

Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR



Lenin Córdoba Eraso

Sergio Guillermo Melo Campaña

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control

Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, abril de 2017

Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR



ANEXOS

Lenin Córdoba Eraso

Sergio Guillermo Melo Campaña

Director: Mg. Juan Fernando Flórez Marulanda

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control

Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, abril de 2017

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. ANEXO A: MAPEO SISTEMÁTICO	10
1.1. Proceso de mapeo sistemático	10
1.1.1. Definición de las preguntas de investigación	10
1.1.2. Palabras clave (keywords).....	11
1.1.3. Ejecución de la búsqueda.....	13
1.1.4. Análisis de documentos.....	13
1.1.5. Procesos de extracción de datos y proceso de mapeo	18
1.2. Análisis comparativo y discusión	19
1.3. Resumen del mapeo sistemático	20
2. ANEXO B: MODELOS ISA – S88.01 DEL POAP – LAB	21
2.1. Modelo de proceso	21
2.1. Modelo físico	24
2.2. Modelo de control procedimental	28
2.3. Relación entre los modelos ISA - S88.01	33
2.4. Receta maestra y de control	39
2.4.1. Receta maestra	39
2.4.2. Receta de control.....	41
3. ANEXO C: CÁLCULO DE LA DENSIDAD Y LA VISCOSIDAD DEL EVISCERADO .	45
3.1. Cálculo de la densidad.....	45
3.1.1. Medición del peso de la probeta	45
3.1.2. Llenar las probetas con la muestra de eviscerado	45
3.1.3. Medir la masa del eviscerado	46
3.1.4. Cálculo de la densidad del eviscerado.....	46
3.1.5. Resultados obtenidos	47
3.2. Cálculo de la viscosidad	48
3.3. Conclusión.....	50
4. ANEXO D: MODELOS ISA - S88.01 DEL POAP – EM	51
4.1. Modelo de proceso	51
4.2. Modelo físico	53
4.3. Modelo de control procedimental	56
4.4. Relación entre los modelos ISA - S88.01	61
5. ANEXO E: VIABILIDAD AMBIENTAL	67

5.1.	Decreto 4741 de 2005	67
5.2.	Resolución 601 de 2006	67
5.3.	Resolución 909 de 2008	67
5.4.	Decreto 3930 de 2010	68
5.5.	Decreto 1220 de 2005	69
5.6.	Conclusiones y recomendaciones de la viabilidad ambiental	69
6.	ANEXO F: CÁLCULO DE VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN PARA EL POAP – EI .	71
6.1.	Etapa de extracción de aceite crudo	71
6.1.1.	Volumen de ácido Fórmico	71
6.1.2.	Masa de BHT.....	72
6.2.	Etapa de refinación del aceite crudo	73
6.2.1.	Volumen de ácido Fosfórico	74
6.2.2.	Masa de KOH.....	74
6.2.3.	Masa de tierra silíce.....	75
6.3.	Resumen de los flujos de alimentación y producción del POAP – EI	75
7.	ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO DEL POAP – EI	77
7.1.	Análisis de variables del proceso productivo POAP – EI.....	77
7.1.1.	Descripción del funcionamiento del equipo	77
7.1.2.	Identificación del tipo de fenómeno fisicoquímico	78
7.1.3.	Definición de un modelo fisicomatemático	78
7.2.	Cálculo de la unidad productiva de las operaciones del POAP – EI.....	81
7.2.1.	Determinación de modos y tiempos de operación.....	81
8.	ANEXO H: SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL POAP – EI	87
8.1.	Cálculo capacidad de los equipos.....	87
8.1.1.	Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento	87
8.1.2.	Cálculo de la capacidad del tanque del reactor.....	88
8.2.	Dimensionamiento de los equipos	89
8.2.1.	Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	90
8.2.2.	Dimensionamiento del tanque reactor.....	94
8.2.3.	Cálculo de la motobomba	98
8.3.	Criterios de evaluación	101
8.4.	Escogimiento de proveedores.....	102
8.5.	Asignación de puntaje por criterio	102
8.6.	Escogimiento de equipos.....	103
8.6.1.	Motobomba.....	103
8.6.2.	Separador centrífugo	104
8.6.3.	Tanque de almacenamiento	106

8.6.4. Reactor.....	107
9. ANEXO I: ACTUALIZACIÓN DE MODELOS ISA - S88.01 PARA EL POAP – EI ...	110
9.1. Modelo de proceso POAP – EI	110
9.2. Modelo físico POAP – EI	112
9.3. Modelo de control procedimental POAP – EI	115
9.4. Relación entre los modelos ISA - S88.01 POAP – EI.....	119
9.5. Receta maestra y de control del POAP – EI	124
9.5.1. Receta maestra del POAP – EI.....	124
9.5.2. Receta de control del POAP – EI.....	126
9.6. Formato de seguimiento de parámetros y documentación formal	128
10. ANEXO J: RECOMENDACIÓN DE EQUIPO (S) PARA EL TRATAMIENTO DE LA HIDRÓLISIS DE PROTEÍNA DE PESCADO (HPP).....	131
10.1. Secado por aspersión	131
10.2. Secado al vacío.....	131
10.3. Micro-filtración.....	131
10.3.1. Requerimientos del sistema	132
10.4. Conclusión	132
11. ANEXO K: SIMULACIÓN EN SUPERPRO DESIGNER	133
11.1. Simulación del POAP – EI.....	133
11.1.1. Operación: preparación del ensilado	133
11.1.2. Operación: extracción aceite del ensilado	137
11.1.3. Operación: desgomado	140
11.1.4. Operación: neutralizado	144
11.1.5. Operación: decolorado	145
11.1.6. Operación: desodorizado	146
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: proceso de mapeo sistemático.....	10
Figura 2: esquema de clasificación.....	13
Figura 3: visualización del mapeo sistemático en la forma de plano de burbujas.....	19
Figura 4: proceso, etapas de proceso y operaciones del POAP – LAB.....	21
Figura 5: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “extracción de aceite crudo” del POAP – LAB.....	22
Figura 6: acciones de proceso para las operaciones de la etapa refinación del aceite crudo del POAP – LAB.....	22
Figura 7: modelo físico del POAP – LAB.....	25
Figura 8: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo”.....	26
Figura 9: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo”.....	27
Figura 10: modelo de control procedimental del POAP – LAB.....	28
Figura 11: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: extraer aceite crudo.....	30
Figura 12: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 1 (4 operaciones: desgomar, neutralizar, lavar y secar).....	31
Figura 13: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 2 (3 operaciones: decolorar, winterizar y desodorizar).....	32
Figura 14: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo” operación “preparar el ensilado”.....	34
Figura 15: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”, operación “extraer el aceite del ensilado”.....	35
Figura 16: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desgomar”.....	35
Figura 17: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “neutralizar”.....	36
Figura 18: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “lavar”.....	36
Figura 19: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “secar”.....	37
Figura 20: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “decolorar”.....	37
Figura 21: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “winterizar”.....	38
Figura 22: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desodorizar”.....	38
Figura 23: probetas utilizadas en el cálculo de la densidad del ensilado.....	45
Figura 24: muestras de ensilado utilizadas.....	46
Figura 25: balanza analítica.....	46
Figura 26: muestras enviadas al laboratorio de Reología.....	48
Figura 27: resultados de la muestra 4t2 18/11/16.....	49
Figura 28: resultados de la muestra 5t2 19/11/16.....	49
Figura 29: resultados de la muestra 6t2 20/11/16.....	50
Figura 30: proceso, etapas de proceso y operaciones de proceso del POAP – EM.....	51

Figura 31: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “extracción de aceite crudo” del POAP – EM.	51
Figura 32: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “refinado del aceite crudo” del POAP – EM.	52
Figura 33: modelo físico del POAP – EM.	54
Figura 34: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo”.	55
Figura 35: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo”.	56
Figura 36: modelo de control procedimental del POAP – EM.	57
Figura 37: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”.	58
Figura 38: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 1 (2 operaciones: desgomar y neutralizar).	59
Figura 39: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 2 (3 operaciones: decolorar, winterizar y desodorizar).	60
Figura 40: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo” operación “preparar el ensilado”.	62
Figura 41: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”, operación “extraer el aceite del ensilado”.	63
Figura 42: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desgomar”.	63
Figura 43: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “neutralizar”.	64
Figura 44: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “decolorar”.	65
Figura 45: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “winterizar”.	65
Figura 46: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desodorizar”.	66
Figura 47: agitador de 4 palas inclinadas.	79
Figura 48: distribución de tiempo por operaciones del POAP – EI.	83
Figura 49: distribución de tiempo, operación “preparado del ensilado”.	83
Figura 50: distribución de tiempo, operación “extracción del aceite del ensilado”.	84
Figura 51: distribución de tiempo, operación “desgomado”.	85
Figura 52: distribución de tiempo, operación “neutralizado”.	85
Figura 53: distribución de tiempo, operación “decolorado”.	85
Figura 54: distribución de tiempo, operación “desodorizado”.	86
Figura 55: semejanza geométrica para un agitador tipo palas inclinadas.	89
Figura 56: correlación del número de potencia con el número de Reynolds.	92
Figura 57: diseño CAD del tanque de almacenamiento.	94
Figura 58: diseño CAD 3D del tanque de almacenamiento.	94
Figura 59: diseño CAD del tanque reactor.	97
Figura 60: diseño CAD 3D del tanque reactor.	97
Figura 61: diagrama de Moody, relación del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.	99
Figura 62: proceso, etapas de proceso y operaciones del POAP – EI.	110
Figura 63: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de extracción de aceite crudo del POAP – EI.	111
Figura 64: acciones de proceso para las operaciones de la etapa refinación del aceite crudo del POAP – EI.	111
Figura 65: modelo físico del POAP – EI.	113
Figura 66: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo” POAP – EI.	114

Figura 67: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo” POAP – EI.	115
Figura 68: modelo de control procedimental del POAP – EI.....	116
Figura 69: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: extraer aceite crudo POAP- EI.	117
Figura 70: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, POAP – EI.....	118
Figura 71: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, operaciones de “preparar ensilado” y “extraer aceite del ensilado” POAP – EI. ..	120
Figura 72: modelo de control procedimental de la operación de “desgomar, POAP – EI.	121
Figura 73: modelo de control procedimental de la operación de “neutralizar, POAP – EI.	122
Figura 74: modelo de control procedimental de las operaciones de “decolorar” y “desodorizar”, POAP – EI.....	123
Figura 75: operación preparación del ensilado.....	133
Figura 76: configuración funciones del tanque.	134
Figura 77: configuración de cantidades de materia prima y tiempos de proceso del tanque, configuración en la función “charge”.	134
Figura 78: configuración labor y parámetros de funcionamiento del tanque, configuración en la función “charge”.	135
Figura 79: configuración función de la motobomba.	135
Figura 80: configuración parámetros y tiempos de la motobomba.	135
Figura 81: configuración labor de la motobomba.	136
Figura 82: configuración función del equipo mixer.	136
Figura 83: configuración parámetros y tiempos del mixer.	137
Figura 84: configuración labor del equipo mixer.	137
Figura 85: operación extracción de aceite del ensilado.....	138
Figura 86: configuración función “centrifuge” del separador centrífugo.	138
Figura 87: configuración parámetros de funcionamiento del separador centrífugo.....	138
Figura 88: configuración porcentaje de remoción de partículas, separador centrífugo. ..	139
Figura 89: configuración de la función “labor” del separador centrífugo.	139
Figura 90: operación de desgomado.....	140
Figura 91: configuración funciones del equipo reactor.	140
Figura 92: configuración parámetros “load and split”, reactor.	141
Figura 93: configuración de la función “charge”, reactor.	142
Figura 94: configuración de la función “batch heating”, reactor.	142
Figura 95: configuración de la función “agitation”, reactor.	143
Figura 96: configuración de la función “pressurization”, reactor.	143
Figura 97: configuración de labor, de la función “load and split”, reactor.....	144
Figura 98: operación de neutralizado.	144
Figura 99: operación de decolorado.....	145
Figura 100: operación de desodorizado.	146
Figura 101: configuración de las funciones, reactor.	146

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre la obtención del aceite de pescado.....	14
Tabla 2: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre plantas piloto.	15
Tabla 3: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre validación de proceso.....	15
Tabla 4: artículos seleccionados después de analizar los documentos.....	15
Tabla 5: convenciones para relacionar los modelos ISA - S88.01.....	33
Tabla 6: modelo de receta maestra del POAP – LAB.....	39
Tabla 7: modelo de receta de control del POAP – LAB.....	42
Tabla 8: resultados medición de la densidad, primera prueba.....	47
Tabla 9: resultados medición de la densidad, segunda prueba.....	47
Tabla 10: resultados medición de la densidad, tercera prueba.....	48
Tabla 11: resultados cálculo de la densidad.....	48
Tabla 12: resultados de densidad y viscosidad del ensilado.....	50
Tabla 13: parámetros normativos para vertimientos a cuerpos de agua.....	68
Tabla 14: cantidad de aceite en cada operación del POAP – EI.....	73
Tabla 15: unidad productiva para operaciones del POAP – EI.....	76
Tabla 16 : características del agitador.....	79
Tabla 17: modos de operación del POAP – EI.....	82
Tabla 18: volúmenes obtenidos en cada operación de la etapa de refinación del aceite crudo en el POAP – EI.....	89
Tabla 19: características del tanque de almacenamiento de ensilado para el POAP – EI.....	93
Tabla 20: características del tanque reactor del POAP – EI.....	96
Tabla 21: cotización número 1, motobomba.....	103
Tabla 22: cotización número 2, motobomba.....	104
Tabla 23: cotización número 3, motobomba.....	104
Tabla 24: cotización número 1, separador centrífugo.....	105
Tabla 25: cotización número 2, separador centrífugo.....	105
Tabla 26: cotización número 3, separador centrífugo.....	106
Tabla 27: cotización número 1, tanque de almacenamiento.....	106
Tabla 28: cotización número 1, tanque de almacenamiento.....	107
Tabla 29: cotización número 3, tanque de almacenamiento.....	107
Tabla 30: cotización número 1, tanque reactor.....	108
Tabla 31: cotización número 2, tanque reactor.....	108
Tabla 32: cotización número 3, tanque reactor.....	108
Tabla 33: instrumentos necesarios para el escenario de automatización del POAP – EI.....	109
Tabla 34: receta maestra del POAP – EI.....	124
Tabla 35: receta de control del POAP – EI.....	126
Tabla 36: formato de seguimiento de parámetros del POAP – LAB.....	129

1. ANEXO A: MAPEO SISTEMÁTICO

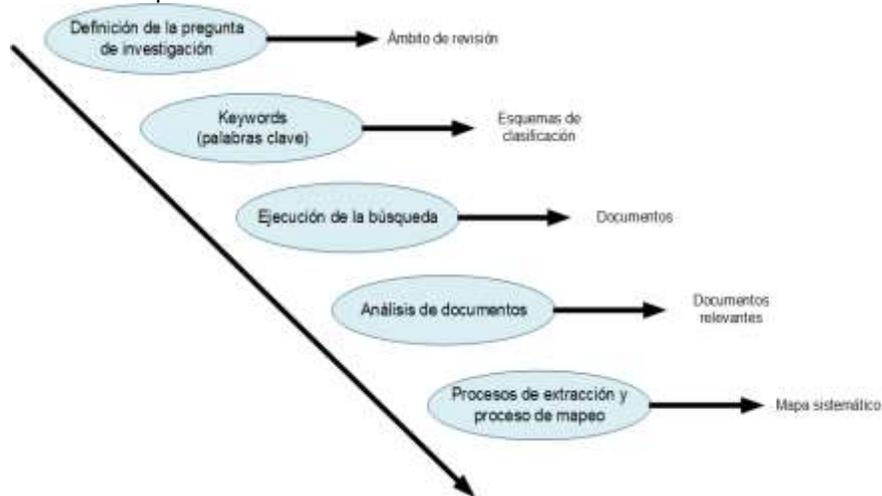
En el campo de la investigación, es necesario el análisis de diversas situaciones o problemáticas con el fin de encontrar alternativas que aporten en gran manera a la solución. Para tal motivo, se usa una herramienta de apoyo a la investigación conocida como mapeo sistemático. Esta técnica, permite al investigador a través de una serie de pasos abordar un tema en particular aumentando y enriqueciendo su conocimiento alrededor del tema [1].

Por consiguiente, se utilizó esta herramienta de apoyo para ahondar en el tema de la extracción de aceite de pescado a partir de desechos del procesamiento del pescado, con el fin de obtener la información necesaria para soportar el trabajo de grado “*Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR*”.

1.1. Proceso de mapeo sistemático

Esta técnica permite al investigador la construcción de un esquema de clasificación que le permita obtener una visión clara y general del área de investigación que está tratando, para lograrlo se requiere una serie de pasos específicos y secuenciales (ver Figura 1) que llevarán a obtener resultados claros y acordes a lo investigado [1]. A continuación, se abordará cada uno de estos pasos con el fin de dar mayor claridad.

Figura 1: proceso de mapeo sistemático.



Fuente: adaptada de [2], junio de 2016.

1.1.1. Definición de las preguntas de investigación

Estas preguntas deben de ser concretas, claras y precisas, deben brindar al investigador la posibilidad de organizar dando relevancia a los estudios realizados, así como dirección y coherencia, le permiten orientar el curso de la investigación señalando de alguna manera el problema al cual se pretende dar solución [3].

Para caso del estudio “*Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR*”, es necesario abordar los tres frentes de investigación; proceso de extracción de aceite, diseño de plantas a nivel industrial y validación de proceso/planta industrial. Por tal motivo, es importante delimitar de alguna manera los resultados obtenidos en la búsqueda de la temática, con el fin de adquirir documentación relevante que aporte en al caso de estudio. Para ello, las siguientes preguntas se formularon teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto de grado.

- I. **¿Cuál es la documentación que aporta de manera específica al tema de investigación tratado?** Con esta pregunta se pretende delimitar los resultados encontrados sobre la extracción de aceite de pescado para abordar de manera clara el objetivo del trabajo de grado.
- II. **¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite de pescado y de los tipos de procesos de extracción del mismo?** Esta pregunta permite abordar el cómo se ha venido trabajando la extracción del aceite de pescado a nivel mundial y cuáles son las características de calidad que este requiere, así como el beneficio de este producto.
- III. **¿Cuál es la viabilidad y las ventajas de realizar la extracción de aceite de pescado a nivel industrial?** Se plantea esta pregunta con el fin de tener una visión más objetiva y clara para realizar el planteamiento de una propuesta a nivel industrial, a partir del proceso de laboratorio y además que sea competitiva en el mercado.

1.1.2. Palabras clave (keywords)

Las palabras claves permiten sesgar la búsqueda y filtrar la información que se requiere para la investigación, estas deben contribuir a la búsqueda de la documentación que aporta a las respuestas, para este estudio se hizo necesaria la utilización de las siguientes palabras clave, las cuales se encuentran divididas en tres grupos, teniendo en cuenta los frentes de investigación.

Primer frente: proceso de obtención de aceite

Estas permiten abordar el tema de extracción de pescado a nivel industrial y facilitan encontrar información de cómo se lleva a cabo el proceso, los parámetros a tener en cuenta para los procesos industriales en la obtención de aceite son:

- Oil fish extraction industrial
- Industrial obtention of fish oil
- Fish oil of waste
- Silage fish oil

En este mismo frente, otro punto a tener en cuenta en la investigación y que se ha considerado importante es la obtención del aceite a partir de los desechos de pescado (vísceras, aletas, cola, cabeza, entre otros). De esta manera, las siguientes palabras clave

permiten encontrar documentación clara acerca de esta temática, tanto a nivel industrial como a nivel de laboratorio.

- Oil obtention of fish waste
- Waste fish for making oil
- Waste fish oil

Por otra parte, para tener un conocimiento más amplio sobre el proceso de obtención de aceite de pescado, sus diferentes métodos de extracción y la temática de investigación abordada alrededor del tema de calidad, se plantea este grupo de palabras clave que permiten obtener esta información:

- Extraction fish oil
- Supercritical fluid extraction
- Extraction trout's oil

Segundo frente: plantas industriales

Para el segundo frente de investigación, se requiere un grupo de palabras clave que posibiliten la clasificación de la documentación relevante, en cuanto al tema de implementación de plantas a nivel industrial para obtención de aceite, a continuación, se listan las palabras clave que permitieron alcanzar este objetivo de búsqueda

- Pilot plant for oil extraction
- Fish oil industrial plant

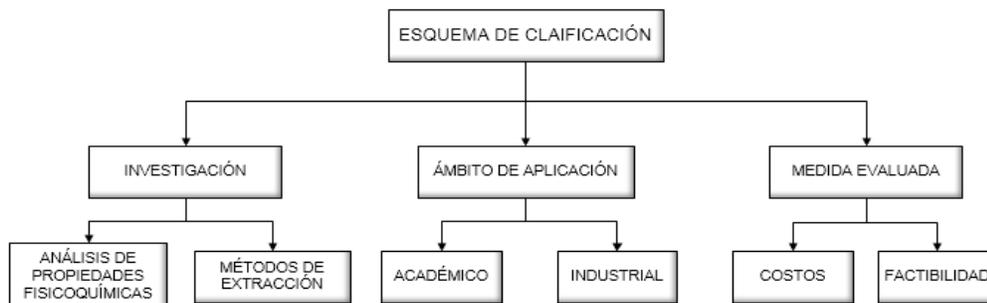
Tercer frente: validación (simulación) del proceso

Este es uno de los frentes más complejos a abordar en el trabajo. Por tal motivo, se plantean las palabras clave que permiten encontrar información que oriente la investigación hacia el cómo y qué parámetros son requeridos para la validación y las metodologías implementadas.

- Plant simulation for extraction of fish oil
- Modeling a pilot plant for extraction of fish oil
- Process model for a pilot plant for extraction of fish oil

Debido a que para el caso de estudio la investigación se ha dividido en tres frentes, finalmente se tendrá un esquema de clasificación (ver Figura 2).

Figura 2: esquema de clasificación.



Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

1.1.3. Ejecución de la búsqueda

Como ya se ha definido de manera clara el tema de investigación, se debe de llevar a cabo la búsqueda de la documentación de respaldo haciendo uso de diversas herramientas como: las bibliotecas digitales, los repositorios de información científica y las revistas científicas; en las cuales se debe filtrar la información haciendo un buen uso de las palabras claves, la recopilación de esta información debe ser muy exhaustiva y debe contener una cantidad de documentos adecuada para posteriormente seleccionar los documentos más relevantes para la investigación.

Para continuar con el proceso de búsqueda de información adecuada hacia el tema de investigación, se utilizan diferentes plataformas como: Science Direct, IEEE Xplore, Google Academic, DOAJ, RedalyC y Dialnet, las cuales permiten obtener documentos, por ejemplo: artículos científicos, tesis doctorales, trabajos de grado e incluso libros, estos muestran qué se ha realizado, en relación con el tema de investigación a nivel mundial, cuáles son los avances tecnológicos; qué mejoras en los procesos se han realizado; cómo está la demanda del mercado de aceite de pescado y los productos obtenidos a partir de este. También, brindan información a nivel ambiental sobre los beneficios que generan la utilización de residuos de pescado para obtención de aceite rico en ácidos grasos omega-3 – omega-6.

Para la ejecución de la búsqueda es necesario tener en cuenta la fecha de publicación de los diferentes documentos, es decir que estén entre los años 2000 - 2016, ya que estos resultados son considerados como aportes recientes. Por otro lado, los resultados obtenidos en los diferentes buscadores presentaron gran variedad de coincidencias en la temática. De la Tabla 1 a Tabla 3 se encuentran la cantidad de resultados obtenidos a lo largo de la investigación.

1.1.4. Análisis de documentos

Una vez obtenida la información, se debe comenzar a revisar cada documento para posteriormente poder clasificar y ordenar de manera cronológica cada uno de ellos de acuerdo al asunto concreto o al concepto. Esta clasificación permitirá hacer uso de los documentos como base de referencia teórica del proyecto, por tanto, se recomienda hacer un análisis individual de cada uno para determinar cuáles son relevantes a las preguntas

de investigación y así determinar si el estudio encontrado logra contribuir con el tema de investigación planteado.

Los criterios utilizados para la clasificación e inclusión de la documentación encontrada, son tomar aquellos trabajos que abordan los temas tratados en los tres frentes de la investigación y que permitan dar solución a los objetivos específicos del proyecto, esta documentación debe brindar información detallada de las diversas técnicas para obtención de aceite de pescado a nivel de laboratorio como a escala industrial, análisis e implementación de plantas industriales, validación del proceso bajo parámetros de calidad, funcionamiento, modelado y viabilidad.

Después de realizar un análisis detallado del resumen, introducción y conclusiones encontrado en la documentación, se descartan aquellos que, por su bajo contenido de información, no son claros frente al tema de investigación, debido a que lo abordan con poca profundidad y no están enfocados de manera directa hacia los objetivos.

De la Tabla 1 a Tabla 3 se presentan el número de resultados encontrados en cada buscador para cada uno de los frentes, con un total de 2'828.419 resultados, siendo los exploradores RedalyC, Google Academic y Science Direct los que arrojaron mayor porcentaje, 79,43%, 15,6% y 6,27% respectivamente.

Para seleccionar los estudios acordes a las temáticas a tratar en esta investigación, se analizó que el título del documento tuviera relación con los temas abordados en alguno de los tres frentes mencionados a lo largo del capítulo 1. Para el primer frente, los buscadores RedalyC, Google Academic y Science Direct arrojaron un porcentaje de 34,78%, 31,18% y 13,1% respectivamente; de esta manera, se leyeron alrededor de 7.445 títulos; de estos, se eligieron 50 estudios; seguidamente se clasificaron como posibles candidatos de soporte a este frente 11 estudios. Para el segundo frente, los buscadores RedalyC, Google Academic y Science Direct arrojaron un porcentaje de 89,3%, 6,7% y 4,04% respectivamente; por lo cual, se leyeron alrededor de 3.742 títulos de los que se eligieron 24 de los cuales se escogieron en total 5. Por último, en la búsqueda de información para abordar el tercer frente, los buscadores RedalyC, Google Academic y Science Direct arrojaron un porcentaje de 0,26%, 0,8% y 0,008% respectivamente; por lo cual, se leyeron alrededor de 4.383 títulos, eligiendo 17 documentos que se clasificaron como posibles candidatos de soporte, de los que se escogieron 3.

Tabla 1: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre la obtención del aceite de pescado.

Buscador	Science Direct	IEEE Xplore	Google Academic	DOAJ	RedalyC	Dialnet
Resultados búsqueda	151104	10576	359790	250	632172	181
Documentos analizados	2285	338	3563	45	1194	20
Documentos candidatos	20	5	10	8	4	3
Documentos relevantes	3	0	4	4	0	0

Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

Tabla 2: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre plantas piloto.

Buscador	Science Direct	IEEE Xplore	Google Academic	DOAJ	RedalyC	Dialnet
Resultados búsqueda	19832	5	32900	10	438741	2
Documentos analizados	128	5	117	8	3482	2
Documentos candidatos	10	4	5	1	4	0
Documentos relevantes	2	2	1	0	0	0

Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

Tabla 3: resultados de las búsquedas y documentos relevantes sobre validación de proceso.

Buscador	Science Direct	IEEE Xplore	Google Academic	DOAJ	RedalyC	Dialnet
Resultados búsqueda	6609	573	48700	0	1175764	0
Documentos analizados	99	25	1098	0	3161	0
Documentos candidatos	8	1	3	0	5	0
Documentos relevantes	3	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

Una vez clasificados los documentos relevantes que se emplearon como soporte a los frentes tratados en este estudio, se obtuvieron un total de 18 documentos enfocados en los temas de proceso de extracción de aceite, plantas industriales para obtención de aceite y validación del proceso de obtención de aceite, los cuales se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4: artículos seleccionados después de analizar los documentos.

ID	Autores	Año	Título del artículo	Revista	Buscador
01	E. Reverchon and C. Marrone	2001	Modeling and simulation of the supercritical CO ₂ extraction of vegetable oils [4].	The Journal of Supercritical Fluids	Science Direct
02	I. Aidos, N. Kreb, M. Boonman, J. Luten, R. Boom and A. Van Der Padt	2003	Influence of Production Process Parameters on Fish Oil Quality in a Pilot Plant [5].	Journal of Food Science	Google Academic
03	N. Rubio-Rodriguez, S. M. de Diego, S. Beltran,	2008	Supercritical fluid extraction of the omega-3 rich oil contained in hake	Journal of Supercritical Fluids	Science Direct

	I. Jaime, M. T. Sanz and J. Rovira		(Merluccius capensis-Merluccius paradoxus) by-products: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality [6].		
04	V. Wiggers, A. Wisniewski, L. Madureira, A. C. Barros and H. Meier,	2009	Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant [7].	Fuel	Science Direct
05	N. Ismail, N. Tajjudin, M. H. F. Rahiman and M. N. Taib	2009	Modeling of dynamic response of essential oil extraction process [8].	5th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications	IEEE Xplore
06	M. H. Norziah, J. Nuraini and K. Y. Lee	2009	Studies on the extraction and characterization of fish oil from wastes of seafood processing industry [9].	Asian Journal of Food and Agro-Industry	DOAJ
07	F. Sahena, I. S. M. Zaidul, S. Jinap, M. H. A. Jahurul, A. Khatib and N. A. N. Norulaini	2010	Extraction of fish oil from the skin of Indian mackerel using supercritical fluids [10].	Journal of Food Engineering	Science Direct
08	M. Abdulkadir, G. I. Abubakar and A. Mohammed	2010	Production and characterization of oil from fishes [11].	Journal of Engineering and Applied Sciences	Google Academic
09	L. Fiori	2010	Supercritical extraction of grape seed oil at industrial-scale: Plant and process design, modeling, economic feasibility [12].	Chemical Engineering and Processing: Process Intensification	Science Direct
10	N. Rubio-Rodriguez, S. M. De Diego, S. Beltran, I. Jaime,	2011	Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with	Journal of Food Engineering	Science Direct

	M. T. Sanz and J. Rovira		other extraction methods [13].		
11	S. Maqsood, S. Benjakul and A. Kamal-Eldin	2012	Extraction, Processing, and Stabilization of Health-Promoting Fish Oils [14].	Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture	Google Academic
12	M. Z. I. Sarker, J. Selamat, A. S. M. A. Habib, S. Ferdosh, M. J. H. Akanda and J. M. Jaffri	2012	Optimization of supercritical CO ₂ extraction of fish oil from viscera of African Catfish (<i>Clarias gariepinus</i>) [15].	International Journal of Molecular Sciences	DOAJ
13	V. Ribeiro, A. Oliveira, P. Bechtel and C. Prentice	2013	Avaliação do processamento a baixas temperaturas do óleo de fígado de Alaska pollock (<i>Theragra chalcogramma</i>) [16].	Brazilian Journal of Food Technology	DOAJ
14	C. T. Toro, J. L. Londoño, S. H. Ávila and C. A. D. Ruales	2013	Extracción y caracterización de aceite de pescado derivado de subproductos de trucha arco iris (<i>oncorhynchus mykiss</i>) [17].	Journal of Agriculture and Animal Sciences	Google Academic
15	A. Alves, D. M. Filho, H. Hermes, D. Oliveira and R. Carvalho	2013	Omega-6 / Omega-3 and PUFA / SFA in <i>Colossoma macropomum</i> Grown in Roraima, Brazil [18].	Orbital-The Electronic Journal of Chemistry	DOAJ
16	L. Fiori, M. Manfrini and D. Castello	2014	Supercritical CO ₂ fractionation of omega-3 lipids from fish by-products: Plant and process design, modeling, economic feasibility [19].	Food and Bioproducts Processing	Science Direct
17	V. Lúcia, V. Maura, S. Bermúdez, A. Luis, L. D. Oliveira,	2015	Characterization of a hydrolyzed oil obtained from fish waste for nutraceutical	Food Science and Technology	Google Academic

	M. N. Kleinberg, R. D. Tasso, M. Ribeiro, R. Ferreira and A. D. Abreu		application [20].		
18	M. Abdul, N. Azian, N. Nabila, T. Okayama and R. Kose	2015	Residual Oil Recovery Using Bio-Ethanol from Spent Bleaching Clay and Its Characterization [21].	10th Asian Control Conference (ASCC)	IEEE Xplore
19	A. D. P. do Nascimento, L. A. L. Soares, L. Stragevitch and L. Danielski	2016	Extraction of Acrocomia intumescens Drude Oil with Supercritical Carbon Dioxide: Process Modeling and Comparison with Organic Solvent Extractions [22].	The Journal of Supercritical Fluids	Science Direct

Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

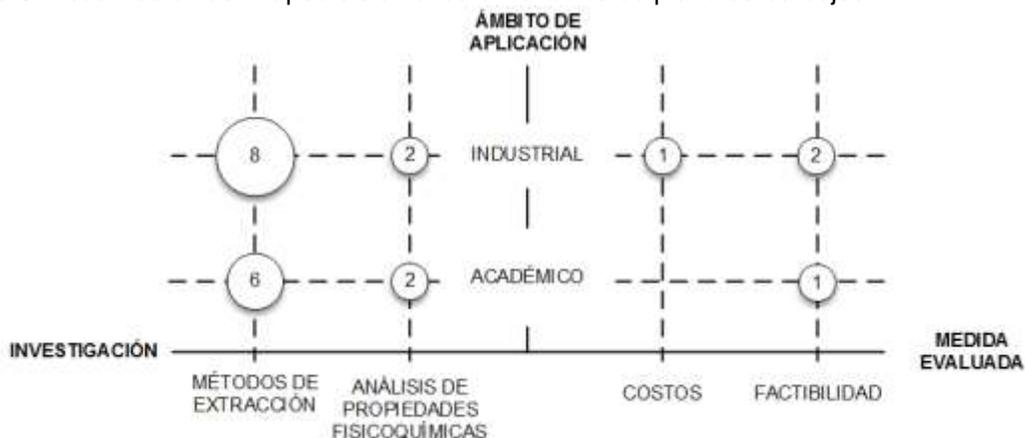
1.1.5. Procesos de extracción de datos y proceso de mapeo

Para poder realizar la extracción de los datos es necesario seleccionar el esquema de clasificación, en el cual se extrae la información y se organiza la documentación, para así realizar un diagrama que permita la visualización clara del entorno principal de la investigación planteada. En este estudio, se manejan tres enfoques para clasificar la información, los cuales se encuentran orientados a los frentes de investigación relacionados con los objetivos, como se muestra a continuación:

- I. **Primer enfoque (primer frente):** investigación. Indica si el documento encontrado se orienta al estudio del proceso de extracción de aceite de pescado (métodos de extracción) y análisis de propiedades fisicoquímicas. En este tipo de estudios se busca el análisis de un tema investigativo sin ser llevado a escala industrial, es decir, estudios a nivel de laboratorio.
- II. **Segundo enfoque (segundo frente):** ámbito de aplicación. Indica hacia dónde va dirigido el documento, si es a nivel industrial o académico. Por ejemplo, en el sector industrial los estudios van enfocados hacia la aplicación y donde se podrían llevar a cabo los procesos industriales de obtención de aceite de pescado a partir de desechos de producción acuícola (implementación de plantas industriales para extracción de aceite).
- III. **Tercer enfoque (tercer frente):** medida evaluada. Indica los aspectos y medidas tomadas en cuenta en la extracción de aceite de pescado a nivel industrial, este obedece a los costos de producción, inversión y factibilidad.

Para el caso de estudio “*Diseño de un proceso de obtención de aceite de pescado a nivel industrial en el marco del proyecto de regalías ID VRI 3883 – SGR*”, se elaboró una representación en un plano de burbujas (ver Figura 3), donde el eje X representa las dimensiones de los ámbitos de investigación, el cual comprende el análisis de propiedades fisicoquímicas y métodos de extracción ubicados en el lado izquierdo del eje y medida evaluada que comprende los costos y factibilidad ubicados al lado derecho del eje. Por último, en el eje Y se encuentra el ámbito de aplicación que comprende la parte académica e industrial, con el fin de organizar la documentación encontrada en los tres frentes de investigación teniendo en cuenta las coincidencias en la temática de cada documento, lo cual permite analizar con más detalle cómo se viene manejando la temática a nivel mundial.

Figura 3: visualización del mapeo sistemático en la forma de plano de burbujas.



Fuente: elaboración propia, junio de 2016.

Se observa que a nivel mundial los métodos de extracción a escala industrial y la factibilidad de estos son el principal foco de investigación, seguidos de los análisis de las propiedades fisicoquímicas. Por tal motivo, se concluye que la documentación encontrada a lo largo de este trabajo de mapeo ha arrojado resultados satisfactorios que son soporte para este trabajo.

1.2. Análisis comparativo y discusión

A continuación, se hace el análisis de los artículos seleccionados, de esta manera se dará respuesta a las preguntas de investigación planteadas en la sección 1.1.

De acuerdo a los resultados obtenidos los artículos que dan respuesta a la primera pregunta de investigación son todos los documentos presentes en la Tabla 4 ([4]–[22]).

Para la segunda pregunta de investigación, se tienen 16 artículos, donde [6], [9]–[11], [13], [14], [16], [20], hacen referencia a las características que debe tener el aceite y a las variables que se deben manipular en el proceso (temperatura, presión, pH, color, entre otras). En todos los artículos mencionados anteriormente se habla sobre características del aceite, sobre los tipos de extracción más comunes y el método utilizado; en [15], [17], [18], también se proponen métodos de extracción, pero en estos no se habla sobre las características del aceite. Los artículos [5], [7], [8], [19], [21] hacen referencia a las plantas

industriales, de cómo se hizo para trasladar un proceso de laboratorio a una escala industrial, se muestran equipos, se describe el método utilizado y se evalúa la factibilidad de hacer el escalamiento.

Por último, los artículos [4], [12], [22] dan respuesta a la tercera pregunta de investigación, con los cuales se pretende tener un conocimiento detallado y relacionado a las técnicas y a los parámetros que se están implementado para validar los procesos, así como la factibilidad a la hora de implementar a una planta a escala industrial para la extracción de aceite de pescado.

1.3. Resumen del mapeo sistemático

En el capítulo 1, la técnica de mapeo sistemático fue aplicada para obtener documentación sobre métodos de extracción de aceite de pescado, plantas industriales (desarrolladas o propuestas) y simulación del proceso de obtención de aceite. Este desarrollo de mapeo arrojó resultados favorables de soporte a la investigación, a través del análisis detallado de los documentos de esquemas y diagramas que permitieron una clasificación satisfactoria de la documentación en relación a los tres frentes en el capítulo. Por otro lado, esta técnica también se implementó para realizar la búsqueda de los demás documentos que soportan el capítulo, pero no se consignan en este documento dado que este se centra en los tres frentes de investigación mencionados anteriormente y que se abordan en el estado del arte.

2. ANEXO B: MODELOS ISA – S88.01 DEL POAP – LAB

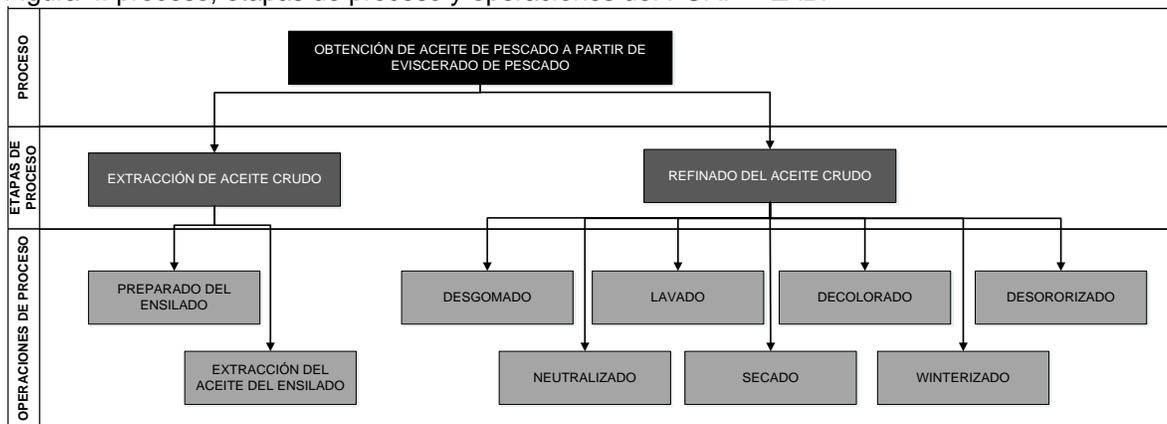
El estándar ISA - 88.01 [49] brinda modelos y terminología para detallar el proceso separadamente de la planta, lo que significa que toda la información que se tiene del proceso se organiza en los modelos y se documenta la planta en términos de la capacidad de los equipos. Además, la norma permite que el proceso se vuelva debido a la elaboración de las recetas, así se pueden obtener diferentes tipos de productos tan solo variando parámetros en el proceso, dando inicio a la manufactura múltiple.

El proceso y la planta de obtención de aceite de pescado se organiza en 3 modelos proporcionados por ISA - S88.01: el primero, el modelo de proceso que permite visualizar lo que se genera a partir de las acciones procedimentales; el segundo, el modelo físico que muestra dónde se ejecuta el proceso y por último el modelo de control procedural que indica cómo se lleva a cabo proceso.

2.1. Modelo de proceso

Este modelo permite una descripción estructurada del proceso, organizado en cuatro niveles: “*proceso*” este corresponde al nivel superior el cual contiene las estaciones de proceso; “*etapas de proceso*” ubicado en el segundo nivel de la jerarquía, indicando cambios físicos y químicos generados a las materias primas; “*operaciones de proceso*” se sitúa en el tercer nivel de la jerarquía, son subdivisiones de las etapas de proceso, las cuales representan las actividades principales de procesamiento; por último, “*acciones de proceso*” se sitúan en el último nivel de la jerarquía, éstas son subdivisiones de las operaciones de proceso, representando las actividades secundarias de procesamiento. El POAP – LAB cuenta con 2 etapas de proceso, 9 operaciones (ver Figura 4) y 33 acciones de proceso (ver Figura 5 y Figura 6).

Figura 4: proceso, etapas de proceso y operaciones del POAP – LAB.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016

Figura 5: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “extracción de aceite crudo” del POAP – LAB.

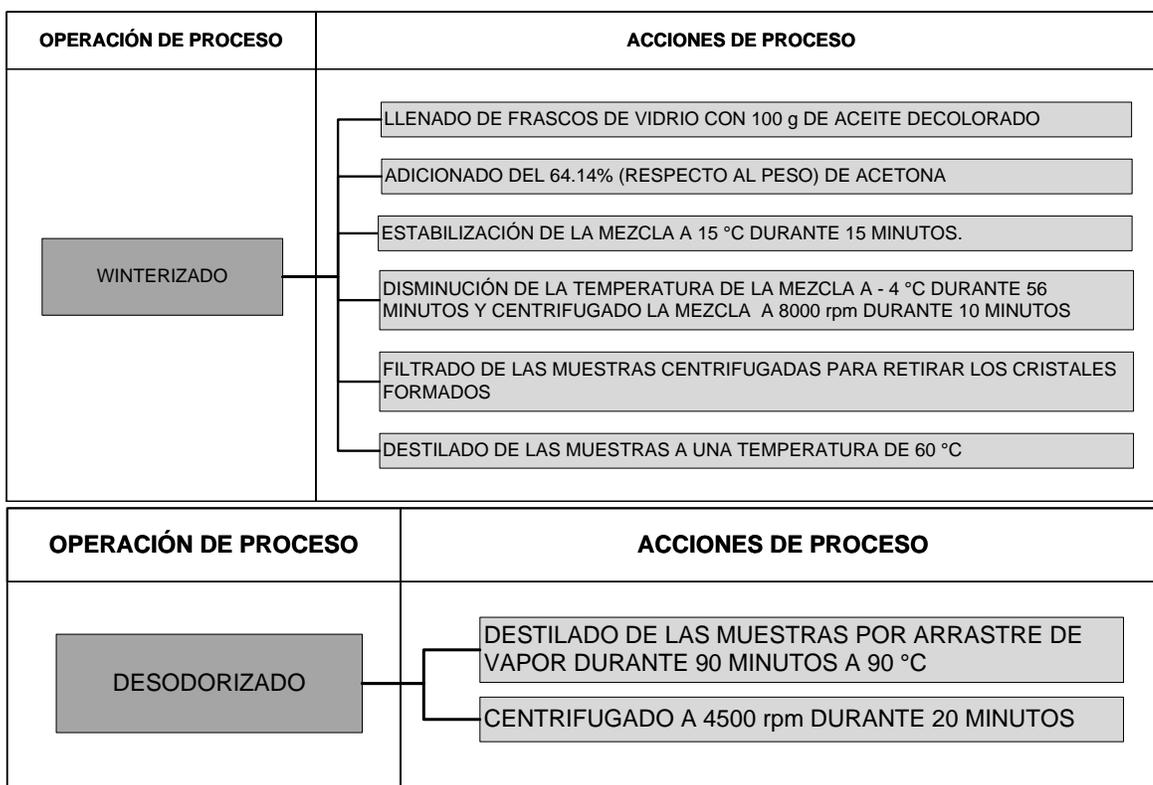
OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
<p style="text-align: center;">PREPARADO DEL ENSILADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> LLENADO DE LOS TANQUES CON 26 kg DE VÍSCERAS DE PESCADO ADICIONADO DEL 2.5% (RESPECTO AL PESO) DE ÁCIDO FÓRMICO ADICIONADO DEL 0.1% (RESPECTO AL PESO) DE BHT MEZCLADO DE LOS COMPONENTES HOMOGÉNEAMENTE CERRADO HERMÉTICO DE LOS TANQUES TRASLADO DE LOS TANQUES HASTA CUARTO CON TEMPERATURA DE 15 °C DURANTE 6 DÍAS
<p style="text-align: center;">EXTRACCIÓN DEL ACEITE DEL ENSILADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> DESTAPADO DE LOS TANQUES TRANSCURRIDOS 6 DÍAS DE HIDRÓLISIS EXTRACCIÓN DEL ACEITE SUSPENDIDO POR DECANTACIÓN CENTRIFUGADO A 4500 RPM DURANTE 10 MINUTOS

Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

Figura 6: acciones de proceso para las operaciones de la etapa refinación del aceite crudo del POAP – LAB.

OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
<p style="text-align: center;">DESGOMADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> LLENADO DE FRASCOS DE VIDRIO CON 100 g DE ACEITE CRUDO ADICIONADO DEL 0.5% (RESPECTO AL PESO) DE ÁCIDO FOSFÓRICO CONECTADO DE LOS FRASCOS DE VIDRIO AL ROTA-EVAPORADOR ROTAEVAPORADO A 80 °C, 450 mmHg, 210 rpm DURANTE 30 MINUTOS CENTRIFUGADO A 4500 rpm DURANTE 20 MINUTOS

OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
<p style="text-align: center;">NEUTRALIZADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> LLENADO DE FRASCOS DE VIDRIO CON 100 g DE ACEITE DESGOMADO ADICIONADO DEL 0.3% (RESPECTO AL PESO) DE KOH CONECTADO DE LOS FRASCOS DE VIDRIO AL ROTA-EVAPORADOR ROTAEVAPORADO A 40 °C, 450 mmHg, 210 rpm DURANTE 20 MINUTOS CENTRIFUGADO A 4500 rpm DURANTE 15 MINUTOS
<p style="text-align: center;">LAVADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ADICIONADO AL ACEITE NEUTRALIZADO EL 10% (RESPECTO AL PESO) DE AGUA A 95 °C ROTAEVAPORADO A 50 °C, 500 mmHg, 210 rpm DURANTE 10 MINUTOS CENTRIFUGADO A 4500 rpm DURANTE 20 MINUTOS
<p style="text-align: center;">SECADO</p>	<p style="text-align: center;">ROTAEVAPORADO A TEMPERATURA ENTRE 90 – 95 °C, 500 mmHg, 210 rpm DURANTE 20 MINUTOS</p>
<p style="text-align: center;">DECOLORADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> LLENADO DE FRASCOS DE VIDRIO CON 200 g DE ACEITE SECO ADICIONADO DEL 1% (RESPECTO AL PESO) DE TIERRA SILÍCEA PURIFICADA Y CALCINADA CONECTADO DE LOS FRASCOS DE VIDRIO AL ROTA-EVAPORADOR ROTAEVAPORADO A 80 °C, 500 mmHg, 40 rpm DURANTE 20 MINUTOS CENTRIFUGADO A 4500 rpm DURANTE 20 MINUTOS



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

El modelo de proceso permitió una descripción completa y organizada del POAP – LAB. El cual inicia con la etapa de extracción de aceite crudo (ver Figura 5), donde se prepara el ensilado, después de que este haya sido almacenado con el BHT y el ácido Fórmico por seis días (completar el proceso de hidrólisis), se extrae el aceite por decantación.

En la segunda etapa (ver Figura 6), refinación del aceite crudo, siendo esta más extensa debido a la cantidad de operaciones que tiene; inicia con la operación de desgomado, el propósito de esta es quitar todas las gomas del aceite; siguiendo con la operación de neutralizado en la cual se retiran los jabones presentes en el aceite desgomado, después se encuentra la operación de lavado, en esta se adiciona agua al aceite para después secarlo en la operación de secado con el fin de retirar partes de los compuestos adicionados en la operaciones anteriores. Con las anteriores operaciones ya se tiene aceite; sin embargo, presenta un color fuerte y aún no se asegura sus condiciones a temperatura ambiente (se ve afectado por el oxígeno generando oxidación) y su olor tiende a ser rancio; para mejorar sus propiedades, se utilizan las operaciones de decolorado, winterizado y desodorizado, asegurando que el aceite cumpla con las características del aceite comercial para consumo humano.

