación del número de averías por año

N°	T
	(días)
1	2
2	9
3	18
4	112
5	22
6	53
Total	216
MTTF	36,00

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.



Figura 5.1-1 Gráfica del tiempo en el que se presentan averías en la Unidad Separadora.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

4.5.3. FUNCIÓN DE FIABILIDAD

La función de fiabilidad determina la probabilidad de que un componente sobreviva o no, más de un tiempo t . la función de fiabilidad se expresa a través de la las siguientes ecuaciones:

Probabilidad de que sobreviva más tiempo:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (16)$$

Probabilidad de que no sobreviva más tiempo:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (17)$$

Densidad:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (18)$$

Dónde:

$$\lambda(t) = E(t) = Var(t) = \lambda, \text{ tasa de falla}$$

Del cálculo de la varianza de un grupo de fallos presentados en el año 2013 (Tabla 10) se obtuvo un valor de λ igual a 0,471 décadas

Cuadro 28
Recurrencia de fallas en la Unidad Separadora.

N°	T (días)
1	2
2	9
3	18
4	112
5	22
6	53
Total	216
MTTF	36,00

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

Por tanto se obtiene una función igual a:

$$R(t) = e^{-0.471 t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-0.471 t}$$

$$f(t) = 0.471 * e^{-0.471 t}$$

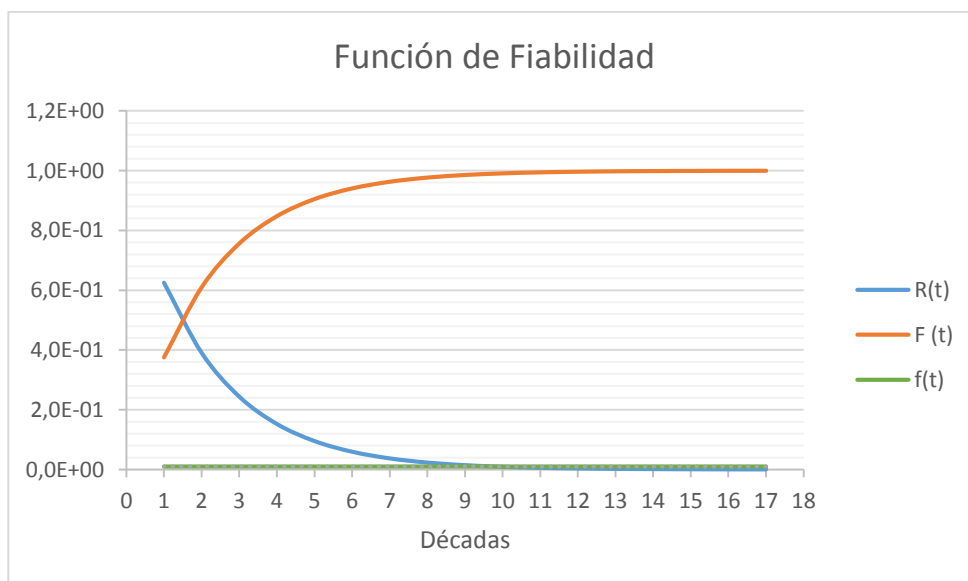


Figura 54 Función de fiabilidad para la unidad separadora.

Fuente: (REPSOL, 2013)

Elaborado por: Autor del proyecto.

De acuerdo con la Figura 54 el pronóstico de vida útil de la Unidad Separadora se proyecta en aproximadamente 15 años.

4.5.4. DIAGRAMA DE ESPINA DE PESCADO

Esta herramienta es útil en la identificación de las posibles causas de un problema, y representa las relaciones entre un efecto y sus causas. (Alvarez, 2013). En la Figura 55 se representa el diagrama espina de pescado para la unidad separadora.

4.5.5. ÁRBOL DE PROBLEMAS Y ÁREAS DE INTERVENCIÓN

El árbol de problemas es una técnica participativa que ayuda a desarrollar ideas creativas para identificar el problema y organizar la información recolectada, generando un modelo de relaciones causales que lo explican.

Esta técnica facilita la identificación y organización de las causas y consecuencias de un problema. Por tanto es complementaria, y no sustituye, a la información de base.

El tronco del árbol es el problema central, las raíces son las causas y la copa los efectos. La lógica es que cada problema es consecuencia de los que aparecen debajo de él y, a su vez, es causante de los que están encima, reflejando la interrelación entre causas y efectos. (Martínez & Fernández)

- a) Identificación del problema central: Para el caso de la separadora de aceite el principal problema se traduce en fallos (Figura 56) que ocasionan paradas no previstas de la purificadora.

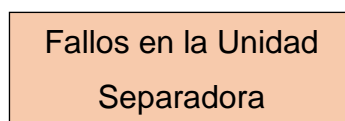


Figura 55 Problema central en la separadora de aceite

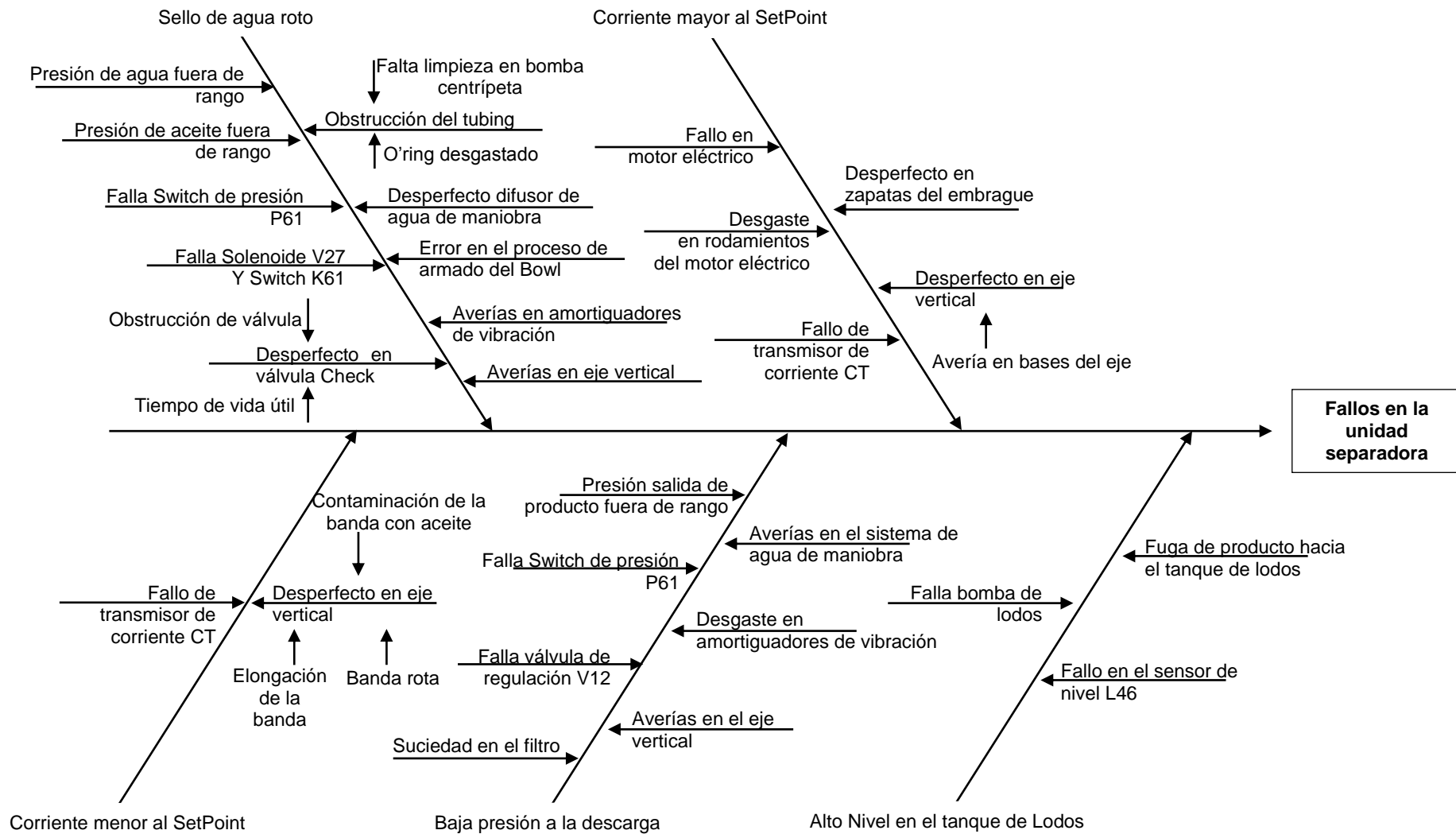


Figura 56 Diagrama “Espina de pescado” para los fallos en la unidad separadora

Elaborado por: Autor del proyecto.

b) Exploración y verificación de los efectos/consecuencias del Problema Central. Las consecuencias de los fallos (Figura 57) de la separadora conlleva a horas de paro por tanto no existe purificación de aceite lo que afecta de manera directa el desempeño del motor-generador.

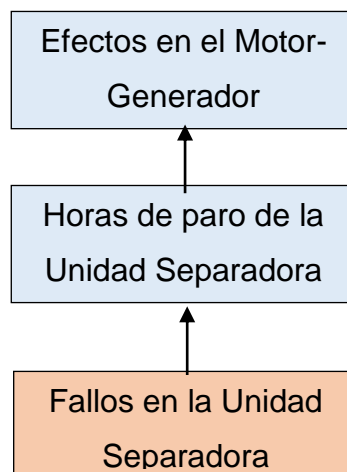


Figura 57 Copa del árbol

Elaborado por: Autor del proyecto.

c) Identificación de relaciones entre los distintos efectos que produce el Problema Central. La Figura 58 describe como se relaciona un fallo en la separadora con el nivel de productividad y el costo del mantenimiento correctivo.

