

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETAL COMESTIBLE DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis L*) POR MEDIO DE PENSADO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

WILLIAN EMILIO BERRONES CUENCA
willian.berrones@gmail.com

DIRECTORA: ING. JENNY CUMANDÁ RUALES NÁJERA, Ph. D
jenny.ruales@epn.edu.ec

Quito, agosto de 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Willian Emilio Berrones Cuenca, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Willian Emilio Berrones Cuenca

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Willian Emilio Berrones Cuenca, bajo mi supervisión.

Ing. Jenny Ruales Nájera Ph.D
DIRECTORA DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A mi madre quien siempre me ha ayudado, a mis hermanos (Pepe y Mary), a mis sobrinos.

A toda la familia Orellana Naranjo quienes a lo largo de estos años me han ayudado incondicionalmente.

A todos mis verdaderos amigos del colegio y universidad con quienes pasé muchas ocurrencias y momentos divertidos y a pesar del tiempo seguimos pasando muy bien, y a todas las valiosas personas que me han ayudado tanto personalmente como en el logro de mis metas, entre estas metas el poder culminar la carrera.

A todos los grandes maestros de tuve en la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Jenny Ruales, al Sr. Walter Orellana y al Ing. Pablo Pólit quienes, con sus valiosos aportes, sugerencias y correcciones ayudaron con el perfeccionamiento de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	x
1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1. Fitoquímica del sachá inchi	2
1.2. Importaciones de aceite de oliva	5
1.3. Mercado del producto	6
1.3.1. Estudio del mercado	6
1.4. Capacidad de la planta	7
1.5. Localización de la planta	8
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	10
3. CRITERIOS DE DISEÑO	15
3.1. Pesaje y cribado	15
3.2. Descapsulado y descascarado	15
3.3. Selección de semillas	16
3.4. Lavado de semillas	16
3.5. Secado de semillas	17
3.6. Prensado mecánico	20

3.7.	Decantación	21
3.8.	Filtración	22
3.9.	Embotellado de aceite	22
4.	DISEÑO DE LA PLANTA	24
4.1.	Diagramas de bloques BPD (<i>Block Process Diagram</i>)	24
4.2.	Balance de masa	25
4.3.	Diagrama de flujo PFD (<i>Process Flow Diagram</i>)	26
4.4.	Planificación de la producción	27
4.5.	Balance de energía	30
4.6.	Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID)	31
4.7.	Selección y dimensionamiento de los equipos	33
4.7.1.	Selección de la balanza y la criba	34
4.7.2.	Selección de la descapsuladora y descascaradora	34
4.7.3.	Escogimiento de la mesa de selección	34
4.7.4.	Selección del tanque de lavado	34
4.7.5.	Selección del calentador de agua	35
4.7.6.	Diseño del secador de semillas	36
4.7.7.	Selección de la prensa expeller	39
4.7.8.	Diseño del tanque de decantación	39
4.7.9.	Selección de la bomba peristáltica	41
4.7.9.1.	Selección de la tubería y accesorios de la línea de producción	42
4.7.10.	Diseño del filtro prensa	43
4.7.11.	Diseño del tanque de almacenamiento	45

4.7.12.	Selección de la embotelladora de aceite	47
4.8.	Disposición en planta (<i>layout</i>) y planos de elevación	47
4.8.1.	Diagrama de flujo y agrupación por zonas	47
4.8.2.	Distribución en planta y planos	50
5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	58
5.1.	Costos	58
5.1.1.	Costos de producción	58
5.1.2.	Gastos administrativos	62
5.1.3.	Gastos de ventas	63
5.2.	Inversión total inicial	64
5.2.1.	Depreciación	66
5.3.	Capital de trabajo	68
5.3.1.	Punto de equilibrio	69
5.4.	Estado de resultados	74
5.5.	Costo de capital (tasa mínima aceptable de rendimiento)	76
5.6.	Financiamiento	77
5.7.	Indicadores económicos	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
6.1.	Conclusiones	80
6.2.	Recomendaciones	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Cultivos de sachá inchi existentes en el Ecuador	1
Tabla 1.2.	Componentes de la semilla de sachá inchi	2
Tabla 1.3.	Composición de ácidos grasos en las semillas de sachá inchi	3
Tabla 1.4.	Componentes bioactivos presentes en el sachá inchi	4
Tabla 1.5.	Evaluación de alternativas de localización de la planta de extracción	9
Tabla 2.1.	Caracterización física del aceite	13
Tabla 2.2.	Caracterización química del aceite	14
Tabla 3.1.	Composición de las semillas de sachá inchi y su respectiva densidad como componentes puros	17
Tabla 3.2.	Características de cuatro tipos de secadores con aplicaciones alimenticias	18
Tabla 3.3.	Diseño experimental propuesto para determinar los mejores rendimientos de extracción del aceite	21
Tabla 4.1.	Resumen del balance de masa del proceso de extracción del aceite de sachá inchi	25
Tabla 4.2.	Duración de las actividades de la planta	27
Tabla 4.3.	Horario de actividades a realizar en la planta	28
Tabla 4.4.	Diagrama de Gantt de las actividades en la planta	29
Tabla 4.5.	Actividades de cada operario	29
Tabla 4.6.	Valores obtenidos en los balances de energía	30
Tabla 4.7.	Codos y válvulas utilizados en la línea de producción	31
Tabla 4.8.	Operaciones unitarias y equipos propuestos	33
Tabla 4.9.	Hoja de especificaciones para el dimensionamiento del secador	36
Tabla 4.10.	Variables de diseño del secador de semillas de sachá inchi	38

Tabla 4.11.	Recomendaciones para el diseño aséptico del tanque de decantación	39
Tabla 4.12.	Variables de diseño de tanque de decantación	40
Tabla 4.13.	Accesorios considerados para la línea de producción del aceite	43
Tabla 4.14.	Dimensiones del filtro de marcos y placas	44
Tabla 4.15.	Especificaciones del material filtrante	45
Tabla 4.16.	Criterios de selección del tanque de almacenamiento	46
Tabla 4.17.	Dimensiones del tanque de almacenamiento	47
Tabla 5.1.	Costo anual de la materia prima	59
Tabla 5.2.	Costo de envases y embalajes	60
Tabla 5.3.	Costo anual de mano de obra directa	60
Tabla 5.4.	Costo anual de mano de obra indirecta	61
Tabla 5.5.	Otros costos anuales	61
Tabla 5.6.	Gastos administrativos y generales	63
Tabla 5.7.	Gastos de ventas	64
Tabla 5.8.	Inversión total en activos	64
Tabla 5.9.	Valor total de la inversión	65
Tabla 5.10.	Depreciación de activos	67
Tabla 5.11.	Capital de trabajo para 45 días	68
Tabla 5.12.	Costo operacional anual y costo del producto	70
Tabla 5.13.	Detalle de los costos de producción	71
Tabla 5.14.	Costo fijo anual	72
Tabla 5.15.	Flujo de caja del proyecto	75
Tabla 5.16.	Amortización de la deuda	78
Tabla 5.17.	Indicadores financieros del proyecto y punto de equilibrio	79
Tabla AI. 1.	Generalidades del sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis L</i>)	91

Tabla A.III. 1.	Diseño experimental propuesto para determinar los mejores rendimientos de extracción del aceite	100
Tabla A.III. 2.	Rendimientos obtenidos mediante los diferentes tratamientos	100
Tabla A.III. 3.	Análisis de varianza para el rendimiento en la extracción del aceite	101
Tabla A.V.1.	Simbología de los equipos del diagrama PFD	111
Tabla A.VI. 1.	Factores de resistencia de los accesorios	126
Tabla AVII.1.	Riesgos en la seguridad industrial de la planta	139
Tabla AVII.2.	Características generales de espacios exteriores	140
Tabla AVII.3.	Características generales de los locales de producción	141
Tabla AVII.4.	Características de los sistemas auxiliares	142
Tabla AVII.5.	Características del área sanitaria del personal de producción	143
Tabla AVII.6.	Vestimenta del personal de la planta	143
Tabla A.IX.1.	Consumo eléctrico anual de los equipos	158
Tabla A.IX.2.	Consumo anual de agua	158
Tabla A.IX.3	Otros costos	159
Tabla A.IX.4.	Activos fijos de producción	159
Tabla A.IX.5.	Activos fijos de oficina y ventas	160
Tabla A.IX.6.	Costo del terreno y obra civil	160
Tabla A.IX.7.	Valores de costos fijos, variables y ventas anuales	161

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Importación en toneladas de aceite de oliva desde el año 2010 al 2016	5
Figura 3.1.	Diagrama simplificado del calentador y secador que constituyen la unidad de secado de las semillas de sachá inchi	19
Figura 4.1.	Diagrama de bloques (BPD) del proceso de producción de aceite de sachá inchi	24
Figura 4.2.	Diagrama de flujo (PFD) del proceso de producción de aceite de sachá inchi	26
Figura 4.3.	Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) de la planta de producción de aceite de sachá inchi	32
Figura 4.5.	Diagrama de flujo del proceso y agrupación por zonas	48
Figura 4.6.	Análisis de proximidad entre zonas de la planta de extracción	49
Figura 4.7.	Distribución en planta (layout)	54
Figura 4.8.	Líneas de flujo	55
Figura 4.9.	Corte A - A' y Corte B - B'	56
Figura 4.10.	Corte C - C' y Corte D - D'	57
Figura 5.1.	Organigrama considerado en la planta de extracción	58
Figura 5.2.	Punto de equilibrio	73
Figura AII. 1.	Diagrama del balance de masa en el pesaje	93
Figura AII. 2.	Diagrama del balance de masa en la limpieza	93
Figura AII. 3.	Diagrama del balance de masa en el descapsulado y descascarado	94
Figura AII. 4.	Diagrama del balance de masa en la selección de las semillas	95
Figura AII. 5.	Diagrama del balance de masa en el lavado de las semillas	95
Figura AII. 6.	Diagrama del balance de masa en el secado de las semillas	96

Figura AII. 7.	Diagrama del balance de masa en el prensado	97
Figura AII. 8.	Diagrama del balance de masa en el decantado del aceite	97
Figura AII. 9.	Diagrama del balance de masa en el filtrado del aceite	98
Figura AIII.1.	Gráfico de medias de rendimiento con respecto a la presión	102
Figura AIII.2.	Gráfico de medias de rendimiento con respecto a la temperatura	103
Figura AV.1.	Diagrama del calentador de aire del secador	104
Figura AV.2.	Diagrama psicrométrico altas temperaturas	105
Figura AV.3.	Diagrama psicrométrico a 0 msnm y ° T alta	106
Figura AV.4.	Diagrama del secador rotatorio	108
Figura AVI.1.	Diagrama del balance de energía para el calentamiento del agua de lavado	114
Figura AVI.2.	Diagrama del tanque de sedimentación	122
Figura AVI.3.	Diagrama de la tapa del tanque de sedimentación	124
Figura AVI.4.	Gráfico tiempo/volumen con respecto al volumen	130
Figura AVI.5.	Diagrama del tanque de almacenamiento	135
Figura AVI.6.	Diagrama de la tapa del tanque de almacenamiento	137

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Generalidades del sachá inchi	91
ANEXO II Balance de masa	93
ANEXO III Criterios de diseño	99
ANEXO IV Balance de energía del secador	104
ANEXO V Simbología de equipos del diagrama PFD	111
ANEXO VI Selección y diseño de equipos propuestos	112
ANEXO VII Determinación de espacios del área de recepción y área de producción, seguridad industrial y diseño higiénico	138
ANEXO VIII Hojas técnicas de equipos seleccionados y diseñados	144
ANEXO IX Evaluación económica	158

RESUMEN

En el presente estudio se realizó el diseño de una planta de extracción de aceite extra virgen de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) por medio de prensado mecánico. Se determinaron las operaciones unitarias del proceso desde la limpieza de la materia prima (cápsulas de sachá inchi) hasta la obtención del producto final (aceite extra virgen de sachá inchi). Las operaciones unitarias planteadas fueron: pesaje, limpieza, descapsulado y descascarado, selección, lavado, secado, prensado mecánico, decantación, transporte de fluidos, filtración y embotellado del aceite. Se evaluó la factibilidad económica de la planta de extracción de aceite.