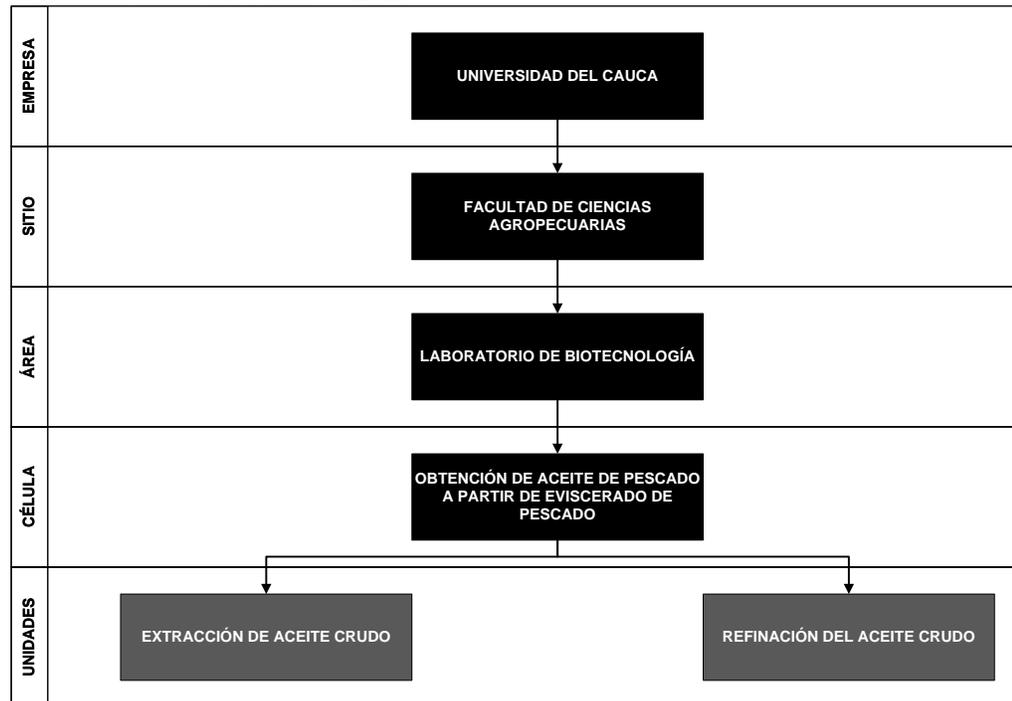
2.1. Modelo físico

El modelo físico aborda la ubicación del proceso y jerarquiza los componentes de la planta de producción, el cual está conformado por 7 niveles, de estos, 3 hacen parte de la alta gerencia de una empresa. La jerarquía es la siguiente: “*empresa*”, “*sitio*” y “*área*” estos niveles no se abordarán en detalle en este proyecto; sin embargo, se mostrarán en

el modelo físico de este proceso. Finalmente, se tiene los 4 niveles del modelo: “*célula de proceso*” el cual representa el agrupamiento de todas las unidades, los módulos de equipos y los módulos de control que permiten la fabricación de uno o más lotes; “*unidades*”, agrupan los módulos de equipo y los módulos de control que llevan a cabo las tareas principales del proceso; “*módulos de equipo*” en este nivel generalmente están compuestos por los módulos de control o por módulos de equipos subordinados, aquí se llevan a cabo las actividades específicas del proceso; por último, se encuentran los “*módulos de control*”, estos son típicamente sensores, actuadores o equipos de procesamiento que proporcionan una conexión directa con el proceso.

El modelo físico general del POAP, muestra la jerarquía de la siguiente forma: a nivel de empresa está la Universidad del Cauca, ubicada en la ciudad de Popayán – Colombia, a nivel de sitio se encuentra la FCA de la Universidad del Cauca, situada al norte de Popayán y a nivel de área está el laboratorio de Biotecnología de la FCA. En cuanto a la planta del POAP – LAB la célula se conforma de 2 unidades: extracción de aceite crudo y refinación de aceite crudo (ver Figura 65).

Figura 7: modelo físico del POAP – LAB.



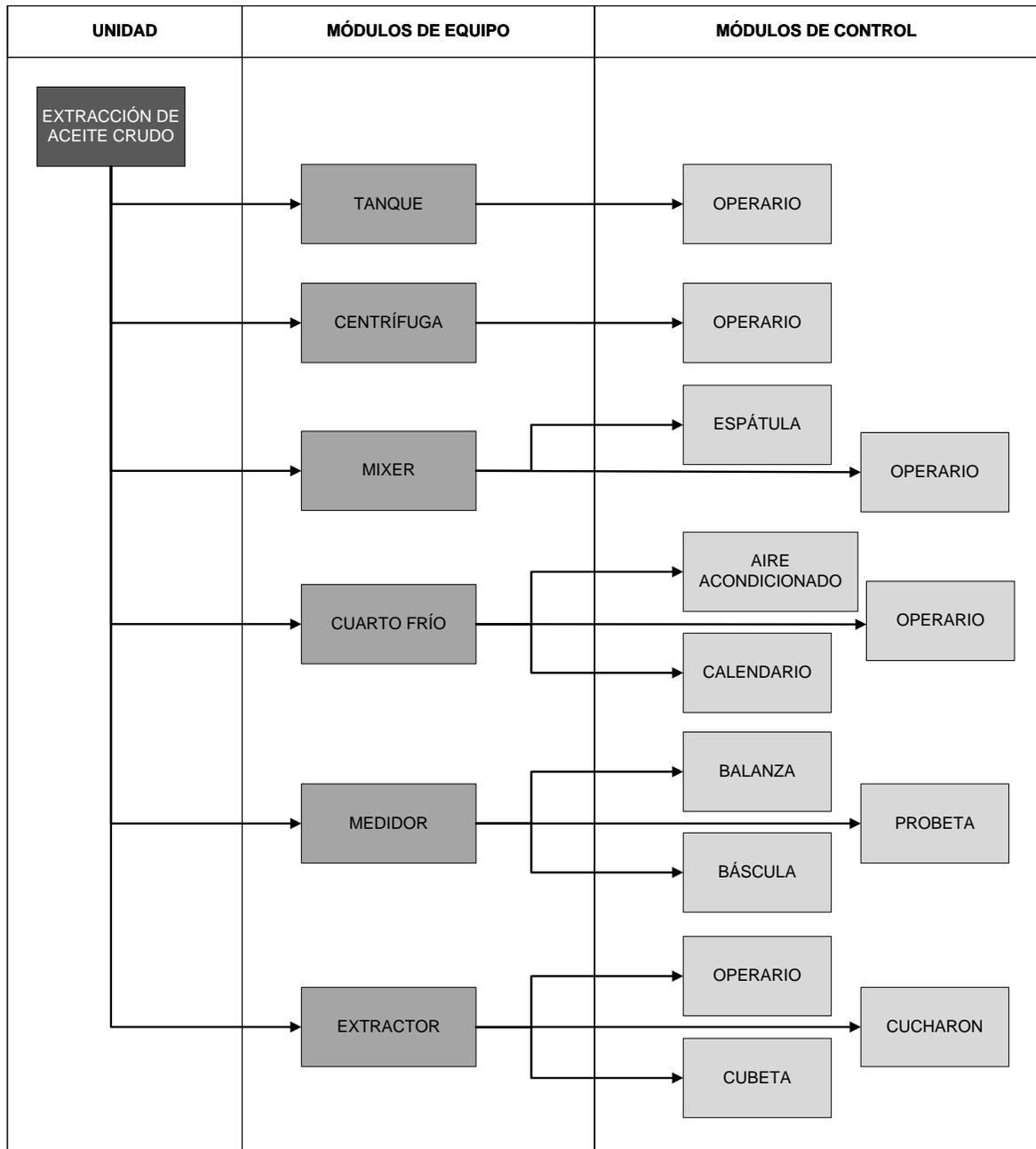
Fuente: elaboración propia, agosto de 2016

Al analizar cada unidad, se obtiene información más detallada de los activos físicos que componen el POAP – LAB. La descripción física de la célula de proceso muestra en total 2 unidades, 11 módulos de equipo y 27 módulos de control (ver Figura 66 y Figura 67).

En primera instancia, el modelo físico de la unidad de extracción de aceite de pescado muestra los diferentes módulos de equipos y de control que se requieren para llevar a cabo las actividades de esta unidad, observando que el módulo de equipo tanque tiene como módulo de control un operario; el módulo de equipo centrifuga tiene dos módulos de

control: un operario y frascos de vidrio; el módulo de equipo mixer cuenta con dos módulos de control: un operario y una espátula; el módulo de equipo cuarto frío tiene tres módulos de control: un aire acondicionado, un operario y un calendario; el módulo de equipo medidor cuenta con tres módulos de control: una balanza, una probeta y una báscula; por último se encuentra el módulo de equipo extractor, el cual tiene tres módulos de control: un operario, un cucharon y una cubeta (ver Figura).

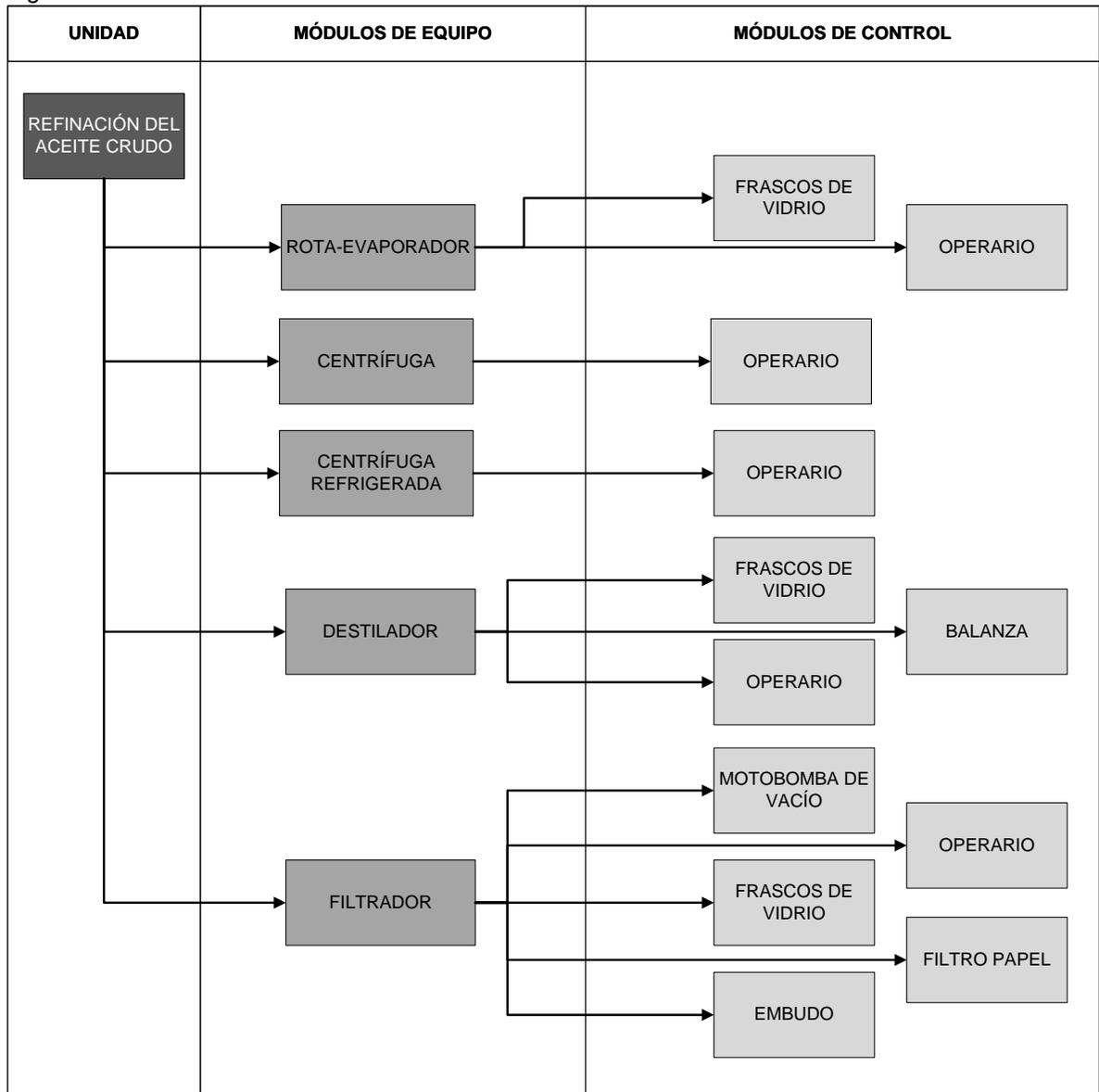
Figura 8: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo”.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

En segunda instancia, el modelo físico de la unidad de refinado de aceite crudo, muestra los módulos de equipo y control que se requieren para llevar a cabo las 7 operaciones necesarias en esta unidad, en dicho modelo se observa que el módulo de equipo rotaevaporador tiene 3 módulos de control: un operario, un cronometro y frascos de vidrio; el módulo de equipo centrifuga tiene dos módulos de control: un operario y frascos de vidrio; el módulo de equipo centrifuga refrigerada tiene 2 módulos de control: un operario y frascos de vidrio; el módulo de equipo destilador tiene 3 módulos de control: un operario, una balanza y frascos de vidrio; por último, se tiene el módulo de equipo filtrado, el cual tiene 5 módulos de control: un operario, una motobomba de vacío, frasco de vidrio, embudo de vidrio y filtro de papel (ver Figura 67).

Figura 9: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo”.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

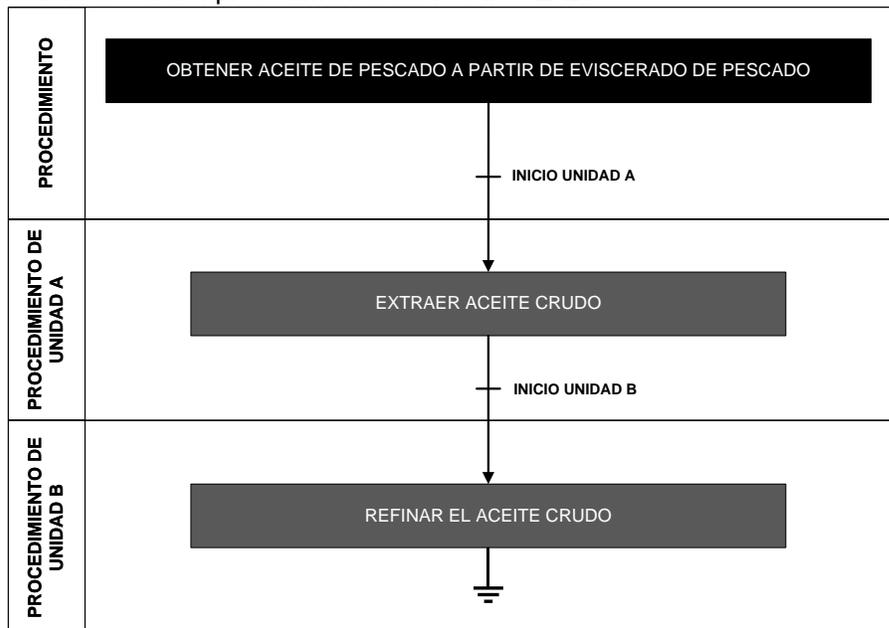
2.2. Modelo de control procedimental

El modelo de control procedimental identifica y jerarquiza las tareas de producción de manera secuencial y organizada. Este modelo está compuesto por 4 niveles que son: “*procedimiento*”, nivel más alto de la jerarquía en el que se definen todas las acciones necesarias para realizar un lote; “*procedimiento de unidad*”, en él están todas las operaciones que se ejecutan dentro de una unidad de manera ordenada; “*operaciones*”, conjunto de fases que causan cambios físicos o químicos en un material procesado y “*fases*”, que son los elementos más pequeños del control procedimental, en las cuales se realizan una o más acciones orientadas al proceso que pueden ser divididas en “*sub-fases*” indicando que hay un orden menor.

Para la representación esquemática de las fases que conforman las operaciones del proceso, el estándar ISA - 88.01 propone el documento IEC 848 [51], este define el Gráfico Funcional de Control de Etapa – Transición (GRAF CET, por sus siglas en inglés) lo que significa es que este permite la descripción de las funciones secuenciales o lo que bien se conoce como un SFC (*Secuencial Functional Chart*) [52]. De este modo, las etapas iniciales del modelo de control procedimental serían las operaciones, las etapas serían las fases y las transiciones serían las especificaciones de transición de cada una de las etapas.

El modelo de control procedimental general para el POAP – LAB, muestra que a nivel de procedimiento se encuentra: obtener aceite de pescado a partir de eviscerado de pescado, el cual se conforma por dos procedimientos de unidad: extraer aceite crudo y refinar el aceite crudo (ver Figura 68).

Figura 10: modelo de control procedimental del POAP – LAB.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

Una vez se profundiza cada procedimiento de unidad, se obtiene información detallada de la secuencia de control que se realiza a lo largo del proceso. En síntesis, el procedimiento del POAP – LAB tiene un total de 2 procedimientos de unidad, 9 operaciones y 36 fases (ver Figura 11 a Figura 70).

El procedimiento de unidad A: extraer aceite crudo (ver Figura 11) muestra que primero se ejecuta la operación preparar ensilado conformada por 6 fases: llenar muestras (vísceras pesadas = 26 kg), adicionar ácido Fórmico (ácido Fórmico = 2,5 % respecto al peso), mezclar (hasta que la mezcla sea homogénea), adicionar BHT (BHT = 0.1 % respecto al peso), hermetizar la mezcla e hidrolizar (tiempo de hidrolizado = 8640 minutos). Una vez finalizada la preparación del ensilado, comienza la operación extraer el aceite del ensilado, la cual se conforma de 3 fases: destapar mezcla, extraer el aceite suspendido (porcentaje de extracción respecto a la masa = 25 %) y centrifugar el aceite extraído (tiempo de centrifugado = 10 minutos).

El procedimiento de unidad B: refinar el aceite crudo (ver Figura 12 y Figura 70), en primera instancia se realiza la operación desgomar que consta de 5 fases: llenar muestras (peso de las muestras = 100 g), adicionar ácido Fosfórico (ácido Fosfórico en cada muestra = 0,5 % respecto al peso), conectar las muestras, desgomar la mezcla (tiempo de desgomado = 30 minutos) y centrifugar la mezcla (tiempo de centrifugado = 20 minutos).

Posteriormente inicia la operación de neutralizar, conformada por 5 fases: llenar muestras (peso en las muestras = 100 g), adicionar KOH (KOH en cada muestra = 0,2 – 0,4 % respecto al peso), conectar las muestras, neutralizar la mezcla (tiempo de neutralizado = 20 minutos) y centrifugar la mezcla (tiempo de centrifugado = 15 minutos).

Luego de neutralizar, inicia la operación de lavar, la cual tiene 3 fases: adicionar agua (agua en toda la muestra = 10 % respecto al peso), lavar la mezcla (tiempo de lavado = 10 minutos) y centrifugar la mezcla (tiempo de centrifugado = 20 minutos).

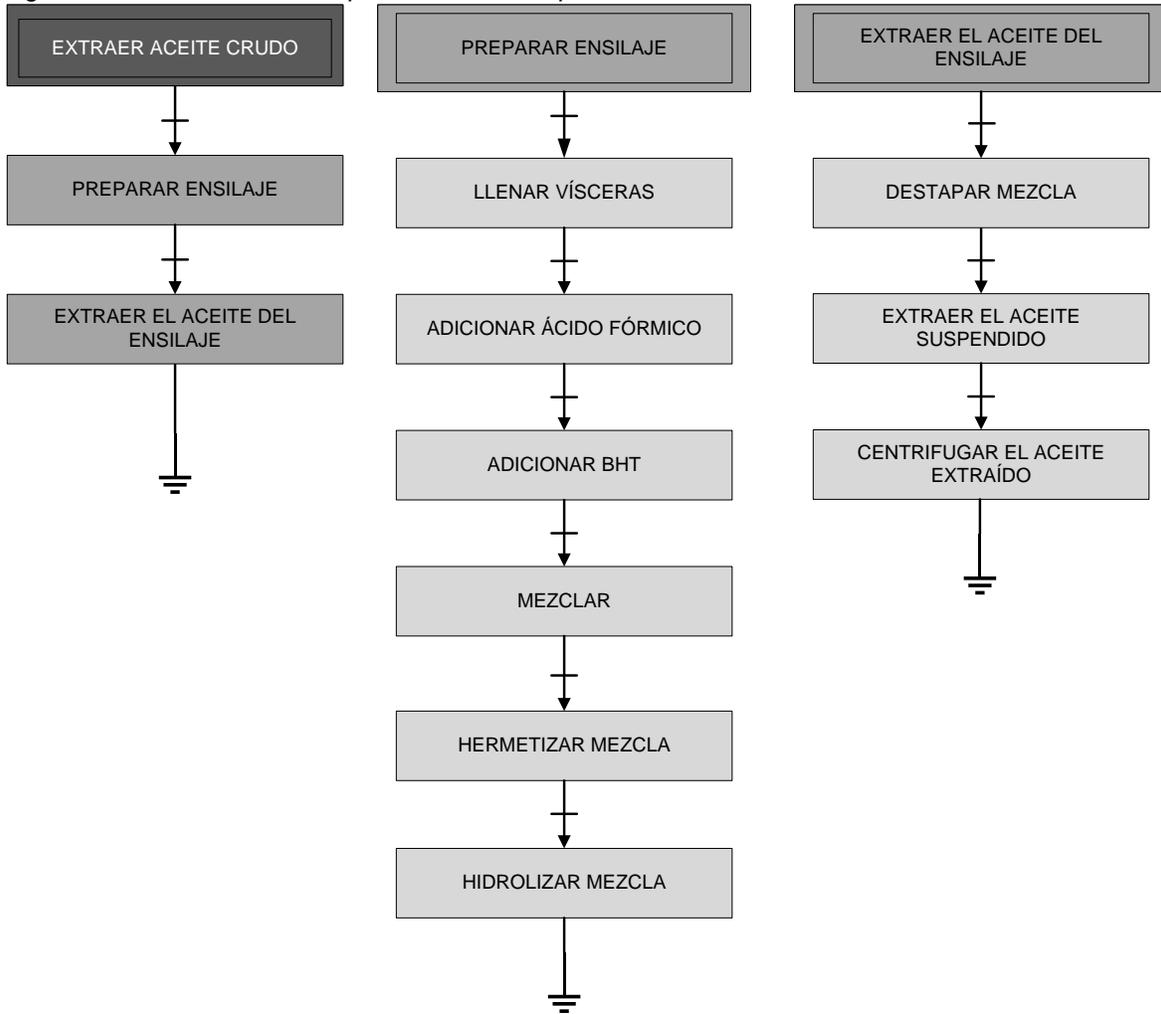
Después lavar el aceite neutralizado, inicia la operación de secar, la cual se encuentra conformada por 1 fase, calentar el aceite lavado (temperatura 40 °C, durante 20 minutos a 210 rpm).

En seguida, comienza la operación decolorar que consta de 5 fases: llenar muestras (peso de cada muestra = 200 g), adicionar tierra silíceas (tierra silíceas en cada muestra = 1 % respecto al peso), conectar las muestras, decolorar la mezcla (tiempo de decolorado = 20 minutos) y centrifugar la mezcla (tiempo de centrifugado = 20 minutos).

Posteriormente, la operación winterizar que tiene 6 fases: llenar muestras (peso en cada muestra = 100 g), adicionar acetona (acetona en cada muestra = 64,14 % respecto al peso), estabilizar mezcla (15 minutos a 15 °C y 55,9 minutos a 4 °C), centrifugar la mezcla con refrigeración (tiempo de centrifugación refrigerada = 10 minutos), filtrar cristales y destilar la mezcla (tiempo de destilación 60 minutos a 60 °C).

Finalmente, la operación desodorizar, conformada por 2 fases: desodorizar el aceite winterizado (tiempo de desodorizado = 90 minutos y vapor de agua a 90 °C) y centrifugar el aceite desodorizado (tiempo de centrifugado = 15 minutos).

Figura 11: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: extraer aceite crudo.



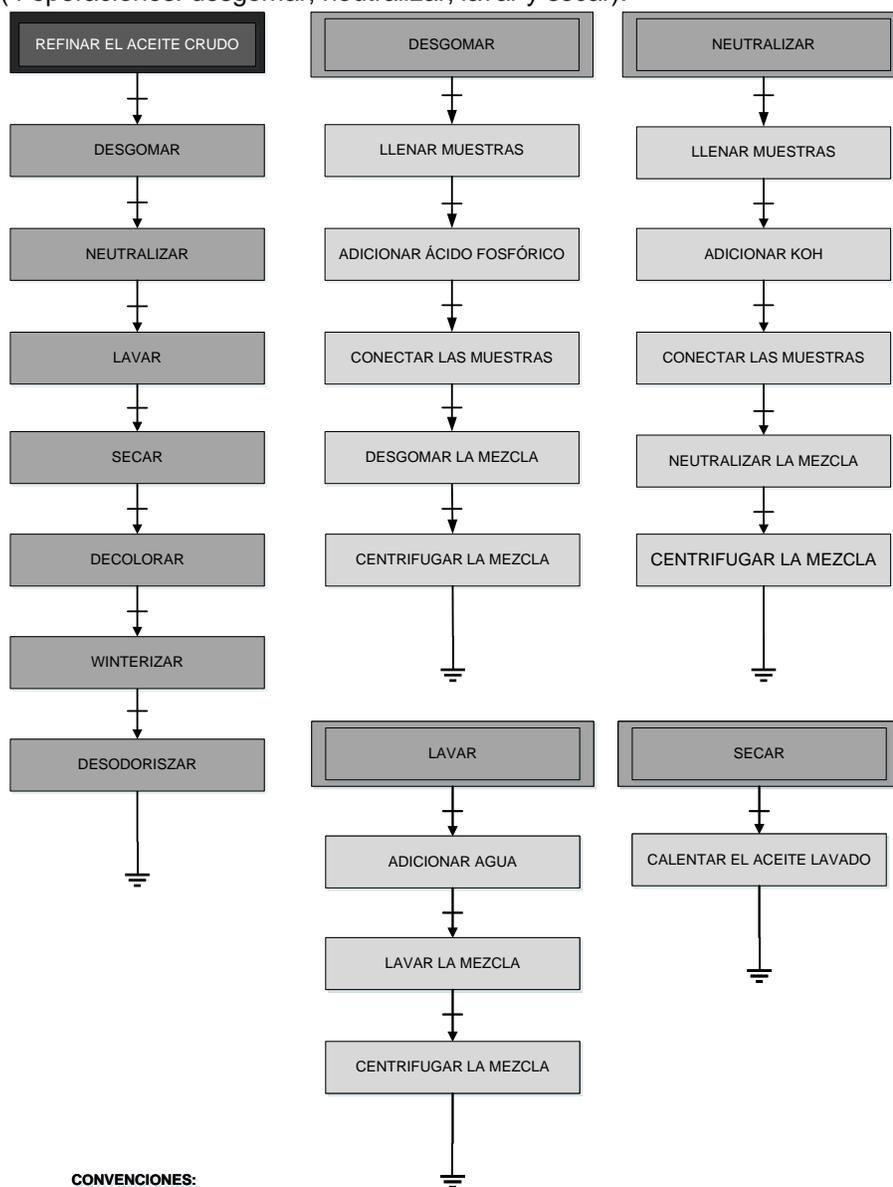
CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD
OPERACIONES
FASES

<i>Especificaciones de las fases</i>	
Fase	Parámetro
Llenar vísceras	Vísceras pesadas = 26 kg
Adicionar ácido fórmico	Ácido fórmico = 2.5% respecto al peso
Adicionar BHT	BHT = 0.1% respecto al peso
Mezclar	Tiempo de mezclado = 7 minutos
Hidolizar mezcla	Tiempo de hidrólisis = 8640 minutos (6 días)
Extraer el aceite suspendido	Porcentaje de extracción respecto a la masa = 25%

Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

Figura 12: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 1 (4 operaciones: desgomar, neutralizar, lavar y secar).



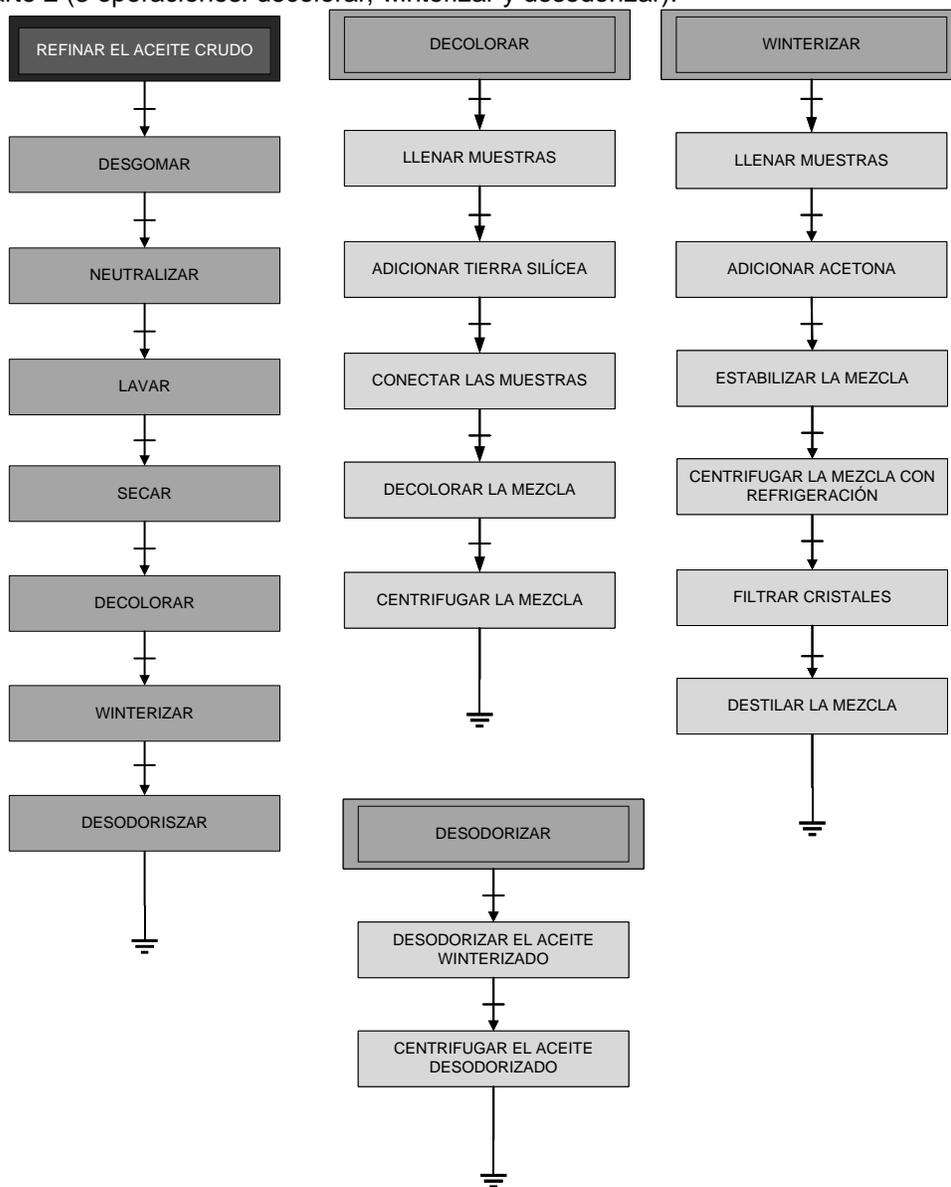
CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD
OPERACIONES
FASES

<i>Especificaciones de las fases</i>	
Fase	Parámetro
Llenar muestras	Peso de las muestras = 100 g
Adicionar ácido fosfórico	Ácido fosfórico en la cada muestra = 0.5% respecto al peso
Desgomar la mezcla	Tiempo de desgomado = 30 minutos
Centrifugar la mezcla	Tiempo de centrifugado = 20 minutos
Llenar muestras	Peso en las muestras = 100 g
Adicionar KOH	KOH en cada muestra = 0.2 - 0.4% respecto al peso
Neutralizar la mezcla	Tiempo de neutralizado = 20 minutos
Centrifugar la mezcla	Tiempo de centrifugado = 15 minutos
Adicionar agua	Agua en toda la muestra = 10% respecto al peso
Lavar la mezcla	Tiempo de lavado = 10 minutos
Centrifugar la mezcla	Tiempo de centrifugado = 20 minutos
Calentar el aceite lavado	Temperatura 40 °C, durante 20 minutos a 210 rpm

Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

Figura 13: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 2 (3 operaciones: decolorar, winterizar y desodorizar).



CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD
OPERACIONES
FASES

Especificaciones de las fases	
Fase	Parámetro
Llenar muestras	Peso de cada muestra = 200 g
Adicionar tierra silícea	Tierra silícea en cada muestra = 1% respecto al peso
Decolorar la mezcla	Tiempo de decolorado = 20 minutos
Centrifugar la mezcla	Tiempo de centrifugado = 20 minutos
Llenar muestras	Peso de de cada muestra = 100 g
Adicionar acetona	Acetona en cada muestra = 64.14% respecto al peso
Estabilizar la mezcla	15 minutos a 15 °C y 56 minutos a -4 °C
Centrifugar la mezcla con refrigeración	Tiempo de centrifugación refrigerada = 10 minutos
Destilar la mezcla	Tiempo de destilado = 60 minutos a 60 °C
Desodorizar el aceite winterizado	Tiempo de desodorizado = 90 minutos y vapor de agua a 90 °C
Centrifugar el aceite desodorizado	Tiempo de centrifugado = 15 minutos

Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

2.3. Relación entre los modelos ISA - S88.01

Existe un modelo que relaciona los modelos ISA - S88.01 (procedimental, físico y de proceso), dicha relación determina que las tareas emitidas en el modelo de control procedimental se ejecutan en el modelo físico, es decir en equipos del modelo físico resultando en funciones de proceso que conforman el modelo de proceso.

Dicho lo anterior, se eligieron los colores para la relación directa entre los tres modelos (convenciones). Para estos se ha elegido la escala de grises usados con el fin de identificar cada una de las jerarquías presentes en los modelos ISA - S88.01 (ver Tabla 5).

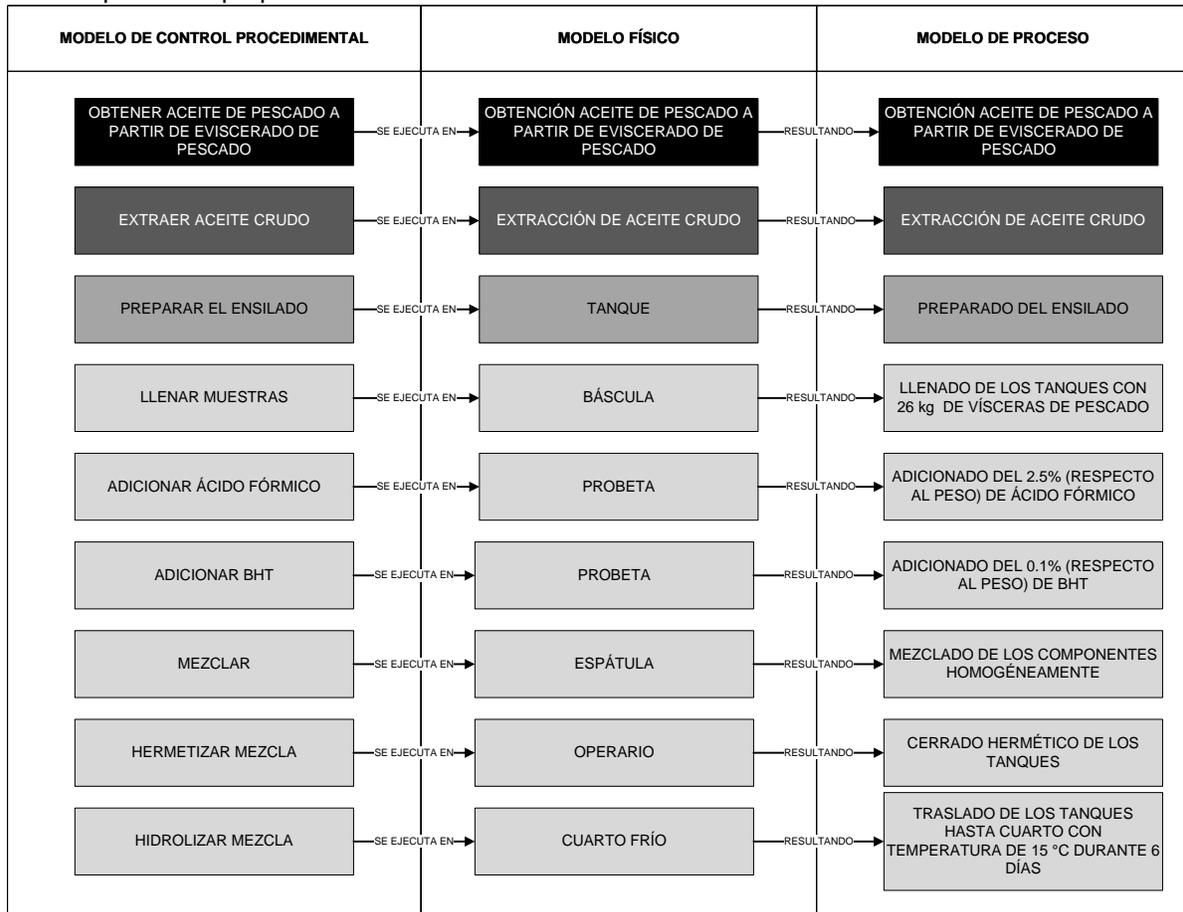
Tabla 5: convenciones para relacionar los modelos ISA - S88.01.

Modelo de control procedimental	Modelo físico	Modelo de proceso	Color
Procedimiento	Célula de proceso	Proceso	
Procedimiento de unidad	Unidad	Etapas de proceso	
Operación	Módulo de equipo	Operación de proceso	
Fase	Módulo de control	Acción de proceso	

Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

Para entender la relación entre los tres modelos y sus convenciones de colores, se presenta un ejemplo respecto al POAP – LAB (ver Figura 14), en el cual la operación “preparar el ensilado” se ejecuta en el módulo de equipo “tanque”, causando la operación de proceso “preparado del ensilado”; después de esto, siguen las 6 fases: “llenar muestras”, que se ejecuta en el módulo de control “báscula de piso”, generando la acción de proceso “llenado de los tanques con 26 kg de vísceras de pescado”; siguiendo con la fase “adicionar ácido Fórmico”, la cual se ejecuta en el módulo de control “probeta” resultando en la acción de proceso “adicionado del 2,5 % p/p de ácido Fórmico”; luego la fase “adicionar BHT”, que se ejecuta en el módulo de control “probeta”, causando la acción de proceso “adicionado del 0,1 % p/p de BHT”; en seguida, inicia la fase “mezclar” que se ejecuta en el módulo de control “espátula” resultando la acción de proceso “mezclado de los componentes homogéneamente”; seguido a esta la fase “hermetizar mezcla” la cual se ejecuta en el módulo de control “operario” generando la acción de proceso “cerrado hermético de los tanques”; finalmente se ejecuta la fase de operación “hidrolizar mezcla” la cual se ejecuta en el módulo de control “calendario” lo que resulta en la acción de proceso “traslado de los tanques hasta el cuarto con temperatura de 15 °C durante 6 días”. La relación de este ejemplo se realiza de igual manera para las jerarquías propuestas en el modelo según la convención de colores planteada.

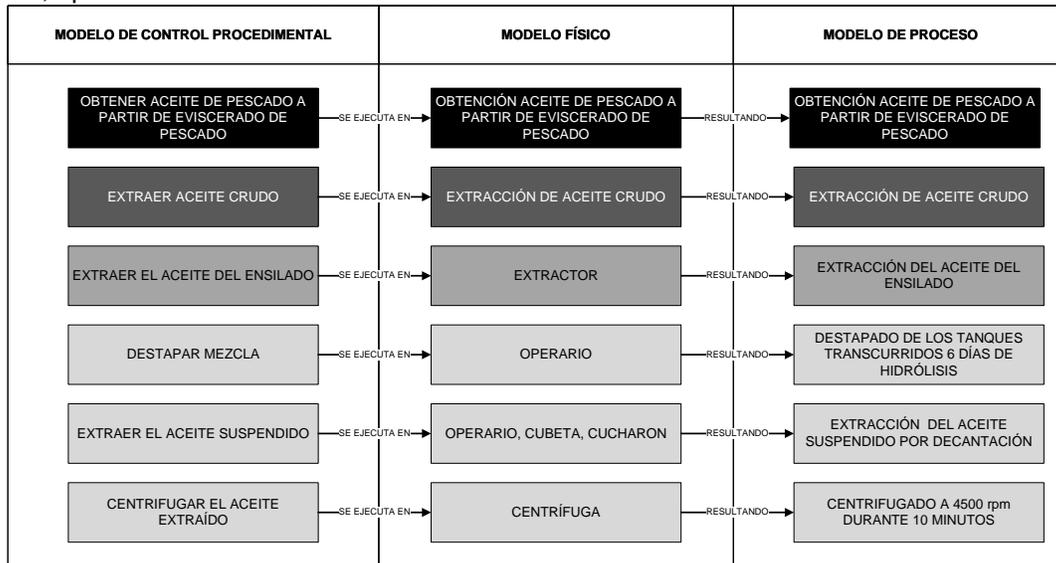
Figura 14: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo” operación “preparar el ensilado”.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2016.

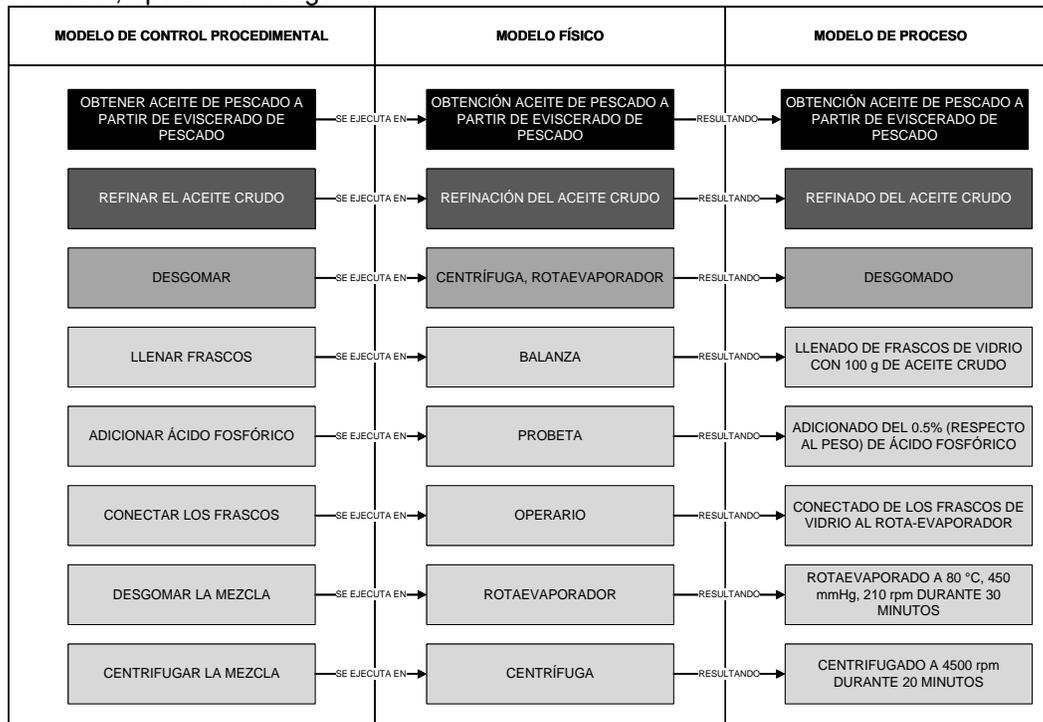
A continuación, se muestran las figuras de la relación de los 3 modelos sobre las 9 operaciones del POAP- LAB (ver Figura 15 a Figura 22), la explicación de la relación de la operación “preparar ensilado” explicada anteriormente y la lectura de la relación para las 8 operaciones restantes se hace de la misma manera.

Figura 15: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”, operación “extraer el aceite del ensilado”.



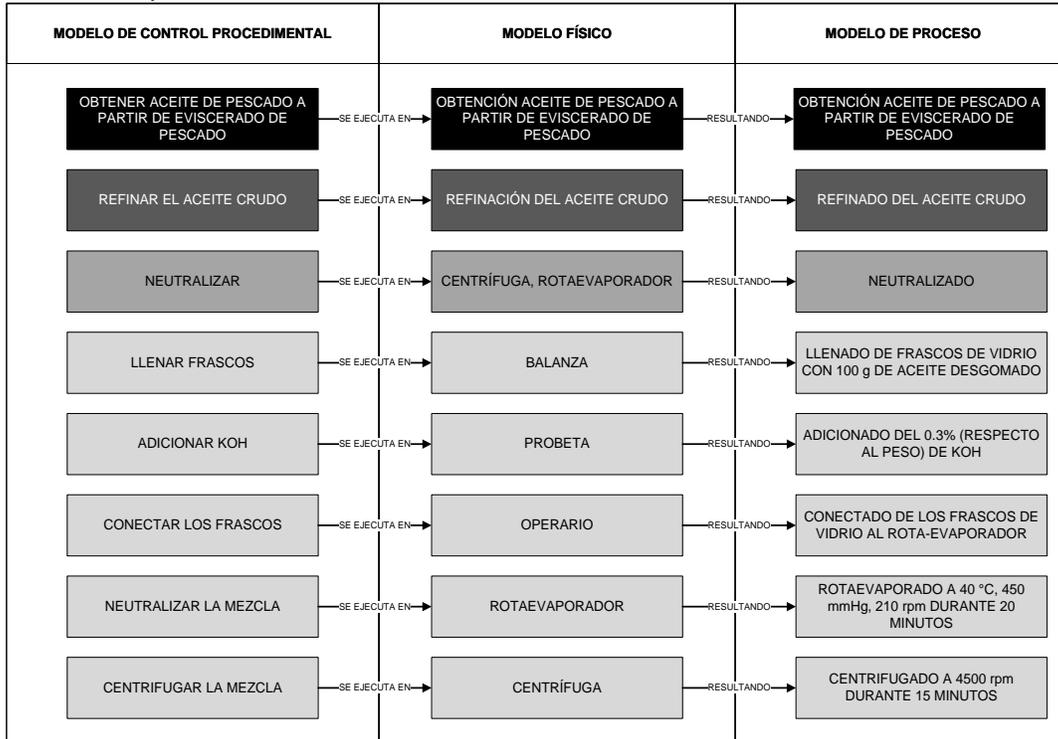
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 16: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desgomar”.



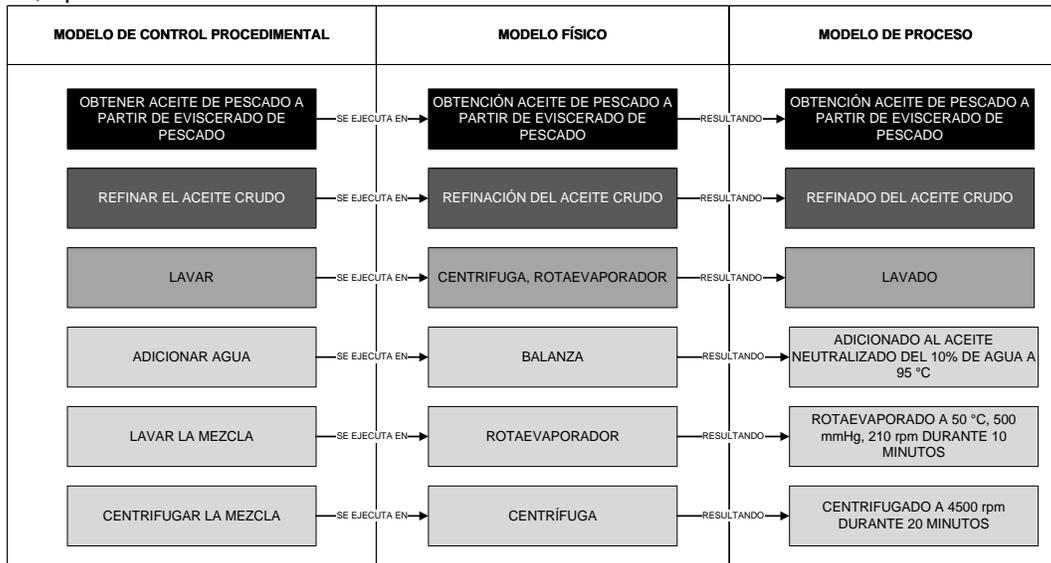
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 17: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “neutralizar”.