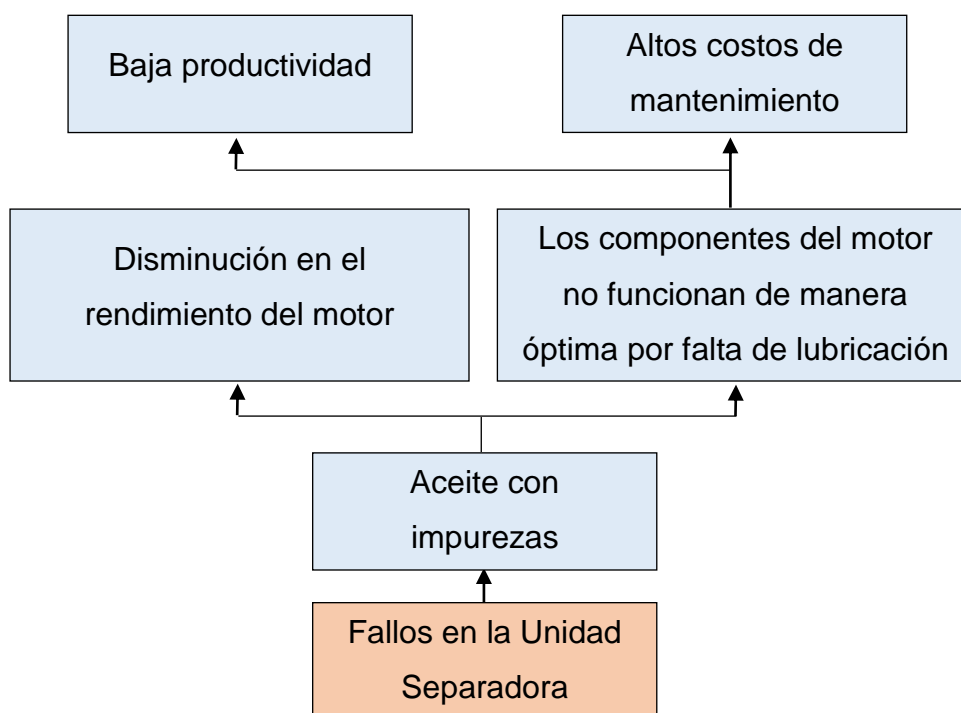


Figura 58 Efectos producidos por el problema central

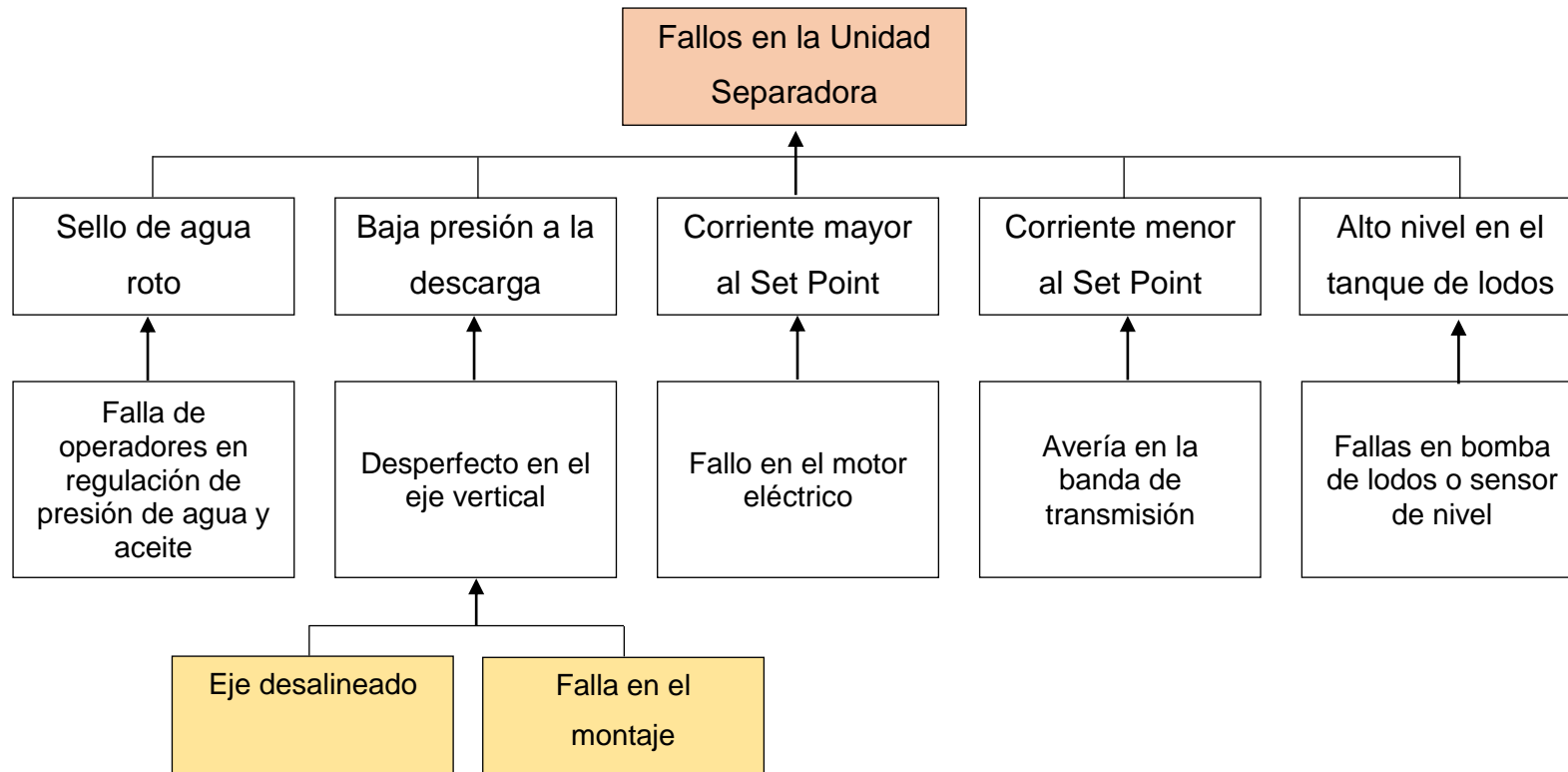


Figura 59 Causas por las que se genera el Problema Central

Elaborado por: Autor del proyecto.

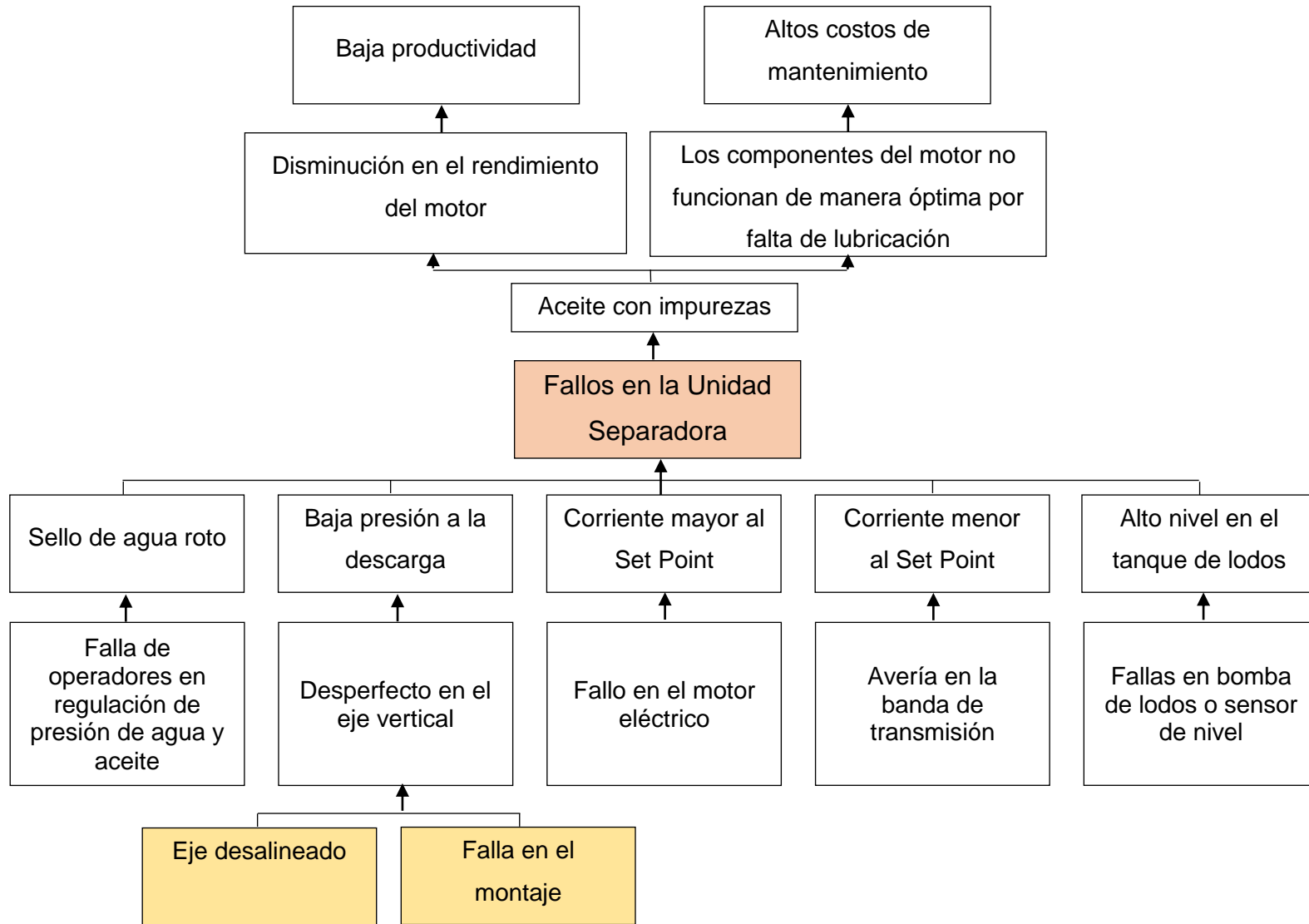


Figura 60 Árbol de problemas: Causas- Efectos.