En relación a los criterios de diseño, se realizó de forma experimental todo el proceso para la producción del aceite de sachá inchi. Se planteó un diseño experimental para determinar la influencia de la presión y la temperatura aplicados por una prensa expeller sobre el rendimiento de aceite obtenido. El tratamiento que permitió obtener el mayor rendimiento fue el correspondiente a una presión de 400 kgf/cm² y una temperatura de 50 °C. Además, se obtuvieron rendimientos corriente arriba del prensado mecánico.

Se realizaron los balances de masa y energía. Se reportan los diagramas de bloques BPD, diagramas de flujo PFD, diagrama de tuberías e instrumentación P&ID, distribución en planta, líneas de flujo y cortes del área de producción.

La capacidad de los equipos que se seleccionaron con base en el balance de masa fueron: balanza, criba, descapsulador y descascarador, mesa de selección, tanque de lavado, prensa expeller, bomba peristáltica y embotelladora de aceite, los cuales se seleccionaron de catálogos y/o empresas locales. Los equipos que se dimensionaron en este estudio fueron: un secador rotatorio para las semillas de sachá inchi (se redujo la humedad de las semillas desde 0,299 hasta 0,06 kg agua/kg sólidos, se tomó como temperatura máxima de secado 50 °C, el largo del secador es de 4 m y el diámetro de 1,95 m), tanques de decantado y

almacenamiento del aceite (el tanque de decantación que se dimensionó es de fondo cónico y con un volumen total de 97 L. El tanque de almacenamiento dimensionado tiene un volumen de 430 L y fondo con inclinación de 5 °, el material de fabricación de los dos tanques es de acero inoxidable grado alimenticio AISI 304) y un filtro prensa de marcos y platos, el medio filtrante que se seleccionó es celulosa). Finalmente se realizó la evaluación económica para este estudio en la que se obtuvo un precio de venta del producto de \$ 6, el punto de equilibrio fue de 52 %. En relación a los indicadores económicos del proyecto se obtuvo un VAN de \$ 512 219,99 y TIR del 49 %, reportando así la factibilidad de la planta de extracción de aceite.

Palabras clave: sachá inchi, aceite, operaciones unitarias, balance de masa, balance de energía.

1. JUSTIFICACIÓN

Desde el año 2012 en el Ecuador se cultiva el sacha inchi de forma extensiva. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) implementa y da asesoría sobre este cultivo. Sin embargo, la mayoría de la producción local se exporta como materia prima y sin valor agregado (MAGAP, 2013a). Además de la existencia de pequeños negocios particulares dedicados a la extracción rudimentaria del aceite de sacha inchi y que extraen el aceite sin un procedimiento adecuado que conserve las propiedades del mismo.

No se encuentran cifras exactas sobre la superficie total ocupada por el cultivo de sacha inchi, solo se cuenta con referencias numéricas de algunas provincias. En la Tabla 1.1. se presentan los datos de las hectáreas del cultivo de sacha inchi existentes en algunas provincias de Ecuador. Para las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Pastaza y Orellana no se cuenta con información de las hectáreas ocupadas con cultivos de sacha inchi.

Tabla 1.1. Cultivos de sacha inchi existentes en el Ecuador

Provincia	Hectáreas cultivadas (ha)
Pichincha	150
Morona Santiago	113
El Oro	100
Esmeraldas	200

(MAGAP, 2013a)

Algunas investigaciones se han realizado con el sacha inchi en universidades del Ecuador. Por ejemplo, la comparación del contenido de aceite de dos semillas oleaginosas (sacha inchi y canola) por diferentes métodos de extracción como son:

digestión mecánica, prensado en frío y extracción con solventes además de concluir cual es el mejor método de extracción (Pantoja y Maldonado, 2012, p. 8). Un plan de negocios enfocado en la creación de una compañía que produzca aceite de sacha inchi y la comercialización del producto en Guayaquil (Pino, Urgilés y Villacreses, 2013, p. 3). En otra investigación se elabora y caracteriza una bebida pasteurizada a partir de las semillas de sacha inchi variando la relación agua/torta, el porcentaje de azúcar y el porcentaje de carboximetilcelulosa, además de la evaluación de la vida útil de la bebida obtenida (Cárdenas, 2015, p. 17). En el estudio del *branding* (posicionamiento de una marca en la mente de un consumidor) para productos ricos en omega 3 enfocado en el sacha inchi, la autora desarrolla un modelo para implementar el posicionamiento de una marca e impulsar el consumo de este tipo de aceites, el mercadeo, las cadenas de distribución del producto y el análisis financiero del proyecto (Páez, 2015, p. 6). No obstante, ninguna de estas investigaciones se enfocan en un proceso técnico de extracción del aceite de sacha inchi.

1.1. FITOQUÍMICA DEL SACHA INCHI

En la Tabla 1.2. se detallan los componentes presentes en las semillas del sacha inchi y en el Anexo I se presenta información general del sacha inchi como la cosecha y poscosecha de las cápsulas.

Tabla 1.2. Componentes de la semilla de sacha inchi

Componente	Valor %
Humedad	4,20
Proteínas	33,30

Tabla 1.2. Componentes de la semilla de sacha inchi (**continuación...**)

Componente	Valor %
Grasa	48,70
Carbohidratos	9,50
Fibra	1,60
Cenizas	2,70

(Correa y Yesid, 1989, p. 588)

Las semillas de sacha inchi poseen un alto porcentaje de aceite (35 – 60 %) y proteínas (aproximadamente 27 %), en la Tabla 1.3. se muestra la composición de ácidos grasos contenidos en las semillas de sacha inchi (Chirinos et al., 2013, p. 1 732).

Tabla 1.3. Composición de ácidos grasos en las semillas de sacha inchi

Ácido graso	Porcentaje %
Palmítico	3,8
Palmitoléico	tr
Esteárico	2,6
Oleico (+ isómero)	8,5
Linoléico	34,1
Linolénico	49,8
Eicosenóico	0,3

(Correa y Yesid, 1989, p. 588; tr=trazas <0,05 %)

En las semillas de sachá inchi se ha reportado también la presencia de componentes bioactivos tales como tocoferoles, carotenos, compuestos polifenólicos y fitoesteroles (Chirinos et al., 2013, p. 1732). En la Tabla 1.4. se muestran los componentes bioactivos presentes en el sachá inchi.

Tabla 1.4. Componentes bioactivos presentes en el sachá inchi

Componente bioactivo	Identificación	Importancia en la dieta
Tocoferoles	α tocoferol γ tocoferol δ tocoferol	Poseen las propiedades de la vitamina E, poseen una alta actividad antioxidante.
Fitoesteroles	Campesterol Estigmasterol β -sitosterol	Disminuyen los niveles de colesterol en la sangre y reducen el riesgo de padecer ciertos tipos de cáncer.
Compuestos fenólicos y carotenoides	β caroteno	Se consideran como promotores de la salud y son responsables de funciones biológicas críticas.

(Chirinos et al., 2013, pp. 1 732-1 733)

En este contexto, las investigaciones demuestran que el aceite de sachá inchi debido a sus componentes nutracéuticos tiene posibilidades de competir con el aceite de oliva, el cual es el de mayor demanda comercial en el mundo (Castaño, Valencia, Murillo, Mendez y Eras Joli, 2012).

1.2. IMPORTACIONES DE ACEITE DE OLIVA

Desde el año 2010 hasta el año 2016, en promedio se han importado 504,36 ton de aceite de oliva (Banco Central del Ecuador, 2016), en la Figura 1.1. se muestra el historial de importaciones de aceite de oliva.

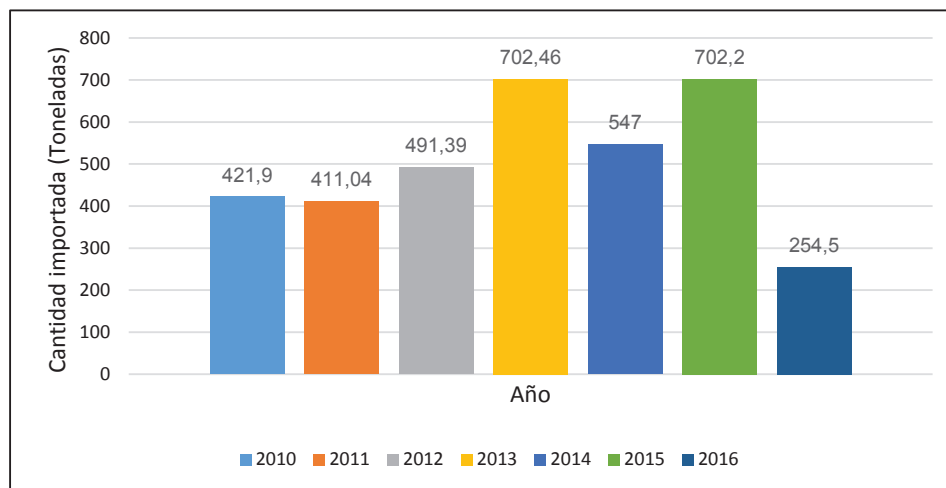


Figura 1.1. Importación en toneladas de aceite de oliva desde el año 2010 al 2016

Fuente: Banco Central del Ecuador, 2016

El porcentaje de ácidos grasos en el aceite de oliva son: 10,15 % linoleico, 0,5 % linolénico, 71,29 % oleico y 18,06 % otros (Abenozza et al., 2012, p. 1371); por otra parte el sacha inchi contiene: 34,1 % linoleico, 49,8 % linolénico, 8,5 % oleico y 7,6 % otros; además de la presencia de componentes bioactivos como tocoferoles, fitoesteroles y compuestos fenólicos (Correa y Yesid, 1989, p. 588; Liu et al., 2014, p. 5; Peri, 2014, pp. 29-30). Con base en estos valores mencionados se demuestra que se podría ofrecer al mercado local un aceite de mejores características y de procedencia local y disminuyendo así la importación del aceite de oliva.

Con la implementación de este estudio se dará un valor agregado a las semillas de sacha inchi de origen local, y se desea aportar con una referencia en el establecimiento de una planta de extracción de aceite para este tipo de semilla con

un proceso técnico y adecuado que ayude a alcanzar el mayor rendimiento posible en la extracción de aceite manteniendo la mayoría de sus propiedades nutritivas y que además cumpla con las normativas ecuatorianas para el sachá inchi (NTE INEN 2688:2014) y del Codex Alimentarius de grasa y aceites comestibles (Codex Alimentarius, 2015, p. 2).

1.3. MERCADO DEL PRODUCTO

Se deben conocer los gustos del consumidor, por lo cual se debe tener datos técnicos mínimos del producto a ofrecer al mercado como son: características físico-químicas y microbiológicas (Casp, 2005, p. 49).

1.3.1. ESTUDIO DEL MERCADO

El objetivo del estudio de mercado es identificar, recopilar, ordenar y analizar la información obtenida de la oferta (la competencia), la demanda (los potenciales clientes), los proveedores (de las materias primas e insumos), los precios, estrategias de comercialización, proyección de ingresos y otras variables vinculadas al proyecto. Todas estas acciones con la finalidad de determinar la viabilidad del proyecto que se está emprendiendo (Torres, 2015, p. 47).