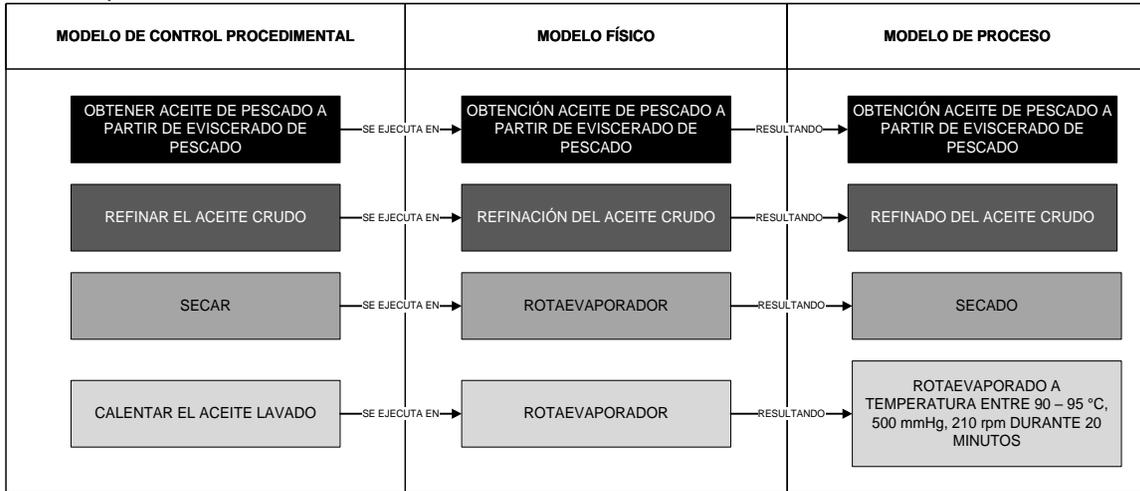
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 18: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “lavar”.



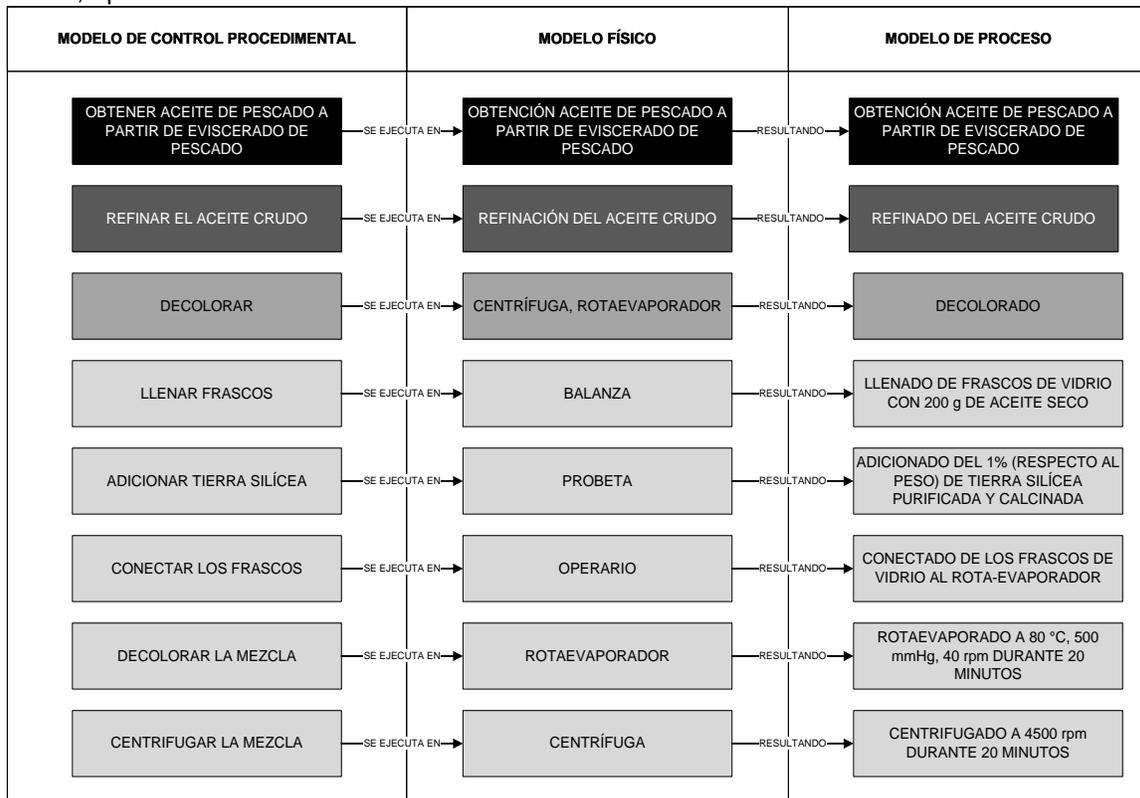
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 19: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “secar”.



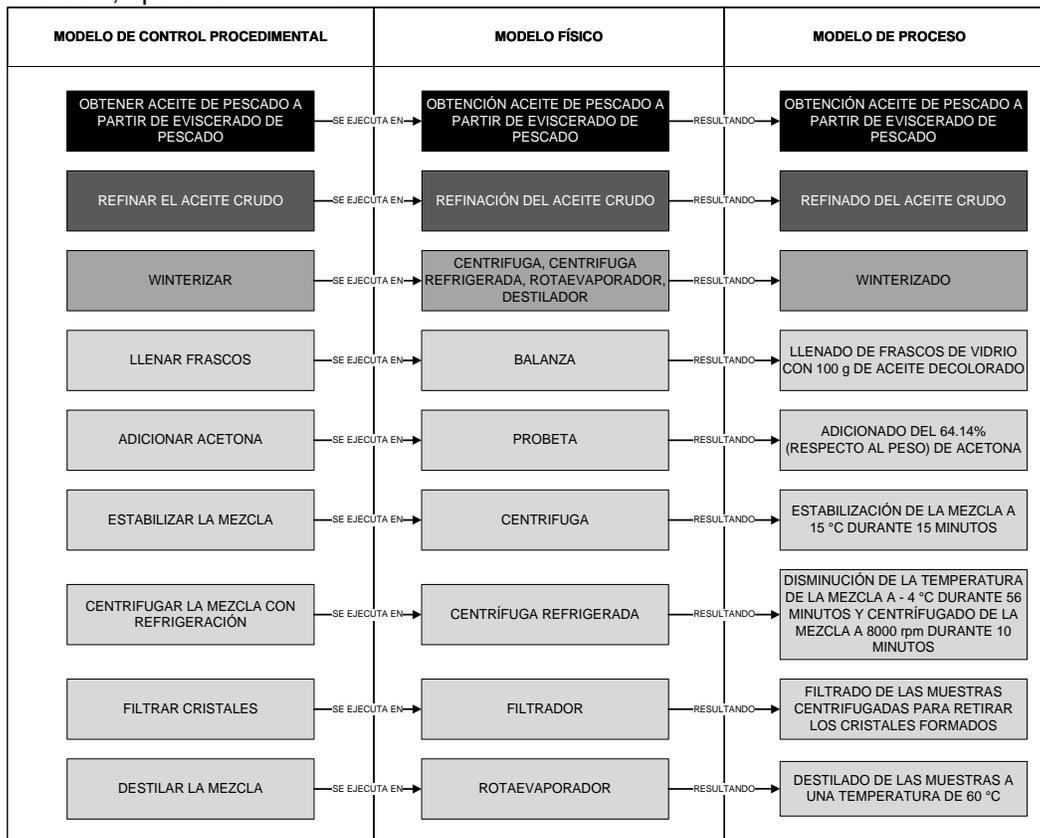
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 20: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “decolorar”.



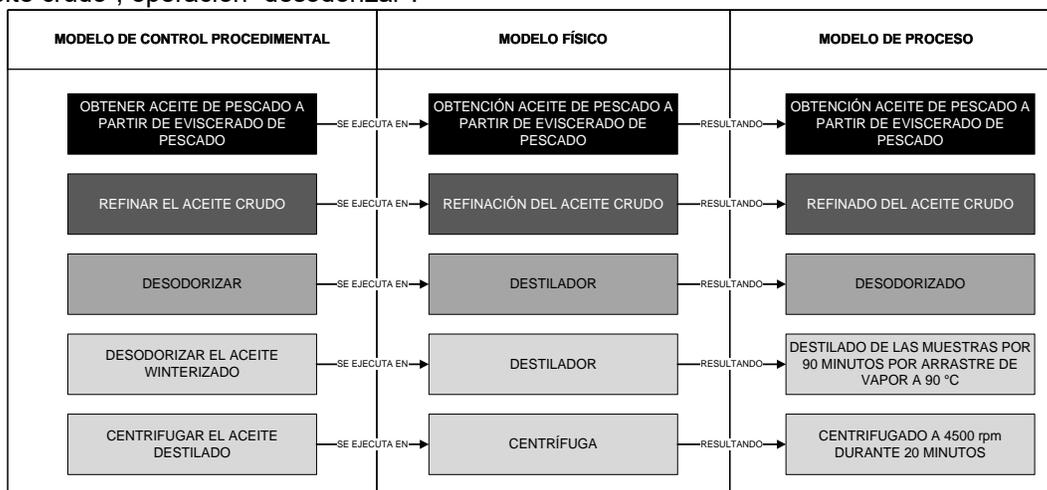
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 21: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “winterizar”.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 22: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desodorizar”.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

2.4. Receta maestra y de control

Dentro del campo de la automatización, una receta es el conjunto necesario de información que define de forma única las necesidades de producción específica, estas proporcionan una manera de describir los productos y cómo se producen [23]. La receta maestra y la de control permiten saber cómo llevar a cabo el proceso con los recursos que se cuenta actualmente.

La receta contiene las siguientes categorías de información: encabezado, fórmula, requerimientos de equipo y procedimiento [23]. Dicho lo anterior, se organizará todo el contenido de los modelos de receta maestra y de control del POAP - LAB en tablas.

2.4.1. Receta maestra

Esta, se encuentra en el nivel de receta orientada a la célula de proceso o al subconjunto de equipos en la célula de proceso [23].

Las entradas, productos, parámetros y salidas del POAP – LAB se organizaron de acuerdo a las operaciones. Además, se tiene en cuentas los requerimientos de equipos para la puesta en marcha del proceso (ver Tabla 6)

Tabla 6: modelo de receta maestra del POAP – LAB.

RECETA MAESTRA		
PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE PESCASO A PARTIR DEL EVISCERADO DE TRUCHA		
VERSIÓN: 1.0		
REVISÓ: Juan Fernando Flórez Marulanda		
AUTOR (ES): Lenin Córdoba Eraso, Sergio Guillermo Melo C.		
FECHA: Popayán, 26 de septiembre de 2016		
FÓRMULA		
Entrada de proceso	Vísceras de pescado	
	Ácido Fórmico	
	BHT	
	Ácido Fosfórico	
	Hidróxido de Potasio	
	Agua	
	Tierra silíceo	
	Acetona	
	Vapor de agua	
	Alimentación eléctrica	
Producto en proceso	Eviscerado de pescado y aceite crudo	
Parámetro de proceso por operación	Operación	Parámetro
	Preparado del ensilaje	Tiempo de mezclado
		Tiempo de hidrólisis
		Temperatura de hidrólisis
Extracción del aceite del ensilaje	Masa CO_1	
		Tiempo de centrifugado

	Velocidad CO_1
Desgomado	Masa de CO_2
	Tiempo de desgomado
	Presión de vacío de desgomado
	Velocidad de desgomado
	Temperatura de desgomado
	Tiempo de centrifugado D_O
	Velocidad de centrifugado D_O
Neutralizado	Masa de D_O
	Temperatura de neutralizado
	Tiempo de neutralizado
	Presión de neutralizado
	Velocidad de neutralizado
	Tiempo de centrifugado N_O
	Velocidad de centrifugado N_O
Lavado	Temperatura del agua
	Temperatura de lavado
	Tiempo de lavado
	Presión de vacío de lavado
	Velocidad de lavado
	Tiempo de centrifugado W_O
	Velocidad de centrifugado W_O
Secado	Masa de W_O
	Temperatura de secado
	Tiempo de secado
	Presión de vacío de secado
	Velocidad de secado
Decolorado	Masa de Dry_O
	Temperatura de decolorado
	Tiempo de decolorado
	Presión de vacío de decolorado
	Velocidad de decolorado
	Tiempo de centrifugado B_O
	Velocidad de centrifugado B_O
Winterizado	Masa de B_O
	Temperatura de estabilización

		Tiempo de estabilización
		Temperatura de refrigeración
		Tiempo de refrigeración
		Tiempo de centrifugado
		Velocidad de centrifugado
		Tiempo de filtrado
		Temperatura de destilado
		Tiempo de destilado
	Desodorizado	Masa de Win_O
		Tiempo de desodorizado
		Temperatura del vapor de agua
		Tiempo de centrifugado
		Velocidad de centrifugado
Salida de proceso	Aceite refinado	
REQUERIMIENTOS DE EQUIPO		
Tanques plásticos		
Báscula		
Balanza		
Probeta		
Espátula		
Aire acondicionado		
Cubeta		
Centrífuga		
Frascos de vidrio		
Rotaevaporador		
Centrífuga refrigerada		
Montaje de destilación y desodorización		

Fuente: elaboración propia, septiembre de 2016.

2.4.2. Receta de control

Esta comienza como una copia de una versión específica de la receta maestra y se ve modificada de acuerdo a la programación e información operacional para la fabricación de un lote particular. Es decir, contiene información de proceso con la especificación de producto necesaria para su manufactura. En una visión más amplia, provee el nivel de detalle suficiente para el inicio y monitoreo del procedimiento de una célula de proceso [23].

Durante el procesamiento de un lote de producción, la receta de control podría verse modificada, ya que estos cambios pueden realizarse en un periodo de tiempo basado en la programación, equipo o información del operador. Por ejemplo: modificar el procedimiento debido a un evento inesperado, definir el equipo que será realmente

utilizado una vez se inicia el lote o se tiene conocimiento del mismo y agregar o ajustar parámetros basados en la calidad de las materias primas o en el análisis del lote [23].

En el POAP – LAB se presentan: materiales, productos procesados, parámetros y requerimientos de equipos que, junto a cantidades, valores y especificaciones, conforman la receta de control del mismo. Así, se cuenta con la información específica para obtener aceite de consumo humano (ver Tabla 7).

Tabla 7: modelo de receta de control del POAP – LAB.

RECETA DE CONTROL			
PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE PESCADO A PARTIR DEL EVISCERADO DE TRUCHA			
VERSIÓN: 1.0			
REVISÓ: Juan Fernando Flórez Marulanda			
AUTOR (ES): Lenin Córdoba Eraso, Sergio Guillermo Melo Campaña			
FECHA: Popayán, 23 de septiembre de 2016			
FÓRMULA			
Entrada de proceso	Material	Cantidad	Unidad
	Vísceras de pescado	53	kg
	Ácido Fórmico	2,65	mL
	BHT	10,6	g
	Ácido Fosfórico	0,55	mL
	Hidróxido de Potasio	1,88	kg
	Agua	798	mL
	Tierra silícea	57,68	g
	Acetona	3,14	L
	Vapor de agua	5	L
	Alimentación eléctrica	110 - 220	VAC
Producto en proceso	Eviscerado de pescado y aceite crudo		
Parámetro de proceso por operación	Parámetro	Valor	Unidad
	Tiempo de mezclado	7	min
	Tiempo de hidrólisis	6	días
	Temperatura de hidrólisis	15	°C
	Masa CO_1	15	L
	Tiempo de centrifugado	10	min
	Velocidad CO_1	4500	min ⁻¹
	Masa de CO_2	100	mL
	Tiempo de desgomado	30	min
	Presión de vacío de desgomado	450	mmHg
	Velocidad de desgomado	210	min ⁻¹
Temperatura de desgomado	80	°C	

Tiempo de centrifugado D_O	20	min
Velocidad de centrifugado D_O	4500	min ⁻¹
Masa de D_O	100	mL
Temperatura de neutralizado	40	°C
Presión de neutralizado	450	mmHg
Tiempo de neutralizado	20	min
Velocidad de neutralizado	210	min ⁻¹
Tiempo de centrifugado N_O	15	min
Velocidad de centrifugado N_O	4500	min ⁻¹
Temperatura del agua	95	°C
Temperatura de lavado	50	°C
Tiempo de lavado	10	min
Presión de vacío de lavado	500	mmHg
Velocidad de lavado	210	min ⁻¹
Tiempo de centrifugado W_O	20	min
Velocidad de centrifugado W_O	4500	min ⁻¹
Masa de W_O	100	mL
Temperatura de secado	90 - 95	°C
Tiempo de secado	20	min
Presión de vacío de secado	500	mmHg
Velocidad de secado	210	min ⁻¹
Masa de Dry_O	200	mL
Temperatura de decolorado	80	°C
Tiempo de decolorado	20	min
Presión de vacío de decolorado	500	mmHg
Velocidad de decolorado	40	min ⁻¹
Tiempo de centrifugado B_O	20	min
Velocidad de centrifugado B_O	4500	min ⁻¹
Masa de B_O	100	mL
Temperatura de estabilización	15	°C
Tiempo de estabilización	15	min
Temperatura de refrigeración	-4	°C
Tiempo de refrigeración	56	min
Tiempo de centrifugado	10	min
Velocidad de centrifugado	8000	min ⁻¹

	Tiempo de filtrado	60	min
	Temperatura de destilado	60	°C
	Tiempo de destilado	60	min
	Masa de Win_O	100	mL
	Tiempo de desodorizado	90	min
	Temperatura del vapor de agua	90	°C
	Tiempo de centrifugado	15	min
	Velocidad de centrifugado	4500	min ⁻¹
Salida de proceso	Aceite refinado 10 – 15 L		

REQUERIMIENTO DE EQUIPO

Equipo	Especificación
Tanques plásticos	Capacidad: 35 kg.
Báscula de piso	Modelo: DYP6012; marca: JCM; diseño: estructura tubular en acero al carbón; capacidad: de 150 kg - 1000 kg.
Balanza de mesa	Modelo: GAB - N; marca: KERN; rango de medida: 0,2 g a 30 kg.
Probeta	Modelo: DBB010; marca GLASSCO; capacidad: 250 mL; clase A; material: vidrio.
Espátula	Material: aluminio.
Aire acondicionado	Modelo: AC12BTU; marca: KALLEY; voltaje: 220 VAC.
Cubeta	Material: plástico; capacidad interior: 15 L.
Centrífuga	Modelo: HERMLE - Z306; velocidad: entre 200 - 14000 RPM; capacidad máxima de 4 frascos de 100 mL, voltaje: 110 VAC.
Frascos de vidrio	Material: vidrio esmerilado; tipo: cuello angosto; capacidad: 250 mL.
Rotaevaporador	Modelo: LABOROTA 4000; temperatura: 20 - 100 °C; velocidad: 20 -270 RPM; potencia de calefacción: 1300 W; tensión: 230 - 115 V; potencia: 1500 W; potencia de vaporización; capacidad: 1000 mL de agua por hora.
Centrífuga refrigerada	Modelo: HERMLE - Z326K; temperatura: entre -20 a 40 °C; velocidad: entre 200 - 18000 RPM; potencia: 455 W; capacidad máxima de 4 frascos de 100 mL, voltaje: 110 VAC.
Montaje de destilación y desodorización	Bomba de vacío Vacuubrand GMBH + CO KG; presión de vacío: 100 mbar; alimentación: 100 - 120 VAC a 50/60 Hz; corriente: 1,9 A.
	Embudo de decantación SCHOTT DURAN: tipo: esmerilado; capacidad: 200 mL.
	Erlenmeyer de decantación; material: vidrio esmerilado; capacidad 250 mL; tipo: cuello angosto.

Fuente: elaboración propia, septiembre de 2016.

3. ANEXO C: CÁLCULO DE LA DENSIDAD Y LA VISCOSIDAD DEL EVISCERADO

Dado que en la literatura no se encuentran los valores de densidad del eviscerado de pescado y teniendo en cuenta las condiciones que este presenta al momento de ingresar a la planta productiva, se es necesario encontrar este valor de manera experimental a través de la siguiente metodología.

3.1. Cálculo de la densidad

3.1.1. Medición del peso de la probeta

Se tomó 2 probetas de igual capacidad (25 ml, ver Figura 23) y se llevaron a la balanza de precisión (ver Figura 25) para obtener el valor de la masa en gramos de cada probeta (proceso que se repite antes de realizar la medición de la masa del eviscerado).

Figura 23: probetas utilizadas en el cálculo de la densidad del ensilado.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

3.1.2. Llenar las probetas con la muestra de eviscerado

En este punto se tomaron 3 muestras de eviscerado de pescado de los días 4, 5 y 6 (3 por cada día) de hidrolisis (ver Figura 24), con las cuales se llenaron las probetas hasta alcanzar un volumen de 5 ml por cada experimento. Se aclara que deben lavarse bien las probetas antes de cada muestra para reducir el error de medición.

Figura 24: muestras de ensilado utilizadas.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

3.1.3. Medir la masa del eviscerado

Una vez alcanzado el volumen de 5 mL en la probeta, se llevó la muestra a la balanza (ver Figura 25) para realizar la medición del valor de masa, con este valor y con el valor de masa que se tomó previamente de la probeta se realiza el respectivo análisis matemático para obtener la masa del eviscerado. Ver ecuación (1).

Figura 25: balanza analítica.



Marca: KERN
Referencia: AEJ 120-4M
Reproducibilidad: 0,1 mg
Linealidad: 0,3 mg

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

$$m_e = m_p - m_m \quad (1)$$

Dónde, m_e es la masa del eviscerado, m_p es la masa de la probeta y m_m es la masa de la muestra.

3.1.4. Cálculo de la densidad del eviscerado

Con los datos adquiridos de los pasos anteriores, se procede a realizar el cálculo matemático del valor de la densidad del eviscerado para cada una de las muestras, para ello se hace uso de la siguiente ecuación. Ver ecuación (2).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Donde ρ es la densidad, m es la masa y v es el volumen.

3.1.5. Resultados obtenidos

Con los pasos anteriormente descritos, se obtuvieron los valores de las densidades del eviscerado en cada una de las muestras, cabe aclarar que al inicio se inició utilizando dos probetas para el análisis, sin embargo, para reducir el error en la medición se decidió utilizar una sola probeta. Los resultados obtenidos del experimento se encuentran en las Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10:

Tabla 8: resultados medición de la densidad, primera prueba.

Prueba 1								
Muestra de ensilado: día 4			Muestra ensilado: día 5			Muestra ensilado: día 6		
Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL
Masa probeta	54,78	G	Masa probeta	54,78	g	Masa probeta 1	54,58	g
Masa de ensilado en la probeta	59,60	G	Masa de ensilado en la probeta	59,25	g	Masa de ensilado en la probeta	58,98	g
Masa total de ensilado	4,82	G	Masa total de ensilado	4,47	g	Masa total de ensilado	4,4	g
Densidad	0,96	g/mL	Densidad	0,89	g/mL	Densidad	0,88	g/mL

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 9: resultados medición de la densidad, segunda prueba.

Prueba 2								
Muestra de ensilado: día 4			Muestra ensilado: día 5			Muestra ensilado: día 6		
Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL
Masa probeta	54,78	G	Masa probeta	54,78	g	Masa probeta 2	54,78	g
Masa de ensilado en la probeta	59,71	G	Masa de ensilado en la probeta	59,52	g	Masa de ensilado en la probeta	59,26	g
Masa total de ensilado	4,94	G	Masa total de ensilado	4,73	g	Masa total de ensilado	4,48	g
Densidad	0,99	g/mL	Densidad	0,95	g/mL	Densidad	0,9	g/mL

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 10: resultados medición de la densidad, tercera prueba.

Prueba 3								
Muestra de ensilado: día 4			Muestra ensilado: día 5			Muestra ensilado: día 6		
Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL	Volumen en la probeta	5	mL
Masa probeta	54,78	g	Masa probeta	54,79	g	Masa probeta 2	54,78	g
Masa de ensilado en la probeta	59,69	g	Masa de ensilado en la probeta	59,64	g	Masa de ensilado en la probeta	59,1	g
Masa total de ensilado	4,91	g	Masa total de ensilado	4,85	g	Masa total de ensilado	4,32	g
Densidad	0,98	g/mL	Densidad	0,97	g/mL	Densidad	0,86	g/mL

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Con los resultados obtenidos de las tablas anteriores, se realiza el cálculo matemático para encontrar el valor promedio de la densidad y la desviación media para cada prueba obteniendo los resultados de la Tabla 11.

Tabla 11: resultados cálculo de la densidad.

Muestra ensilado	Día 4	Día 5	Día 6
Densidad promedio (g/mL)	0,98	0,94	0,88
Desviación media	1%	3%	2%

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

De la tabla anterior, se obtiene que el ensilado de pescado que llega a la planta de producción presenta una densidad promedio de 0,93 g/mL.

3.2. Cálculo de la viscosidad

Luego de realizar las pruebas de densidad del ensilado en los días de hidrolisis 4, 5 y 6, se tomó una muestra de 5 g para cada día en tubos falcón (ver Figura 26), los cuales se enviaron al laboratorio de Reología y empaques de la FACA - Universidad del Cauca.

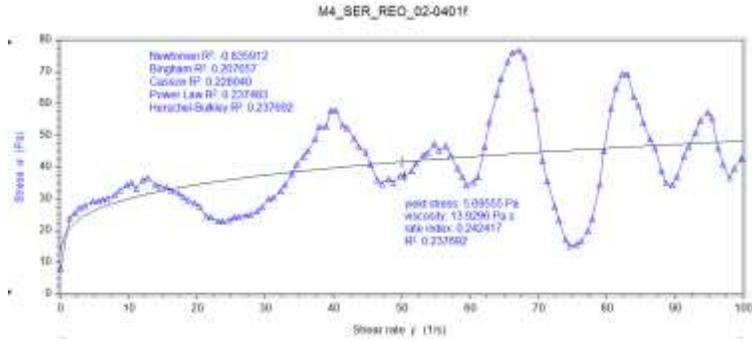
Figura 26: muestras enviadas al laboratorio de Reología.



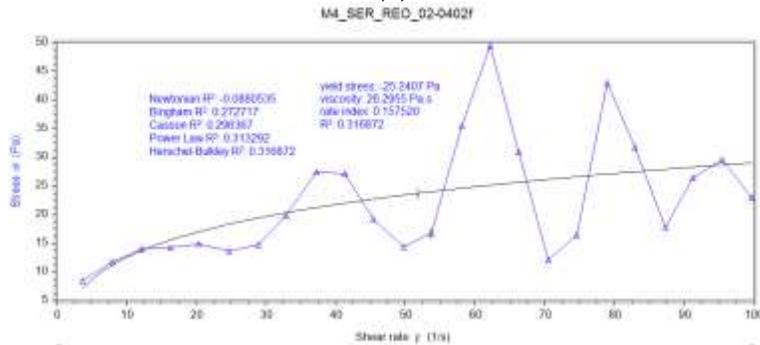
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Con las muestras enviadas, el laboratorio realizó por medio de dos metodologías diferentes (a y b) la medición correspondiente de la viscosidad. Los resultados se muestran a continuación (ver Figura 27 a Figura 29).

Figura 27: resultados de la muestra 4t2 18/11/16.



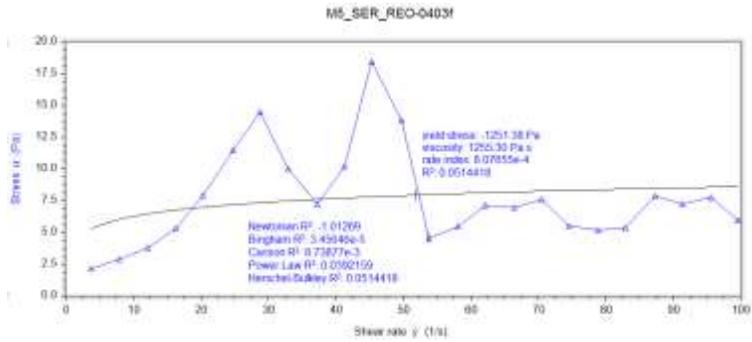
(a)



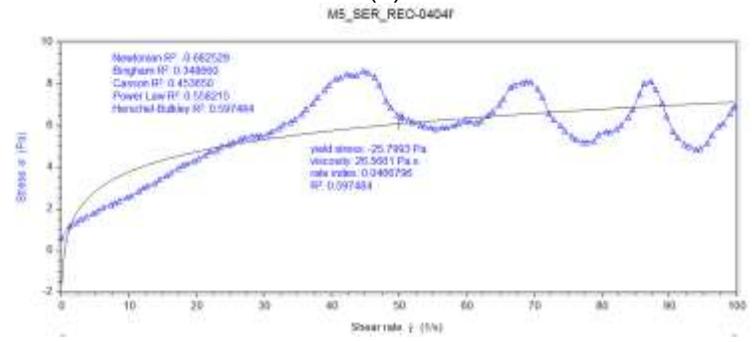
(b)

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 28: resultados de la muestra 5t2 19/11/16.



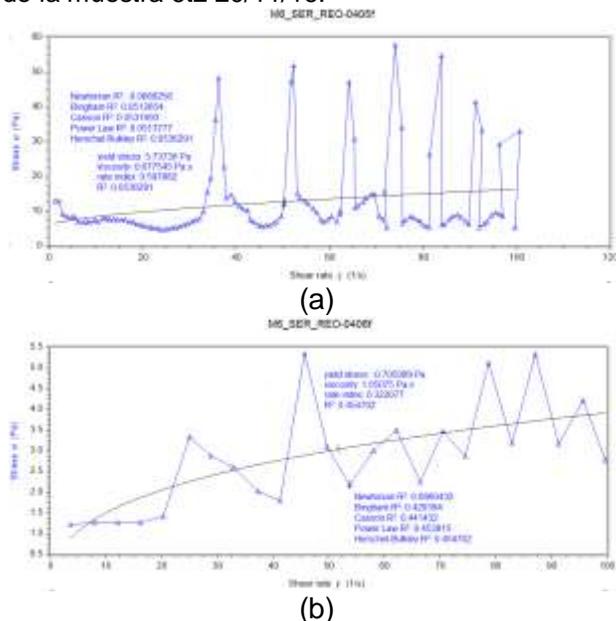
(a)



(b)

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 29: resultados de la muestra 6t2 20/11/16.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se puede apreciar en los resultados presentados, la metodología a arroja resultados que varían considerablemente entre cada una de las pruebas, tomando valores de viscosidad de 13,9296 Pa•s para la muestra 4t218/11/16, 1255,30 Pa•s para la muestra 5t219/11/16 y 0,677545 Pa•s para la muestra 6t2 20/11/16. Por otro lado, la metodología b arroja como resultado valores de viscosidad bastante cercanos entre las pruebas 4t218/11/16 y 5t219/11/16 con valores de 26,2955 Pa•s y 26,5661 Pa•s respectivamente y un valor de viscosidad para la muestra 6t2 20/11/16 de 1,05075 Pa•s que es muy cercana a la viscosidad del aceite crudo.

Con lo anterior cabe resaltar que a medida que el tiempo de hidrolisis avanza la viscosidad del ensilado tiene a disminuir, razón por la cual es conveniente trabajar con la viscosidad más alta correspondiente al día 4 de hidrolisis y dado que la metodología b arroja resultados más estables en las pruebas, los autores de este trabajo plantean la utilización de la viscosidad promedio arrojada entre los resultados siendo esta equivalente a 26,43 Pa•s, valor de viscosidad con el cual se realizaran los respectivos cálculos y análisis de los equipos.

3.3. Conclusión

De los resultados arrojados por las pruebas anteriores de densidad y viscosidad realizadas para el ensilado de pescado, en la siguiente tabla (ver Tabla 12) se presentan los valores de densidad y viscosidad del ensilado utilizados en este trabajo.

Tabla 12: resultados de densidad y viscosidad del ensilado.

Densidad del ensilado	0,88 g/mL
Viscosidad del ensilado	26,43 Pa•s

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

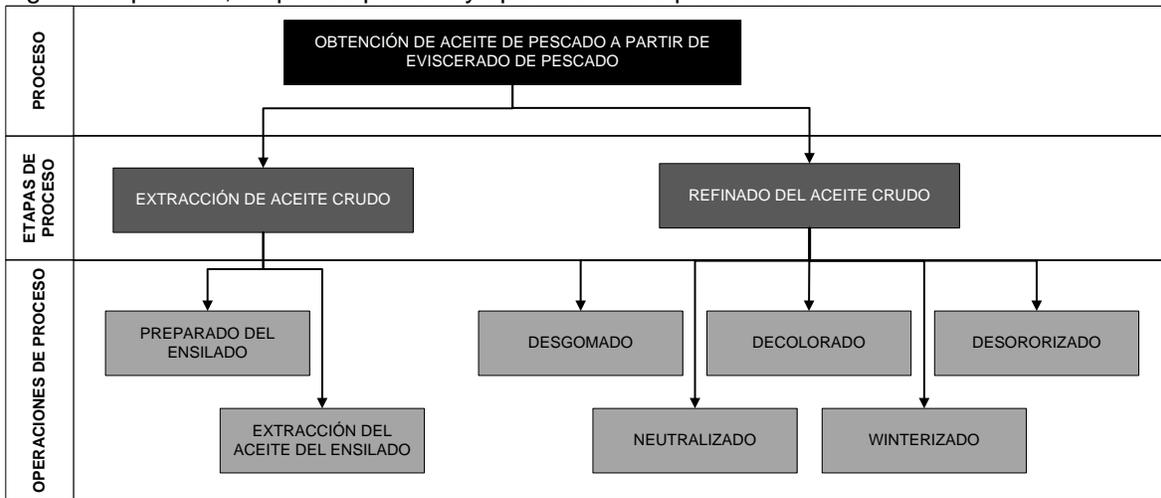
4. ANEXO D: MODELOS ISA - S88.01 DEL POAP – EM

En la sección 2.3 del capítulo 1 se explicó en detalle cada uno de los modelos y su relación; en este anexo se dará a conocer cómo está organizado en cuanto a equipos, procesos y procedimientos el POAP – EM.

4.1. Modelo de proceso

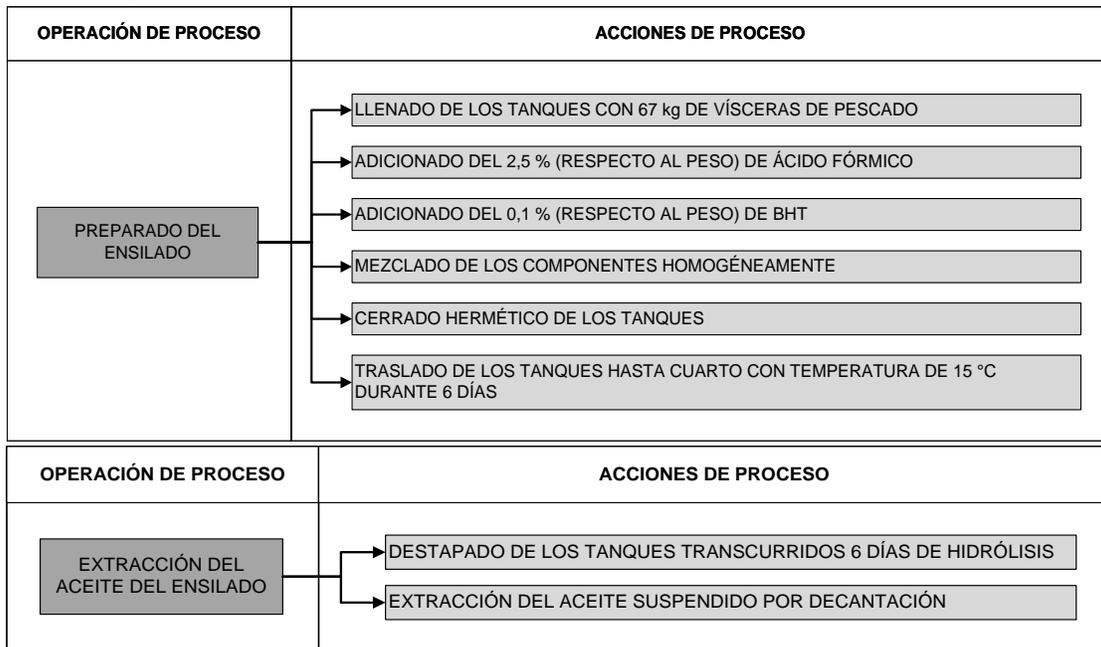
El POAP – EM está conformado por: 2 etapas de proceso, 7 operaciones (ver Figura 30) y 30 acciones de proceso (ver Figura 31 y Figura 32).

Figura 30: proceso, etapas de proceso y operaciones de proceso del POAP – EM.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

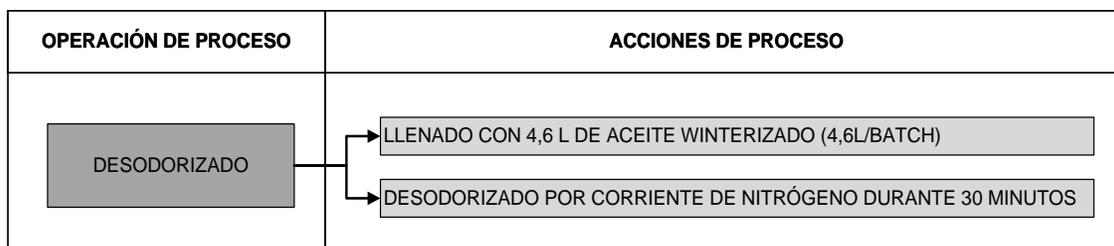
Figura 31: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “extracción de aceite crudo” del POAP – EM.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 32: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de proceso “refinado del aceite crudo” del POAP – EM.

OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
<p style="text-align: center;">DESGOMADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO CON 4,6 L DE ACEITE CRUDO (4,6 L/BATCH) → CALENTADO DEL ACEITE HASTA LLEGAR A 80 °C → ADICIONADO DEL 0,5 % (RESPECTO AL PESO) DE ÁCIDO FOSFÓRICO → AGITADO CONSTANTE A 50 rpm EN ATMÓSFERA DE NITRÓGENO DURANTE 30 MINUTOS → CENTRIFUGADO DEL ACEITE A 90 Hz DE FRECUENCIA
<p style="text-align: center;">NEUTRALIZADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO CON 4,6 L DE ACEITE DESGOMADO (4,6L/BATCH) → CALENTADO DEL ACEITE HASTA LLEGAR A 40 °C → ADICIONADO DEL 0,4 % (RESPECTO AL ÍNDICE DE ACIDEZ) DE KOH → AGITADO CONSTANTE A 50 rpm EN ATMÓSFERA DE NITRÓGENO DURANTE 20 MINUTOS → DECANTADO DEL ACEITE DURANTE 60 MINUTOS → CENTRIFUGADO DEL ACEITE A 90 Hz DE FRECUENCIA
<p style="text-align: center;">DECOLORADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO CON 4,6 L DE ACEITE NEUTRALIZADO (4,6L/BATCH) → CALENTADO DEL ACEITE HASTA LLEGAR A 80 °C → ADICIONADO DEL 1 % (RESPECTO AL PESO) DE TIERRA SILÍCEA PURIFICADA Y CALCINADA → AGITADO CONSTANTE A 50 rpm EN ATMÓSFERA DE NITRÓGENO DURANTE 20 MINUTOS → SEPARADO DE LA TIERRA SILÍCEA POR MEDIO DE UN FILTRO
<p style="text-align: center;">WINTERIZADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO CON 4,6 L DE ACEITE DECOLORADO (4,6L/BATCH) → LLEVADO DEL ACEITE HASTA LLEGAR A 15 °C → ESTABILIZACIÓN DEL ACEITE DURANTE 56 MINUTOS HASTA QUE LLEGUE A - 4 °C → FILTRADO DE CRISTALES FORMADOS DURANTE 30 MINUTOS



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

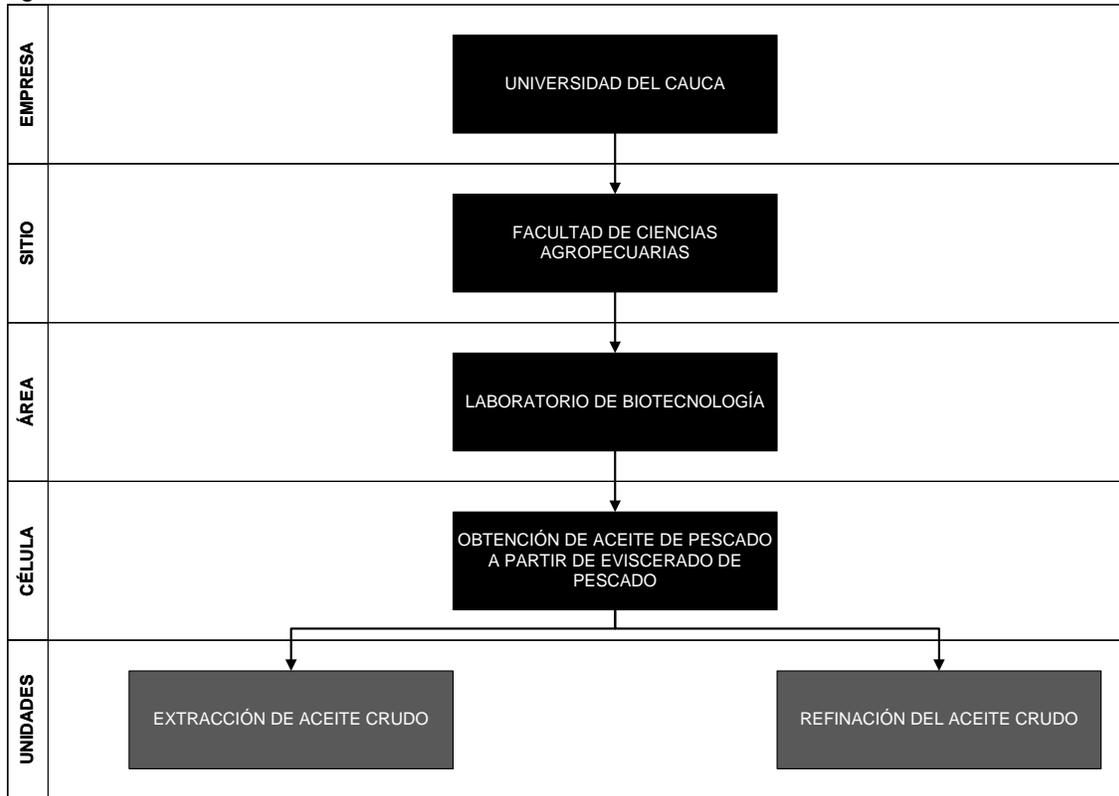
El modelo de proceso permitió una descripción completa y organizada del POAP – EM, iniciando con la etapa de extracción de aceite crudo (ver Figura 31), en el cual se prepara el ensilado, después de que este haya sido almacenado con el BHT y el ácido Fórmico por seis días (completar el proceso de hidrólisis) se extrae el aceite por decantación.

En la segunda etapa (ver Figura 32), refinación del aceite crudo, siendo esta más extensa debido a la cantidad de operaciones que tiene; inicia con la operación de desgomado, el propósito de esta es quitar todas las gomas del aceite; siguiendo con la operación de neutralizado en la cual se retiran los jabones presentes en el aceite desgomado, con las anteriores operaciones ya se tiene aceite semi-refinado, sin embargo, presenta un color fuerte y aún no se asegura sus condiciones a temperatura ambiente (se ve afectado por el oxígeno, generando oxidación) y su olor tiende a ser rancio, para mejorar sus propiedades se utilizan las operaciones de decolorado, winterizado y desodorizado, asegurando que el aceite cumpla con las características del aceite comercial para consumo humano.

4.2. Modelo físico

El modelo físico general del POAP – EM, muestra la jerarquía de la siguiente forma: a nivel de empresa está la Universidad del Cauca, ubicada en la ciudad de Popayán - Colombia, a nivel de sitio se encuentra la FCA de la Universidad del Cauca, situada el norte de Popayán y a nivel de área está el Laboratorio de Biotecnología de la FCA. En cuanto a la planta del POAP – EM la célula se conforma de 2 unidades: extracción de aceite crudo y refinación de aceite crudo (ver Figura 33).

Figura 33: modelo físico del POAP – EM.

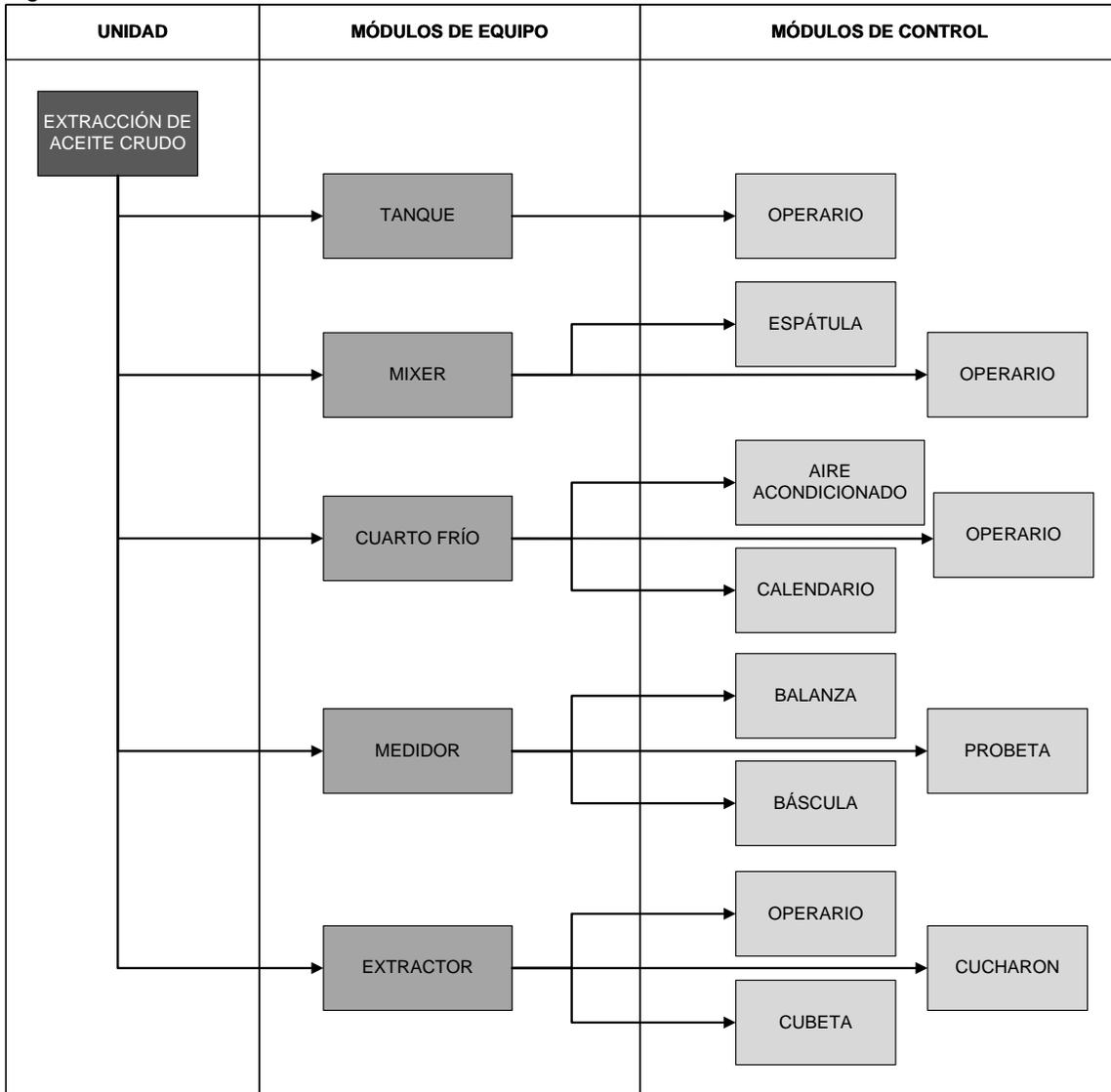


Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Al analizar cada unidad, se obtiene información más detallada de los activos físicos que componen el POAP – EM, de lo cual, la descripción física de la célula de proceso muestra en total 2 unidades, 8 módulos de equipo y 52 módulos de control (ver Figura 33 a Figura 35).

En primera instancia, el modelo físico de la unidad de extracción de aceite de pescado muestra los diferentes módulos de equipos y de control que se requieren para llevar a cabo las actividades de esta unidad, observando que el módulo de equipo tanque tiene como módulo de control un operario; el módulo de equipo mixer cuenta con dos módulos de control un operario y una espátula; el módulo de equipo cuarto frío tiene tres módulos de control un aire acondicionado, un operario y un calendario; el módulo de equipo medidor cuenta con tres módulos de control una balanza, una probeta y una báscula; por último se encuentra el módulo de equipo extractor, el cual tiene tres módulos de control un operario, un cucharón y una cubeta (ver Figura 34).

Figura 34: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo”.