Elaborado por: Autor del proyecto.

- d) identificación de las causas y sus interrelaciones (las raíces). Las causas principales para que ocurran fallos (Figura 59) en la purificadora está dado por fallas mecánicas o de instrumentos, por lo que es importante identificar el origen del desperfecto con la finalidad de optimizar el tiempo que se invierta en la corrección del desperfecto.
- e) Diagrama del Árbol de Problemas (Figura 60). Este diagrama abarca toda la información involucrada con los fallos en la unidad separadora, tanto “la copa” como “las raíces del árbol”, este esquema permite identificar las principales causas y darle una solución óptima.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. PRUEBAS

Como primer punto se realizaron pruebas para el calentador de aceite para ello se encendieron las etapas del calentador y se mostró el comportamiento de la variable temperatura dependiendo de la potencia que suministra cada una de ellas.

El calentador de aceite está conformado por columnas metálicas, dentro de las cuales fluye el aceite libremente. Cada etapa presenta un selector que permite elegir entre tres opciones las cuales son: TC, TCH y 0.

TC: Funcionan únicamente el cincuenta por ciento de las columnas metálicas que conforman el calentador.

TCH: Funcionan todas las columnas metálicas del calentador.

0: La etapa se encuentra desactivada

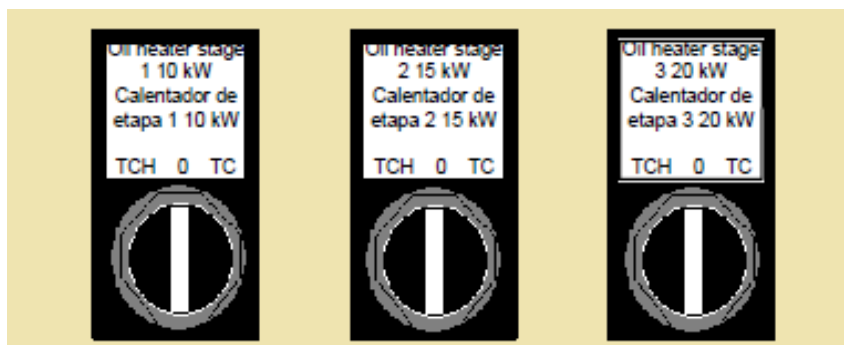


Figura 61 Representación de las etapas del calentador de aceite.

- En la Figura 62 se observa el led indicador de la etapa 1 en color verde lo que indica que está activa, para este caso el selector se encuentra en la posición TC. En la Figura 63 se muestra la curva de temperatura al encender únicamente la etapa 1 de 10 kW.
- La Figura 64 se muestra la etapa 1 activa pero el selector en la posición TCH. La Figura 65 representa la curva de temperatura para las condiciones ya especificadas.
- En la Figura 44 se muestra la curva de temperatura al encender la etapa 2 de 15 kW con el selector en la posición TC, la Figura 66 indica el armario con el led indicador encendido correspondiente a la etapa 2.

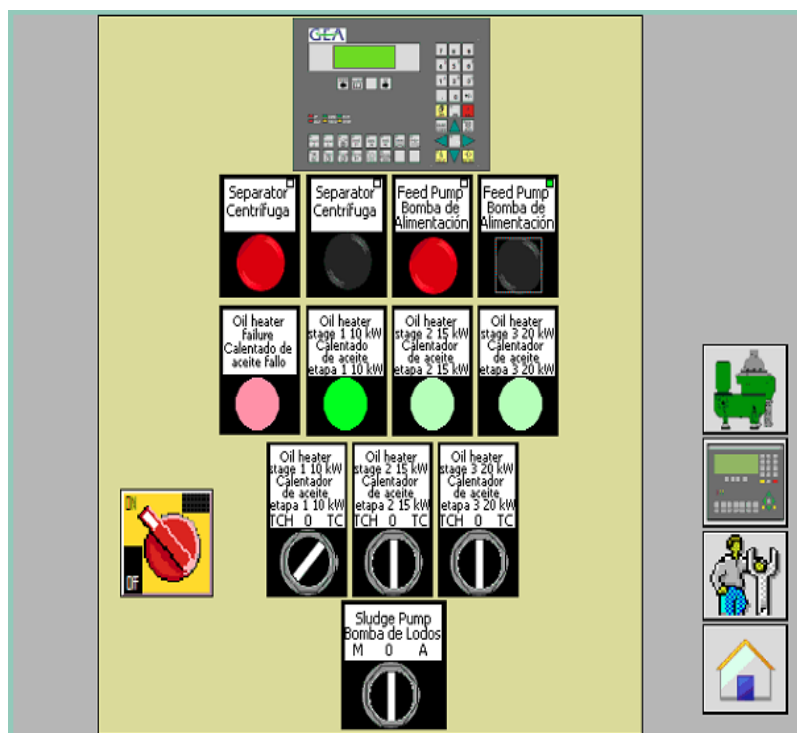


Figura 62 Armario de control. Etapa 1 del calentador activa, posición TC.

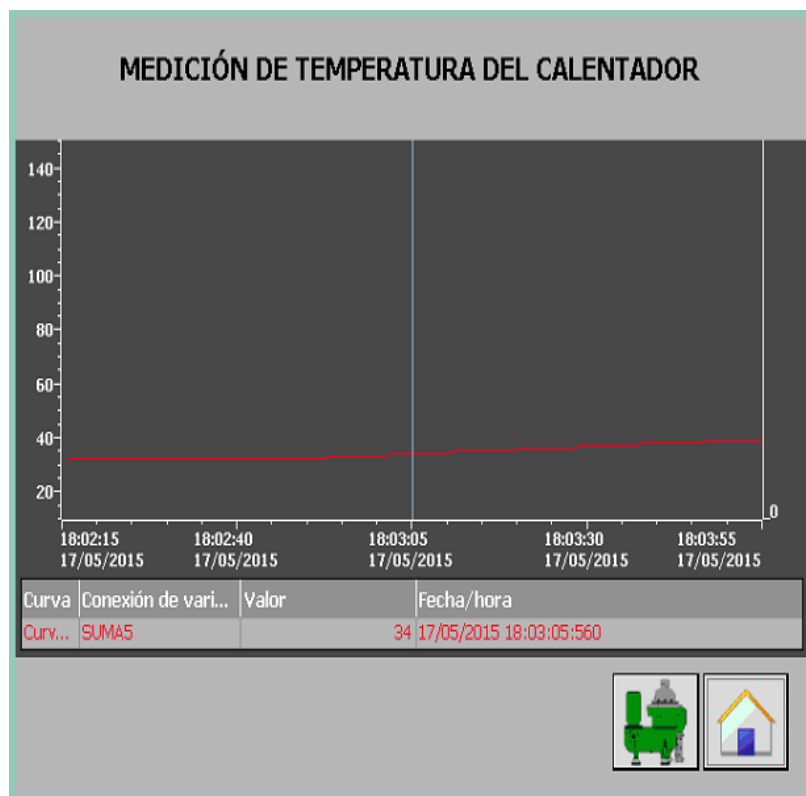


Figura 63 Curva de temperatura. Etapa 1 del calentador activa, posición TC.

- La Figura 68 indica el armario con el selector de la etapa 2 activa en la posición TCH y la Figura 69 la curva de temperatura para las condiciones ya mencionadas.
- En la Figura 70 indica el armario con la etapa 3 de 20 kW activa y el selector en la posición TC mientras que la Figura 72 indica el selector en la posición TCH; la Figura 71 y 73 muestra las curvas de temperatura para la etapa 3 con el selector en la posición TC y TCH respectivamente.
- En la Figura 74 se muestra el armario con los indicadores led de las tres etapas (10 kW, 15 kW y 20 kW) encendidos y en la Figura 75 la curva de temperatura que se genera.