La competencia.- Actualmente hay empresas dedicadas a la elaboración de aceite de sachá inchi en el Ecuador, están ubicadas en Quevedo (Grupo Difare), Puerto Quito (Agroindustrias del Noroccidente) y Ambato. Además, en la competencia se debe considerar a las empresas relacionadas con el mercado de aceites como La Fabril y Danec, estas empresas se dedican también a la comercialización del aceite de oliva.

La demanda.- El mercado ecuatoriano demanda tres tipos de aceites y grasas comestibles, como son los aceites monoinsaturados, poliinsaturados y saturados. Los monoinsaturados como el aceite de oliva, los poliinsaturados como el aceite de girasol, maíz y soya y los saturados como el aceite de palma y coco (Oficina Comercial de Chile en Ecuador PRO CHILE, 2016).

El consumidor de aceites vegetales busca consumir grasas saludables altas en ácidos grasos omega (omega 3, omega 6 y omega 9) los cuales poseen bondades que se asocian con la salud y la nutrición (Castaño, Valencia, Murillo, Mendez y Eras Joli, 2012, p. 45). El consumidor demanda también estos aceites por su contenido de componentes funcionales como: tocoferoles, carotenos, componentes polifenólicos y fitoesteroles, los cuales están presentes en el aceite de sacha inchi y en el aceite de oliva, en diferentes proporciones; estos componentes funcionales proporcionan beneficios en la salud, principalmente en la salud cardiovascular (Chirinos et al., 2013, p. 1732-1733)

Los proveedores.- Los proveedores de la materia prima básicamente son los agricultores beneficiados con la implementación de los cultivos en sus propiedades (MAGAP, 2013a).

1.4. CAPACIDAD DE LA PLANTA

Solo en la provincia de Pichincha hay 150 hectáreas del cultivo de sacha inchi, de las cuales en promedio se cosechan alrededor de 203 toneladas de cápsulas de sacha inchi al año (MAGAP, 2013b). Al finalizar los convenios internacionales de abastecimiento de sacha inchi como materia prima, aproximadamente el 64 % está disponible para procesar en el país y si se consideran 260 días laborables al año se realiza el siguiente razonamiento.

$$203 \frac{\text{toneladas}}{\text{año}} * \frac{64}{100} * \frac{1 \text{ año}}{260 \text{ días laborables}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ tonelada}} = 499,69 \approx \frac{500 \text{ kg}}{\text{día}}$$

Este valor de 500 kg/día es la capacidad de procesamiento de la planta de extracción de aceite de sachá inchi.

1.5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Uno de los métodos para evaluar las alternativas de localización es el método de calificación de factores el cual considera diferentes pesos a cada “*factor crítico de éxito*” (Heizer y Render, 2009, p. 323). Los seis factores de éxito más importantes son: a) productividad laboral (capacitación, nivel educativo), b) tasa de cambio y riesgo en el tipo de cambio, c) riesgo político (políticas de gobiernos autónomos), d) cercanía a los clientes potenciales, e) costos de materia prima y costo de transportación y f) cercanía a empresas que realizan la misma actividad (Heizer y Render, 2009, pp. 320-322).

El factor de tasa de cambio y riesgo en el tipo de cambio no se toma en consideración ya que al ser la selección entre dos ubicaciones dentro de un mismo país la tasa de cambio monetario no influye entre una y otra ubicación. En la Tabla 1.5. se presenta el método de calificaciones para dos ciudades de la provincia de Pichincha como son Quito y Puerto Quito.

Tabla 1.5. Evaluación de alternativas de localización de la planta de extracción

Factor crítico de éxito	Peso	Calificación (hasta 100)		Calificación ponderada	
		Quito	Puerto Quito	Quito	Puerto Quito
a) Capacitación, nivel educativo	0,15	90	90	13,5	13,5
c) Políticas de gobiernos autónomos	0,15	80	80	12	12
d) Cercanía a los clientes potenciales	0,25	90	60	22,5	15
e) Cercanía a la materia prima y costos de transportación	0,30	50	90	15	27
f) Cercanía a empresas que realizan la misma actividad	0,15	70	90	10,5	13,5
TOTAL	1			73,5	81

En la Tabla 1.5. se observa que la máxima calificación ponderada corresponde al cantón Puerto Quito, entonces se decide que la localización de la planta de extracción será en ese cantón.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Con base en la caracterización de la materia prima presentada previamente en la Tabla 1.2. se proponen las siguientes operaciones unitarias para la extracción de aceite de este tipo de semillas oleaginosas.

Se considera el transporte de materiales sólidos desde el pesaje hasta el prensado el cual se realiza por medio de coches transportadores y desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de almacenamiento se considera el transporte de fluidos.

- **Pesaje y cribado.** - Se pesa la materia prima, que son las cápsulas de sachá inchi que va a ser procesada en la planta de extracción de aceite. El cribado de las cápsulas se realiza con el objetivo de eliminar las impurezas del campo contenidas en la materia prima (tierra, piedras, tallos, hojas), (FAO, 1993, p. 60).

- **Descapsulado y descascarado.** - Se realiza con la finalidad de eliminar las cápsulas y las cáscaras que contienen a las semillas, no hay información referencial de la humedad que deben tener las cápsulas de esta especie vegetal para realizar un correcto descapsulado.

- **Selección de semillas.** - En esta operación unitaria se elimina del proceso las semillas que pueden afectar la calidad del aceite final, una coloración parda de las semillas indica presencia de microorganismos. La presencia de microorganismos en las semillas acelera el proceso de deterioro de un aceite vegetal (Peri, 2014, p. 115).

- **Lavado de semillas.** - Con un rango de tiempo de hasta 60 minutos tiempo en el cual se realiza el remojo, la agitación manual, el enjuague y el escurrimiento de las semillas se eliminan los taninos y saponinas (FAO, 2000, p. 18), estos componentes generalmente se consideran antinutricionales, los cuales además afectan el color del aceite (Chirinos et al., 2013, p. 1 733).
- **Secado de semillas.** - El secado se realiza para eliminar el agua absorbida por las semillas en el lavado, la humedad de las semillas antes del lavado es del 6 % (Adrianzen, Rojas y Linares, 2011, p. 49), luego del lavado la humedad de las semillas es del 29,9 %. La temperatura máxima de secado se establece en máximo 50°C (Codex Alimentarius, 2016a, p.1).

El ácido linolénico, el cual se encuentra en el aceite de sachá inchi en un porcentaje de 49,8 % (Correa y Yesid, 1989, p. 588) es susceptible a la oxidación y a la reorganización de la estructura química por efecto del calor (Mazza, 2000, p.274). Al liberarse el ácido linolénico de la molécula del triglicérido se tiene como resultado un aceite con una mayor acidez que la permitida en la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2688:2014 Aceite de sachá inchi. Requisitos).

- **Prensado mecánico de las semillas.** - Hay dos tipos de prensado, el discontinuo y el prensado continuo.

En el prensado discontinuo o *batch* de aceites se aplica una presión sobre una masa de producto oleaginoso para lo cual se utilizan bolsas, telas o mallas. Los equipos dentro de este grupo son las prensas hidráulicas, las prensas de placas, prensas de cajetín, entre otras. Este tipo de prensado demanda mano de obra constante además de las bolsas y accesorios mencionados previamente (Bailey, 2001, p.440).

El prensado continuo es el más utilizado en la industria de aceites vegetales ya que demandan menos mano de obra en comparación con las prensas de

prensado discontinuo y también se elimina por completo el uso de implementos filtrantes, en este tipo de prensado se encuentran las prensas expeller con sus diversas variantes y configuraciones. Con este tipo de prensas se realiza el prensado en frío de las semillas oleaginosas (Bailey, 2001, pp. 446-447)

El prensado mecánico de este tipo de semillas oleaginosas con altos contenidos de ácidos grasos insaturados se realiza por medio de prensado en frío. Según el Codex Alimentarius (2016a) “El prensado en frío significa que los aceites no han alcanzado temperaturas mayores a 50 °C, no se aplica calor externo en los procesos modernos, el calor generado es debido a la presión y a la fricción de rotación de las prensas de tornillos utilizadas” (p. 1).

- **Decantación.** - El objetivo de la decantación es separar el aceite de los lodos residuales los cuales se aglomeran y flocculan formando depósitos sólidos en el fondo de los tanques de decantación simplificando el filtrado de los aceites vegetales (Peri, 2014, p. 156). La decantación depende del tamaño, forma, y densidad de la partícula a separar, este proceso dura aproximadamente 10 horas (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 224).

- **Filtración.** - La filtración es una operación unitaria que tiene como finalidad separar sólidos insolubles de una suspensión sólido-líquido, la suspensión pasa por una membrana porosa que retiene las partículas sólidas. La membrana porosa se conoce como medio filtrante, las partículas retenidas por el medio filtrante se denomina torta y el líquido que atraviesa el medio filtrante se conoce como filtrado (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 271). El objetivo de la filtración es eliminar residuos sólidos que no sedimentaron y para la obtención de un aceite de mejor coloración en comparación con el aceite luego de la sedimentación. La filtración permite obtener un aceite más estable (Peri, 2014, p. 156).

- **Embotellado.** - El embotellado se realiza para almacenar el aceite antes del despacho del producto final y alargar la vida útil del mismo al disminuir el contacto del aceite con el aire (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 572)

Una vez que se han mencionado las operaciones unitarias adecuadas para procesar este tipo de semillas oleaginosas se describen las características del producto a obtener, Castro (2007) señala que: “Si se trata de un producto, la descripción técnica debe incluir: tamaño, peso, forma, ingredientes, colores, textura y empaque” (p. 13). El producto a elaborar se realiza según los requisitos mencionados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2688:2014 Aceite de sacha inchi. Requisitos. El empaque será en botellas de vidrio color ámbar y de un volumen de 250 cm³ (Codex Alimentarius, 2016a). La caracterización física del producto a ofrecer al mercado se muestra en la Tabla 2.1. y en la Tabla 2.2. se muestra la caracterización química del producto.

Tabla 2.1. Caracterización física del aceite

Parámetro	Valor
Peso	229,68 g
Viscosidad (a 20 °C)	35,4 mPa.s
Densidad (a 25 °C)	0,9187 g/cm ³

(Gutiérrez, Rosada y Jiménez, 2011, p. 79)

Tabla 2.2. Caracterización química del aceite

Parámetro	Valor	
	Mínimo	Máximo
Índice de saponificación (mg KOH/g aceite)	192	196
Materia insaponificable (%)	-	0,36
Acidez libre expresada como ácido oleico (%)	-	1
Índice de peróxido (miliequivalentes de oxígeno/kg de aceite)	-	15

(NTE INEN 2688:2013)

3. CRITERIOS DE DISEÑO

Para la obtención de datos se realizó de forma experimental todo el proceso desde el pesaje de las cápsulas de sachá inchi hasta la obtención del aceite de sachá inchi. Los valores para los balances de masa encontrados en cada operación unitaria se presentan de forma detallada en el Anexo II.

3.1 PESAJE Y CRIBADO

Posterior al pesaje de la materia prima se realiza el cribado, operación en la cual el porcentaje de impurezas obtenidas (hojas, tallos, tierra y piedras) fue del 0,5 %.

Los equipos rotativos de limpieza con mallas cilíndricas son muy usados por su alta capacidad para limpiar y la baja potencia necesaria para su funcionamiento. Están construidas básicamente por mallas metálicas, estos equipos tienen un sistema que permite sustituir las mallas metálicas, permitiendo así la limpieza de diferentes productos (FAO, 1993, p. 63).