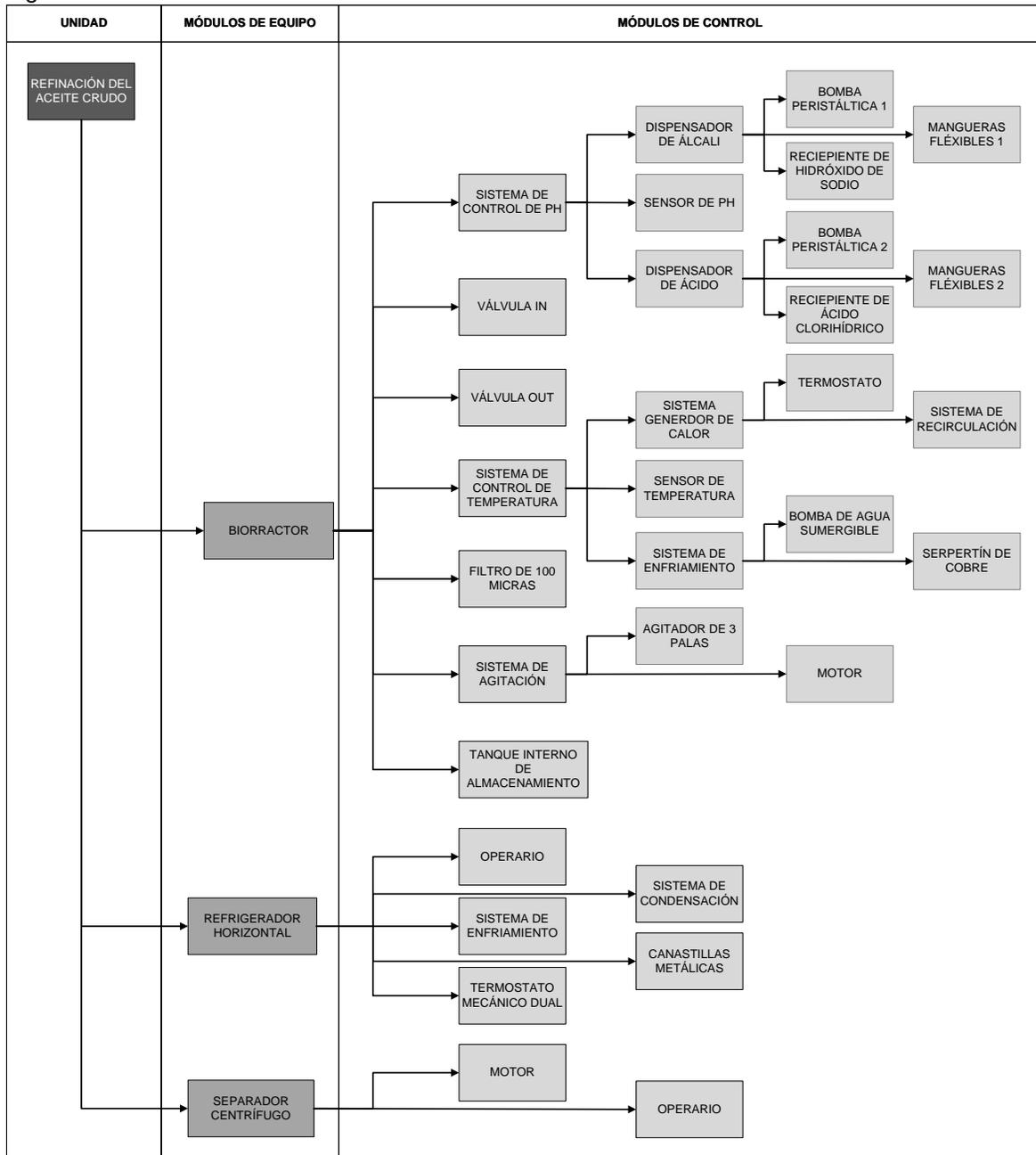


Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

En segunda instancia, el modelo físico de la unidad de refinado de aceite crudo, muestra los módulos de equipo y control que se requieren para llevar a cabo las cinco operaciones necesarias en esta unidad, en dicho modelo se observa que el módulo de equipo biorreactor tiene veinticinco módulos de control: un sistema de control de pH, este a su vez se compone por tres sub-módulos de control: dispensador de álcali y este a su vez también se divide 3 sub-módulos de control: bomba peristáltica 1, mangueras flexibles 1 y recipiente de hidróxido de sodio; los otros dos sub-módulos de control del sistema de control de pH son: sensor de pH y dispensador de ácido, este a su vez compuesto por tres sub-módulos de control: bomba peristáltica 2, mangueras flexibles 2 y recipiente de ácido clorhídrico. Siguiendo con los demás módulos de control del biorreactor se tiene: una válvula in, una válvula out, un filtro de 100 micras, un tanque interno de almacenamiento, un sistema de agitación compuesto por dos sub-módulos de control: agitador de 3 palas y un motor; por último, el sistema de control de temperatura, compuesto por 3 sub-módulos de control: sensor de temperatura, sistema generador de calor este compuesto por dos sub-módulos de control: termostato y sistema de

recirculación y finalmente, el sistema de enfriamiento, conformado por dos sub-módulos de control: bomba de agua sumergible y un serpentín de cobre (ver Figura 35).

Figura 35: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo”.

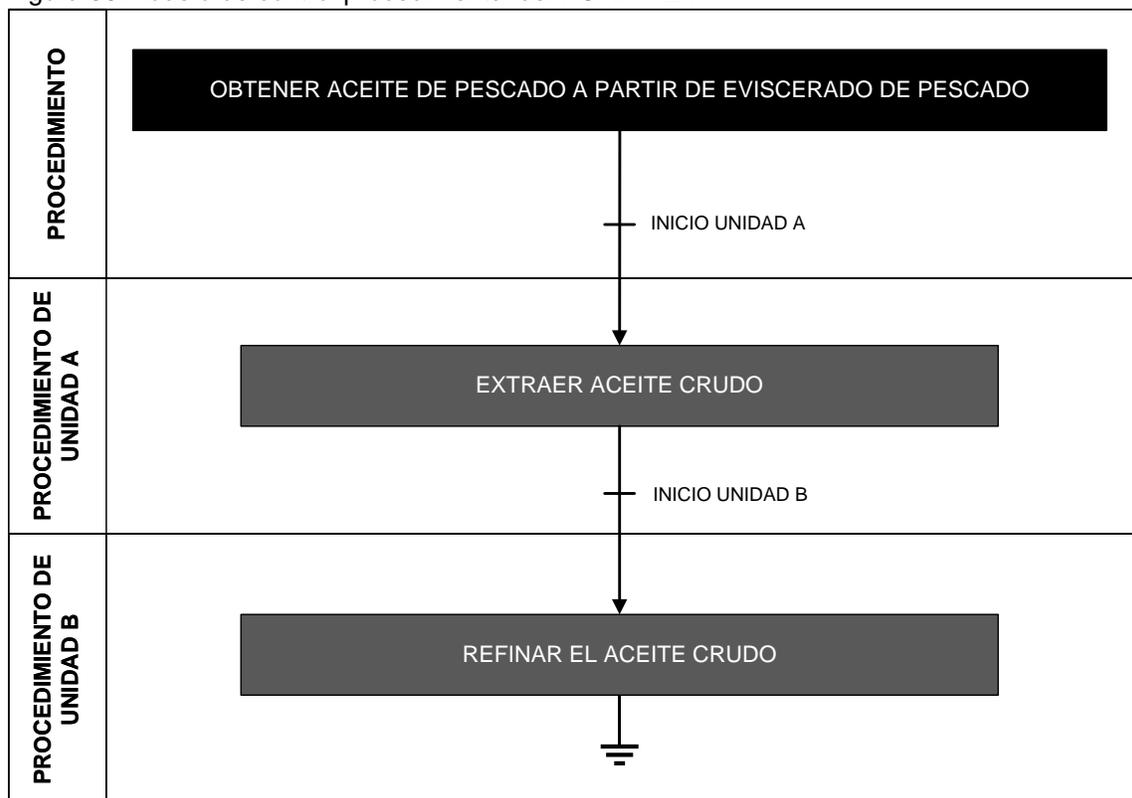


Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

4.3. Modelo de control procedimental

El modelo de control procedimental general para el POAP – EM, muestra que a nivel de procedimiento se encuentra: obtener aceite de pescado a partir de eviscerado de pescado, el cual se conforma por dos procedimientos de unidad extraer aceite crudo y refinar el aceite crudo (ver Figura 36).

Figura 36: modelo de control procedimental del POAP – EM.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Una vez se profundiza cada procedimiento de unidad, se obtiene información detallada de la secuencia de control que se realiza a lo largo del proceso. En síntesis, el procedimiento del POAP – EM tiene un total de 2 procedimientos de unidad, 7 operaciones y 30 fases (ver Figura 37 a Figura 39).

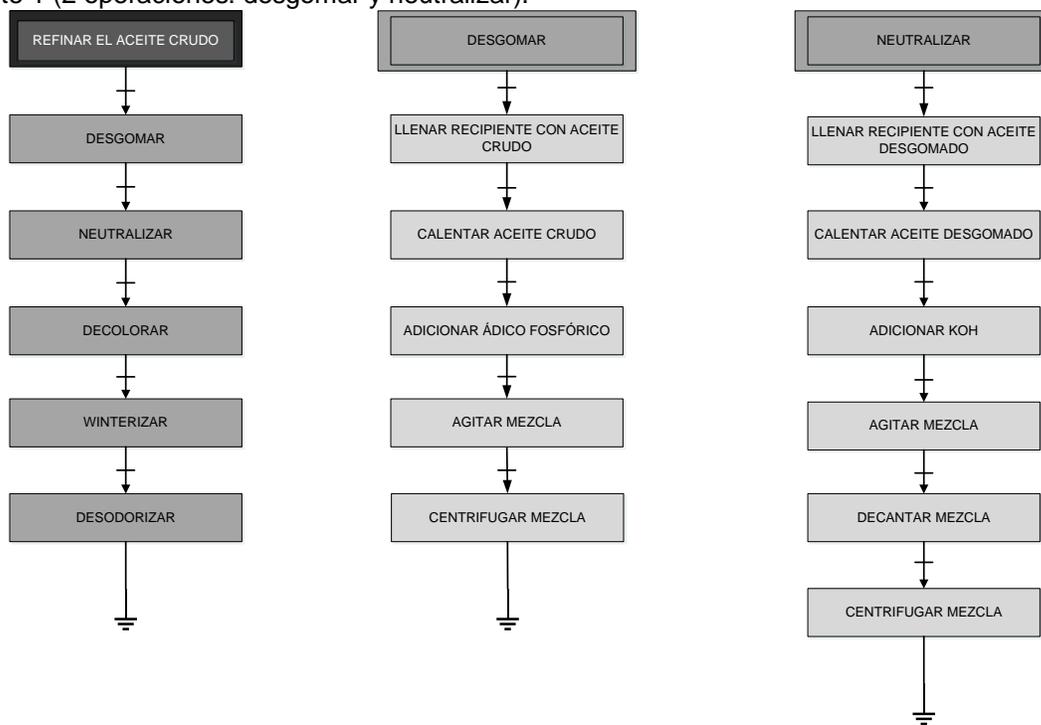
El procedimiento de unidad A: extraer aceite crudo (ver Figura 37) muestra que primero se ejecuta la operación preparar ensilado conformada por 6 fases: llenar vísceras (vísceras pesadas = 67 kg), adicionar ácido Fórmico (ácido Fórmico = 2,5% respecto al peso), mezclar (tiempo de mezclado = 7 minutos), adicionar BHT (BHT = 0,1% respecto al peso), hermetizar la mezcla e hidrolizar (tiempo de hidrolizado = 8640 minutos). Una vez finalizada la preparación del ensilado, comienza la operación extraer el aceite del ensilado, la cual se conforma de 2 fases: destapar mezcla y extraer el aceite suspendido (porcentaje de extracción respecto a la masa = 25 – 30 %)

(temperatura: hasta llegar a 80 °C), adicionar tierra silíceas (cantidad de tierra silíceas = 1% respecto a la masa del aceite), agitar mezcla (tiempo de agitado 20 minutos, en atmósfera de nitrógeno a 50 RPM) y separar tierra silíceas.

Posteriormente, la operación winterizar que tiene 4 fases: llenar recipiente con aceite decolorado (cantidad de aceite decolorado = 4,6 L), refrescar aceite decolorado (temperatura: hasta llegar a 15 °C), estabilizar mezcla (tiempo de estabilización: 56 minutos, temperatura de estabilización – 4 °C) y filtrar cristales (tiempo de filtrado = 30 minutos).

Finalmente, la operación desodorizar, conformada por 2 fases: llenar recipiente con aceite winterizado (cantidad de aceite winterizado = 4,6 L) y desodorizar con corriente de nitrógeno (tiempo de desodorización = 30 minutos).

Figura 38: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 1 (2 operaciones: desgomar y neutralizar).



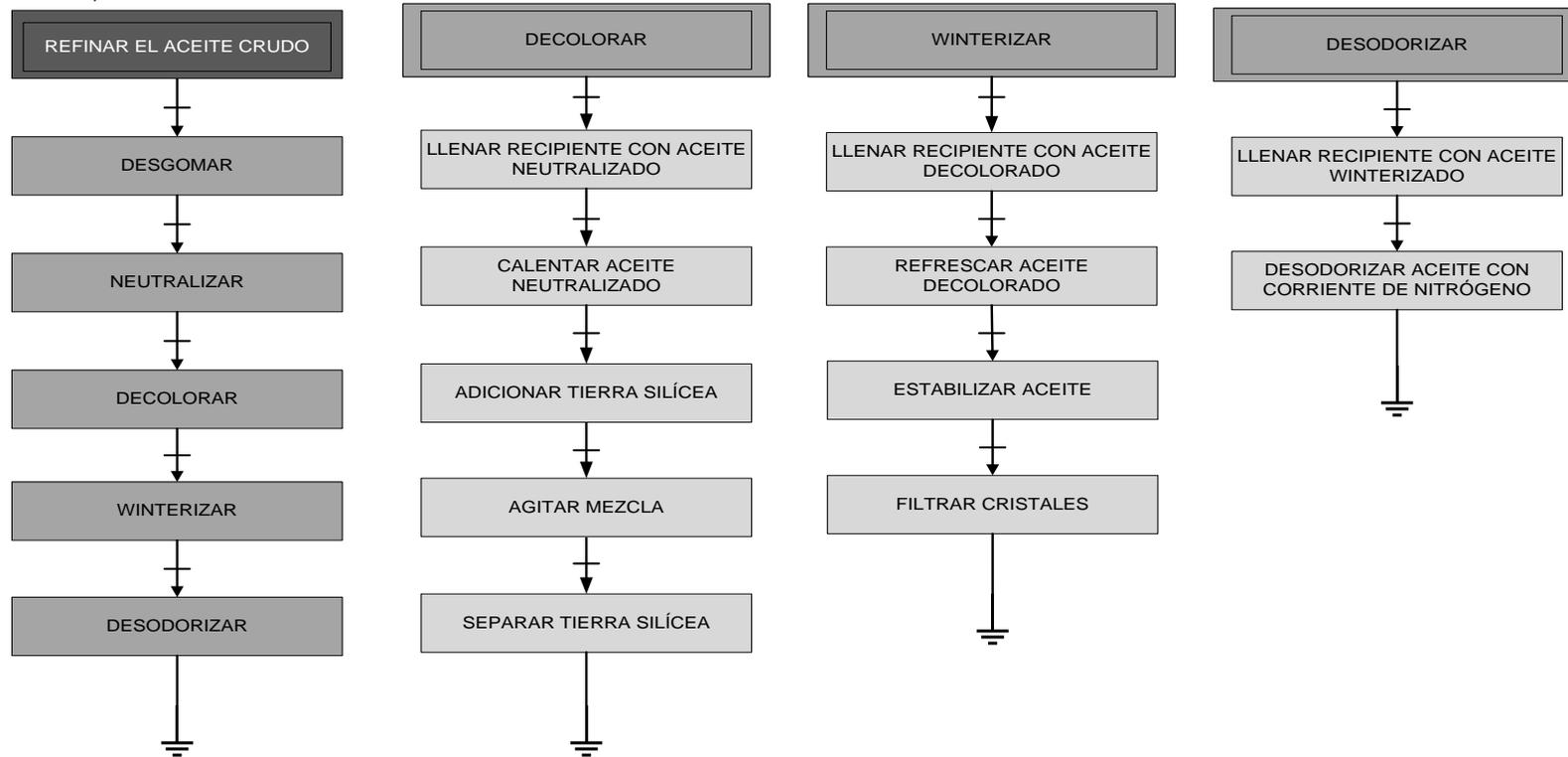
CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD
OPERACIONES
FASES

Especificaciones de las fases	
Fase	Parámetro
Llenar recipiente con aceite crudo	Cantidad de aceite crudo = 4,6 L
Calentar aceite crudo	Temperatura: hasta llegar a 80 °C
Adicionar ácido Fosfórico	Ácido Fosfórico en el aceite = 0,5 % respecto al peso
Agitar mezcla	Tiempo de agitado 30 minutos, en atmósfera de nitrógeno a 50 RPM
Centrifugar mezcla	Frecuencia de centrifugado = 90 Hz
Llenar recipiente con aceite desgomado	Cantidad de aceite desgomado = 4,6 L
Calentar aceite desgomado	Temperatura: hasta llegar a 40 °C
Adicionar KOH	KOH en el aceite = 0,5 % respecto al índice de acidez
Agitar mezcla	Tiempo de agitado 20 minutos, en atmósfera de nitrógeno a 50 RPM
Decantar mezcla	Tiempo de decantación = 60 minutos
Centrifugar mezcla	Frecuencia de centrifugado = 90 Hz

Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 39: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, parte 2 (3 operaciones: decolorar, winterizar y desodorizar).



CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD

OPERACIONES

FASES

Especificaciones de las fases	
Fase	Parámetro
Llenar recipiente con aceite neutralizado	Cantidad de aceite neutralizado = 4,6 L
Calentar aceite neutralizado	Temperatura: hasta llegar a 80 °C
Adicionar tierra silícea	Cantidad de tierra silícea = 1 % respecto a la masa del aceite
Agitar mezcla	Tiempo de agitado 20 minutos, en atmósfera de nitrógeno a 50 RPM
Llenar recipiente con aceite decolorado	Cantidad de aceite decolorado = 4,6 L
Refrescar aceite decolorado	Temperatura: hasta llegar a 15 °C
Estabilizar aceite	Tiempo de estabilización: 56 minutos, temperatura de estabilización = - 4 °C
Filtrar cristales	Tiempo de filtrado = 30 minutos
Llenar recipiente con aceite winterizado	Cantidad de aceite winterizado = 4,6 L
Desodorizar aceite con corriente de nitrógeno	Tiempo de desodorización = 30 minutos

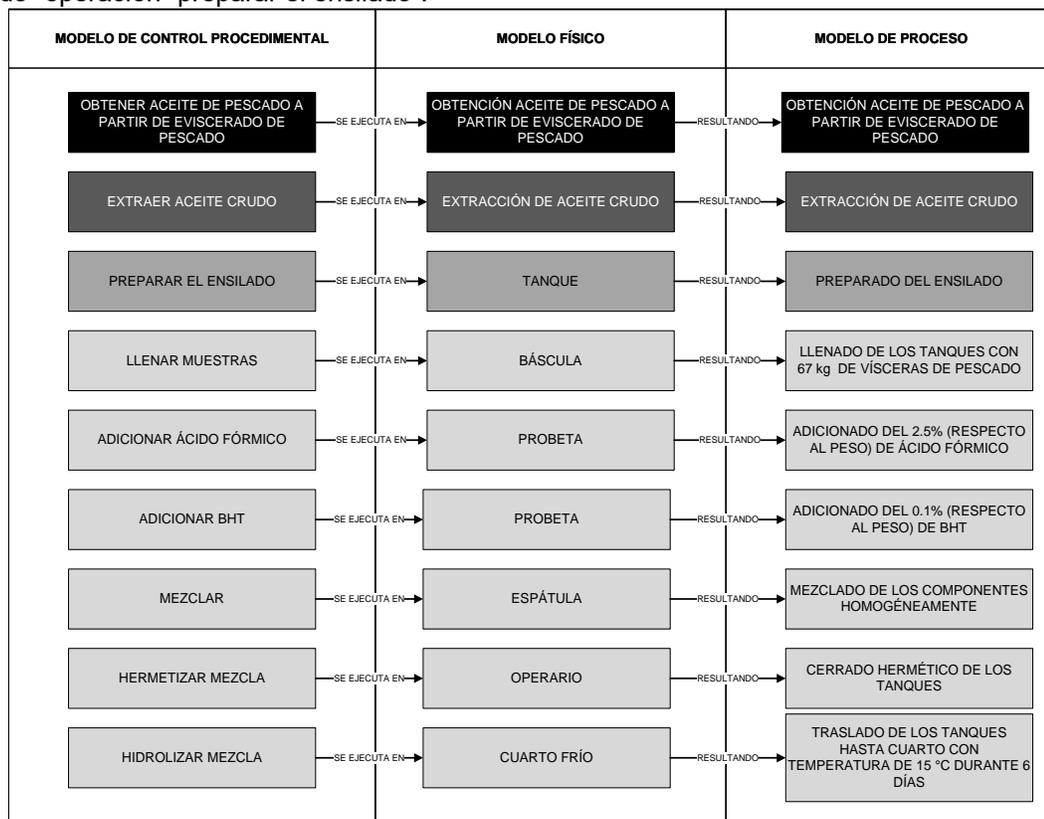
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

4.4. Relación entre los modelos ISA - S88.01

La escala de colores utilizada fue la misma que se utilizó en los modelos del POAP – LAB (ver Tabla 5 de la sección 2.3.4.).

Para entender la relación entre los tres modelos y sus convenciones de colores, se presenta un ejemplo respecto al POAP – EM (ver Figura 40), en la cual, la operación “preparar el ensilado” se ejecuta en el módulo de equipo “tanque”, lo que causa la operación de proceso “preparado del ensilado” y siguen las 6 fases: “llenar muestras” que se ejecuta en el módulo de control “báscula de piso”, que causa la acción de proceso “llenado de los tanques con 67 kg de vísceras de pescado”, siguiendo con la fase “adicionar ácido Fórmico” la cual se ejecuta en el módulo de control “probeta” resultando en la acción de proceso “adicionado del 2,5% p/p de ácido Fórmico”, luego la fase “adicionar BHT” que se ejecuta en el módulo de control “probeta” causando la acción de proceso “adicionado del 0,1% p/p de BHT”, en seguida, la fase “mezclar” que se ejecuta en el módulo de control “espátula” que resulta en la acción de proceso “mezclado de los componentes homogéneamente”, seguido a esta la fase “hermetizar mezcla” la cual se ejecuta en el módulo de control “operario” generando la acción de proceso “cerrado hermético de los tanques” y la última fase de operación es “hidrolizar mezcla” la cual se ejecuta en el módulo de control “calendario” lo que resulta en la acción de proceso “traslado de los tanques hasta el cuarto con temperatura de 15 °C durante 6 días”. La relación de este ejemplo funciona de igual manera para las jerarquías propuestas en el modelo, todos estos se corresponden entre sí, según la convención de colores planteada.

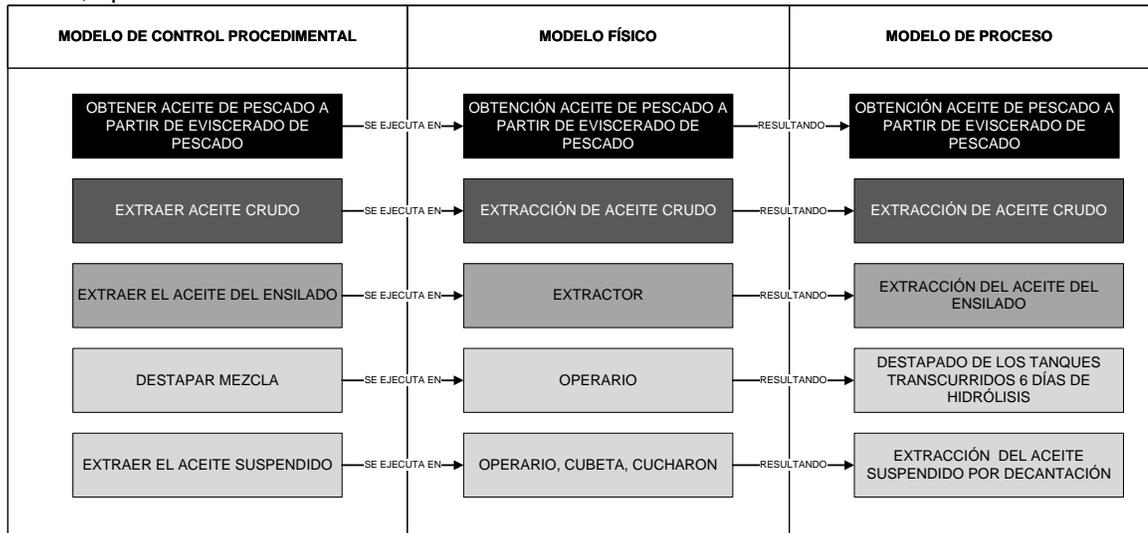
Figura 40: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo” operación “preparar el ensilado”.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

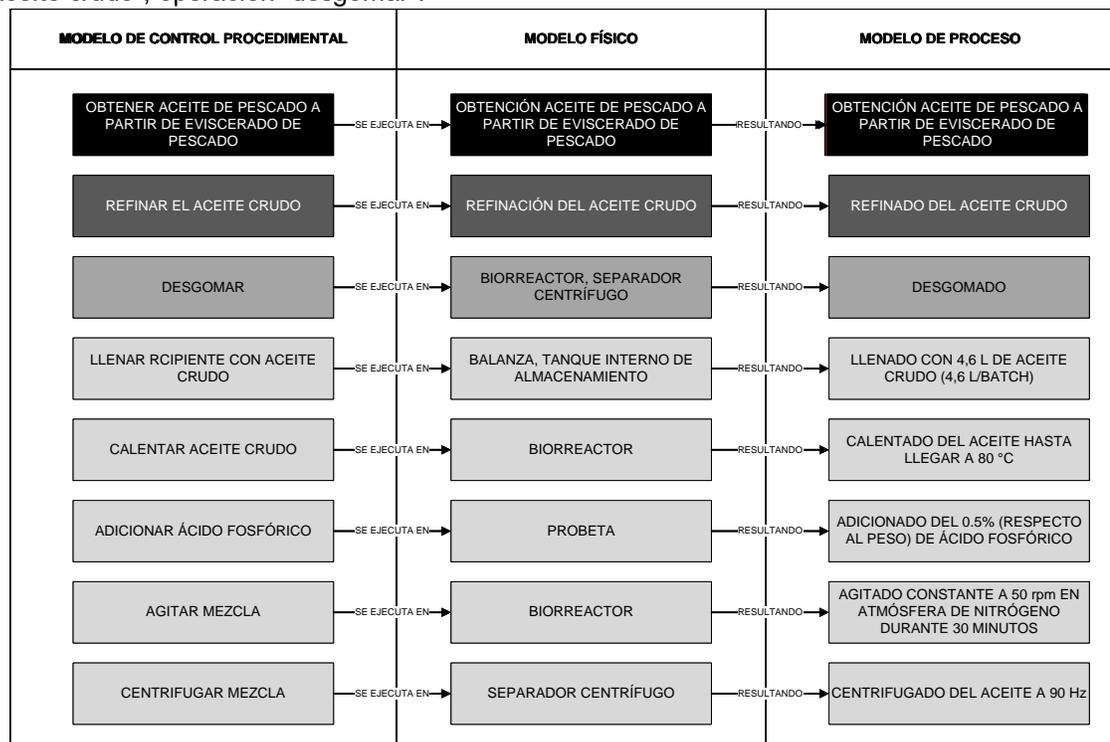
A continuación, se muestran las figuras de la relación de los 3 modelos sobre las 7 operaciones del POAP – EM (ver Figura 41 a Figura 46), la explicación de la relación de la operación “preparar ensilado” se realizó anteriormente y la lectura de la relación para las 6 operaciones restantes se hace de la misma manera.

Figura 41: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”, operación “extraer el aceite del ensilado”.



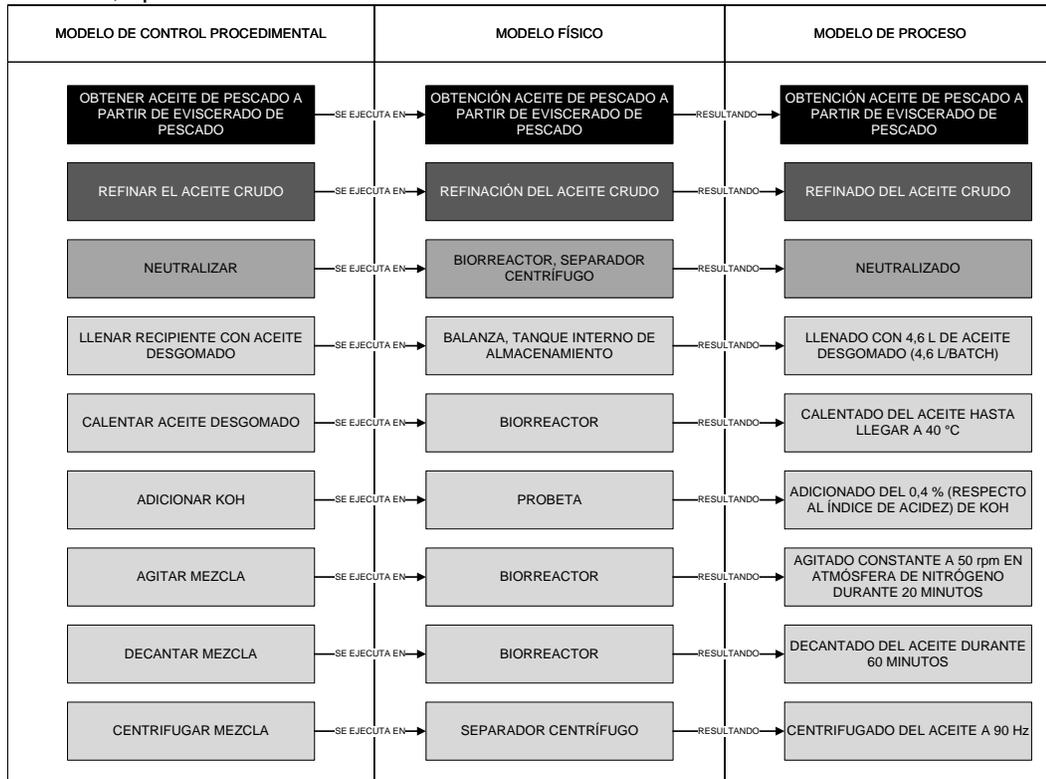
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 42: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desgomar”.



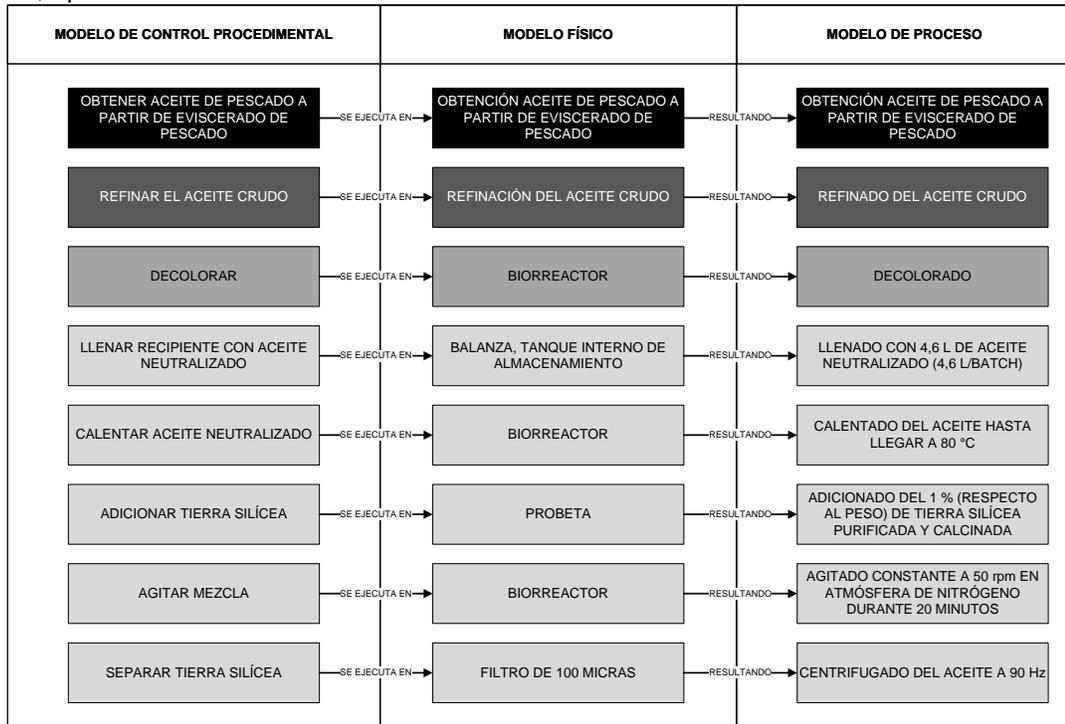
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 43: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “neutralizar”.



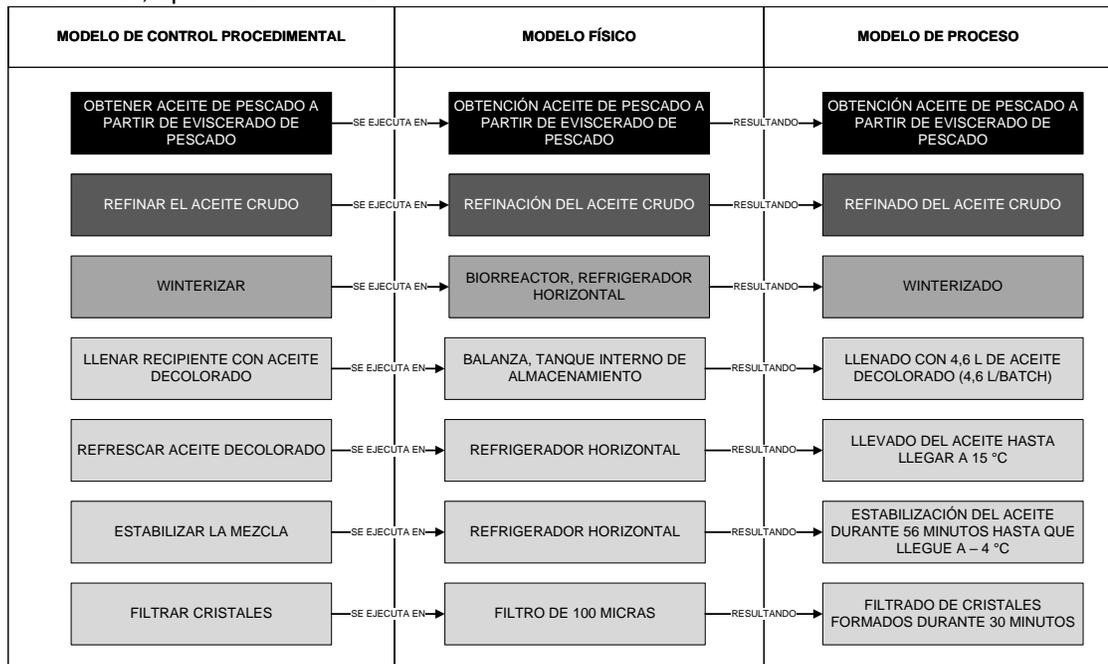
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 44: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “decolorar”.



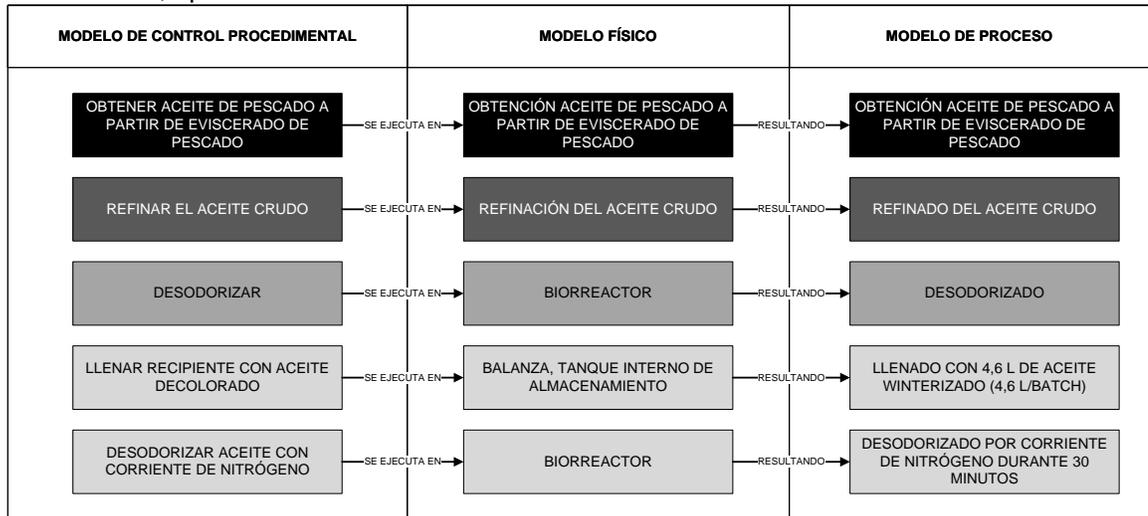
Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 45: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “winterizar”.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

Figura 46: relación entre los tres modelos ISA - S88.01, procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, operación “desodorizar”.



Fuente: elaboración propia, octubre de 2016.

5. ANEXO E: VIABILIDAD AMBIENTAL

Teniendo en cuenta los objetivos y las actividades que se desarrollarían en la línea de producción de la planta productora de aceite de pescado y los desechos que esta generaría, se debería tener en cuenta la siguiente normatividad:

5.1. Decreto 4741 de 2005

“Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral” [24]. Este tiene como objetivo prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de estos generados por las diferentes industrias, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente, su alcance aplica en el territorio nacional y va dirigido a personas que los generen, los gestionen o los manejen.

5.2. Resolución 601 de 2006

Esta resolución determina las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general de la calidad del aire o nivel de inmisión; con el objetivo de garantizar un ambiente sano y así minimizar los riesgos sobre la salud humana, causados por la concentración de contaminantes en el aire. Para lograrlo, la resolución fija condiciones de referencia, en la cual se establecen: niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera, procedimientos para la medición de la calidad del aire, programas para la reducción de la contaminación del aire y niveles de prevención tales como: alerta, emergencia y medidas generales para su mitigación [25].

Para dar cumplimiento, se debe tener en cuenta el tipo de actividad desarrollada por la empresa, por lo cual las autoridades ambientales competentes deberán realizar las mediciones necesarias, identificando las sustancias contaminantes generadoras de olores ofensivos emitidas por la industria. En Colombia, se tiene la adaptación de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme [26], la cual especifica los contaminantes no convencionales que generaría el procesamiento de pescado y sus derivados. Por tanto, las autoridades ambientales realizarán las mediciones de los contaminantes, de acuerdo con los procedimientos, frecuencias y metodologías establecidas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [27].

Por otra parte, en caso de presentarse violación a las disposiciones ambientales contempladas en la resolución, las autoridades ambientales impondrán las medidas preventivas y sanciones previstas en el artículo 85 de la Ley 99 de 1993 y sus disposiciones reglamentarias vigentes [28].

5.3. Resolución 909 de 2008

En esta, se establecen normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, para lo cual adopta los procedimientos de medición de emisiones y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias. Esta, aplica a todas las actividades industriales, a los equipos de combustión externa, a instalaciones

de incineración, hornos crematorios y establecimientos de comercio y servicio en lo relacionado a control de emisiones molestas [29].

Por otra parte, para dar cumplimiento con los estándares de emisión que son aplicables a toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera, establece que las industrias deben contar con un sistema de extracción ducto o chimenea, cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de estos al aire; además, deben contar con puertos de muestreo que permitan realizar la medición directa y demostrar el cumplimiento normativo. Por otro lado, para aquellas actividades en las cuales la ubicación del punto de descarga, imposibilite la medición directa debido a condiciones físicas de la fuente (inclinación, área superficial, seguridad de acceso), podrán estimar los factores de emisión haciendo uso de balances de masa o por medio de la utilización de factores de medición de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, de acuerdo a lo establecido en el artículo 110 del Decreto 948 de 1995 [30].

5.4. Decreto 3930 de 2010

Dado que la Constitución Política de Colombia de 1991, en los artículos 79 y 80, establece que es deber del estado proteger, preservar y fomentar la educación ambiental, garantizando el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano. Por tal motivo, este decreto, reglamenta los usos del agua y vertimiento de residuos líquidos en el cual se prohíbe: la inyección de estos a un acuífero, la utilización de aguas del acueducto público o privado y las de almacenamiento de aguas lluvias; con el propósito de diluir los vertimientos antes de la descarga al cuerpo receptor, se permite la infiltración de residuos líquidos siempre y cuando no se afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones que impidan los usos actuales o potenciales; además, establece que para la disposición de sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de contaminación ambiental u otras fuentes de contaminación, deberán cumplir con las normas legales en materia de residuos sólidos, de lo contrario no podrán disponerse en cuerpos de aguas: superficiales, subterráneas, marinas, de estuarios o de sistemas de alcantarillado [31]. En la Tabla 13 Tabla 13: parámetros normativos para vertimientos a cuerpos de agua. se especifica los parámetros que deben cumplir los vertimientos a un cuerpo de agua.

Tabla 13: parámetros normativos para vertimientos a cuerpos de agua.

Referencia	Usuario existente	Usuario nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40 °C	< 40 °C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente: tomada del Decreto 1594 de 1984, artículo 72 de las normas ambientales [32], octubre de 2016.

Según este decreto, los usuarios que no dispongan de un área apropiada para la construcción del sistema de control de contaminación y que no puedan cumplir con las

normas de vertimiento, deberán reubicar sus instalaciones, a menos que estos usuarios demuestren mediante un estudio de efecto ambiental o de impacto ambiental, de acuerdo con los términos de referencia establecidos por la EMAR (Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso) y el Ministerio de Salud que la actividad que se realiza no representa riesgo para la salud ni para los recursos naturales. Por otro lado, las personas naturales o jurídicas que recolecten, transporten y dispongan residuos líquidos provenientes de terceros, deberán cumplir con las normas de vertimiento y obtener el permiso correspondiente, no obstante, el generador de los residuos líquidos no quedará eximido de la presente disposición y deberá responder con las personas naturales o jurídicas que efectúen las acciones referidas, para esto el Ministerio de Salud y el EMAR fijarán al usuario, en cada caso, los requisitos y condiciones necesarios para la obtención del respectivo permiso de vertimiento [32].

5.5. Decreto 1220 de 2005

La licencia ambiental, es la autorización otorgada por la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, con la cual se previene el deterioro grave a los recursos naturales renovables, al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; sujeta a esta autorización, se encuentra el cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto. Esta licencia, deberá obtenerse previamente a la iniciación del proyecto, la cual se otorgará por la vida útil del proyecto y cobijará las fases de construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, abandono y/o terminación [33].

5.6. Conclusiones y recomendaciones de la viabilidad ambiental

De lo mencionado anteriormente, el plan de manejo ambiental, el cual, a pesar de no ser un requisito legal o normativo, se recomienda su realización para acercar a los productores, investigadores y demás actores a una responsabilidad ambiental no impositiva. Este documento, se compone de tres partes: la primera introducción, objetivos y descripción de los sitios intervenidos; la segunda descripción detallada del proceso productivo, maquinaria y equipos, generalidades técnicas y presupuesto, con lo cual se explican los distintos procesos a realizar y se muestran las posibles implicaciones ambientales y finalmente, aspectos ambientales, demanda, tipos de residuos, evaluación del impacto y fichas manejo, para llevar a cabo las acciones necesarias y mejorar la condición de los recursos naturales utilizados y aledaños a las áreas de influencia del proyecto. El objetivo de este documento, es brindar a las autoridades competentes, usuarios y personal vinculado a la planta de obtención de aceite de pescado, una orientación y consulta de: actividades productivas, identificación de elementos del medio ambiente (bióticos, abióticos y sociales), estimación de posibles impactos ambientales, implementación de acciones correctivas y mitigantes, planes de contingencia y prevención de riesgos.

Se concluye que para este tipo de proceso industrial no se requiere la solicitud de la licencia ambiental, puesto que la actividad productiva no está dentro de proyectos, obras y actividades sujetos a licencia ambiental, enumeradas en los artículos 8º y 9º del Decreto

1220, pero si se requiere solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente el respectivo permiso de vertimientos como se menciona en el capítulo VII del Decreto 3930.

Se recomienda, sintetizar las medidas de seguimiento y monitoreo ambiental partiendo del análisis de los efectos ambientales por el desarrollo y operación del proyecto.

Se recomienda, tomar acciones para: prevenir, reducir, controlar y/o mitigar el impacto que se generan por el desarrollo de las actividades del proyecto. Para ello hacer un estudio detallado del terreno y su entorno dónde se construirá la planta, hacer un estudio completo de la demanda ambiental y diseño del sistema de tratamiento de agua (PTAR).

6. ANEXO F: CÁLCULO DE VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN PARA EL POAP – EI

Para los volúmenes de producción se debe tener en cuenta la ecuación (3):

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

Dónde, v volumen de la sustancia, m masa y ρ densidad.

Del estudio de variables se tiene que las concentraciones de los insumos se mantienen constantes entre las escalas, por lo tanto, estas se mantendrán de igual manera en nueva escala. Sin embargo, para hallar los valores de los volúmenes de producción es necesario calcular primero los valores máscicos o volumétricos de los insumos que intervienen en el proceso.

6.1. Etapa de extracción de aceite crudo

En esta etapa los insumos que intervienen son: vísceras de pescado, BHT y ácido Fórmico. Para el caso de las vísceras se sabe que el valor máscico es de 428 kg, ya que es el máximo valor que producen los piscicultores de Silvia (Cauca), aunque cabe aclarar que este valor se logra en un acopio de la materia prima que tarda aproximadamente 3 días en reunirse, luego de esto se procede a calcular los valores de BHT y el ácido Fórmico, aclarando que estos insumos se utilizan en la operación “*preparado del ensilado*” de esta etapa.

6.1.1. Volumen de ácido Fórmico

Este volumen se calcula haciendo uso de la ecuación porcentaje masa – volumen (ver ecuación (4)), para este insumo los investigadores han determinado que el valor de concentración del ácido Fórmico en las vísceras debe ser de 2,5% (m/v, masa – volumen).

$$\% \text{ masa/volumen} = \frac{\text{masa de soluto [g]}}{\text{volumen del solución [mL]}} \times 100 = \frac{m_{af}}{v_{af} + v_v} \times 100 \quad (4)$$

Dónde, $\% \text{ masa/volumen}$ es la concentración porcentual, donde la *masa del soluto* será la masa de ácido Fórmico (m_{af}) y el *volumen de la solución* será la suma del volumen de ácido Fórmico y de las vísceras, v_{af} y v_v respectivamente. Ahora se despeja v_{af} , para esto se debe tener en cuenta que se está trabajando con un volumen extra (v_v) y una masa desconocida (m_{af}), pero estos pueden ser fácilmente hallados usando (3), con lo que v_{af} sería igual a (ver ecuación (5)):

$$\begin{aligned} \% \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} &= \frac{m_{af}}{v_{af} + v_v} \times 100 \\ m_{af} &= \frac{\% \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \times (v_{af} + v_v)}{100} \\ v_{af} \times \rho_{af} &= \left(v_{af} + \frac{m_v}{\rho_v} \right) \times \frac{\% \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}}{100} \end{aligned} \quad (5)$$

$$v_{af} \left(\rho_{af} - \frac{\% \text{ masa}}{\text{volumen}} \right) = \frac{m_v}{\rho_v} \chi \frac{\% \text{ masa}}{100}$$

$$v_{af} = \frac{\frac{m_v}{\rho_v} \chi \frac{\% \text{ masa}}{100}}{\left(\rho_{af} - \frac{\% \text{ masa}}{100} \right)}$$

Ahora se reemplaza en (5) los valores de concentración, la masa de vísceras, la densidad de las vísceras (ρ_v) y la densidad del ácido Fórmico (ρ_{af}) (la cual debe pasarse a gramos y para el caso de los volúmenes deben ser pasados a mililitros) para así obtener (6):

$$v_{af} = \frac{\frac{428000 \text{ g}}{1,09 \frac{\text{g}}{\text{mL}}} \chi \frac{0,025 \frac{\text{g}}{100}}{\text{mL}}}{\left(1,22 \frac{\text{g}}{\text{mL}} - \frac{0,025 \frac{\text{g}}{100}}{\text{mL}} \right)} = 80,48 \text{ mL} \cong 0,1 \text{ L} \quad (6)$$

Finalmente se obtiene que la cantidad de ácido Fórmico que se debe agregar a las vísceras es de 80,48 mL.

Dadas las condiciones, de ingreso de la materia prima (vísceras de pescado en proceso de hidrólisis avanzado de 3 o 4 días) a la planta de producción, el ácido Fórmico no es necesario para llevar a cabo la operación de preparación del ensilado, sin embargo, se deja planteado el cálculo de la cantidad necesaria de este insumo en caso de que se llegue requerir en algún momento de la operación, es decir, que las vísceras no lleguen con ninguna adición de ácido Fórmico.

Por otra parte, el grupo de investigación debe tener en cuenta que los piscicultores agreguen efectivamente solo el 2,5% m/v de ácido Fórmico a las vísceras, lo cual tiene que ser monitoreado, debido a que, si la concentración se altera el ensilado se echará a perder.

6.1.2. Masa de BHT

En la escala a nivel de laboratorio se adiciona 1000 ppm (partes por millón) respecto a la cantidad de vísceras de pescado, partiendo del hecho de que 10.000 ppm = 1%, entonces 1000 ppm serán 0,1%. Dicho lo anterior, la masa de BHT (m_{BHT}) se obtendrá de la siguiente forma, ver ecuación (7):

$$m_{BHT} = m_v \chi \%_{BHT} \quad (7)$$

Dónde, m_v es la masa de vísceras y $\%_{BHT}$ es el porcentaje de BHT a agregar, ahora se debe reemplazar en (7) los valores, ver ecuación (8):

$$m_{BHT} = 428 \text{ kg} \times 0,1 \% = 0,428 \text{ kg} = 428 \text{ g} \quad (8)$$

Si se desea saber cuál es el volumen de BHT (v_{BHT}) que se debe agregar, entonces se reemplaza en (3) el valor de m_{BHT} y el valor de su densidad (ρ_{BHT}), ver ecuación (9):

$$v_{BHT} = \frac{m_{BHT}}{\rho_{BHT}} = \frac{0,428 \text{ kg}}{1,05 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 0,4076 \text{ L} \cong 0,4 \text{ L} \quad (9)$$

Finalmente, en el POAP – EI se deberán adicionar 428 g de antioxidante (BHT).