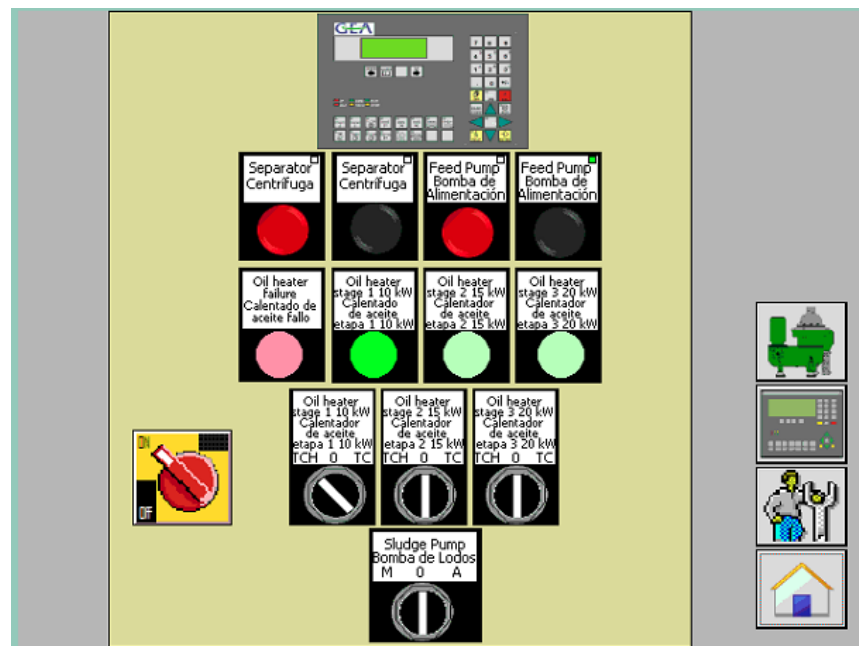


Figura 64 Armario de control. Etapa 1 del calentador activa, posición TCH

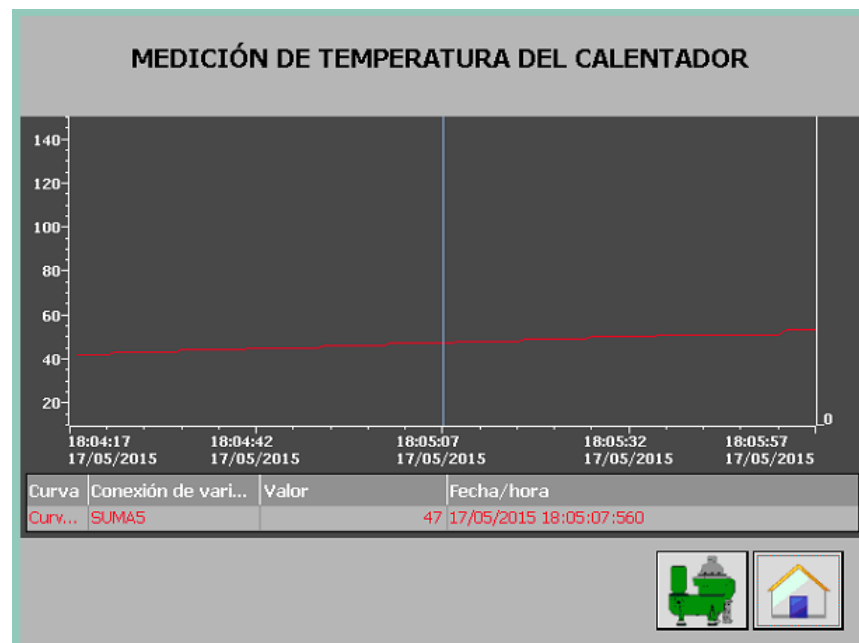


Figura 65 Curva de temperatura. Etapa 1 del calentador activa, posición TC

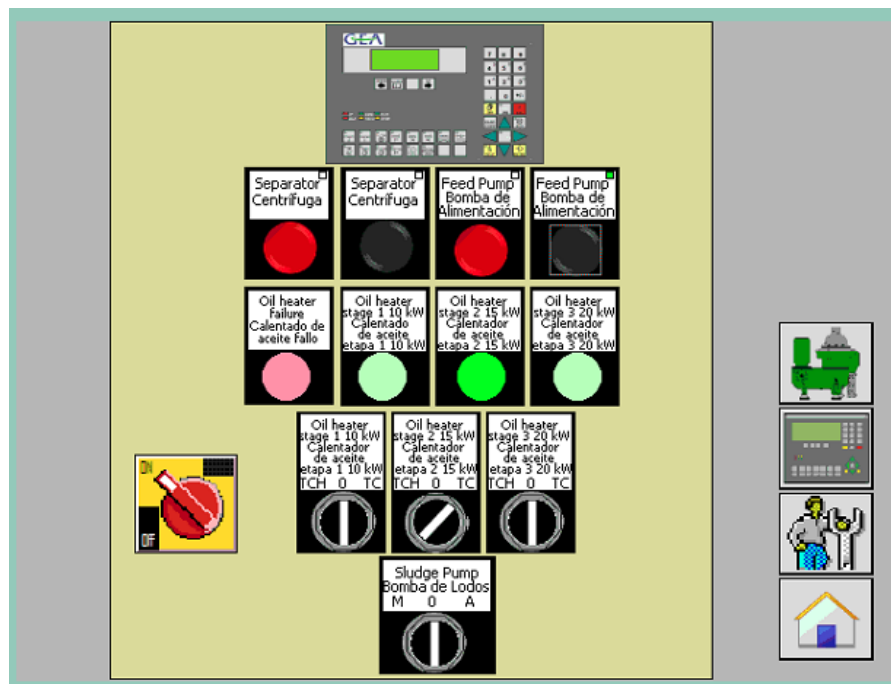


Figura 66 Armario de control. Etapa 2 del calentador activa, posición TC

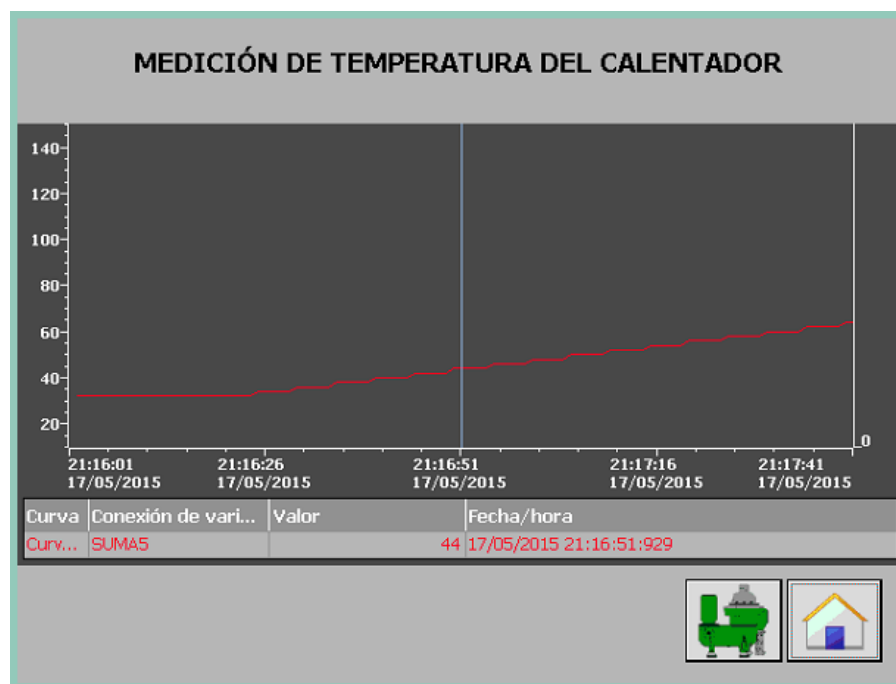


Figura 67 Curva de temperatura. Etapa 2 del calentador activa, posición TC

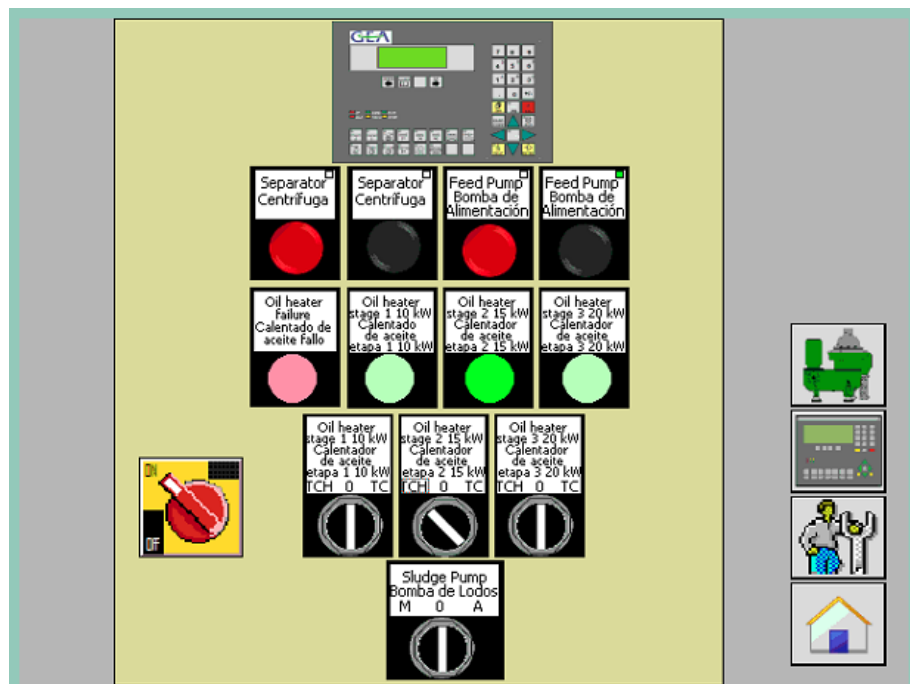


Figura 68 Armario de control. Etapa 2 del calentador activa, posición TCH.

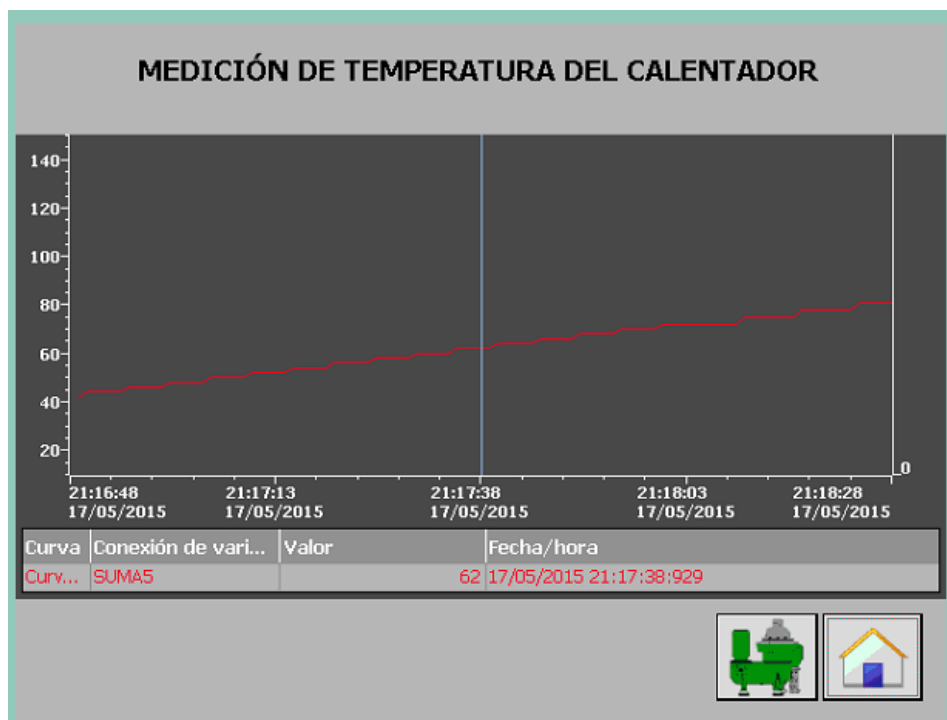


Figura 69 Curva de temperatura. Etapa 2 del calentador activa, posición TCH.