3.2. DESCAPSULADO Y DESCASCARADO

El porcentaje de cápsulas y cáscaras obtenidos fue del 58 % y 42 % de semillas peladas. Las cápsulas y cáscaras no tienen ningún valor nutricional, pero pueden utilizarse como combustible (FAO, 1993, p. 80).

3.3. SELECCIÓN DE SEMILLAS

El porcentaje de semillas no aceptadas para continuar en el proceso fue 4% y el porcentaje de semillas que continúan en el proceso fue 96 %, la selección de las semillas se realiza de forma manual, en este caso se realiza en una mesa de acero inoxidable grado alimenticio.

Los materiales en contacto con los alimentos deben ser inocuos frente a los mismos, no debe haber migración del material de construcción del equipo hacia el alimento. Las superficies que se expondrán al contacto con los alimentos deben ser no porosas, lisas y pulidas, también se debe evitar el depósito y acumulación de partículas del alimento en las superficies del equipo (Casp, 2005, p. 248).

3.4. LAVADO DE SEMILLAS

Por cada kg de semilla se necesita 3 kg de agua es decir una proporción (3:1) y un tiempo aproximado de 60 minutos, en este tiempo se toma en consideración el remojo, la agitación manual, el enjuague y el escurrimiento de las semillas. Con respecto a la cantidad total de agua utilizada en el lavado el 10 % es absorbido por las semillas.

Con base en el valor encontrado de la cantidad de semillas a lavar y con la información de la composición de las semillas que se encuentra en la Tabla 3.2. y con la ecuación 3.1 se encuentra la densidad de las semillas, y con la ecuación 3.2 se encuentra el volumen ocupado por las semillas. En el Anexo AIII.1 se encuentran detalles de los cálculos realizados.

Tabla 3.1. Composición de las semillas de sachá inchi y su respectiva densidad como componentes puros

COMPONENTE	PORCENTAJE* %	DENSIDAD (a 20 °C) ⁺ kg/m ³
Agua	3,00	995,68
Grasa	42,00	917,24
Proteínas	24,70	1 319,53
Ceniza	4,00	2 418,18
Carbohidratos	30,90	1 592,89

*Gutiérrez, Rosada y Jiménez, 2011, p. 79; ⁺ Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p.345

$$\frac{1}{\rho_t} = \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{\rho_{t_j}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad [3.1]$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [3.2]$$

3.5. SECADO DE SEMILLAS

La humedad final de las semillas es del 6% (Adrianzen et al., 2011, p. 49), luego del lavado de las semillas la humedad obtenida fue del 29,9 %. Además, el aire ambiente a utilizar en procesos de secado tiene una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del 50 % (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 416). En este caso, la temperatura máxima a la que opera el secador se establece en 50 °C por la misma razón expuesta previamente en el capítulo 2 en la descripción del proceso.

En la Tabla 3.2. se exponen algunas características de los tipos de secadores convencionales que pueden aplicarse al secado de las semillas de sachá inchi, los

tiempos de residencia de un producto en un secador son función de la humedad y de la calidad de aire.

Tabla 3.2. Características de cuatro tipos de secadores con aplicaciones alimenticias

Tipo de secador	Forma del producto a secar*	Temperatura del producto °C	Capacidad de evaporación kg/m² h	Tiempo de residencia h
Bandejas	Piezas	40 - 60	0,2 - 2	3 - 10
Túnel	Piezas	50 - 80	5 - 15	0,5 - 3
Bandas rotatorias	Piezas	50 - 80	5 - 15	0,5 - 3
Rotatorio	Piezas, gránulos	60 - 100	30 - 100	0,2 - 1

*Piezas >5 mm, gránulos 0,5 - 5 mm
(Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 348)

Con base en la Figura 3.1. y en las ecuaciones 3.5 a 3.7 se realiza el balance de energía necesaria para el secado de las semillas. En el Anexo IV se detalla el procedimiento para la obtención de los valores correspondientes.

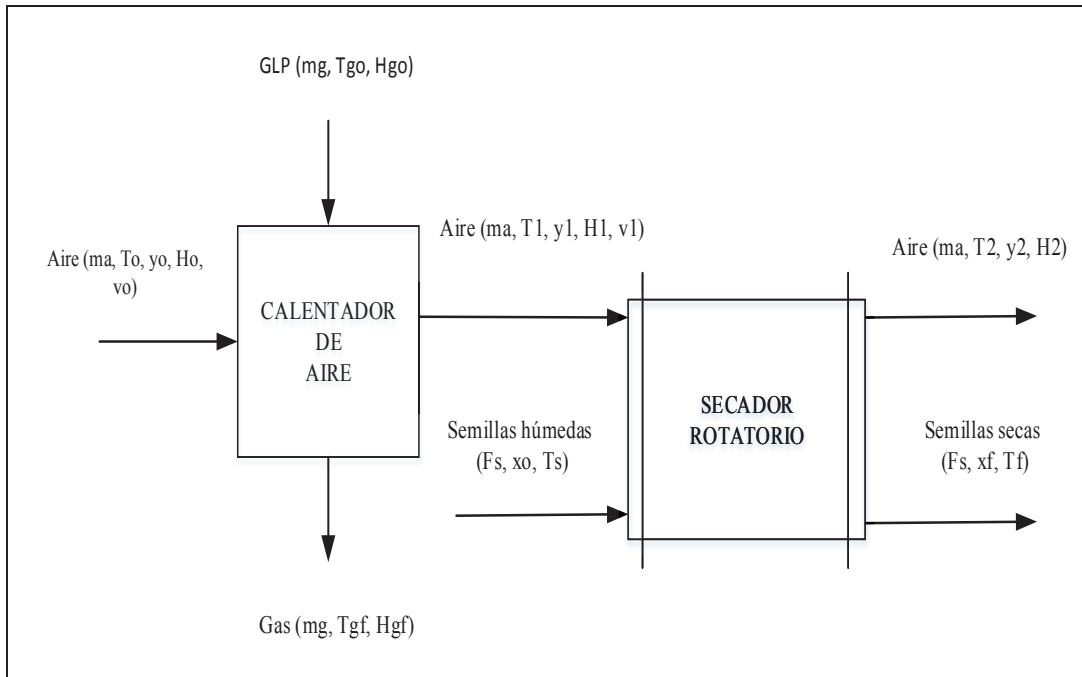


Figura 3.1. Diagrama simplificado del calentador y secador que constituyen la unidad de secado de las semillas de sachá inchi

Donde:

ma: flujo de aire a calentar (kg/h)

To: temperatura inicial del aire ($^{\circ}\text{C}$)

yo: contenido de humedad del aire (kg agua/kg aire seco)

Ho: entalpía del aire (kJ/kg)

vo: volumen específico del aire (m^3/kg)

mg: flujo másico del gas (kg/h)

Tgo: temperatura de entrada del gas ($^{\circ}\text{C}$)

Hgo: entalpía del gas (kJ/kg)

T1: temperatura del aire a la entrada al secador ($^{\circ}\text{C}$)

y1: contenido de humedad del aire a la entrada del secador (kg agua/kg aire)

H1: entalpía del aire a la entrada del secador (kJ/kg)

v1: volumen específico del aire a la entrada del secador (m^3/kg)

T2: temperatura del aire a la salida del secador ($^{\circ}\text{C}$)

y2: contenido de humedad del aire a la salida del secador (kg agua/kg aire)

H2: entalpía del aire a la salida del secador (kJ/kg)

- Fs: flujo másico de las semillas (kg/h)
 Ts: temperatura inicial de las semillas (°C)
 xo: contenido inicial de humedad de las semillas en base seca (kg agua/kg sólidos)
 xf: contenido final de humedad de las semillas en base seca (kg agua/kg sólidos)
 Tf: temperatura de salida de las semillas (°C)

$$\Delta H_{\text{entra}} = -\Delta H_{\text{sale}} \quad [3.5]$$

$$m_a(H_1 - H_0) = \dot{m}_{gc}c_{p_{gc}}(T_1 - T_0) \quad [3.6]$$

$$\text{volumen de aire que entra} = m_a * v_0 \quad [3.7]$$

Donde:

ΔH_{entra} : cambio de entalpía ganada(kJ/kg)

ΔH_{sale} : cambio de entalpía perdida (kJ/kg)

\dot{m}_{gc} : flujo másico de los gases de combustión (kg/h)

$c_{p_{gc}}$: capacidad calórica de los gases de combustión (kJ/kg °C)

m_a : flujo másico del aire (kg/h)

Para el balance de masa en el secador se utilizan las ecuaciones 3.8 y 3.9.

$$\text{agua que sale de la semilla} = \text{agua que gana el aire} \quad [3.8]$$

$$F_s(x_0 - x_f) = m_a(y_2 - y_1) \quad [3.9]$$

3.6. PRENSADO MECÁNICO

Para esta operación unitaria se realizó un diseño experimental el mismo que se encuentra detallado en el Anexo AIII.2 Las condiciones de presión y temperatura propuestos se muestran en la Tabla 3.3.

La mayoría de prensas de prensado continuo operan con presiones en un rango de hasta 2 800 kg/cm² y la temperatura durante el prensado en frío no debe exceder de 50 °C (Bailey, 2001, p.446; Hoed et all.,2011, p. 1848).

Tabla 3.3. Diseño experimental propuesto para determinar los mejores rendimientos de extracción del aceite

Tratamiento	Presión kgf/cm ²	Temperatura ° C
T1	350	40
T2	350	50
T3	400	40
T4	400	50

Con base en el diseño experimental propuesto se escogió el tratamiento correspondiente a una presión de 400 kgf/cm² y una temperatura de 50 °C, se eligió este tratamiento porque es el que permitió obtener la mayor cantidad de aceite y cuyo porcentaje fue de 43,6 %.

3.7. DECANTACIÓN

En esta operación unitaria se obtuvo el 10 % de lodos residuales. La decantación tiene una duración aproximada de 10 h, (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 224).

Luego del prensado es necesario separar el aceite de los lodos residuales obtenidos. Se diseña el tanque de decantación con base en el valor del balance de masa (aceite con lodos residuales). Se asume que los lodos residuales son solo proteínas y que tienen una densidad de 1 319,53 kg/m³ (densidad correspondiente

a las proteínas a 20°C) y la densidad del aceite un valor de 918,7 kg/m³ (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p.345).

Los equipos de decantación gravitatorios se utilizan para la separación de partículas en suspensión de los alimentos líquidos. Pequeños tanques metálicos son diseñados para este propósito en plantas de procesamiento de alimentos, estos tanques son cilíndricos con un fondo en forma de cono, el líquido clarificado se recoge por la parte superior y los sólidos asentados por el fondo (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, pp. 224-225).

3.8. FILTRACIÓN

En la filtración se obtuvo 0,01 % de impurezas retenidas. Los filtros de marcos y platos o filtros prensa operan en ciclos *batch*, la suspensión es filtrada a través de la superficie de los platos, el filtrado se recolecta a través de tuberías y el retenido es descargado al terminar el filtrado. Los marcos son de acero inoxidable y su superficie varía de 15 a 150 cm² y un grosor de 1 a 5 cm. La superficie de filtrado se fabrica con malla metálica cubiertos con el medio filtrante (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 226).

3.9. EMBOTELLADO DE ACEITE

La cantidad de aceite a embotellar es básicamente la cantidad de aceite obtenido luego de la filtración.

Los equipos utilizados para el envase de alimentos dependen de la naturaleza y propiedades del alimento. Para líquidos se utilizan bombas o llenado por gravedad

(Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 575). El llenado, sellado y etiquetado se realiza de forma manual o puede ser totalmente automático en función del tamaño de la planta (Peri, 2013, p. 181). En este caso se considera el embotellado manual del aceite.