6.2. Etapa de refinación del aceite crudo

En esta etapa los insumos que intervienen son: aceite crudo, aceite desgomado, aceite neutralizado, aceite decolorado, aceite desgomado, ácido Fosfórico, KOH y tierra silíceo. A continuación, se calcula el valor del aceite crudo (proveniente de la etapa de extracción de aceite crudo), ver ecuación (10):

$$AC = v_v \times \%_{\text{sólidos}} \times \%_{\text{aceite}} \times \%_{\text{extracción}} \quad (10)$$

Dónde, AC representa el aceite crudo total, $\%_{\text{sólidos}}$ representa el porcentaje de sólidos presente por cada kilogramo de vísceras (40 %), $\%_{\text{aceite}}$ representa el porcentaje de aceite presente por kilogramo de sólidos (67 %) y $\%_{\text{extracción}}$ representa el porcentaje de aceite que se pretende extraer por medio de una extracción mecánica en el POAP – EI (se pretende extraer el 80% del aceite presente en las vísceras), al multiplicar los tres porcentajes con el volumen de vísceras se obtiene, ver ecuación (11):

$$AC = 393 \text{ L} \times 0,4 \times 0,67 \times 0,8 = 84,186 \text{ L} \cong 84 \text{ L} \quad (11)$$

Como ya se tiene la cantidad en litros de aceite crudo que se extrae de la etapa de extracción, se estima la cantidad de este presente en cada operación de la etapa de refinación, para esto se debe considerar que, del estudio realizado por los investigadores en las anteriores escalas, el cual arrojó como resultado que el aceite cada vez que entra a una operación (excluyendo la de desodorizado) pierde el 10% de su contenido. Para entender mejor esto se plantean las ecuaciones (12) a (15):

$$A_D = AC \quad (12)$$

$$A_N = A_D (1 - 10\%) \quad (13)$$

$$A_B = A_N (1 - 10\%) \quad (14)$$

$$A_{DES} = A_B \quad (15)$$

Dónde, A_D corresponde al aceite desgomado, A_N corresponde al aceite neutralizado, A_B corresponde al aceite decolorado o blanqueado y A_{DES} corresponde al aceite desodorizado. A continuación, se listan los valores aproximados del aceite en cada operación de la etapa de refinación del aceite crudo, ver Tabla 14:

Tabla 14: cantidad de aceite en cada operación del POAP – EI.

Tipo de aceite	Cantidad		Unidad
	Entrada	Salida	
Desgomado	84	76	L
Neutralizado	76	68	L
Decolorado	68	61	L
Desodorizado	61	61	L

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Con el insumo principal de las operaciones de la etapa de refinación de aceite crudo, se procede a calcular las cantidades de los demás insumos: ácido Fosfórico, KOH y tierra silíceo. Se aclara que estos insumos se utilizan de la siguiente forma: ácido Fosfórico en la operación de “desgomado”, KOH en la operación de “neutralizado” y tierra silíceo en la operación de “decolorado”.

6.2.1. Volumen de ácido Fosfórico

La concentración de ácido Fosfórico que se agregó en las escalas anteriores del POAP fue de 0,5 % (p/p, peso – peso), por lo tanto, este volumen se calcula con la ecuación de porcentaje peso – peso, ver ecuación (16):

$$\% \text{ peso/peso} = \frac{\text{masa de soluto [g]}}{\text{masa del solvente [g]}} \times 100 = \frac{m_{AFOS}}{m_{AC}} \times 100 \quad (16)$$

Dónde, %peso/peso es la concentración porcentual peso – peso, m_{AFOS} es la masa de ácido Fosfórico y m_{AC} es la masa de aceite crudo. La incógnita de (16) es m_{AFOS} por lo tanto se despejará, así se obtiene la ecuación (17):

$$m_{AFOS} = m_{AC} \times \frac{1}{100} \times \% \frac{p}{p} \quad (17)$$

Ahora de (17) se obtiene el valor de la masa, pero lo que se quiere es obtener el volumen de ácido Fosfórico, por lo tanto, de (3) se despeja la masa y se obtiene el volumen y esto se reemplaza en la ecuación (18):

$$\rho_{AFOS} \times v_{AFOS} = \rho_{AC} \times v_{AC} \times \frac{1}{100} \times \% \frac{p}{p} \quad (18)$$

Dónde, ρ_{AFOS} es la densidad del ácido Fosfórico, v_{AFOS} es el volumen de ácido Fosfórico y ρ_{AC} es la densidad del aceite crudo. ahora simplemente de debe despejar v_{AFOS} y reemplazar en (18) el resto de valores, ver ecuación (19):

$$v_{AFOS} = \frac{\rho_{AC}}{\rho_{AFOS}} \times v_{AC} \times \frac{1}{100} \times \% \frac{p}{p} \quad (19)$$

$$v_{AFOS} = \frac{0,915 \frac{g}{mL}}{1,88 \frac{g}{mL}} \times 84000 \text{ mL} \times \frac{1}{100} \times 0,5\% = 20,44 \text{ mL}$$

Finalmente se obtiene que el volumen total de ácido Fosfórico a agregar al aceite crudo en la operación de desgomado debe ser de aproximadamente 20,44 mL.

6.2.2. Masa de KOH

La concentración de KOH que se agregó en las escalas anteriores del POAP fue de 20 % (p/p, peso – peso), por lo tanto, este volumen se calcula con la ecuación de porcentaje peso – peso, ahora modificando (17) se obtiene la ecuación (20):

$$m_{KOH} = m_{AN} \times \frac{1}{100} \times \% \frac{p}{p} \quad (20)$$

Dónde, m_{KOH} es la masa de KOH, m_{AN} es la masa de aceite neutralizado. Es necesario reemplazar m_{AN} y esto sale de (3), con esto se reemplazan los valores de densidad y volumen de aceite neutralizado (ρ_{AN} y v_{AN} , respectivamente) en (20) para obtener el valor de la m_{KOH} , ver ecuación (21):

$$m_{KOH} = \rho_{AN} \times v_{AN} \times \frac{1}{100} \times \% \frac{p}{p} \quad (21)$$

$$m_{KOH} = 0,915 \frac{g}{mL} \times 76000 \text{ mL} \times \frac{1}{100} \times 20\% = 139,08 \text{ g} \cong 139 \text{ g}$$

Finalmente, se requieren aproximadamente 139 g de KOH para agregar al aceite desgomado en la operación de neutralizado del POAP – EI.

6.2.3. Masa de tierra sílicea

La concentración de tierra sílicea que se agregó en las escalas anteriores del POAP fue de 1 % pero esta es respecto a la masa del aceite, para encontrar el valor se modifica (7), obteniendo así la ecuación (22):

$$m_{TS} = m_{AB} \times \%_{TS} \quad (22)$$

Dónde, m_{TS} es la masa de tierra sílicea, m_{AB} es la masa de aceite blanqueado o decolorado y $\%_{TS}$ es el porcentaje de tierra sílicea a agregar. Debido a que m_{AB} no se tiene calculado, se recurre a (3) y a partir de esta se despeja m_{AB} y después se reemplaza en (22) para así obtener la ecuación (23):

$$m_{TS} = \rho_{AB} \times v_{AB} \times \%_{TS} \quad (23)$$

Ahora se reemplazan los valores de la densidad del aceite decolorado (ρ_{AB}) y del volumen de aceite decolorado (v_{AB} , se obtiene de la Tabla 14), así se obtiene el valor de m_{TS} , ver ecuación (24):

$$m_{TS} = 0,915 \frac{kg}{L} \times 68 \text{ L} \times 1\% = 0,6222 \text{ kg} = 622,2 \text{ g} \quad (24)$$

La cantidad de tierra sílicea que se debe utilizar en la operación “decolorado” del POAP – EI será de aproximadamente 622,2 g.

6.3. Resumen de los flujos de alimentación y producción del POAP – EI

Finalmente, toda la información obtenida de los volúmenes de producción del POAP – EI se consigna en la Tabla 15, indicando flujos de alimentación y producción de cada operación del POAP – EI, el volumen de material y el tiempo de operación por lote.

Tabla 15: unidad productiva para operaciones del POAP – EI.

Operación	Entrada			Vol [L]	t [min]	Salida		
	Material	Val.	Und.			Material	Val	Und.
Preparado del ensilado	Vísceras*	428	kg/lote	393	8687 ¹	Ensilado	393	L/lote
	Ácido Fórmico*	0,1	L/lote	0,1				
	BHT	0,43	kg/lote	0,4				
Extracción de aceite crudo	--	--	--	--	37	Aceite crudo	84	L/lote
	--	--	--	--		Proteína	--	kg/lote
	--	--	--	--		Agua	--	L/lote
Desgomado	Aceite crudo	84	L/lote	84	160	Aceite desgomado	76	L/lote
	Ácido Fosfórico	0,02	L/lote	0,02		Gomas	--	--
Neutralizado	Aceite desgomado	77	L/lote	77	135	Aceite neutro	68	L/lote
	KOH	0,14	kg/lote	0,1		Jabón	--	--
Decolorado	Aceite neutralizado	68	L/lote	68	135	Aceite decolorado	61	L/lote
	Tierra silíceas	0,62	kg/lote	2		Color	--	--
						Tierra silíceas	0,6	kg/lote
Desodorizado	Aceite decolorado	61	L/lote	61	120	Aceite refinado	61	L/lote
						Olor	--	--

Algunos insumos presentan un * debido a que no se sabe si se tendrán a la entrada del proceso, ya que los investigadores han comunicado que desde las piscifactorías llega ensilado de pescado (vísceras) con adición de ácido Fórmico y este a su vez llega entre 3 y 4 días del tiempo de hidrólisis, lo que dependiendo del día disminuirá el tiempo de hidrólisis.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

¹ Este tiempo consiente el tiempo de hidrólisis, por eso es tan elevado (6 días = 8640 minutos), los otros 47 minutos es lo que tardan el resto de las acciones en ejecutarse.

7. ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO DEL POAP – EI

Para llevar a cabo este dimensionamiento es necesario apoyarse en dos pasos del procedimiento de escalamiento PEIPP:

- **Análisis de variables del proceso productivo:** en este paso se determinan las operaciones críticas del proceso y para cada una de ellas se describe: a) el funcionamiento del equipo donde se ejecuta la operación, b) se identifica el fenómeno fisicoquímico asociado a la operación y finalmente c) definir el modelo fisicomatemático con relaciones para la operación.
- **Cálculo de la unidad productiva de las operaciones:** en este paso se parte de la operación final del proceso y luego, pero hacia atrás se definen los flujos de alimentación y producción de cada una de las operaciones de la nueva escala, con el fin de determinar los requerimientos de producción por operación. Sin embargo, antes de realizar esto, en este paso, se debe determinar el modo de trabajo (batch o continuo) y tiempos de ejecución de la operación de cada etapa en la nueva escala.

7.1. Análisis de variables del proceso productivo POAP – EI

Teniendo en cuenta el procedimiento de escalamiento PEIPP se aplican tres pasos los cuales conducen a realizar el estudio de las variables principales del proceso a un cambio en la escala productiva, esto con el fin de obtener los modelos fisicomatemáticos representativos de las operaciones más críticas del POAP – EI, los tres pasos son:

- I. Descripción del funcionamiento del equipo involucrado a la operación
- II. Identificación del tipo de fenómeno fisicomatemático asociado a la operación
- III. Definición de un modelo fisicomatemático asociado a la operación

En el caso del POAP – EI las operaciones críticas identificadas son: desgomado, neutralizado, decolorado y desodorizado.

7.1.1. Descripción del funcionamiento del equipo

Mediante los modelos ISA – S88.01 del POAP – EM se identifica que estas operaciones (desgomado, neutralizado, decolorado y desodorizado) se llevan a cabo en un biorreactor con el fin de retirar las gomas, jabones, color y olores presentes en el aceite crudo. El funcionamiento de este equipo involucra: un sensor de temperatura, un sistema de enfriamiento, una entrada y una salida de agua de calentamiento (sistema de control de temperatura), una bomba dosificadora de base y otra de ácido (sistema de control de pH), un sistema de agitación y por último un sistema de control de tiempo de proceso. Dicho lo anterior, el sistema de temperatura es el que mantiene el aceite crudo a 80 °C, el de agitación el que lo mantiene a una velocidad de 50 RPM y se estableció el tiempo de proceso de 30 min, todo esto se ejecutó en una atmósfera de nitrógeno de aproximadamente 1,5 atm.

7.1.2. Identificación del tipo de fenómeno fisicoquímico

El fenómeno que cabe resaltar aquí es el de transferencia de calor regulado por el sistema de control de temperatura, que consta de un serpentín por el que circula agua fría impulsada por una bomba sumergible, esto para recibir y retirar el calor del aceite y así facilitar su enfriamiento, y una chaqueta por la cual circula agua calentada previamente en un termostato a una temperatura aproximada de 65 °C, por lo anterior, el fenómeno que se presenta se define por la segunda ley de termodinámica que establece un flujo de calor unidireccional desde el cuerpo con mayor temperatura (agua a la chaqueta del reactor) hacia el de menor temperatura (chaqueta del reactor al aceite crudo), hasta llegar a un equilibrio térmico [34]. De los 3 mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) es la convección la que gobierna esta operación por la transferencia que se da a través del agua hacia la chaqueta del reactor y la que se da a través de la chaqueta hacia el aceite dentro del tanque del reactor, todo esto representa un movimiento masivo y este movimiento es generado por un baño termostatado el cual permite que el agua caliente recircule por la chaqueta del reactor y a su vez, de la chaqueta se transfiere el calor hacia el aceite. Por lo anterior y teniendo en cuenta que el agua caliente circula de manera paralela por la chaqueta del reactor y de la chaqueta al aceite se da de la misma manera, la operación se clasifica como un sistema de transferencia de calor por convección artificial o forzada [35].

7.1.3. Definición de un modelo fisicomatemático

Para el caso de los reactores y en particular los procesos de transferencia por convección artificial o forzada, en la literatura se propone una serie de modelos matemáticos [34], [35]; sin embargo, dado que el proceso por su naturaleza no se justifica el planteamiento de expresiones matemáticas complejas para el cálculo de las nuevas variables, esto debido a que en el POAP – EI, no hay cambios en las variables como la temperatura, presión, entre otras. Por otra parte, teniendo en cuenta que el factor de escala visto desde la etapa de refinación es de 1:13 puede llegar a presentarse una no linealidad considerable, se realizan cálculos y análisis enfocados a las variaciones en las expresiones geométricas para alcanzar la capacidad de producción deseada.

En lugar de proponer funciones físico-teóricas o modelos físico-teóricos detallados de la planta en la nueva escala, los autores estudiarán los cambios presentes en las variables del proceso, teniendo en cuenta que algunas de estas permanecen constantes. Por otra parte, debido al aumento del volumen de producción deseado, la variable tiempo será modificada al igual que algunos parámetros geométricos de la planta (análisis de capacidad de los equipos para refinar un lote diario de 84 L de aceite curdo); para ello, en esta sección, se utilizará una serie de relaciones empíricas propuestas por diversos autores en la literatura [36]–[38], relacionadas a las variables: velocidades de agitación, tiempo de permanencia en el tanque reactor, tiempo de llenado del tanque en el reactor y tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento y reactor, las cuales se definen de la siguiente manera:

Velocidades de agitación

Esta variable no solo afecta a la etapa de refinación de aceite crudo, también afecta la etapa de extracción del aceite, debido a que se pretende que la última sea semiautomática, lo que significa que se le agregarán los insumos manualmente, pero la mezcla de los componentes en el tranque de preparación del ensilado se hará por medio de un motor con agitador para homogeneizar la mezcla. Esta homogeneización también se lleva a cabo en la etapa de refinación del aceite crudo, por eso es necesario calcular esta velocidad de manera teórica eligiendo el tipo de agitador.

Para fluidos que no presentan alta viscosidad, se utilizan agitadores de pala, estos agitadores giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 RPM aproximadamente [36], [37]. Útiles para mezclas simples, se utilizan generalmente dos o cuatro palas. Las palas son totalmente verticales, aunque en algunos casos pueden presentar ángulos de inclinación pequeños (no debe sobrepasar los 90°). Estos agitadores trabajan eficientemente a velocidades bajas, ya que así generan una agitación suave en tanques sin placas deflectoras, en caso de que se presenten velocidades altas, se hacen necesarias las placas deflectoras o baffles, de lo contrario no se presentará ninguna mezcla en el tanque, ya que se generarán vórtices y poca mezcla [36], [37]. El diámetro de las palas comprende entre 50 – 80 % del diámetro interior del tanque y el ancho de la pala es de 1/6 – 1/10 de la longitud del tanque [36], [37].

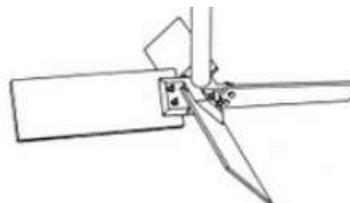
Finalmente, para el caso del POAP – El se elige un agitador con 4 palas inclinadas 45 °, y la velocidad de agitación apenas será de 60 RPM, de esta manera también se evita la selección de placas deflectoras para el tanque o el reactor, lo que indirectamente disminuye los costos del proyecto. A continuación, se listan las características del agitador y se muestra el agitador, ver Tabla 16 y Figura 47:

Tabla 16 : características del agitador.

Descripción	4 palas inclinadas 45 °
Campo de flujo generado	Radial
Régimen alcanzado	Laminar / De transición / Turbulento
Viscosidad del medio	Hasta 100 Pa•s
Velocidad máxima de agitación	60 RPM

Fuente: adaptada de [37], febrero de 2017.

Figura 47: agitador de 4 palas inclinadas.



Fuente: tomada de [37], febrero de 2017.

Tiempo de permanencia en el tanque reactor

Esta variable debe calcularse, ya que es importante saber cuánto tiempo debe permanecer el aceite en cualquiera de las operaciones del POAP – EI, para esto se utiliza la correlación de Norwood y Metzner [38], esta estima la relación entre el sistema anterior (escala de laboratorio o una escala piloto) y la escala a la que se quiere llegar (industrial), ver ecuación (25):

$$\frac{t_S (N_S D_{AS}^2)^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{6}} D_{AS}^{\frac{1}{2}}}{H_S^{\frac{1}{2}} \cdot D_{TS}^{\frac{3}{2}}} = \frac{t_L (N_L D_{AL}^2)^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{6}} D_{AL}^{\frac{1}{2}}}{H_L^{\frac{1}{2}} \cdot D_{TL}^{\frac{3}{2}}} \quad (25)$$

Dónde:

L: escala industrial o escala mayor.

S: escala de laboratorio o escala menor.

N: revoluciones de agitación [**rpm**].

g: gravedad del sistema [**m/s²**].

D_A: diámetro del agitador [**m**]*.

D_T: diámetro del tanque [**m**]*.

H: altura del tanque [**m**]².

t: tiempo de permanencia del fluido en el tanque [**min**].

De (25) se despeja el t_L para obtener el tiempo de residencia del aceite en el reactor, ver ecuación (26):

$$t_L = \frac{\left[H_L^{\frac{1}{2}} \cdot D_{TL}^{\frac{3}{2}} \right] \left[t_S (N_S D_{AS}^2)^{\frac{2}{3}} D_{AS}^{\frac{1}{2}} \right]}{\left[(N_L D_{AL}^2)^{\frac{2}{3}} D_{AL}^{\frac{1}{2}} \right] \left[H_S^{\frac{1}{2}} \cdot D_{TS}^{\frac{3}{2}} \right]} \quad (26)$$

En la anterior ecuación se desprecia la gravedad, esto se debe a que es un término semejante en ambas igualdades. Finalmente, con (26) se calculará los tiempos de residencia del aceite en todas las operaciones de la etapa de refinación del aceite crudo, específicamente en las acciones “desgomar aceite crudo”, “neutralizar aceite desgomado”, “decolorar aceite neutralizado” y “desodorizar aceite decolorado”.

Tiempo de llenado del tanque reactor

Para estimar el tiempo de llenado del reactor es necesario estimar el caudal de entrada del sistema, la velocidad de llenado de tanque y el área transversal de la tubería, ver ecuación (27):

$$Q = A \cdot v \quad (27)$$

² Los datos marcados con *, altura del tanque, diámetro del agitador, diámetro del tanque, se tomaron del ANEXO H.

Dónde, Q caudal de entrada del sistema, A área que atraviesa el fluido, en este caso el área de la tubería en m^2 y v velocidad promedio en m/s . Pero para calcular el área transversal se requiere tener, ver ecuación (28):

$$A = \pi r_{tubería}^2 \quad (28)$$

Dónde, $r_{tubería}$ es el radio de la tubería en $[m]$. Todos estos valores se encuentran consignados en tablas, solo se debe elegir el diámetro de la tubería e ir a la tabla y buscar los valores correspondientes a ese diámetro, debido a que estos valores se dan en pulgadas o en milímetros, de debe hacer una conversión simple.

Una vez obtenido el caudal del sistema, se procede a calcular el tiempo de llenado del tanque reactor, esto con la ecuación (29):

$$t_L = \frac{V}{Q} \quad (29)$$

Dónde, t_L es el tiempo de llenado del tanque y V es el volumen que se llenará en el tanque.

Tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento y reactor

Para estimar este tiempo solo se debe utilizar la ecuación de vaciado de depósitos, ver ecuación (30):

$$t_v = \frac{S_1}{S_2} \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (30)$$

Dónde, t_v es el tiempo de vaciado en $[s]$, S_1 es el área tanque donde está almacenado el fluido en $[m]$ y S_2 es el área del orificio por donde debe salir el fluido en $[m]$.

7.2. Cálculo de la unidad productiva de las operaciones del POAP – EI

7.2.1. Determinación de modos y tiempos de operación

Determinación de los modos de operación de la línea

Teniendo en cuenta que la planta del POAP – EI trabajará en jornadas de 8 horas, se toma como base una aproximación del PFD del POAP – EI, el cual involucra las etapas de extracción de aceite crudo que a su vez se compone por 2 operaciones de proceso preparado del ensilado y extracción del aceite del ensilado; y la refinación del aceite de pescado coformada por 4 operaciones de proceso: desgomado, neutralizado, decolorado y desodorizado, ver capítulo 4 sección 4.2.3.

A modo de resumen, se organiza la información en la Tabla 17 indicando el modo de operación, el tamaño del lote y el nivel de automatización de cada operación.

Tabla 17: modos de operación del POAP – EI.

Etapa	Operación	Modo de operación	Tamaño del lote	Nivel de automatización
Extracción de aceite crudo	Preparado del ensilado	Batch	Grande	Semiautomático
	Extracción del aceite del ensilado	Batch	Grande	Semiautomático
Refinado del aceite crudo	Desgomado	Batch	Pequeño	Semiautomático
	Neutralizado	Batch	Pequeño	Semiautomático
	Decolorado	Batch	Pequeño	Semiautomático
	Desodorizado	Batch	Pequeño	Semiautomático

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Distribución de tiempos de operación

Los tiempos de producción se calcularán como ya se mencionó anteriormente para una jornada laboral de 8 horas por día, que corresponden a la suma de los tiempos en la etapa de refinado del aceite crudo más el tiempo de vaciado del tanque de preparación del ensilado en la etapa de extracción del aceite crudo, debido a que esta tiene un tiempo de 6 días (tiempo de hidrólisis), tiempo calculado experimentalmente por el grupo de investigación ASUBAGROIN que es equivalente al tiempo que tarda en generarse el ensilado de pescado por tanto no se puede modificar este tiempo.

Para los tiempos de proceso en la etapa de refinado se realizará un acople debido a las características intrínsecas del proceso y de los equipos, los tiempos de llenado del equipo posterior corresponden a los tiempos de vaciado del equipo de la operación en proceso, que es equivalente al tiempo de permanencia de la materia prima en el separador centrífugo, dicha relación se muestra a continuación, ver ecuación (31):

$$t_{lE2} = t_{vE1} = t_{ps} \quad (31)$$

Dónde, t_{lE2} es el tiempo de llenado del equipo de la etapa posterior, t_{vE1} es el tiempo de vaciado del equipo que está funcionando en la operación y t_{ps} es el tiempo de permanencia del aceite en el separador.

Por otra parte, el tiempo total de las operaciones Desgomado, Neutralizado y Decolorado está dado por la siguiente expresión, ver ecuación (32):

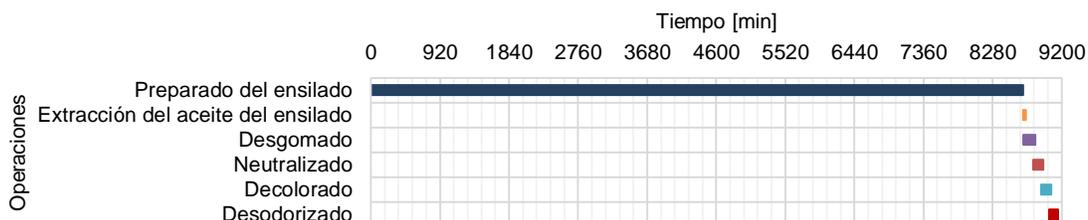
$$t_o = t_l + t_{ps} + t_{pr} \quad (32)$$

Dónde, t_o es el tiempo por cada operación, t_l es el tiempo de llenado del reactor en una operación, t_{pr} es el tiempo de permanencia del aceite en el reactor.

La siguiente distribución de tiempos para el POAP – EI se realizó teniendo como objetivo principal que toda la línea de producción, a partir de la acción “llenar vísceras” de la operación “preparado del ensilado, fuera manipulada por un solo operario, además, con la

información obtenida del análisis de los modos de operación de la línea de producción (ver Tabla 17), se logró llegar a la distribución representada por el diagrama de Gantt de la Figura 48, para una jornada aproximada de 8 horas, se excluye la operación de “preparado del ensilado, ya que esta requiere de 6 días.

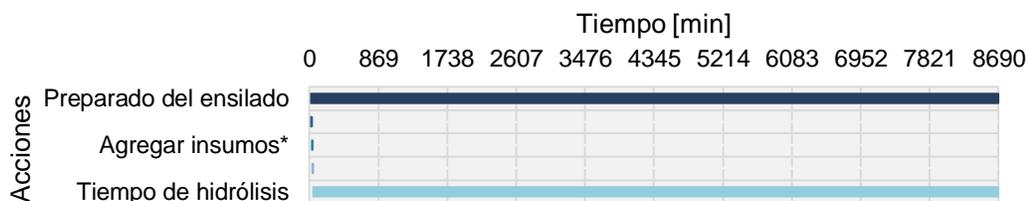
Figura 48: distribución de tiempo por operaciones del POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

De acuerdo a la Tabla 17, la operación de “preparado del ensilado” queda configurada para producir un lote por jornada, correspondiente a la cantidad de ensilado que se utilizará en la “extracción del aceite” (ver Figura 48). Esta operación está conformada por 4 operaciones: primero “llenar vísceras” que involucra un operario quien vacía el ensilado que llega de las piscifactorías en la cisterna de ensilado que posteriormente por medio de una motobomba se llene el tanque de almacenamiento del ensilado, para esta acción se calculó una duración de 32 minutos. La segunda “llenar insumos” que involucra un solo operario debido a que no se manejan grandes cantidades de insumos (ácido Fórmico y BHT), para esta acción se estima una duración de 5 minutos. Luego, la tercera acción “mezclar componentes” la cual permite realizar el mezclado homogéneo de las vísceras con los insumos, esta acción no requiere de ningún operario y se asigna una duración de 10 minutos. Finalmente, la cuarta acción, “hidrolizar mezcla” la cual no requiere operario, ya que consiste en dejar el ensilado en reposo durante 6 días que es el tiempo máximo que debe tardar la hidrólisis. Esta descripción queda demostrada en el diagrama de la Figura 49:

Figura 49: distribución de tiempo, operación “preparado del ensilado”.

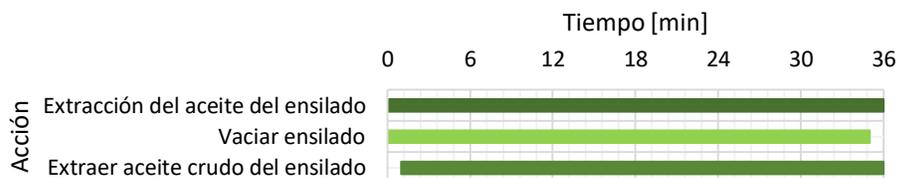


Las acciones con un *, en caso de que las piscifactorías envíen las vísceras con ácido Fórmico ya agregado no se deben tener en cuenta. Sin embargo, se debe considerar que el tiempo de hidrólisis también va a disminuir según la cantidad de días que ya tenga avanzado el ensilado proveniente de las piscifactorías.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

La operación de “extracción de aceite crudo” tiene asociadas 2 acciones: la primera “vaciar ensilado” para esto se requiere de un solo operario el cual deberá accionar la válvula de salida del tanque de almacenamiento de ensilado, para el vaciado del ensilado se ha estimado un tiempo de 35 minutos y “extraer aceite crudo del ensilado”, es también una acción automática, ya que autónomamente el equipo es capaz de filtrar los sólidos que quedan en el ensilado, separando aceite, de la proteína (utilizada en otro proceso), para esto se ha calculado un tiempo de 35 minutos, esta se ejecuta un minuto después de que se ha iniciado la anterior, ya que así se evitan atascamientos en la línea de producción (eliminación de cuellos de botella). Cabe aclarar, que el proceso inicia justo en esta operación por eso la representación inicia en cero e incrementa en el resto de diagramas. En el diagrama de la Figura 50 se demuestra esta descripción.

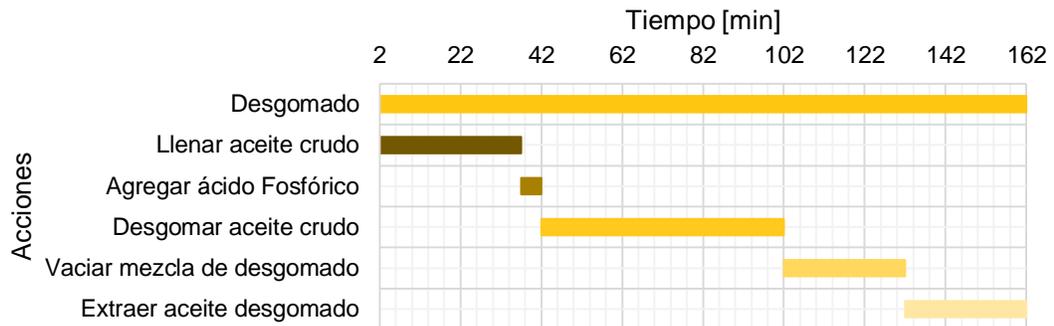
Figura 50: distribución de tiempo, operación “extracción del aceite del ensilado”.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

La operación de “desgomado” de la etapa de “refinado del aceite crudo”, consta de 5 acciones: “llenar aceite crudo” esta consiste en llenar el reactor con aceite crudo, este es un proceso semiautomático, ya que requiere de la intervención de un operario quien debe accionar la válvula que da paso hacia esta acción, para esta se ha estimado una duración de 35 minutos; como segunda acción se tiene “agregar ácido Fosfórico”, que requiere de un operario que agregue el insumo, para esto se ha asignado una duración de 5 minutos; para la tercera acción “desgomar aceite crudo”, se requiere de un operario, el cual debe configurar los parámetros del reactor, se estima una duración de 60 minutos y se aclara que la configuración debe hacerse en paralelo con el llenado del aceite crudo; la cuarta acción “vaciar mezcla de desgomado” es realizada por un operario, el cual activa la válvula para vaciar el reactor pasando a la siguiente acción, para esta se estima una duración de 30 minutos; y finalmente la acción “extraer aceite desgomado”, esta acción se lleva a cabo en el separador centrífugo, el cual se encarga de separar las gomas (sólidos) del aceite desgomado, para esta acción se ha estimado un tiempo de 30 minutos. Esta descripción se demuestra en el diagrama de la Figura 51:

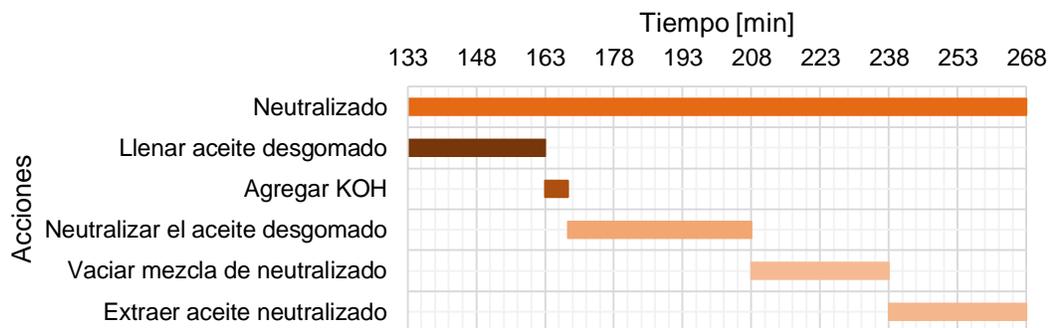
Figura 51: distribución de tiempo, operación “desgomado”.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

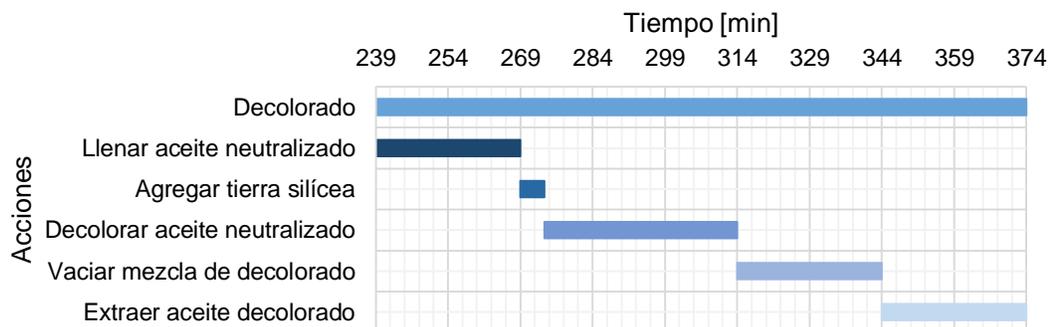
El análisis hecho para la operación de “desgomado” es el mismo que se hace para las operaciones de “neutralizado” y “decolorado”, ya que en sus acciones comprenden el mismo funcionamiento (ver diagramas de las Figura 52 y Figura 53)

Figura 52: distribución de tiempo, operación “neutralizado”.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 53: distribución de tiempo, operación “decolorado”.

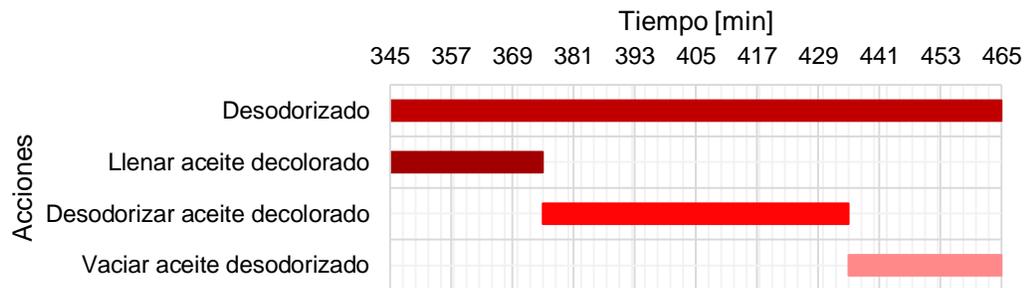


Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Para el caso de la operación de “desodorizado” el funcionamiento respecto a las anteriores operaciones es similar solo que está en la última acción “vaciar aceite

desodorizado”, ya no se abre una válvula para que pase a un separador centrífugo, simplemente el operador abre la válvula de salida y el proceso termina, ya que esta operación se obtiene el aceite refinado (ver diagrama de la Figura 54). Las otras dos acciones tienen el mismo comportamiento que las acciones en el “desgomado”, la operación tarda 30 minutos en la primera acción, 60 en la segunda y 30 en la tercera.

Figura 54: distribución de tiempo, operación “desodorizado”.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Se debe aclarar que: los tiempos de activación de válvulas y configuración de equipos no se calculan, sin embargo, los tiempos de operación anteriormente calculados presentan un ófset con el fin de que el tiempo de estas acciones no afecte la distribución de tiempos del POAP – EI.

El cálculo de todos los tiempos se realizó con las ecuaciones (26), (29) - (32). Cabe resaltar que en el proceso de distribución de tiempos se hizo un acople como se indica en las ecuaciones (31) y (32), realizándose de la siguiente manera, por ejemplo, para el caso del llenado del reactor cuyo tiempo es el más elevado comparado con el tiempo de vaciado y de filtrado, por lo tanto, el acople permitió un ajuste al tiempo mayor.

8. ANEXO H: SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL POAP – EI

Para llevar a cabo esta metodología, se requiere cumplir con el siguiente procedimiento, el cual permitirá analizar de manera detallada los equipos presentes en el mercado que pueden satisfacer las necesidades del proyecto.

Para ello, se tiene en cuenta el estudio del POAP – EM (ver capítulo 3, sección 3.1.1), del cual se concluye que los equipos más adecuados para este proceso y con los cuales se plantea el PFD del POAP – EI (ver capítulo 4, sección 4.2.3) son: tanque de almacenamiento, en el cual se lleva a cabo la preparación del ensilado y el proceso de hidrolisis, este debe tener sellado hermético; reactor, donde se realizan las acciones de proceso de la etapa de refinación del aceite crudo, garantizando las condiciones de proceso; separador centrifugo en el cual debido a la fuerza centrífuga generada por la rotación del recipiente, se utiliza para separar (filtrar) partículas sólidas (vísceras, piedras, etc.) y líquidas (agua, jabón, etc.) del aceite [39], [40]; finalmente, una motobomba, la cual permite llenar los tanques de almacenamiento con el eviscerado de pescado.

A continuación, se realizan los cálculos respectivos de los equipos que permitirán la escogencia más adecuada en el mercado de estos.

8.1. Cálculo capacidad de los equipos

Por medio de este criterio, se pretende tener un conocimiento específico de la capacidad mínima requerida de los equipos para la planta de producción de aceite de pescado propuesta y con este parámetro poder realizar el estudio de los equipos que se consiguen en el mercado que satisfacen a este requerimiento sin sobredimensionarlos.

8.1.1. Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento

Ahora, para el cálculo del volumen de producción de la etapa de extracción de aceite crudo, se debe sumar todos los volúmenes que hacen parte de la mezcla (vísceras, ácido Fórmico y BHT), ver ecuación (33):

$$v_{total} = v_v + v_{af} + v_{BHT} \quad (33)$$

Dónde, v_v es el volumen de vísceras, y este se calcula reemplazando (3) en (33), solo para las vísceras, ver ecuación (34):

$$v_{total} = \frac{m_v}{\rho_v} + v_{af} + v_{BHT} = \frac{428 \text{ kg}}{1,09 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} + 1,7\text{L} + 0,4 \text{ L} = 394,76 \text{ L} \cong 395 \text{ L} \quad (34)$$

Ahora ya se tiene el valor del volumen de producción, para la etapa de extracción de aceite crudo, sin embargo, se debe tener en cuenta el factor de seguridad (F_S) de los tanques de almacenamiento del ensilado el cual será del 10% y se debe tener en cuenta un factor para la cabeza de aire (F_{CA}) del 20%. Entonces, el volumen total obtenido será, el volumen de producción sumando el factor de seguridad y el factor para la cabeza de aire caución (34), lo que permite calcular el volumen del tanque, ver ecuación (35):

$$V_{tanque} = v_{total}(1 + F_s + F_{CA}) = 395L (1 + 10\% + 20\%) \cong 514L \quad (35)$$

Dónde, V_{tanque} hace referencia a la capacidad volumétrica del tanque de almacenamiento del ensilado teniendo en cuenta el F_s y el F_{CA}

8.1.2. Cálculo de la capacidad del tanque del reactor

Una vez halladas las cantidades de los insumos, se calcula el volumen máximo que debe albergar el tanque del reactor, esto se realiza para cada operación y así estimar en qué operación se requiere más capacidad y según ese criterio elegir la capacidad del equipo, además este debe contar con el F_s y el F_{CA} (ya establecidos en la etapa de extracción de aceite crudo).

Ahora se procede a calcular los volúmenes de cada operación, ver ecuaciones (36) a (38):

$$V_{OpD} = v_{AD} + v_{AFOS} \quad (36)$$

$$V_{OpN} = v_{AN} + v_{KOH} = v_{AN} + \frac{m_{KOH}}{\rho_{KOH}} \quad (37)$$

$$V_{OpB} = v_{AB} + v_{TS} = v_{AB} + \frac{m_{TS}}{\rho_{TS}} \quad (38)$$

Dónde:

V_{OpD} : volumen total en la operación de desgomado [L].	m_{KOH} : masa de KOH [kg].
V_{OpN} : volumen total en la operación de neutralizado [L].	m_{TS} : masa de tierra silíceo [kg].
V_{OpB} : volumen total en la operación de decolorado [L].	ρ_{KOH} : densidad del KOH [kg/L].
v_{AD} : volumen de aceite desgomado [L].	ρ_{TS} : densidad de la tierra silíceo [kg/L].
v_{AN} : volumen de aceite neutralizado [L].	v_{AB} : volumen de aceite decolorado [L].

A continuación, en la Tabla 18 se listan los volúmenes obtenidos al reemplazar los valores de las variables en las ecuaciones (36) a (38):

Tabla 18: volúmenes obtenidos en cada operación de la etapa de refinación del aceite crudo en el POAP – EI.

Operación	Volumen obtenido [L]	Factores F_S y F_{CA}	Volumen total [L]
Desgomado	84,02	30%	109,23
Neutralizado	77,07		100,19
Decolorado	69,96		90,95
Desodorizado*	61		80,6

*esta operación al no ser afectada por ningún insumo no se tiene en cuenta en las ecuaciones anteriores, pero si se consigna en la tabla, ya que su valor volumétrico total podría haber influido en la selección de la capacidad del tanque del reactor.

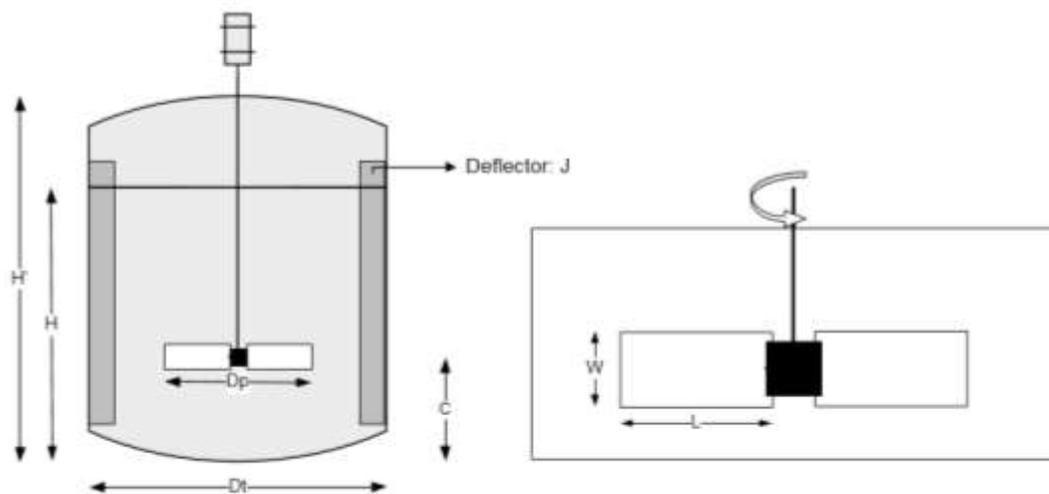
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Finalmente, se obtuvo el valor del volumen total teniendo en cuenta el F_S y el F_{CA} , con esto se concluye que el tanque del reactor deberá contar con una mínima capacidad de aproximadamente 109 L.

8.2. Dimensionamiento de los equipos

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento y del tanque reactor se utilizará relaciones empíricas que relacionan la geometría de los tanques de la siguiente forma, ver Figura 55, así mismo se considera la capacidad mínima anteriormente calculada para cada uno de ellos.

Figura 55: semejanza geométrica para un agitador tipo palas inclinadas.



Fuente: adaptada de [36], [37], [41]–[43], febrero de 2017.

Dónde, D_t es el diámetro del tanque, H es la altura del líquido y su relación es $\left[\frac{H}{D} = 1\right]$, D_p es el diámetro de las palas y su relación es $\left[\frac{D_p}{D} = \frac{1}{4} a \frac{1}{2}\right]$, C , es la distancia que hay entre la base elipsoidal del tanque y las palas del agitador y su relación es $\left[\frac{C}{D} = \frac{1}{6} a \frac{1}{2}\right]$, J , hace referencia a las a las placas deflectores del tanque y su relación es $\left[\frac{J}{D} = \frac{1}{2} a \frac{1}{10}\right]$ aunque esta relación no es relevante, ya que para el POAP – El los tanques no tendrán este tipo de placas, L , es la longitud de las palas y su relación es $\left[\frac{L}{D_p} = \frac{1}{4} a \frac{1}{6}\right]$, W , es la altura de las palas y su relación es $\left[\frac{W}{D_p} = \frac{1}{4} a \frac{1}{6}\right]$ y finalmente H' que hace referencia a la altura total del tanque más la cabeza de aire del tanque y el factor de seguridad del mismo, para el caso de POAP se define como $H + F_S + F_{CA}$. Debido a que todas las relaciones surgen de D_t , lo que se hace es definir un valor para este, claro que se debe tener en cuenta el volumen que el tanque debe albergar.

Una vez realizado el análisis a través de esta metodología, se lleva a cabo la comprobación de los resultados obtenidos por medio de diseño CAD (Modelado utilizando el software AutoCAD), con lo cual se verifica que los dimensionamientos de los tanques cumplan con las especificaciones de capacidad volumétrica especificada.

8.2.1. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Para el caso del tanque de almacenamiento el volumen que debe albergar es de 395 L, esta vendría siendo la “altura del líquido” el volumen total del tanque sería 514 L, este valor ya tendría contemplado los factores de seguridad (F_S) y de cabeza de aire (F_{CA}). Para el cálculo del volumen de cada tanque se debe tener en cuenta la ecuación (39):

$$V_{Cilindro} = \pi x r^2 x h \quad (39)$$

Dónde, $V_{Cilindro}$ es el volumen del cilindro, r es el radio del cilindro, para el caso del tanque es $\frac{D_i}{2}$ (D_i , diámetro interno del tanque) y h es la altura del cilindro, para el caso del tanque es $H' - 2(h_{base})$. El volumen total del tanque (V_{Tanque}) está descrito por la ecuación (40):

$$V_{Tanque} = V_{Cilindro} + 2xV_{Base} \quad (40)$$

Dónde, V_{Base} es el volumen de la base del tanque y está definido por la ecuación (41):

$$V_{Base} = \frac{1}{6}(\pi)(D_t)^2(h_{base}) \quad (41)$$

Dónde, h_{base} es la altura de la base, que para este caso será $\left[\frac{h_{base}}{H'} = \frac{1}{10}\right]$. Para el caso de $D_t = 0,84 \text{ m}$; $H' = 1,1 \text{ m}$, entonces reemplazando en (3) se obtiene la ecuación (42):

$$V_{Base} = \frac{1}{6}\pi(0,84\text{m})^2\left(\frac{1,1\text{m}}{10}\right) = 0,041 \text{ m}^3 = 41 \text{ L} \quad (42)$$

Ahora para calcular $V_{cilindro}$ se necesita saber el valor de D_i , por lo tanto, se define la ecuación (43):

$$D_i = D_t - t \quad (43)$$

Dónde, t es el espesor del tanque de almacenamiento para este caso será del 1% respecto a D_t , ahora se reemplaza los valores en (43) y se obtiene la ecuación (44):

$$D_i = (0,84m) - 2(8,4 \times 10^{-3} m) \cong 0,82 m \quad (44)$$

Ahora, con todos los valores calculados, se procede a calcular $V_{cilindro}$, ver ecuación (45):

$$V_{cilindro} = \pi \left(\frac{0,82m}{2} \right)^2 \left(1,1m - 2 \left(\frac{1,1m}{10} \right) \right) \cong 0,461 m^3 \cong 461 L \quad (45)$$

Con todos los valores calculados, se calculará V_{Tanque} , ver ecuación (46):

$$V_{Tanque} \cong 461 L + 2(41L) \cong 543 L \quad (46)$$

Aunque V_{Tanque} es mayor que el volumen de ensilado que se albergará en el tanque no afecta las características del tanque, ya que lo que sobra en este caso con aproximadamente 28 L, lo que en porcentaje es el 6 % el cual para este caso será sumado al F_S y al F_{CA} .