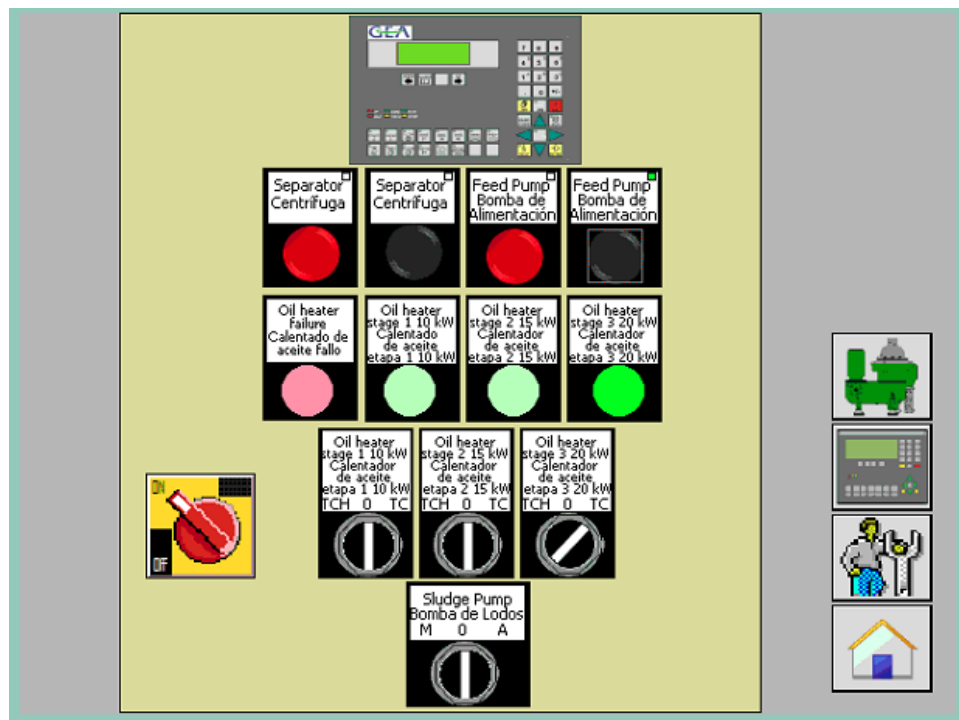


Figura 70 Armario de control. Etapa 3 del calentador activa, posición TC.

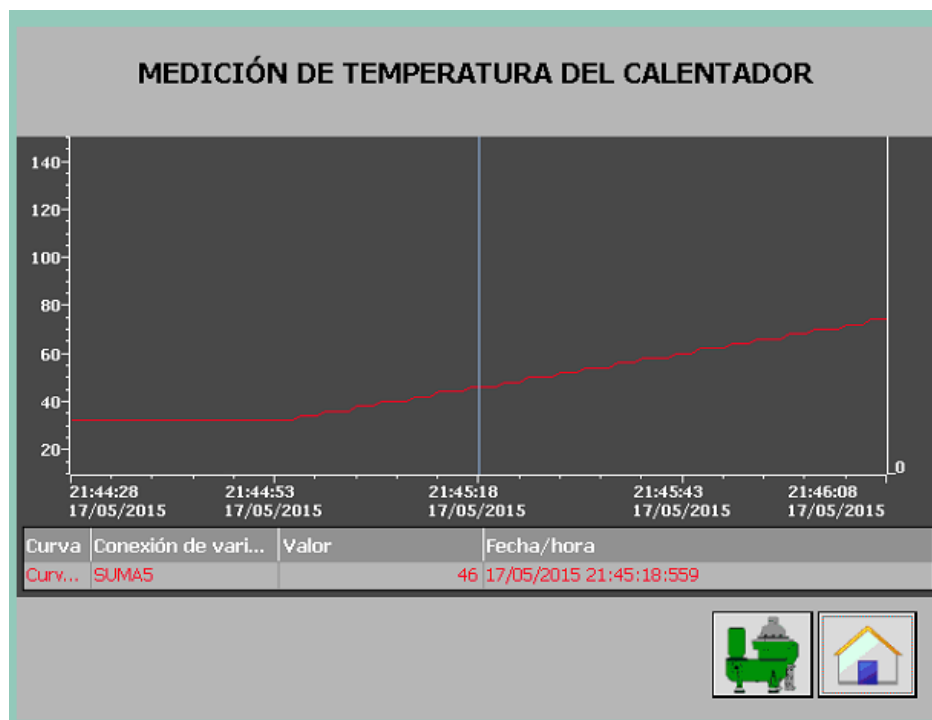


Figura 71 Curva de temperatura. Etapa 3 del calentador activa, posición TC.

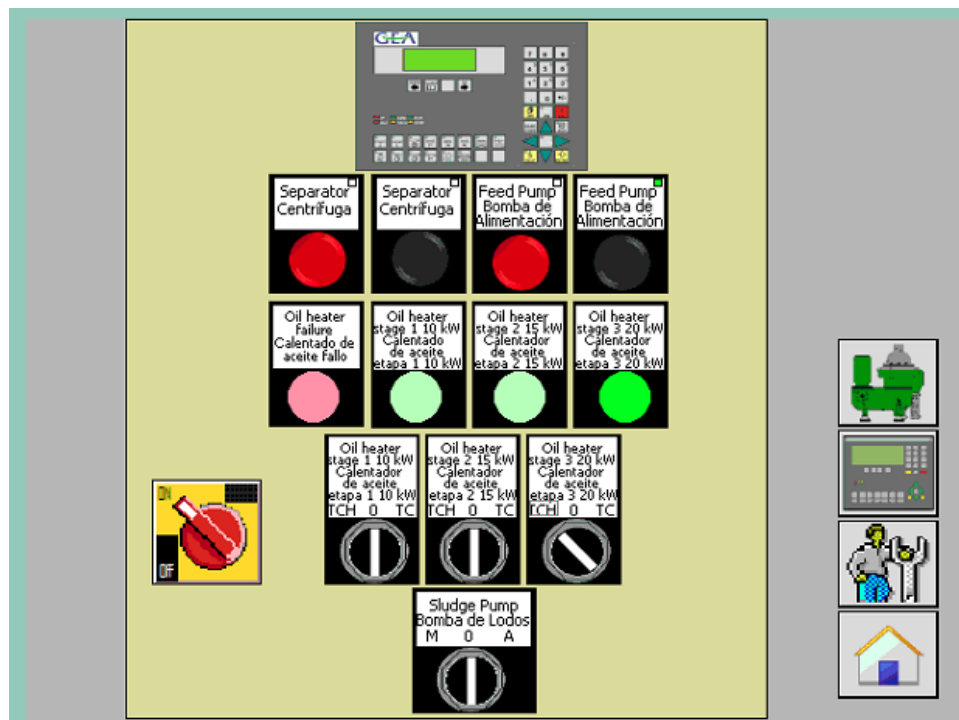


Figura 72 Armario de control. Etapa 3 del calentador activa, posición TCH.

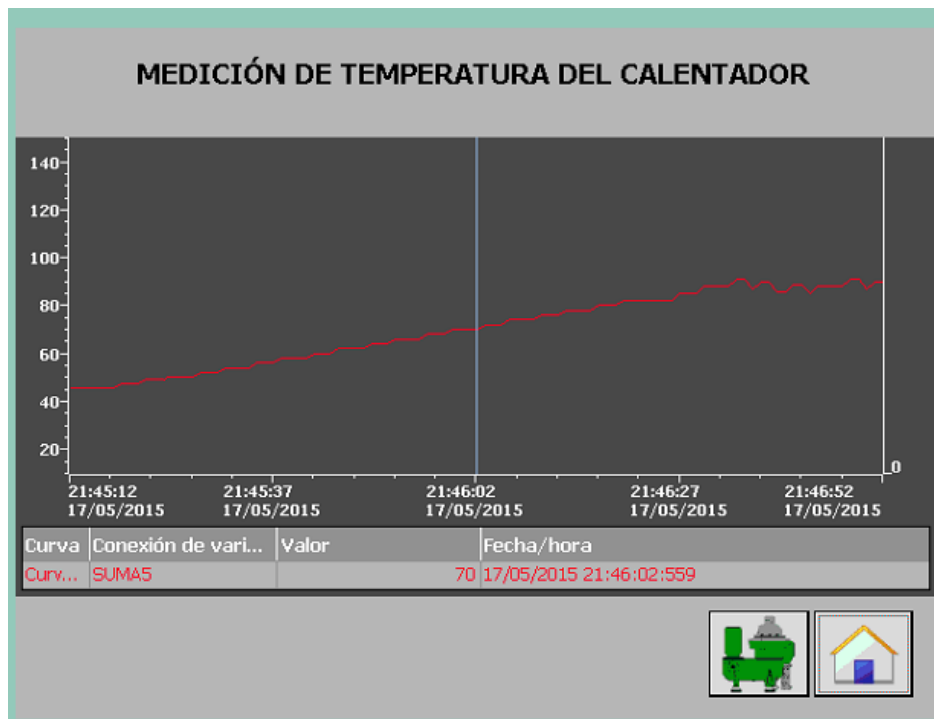


Figura 73 Curva de temperatura. Etapa 3 del calentador activa, posición TCH.