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1. DIAGRAMAS DE BLOQUES BPD (*BLOCK PROCESS DIAGRAM*)

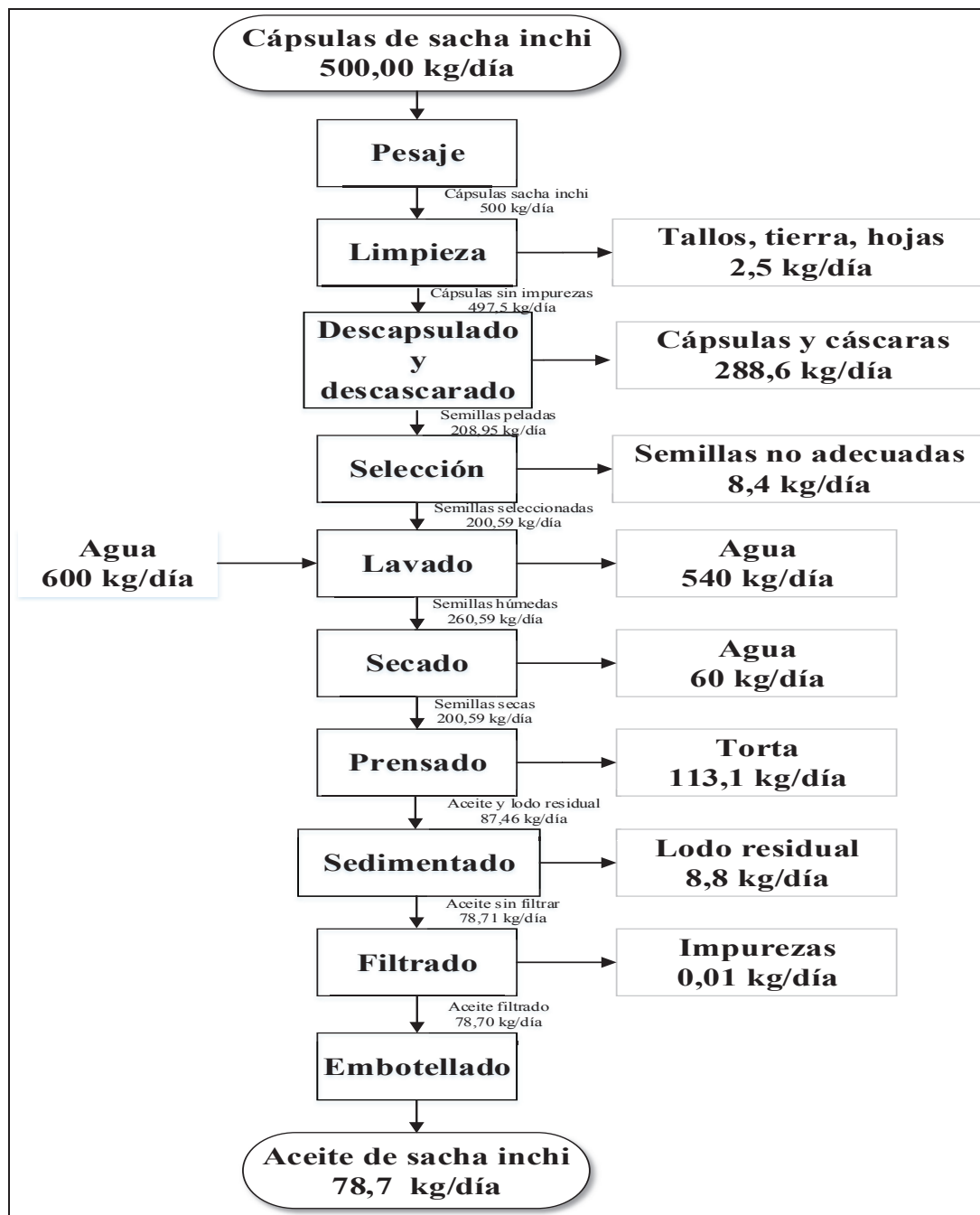


Figura 4.1. Diagrama de bloques (BPD) del proceso de producción de aceite de sachá inchi

4.2. BALANCE DE MASA

Los detalles del balance de masa de todo el proceso de extracción del aceite se encuentran en el Anexo II, el resumen de los valores obtenidos en el balance de masa se muestra en la Tabla 4.1. En el Anexo V se presenta la simbología de equipos usados en el diagrama PFD.

Tabla 4.1. Resumen del balance de masa del proceso de extracción del aceite de sachá inchi

Componente	Unidad kg/día	Porcentaje en peso (%)
Pesaje: 500 kg/día (cápsulas sachá inchi)	500	100
Limpieza: 500 kg/día Sachá inchi Impurezas (hojas, tallos, tierra) Sachá inchi sin impurezas Total	2,50 497,50 500	0,50 99,50 100
Descapsulado y descascarado: 497,5 kg/día sachá inchi sin impurezas Cápsulas y cáscaras Sachá inchi pelado Total	288,55 208,95 497,5	58,00 42,00 100
Selección: 208,95 kg/día sachá inchi pelado Semillas no adecuadas Semillas que continúan en el proceso Total	8,36 200,59 208,95	4,00 96,00 100
Lavado: 200,59 kg/día semillas a lavar Semillas secas Agua absorbida Total	200,59 60 260,59	77 23 100
Secado: 260,59 kg/día de semillas húmedas Agua eliminada en el secado Sachá inchi seco Total	60 200,59 260,59	23 77 100
Prensado: 200,59 kg/día de semillas a prensar Torta Aceite sin clarificar Total	113,13 87,46 200,59	56,40 43,60 100
Decantado: 87,46 kg/día de aceite sin decantar Lodos residuales Aceite clarificado Total	8,75 78,71 87,46	10 90 100
Filtrado: 78,71 kg/día aceite a filtrar Impurezas Aceite filtrado Total	0,01 78,70 78,71	0,01 99,99 100

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO PFD (PROCESS FLOW DIAGRAM)

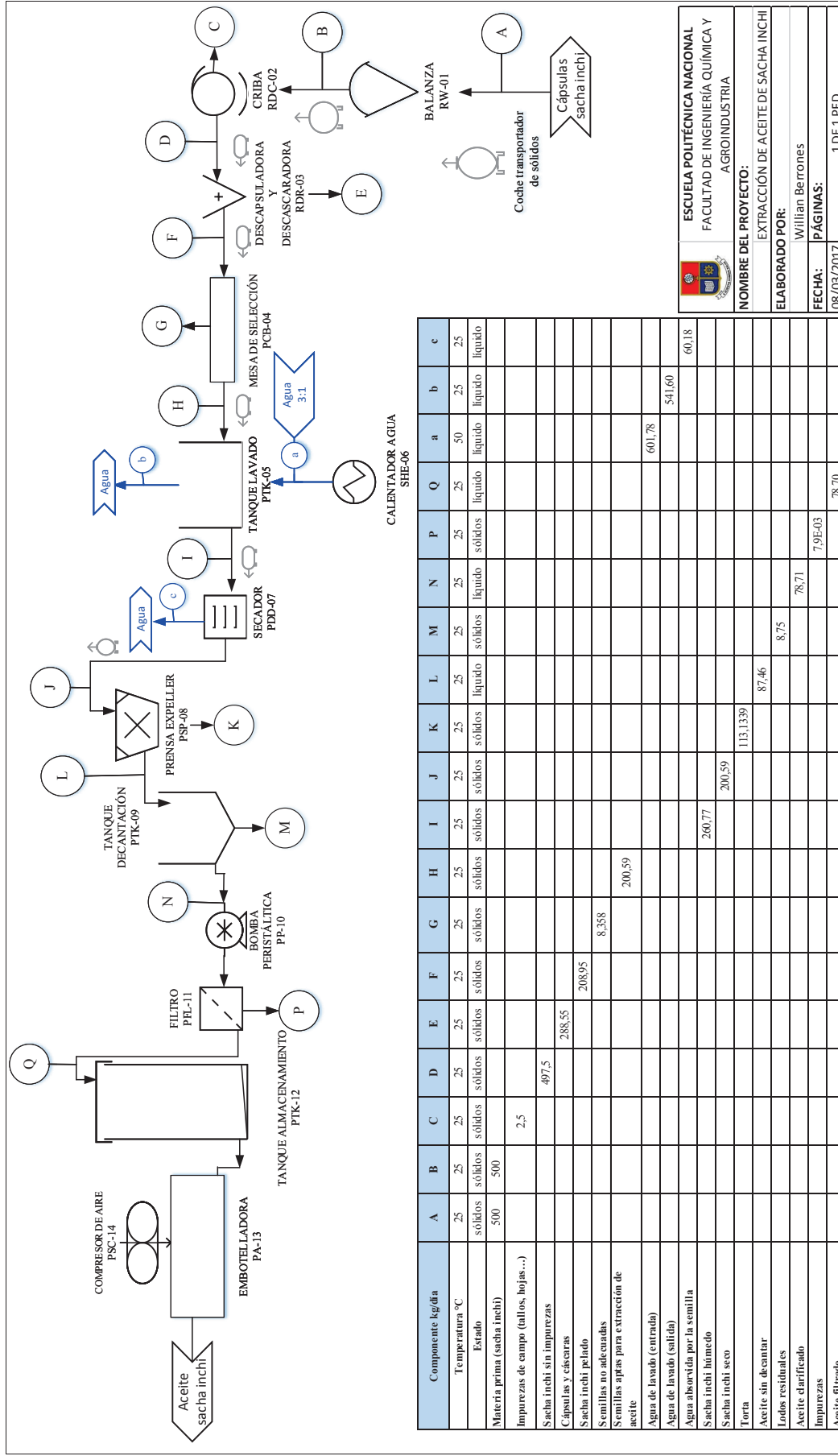



Figura 4.2. Diagrama de flujo (PFD) del proceso de producción de aceite de sachá inchi


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
 AGROINDUSTRIA

NOMBRE DEL PROYECTO:
 EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI

ELABORADO POR:
 Willian Bertrones

FECHA: 08/03/2017

PÁGINAS: 1 DE 1 PFD

4.4. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En la Tabla 4.2. se muestra la duración de cada una de las actividades para la planificación de la producción, la información de la capacidad de los equipos se encuentra en el Anexo VIII. y los valores del flujo a procesar corresponden a los valores obtenidos en el balance de masa y se encuentran en el Anexo II.

Tabla 4.2. Duración de las actividades de la planta

Actividad	Capacidad del equipo	Flujo a procesar	Duración de la actividad (minutos)
Pesaje	No aplica	500 kg	10
Limpieza de materia prima	250 kg/h	500 kg	120
Descapsulado y descascarado	300 kg/h	497,5 kg	100
Selección (operación manual)	No aplica	208,95 kg	30
Lavado (operación manual)	No aplica	200,59 kg	60
Secado	345 kg/h	260,59 kg	45
Prensado	110 kg/h	200,59 kg	110
Decantación	No aplica	87,46 L	960
Limpieza de equipos (operación manual)	No aplica	No aplica	40
Filtrado*	57,6 L/h	78,71 L	82
Embotellado*	15 unidades/min	343 unidades	40

*horas del siguiente día

En este caso la duración de la decantación es de 16 h, aproximadamente, la decantación al ser por gravedad es un reposo del aceite hasta el siguiente día, esta operación unitaria no necesita la intervención del operario, la actividad diaria finaliza con la limpieza de equipos. Las operaciones unitarias desde el filtrado hasta el

embotellado del aceite en las respectivas botellas se realizan al día siguiente (posterior a la decantación del aceite).

En la Tabla 4.3 se muestra el horario de las actividades diarias a realizar para la extracción del aceite de sachá inchi.