Potencia del motor de agitación del tanque de almacenamiento

Ahora se e procede a calcular la potencia que requiere el motor para agitar el ensilado para esto se tiene las variables adimensionales, ver ecuaciones (47) y (48):

$$N_{Re} = \frac{\rho N D^2}{\mu} \quad (47)$$

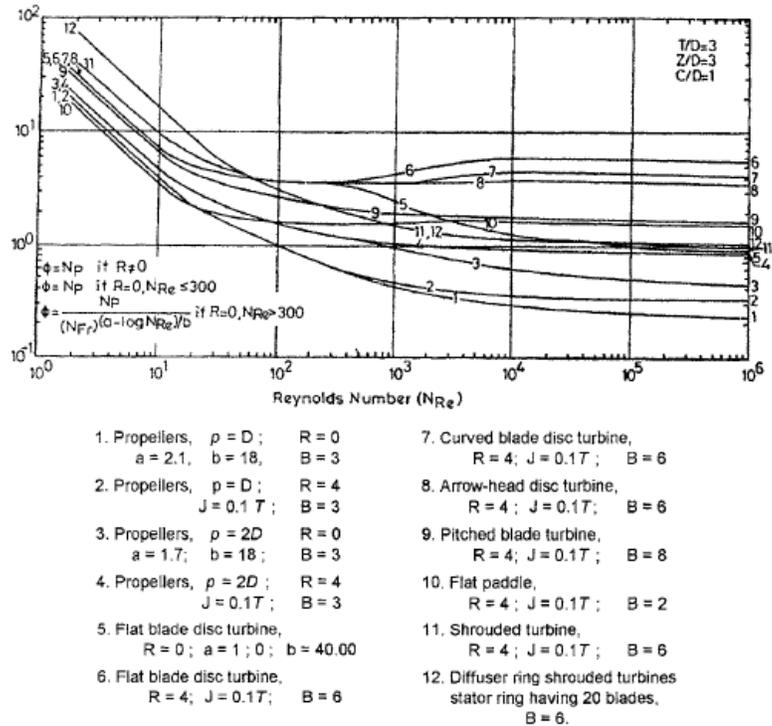
$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad (48)$$

Dónde:

N_{Re} : número de Reynolds. ρ : densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$. μ : viscosidad dinámica del fluido $[Pa \cdot s]$.	N_p : número de Potencia. P : potencia del agitador $[W]$. D : diámetro del agitador $[m]$. N : velocidad del agitador $\left[\frac{rev}{s} \right]$.
---	--

El número de Reynolds representa el régimen de flujo (laminar o turbulento) del fluido mediante la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas. Utilizando la tabla de la Figura 56 se determina el número de potencia (N_p) mediante la interpolación del resultado obtenido del N_{Re} , para un impulsor de 4 palas inclinadas sin deflectores:

Figura 56: correlación del número de potencia con el número de Reynolds.



Fuente: tomada de [38], febrero de 2017.

Ahora se calculará N_{Re} con $\rho^3 = 880 \frac{kg}{m^3}$, $N = 1 \frac{rev}{s}$, $\mu^4 = 26,43 Pa \cdot s$ y $D = 0,42 m$, ver ecuación (49):

$$N_{Re} = \frac{\left(880 \frac{kg}{m^3}\right) \left(1 \frac{rev}{s}\right) (0,42m)^2}{26,43 Pa \cdot s} = 5,88 \times 10^0 \quad (49)$$

De (49) se concluye que el fluido presenta régimen laminar, ya que $N_{Re} < 2300$, ahora para agitadores de 4 palas con inclinación de 45° el $N_p = 1,5$ [38]. Con todos los datos se procede a calcular la potencia del motor, ver ecuación (50):

$$P = N_p \rho N^3 D^5 = 1,5 \left(880 \frac{kg}{m^3}\right) \left(1 \frac{rev}{s}\right)^3 (0,42m)^5 = 17,25 W = 0,023 HP \quad (50)$$

Finalmente, en la Tabla 19 se resumen todas las características del tanque de almacenamiento.

³ Valor de densidad tomado más bajo, tomado de la muestra del ensilado del día 6. Ver ANEXO E

⁴ Valor de viscosidad más alto, tomado de la muestra de ensilado del día 4. Ver ANEXO E

Tabla 19: características del tanque de almacenamiento de ensilado para el POAP – EI.

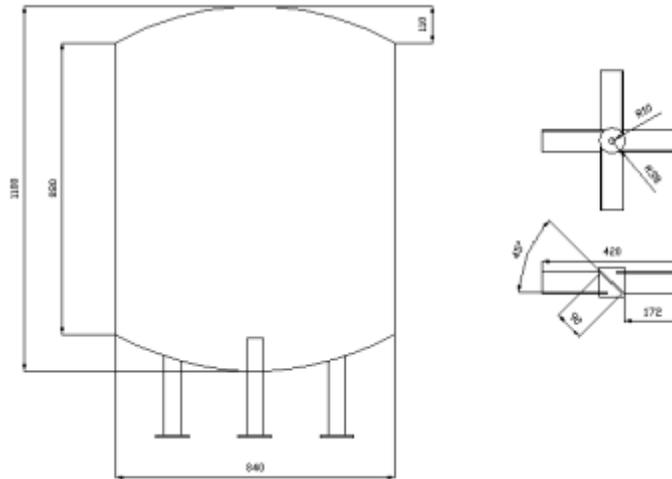
Característica	Valor	Unidad
Capacidad neta	543	L
Altura	1100	mm
Diámetro externo	840	mm
Factor de seguridad y factor de cabeza de aire	36	%
Espesor del material	8	mm
Número de palas	4	--
Grado de inclinación de las espas	45	°
Velocidad de agitación	60	rpm
Altura de la pala	90	mm
Longitud de la pala	110	mm
Diámetro del agitador	420	mm
Potencia del agitador	0,023	HP
Material	Acero inoxidable	
Tipo de material a procesar	Ensilado	

* para el caso de la longitud del aspa, ese valor debe corroborarse en el diseño, ya que con el modelo empírico las palas quedan pequeñas, también se debe tener en cuenta el eje del agitador, que por cuestiones de diseño estará entre 20 – 25 mm.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En la Figura 57, se muestra el diseño CAD del tanque de almacenamiento de acuerdo a las características de modelamiento especificadas, con este diseño se realiza el modelamiento 3D con el cual se verificó que el diseño propuesto cumple con el requerimiento volumétrico necesario para el proceso productivo, ver Figura 58:

Figura 57: diseño CAD del tanque de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 58: diseño CAD 3D del tanque de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se puede observar en la Figura 58, el valor de volumen es de $55002894.5929 \text{ mm}^3$ que corresponde a 550 litros, generando un error del 1% en comparación con el valor de volumen encontrado matemáticamente, por lo que se verán afectados el F_S y el F_{CA} .

8.2.2. Dimensionamiento del tanque reactor

Para el caso del tanque reactor el volumen que debe albergar es de 84 L, pero este también vendría siendo la “altura del líquido” el volumen total del reactor será de 109 L, este valor ya tendría contemplado el F_S y el F_{CA} .

Para la obtención del volumen del reactor ($V_{Reactor}$) se utilizan todas las ecuaciones (39) - (43), para el cálculo del D_i del reactor se debe tener en cuenta que el reactor cuenta con una chaqueta (C_R) y esta tiene como relación $\left[\frac{C_R}{D_t} = \frac{1}{10}\right]$, entonces, reacomodando (43) se obtiene la ecuación (51):

$$D_i = D_t - 2(C_R) = D_t - 2(10\% * D_t) \quad (51)$$

Para el cálculo de t se utiliza la misma relación ($1\%D_t$) y $D_t = 0,6 m$, ahora se calcula D_i , ver ecuación (52):

$$D_i = 0,6 m - 2((0,6m) * 10\%) = 0,48 m \quad (52)$$

Ahora, se debe calcular el V_{Base} y el $V_{Cilindro}$, ver ecuaciones (53) y (54):

$$V_{Base} = \frac{1}{6}\pi(0,48m)^2(0,06m) \cong 0,007 m^3 \cong 7 L \quad (53)$$

$$V_{Cilindro} = \pi\left(\frac{0,48m}{2}\right)^2 (0,56 m) \cong 0,102 m^3 \cong 102 L \quad (54)$$

Con todos los valores necesarios para calcular $V_{Reactor}$ se procede a calcular su valor, ver ecuación (55):

$$V_{Reactor} = V_{Cilindro} + V_{Base} \cong 102L + 7L = 109 L \quad (55)$$

Ahora el $V_{Reactor}$ es igual que el volumen de aceite que se albergará en el tanque reactor, incluyendo F_S y F_{CA} , por tanto, los porcentajes no se ven afectados.

Potencia del motor de agitación del tanque reactor

Ahora se e procede a calcular la potencia que requiere el motor para agitar el aceite para esto se utilizarán las ecuaciones (47) y (48), entonces, primero se determinará el tipo de régimen que presenta el fluido y luego la potencia del motor.

A continuación, se calculará N_{Re} con los siguientes valores $\rho = 915 \frac{kg}{m^3}$, $N = 1 \frac{rev}{s}$, $\mu^5 = 0,04 Pa \cdot s$ y $D = 0,3 m$, ver ecuación (56):

$$N_{Re} = \frac{\left(915 \frac{kg}{m^3}\right)\left(1 \frac{rev}{s}\right)(0,3m)^2}{0,04 Pa \cdot s} = 2,06 \times 10^3 \quad (56)$$

De (56) se concluye que el régimen del fluido es laminar, ya que $N_{Re} < 2300$, el N_p sigue siendo el mismo valor, debido a que el reactor tiene el mismo agitador que el tanque. Con todos los datos se procede a calcular la potencia del motor, ver ecuación (57):

⁵ Se tomó la viscosidad del aceite de palma [50].

$$P = 1,5 \left(915 \frac{kg}{m^3} \right) \left(1 \frac{rev}{s} \right)^3 (0,3m)^5 = 3,34 W = 0,004 HP \quad (57)$$

Finalmente, en la Tabla 20 se resumen todas las características del tanque reactor.

Tabla 20: características del tanque reactor del POAP – EI.

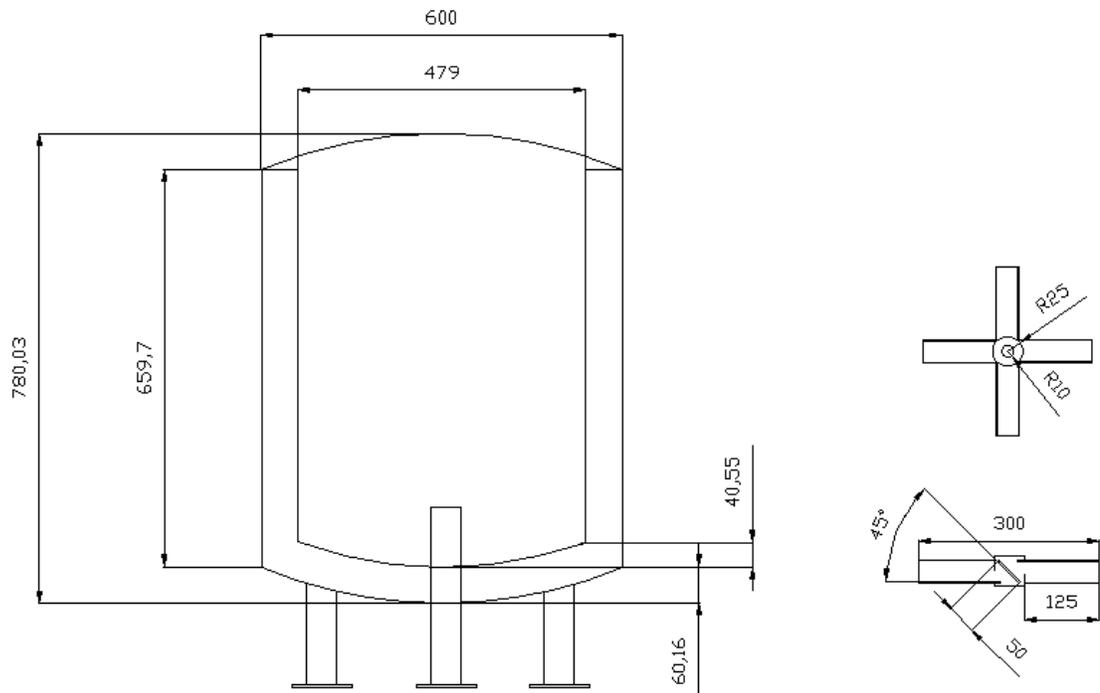
Característica	Valor	Unidad
Capacidad neta	109	L
Presión interna	30	psi
Factor de seguridad y factor de cabeza de aire	30	%
Altura	780	mm
Espesor del material	6	mm
Diámetro externo	600	mm
Diámetro interno	480	mm
Cavidad de la chaqueta	60	mm
Altura de la pala	50	mm
Longitud de la pala*	75	mm
Diámetro del agitador	300	mm
Potencia del agitador	0,004	HP
Material	Acero inoxidable	
Tipo de material a procesar	Aceite	
Temperatura de proceso	Máxima 80 ° C	

* para el caso de la longitud del aspa, ese valor debe corroborarse en el diseño, ya que con el modelo empírico las palas quedan pequeñas, también se debe tener en cuenta el eje del agitador, que por cuestiones de diseño estará entre 20 – 25 mm.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En la Figura 59, se muestra el diseño CAD del tanque reactor de acuerdo a las características de modelamiento especificadas, con este diseño se realiza el modelamiento 3D con el cual se verificó que el diseño propuesto cumple con el requerimiento volumétrico necesario para el proceso productivo, ver Figura 60:

Figura 59: diseño CAD del tanque reactor.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 60: diseño CAD 3D del tanque reactor.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se puede apreciar en la Figura 60, el valor volumétrico del tanque reactor es de 115176139.6328 mm³ que es igual a 115 L, al comparar este resultado con el valor obtenido matemáticamente, se presenta un error del 5% valor que se ve reflejado en los valores de F_S y F_{CA} .

8.2.3. Cálculo de la motobomba⁶

Para determinar la potencia del motor de la bomba que será empleada para llenar los tanques de almacenamiento del ensilado, se aplicará la siguiente ecuación (58):

$$P_{teórica} = H_B \times \rho \times g \times Q \quad (58)$$

Dónde, $P_{teórica}$ es la potencia teórica de la bomba, H_B es la altura dinámica, ρ densidad del ensilado, g la gravedad del sistema y Q caudal de trabajo $\left[Q = 7 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}\right]$. Para el caso de la potencia se debe considerar que existen rangos de eficiencia, se determinará por lo tanto la potencia real, de la siguiente forma, ver ecuación (59):

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{\eta} \quad (59)$$

Dónde, P_{real} potencia real consumida por la bomba y η es la eficiencia, para este caso se elige una eficiencia del 80%.

De los datos anteriores se determinará H_B :

8.2.3.1.1.1. Altura dinámica de la bomba o carga de trabajo de la bomba (H_B)

Para la determinación de la altura dinámica se empleará la ecuación (60):

$$H_B = h_{ftotal} + \left[\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right] - \left[\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right] \quad (60)$$

Dónde:

h_{ftotal} : pérdida de carga.	P_1 : presión en el nivel de la toma del ensilado en la cisterna $\left[0,00 \frac{N}{m^2}\right]$.
P_2 : presión en la entrada del tanque de almacenamiento del ensilado $\left[30 \text{ psi} = 206843 \frac{N}{m^2}\right]$.	V_1 : velocidad de flujo del ensilado en la cisterna $\left[0,00 \frac{m}{s}\right]$.
V_2 : velocidad del ensilado a la entrada del tanque de almacenamiento del ensilado $\left[0,1 \frac{m}{s}\right]$.	Z_1 : altura de la toma del ensilado en la cisterna respecto a la bomba $\left[-1 \text{ m}\right]$.
Z_2 : altura del tanque respecto a la bomba $\left[1,1 \text{ m}\right]$.	ρ : densidad del ensilado ⁷ $\left[880 \frac{kg}{m^3}\right]$.
	g : gravedad del sistema $\left[9,81 \frac{m}{s^2}\right]$.

Para el cálculo correspondiente, se requiere determinar previamente la pérdida de carga en el recorrido del ensilado por la tubería h_{ftotal} :

⁶ Toda la información sobre el cálculo de la potencia de la bomba fue adaptada de [51] a las características del caso de estudio.

⁷ La densidad que se toma es la obtenida de la muestra del ensilado del día 6. Ver ANEXO I.

8.2.3.1.1.2. Cálculo de la pérdida de carga en el recorrido del ensilado por la tubería (h_{ftotal})

Para la determinación de la pérdida de carga en el recorrido del ensilado por la tubería se empleará la ecuación (61):

$$h_{ftotal} = \frac{f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2}{2 \cdot D \cdot g} \quad (61)$$

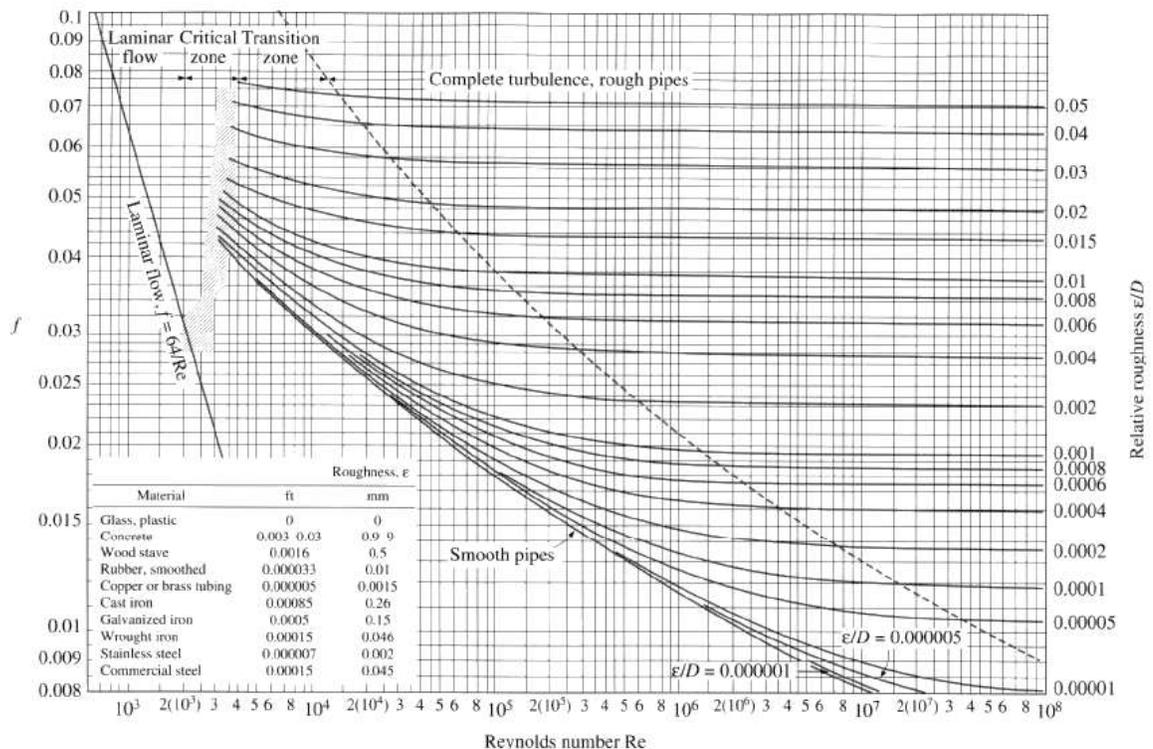
Dónde, f es el coeficiente de fricción, L_{eq} es la longitud equivalente. D es el diámetro de la tubería para este caso el diámetro será de $2 \text{ in} = 0,0508 \text{ m}$.

Para conocer la pérdida de carga total, se requerirá determinar previamente, tanto el coeficiente de fricción de la tubería como la longitud equivalente de la tubería de suministro de ensilado hacia el tanque de almacenamiento del mismo, ya que estos son datos que aún no se tienen determinados.

8.2.3.1.1.3. Cálculo del coeficiente de fricción (f)

Para determinar el coeficiente de fricción se necesita conocer el número de Reynolds, así como la rugosidad relativa de la tubería. Una vez se obtenga estos valores por medio del diagrama de Moody (ver Figura 61) se obtendrá el valor de fricción.

Figura 61: diagrama de Moody, relación del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería.



Fuente: tomada de [44], febrero de 2017.

- Se sabe que el flujo es laminar ($N_{Re} = 5,88 \times 10^0$), por lo tanto, se encuentra en la zona de “flujo laminar” de la Figura 61. El cálculo de f en este caso es sencillo, ya que se define como, ver ecuación (62):

$$f = \frac{64}{N_{Re}} = 10,88 \quad (62)$$

De (62) se concluye que el coeficiente de fricción es independiente de la rugosidad relativa cuando el fluido presenta régimen laminar.

8.2.3.1.1.4. Cálculo de la longitud equivalente (L_{eq})

La longitud equivalente de la tubería está comprendida por la longitud lineal de la tubería y la longitud equivalente de los accesorios que participan en la línea de suministro de ensilado, ver ecuación (63):

$$L_{eq} = L + L_{eqacc} \quad (63)$$

Dónde, L es la longitud de la tubería lineal, para este caso es de $L = 4,51 \text{ m}$ y L_{eqacc} es longitud equivalente de accesorios, entre estos se consideras 9 accesorios, por lo que, la longitud equivalente de un accesorio se determina a partir de la ecuación (64):

$$L_{eq1acc} = LxD = 4,51 \text{ m} \times 0,0508 \text{ m} = 0,229 \frac{\text{m}}{\text{accesorio}} \quad (64)$$

Por lo tanto, la longitud equivalente de todos los accesorios será, ver ecuación (65):

$$L_{eqacc} = L_{eq1ac} \times 9 = 0,229108 \text{ m} \times 9 = 2,06 \text{ m} \quad (65)$$

Luego, reemplazando en (63) se obtiene la longitud equivalente, ver ecuación (66):

$$L_{eq} = L + L_{eqacc} = 4,51 \text{ m} + 2,06 \text{ m} = 6,57 \text{ m} \quad (66)$$

Con todos los datos obtenidos, se procede a calcular la pérdida de carga total (h_{ftotal}), ver ecuación (67):

$$h_{ftotal} = \frac{f \cdot L_{eq} \cdot V_2^2}{2 \cdot D \cdot g} = \frac{f \cdot (6,57 \text{ m}) \cdot \left(\frac{0,1 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot (0,0508 \text{ m}) \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 0,72 \text{ m} \quad (67)$$

Ahora, con todos los datos obtenidos se calculará la altura dinámica o carga de trabajo de la bomba (H_B), a partir de (60) de las que se han excluido las variables con valor cero y también se han acondicionado los términos de la ecuación para su fácil entendimiento, ver ecuación (68):

$$H_B = h_{ftotal} + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) \quad (68)$$

$$H_B = 0,72 \text{ m} + \left(\frac{\frac{N}{m^2}}{\left(880 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \right) + \left(\frac{\left(0,1 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \right) + (1,1 \text{ m} - (-1\text{m}))$$

$$H_B = 26,78 \text{ m}$$

8.2.3.1.1.5. Cálculo de la potencia de la bomba

Reemplazando $\rho = 880 \frac{kg}{m^3}$, $Q = 7 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$, $H_B = 26,78 \text{ m}$ y $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ en (37), se obtiene la ecuación (69):

$$P_{teórica} = (26,78\text{m}) \left(880 \frac{kg}{m^3}\right) \left(7 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}\right) \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) = 16,18 \text{ W} = 0,02 \text{ HP} \quad (69)$$

Ahora se procede a calcular la potencia real de la bomba, reemplazando en (59) el valor obtenido de $P_{teórica}$ y la η de la bomba, ver ecuación (70):

$$P_{real} = \frac{0,01 \text{ hp}}{80\%} = 0,03 \text{ HP} \quad (70)$$

Por lo tanto, la potencia de la bomba debería ser aproximadamente 0,03 HP, pero como se debe contar con un margen de error, entonces se tendría que escoger un motor con potencia más elevada que comprenda un rango entre 0,03 – 0,5 HP, es posible que estos valores no sean comerciales, así que en la escogencia de la bomba se debe tener en cuenta que tenga una potencia pequeña y que sea para fluidos viscosos.

8.3. Criterios de evaluación

Para lograr una escogencia adecuada de los equipos, se deben tener en cuenta 4 criterios (costo, flexibilidad, fabricante y capacidad), los cuales permiten clasificar cada uno de los equipos de acuerdo a un valor ponderado, permitiendo obtener los equipos más adecuados al proyecto. Por otra parte, la capacidad del equipo solo se tendrá en cuenta para enviar las solicitudes de cotización a los diferentes proveedores, dado que los equipos cotizados se encuentran dentro de los valores de capacidad, este criterio no será considerado a la hora de seleccionar la mejor cotización. A continuación, se describen cada uno de los criterios.

- **Costo:** es uno de los criterios que más limita la selección de equipos dado que el proyecto no cuenta con un presupuesto elevado para la compra de equipos. Por tanto, se seleccionaron cotizaciones que se ajustan a las necesidades del proceso y del presupuesto disponible. Los costos que se plasman en este proyecto son del equipo y no incluye costos de transporte, instalación ni capacitación del personal.
- **Flexibilidad:** la flexibilidad se tiene en cuenta con el fin de lograr que la línea de producción sea capaz de procesar distintos tipos de aceite de pescado, esto implica que los equipos deben garantizar adaptabilidad a cambios en la formulación y adición de nuevas materias primas.

- **Fabricante:** se tiene en cuenta la trayectoria en el mercado, confiabilidad y certificaciones.
- **Capacidad de producción:** este criterio está delimitado por la cantidad de materias primas (eviscerado de pescado) generadas por la industria piscícola de la región, la cual se encuentra alrededor de 428 kg de eviscerado al día, generando una producción aproximada de 61 L de aceite de pescado para consumo humano.

8.4. Escogimiento de proveedores

Dado que las cotizaciones a los diferentes proveedores se realizaron de acuerdo a las características y especificaciones técnicas requeridas para el proceso, se escogen los proveedores que proporcionen los equipos más acordes a los requerimientos, esto debido a que en el mercado no se encuentran equipos con las características exactas requeridas como es el caso de la capacidad del reactor la cual teóricamente da un volumen de 109 L y en el mercado el volumen más próximo por encima del teórico es 200 L.

8.5. Asignación de puntaje por criterio

Una vez se tienen los proveedores para cada equipo, se procede a asignar un puntaje a cada criterio de selección (costo, fabricante y flexibilidad) de dicho equipo, de tal forma que el máximo valor de la suma de los ponderados sea 100 puntos los cuales se fijaron así: costos 40 puntos, fabricante 30 puntos, flexibilidad 30 puntos.

Para el criterio de costos, dado que se cuenta con conocimiento específico del precio de cada equipo (información obtenida de las cotizaciones), es necesario aplicar una fórmula para la asignación del puntaje, considerando que se cuenta con 3 cotizaciones diferentes y el máximo valor de puntaje a asignar es de 40 puntos. Para ello, se escoge el equipo de menor costo como referencia al cual se le asigna el máximo valor (P_M) que corresponde a los 40 puntos y a partir de este se procede a realizar la asignación de puntaje a los 2 equipos restantes de tal forma que entre más alejado se encuentre del valor de referencia menor será el puntaje asignado.

La nomenclatura a utilizar es la siguiente:

P_b : precio del equipo menos costoso.	P_M : puntaje máximo (40 puntos).
P_m : precio del equipo con valor intermedio.	X_m : puntaje medio.
P_a : precio del equipo con el costo más elevado.	X_a : puntaje bajo.

Por regla de tres directa se tiene las relaciones:

$$\begin{aligned} P_b &\rightarrow 100\% \\ P_m &\rightarrow X_m \end{aligned}$$

De la relación anterior se obtiene la ecuación (71):

$$X_m = \frac{P_m \times 100\%}{P_b} \quad (71)$$

Dado que el resultado de (71) se encuentra en términos de porcentaje, se multiplica por $\frac{P_M}{100\%}$ para pasarlo a términos de puntaje, así se obtiene la ecuación (72):

$$X_m = \left[\frac{P_m \times 100\%}{P_b} \right] \times \left[\frac{P_M}{100\%} \right] \quad (72)$$

Dado que $V_m < V_b$, se espera que el puntaje sea mayor, como para el ejercicio debe ocurrir lo contrario, al valor hallado se le resta dos veces el puntaje máximo) $2 * P_M = 80$ puntos), luego esto se multiplica por -1, así se obtiene las ecuaciones (73) y (74) para la asignación de puntos:

$$X_m = - \left[\left(\frac{P_m \times 100\%}{P_b} \right) \times \left(\frac{40 \text{ puntos}}{100\%} \right) - 80 \right] \quad (73)$$

$$X_a = - \left[\left(\frac{P_a \times 100\%}{P_b} \right) \times \left(\frac{40 \text{ puntos}}{100\%} \right) - 80 \right] \quad (74)$$

Para el criterio fabricante, se tuvieron en cuenta tres factores de evaluación: trayectoria en el mercado, confiabilidad y certificaciones, cada uno de estos puede tomar un puntaje máximo de 10 puntos, sumando así un valor total de 30 puntos para fabricante.

Para el criterio de flexibilidad se tiene en cuenta el tipo de materias primas a procesar y funciones adicionales del equipo, el puntaje que puede tomar máximo es de 30 puntos.

8.6. Escogimiento de equipos

8.6.1. Motobomba

En la Tabla 21 - Tabla 23 se encuentra consignadas las características y el puntaje asignado para cada uno de los proveedores de motobombas que ofrecen el equipo acorde a las características de diseño especificadas.

Tabla 21: cotización número 1, motobomba.

Fabricante		Cesarupb			
Características del equipo		Voltaje: 110 V / 60 Hz Potencia: ¾ HP			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de menor costo (USD 1012,15), P_M .	40	Trayectoria	9	Transporte de grasas y aceites	0
		Confiabilidad	8		
		Certificaciones	0		
Total					57 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 22: cotización número 2, motobomba.

Fabricante		RZR bombas positivas			
Características del equipo		Desplazamiento por rotación: 65 cm ³ Capacidad: 1500 a 6000 LPH Presión de admisión: 0,5 a 10 kgf/cm ² Presión de descarga: 400 psi Viscosidades de trabajo: 5 a 40000 cP Temperatura: -10 a 240 °C			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de costo intermedio (USD 1500), ecuación (73).	20,72	Trayectoria	10	Uso para combustibles, agroindustria, grasas y aceites.	10
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	10		
Total					60,72 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 23: cotización número 3, motobomba.

Fabricante		Zhejiang YonJou Technology Co., Ltd.			
Características del equipo		Capacidad: 55 LPM Presión: 3,3 bar Potencia: 1,5 kW Diámetro: 1 in Velocidad: 1.400 rpm			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de mayor costo (USD 2100), ecuación (74).	2,99	Trayectoria	10	Uso para líquido corrosivo débil, alimentos y bebidas, soporta altas temperaturas, puede transportar aceites de diferentes viscosidades.	10
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	10		
Total					42,99 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Del anterior estudio, se concluye que el proveedor más adecuado y que ofrece el mejor equipo para el proceso productivo es el de la Tabla 22, debido a que este arrojó el mayor puntaje siendo este de 60,72 puntos.

8.6.2. Separador centrífugo

En la Tabla 24 - Tabla 26 se encuentra consignadas las características y el puntaje asignado para cada uno de los proveedores de separadores centrífugos que ofrecen el equipo acorde a las características de diseño especificadas.

Tabla 24: cotización número 1, separador centrífugo.

Fabricante		SINOPEL			
Características del equipo		Voltaje: 220 V / 380 V Potencia: 7,5 W / 18,5 W Material: acero inoxidable Capacidad: 2 – 10 m ³ /h Revoluciones: 5.400 RPM			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de menor costo (USD 45000), P_M .	40	Trayectoria	7	Utilizado en industria farmacéutica, química, alimenticia.	10
		Confiabilidad	8		
		Certificaciones	5		
Total					70 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 25: cotización número 2, separador centrífugo.

Fabricante		Juneng Machinery			
Características del equipo		Caudal: 1200 – 2500 LPH Presión entrada: 0,05 MPa Presión salida: 0,1 – 0,25 MPa Potencia: 7,5 kW Peso: 1.280 kg			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de costo intermedio (USD 50700), ecuación (73).	34,93	Trayectoria	10	Estructura compacta, poco ruido, buena separación, los materiales de la centrifugadora son de acero inoxidable que cumple con los requisitos de normatividad alimenticia.	10
		Confiabilidad	8		
		Certificaciones	6		
Total					68,93 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 26: cotización número 3, separador centrífugo.

Fabricante		ALFA LAVAL			
Características del equipo		Capacidad hidráulica: 5 m ³ /h Velocidad: 6.400 RPM Fuerza centrífuga: 7.440 g-f Potencia del motor: 5,5 kW Presión: 400 kPa			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de mayor costo (USD 75000), ecuación (74).	13,33	Trayectoria	10	Está diseñado para descargar sólidos intermitentemente, al tiempo que separa dos fases líquidas entremezcladas y mutuamente insolubles de diferentes densidades.	10
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	10		
Total					53,33 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Del anterior estudio, se concluye que el proveedor más adecuado y que ofrece el mejor equipo para el proceso productivo es el de la Tabla 25, debido a que este arroja el mayor puntaje siendo este de 70 puntos. Cabe aclarar que, dado a que no se cuenta con una metodología adecuada para el modelamiento matemático del equipo, este cotizo haciendo uso de la capacidad de producción que se requiere lograr.

Con lo anterior se da cumplimiento al RH1.

8.6.3. Tanque de almacenamiento

En la Tabla 27 - Tabla 29 se encuentra consignadas las características y el puntaje asignado para cada uno de los proveedores de tanques que ofrecen el equipo más acorde a las características de diseño especificadas.

Tabla 27: cotización número 1, tanque de almacenamiento.

Fabricante		Shanghai, you can beverage machine Co ltd			
Características del equipo		Capacidad: 600 L Revoluciones: 60 rev/min Potencia: 1,5 kW Voltaje: 380V/50Hz/3 fases			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de menor costo (USD 1700), P_M .	40	Trayectoria	10	Equipo mezclador hermético.	0
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	5		
Total					65

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 28: cotización número 1, tanque de almacenamiento.

Fabricante		Shanghai, you can beverage machine Co ltd			
Características del equipo		Capacidad: 550 L Revoluciones: 100 rev/min Potencia: 2,5 kW Material: SS304 Voltaje: 220 V			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de costo intermedio (2976,15 USD), ecuación (73).	9,97	Trayectoria	10	Equipo mezclador utilizado para bajas viscosidades	0
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	10		
Total					39,97

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 29: cotización número 3, tanque de almacenamiento.

Fabricante		LEADTOP LTPM China			
Características del equipo		Capacidad: 550 L Mezclador Material: S30408 Tablero de control eléctrico			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de mayor costo (USD 3600), ecuación (74).	4,70	Trayectoria	10	Tanque mezclador	0
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	5		
Total					29,7 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Del anterior estudio, se concluye que el proveedor más adecuado y que ofrece el mejor equipo para el proceso productivo es el de la Tabla 27, debido a que este arrojó el mayor puntaje siendo este de 65 puntos.

Con lo anterior se da cumplimiento al RH2.

8.6.4. Reactor

En la Tabla 30 - Tabla 32 se encuentran consignadas la característica del equipo que ofrece cada uno de los proveedores cotizados, de igual manera se encuentra el puntaje asignado para cada criterio de selección, lo que permitirá elegir el mejor proveedor para este equipo.

Tabla 30: cotización número 1, tanque reactor.

Fabricante		Wanda Chemical Co Ltd.			
Características del equipo		Capacidad: 200L Material: SS304 Potencia mezclador: 0,75 kW Método de calefacción: por chaqueta, medio eléctrico Potencia de calefacción: 9 kW Presión de trabajo: 30 psi = 0,2 MPa			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de menor costo (USD 2.830), P_M .	40	Trayectoria	10	Equipo requerido para tratamiento de aceite de pescado	0
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	8		
Total					68 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 31: cotización número 2, tanque reactor.

Fabricante		Zhejiang L&B Fluid Equipment CO			
Características del equipo		Material: SS304 Medio de calefacción: eléctrico Capacidad: 200 L Voltaje: 220 V, 60 Hz, 3 fases Presión: 30 psi Mezclador de: 1.5 kW, 22 rpm			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de precio intermedio (USD 3217,75), ecuación (73).	34,51	Trayectoria	10	Este equipo puede ser utilizado para tratamiento de sustancias de alta viscosidad	8
		Confiabilidad	10		
		Certificaciones	10		
Total					72,51 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Tabla 32: cotización número 3, tanque reactor.

Fabricante		Foshan JCT Machinery Co. Ltd.			
Características del equipo		Capacidad: 200L Presión: 0,2 MPa Material: SUS 304 Medio de calefacción: eléctrico			
Costo (puntaje 1-40 puntos)	Puntaje	Fabricante (1-30 puntos)	Puntaje	Flexibilidad (1-30 puntos)	Puntaje
Equipo de mayor costo (USD 5000), ecuación (74).	9,33	Trayectoria	10	Equipo utilizado para diferentes procesos industriales	10
		Confiabilidad	8		
		Certificaciones	0		
Total					37,33 puntos

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

De lo anterior se concluye que el proveedor más adecuado es el de la Tabla 31, debido a que bajo el criterio de selección obtuvo el puntaje más alto siendo este de 72,51 puntos.

Con lo anterior se da cumplimiento al requerimiento RH3.

El estudio anterior se realizó con los proveedores que respondieron a las cotizaciones realizadas, sin embargo, algunos de ellos solo entregaron el costo del equipo. Es necesario aclarar que se realizaron cotizaciones a proveedores y fabricantes en el país, pero no se obtuvo respuesta, por tal motivo se recomienda que los investigadores continúen con esta labor, en especial con las cotizaciones del equipo separador centrifugo dado que las cotizaciones obtenidas presentan costos bastante elevados que pueden llegar a sobrepasar la capacidad económica del proyecto.

Con el estudio anterior realizado a las diferentes cotizaciones para cada uno de los equipos principales que intervienen en el proceso, se da cumplimiento a los requerimientos hardware planteados en la sección 2.5.3 del presente trabajo.

En la Tabla 33 se muestran algunos instrumentos que serán necesarios para el escenario de automatización.

Tabla 33: instrumentos necesarios para el escenario de automatización del POAP – EI.

Equipo	Cant.	Descripción	Voltaje
Relé térmico	3	Utilizado para proteger de sobrecargas (débiles o prolongadas) los motores de las motobombas.	110 V
Relé electromecánico	3	Estos se utilizan para que el PLC pueda de manera automática encender o apagar las motobombas.	24 V
Pulsadores ON/OFF	6	Interruptores manuales para que el operario también pueda manipular el proceso; de estos se requieren tres pulsadores normalmente abiertos (NO) y tres cerrados (NC).	110 V
Luces piloto	6	Luces que indican el estado de los motores ON/OFF o sobrecarga. Los colores generalmente utilizados son: verde, funcionando; rojo, apagado; y amarillo para indicar la sobrecarga.	110 V

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

9. ANEXO I: ACTUALIZACIÓN DE MODELOS ISA - S88.01 PARA EL POAP – EI

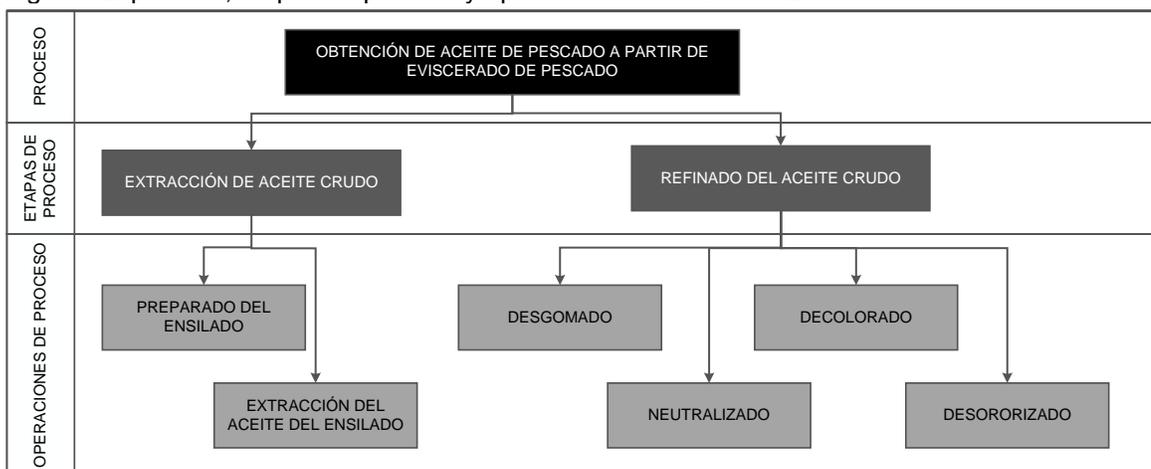
Para dar estructura y organización al POAP – EI, a continuación, se presentan los tres nuevos modelos ISA - S88.01, los cuales se diseñaron teniendo en cuenta la representación del proceso a nivel de laboratorio, a escala mínima y el escenario de automatización propuesto.

9.1. Modelo de proceso POAP – EI

Este modelo permite una descripción estructurada del POAP – EI, organizado en cuatro niveles jerárquicos: a) “proceso” el cual contiene las estaciones de proceso; b) “etapas de proceso” en el cual se proporcionan cambios físicos y químicos a las materias primas; c) “operaciones de proceso” el cual contiene las actividades principales de procesamiento; d) “acciones de proceso” siendo estas las actividades secundarias de procesamiento. En comparación con el modelo de escala mínima este nuevo modelo de proceso de escala industrial es similar, tan solo se ha eliminado la operación de winterizado a raíz de conversaciones técnicas realizadas con el grupo de investigación expertos en el proceso.

El POAP – EI cuenta con 2 etapas de proceso, 6 operaciones (ver Figura 62) y 18 acciones de proceso (ver Figura 63 y Figura 64).

Figura 62: proceso, etapas de proceso y operaciones del POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

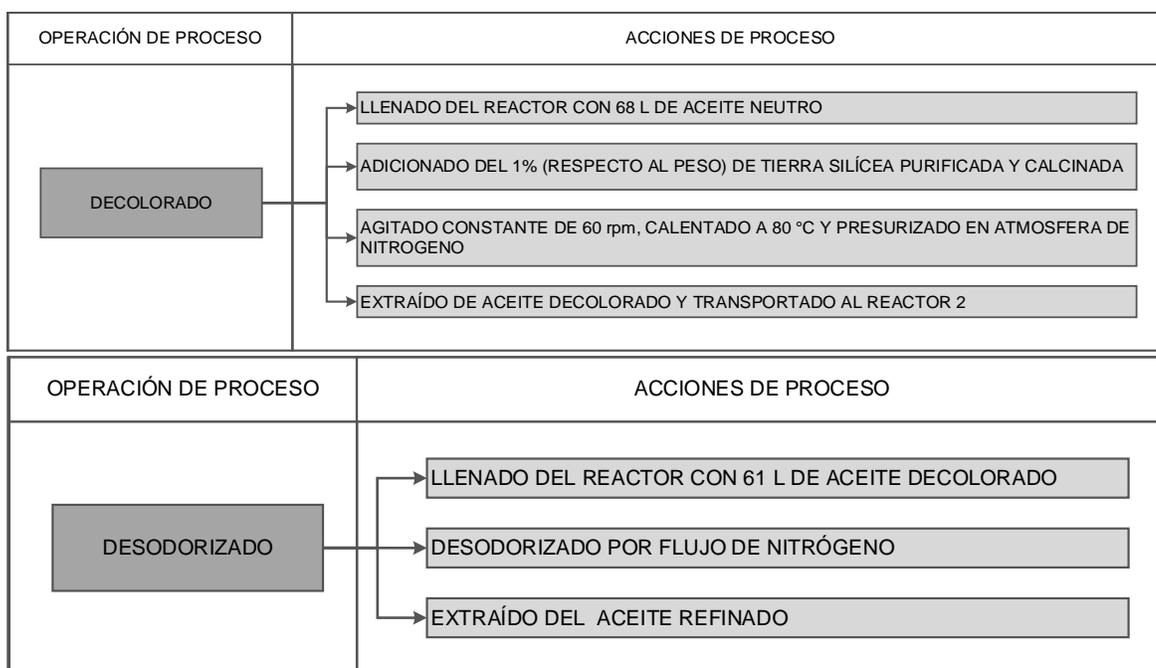
Figura 63: acciones de proceso para las operaciones de la etapa de extracción de aceite crudo del POAP – EI.

OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
PREPARADO DEL ENSILADO	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO DE LA CISTERNA CON 428 kg DE VÍSCERAS DE PESCADO → LLENADO DEL TANQUE CON LOS 428 kg DE VÍSCERAS DE PESCADO DE LA CISTERNA → ADICIONADO DEL 2.5% (RESPECTO AL PESO) DE ÁCIDO FÓRMICO * Y DEL 0.1% (RESPECTO AL PESO) DE BHT → MEZCLADO DE LOS COMPONENTES DURANTE 10 min → HIDROLIZADO DE LA MEZCLA DURANTE 6 DIAS
EXTRACCIÓN DEL ACEITE DEL ENSILADO	<ul style="list-style-type: none"> → EXTRAÍDO DEL ACEITE DEL ENSILADO DE PESCADO Y TRANSPORTADO DE ESTE AL REACTOR 1

Fuente: elaboración propia, febrero de 2016.

Figura 64: acciones de proceso para las operaciones de la etapa refinación del aceite crudo del POAP – EI.

OPERACIÓN DE PROCESO	ACCIONES DE PROCESO
DESGOMADO	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO DEL REACTOR CON 84 L DE ACEITE CRUDO → ADICIONADO DEL 0.5% (RESPECTO AL PESO) DE ÁCIDO FOSFÓRICO → AGITADO CONSTANTE DE 60 rpm, CALENTADO A 80 °C Y PRESURIZADO EN ATMOSFERA DE NITROGENO → EXTRAÍDO DEL ACEITE DESGOMADO Y TRANSPORTADO AL REACTOR 2
NEUTRALIZADO	<ul style="list-style-type: none"> → LLENADO DEL REACTOR CON 77 L DE ACEITE DESGOMADO → ADICIONADO DEL 0.3% (RESPECTO AL PESO) DE KOH → AGITADO CONSTANTE DE 60 rpm, CALENTADO A 80 °C Y PRESURIZADO EN ATMOSFERA DE NITROGENO → EXTRAÍDO DEL ACEITE NEUTRO Y TRANSPORTADO AL REACTOR 1



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

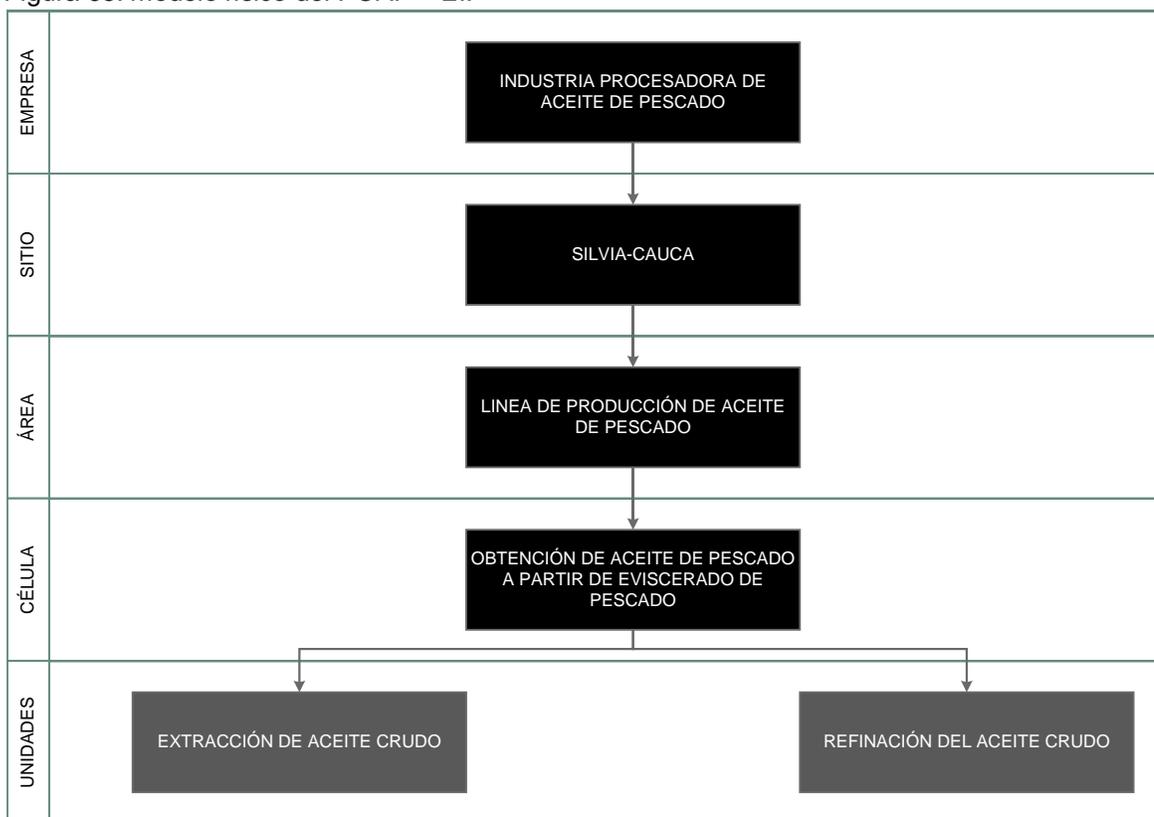
De lo anterior se tiene que el proceso inicia con la etapa de extracción de aceite crudo (ver Figura 63), en la cual se mezcla el eviscerado de pescado con el BHT y el ácido Fórmico y se deja en reposo por seis días (tiempo de hidrólisis) completando así la operación de preparación del ensilado, para posteriormente extraer el aceite.