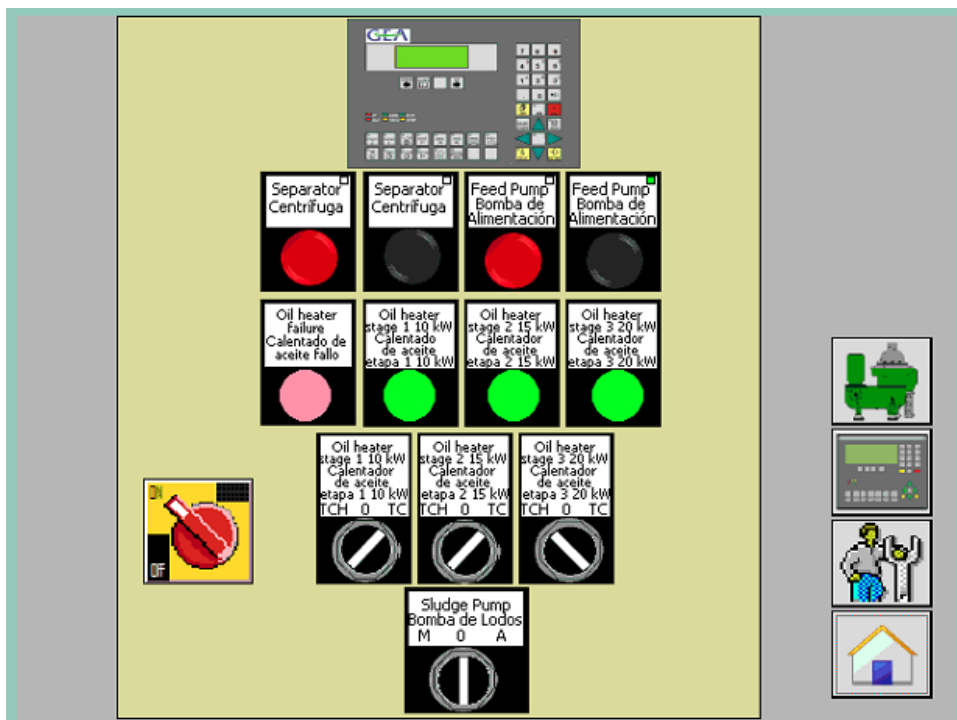


Figura 74 Armario de control. Encendidas las 3 etapas.

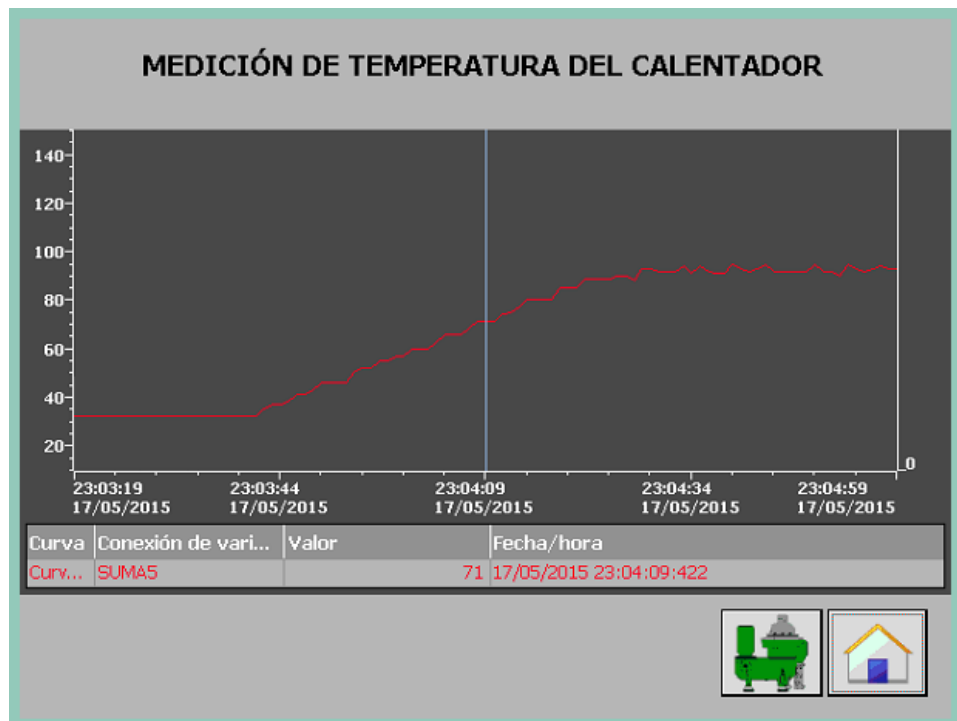


Figura 75 Curva de temperatura. Encendidas las 3 etapas.

- Condición de presión de descarga de aceite. En el caso de que este valor sea diferente a 2 Bar, el proceso de separación se detiene, haciendo que el producto recircule. (Figura 76)

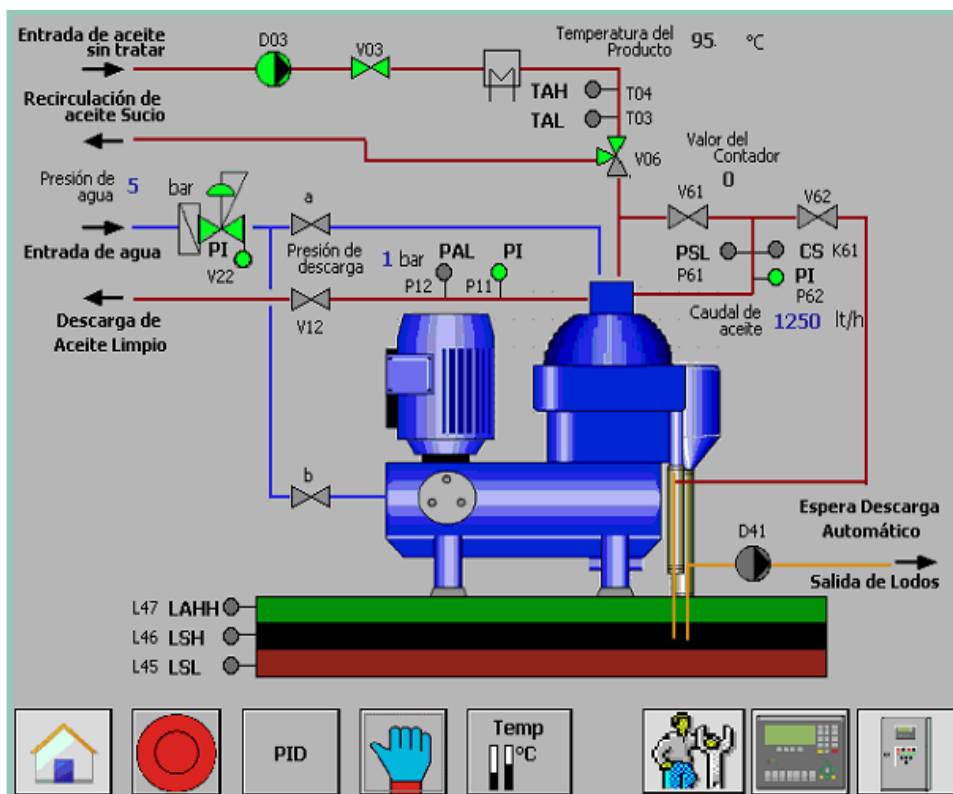


Figura 76 Presión de descarga fuera de rango.

- El caudal de aceite debe mantenerse en valores entre 1150 lt / hora y 1350 lt / hora, caso contrario se detiene la separación de producto. (Figura 77)
- Condición de presión de entrada de agua a la unidad separadora, el valor de la presión debe ser mayor a 4 Bar. (Figura 78) en caso de no cumplirse este parámetro el aceite recircula deteniendo la purificación.
- El rango de temperatura del aceite a purificar debe oscilar entre los 80°C y 105 °C, cuando esta condición no se cumple el producto recircula y detiene a la unidad separadora para evitar daños. (Figura 79)

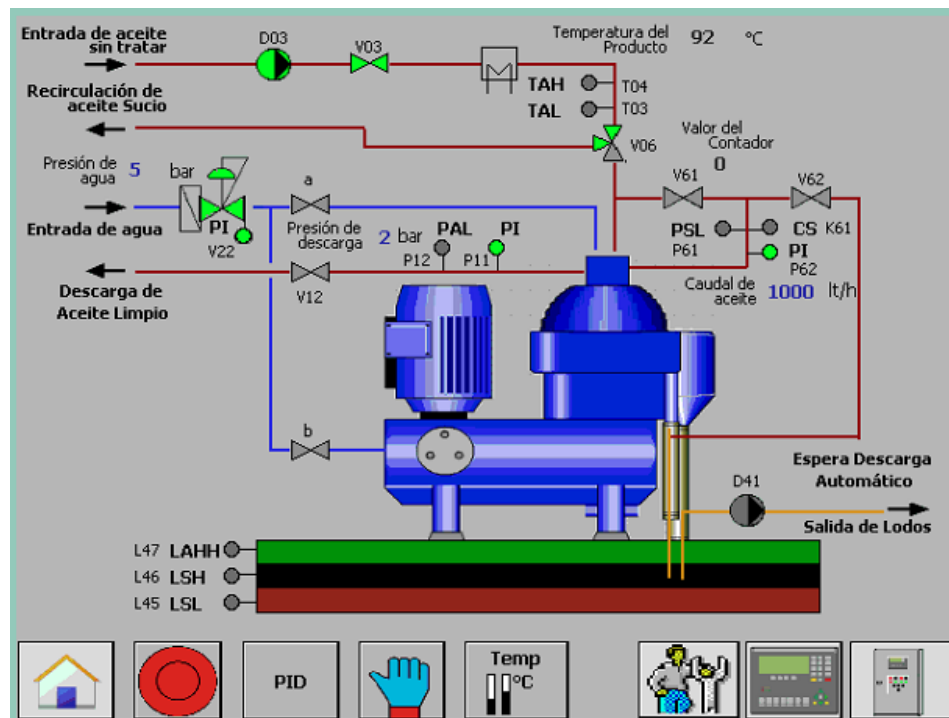


Figura 77 Caudal de aceite fuera de rango.