Tabla 4.3. Horario de actividades a realizar en la planta

Actividad	Hora de inicio	Hora final	Duración de la actividad (minutos)
Pesaje	8:30	8:40	10
Limpieza semillas	8:40	11:40	120
Descapsulado y descascarado	10:10	11:50	100
Selección	11:30	12:00	30
Lavado	12:00	13:00	60
Secado	14:00	14:45	45
Prensado	14:20	16:10	110
Decantación	16:10	8:30 ⁺	960
Limpieza de equipos	15:50	16:30	40
Filtrado*	8:30	9:50	82
Embotellado*	9:50	10:30	40

*horas del siguiente día, ⁺ hora del día siguiente

El diagrama de Gantt permite ordenar las actividades a efectuarse al ejecutar un proyecto, dichas actividades se representan mediante barras cuya extensión representa su duración (Velasco y Campins, 2013, p. 23).

Para la planificación de la producción se realizó un diagrama de Gantt en el cual se muestran las actividades y la duración de las mismas, dependiendo de la capacidad

de los equipos. En la Tabla 4.4. se muestra el diagrama de Gantt de la planificación de la producción en la planta de extracción de aceite de sachá inchi.

Tabla 4.4. Diagrama de Gantt de las actividades en la planta

Actividad	Duración de la actividad (min)
Pesaje	10
Limpieza semillas	120
Descapsulado y descascarado	100
Selección	30
Lavado	60
Secado	45
Prensado	110
Decantación	Duración de 960 min a partir de finalizado el prensado, no interviene el operario
Limpieza de equipos	40
Filtrado*	80
Embotellado*	40

*Operaciones que se realizan al día siguiente de la extracción del aceite

En la Tabla 4.5. se muestran las actividades que realiza el operario 1, en color verde y las actividades del operario 2, en color celeste.

Tabla 4.5. Actividades de cada operario

Actividad	Duración de la actividad (min)
Pesaje	10
Limpieza semillas	120
Descapsulado y descascarado	100
Selección	30
Lavado	60

Tabla 4.5. Actividades de cada operario (continuación...)

Actividad	Duración de la actividad (min)	
Secado		45
Prensado		110
Decantación	Duración de 960 min a partir de finalizado el prensado, no interviene el operario	
Limpieza de equipos		40
Filtrado*	80	
Embotellado*		40

*Operaciones que se realizan al día siguiente de la extracción del aceite

4.5. BALANCE DE ENERGÍA

Para los cálculos necesarios para el balance de energía se tomó en cuenta la energía necesaria en los procesos de: lavado de las semillas, secado de las semillas, y el transporte del aceite desde un tanque de clarificado a un tanque de almacenamiento. En la Tabla 4.6. se presentan los valores del balance de energía obtenidos previamente en las secciones correspondientes.

Tabla 4.6. Valores obtenidos en los balances de energía

Operación unitaria	Valor	Unidad	Anexo
Lavado de las semillas	5,65	kW	Anexo AVI.2
Secado de las semillas	255 252	kJ	Anexo IV
Transporte de aceite	16,9	W	Anexo AVI.7

4.6. DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)

En la Tabla 4.7 se muestran los accesorios utilizados en la línea de producción del aceite.

Tabla 4.7. Codos y válvulas utilizados en la línea de producción

Corriente	Número de válvulas diafragma	Número de codos 90°	Diámetro nominal (pulg)	Material de los accesorios
N	1	8	1/2	Acero inoxidable AISI 304
Q	1	5	1/2	Acero inoxidable AISI 304

En la Figura 4.3. se presenta el diagrama P&ID de la planta de producción del aceite.

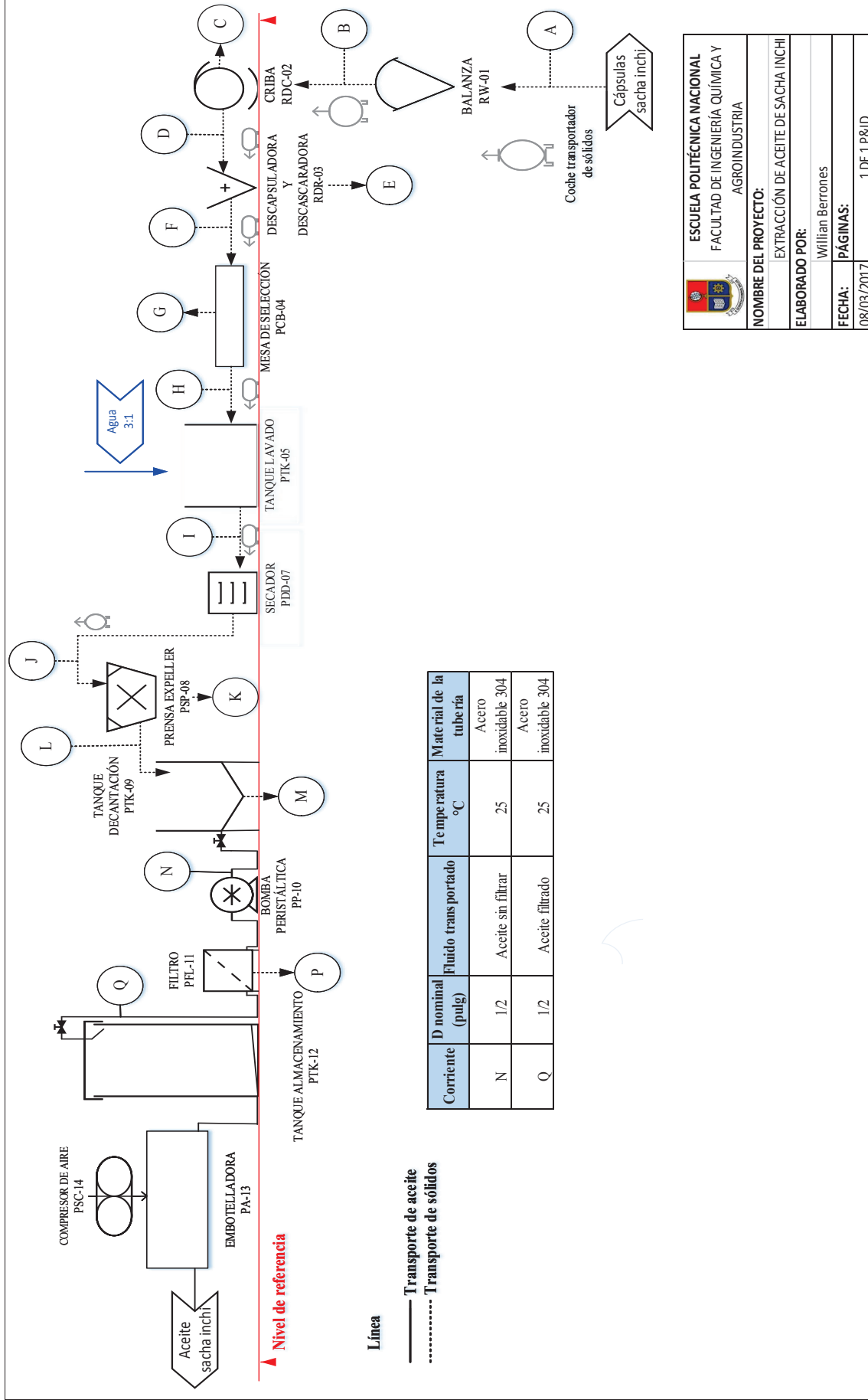


Figura 4.3. Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) de la planta de producción de aceite de sachá inchi

4.7. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Con base en el balance de masa los equipos seleccionados de catálogos fueron: balanza, criba, descapsuladora y descascaradora, mesa de selección, tanque de lavado, calentador de agua, prensa expeller, bomba peristáltica, embotelladora de aceite y compresor de aire. Los equipos diseñados en este estudio fueron: un secador de semillas, un tanque de sedimentación, un filtro prensa y un tanque de almacenamiento. Las hojas técnicas de los todos los equipos seleccionados y diseñados se encuentran en el Anexo VIII.

En la Tabla 4.8. se presentan las operaciones unitarias, los equipos propuestos y las corrientes obtenidas.

Tabla 4.8. Operaciones unitarias y equipos propuestos

Operación unitaria	Equipo propuesto	Corriente obtenida
Pesaje	Balanza	Cápsulas de sachá inchi
Limpieza	Criba rotatoria	Impurezas de campo
		Cápsulas limpias
Descapsulado y descascarado	Descapsuladora y descascaradora	Cápsulas y cáscaras
		Semillas peladas
Selección	Mesa de selección	Semillas dañadas
		Semillas aptas para prensado
Lavado	Tanque	Semillas para el lavado
		Semillas húmedas
Secado	Secador	Agua eliminada
		Semillas secas
Prensado	Prensa expeller	Torta
		Aceite con lodos residuales
Sedimentado	Tanque de sedimentación	Lodos residuales
		Aceite sin filtrar
Transporte de fluido	Bomba peristáltica	Aceite transportado hacia el filtro
Filtrado	Filtro prensa	Impurezas
		Aceite filtrado
Embotellado	Embotelladora	Aceite embotellado

4.7.1. SELECCIÓN DE LA BALANZA Y LA CRIBA

Para la recepción y pesaje de las cápsulas de sachá inchi se utiliza una balanza electrónica y para la criba el criterio de selección es básicamente en función del flujo que utiliza la planta de extracción (con base en el valor obtenido en el balance de masa).

4.7.2. SELECCIÓN DE LA DESCAPSULADORA Y DESCASCARADORA

En esta operación unitaria se separan las cápsulas y cáscaras de las semillas que se usarán posteriormente. De igual forma, el criterio de selección de este equipo es básicamente en función del flujo que utiliza la planta (obtenido a partir del balance de masa).

4.7.3. ESCOGIMIENTO DE LA MESA DE SELECCIÓN

En la mesa de selección se separan las semillas adecuadas para el prensado, incluso se separa restos de cáscaras que no se han separado totalmente de las semillas, el criterio de selección es básicamente en función del valor obtenido en el balance de masa.

4.7.4. SELECCIÓN DEL TANQUE DE LAVADO

Con base en la información obtenida de la sección 3.4, se utiliza la ecuación 4.1 y considerando que por cada kg de semillas se necesita un kg de agua.

$$V_{\text{tanque}} = \pi r^2 h \quad [4.1]$$

Los criterios de selección para este tipo de tanques son: producto a almacenar, manejo de la materia prima, condiciones ambientales, material de construcción y consideraciones higiénicas. Generalmente son necesarios los tanques enchaquetados para permitir el calentamiento o enfriamiento del contenido del tanque. (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 124). En el Anexo AVI.1 se encuentran los detalles de los cálculos realizados.

4.7.5. SELECCIÓN DEL CALENTADOR DE AGUA

Para la selección del calentador de agua adecuado para el lavado de las semillas se realiza el balance de energía planteado en la ecuación 4.2. Los detalles de los cálculos se encuentran en el Anexo AVI.2.

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad [4.2]$$

Donde:

Q: calor necesario (kJ/día)

m: masa de agua a calentar (kg/día)

c_p : calor latente de vaporización del agua (kJ/kg °C)

ΔT : diferencia de temperatura (°C)

4.7.6. DISEÑO DEL SECADOR DE SEMILLAS

Para el secado de las semillas de sachá inchi se escoge el secador rotatorio debido a que este tipo de secador es muy utilizado en la industria alimenticia, también posee una alta capacidad de evaporación y un corto tiempo de residencia del producto a secar en comparación con los secadores de bandejas, túnel y de bandas rotatorias (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356).

En la Tabla 4.9. se muestra la hoja de especificaciones para el diseño del secador. El cálculo realizado para la obtención de la humedad en base seca de las semillas luego del lavado se encuentra en el Anexo AVI.3 y en el Anexo AVI.4 se encuentra información de la estimación del tamaño del secador.