En la segunda etapa (ver Figura 64), refinación del aceite crudo, siendo esta más extensa debido a la cantidad de operaciones que tiene, inicia con desgomado, el propósito de esta es quitar todas las gomas del aceite; siguiendo con la operación de neutralizado en la cual se retiran los jabones presentes en el aceite desgomado sin embargo el aceite presenta un color fuerte y su olor tiende a ser rancio, para mejorar sus propiedades se utilizan las operaciones de decolorado y desodorizado, asegurando que el aceite cumpla con las características del aceite comercial.

9.2. Modelo físico POAP – EI

El modelo físico general del POAP – EI, muestra la jerarquía de la siguiente forma: a nivel de empresa está la Industria procesadora de aceite de pescado, ubicada en el municipio de Silvia-Cauca, a nivel de sitio se encuentra Silvia-Cauca, y a nivel de área está la línea de producción de aceite de pescado. En cuanto a la planta del POAP – EI la célula se conforma por dos unidades: extracción de aceite crudo y refinación de aceite crudo (ver Figura 65).

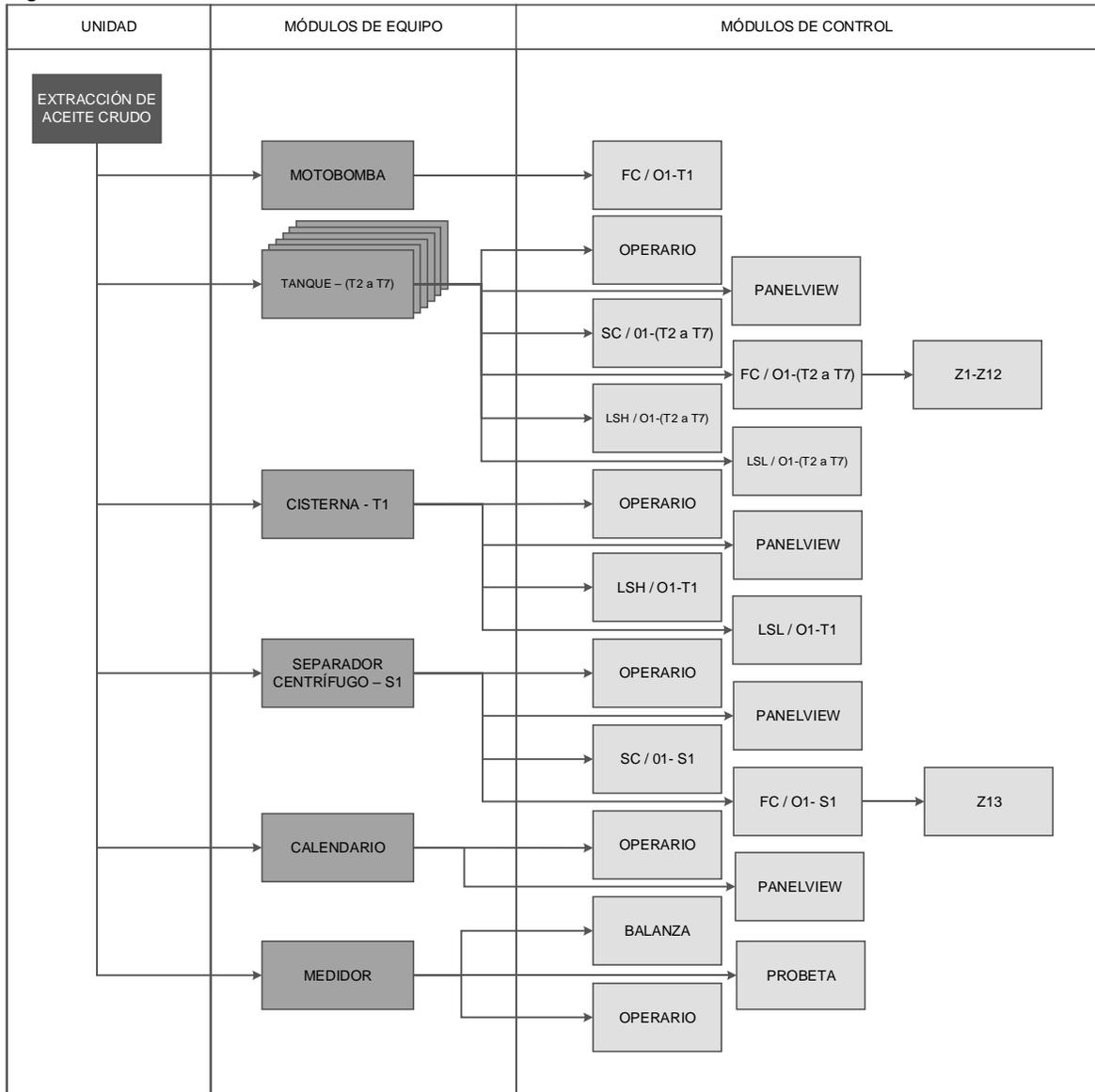
Figura 65: modelo físico del POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Al analizar cada unidad, se obtiene información más detallada de los activos físicos que componen el POAP – EI. La descripción física de la célula de proceso muestra en total 2 unidades, 17 módulos de equipo y 157 módulos de control (ver Figura 66 y Figura 67)

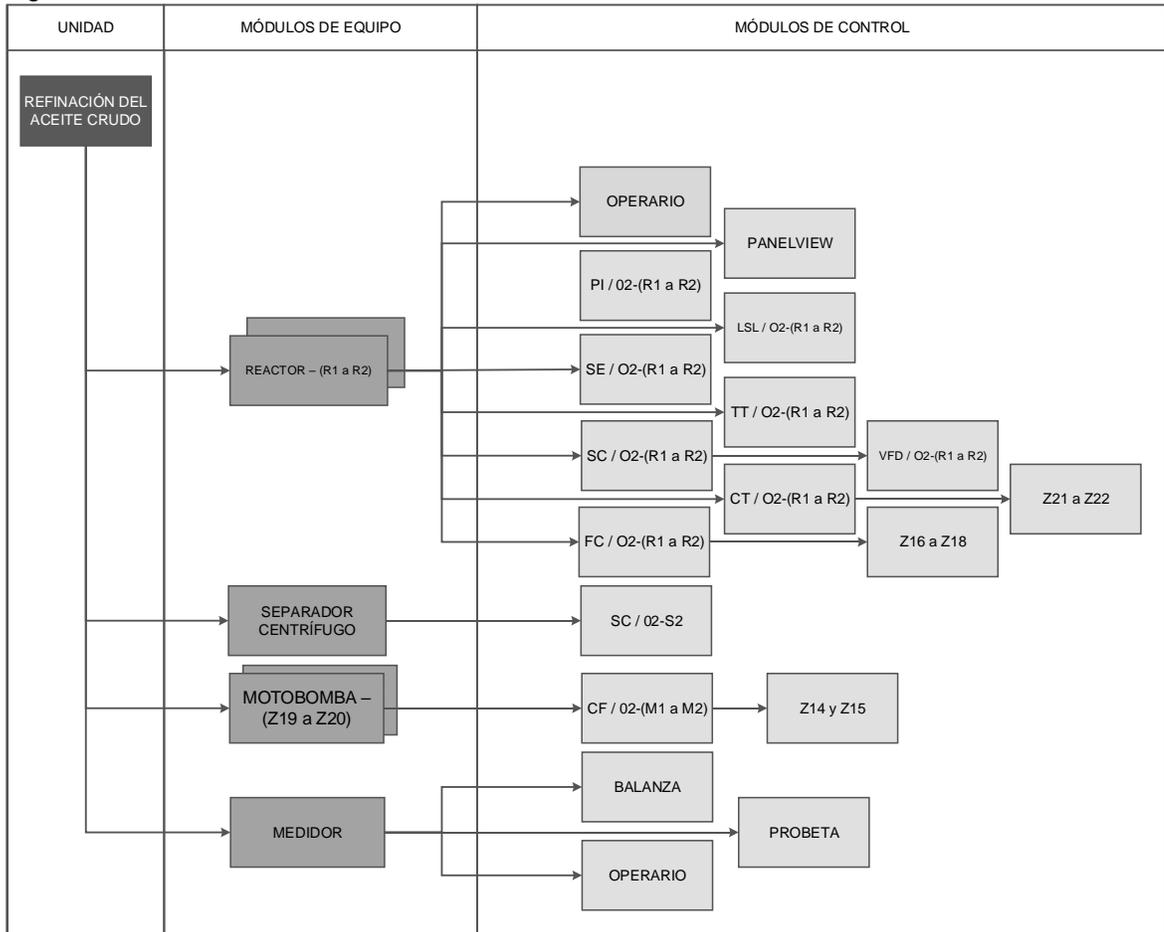
Figura 66: modelo físico de la unidad “extracción del aceite crudo” POAP – E1.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En primera instancia, el modelo físico de la unidad de extracción de aceite de pescado (ver Figura 66) muestra los diferentes módulos de equipos y de control que se requieren para llevar a cabo las actividades de esta unidad. Del cual se observa por ejemplo que el módulo de equipo tanque tiene como módulo de control un operario, un interruptor por nivel: alto y bajo, una PanelView y un algoritmo de control de: velocidad y flujo para las electroválvulas asociadas.

Figura 67: modelo físico de la unidad “refinación del aceite crudo” POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En segunda instancia, el modelo físico de la unidad de refinado de aceite crudo (ver Figura 67), muestra los módulos de equipo y control que se requieren para llevar a cabo las 4 operaciones necesarias en esta unidad, en dicho modelo se observa por ejemplo que el módulo de equipo reactor tiene como módulo de control un operario, una PanelView, un indicador de presión, un interruptor por nivel bajo, un VFD, un sensor de velocidad, un transmisor de temperatura, algoritmos de control de: velocidad, temperatura y flujo para las electroválvulas asociadas.

9.3. Modelo de control procedimental POAP – EI

El modelo de control procedimental general para el POAP – EI, muestra que a nivel de procedimiento se encuentra: obtener aceite de pescado a partir de eviscerado de pescado, el cual se conforma por dos procedimientos de unidad: extraer aceite crudo y refinar el aceite crudo (ver Figura 68).

Figura 68: modelo de control procedimental del POAP – EI.



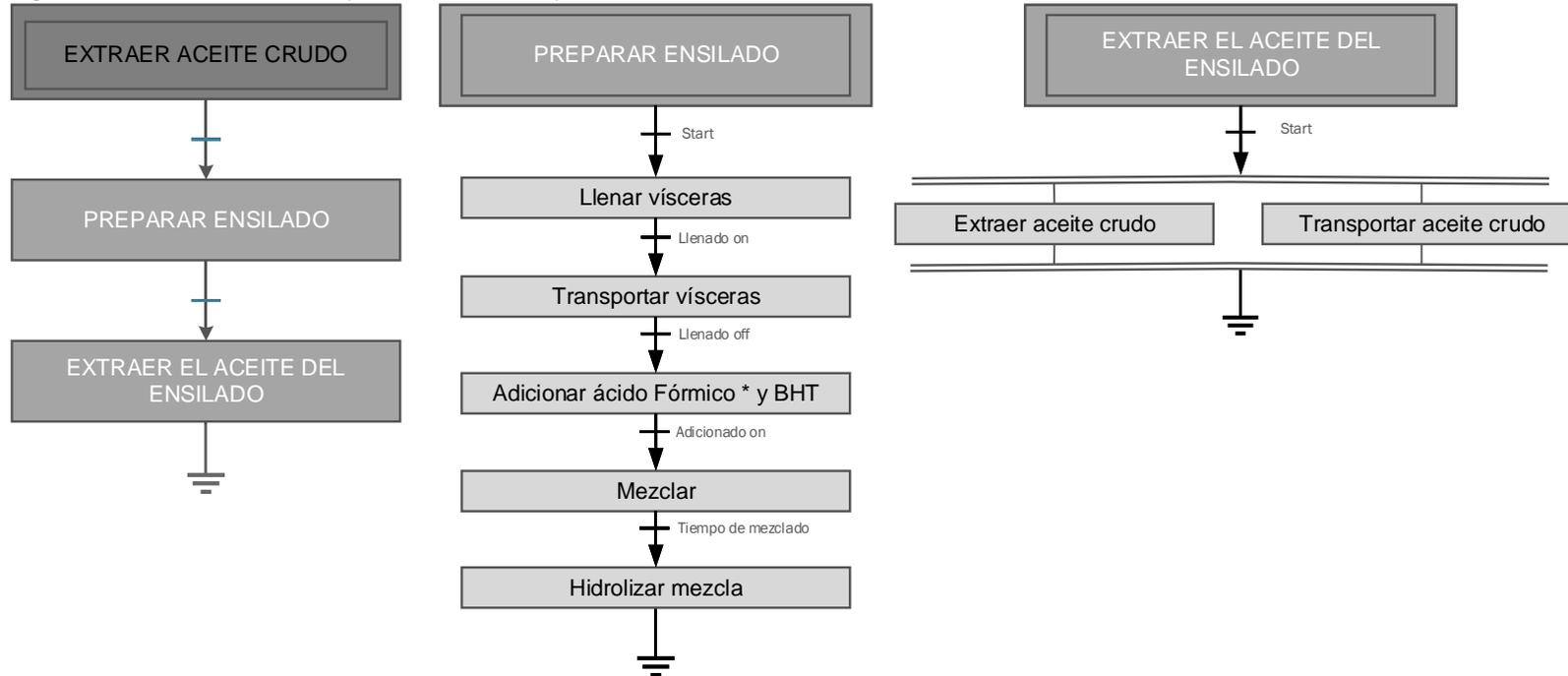
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Una vez se profundiza cada procedimiento de unidad, se obtiene información detallada de la secuencia de control que se realiza a lo largo del proceso. En síntesis, el procedimiento del POAP – EI tiene un total de 2 procedimientos de unidad, 6 operaciones y 31 fases (ver Figura 69 y Figura 70).

De la Figura 69 se observa que en el procedimiento de unidad “extraer aceite crudo”, se ejecuta primeramente la operación “preparar ensilado” conformada por 5 fases secuenciales: llenar vísceras (428 kg de eviscerado de pescado), transportar vísceras, adicionar ácido Fórmico (2,5 % respecto al peso) y BHT (0.1 % respecto al peso), mezclar (10 minutos) e hidrolizar mezcla (6 días de hidrolisis). Una vez culminada esta operación, inicia la operación “extraer el aceite del ensilado” que está conformada por 2 fases: extraer el aceite crudo y transportar aceite crudo (35 minutos).

De la Figura 70 se observa que en el procedimiento de unidad “refinar el aceite crudo”, se ejecuta primeramente la operación “desgomar” conformada por 7 fases: llenar aceite curdo (84 L de aceite crudo), adicionar Fosfórico (0.5% respecto al peso), mesclar, calentar, presurizar extraer aceite desgomado (30 minutos) y transportar aceite desgomado; Posteriormente, inicia la operación “neutralizar” conformada por 7 fases: llenar (77 L de aceite desgomado), adicionar KOH (0.3% respecto al peso), mezclar, calentar, presurizar, extraer aceite neutro (30 minutos) y transportar aceite curdo. Una vez culminada esta operación inicia “decolorar”, la cual está conformada por 7 fases: llenar (68 L de aceite neutro), adicionar tierra silíceas (1% respecto al peso), mezclar, calentar, presurizar, extraer aceite decolorado (30 minutos) y transportar aceite decolorado; finalmente el procedimiento de unidad termina con la operación de “desodorizado”, conformada por 3 fases: llenar (61 L de aceite decolorado), presurizar y extraer aceite refinado (60 minutos).

Figura 69: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: extraer aceite crudo POAP- EI.

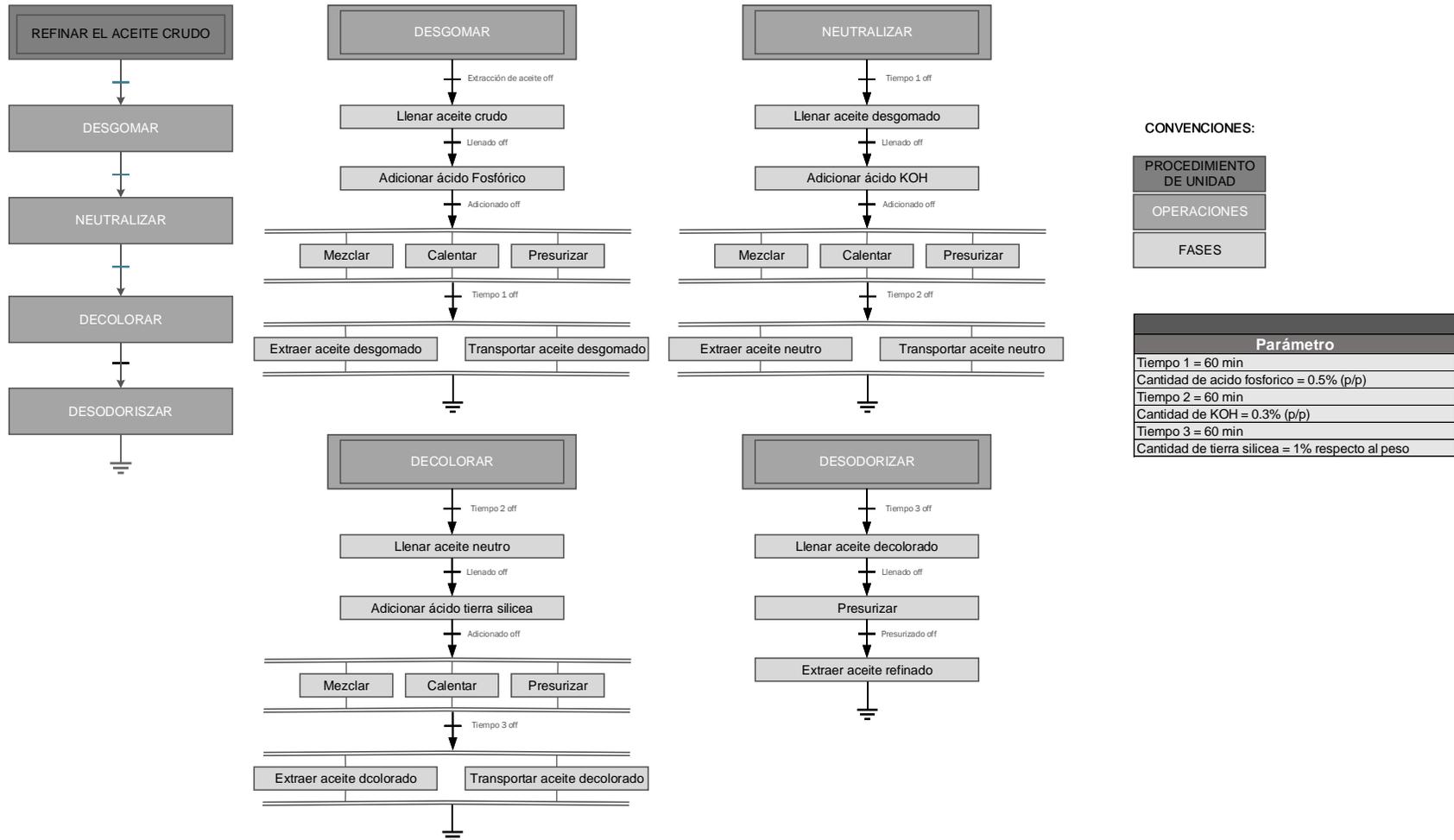


CONVENCIONES:

PROCEDIMIENTO DE UNIDAD	Parámetro
OPERACIONES	Cantidad de eviscerado = 480 kg
	Ácido fórmico en el tanque = 2.5% (p/p)
FASES	BHT en el tanque = 0.1% (p/p)
	Tiempo de mezclado = 10 min 8640 mi
	Tiempo hidrolisis = 8640 min

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 70: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

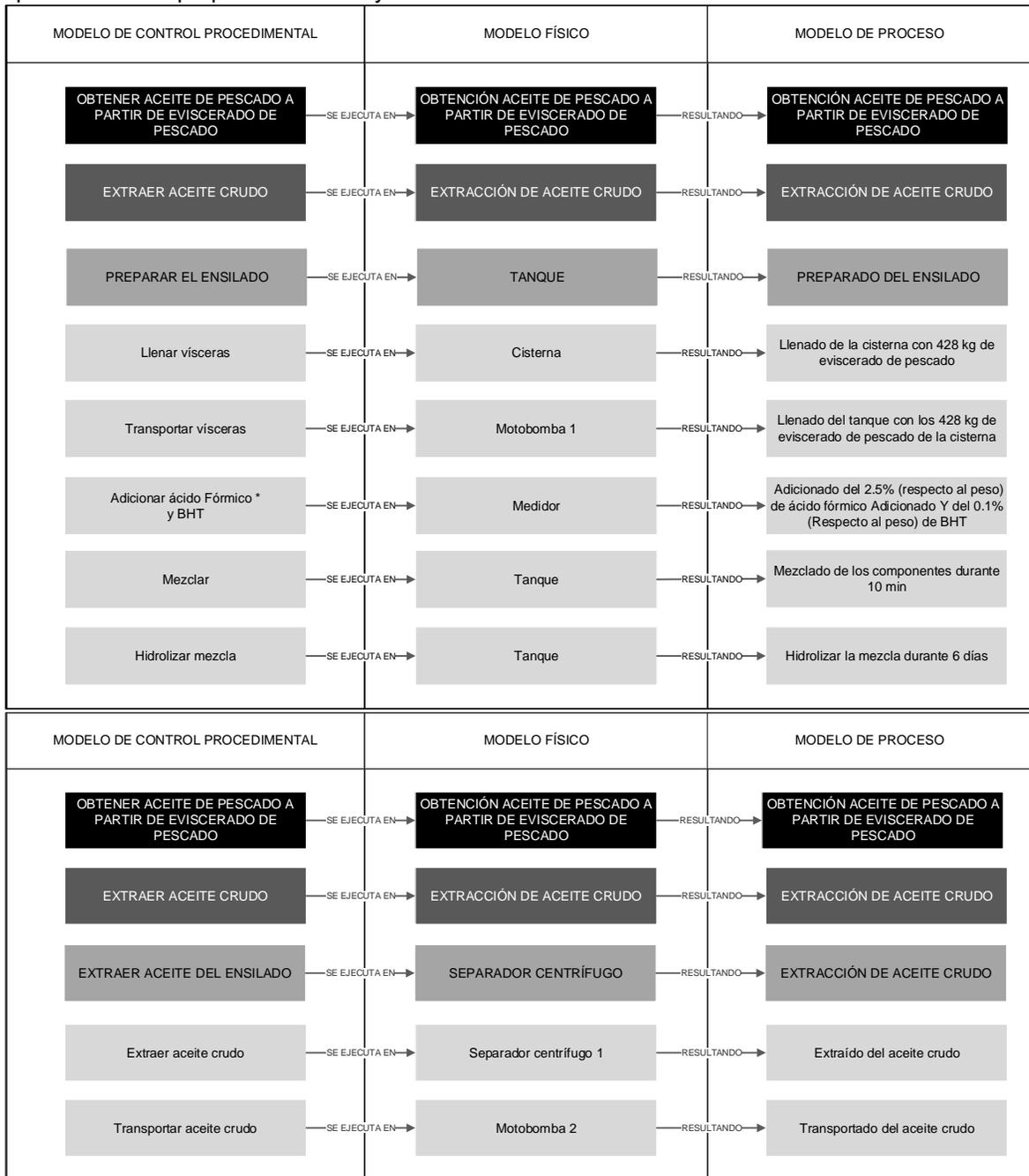
9.4. Relación entre los modelos ISA - S88.01 POAP – EI

Este modelo permite ver de manera clara cuales son las acciones de proceso que se deben realizar de manera secuencial en cada una de las operaciones, muestra con qué equipo se cuenta para en la planta para llevar a cabo cada acción de proceso y que resulta de cada una de ellas.

Por ejemplo: en la Figura 71 se presenta el modelo relacional para la operación “preparar el ensilado” correspondiente a la etapa de proceso “extracción de aceite crudo”, en donde se muestra que para cumplir con esta operación se requiere cumplir con las siguientes acciones de proceso de manera secuencial así: a) llenar vísceras que se ejecutan en la cisterna con lo cual se obtiene como resultando el llenado de esta con 428 kg de eviscerado de pescado; b) transportar vísceras que se ejecuta en una motobomba, lo cual genera como resultado el llenado del tanque con los 428 kg de vísceras de pescado de la cisterna; c) adicionar ácido Fórmico (este se adiciona dependiendo de las condiciones de entrada de la materia prima a la planta) y BHT, el cual se ejecuta por medio de un equipo medidor y se obtiene como resultado el adicionado del 2.5 % y 0.1 % respecto al peso de estos respectivamente; d) mezclar que se ejecuta en el tanque dando como resultado un mezclado homogéneo de los componentes; e) hidrolizar mezcla que igualmente se ejecuta en el tanque dando como resultado el hidrolizado de pescado.

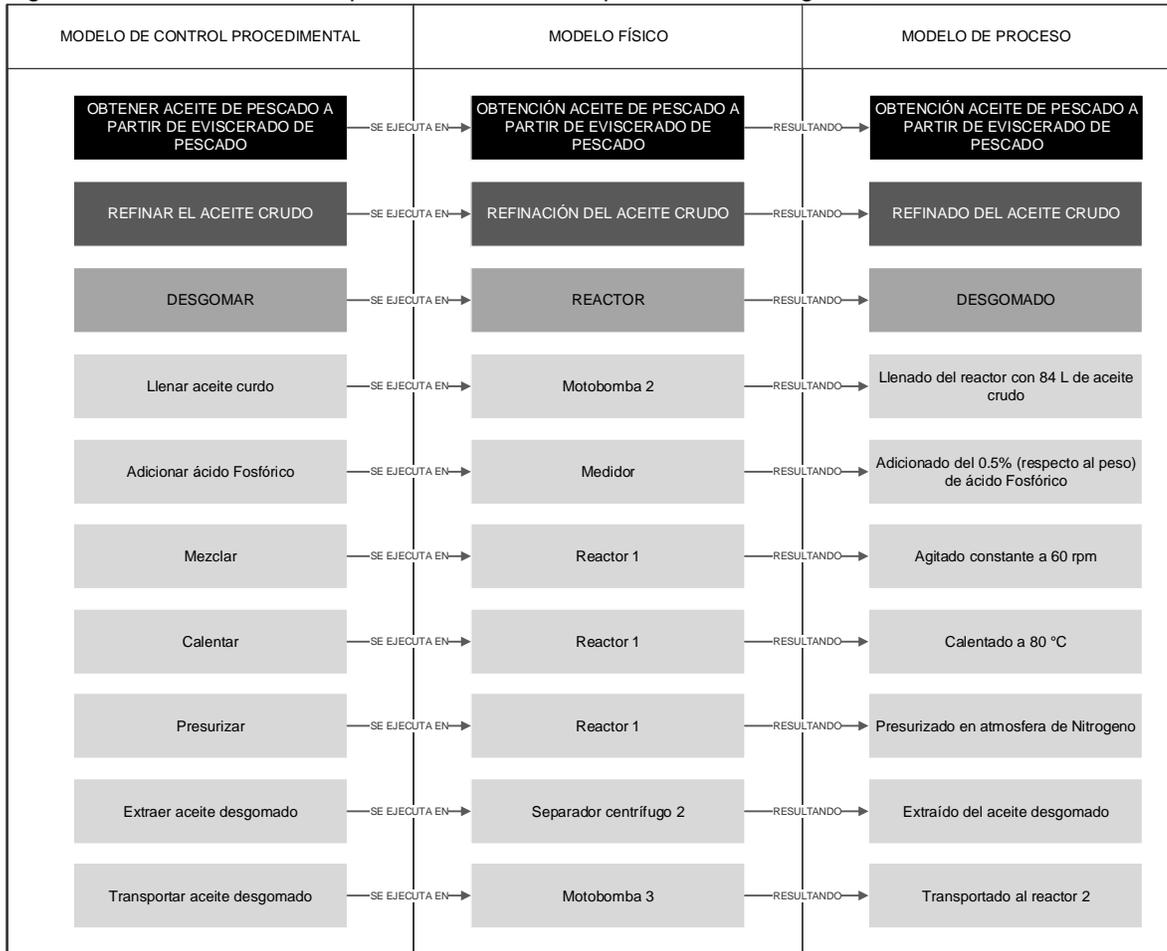
De igual manera como se explicó el anterior modelo relacional llevado a cabo para cumplir con la operación de proceso “preparación del ensilado”, aplica para cada uno de los modelos relacionales que representan como llevar a cabo las operaciones de proceso “extraer aceite del ensilado”, “desgomar”, “neutralizar”, decolorar” y “desodorizar” ver Figura 72 a Figura 74.

Figura 71: modelo de control procedimental de procedimiento de unidad: refinar el aceite crudo, operaciones de “preparar ensilado” y “extraer aceite del ensilado” POAP – EI.



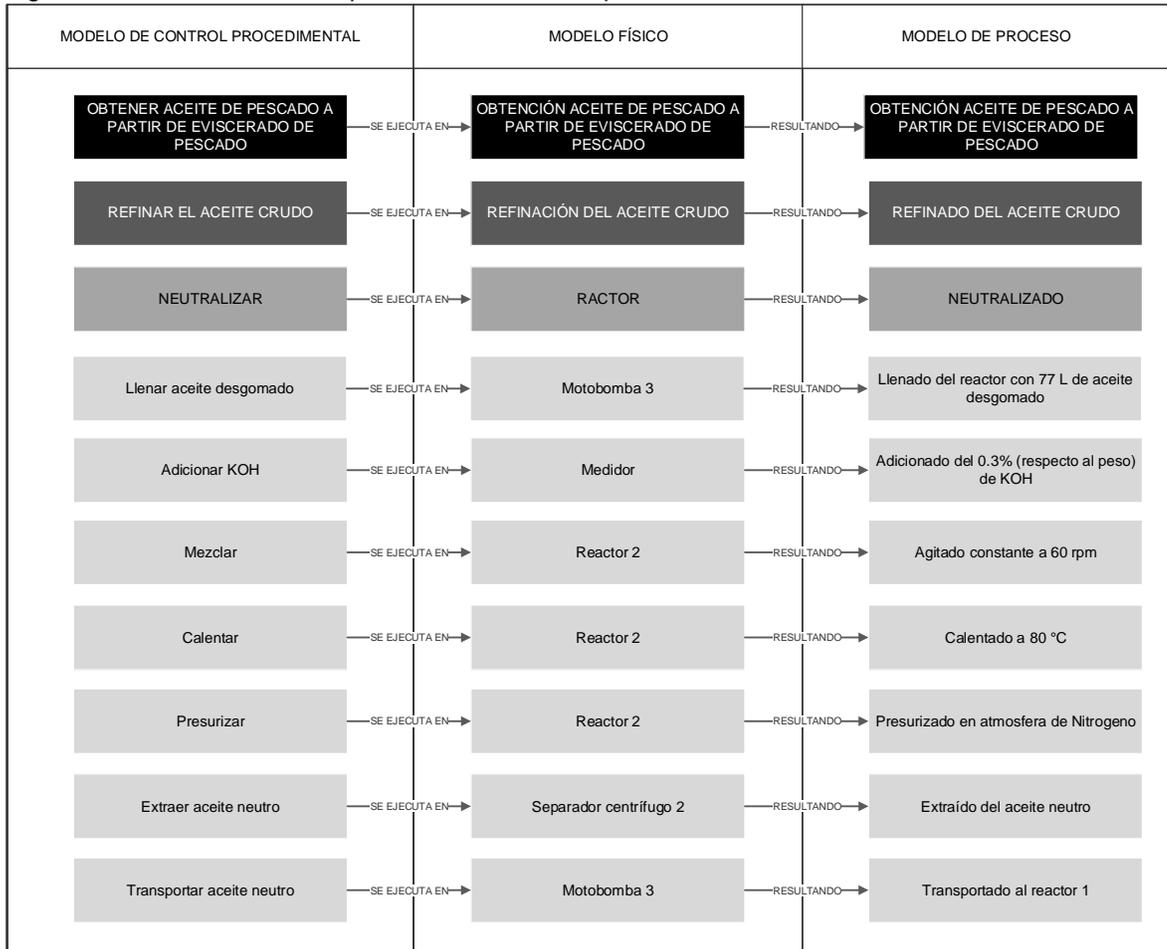
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 72: modelo de control procedimental de la operación de “desgomar, POAP – EI.



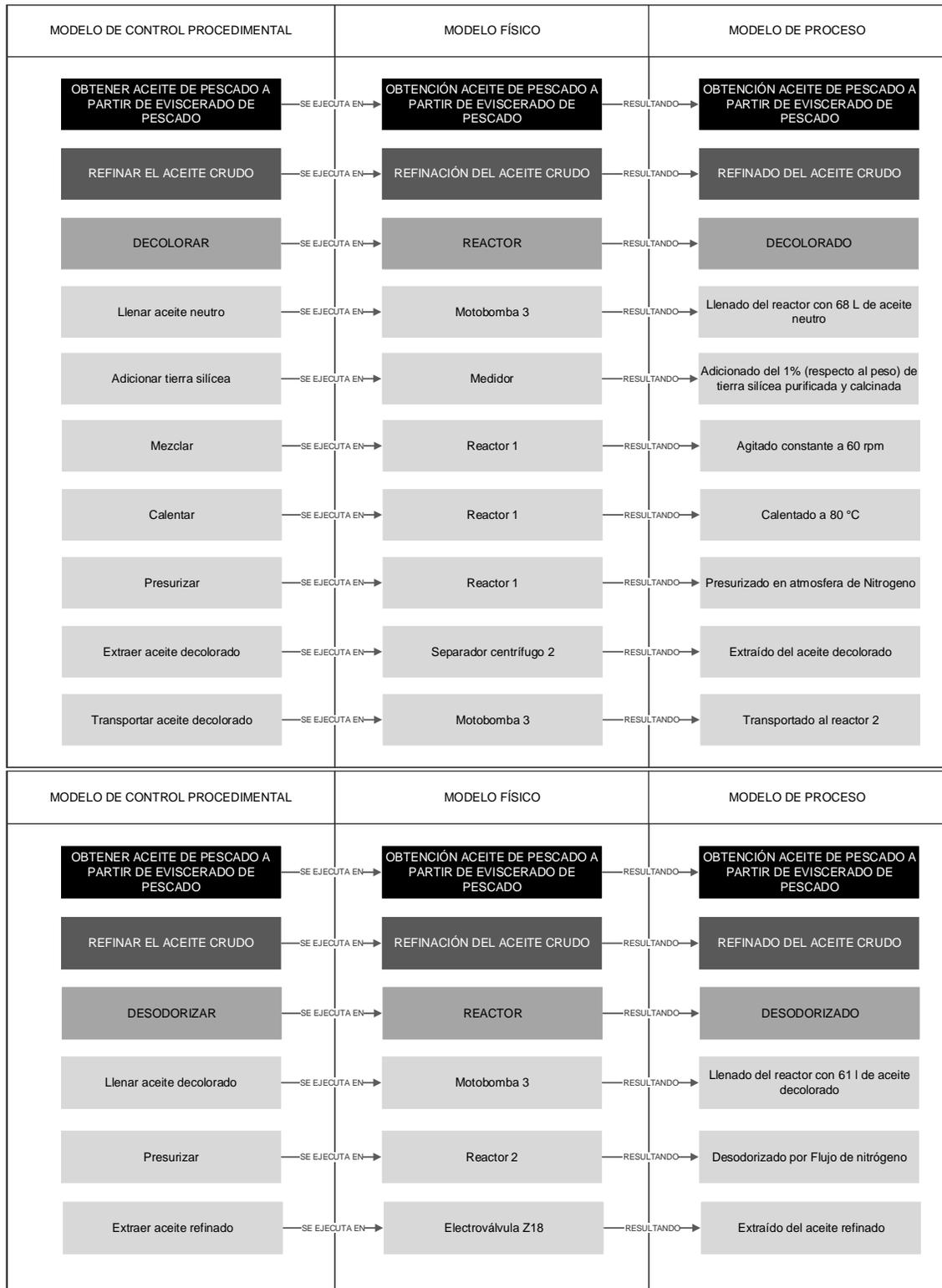
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 73: modelo de control procedimental de la operación de “neutralizar, POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Figura 74: modelo de control procedimental de las operaciones de “decolorar” y “desodorizar”, POAP – EI.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

9.5. Receta maestra y de control del POAP – EI

9.5.1. Receta maestra del POAP – EI

Las entradas, productos, parámetros y salidas del POAP – EI se organizaron de acuerdo a las operaciones. Además, se tiene en cuentas los requerimientos de equipos para la puesta en marcha del proceso (ver Tabla 34).

Tabla 34: receta maestra del POAP – EI.

RECETA MAESTRA		
PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE PESCASO A PARTIR DEL EVISCERADO DE TRUCHA		
VERSIÓN: 1.0		
AUTOR (ES): Lenin Córdoba Eraso, Sergio Guillermo Melo C.		
REVISÓ: Ing. Juan Fernando Flórez M.		
FECHA: Popayán, 27 de febrero de 2017.		
FÓRMULA		
Entrada de proceso	Vísceras de pescado*	
	Ácido Fórmico*	
	BHT	
	Ácido Fosfórico	
	Hidróxido de Potasio (KOH)	
	Tierra silícea	
	Alimentación eléctrica	
Producto en proceso	Ensilado, agua, proteína y aceite crudo	
Parámetro de proceso por operación	Operación	Parámetro
	Preparado del ensilado	Tiempo de llenado de las vísceras*
		Tiempo de agregado de los insumos (Ácido Fórmico y BHT)
		Tiempo de mezclado del ensilado
		Velocidad de agitación del ensilado
		Tiempo de hidrólisis del ensilado
	Extracción del aceite del ensilado	Tiempo de vaciado del ensilado
		Velocidad de separado del ensilado
		Tiempo de separado del ensilado
		Volumen de aceite crudo extraído
	Desgomado	Tiempo de llenado del reactor para desgomado
		Volumen de aceite crudo llenado
		Tiempo de agregado de ácido Fosfórico

		Tiempo de desgomado del aceite crudo
		Temperatura de calentado el aceite crudo
		Velocidad de agitación del aceite crudo
		Presión interna del reactor
		Tiempo de vaciado del reactor de desgomado
		Velocidad de centrifugado del aceite desgomado
		Tiempo de centrifugado del aceite desgomado
	Neutralizado	Tiempo de llenado del reactor para neutralizado
		Volumen de aceite desgomado llenado
		Tiempo de agregado del KOH
		Temperatura de calentado del aceite desgomado
		Velocidad de agitación del aceite desgomado
		Tiempo de agitación del aceite desgomado
		Presión interna del reactor
		Tiempo de vaciado del reactor de neutralizado
		Velocidad de centrifugado del aceite neutralizado
		Tiempo de centrifugado del aceite neutralizado
	Decolorado	Tiempo de llenado del reactor para decolorado
		Volumen de aceite neutralizado llenado
		Tiempo de agregado de la tierra silíceo
		Calentado del aceite neutralizado
		Velocidad de agitación del aceite neutralizado
		Tiempo de agitación del aceite neutralizado
		Presión interna del reactor
		Tiempo de vaciado del reactor de decolorado

		Velocidad de centrifugado del aceite decolorado
		Tiempo de filtrado de la tierra silíceas del aceite decolorado
	Desodorizado	Tiempo de llenado del reactor para desodorizado
		Volumen de aceite decolorado llenado
		Tiempo de desodorizado del aceite decolorado
		Presión interna del tanque
		Tiempo de vaciado del reactor del aceite desodorizado
	Volumen de aceite desodorizado o refinado	
Salida de proceso	Aceite refinado	

REQUERIMIENTOS DE EQUIPO

Tanque de almacenamiento del ensilado

Reactor

Probetas

Balanza

Motobomba

Separador centrífugo

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

9.5.2. Receta de control del POAP – EI

En el POAP – EI se presentan: materiales, productos procesados, parámetros y requerimientos de equipos que, junto a cantidades, valores y especificaciones, estos conforman la receta de control del mismo. Así, se cuenta con la información específica para obtener aceite de consumo humano (ver Tabla 35).

Tabla 35: receta de control del POAP – EI.

RECETA DE CONTROL

PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE PESCASO A PARTIR DEL EVISCERADO DE TRUCHA

VERSIÓN: 1.0

AUTOR (ES): Lenin Córdoba Eraso, Sergio Guillermo Melo C.

REVISÓ: Ing. Juan Fernando Flórez M.

FECHA: Popayán, 27 de febrero de 2017.

FÓRMULA

Entrada de proceso	Material	Cantidad	Unidad
	Vísceras de pescado	428	kg
	Ácido Fórmico	80,5	mL
	BHT	428	g

	Ácido Fosfórico	20,44	mL
	Hidróxido de Potasio (KOH)	139,0	g
	Tierra silíceo	622,2	g
	Alimentación eléctrica	110 - 220	VAC
Producto en proceso	Ensilado, agua, proteína y aceite crudo		
Parámetro de proceso por operación	Parámetro	Valor	Unidad
	Tiempo de llenado de las vísceras*	32	min
	Tiempo de agregado de los insumos (Ácido Fórmico y BHT)	5	min
	Tiempo de mezclado del ensilado	10	min
	Velocidad de agitación del ensilado	60	min ⁻¹
	Tiempo de hidrólisis del ensilado	6	días
	Tiempo de vaciado del ensilado	35	min
	Velocidad de separado del ensilado	30	min ⁻¹
	Tiempo de separado del ensilado	35	min
	Volumen de aceite crudo extraído	84	L
	Tiempo de llenado del reactor para desgomado	35	min
	Volumen de aceite crudo llenado	84	L
	Tiempo de agregado de ácido Fosfórico	5	min
	Tiempo de desgomado del aceite crudo	60	min
	Temperatura de calentado el aceite crudo	80	°C
	Velocidad de agitación del aceite crudo	60	min ⁻¹
	Presión interna del reactor	30	psi
	Tiempo de vaciado del reactor de desgomado	20	min
	Velocidad de centrifugado del aceite crudo	30	min ⁻¹
	Tiempo de centrifugado del aceite desgomado	20	min
	Tiempo de llenado del reactor para neutralizado	20	min
	Volumen de aceite desgomado llenado	76	L
	Tiempo de agregado del KOH	5	min
	Temperatura de calentado del aceite desgomado	40	°C
	Velocidad de agitación del aceite desgomado	60	min ⁻¹
	Tiempo de agitación del aceite desgomado	40	min
	Presión interna del reactor	30	psi
	Tiempo de vaciado del reactor de neutralizado	30	min
	Velocidad de centrifugado del desgomado	30	min
	Tiempo de centrifugado del aceite neutralizado	30	min
	Tiempo de llenado del reactor para decolorado	30	min
	Volumen de aceite neutralizado llenado	68	L
	Tiempo de agregado de la tierra silíceo	5	min
	Temperatura de calentado del aceite neutralizado	80	°C
Velocidad de agitación del aceite neutralizado	60	min ⁻¹	
Tiempo de agitación del aceite neutralizado	40	min	

	Presión interna del reactor	30	psi
	Tiempo de vaciado del reactor de decolorado	30	min
	Velocidad extracción de la tierra silíceo	30	min ⁻¹
	Tiempo de filtrado de la tierra silíceo del aceite decolorado	30	min
	Tiempo de llenado del reactor para desodorizado	30	min
	Volumen de aceite decolorado llenado	61	L
	Tiempo de desodorizado del aceite decolorado	60	min
	Presión interna del tanque	30	psi
	Tiempo de vaciado del reactor del aceite desodorizado	30	min
	Volumen de aceite desodorizado o refinado	61	L
Salida de proceso	60 – 62 L de aceite refinado		

REQUERIMIENTOS DE EQUIPO

Equipo	Especificación
Tanque de almacenamiento del ensilado	Fabricante: Shanghai, you can beverage machine Co ltd; capacidad: 600 L; revoluciones del agitador: 60 RPM; potencia del agitador: 1,5 kW; voltaje 380 V / 50 Hz.
Reactor	Fabricante: Wanda Chemical Co Ltd; capacidad: 200 L; material: SS304; potencia del mezclador: 0,75 kW; presión de trabajo: 30 psi; calefacción: por chaqueta.
Probetas	Material: vidrio esmerilado; tipo: cuello angosto; capacidad: 250 mL
Balanza	Modelo: GAB - N; marca: KERN; rango de medida: 0,2 g a 30 kg.
Motobomba	Fabricante: RZR bombas positivas; voltaje: 100 V/ 60 Hz; potencia: ¼ HP; presión de admisión: 0,5 a 10 kg-f/m ² ; presión de descarga: 400 psi; viscosidades: 5 a 40000 cP; temperatura: - 10 a 240 °C; tipo de fluido: grasas y aceites.
Separador centrífugo	Fabricante: Sinoped; voltaje: 220 V/380 V; potencia: 7,5 W/ 18,5 W; material: acero inoxidable; capacidad: 2 – 10 m ³ /h; revoluciones alcanzadas: 5400 RPM; uso: industria farmacéutica, química y alimenticia.

* Se debe tener en cuenta que no siempre llegarán vísceras, es posible que llegue ensilado con tiempo de hidrólisis entre 3 y 4 días.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

9.6. Formato de seguimiento de parámetros y documentación formal

Para la ejecución del POAP – EI es importante realizar un registro formal de todos los parámetros que son utilizados en este. Para ello, el formato de seguimiento de parámetros propuesto (ver Tabla 36) tiene en cuenta los parámetros distribuidos en cada una de las fases del proceso. Además, se agrega un espacio para anotaciones en caso de que surjan anomalías durante la ejecución de las operaciones.

Tabla 36: formato de seguimiento de parámetros del POAP – LAB.

PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE PESCADO A PARTIR DEL EVISCERADO DE TRUCHA				
Nombre del operario				
Fecha				
Hora de inicio				
Hora de finalización				
Operación	Parámetro	Valor	Unidad	Anomalías
Preparado del ensilado	Tiempo de llenado de las vísceras		min	
	Agregar ácido Fórmico		mL	
	Agregar BHT		g	
	Tiempo de agregado de los insumos (Ácido Fórmico y BHT)		min	
	Tiempo de mezclado del ensilado		min	
	Velocidad de agitación del ensilado		min ⁻¹	
	Tiempo de hidrólisis del ensilado		días	
Extracción del aceite del ensilado	Tiempo de vaciado del ensilado		min	
	Velocidad de separado del ensilado		min ⁻¹	
	Tiempo de separado del ensilado		min	
	Volumen de aceite crudo extraído		L	
Desgomado	Tiempo de llenado del reactor para desgomado		min	
	Volumen de aceite crudo llenado		g	
	Agregar ácido Fosfórico		mL	
	Tiempo de agregado de ácido Fosfórico		min	
	Tiempo de desgomado del aceite crudo		min	
	Temperatura de calentado el aceite crudo		°C	
	Velocidad de agitación del aceite crudo		min ⁻¹	
	Presión interna del reactor		psi	
	Tiempo de vaciado del reactor de desgomado		min	
	Velocidad de centrifugado del aceite desgomado		min ⁻¹	
Tiempo de centrifugado del aceite desgomado		min		
Neutralizado	Tiempo de llenado del reactor para neutralizado		min	
	Volumen de aceite desgomado llenado		L	
	Agregar KOH		g	
	Tiempo de agregado del KOH		min	
	Temperatura de calentado del aceite desgomado		°C	
	Velocidad de agitación del aceite desgomado		min ⁻¹	
	Tiempo de agitación del aceite desgomado		min	

	Presión interna del reactor		psi
	Tiempo de vaciado del reactor de neutralizado		min
	Velocidad de centrifugado del aceite neutralizado		min ⁻¹
	Tiempo de centrifugado del aceite neutralizado		min
Decolorado	Tiempo de llenado del reactor para decolorado		min
	Volumen de aceite neutralizado llenado		L
	Agregar tierra sílicea		g
	Tiempo de agregado de la tierra sílicea		min
	Calentado del aceite neutralizado		°C
	Velocidad de agitación del aceite neutralizado		min ⁻¹
	Tiempo de agitación del aceite neutralizado		min
	Presión interna del reactor		psi
	Tiempo de vaciado del reactor de decolorado		min
	Velocidad de centrifugado del aceite decolorado		min ⁻¹
	Tiempo de filtrado de la tierra sílicea del aceite decolorado		min
	Desodorizado	Tiempo de llenado del reactor para desodorizado	
Volumen de aceite decolorado llenado			L
Tiempo de desodorizado del aceite decolorado			min
Presión interna del tanque			psi
Tiempo de vaciado del reactor del aceite desodorizado			min
Volumen de aceite desodorizado o refinado			L

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Con el formato de seguimiento se da el cumplimiento al RG1.

10. ANEXO J: RECOMENDACIÓN DE EQUIPO (S) PARA EL TRATAMIENTO DE LA HIDRÓLISIS DE PROTEÍNA DE PESCADO (HPP)

Dado que la proteína de pescado es un subproducto derivado de la extracción del aceite (mezcla conformada por proteína y agua, conocida como hidrólisis de proteína de pescado, a la cual en adelante se le denominará HPP) y teniendo en cuenta los beneficios a nivel industrial para la producción de otros productos, tales como harina y alimento para peces, para realizar este aprovechamiento se requiere realizar un procedimiento donde se obtenga la materia prima libre de humedad.