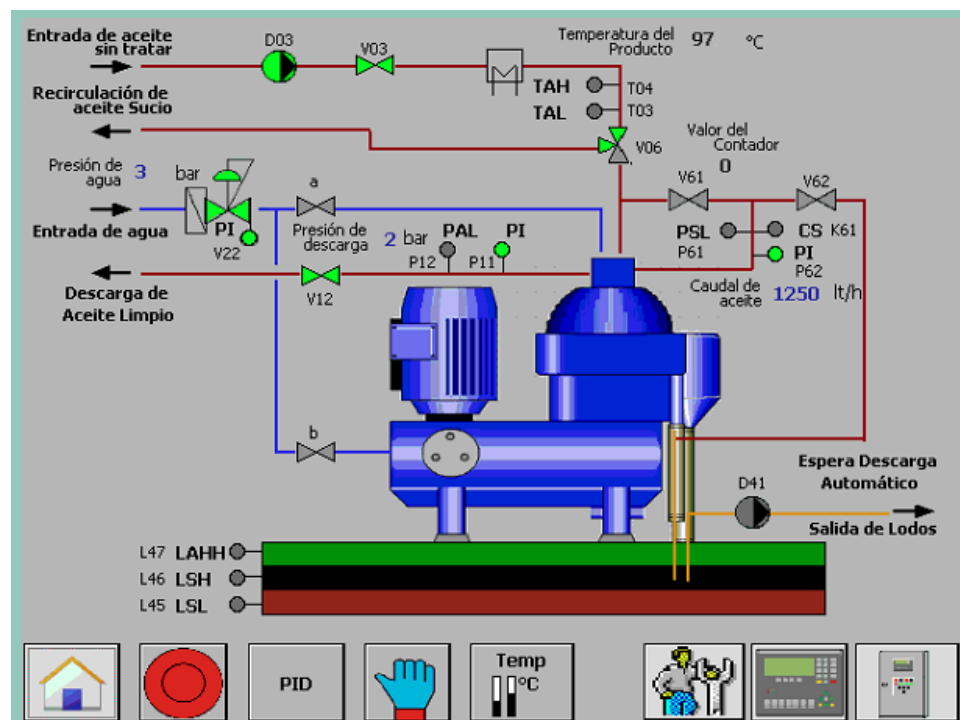


Figura 78 Presión de descarga fuera de rango.

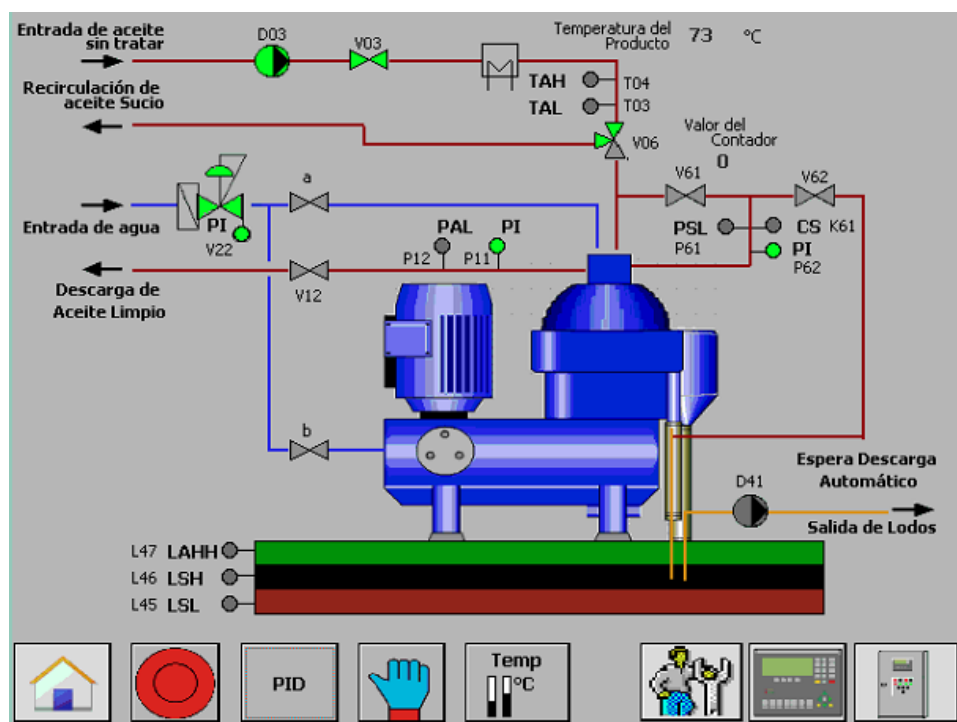


Figura 79 Temperatura fuera de rango.

Se realizaron pruebas del proceso de simulación en donde se verificó la siguiente tabla para los tiempos que emplea la unidad separadora en el proceso de purificación.

Cuadro 29

Lista de temporizadores empleados en el proceso de separación³

Timer	Descripción	Valor en segundos
T 00	partial de-sludging	2,00
T 01	displacement -0196-	8,00
T 02	filling -0196-	8
T 03	waiting after program start	10
T 04	total ejection	2,5
T 05	speed recovery after total de-sludging	25
T 06	closing water impulse	0,1
T 07	alarm delay	5
T 08	waiting after displacement	10
T 09	waiting after filling	10
T 10	separator start-up	240

³ Continúa Tabla 19→

T 11	bridging after ejection	30
T 12	waiting after 1st ejection	10
T 13	speed recovery after partial ejection	10
T 14	pause closing impulse	300
T 15	circulation valve closed	60
T 16	circulation valve open	15
T 17	system check (SMS)	1
T 18	LSHH sludge tank	10
T 19	water impulse after start	3
T 20	separation	3600
T 21	minimum separation time	600
T 22	High water	20
T 23	feed pump delay	600
T 24	sludge pump delay	10
T 25	VIBRO I	180
T 26	VIBRO II	9
T 27	PSL delay (SMS)	10
T 28	Ejection monitor	5
T 29	Brake for Separator	300
T 30	Pause cooling water	600
T 31	Cooling water	5
T 32	WSM mode	5400
T 33	SMS mode	30
T 34	Oil pressure delay	10
T 35	Water seal broken	30
T 36	Filling SMS	1
T 37	SMS waiting	3
T 38	WMS sensor flushing	60
T 39	Max. Sep. Idle time "Sep.off"	180

Fuente: (WÄRTSILÄ, 2014)

Elaborado por: Autor del proyecto.

5.2. RESULTADOS

Al realizar las pruebas de la Simulación del Sistema de control se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se pudo observar el comportamiento de la temperatura, se comprobó que cada etapa es equivalente al valor de potencia que representa como se puede comparar al observar las Figuras 63, 65, 67, 69, 71, 73 y 75.

Como se observa, al encender las tres etapas (Figura 74) el incremento de temperatura se produce en menor tiempo.

- Se comprobó el decremento que existe en la temperatura cuando se apagan las 3 etapas del calentador de aceite mientras el proceso está en operación. (Figura 80)
- Al iniciar el programa de simulación también se comprobó los requerimientos del sistema. Como se observa en la Figura 81 el ingreso de aceite a la unidad separadora se produce mientras se cumplen los requerimientos de temperatura de producto, presión de descarga de aceite, caudal de aceite y presión de entrada de agua a la unidad.

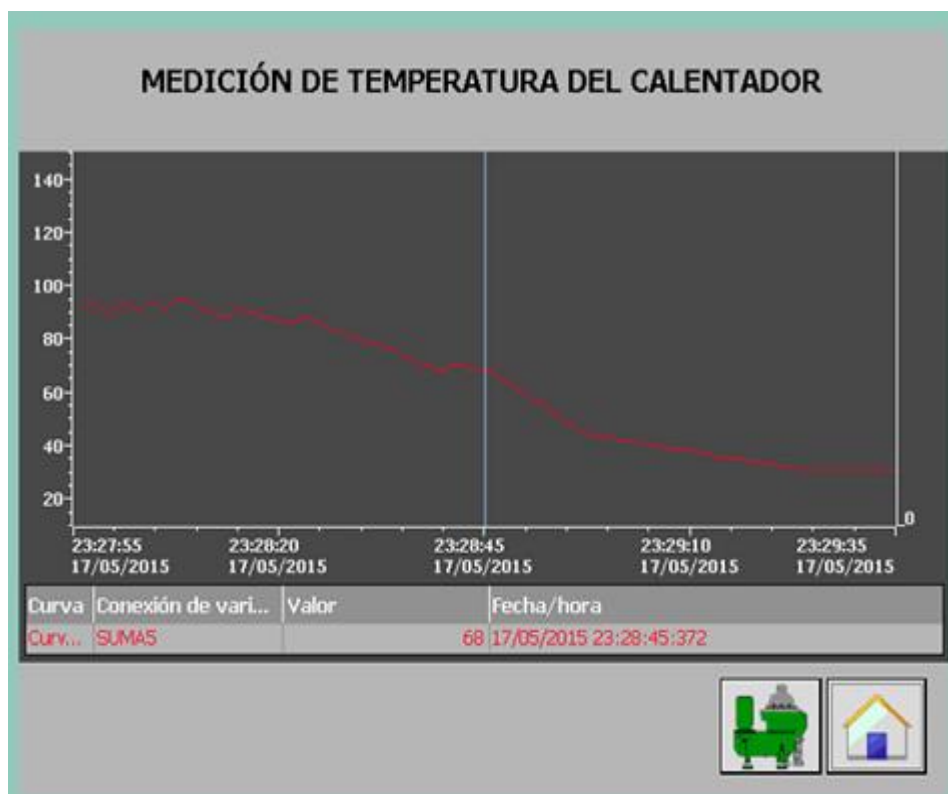


Figura 80 Curva de temperatura, calentadores apagados.