Tabla 4.9. Hoja de especificaciones para el dimensionamiento del secador

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
1. Operación			
Modo	Continuo	-	Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356
Tipo de transferencia de calor	Convección forzada	-	Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356
Etapas de secado	1	-	Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356
2. Alimentación			
a. Material a secar	Semillas de sachá inchi	kg	
b. Tasa de alimentación	338,77	kg/h	Balance de masa
c. Naturaleza de la alimentación	Granular (esférico)	-	Ibarz y Barbosa-Canovas, 2005, p. 245

Tabla 4.9. Hoja de especificaciones para el dimensionamiento del secador
(continuación...)

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
d. Propiedades físicas del sólido (semillas)			
Contenido inicial de humedad	0,299	kg/kg	Balance de masa y Anexo AVII.1
Contenido final de humedad	0,069	kg/kg	Adrianzen et al., 2011, p. 49
Capacidad calórica	2,01	kJ/kg °C	Formula empírica (Ibarz y Barbosa-Canovas, 2005, p. 345)
Espesor	8,96	mm	Larico, 2013, p. 4
e. Humedad a ser removida			
Punto de ebullición	100	°C	Geankoplis, 1998, p. 946
Calor de vaporización	2 257	kJ/kg	Geankoplis, 1998, p. 946
Capacidad calórica	4,184	kJ/kg °C	Geankoplis, 1998, p. 945
3. Producto			
a. Contenido final de humedad	0,069	kg/kg	Adrianzen et al., 2011, p. 49
b. Característica física	Granular	-	
4. Restricciones de diseño			
a. Temperatura máxima en húmedo de las semillas	50	°C	Hoed et al., 2011, p. 1849
b. Temperatura máxima en seco de las semillas	50	°C	Hoed et al., 2011, p. 1849
c. Gases de combustión pueden estar en contacto con el producto	No	-	Codex Alimentarius
5. Material recomendado de construcción			
a. Partes en contacto con el material húmedo	Acero AISI 304	-	Codex Alimentarius
b. Partes en contacto con vapores	Acero AISI 304	-	Codex Alimentarius
6. Aire de secado a la entrada			
a. Flujo	4 007	m ³ /h	Balance de energía
b. Contenido de humedad	0,00726	kg/kg aire	Carta psicrométrica
c. Entalpía	38,54	kJ/kg	Carta psicrométrica
7. Fuente de calentamiento			
a. Combustible	GLP	-	Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356

En la Tabla 4.10. se presentan los valores de las variables de diseño del secador de las semillas de sachá inchi. Los detalles de los cálculos realizados se encuentran en el Anexo AVI.5.

Tabla 4.10. Variables de diseño del secador de semillas de sachá inchi

Parámetro	Valor	Unidad
Cámara cilíndrica		
Diámetro	1 950	mm
Longitud	4 000	mm
Volumen	11,95	m ³
Espesor	3	mm
Material	AISI 304	-
Aletas		
Número de aletas	10	-
Distribución en la cámara cilíndrica	Cada 36 grados	°
Material	AISI 304	-
Otras variables		
Tiempo de residencia de las semillas en el secador	0,17	h
Carga de las semillas en el secador	58,59	kg
Capacidad de secado	345	kg/h
Potencia del motor de rotación de la cámara de secado	6,28	kW

4.7.7. SELECCIÓN DE LA PRENSA EXPELLER

Las prensas expeller (prensas de tornillo) son ampliamente usadas en la industria de aceites vegetales, consisten en un tornillo giratorio ubicado en el interior de un cilindro perforado (barril), tanto el tornillo como el barril se estrechan en la descarga para incrementar la presión sobre el material. Las velocidades del eje varían entre 5 y 500 rpm y son usados con presiones superiores a 2 500 bars. La capacidad de estas prensas puede alcanzar 200 ton/24 h y el aceite residual en la torta puede ser menor al 2 % (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 235).

4.7.8. DISEÑO DEL TANQUE DE DECANTACIÓN

Las ecuaciones que se utilizaron para determinar el tamaño del tanque de decantación se tomaron de Agidi, Liberty, Udekwe e Ifere, 2014, p. 25 y Walas, 1990, pp. 621-622.

En referencia a las consideraciones higiénicas del diseño del tanque se tomó en cuenta los parámetros que se observan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Recomendaciones para el diseño aséptico del tanque de decantación

CRITERIO	CARACTERÍSTICA
Drenaje	Debe tener una inclinación mínima de 3° y la salida de descarga en el nivel más bajo, las esquinas deben ser redondeadas.
Distancias	Debe ser mínimo de 300 mm entre los tanques y las estructuras en general, 300 mm de separación con otros equipos y separación del suelo mayor a 200 mm.
Soportes del suelo	No deben ser cóncavos, deben ser acabados en esfera.

Tabla 4.11. Recomendaciones para el diseño aséptico del tanque de decantación
(continuación...)

CRITERIO	CARACTERÍSTICA
Limpieza manual	Diámetro y altura suficientes para realizar la limpieza.
Soldaduras	Se deben pulir para evitar resaltes y rugosidades.

(Casp, 2005, p. 253; Costa, Luciano y Pasa, 2013, p. 758)

En la Tabla 4.12. se muestran las dimensiones del tanque de decantación. Los detalles de los cálculos realizados se encuentran en el Anexo AVI.6.

Tabla 4.12. Variables de diseño de tanque de decantación

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen total	97	L
Altura del cilindro	460	mm
Radio del cilindro	250	mm
Altura del cono de sedimentación	140	mm
Radio del cono de sedimentación	250	mm
Ángulo del cono	60	°
Espesor de la pared	4,8	mm
Diámetro de la tapa del tanque	514,4	mm
Espesor de la tapa	4,8	mm

4.7.9. SELECCIÓN DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

El transporte de alimentos fluidos requiere de equipos mecánicos especiales como bombas, tuberías y accesorios (válvulas, codos, etc.), estos equipos deben poseer requerimientos sanitarios lo cual asegurará la calidad y seguridad en el procesamiento de los productos alimenticios (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 77). La velocidad recomendada para transporte de fluidos viscosos es en promedio de 0,38 m/s (Geankoplis, 1998, p. 115), pero para la selección de la bomba adecuada se trabaja con un valor de 1,5 m/s que es una velocidad promedio recomendada para limpieza y lavado de tuberías que transportan alimentos (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 96).

Las bombas centrífugas no se deben usar en líquidos viscosos y sensibles al aire dado que generan turbulencia con el estrés mecánico, mezcla con el aire y efectos de emulsión. El tipo de bombas apropiadas para el transporte de aceites comestibles son las de desplazamiento positivo (Peri, 2014, p. 174).

Se seleccionó una bomba peristáltica debido a las ventajas que ofrecen este tipo de bombas: (1) resistencia a la corrosión, (2) autocebantes, (3) no se dañan si se opera en seco, (4) dosificación precisa de líquidos, (5) es posible el bombeo reversible y (6) operan a presiones sobre los 6 bars (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 90).

Para la selección de la bomba peristáltica se realiza el siguiente balance de energía mecánica (Sinnott, 2005, p. 206). El resto de ecuaciones necesarias y consideraciones realizadas se detallan en el Anexo AVI.7.

$$W = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta u^2}{\alpha} + g\Delta z + E_f \quad [4.3]$$

Donde:

- W: trabajo realizado por la bomba (J/kg)
 ΔP : diferencia de presión en el sistema (Pa)
 ρ : densidad del líquido (kg/m³)
 Δu : diferencia de velocidad de circulación del fluido (m/s)
 α : factor de corrección adimensional que depende del régimen de flujo
 Δz : diferencia de elevación (m)
 E_f : caída de presión debida a la tubería y accesorios (m²/s²)
g: aceleración debida a la gravedad (9,8 m/s²)
u: velocidad de circulación (m/s)

4.7.9.1. Selección de la tubería y accesorios de la línea de producción

Las tuberías de cobre o sus aleaciones no se deben considerar para el transporte de aceites comestibles ya que aumenta en gran medida el proceso de oxidación incluso en cantidades trazas (partes por millón), el cobre ejerce una acción catalizadora de reacciones. Se debe considerar reducir al mínimo el tiempo de contacto del aceite con el aire (Codex Alimentarius, 2016b, p. 1).

En la mayoría de plantas que procesan alimentos fluidos sensibles, las tuberías y accesorios son importantes no solo desde el enfoque de la ingeniería sino también de higiene y de los requerimientos de calidad de los productos alimenticios (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 94).

Las válvulas seleccionadas de diafragma son las más apropiadas para fluidos alimentarios ya que no están en contacto directo con los alimentos. El diafragma de estas válvulas es de material plástico alimenticio como neopreno y teflón, los codos seleccionados son de acero inoxidable grado alimenticio. En la Tabla 4.12. se muestran los accesorios que se consideran en la línea de producción del aceite.

Tabla 4.13. Accesorios considerados para la línea de producción del aceite

Accesorio	Material de los accesorios
Válvula de diafragma	Plástico alimenticio y acero inoxidable AISI 304
Codos de 90°	Acero inoxidable AISI 304

En referencia a las consideraciones higiénicas de las tuberías se debe tener en cuenta una inclinación mínima de 1 % para facilitar el drenaje, la separación mínima de las mismas y la pared será de 10 cm, aproximadamente, y la sujeción de las tuberías en la pared se debe realizar con soportes rígidos, además de fácil acceso para inspección de mantenimiento. Los accesorios deben ser de fácil desarmado y también de fácil limpieza (Casp, 2005, p. 250; Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 96).

4.7.10. DISEÑO DEL FILTRO PRENSA

Entre los factores que se consideraron para el dimensionamiento del equipo de filtración fueron (Sinnott, 2005, p. 411).

- La concentración de sólidos en la alimentación del líquido a filtrar.
- Propiedades del líquido a filtrar (viscosidad).

Para el diseño del filtro se utiliza la ecuación 4.4 (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p.275).

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{R}$$

[4.4]

Donde:

V: volumen de filtrado

t: tiempo de filtrado

P: presión

R: resistencia al flujo

En la Tabla 4.14. se presentan las dimensiones de los marcos del filtro prensa encontrados a partir del ensayo de filtración a presión constante. Los detalles de los cálculos realizados se encuentran en el Anexo AVI.8.

Tabla 4.14. Dimensiones del filtro de marcos y placas

Parámetro	Valor	Unidad
Largo del marco de filtración	350	mm
Ancho del marco de filtración	350	mm
Grosor de los marcos	25	mm
Capacidad de filtración	57,6	L/h

El medio filtrante que se usa en el filtro prensa y que se seleccionó es de celulosa, el mismo que se detalla en la Tabla 4.15. al considerar filtración a presión constante no es necesario utilizar membranas reforzadas. Se asume que la partícula de mayor tamaño a retener tiene un diámetro efectivo de $10^3 \mu\text{m}$, otros sólidos retenidos son pigmentos orgánicos con un diámetro efectivo de $10^{-1} \mu\text{m}$ (Richardson y Harker, 2007, p. 4).

Tabla 4.15. Especificaciones del material filtrante

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro efectivo de las partículas a retener	10E2	μm
Diámetro de poro de la membrana	2E-1	μm

4.7.11. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Un tanque de almacenamiento es importante en la industria de aceites vegetales comestibles ya que ayudan a controlar y disminuir problemas como: oxidación e hidrólisis.

- Oxidación. - En un tanque de almacenamiento se reduce el contacto del aceite con el oxígeno del aire ambiente (Codex Alimentarius, 2016b, p.2).
- Hidrólisis. - En un tanque de almacenamiento se disminuye el contacto del aceite con la humedad y los microorganismos del ambiente (Codex Alimentarius, 2016b, p.2).