Para obtener la materia prima como se requiere se recomienda utilizar cualquiera de las técnicas que se presentarán a continuación:

10.1. Secado por aspersión

Esta técnica implementa tecnología que permite obtener un producto en polvo, a partir de un material líquido concentrado, para ello utiliza un principio de operación basado en la atomización del producto formando micro gotas que al entrar en contacto con el aire caliente (medio calefactor y fluido de transporte) son pulverizadas de forma casi instantánea, obteniendo como resultado un sólido el cual es depositado en la parte inferior del equipo, donde es recuperado [45]. De manera general los pasos para el secado por aspersión son [46]:

- Se tiene el producto inicial en estado líquido
- El producto inicial entra en contacto con el aire caliente
- Se seca hasta el grado en que se requiere
- Se recupera el producto final

El equipo para llevar a cabo esta técnica es un secado o secadora de aspersión.

10.2. Secado al vacío

Esta técnica se usa para secar productos térmicamente sensitivos o fácilmente oxidables y también ayuda a evitar pérdidas de material. Esta es ampliamente utilizada en las industrias farmacéuticas y químicas, así como en productos alimenticios y biotecnología, este se considera de acuerdo a las condiciones físicas para añadir calor y remover vapor de agua [47].

Existen diversos equipos que son empleados para esta técnica de secado, los cuales, basan su aplicación a las características físicas del material de entrada, entre los equipos se comprende: las estufas de secado, secadores cilíndricos y secado a base de bandejas, sin embargo, en la literatura se recomienda que cuando se debe tratar productos mojados el equipo más apropiado es el secador a vacío de un solo cilindro [48].

10.3. Micro-filtración

Los autores del presente trabajo de grado proponen esta técnica usualmente empleada en la industria láctea; inicialmente se debe filtrar el HPP saliente del proceso de extracción

de aceite crudo, haciendo uso de un filtro de membranas el cual separa la proteína del agua quedando está en la membrana del filtro, una vez obtenida la proteína (estado pastoso con alto grado de humedad), se deberá llevar a un horno de bandejas en el cual continuara con el proceso de secado obteniendo de esta manera un producto solido seco de acuerdo a las características que esta requiera. Sin embargo, antes de implementar el sistema de filtración se debe determinar las óptimas condiciones de trabajo del sistema, fijando las variables involucradas en el proceso y caracterizando el concentrado proteico obtenido.

10.3.1. Requerimientos del sistema

Todos los procesos de separación por membranas operan por ciclos repetitivos. Para asegurar la funcionalidad y la vida útil de la membrana, el mantenimiento es primordial, por tanto, al término de cada ciclo de proceso, tanto la membrana como el sistema en general, deben ser profundamente limpiados para asegurar la reproductibilidad de los resultados de cada ciclo de operación.

10.4. Conclusión

Luego de estudiar los diferentes tipos de secado utilizados a nivel industrial para este tipo de productos, los autores de este trabajo recomiendan la utilización del método de secado por aspersión, esto dadas las características físicas que presenta el sub-producto de proceso. Adicional a esto, la calidad de la proteína de pescado se puede mejorar implementado un filtro auto-limpiante ubicado entre los tanques de almacenamiento y el primer separador centrifugo (ver capítulo 4, sección 4.2.3.), garantizando el no paso de solidos no deseados al separador centrífugo que pueden presentarse en las vísceras debido a la dieta de los pescados.

11. ANEXO K: SIMULACIÓN EN SUPERPRO DESIGNER

11.1. Simulación del POAP – EI

A continuación, se realiza la correspondiente simulación del proceso de obtención de aceite de pescado para consumo humano a partir de eviscerado de pescado, esta simulación se realiza por cada operación de proceso que interviene en la línea de producción lo que permitirá un análisis detallado del consumo energético, costo mano de obra, capacidad de producción y tiempos de producción.

11.1.1. Operación: preparación del ensilado

En la Figura 75 se encuentra el montaje en SuperPro de esta operación, la cual está conformada por un equipo tipo tanque (cisterna del proceso) que es donde llega el eviscerado de pescado desde la industria pesquera, posteriormente una motobomba encargada del transporte del eviscerado desde la cisterna hasta el tanque de preparación el cual está representado por un equipo mixer, en el cual se ingresa el eviscerado, el BHT y el ácido fórmico para de esta manera obtener el ensilado de pescado.

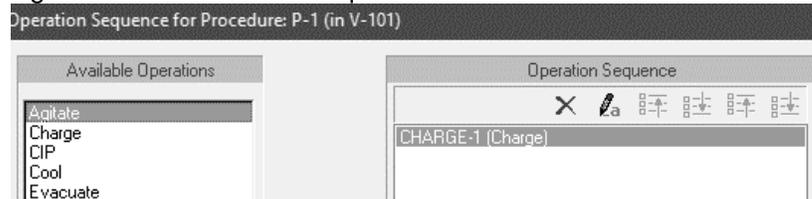
Figura 75: operación preparación del ensilado.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Para cada uno de los equipos de esta operación se configuran las funciones del equipo, los tiempos, las cantidades de materia prima que ingresa y los parámetros de funcionamiento como la potencia y labor (requerimiento de personal), ver Figura 76 a Figura 84.

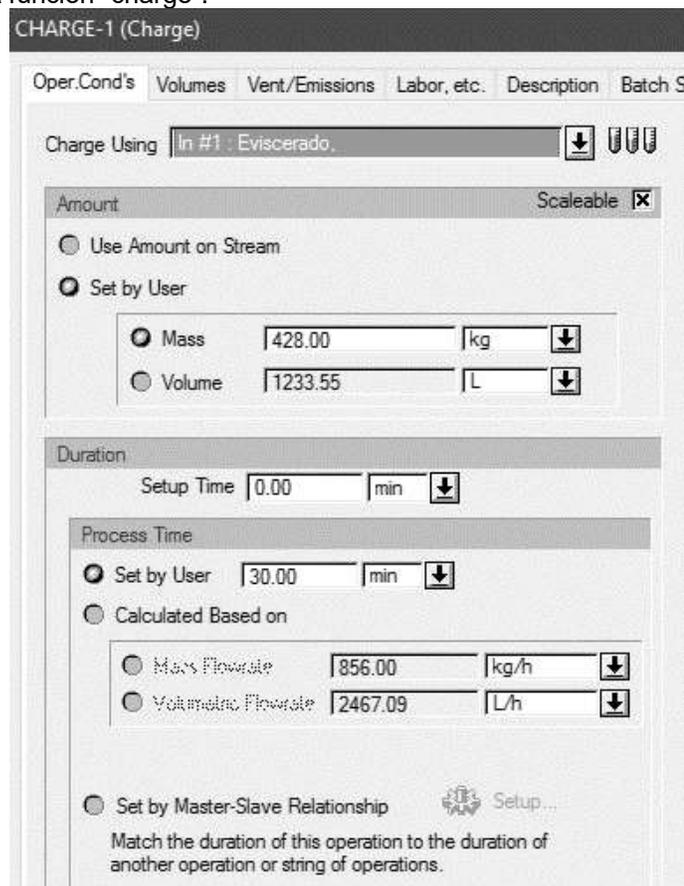
Figura 76: configuración funciones del tanque.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 76, el equipo tanque solo requiere de la función de carga, la cual permite el ingreso de material al equipo.

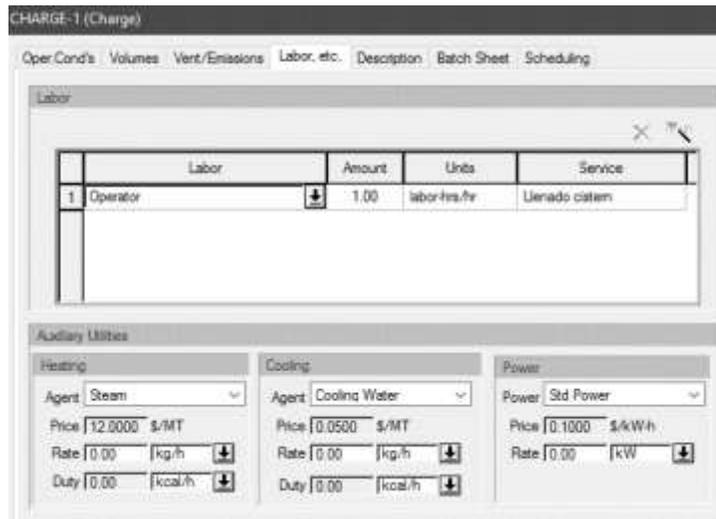
Figura 77: configuración de cantidades de materia prima y tiempos de proceso del tanque, configuración en la función "charge".



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

De la Figura 77, se observa que se ingresa 428 kg de eviscerado de pescado, dado que esta operación es manual acción realizada por un operario por tanto se configura un tiempo de 30 minutos.

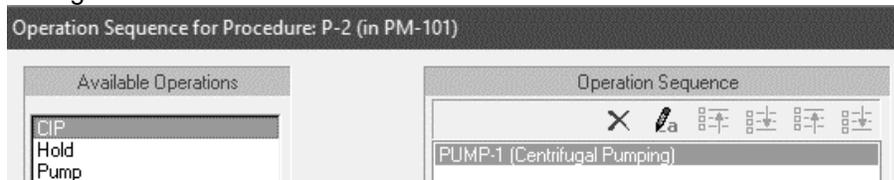
Figura 78: configuración labor y parámetros de funcionamiento del tanque, configuración en la función “charge”.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se mencionó anteriormente, se configura en labor el requerimiento de un operario el cual será encargado de llenar la cisterna (tanque) con el eviscerado proveniente de las piscifactorías de la región y dado que es una acción de proceso manual no requiere configurar parámetros de equipos (ver Figura 78).

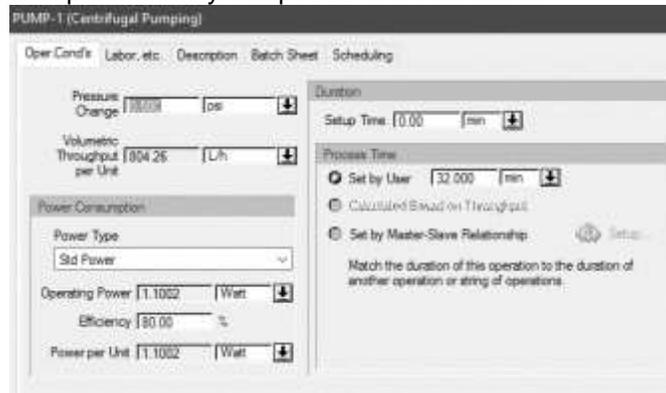
Figura 79: configuración función de la motobomba.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 79, la motobomba solo será requerida para el transporte de la materia prima desde la cisterna hasta el equipo mixer (tanque de preparación).

Figura 80: configuración parámetros y tiempos de la motobomba.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Dado que la motobomba que con la que cuenta el software es un equipo comercial, se requiere la configuración de eficiencia de trabajo la cual es del 80% y el tiempo que tardara en transportar el material el cual es de 32 minutos como se ve en la Figura 80.

Figura 81: configuración labor de la motobomba.

The screenshot shows the configuration for 'PUMP-1 (Centrifugal Pumping)'. The 'Labor, etc.' tab is selected, displaying a table with the following data:

	Labor	Amount	Units	Service
1	Operator	1.00	labor-hrs/hr	encender equipo

Below the table, the 'Auxiliary Utilities' section is visible, containing three sub-sections: Heating, Cooling, and Power. Each sub-section has a dropdown for 'Agent', a 'Price' field (e.g., 12.0000 \$/MT for Heating), and 'Rate' and 'Duty' fields with units and arrows.

Fuente: elaboración propia, febrero 2017.

En la Figura 81, se observa que se requiere de un operario el cual se encarga del encendido y apagado de la motobomba y de la supervisión de la misma, por otra parte, la potencia del equipo se configura con la potencia del equipo seleccionado ver ANEXO H, la cual es de 1,5 kW.

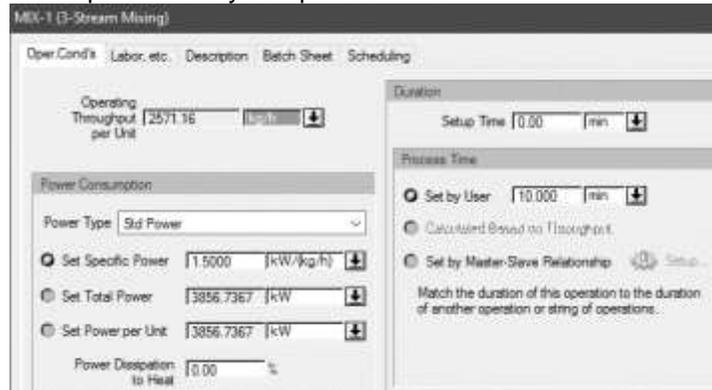
Figura 82: configuración función del equipo mixer.

The screenshot displays the 'Operation Sequence for Procedure: P-3 (in MX-101)'. On the left, under 'Available Operations', the items 'CIP', 'Hold', and 'Mix' are listed. On the right, under 'Operation Sequence', the item 'MIX-1 (3-Stream Mixing)' is selected and highlighted.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

A pesar que este equipo es utilizado para la mezcla de la materia prima con el BHT y el ácido Fórmico y mantener la mezcla por un tiempo de hidrolisis para generar el ensilado, solo es requerido configurar la función de mezcla como se ve en la Figura 82.

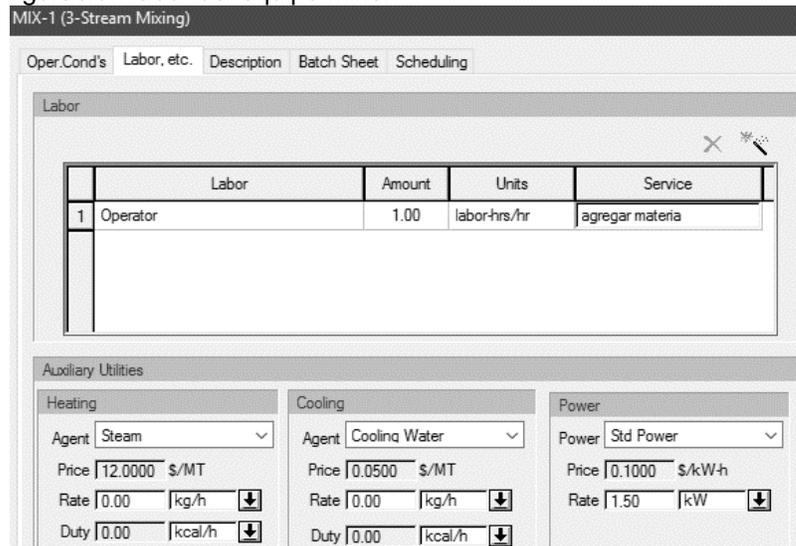
Figura 83: configuración parámetros y tiempos del mixer.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se ve en la Figura 83, se configura la potencia del mezclador de acuerdo a los parámetros del equipo tanque seleccionado ver ANEXO H, la cual es de 1,5 kW, además, se configura el tiempo que se requiere para realizar la mezcla homogénea de los componentes la cual es de 10 minutos. Cabe aclarar que no se configura el tiempo de hidrolisis debido a que este solo equivale a un tiempo de permanencia de los materiales en el equipo tiempo que no influye en los tiempos de proceso del lote diario producido.

Figura 84: configuración labor del equipo mixer.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 84, se requiere de un operario para la adición del BHT y del ácido Fórmico, también se configura nuevamente la potencia de trabajo igual a 1,5 kW.

11.1.2. Operación: extracción aceite del ensilado

Esta operación de proceso únicamente requiere de un equipo parara la extracción del aceite crudo del ensilado como se muestra en la Figura 85.

Figura 85: operación extracción de aceite del ensilado.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 85, el equipo utilizado en esta operación de proceso es el separador centrífugo, en el cual ingresa el ensilado de pescado y se obtiene el aceite de pescado como, así mismo se obtiene el subproducto de pescado denominado hidrolizado que está conformado por agua proteína y un bajo porcentaje de aceite.

A continuación, se presentan las Figura 86 a Figura 89, en las cuales se presenta la configuración de las funciones del equipo, tiempos de operación y labor.

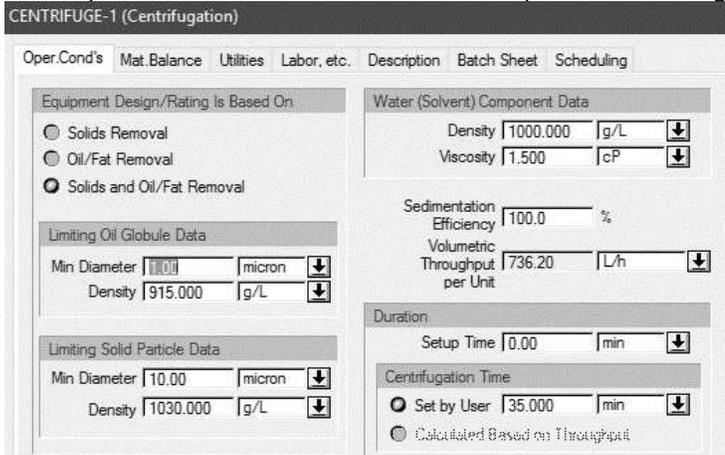
Figura 86: configuración función “centrifuge” del separador centrífugo.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se ve en la Figura 86, la función requerida es la de centrifugación debido a que la extracción del aceite se realiza por medio de centrifugación en donde dadas las características del equipo el aceite es separado de los componentes sólidos y del agua, obteniendo de esta manera el aceite crudo de pescado.

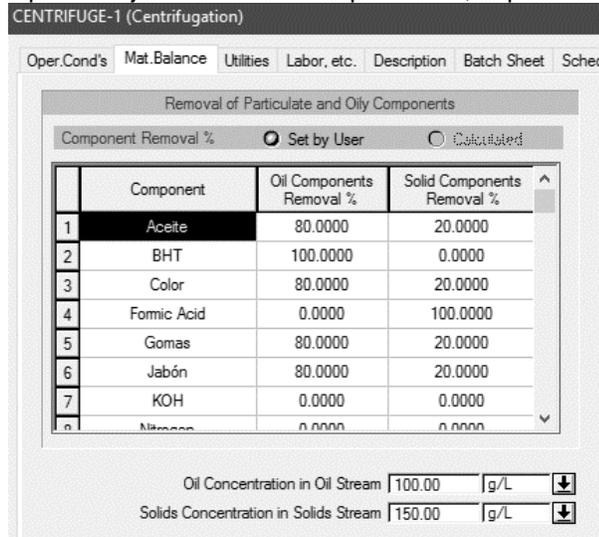
Figura 87: configuración parámetros de funcionamiento del separador centrífugo.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 87, este equipo está configurado para separación y remoción de sólidos superiores a las 10 micras con un tiempo de esta operación es de 35 minutos.

Figura 88: configuración porcentaje de remoción de partículas, separador centrífugo.



Removal of Particulate and Oily Components

Component Removal % Set by User Calculated

	Component	Oil Components Removal %	Solid Components Removal %
1	Aceite	80.0000	20.0000
2	BHT	100.0000	0.0000
3	Color	80.0000	20.0000
4	Formic Acid	0.0000	100.0000
5	Gomas	80.0000	20.0000
6	Jabón	80.0000	20.0000
7	KOH	0.0000	0.0000
8	Miscel	0.0000	0.0000

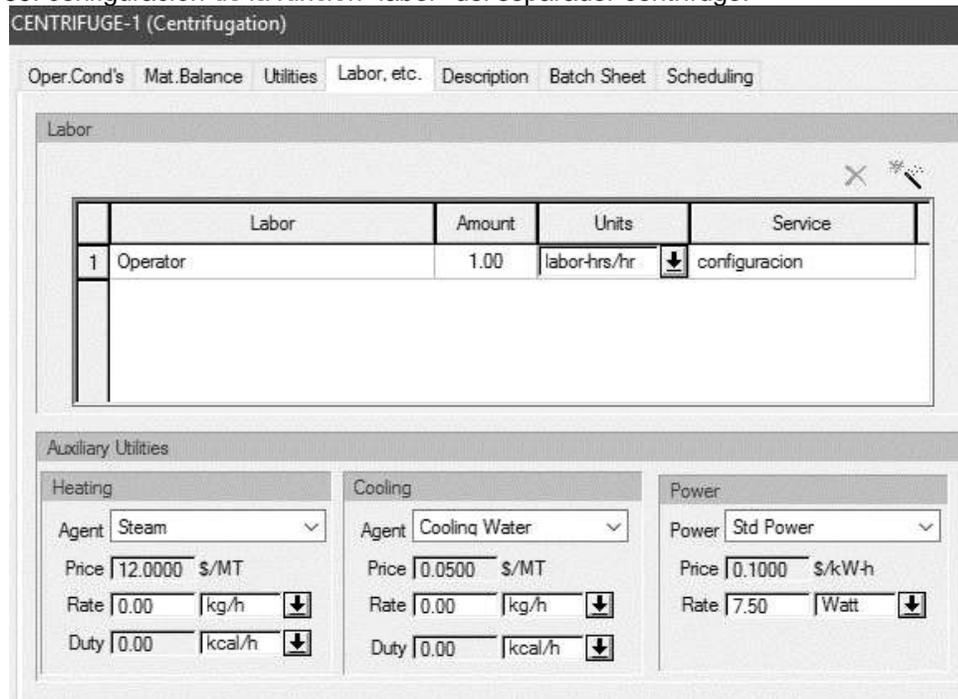
Oil Concentration in Oil Stream 100.00 g/L

Solids Concentration in Solids Stream 150.00 g/L

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En la Figura 88, se observa la configuración de los porcentajes de remoción de los componentes, donde dadas las características del equipo, este extrae el 80 % de aceite crudo.

Figura 89: configuración de la función "labor" del separador centrífugo.



Labor

	Labor	Amount	Units	Service
1	Operator	1.00	labor-hrs/hr	configuracion

Auxiliary Utilities

Heating

Agent: Steam

Price: 12.0000 \$/MT

Rate: 0.00 kg/h

Duty: 0.00 kcal/h

Cooling

Agent: Cooling Water

Price: 0.0500 \$/MT

Rate: 0.00 kg/h

Duty: 0.00 kcal/h

Power

Power: Std Power

Price: 0.1000 \$/kW-h

Rate: 7.50 Watt

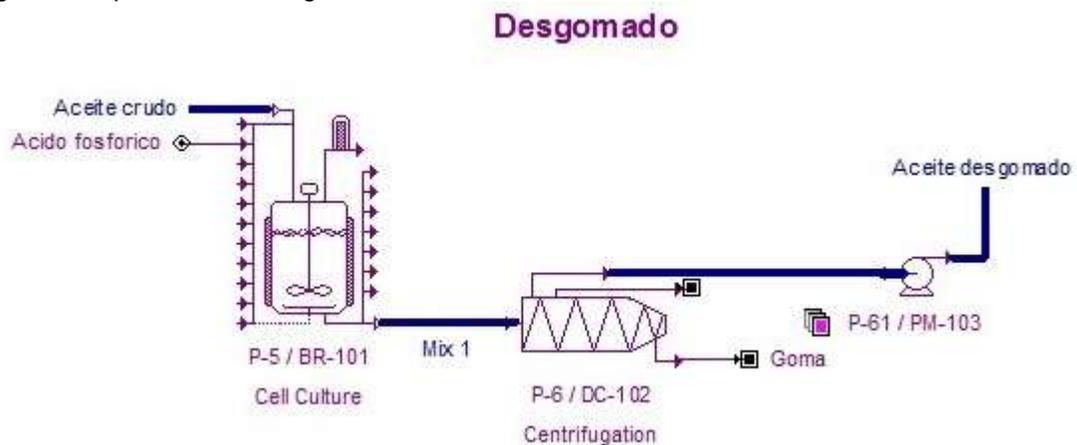
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

La Figura 89, muestra que se requiere un operario el cual será el encargado de configurar los parámetros de operación del equipo como son las revoluciones, así como de la supervisión del mismo, la potencia de trabajo es de 7,5 watts, que es el parámetro especificado del equipo seleccionado (ver ANEXO H).

11.1.3. Operación: desgomado

En la Figura 90, se presenta el montaje en la herramienta de la operación de desgomado, la cual cuenta con un equipo reactor y un separador centrífugo.

Figura 90: operación de desgomado.

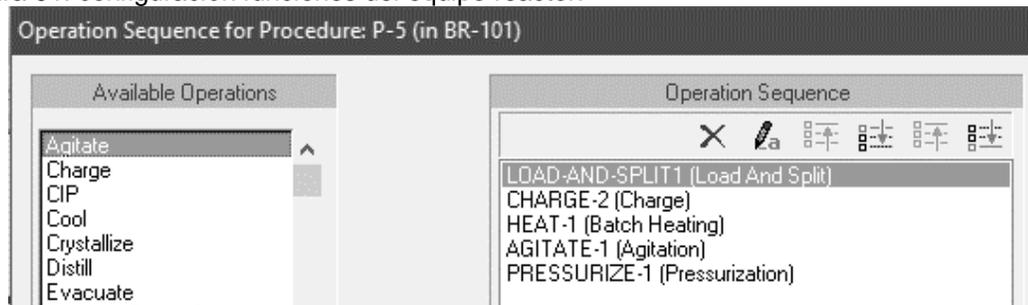


Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 90, al equipo reactor le ingresan el aceite crudo y el ácido Fosfórico, de donde se obtiene la mix1 como subproducto, la cual entra al equipo separador centrífugo donde se obtiene el aceite desgomado, así como el subproducto goma que es un desecho producción.

A continuación, en las Figura 91 a Figura 97, se presentan las configuraciones de funciones del equipo reactor, tiempos de operación y labor para este. Las configuraciones del equipo separador centrífugo se realizan de igual manera que en la operación de extracción de aceite del ensilado donde: la potencia de operación es 7,5 watts, en labor se requiere un operario encargado de las configuraciones del equipo, el tiempo de ejecución es de 30 minutos.

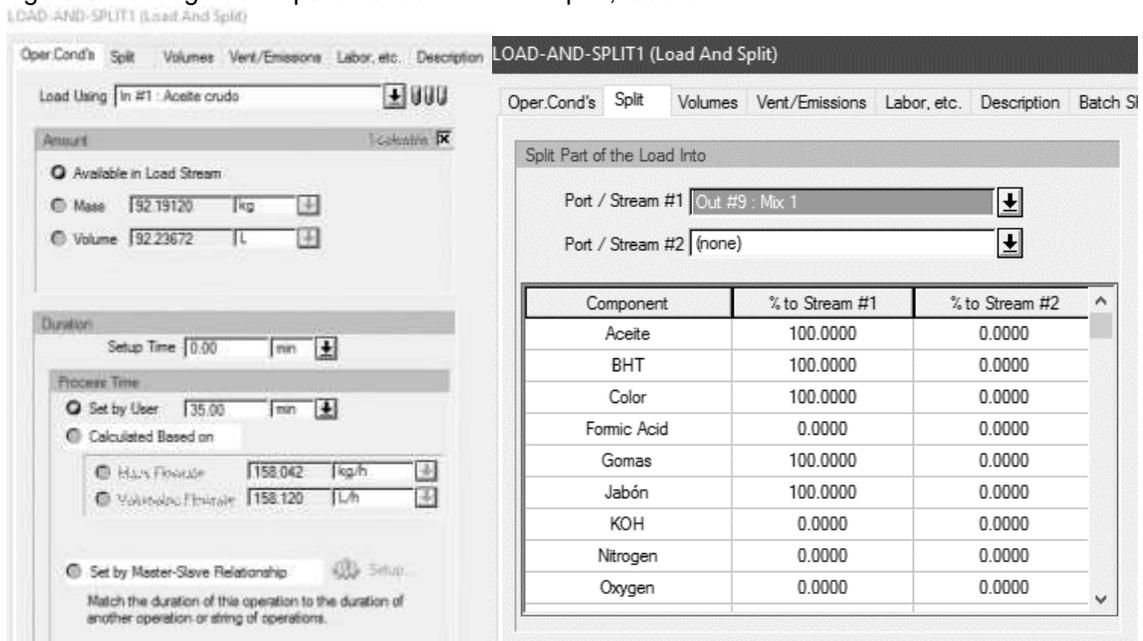
Figura 91: configuración funciones del equipo reactor.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se aprecia en la Figura 91, este equipo requiere la función de carga y división la cual se encarga del ingreso de los componentes provenientes de la operación anterior, la función carga para la adición del ácido Fosfórico, la función calentamiento requerida para llevar la mezcla a 80 °C, la función agitación para realizar la mezcla homogénea de los componentes y mantener la agitación constante durante la operación finalmente, la función presurizar la cual permite mantener la atmósfera de nitrógeno en el proceso.

Figura 92: configuración parámetros “load and split”, reactor.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se aprecia en la Figura 92, ingresa el aceite (aproximadamente 92,2 L) y el tiempo que tarda en ejecutarse es de 35 minutos que es equivalente al tiempo de funcionamiento del separador centrífugo de la operación anterior. Adicionalmente en esta función se ajustan los porcentajes de las materias primas que están en proceso, que para este caso se maneja el 100 % de cada una.

Figura 93: configuración de la función “charge”, reactor.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En la función carga como se ve en la Figura 93, se ajusta el parámetro de la cantidad de ácido Fosfórico necesario en el proceso, siendo este valor de 20,44 mL y el tiempo que tarda en ser adicionado que es equivalente a 5 minutos, debido a que esta acción de proceso es realizada por un operario.

Figura 94: configuración de la función “batch heating”, reactor.

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se ve en la Figura 94, a la función calentamiento se le ajusta el parámetro de temperatura a la cual debe llegar el proceso, siendo esta de 80 °C, el agente de calentamiento que para este caso se da por medio eléctrico y el tiempo de que tarda en ejecutarse la operación que corresponde a 60 minutos.

Figura 95: configuración de la función “agitation”, reactor.

AGITATE-1 (Agitation)

Oper. Cond's Volumes Labor, etc. Description Batch Sheet Sched.

Duration

Setup Time 0.00 min

Agitation Time

Set by User 60.00 min

Set by Master-Slave Relationship

Match the duration of this operation to the duration of another operation or string of operations.

Power Consumption (for Agitation, etc.)

Power Type High Voltage

Set Specific Power 1.5000 kW/m³

Set Total Power 0.0000 kW

Set Power per Unit 0.0000 kW

Power Dissipation to Heat 100.00 %

Final Temperature 80.13 °C

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En la Figura 95, se puede observar que el tiempo de ejecución es igual a 60 minutos que es igual al tiempo que tarda en ejecución esta operación de proceso y la potencia del motor que es igual a 1,5 kW valor de potencia del equipo seleccionado (ver ANEXO H).

Figura 96: configuración de la función “pressurization”, reactor.

PRESSURIZE-1 (Pressurization)

Oper. Cond's Labor, etc. Description Batch Sheet Scheduling

Pressurization Gas

Select From Registered

Stock Mixtures Pure Components

Gas Nitrogen

Supply Temp. 100.00 °C

Consumption (per Cycle, per Unit)

Volume 0.000 L

Mass 0.000 kg

System Pressure

Initial 11.849 atm

Final 12.000 atm

Duration

Setup Time 0.00 min

Pressurization Time 60.00 min

Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

En esta función (ver Figura 96), se configura el tiempo que debe mantenerse las condiciones de presión, en este caso es igual al tiempo de ejecución de esta operación (60 minutos) y el tipo de agente que se requiere utilizar siendo este de tipo componente puro (nitrógeno).

Figura 97: configuración de labor, de la función “load and split”, reactor.

LOAD-AND-SPLIT1 (Load And Split)

Oper.Cond's Split Volumes Vent/Emissions Labor, etc. Description Batch Sheet Scheduling

Labor

	Labor	Amount	Units	Service
1	Supervisor	1.00	labor-hrs/hr	Operation

Auxiliary Utilities

Heating	Cooling	Power
Agent: Steam	Agent: Cooling Water	Power: Std Power
Price: 12.0000 \$/MT	Price: 0.0500 \$/MT	Price: 0.1000 \$/kW-h
Rate: 0.00 kg/h	Rate: 0.00 kg/h	Rate: 1.50 kW
Duty: 0.00 kcal/h	Duty: 0.00 kcal/h	

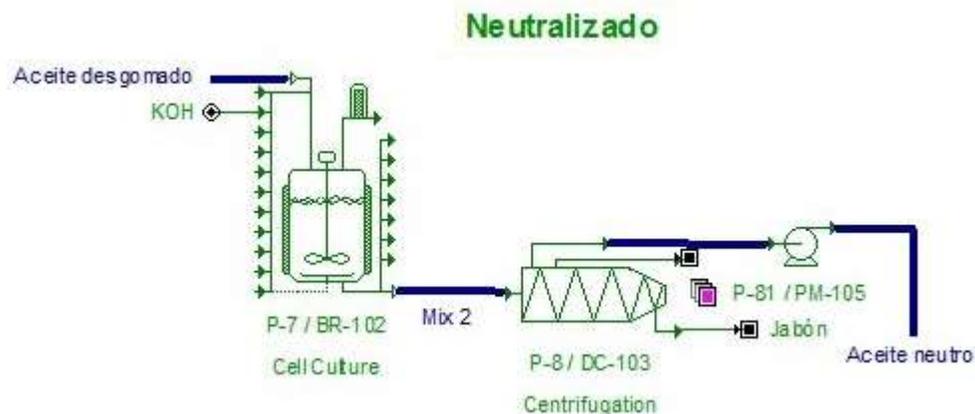
Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se ve en la Figura 97, y al igual que las operaciones anteriores solo se requiere de un operario el cual se encarga de configurar los parámetros del equipo y de su supervisión, por otra parte, se configura el valor de la potencia del equipo siendo esta de 1.5 kW tal como lo especifica la ficha técnica del equipo seleccionado (ver ANEXO H).

11.1.4. Operación: neutralizado

A continuación, se presenta el montaje de la operación de desgomado en la herramienta computacional, la cual está conformada por un reactor y un separador centrífugo al igual que la operación anterior, ver Figura 98.

Figura 98: operación de neutralizado.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 98, el aceite desgomado ingresa al reactor, seguido del KOH para poder realizar la mezcla y la conformación del jabón, posteriormente esta

mezcla (mix2) entra al separador centrífugo en el cual se retira el jabón del aceite obteniendo como resultado aceite neutro y un subproducto denominado jabón el cual es un desecho del proceso.

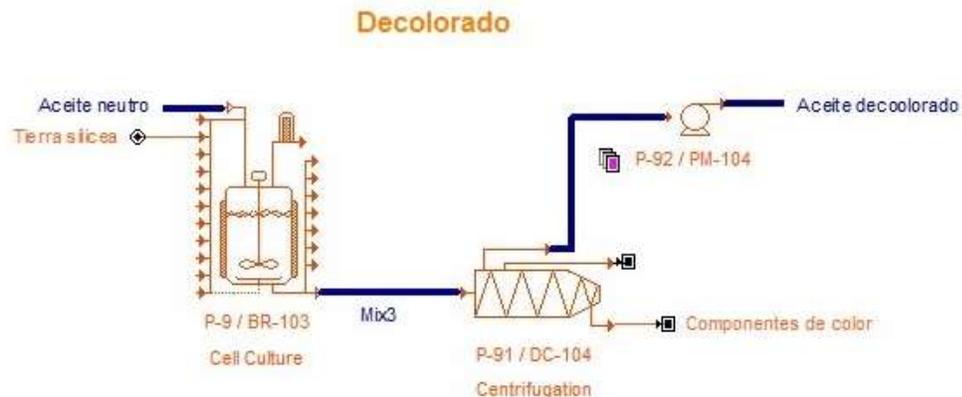
Las configuraciones de las funciones de cada equipo se realizan de la misma manera que en la operación de desgomado donde los parámetros configurados son los siguientes: a) carga y división: ingresa cerca de 87,07 L de aceite desgomado, su duración es de 30 minutos que es igual al tiempo del separador centrífugo de la operación anterior; b) carga: se ingresan 139 g de KOH y se configura el tiempo de 5 minutos puesto que es una operación manual realizada por un operario; c) calentamiento, agitación y presurización, se configuran a un tiempo de 40 minutos y a iguales condiciones de funcionamiento que en la operación de desgomado.

La configuración de labor es la misma que en la operación de desgomado, donde se requiere de un operario para el ajuste de los parámetros del equipo y su supervisión.

11.1.5. Operación: decolorado

A continuación, se presenta el montaje para simulación en SuperPro correspondiente a la operación de decolorado. La cual cuenta con un equipo reactor y un equipo de filtración (ver Figura 99).

Figura 99: operación de decolorado.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se aprecia en la Figura 99, al equipo reactor ingresa el aceite neutro y la tierra sílicea, con lo cual se genera una mezcla que permite extraer los componentes de color presentes en el aceite, posteriormente, esta mezcla (mix3) pasa al equipo de filtración donde es removida la tierra sílicea con los componentes de color dejando pasar el aceite decolorado de igual manera se obtiene el subproducto denominado componentes de color que es un desecho de proceso.

Las configuraciones de las funciones del equipo reactor son las mismas que la de las operaciones anteriores donde los parámetros para cada función son: a) carga y división: ingresan cerca de 73,88 L de aceite neutro y su tiempo de ejecución es de 30 minutos correspondiente al tiempo del separador de la etapa anterior; b) carga: se ingresan 622,2 g de tierra sílicea y el tiempo se configura a 5 minutos debido a que es una acción de tipo

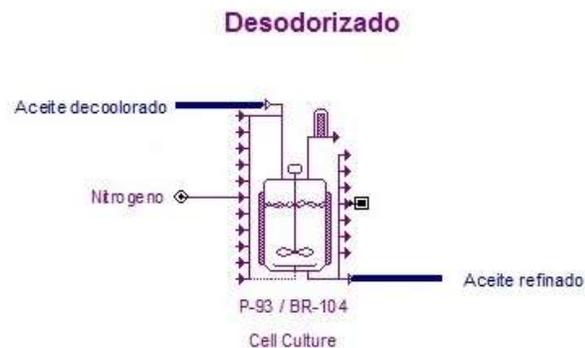
manual desarrollada por un operario; c) calentamiento, agitación y presurización se configuran de igual manera que en la operación de desgomado siendo la temperatura de 80 °C, presurización por nitrógeno y agitación constante con una potencia de 1,5 kW, el tiempo de ejecución es de 60 minutos.

La configuración del separador centrífugo se realiza de igual manera que en las operaciones anteriores donde el tiempo de ejecución es 30 minutos y la potencia de 1,5 kW.

11.1.6. Operación: desodorizado

En la Figura 100, se muestra el montaje en SuperPro de la operación de desodorizado la cual cuenta con un equipo reactor.

Figura 100: operación de desodorizado.

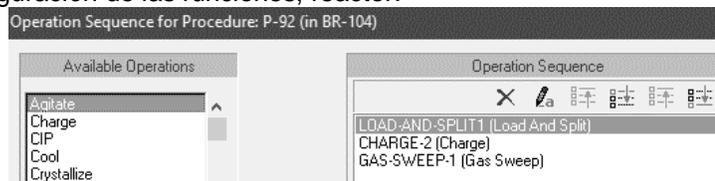


Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se observa en la Figura 100, al equipo ingresa el aceite decolorado y se obtiene el aceite refinado con lo que se da por terminado el proceso siendo este el producto final.

A continuación, se presentan las funciones requeridas para el funcionamiento del equipo (ver Figura 101).

Figura 101: configuración de las funciones, reactor.



Fuente: elaboración propia, febrero de 2017.

Como se ve en la Figura 101, para el funcionamiento del reactor se requiere de las funciones de: carga y división, requerida para el ingreso del aceite decolorado (61,3 L) al equipo, la cual se configura a 30 minutos que es el tiempo de ejecución del equipo filtrador; la función carga utilizada para el flujo de nitrógeno y arrastre de gas que permite quitar el olor característico del aceite, funciones del equipo que trabajan simultáneamente durante 40 minutos.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," *EASE'08 Proc. 12th Int. Conf. Eval. Assess. Softw. Eng.*, pp. 68–77, 2008.
- [2] Y. Vargas and L. Bolaños, "Propuesta Técnica y Financiera para la Creación de una Microcentral de Generación de Energía Eléctrica a partir de Gas Natural," 2015.
- [3] J. L. Abreu, C. Parra González, and E. H. Molina Arenas, "El Rol de las Preguntas de Investigación en el Método Científico," *Daena Int. J. Good Conscienc.*, vol. 7, no. 1, pp. 169–187, 2012.
- [4] E. Reverchon and C. Marrone, "Modeling and simulation of the supercritical CO₂ extraction of vegetable oils," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 19, no. 2, pp. 161–175, Feb. 2001.
- [5] I. Aidos, N. Kreb, M. Boonman, J. B. Luten, R. M. Boom, and A. Van Der Padt, "Influence of Production Process Parameters on Fish Oil Quality in a Pilot Plant," *J. Food Sci.*, vol. 68, no. 2, pp. 581–586, 2003.
- [6] N. Rubio-Rodríguez, S. M. de Diego, S. Beltran, I. Jaime, M. T. Sanz, and J. Rovira, "Supercritical fluid extraction of the omega-3 rich oil contained in hake (*Merluccius capensis*-*Merluccius paradoxus*) by-products: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 47, no. 2, pp. 215–226, 2008.
- [7] V. R. Wiggers, A. Wisniewski, L. A. S. Madureira, A. A. C. Barros, and H. F. Meier, "Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant," *Fuel*, vol. 88, no. 11, pp. 2135–2141, Nov. 2009.
- [8] N. Ismail, N. Tajjudin, M. H. F. Rahiman, and M. N. Taib, "Modeling of dynamic response of essential oil extraction process," *5th Int. Colloq. Signal Process. Its Appl.*, pp. 298–301, 2009.
- [9] M. H. Norziah, J. Nuraini, and K. Y. Lee, "Studies on the extraction and characterization of fish oil from wastes of seafood processing industry," *Asian J. Food Agro-Industry*, vol. 2, no. 4, pp. 959–973, 2009.
- [10] F. Sahena, I. S. M. Zaidul, S. Jinap, M. H. A. Jahurul, A. Khatib, and N. A. N. Norulaini, "Extraction of fish oil from the skin of Indian mackerel using supercritical fluids," *J. Food Eng.*, vol. 99, no. 1, pp. 63–69, 2010.
- [11] M. Abdulkadir, G. Abubakar, and A. Mohammed, "Production and characterization of oil from fishes," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 7, pp. 1–5, 2010.
- [12] L. Fiori, "Supercritical extraction of grape seed oil at industrial-scale: Plant and process design, modeling, economic feasibility," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 49, no. 8, pp. 866–872, Aug. 2010.
- [13] N. Rubio-Rodríguez, S. M. De Diego, S. Beltran, I. Jaime, M. T. Sanz, and J. Rovira, "Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods," *J. Food Eng.*, vol. 109, no. 2, pp. 238–248, 2011.

- [14] S. Maqsood, S. Benjakul, and A. Kamal-Eldin, "Extraction, Processing, and Stabilization of Health-Promoting Fish Oils," *Recent Pat. Food. Nutr. Agric.*, vol. 4, no. 2, pp. 141–147, 2012.
- [15] M. Z. I. Sarker, J. Selamat, A. S. M. A. Habib, S. Ferdosh, M. J. H. Akanda, and J. M. Jaffri, "Optimization of supercritical CO₂ extraction of fish oil from viscera of African Catfish (*Clarias gariepinus*)," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 13, no. 9, pp. 11312–11322, 2012.
- [16] V. Ribeiro, A. Oliveira, P. Bechtel, and C. Prentice, "Avaliação do processamento a baixas temperaturas do óleo de fígado de Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*)," *Brazilian J. Food Technol.*, vol. 16, no. 2, pp. 99–106, 2013.
- [17] C. T. Toro, J. L. Londoño, S. H. Ávila, and C. A. D. Ruales, "Extracción y caracterización de aceite de pescado derivado de subproductos de trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*)," *J. Agric. Anim. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 34–41, 2013.
- [18] A. Alves, D. M. Filho, H. Hermes, D. Oliveira, and R. Carvalho, "Omega-6 / Omega-3 and PUFA / SFA in *Colossoma macropomum* Grown in Roraima , Brazil," *Orbital-The Electron. J. Chem.*, vol. 5, no. 1, pp. 30–34, 2013.
- [19] L. Fiori, M. Manfrini, and D. Castello, "Supercritical CO₂ fractionation of omega-3 lipids from fish by-products: Plant and process design, modeling, economic feasibility," *Food Bioprod. Process.*, vol. 92, no. 2, pp. 120–132, Apr. 2014.
- [20] V. Lúcia, V. Maura, S. Bermúdez, A. Luis, L. De Oliveira, M. N. Kleinberg, R. De Tasso, M. Ribeiro, R. Ferreira, and A. De Abreu, "Characterization of a hydrolyzed oil obtained from fish waste for nutraceutical application," *Food Sci. Technol.*, vol. 35, no. 2, pp. 321–325, 2015.
- [21] M. Abdul, N. Azian, N. Nabila, T. Okayama, and R. Kose, "Residual Oil Recovery Using Bio-Ethanol from Spent Bleaching Clay and Its Characterization," *Control Conf.*, pp. 0–4, 2015.
- [22] A. D. P. do Nascimento, L. A. L. Soares, L. Stragevitch, and L. Danielski, "Extraction of *Acrocomia intumescens* Drude Oil with Supercritical Carbon Dioxide: Process Modeling and Comparison with Organic Solvent Extractions," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 111, pp. 1–7, Jan. 2016.
- [23] International Society of Automation, *ANSI/ISA-88.01-1995, Batch Control, Part 1: Models and Terminology*. 1995.
- [24] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, "Decreto 4741 de 2005." Bogotá, Colombia, pp. 1–30, 2005.
- [25] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, "Resolución 601 de 2006." Bogotá, Colombia, pp. 1–8, 2006.
- [26] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas*, 3rd ed. Bogotá, Colombia, 2003.
- [27] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, "Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire." Bogotá, Colombia, pp. 1–287, 2008.

- [28] Congreso de Colombia, "Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia." Bogotá, Colombia, pp. 1–59, 1993.
- [29] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, "Resolución 909 de 2008." Bogotá, Colombia, pp. 1–44, 2008.
- [30] Presidente de la República de Colombia, "Decreto 948 de 1995." Bogotá, Colombia, pp. 1–46, 1995.
- [31] Presidente de la República de Colombia, "Decreto 3930 de 2010." Bogotá, Colombia, pp. 1–26, 2010.
- [32] Presidente de la República de Colombia, "Decreto de 1594 de 1984." Bogotá, Colombia, pp. 1–45, 1984.
- [33] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, "Decreto 1220 de 2005." Bogotá, Colombia, pp. 1–20, 2005.
- [34] J. Howell and R. Buchius, *Principios de termodinámica para ingenieros*, McGraw Hil. México, 1990.
- [35] J. Rodriguez, *Introducción a la Termodinámica*. 2000.
- [36] S. Di, J. Xu, Q. Chang, and W. Ge, "Numerical simulation of stirred tanks using a hybrid immersed-boundary method," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 24, no. 9, pp. 1122–1134, 2016.
- [37] V. Castillo, "Diseño y cálculo de un agitador de fluidos," Universidad del Bío-Bío, 2013.
- [38] A. Kayode, "Fluids Mixing in Reactors," in *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*, Gulf Professional Publishing, 2001, pp. 552–652.
- [39] J. Bahamondes, "Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval," Universidad Austral de Chile, 2008.
- [40] J. Huk, "Operaciones de Transferencia De Cantidad de Movimiento." pp. 1–32, 2014.
- [41] H. Ameer, "Mixing of complex fluids with flat and pitched bladed impellers: Effect of blade attack angle and shear-thinning behaviour," *Food Bioprod. Process.*, vol. 99, no. 2015, pp. 71–77, 2016.
- [42] M. Eng and A. Rasmuson, "Influence of solids on macro-instabilities in a stirred tank," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 90, no. 8, pp. 1052–1062, 2012.
- [43] A. Busciglio, G. Montante, and A. Paglianti, "Flow field and homogenization time assessment in continuously-fed stirred tanks," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 102, no. 2008, pp. 42–56, 2015.
- [44] M. González, "Diagrama de Moody," *La guía física*, 2011. [Online]. Available: <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>. [Accessed: 16-Feb-2017].
- [45] CIMA INDUSTRIES INC., "Secado por aspersion," *Tecnología ideal para la obtención de polvos*. [Online]. Available: <http://www.cimaindustries.com/wp->

- content/uploads/assets/pdf/es/farmaceutica/secador.pdf. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [46] QuimiNet, “¿Cómo funciona el secado por aspersión? ¿Cuáles son las ventajas del secado por aspersión?” *El secado por aspersión: funcionamiento y ventajas*, 2011. [Online]. Available: <http://www.quiminet.com/articulos/el-secado-por-aspersion-funcionamiento-y-ventajas-2636278.htm>. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [47] D. Mazariegos, “Secado de arroz con cáscara en un lecho fluidizado al vacío, empleando vapor sobrecalentado,” Universidad de las Américas, 2006.
- [48] A. Bagué and N. Álvarez, *Tecnología Farmacéutica*, Primera. Editorial Club Universitario, 2011.
- [49] Compañía Energetica de Occidente, “Contrato de Condiciones Uniformes Para la Prestación del Servicio Público Domiliario de Energía Eléctrica.” Popayán, Cauca, pp. 1–55, 2001.
- [50] INDUPALMA, “Aceite de palma,” *Aceite de palma*. [Online]. Available: <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>. [Accessed: 23-Feb-2017].
- [51] Universidad Nacional Mayor San Marcos, “ANEXO 8: CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA DEL SISTEMA DE ROCIADORES PARA ENFRIAMIENTO DEL TANQUE Y DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS,” *Anexo 8 - Cálculo de la Potencia de una Bomba*. [Online]. Available: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/monge_t_m/anexo-8.pdf. [Accessed: 16-Feb-2017].