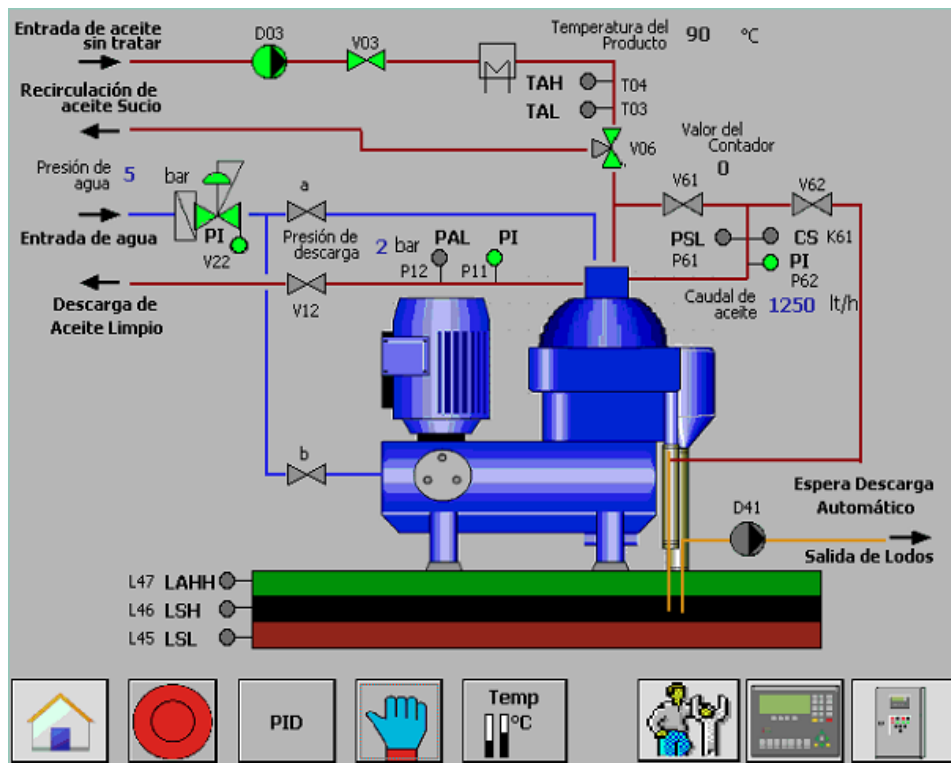


Figura 81 Proceso de separación activo, cumplimiento de parámetros

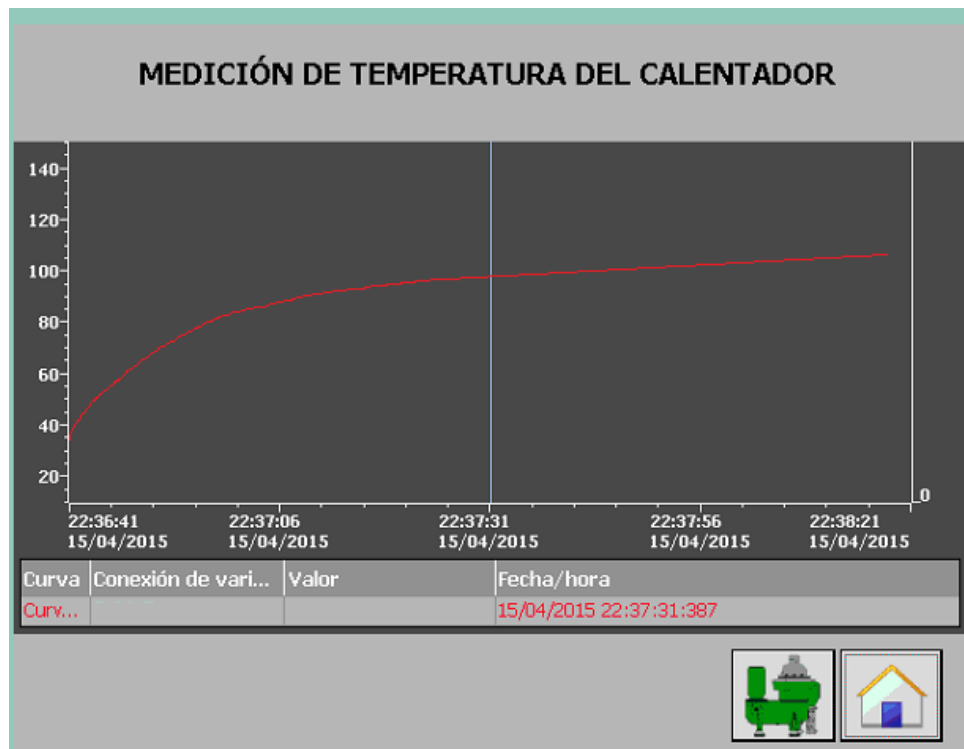


Figura 82 Parámetro de temperatura

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó de manera satisfactoria el estado actual de la separadora de aceite Westfalia OSC y OSD determinando índices de confiabilidad.
- Se examinaron las alternativas de diseño para el sistema de control a través de una matriz causa-efecto optando por la opción más óptima.
- Se establecieron los principios matemáticos para el proceso de transferencia energética del sistema.
- Se obtuvo un alto desempeño en el diseño y simulación del sistema de control automático de las separadoras modelos OSD y OSC.
- El diseño del árbol de fallas permite la identificación de las causas que afectan al rendimiento de la centrífuga lo que a su vez disminuye el tiempo que se emplea en la corrección de las fallas.
- La identificación de las áreas que deben intervenir en la corrección de fallas permite una organización de los departamentos de la empresa, tales como son: el departamento mecánico, el departamento de instrumentos y el área de operaciones.
- El análisis de confiabilidad permite una proyección del tiempo de vida útil de la máquina, así mismo se pueden plantear estrategias para alargar

estos tiempos con el rediseño de los tiempos y acciones a ejecutar en los mantenimientos preventivos.

- El mantenimiento de una unidad operativa por periodos más largos representa una inversión puesto que los motores-generadores presentarán menos fallos a causa de un aceite sucio.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es importante regirse a la información proporcionada en el manual de usuario para el correcto funcionamiento del Software de Control.
- Considerar el número de horas de trabajo de cada Unidad para poder cumplir con los tiempos de mantenimiento.
- Regirse a la designación de trabajos por departamento para cumplir con el objetivo de perfeccionar los tiempos implementados en las tareas correctivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A. E. (2013). *Análisis de fallas de una máquina extrusora de electrodos*. Piura.
- Automationdirect . (2013). Obtenido de www.automationdirect.com:
www.automationdirect.com/proximity
- GEA. (s.f.). Westfalia Separator AG. *Manual de Instrucciones Equipo programador C7-623*.
- Lubmarine. (15 de Julio de 2014). *AURELIA TI 4055*. Obtenido de http://www4.total.fr/Lubmarine/Document/Products/Product_Sheets/Aurelia_TI_4055.pdf
- Martínez, R., & Fernández , A. (s.f.). *ÁRBOL DE PROBLEMA Y ÁREAS DE INTERVENCIÓN*. CEPAL.
- ODE. (8 de febrero de 2010). Obtenido de <http://www.ode-france.fr>: http://www.ld-gmbh.com/test_files/02%20Solenoid/01%20ODE/ODE%20pdf/High%20Pressure/21A2K0T12-XC.pdf
- Ponsa, P., & Granollers, A. (2006). *Diseño de Pantalla. Máster en Interacción Personal Ordenador MIPO*. España. Obtenido de *Diseño de Pantalla MIPO*.
- Quishpe, M. (2012). *EAP*. Obtenido de <https://maqsolano.files.wordpress.com/2013/09/clase-de-centrifugacion-finalizado-de-alimentos-i.pdf>
- REPSOL. (2010). *Presentación Planta Generación a Crudo*. Quito.
- REPSOL. (2013). *Reportes de fallas QBB-011. Bloque 16*.
- Repsol Ecuador. (2012). *Informe de Responsabilidad Corporativa*. Obtenido de http://www.repsol.com/imagenes/ec_es/IRC2012L_tcm17-660033.pdf
- Torres, J. P. (2011). *Viscosidad*. Obtenido de División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato: http://www.astro.ugto.mx/~papaqui/ondasyfluidos/Tema_2.05-Viscosidad.pdf
- WÄRTSILÄ. (2 de Octubre de 2014). *Lubricating oil separator operation supervision*. Finlandia.
- Weidmueller. (2013). www.weidmuller.com/. Obtenido de http://cmswebdav.weidmuller.de/cms/gu_es/Producto/Electronics/Fuentes_Alimentacion/1366870000_CAT4-3_Fuentes_Alimentacion.pdf
- Westfalia. (2007). Westfalia Separation. *Basic Training* .

Westfalia. (2009). DOCUMENTACIÓN TÉCNICA PARA MÓDULO DE TRATAMIENTO DE LUBE OIL. Alemania.

Wonderware. (2007 - 2009). *Wonderware*. Recuperado el 18 de 12 de 2013, de Wonderware: <http://www.wonderware.es/contents/WonderwareInTouchHMI.asp>

Yacuzzi, E., & Martín, F. (s.f.). QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS.

GLOSARIO

Planta Generadora a crudo: Se define como un complejo destinado a transformar la energía que genera la combustión de crudo en otro tipo de energía útil para el hombre, generalmente energía eléctrica.

HMI: Siglas en inglés para Interfaz Humano Maquina (Human Machine Interface), es una interfaz gráfica que permite a los operadores interactuar con una máquina.

SCADA: Siglas en inglés para el Adquisición de datos y supervisión de control (Supervisory Control and Data Acquisition) software que proporciona un monitoreo remoto y proveer información de un sistema o proceso controlado.

PLC: Siglas en inglés para Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), es un computador que permite controlar procesos o sistemas automatizados.

Purificar: Aislar un líquido principal de otro y de elementos pesados.

Peso específico: Relación entre el peso y su volumen de una sustancia.

Aceleración centrípeta: magnitud que se relaciona con el cambio de dirección de la velocidad de una partícula cuando esta hace un recorrido en una trayectoria curvilínea.

Densidad de sedimentación: Cantidad de partículas con base en la masa de moléculas que se separan en una solución al ser sometidas a un proceso de centrifugación.