Para el diseño del tanque de almacenamiento se consideró la cantidad de aceite a almacenar (considerando una capacidad de almacenamiento para una semana de producción).

Con base en las ecuaciones 4.5 a 4.7 se realizan los cálculos correspondientes para el diseño del tanque de almacenamiento.

$$V_1 = \pi r^2 h \quad [4.5]$$

$$V_2 = \frac{\frac{1}{3}\pi r^2 a}{2} \quad [4.6]$$

$$a = r * \tan \theta \quad [4.7]$$

Este tipo de tanques generalmente son utilizados para almacenar alimentos líquidos. Una de las formas más habituales de estos tanques es la de forma cilíndrica vertical con techo fijo, sustentación propia, el fondo de los depósitos deberá ser cónico o en pendiente de 2 a 4 grados y con un colector para facilitar el vaciado. Todas las aberturas, tales como bocas de acceso y de salida, orificios de drenaje, etc., deberán estar hechos de forma que se puedan cerrar herméticamente (Codex Alimentarius, 2016b, p. 2; Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 126).

En la Tabla 4.16. se muestran los criterios que se toman en cuenta para la selección y diseño del tanque de almacenamiento.

Tabla 4.16. Criterios de selección del tanque de almacenamiento

Criterio	Característica
Producto a almacenar	Aceite filtrado.
Manejo del producto	Se debe limitar al mínimo el contacto con el aire, no debe exponerse a la luz solar.
Condiciones ambientales	La temperatura de almacenamiento es a temperatura ambiente (25°C, aproximadamente), y a presión atmosférica.
Material de construcción	Acero inoxidable de grado alimenticio (AISI 304).

(Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 123)

En la Tabla 4.17. se observan las dimensiones del tanque de almacenamiento. Los detalles de los cálculos realizados se encuentran en el Anexo AVI.9.

Tabla 4.17. Dimensiones del tanque de almacenamiento

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen total	430	L
Altura del cilindro	1 080	mm
Radio del cilindro	350	mm
Altura del desnivel	48,9	mm
Ángulo del desnivel	4	°

4.7.12. SELECCIÓN DE LA EMBOTELLADORA DE ACEITE

La selección de este equipo se realizó con base en la cantidad de aceite obtenido luego de la filtración del mismo.

4.8. DISPOSICIÓN EN PLANTA (*LAYOUT*) Y PLANOS DE ELEVACIÓN

4.8.1. DIAGRAMA DE FLUJO Y AGRUPACIÓN POR ZONAS

Una vez definido el producto y la cantidad de producto a elaborar se realiza un diagrama de flujo con los pasos del proceso, en este diagrama de flujo se identifica el nivel de sensibilidad de cada proceso y se los agrupa por zonas (Casp, 2004, p. 1 158), como se muestra en la Figura 4.4.

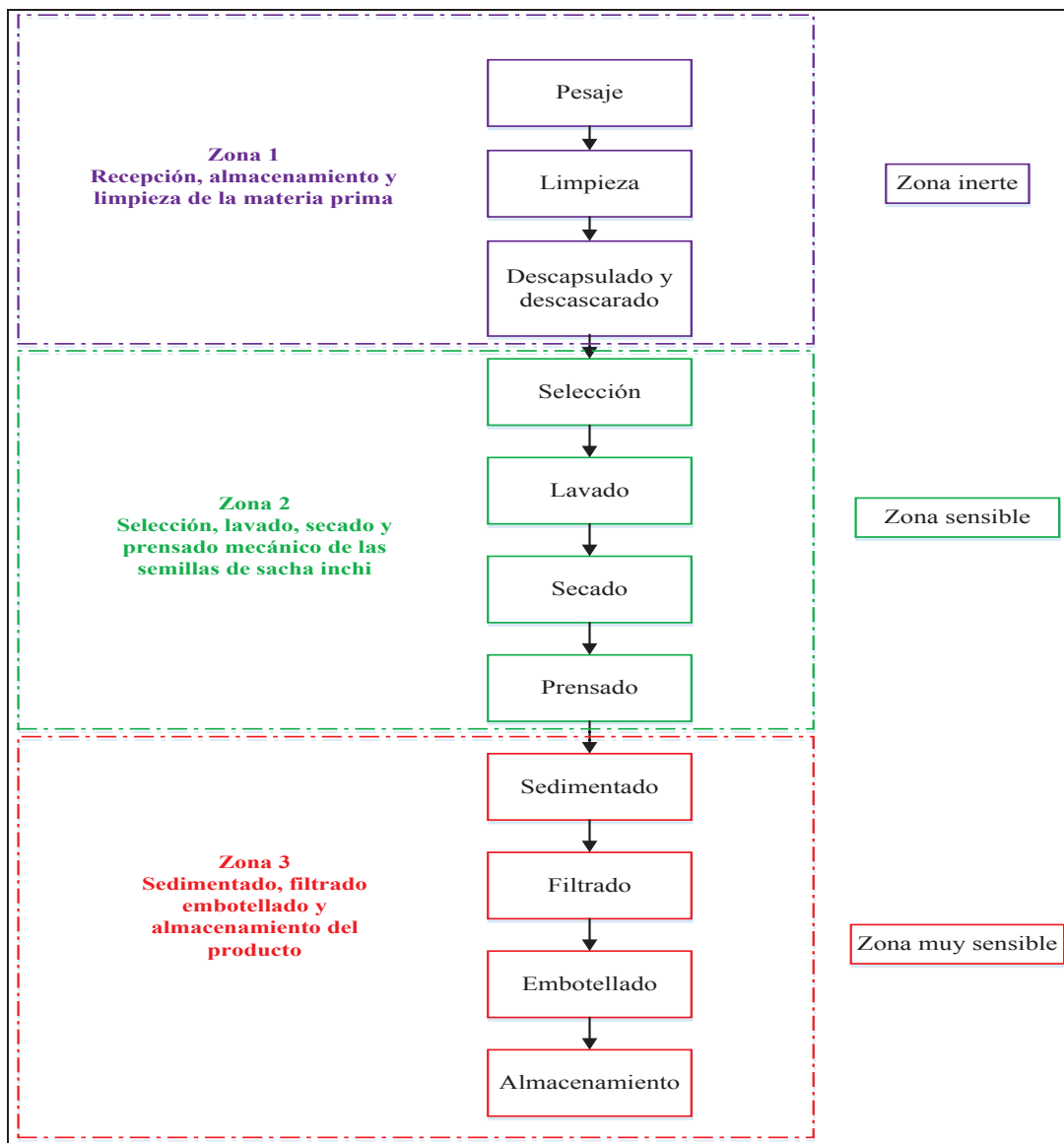


Figura 4.4. Diagrama de flujo del proceso y agrupación por zonas

Como se observa en la Figura 4.4. se han agrupado los procesos en tres zonas las cuales requieren condiciones higiénicas diferentes, estas zonas son: la zona inerte (se considera que esta es una zona sucia en la que se limpia la materia prima), en la zona sensible (en la que se procesa la materia prima) y la zona muy sensible (se debe tener muy en cuenta que esta debe ser una zona limpia ya que es donde se embotella y almacena el producto final).

Una vez establecidas las zonas existentes es preciso fijar las relaciones entre estas zonas y su relación con el resto de medios auxiliares de producción (Casp, 2004, p. 1 160). En la Figura 4.5. se muestran el análisis de proximidad o relaciones funcionales de las zonas en la planta de extracción del aceite.

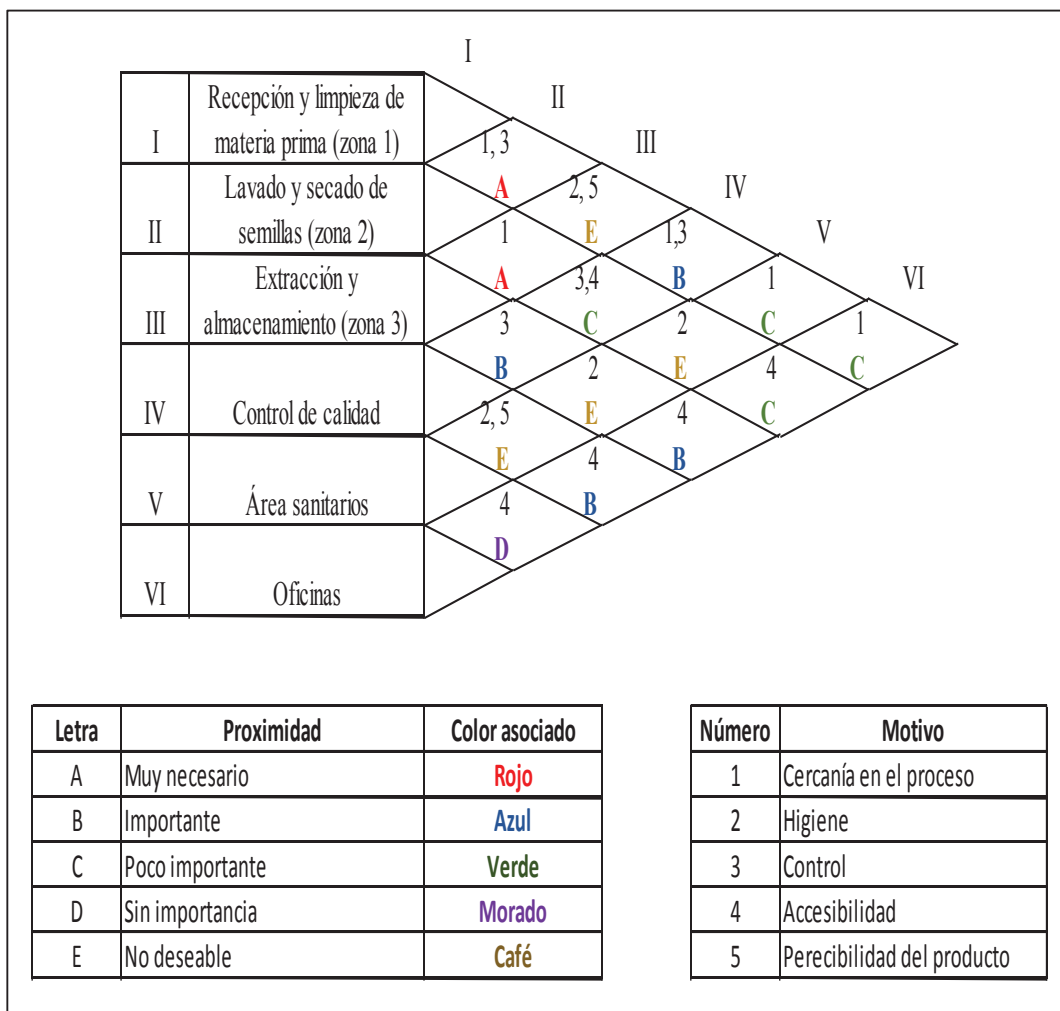


Figura 4.5. Análisis de proximidad entre zonas de la planta de extracción

Se observa en la Figura 4.5. que además de las zonas mencionadas definidas en el diagrama de flujo de la Figura 4.4. se incluyeron otras áreas de la planta como son el área de control de calidad, áreas de sanitarios y las oficinas administrativas.

4.8.2. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA Y PLANOS

Una vez realizado el análisis de proximidad se define la superficie necesaria para cada zona de la planta de extracción y finalmente se realiza la distribución en planta (Casp, 2004, p. 1162).

Las principales áreas existentes en la planta serán: En la zona 1 (Recepción y limpieza de la materia prima (R)), la zona 2 y la zona 3 será el área de Producción (P). Dentro del área de producción está también la bodega de insumos, control de calidad, servicios auxiliares (S), almacenamiento de producto terminado, bodega de materiales de limpieza, punto de desinfección y pasillo de ingreso. Otras áreas existentes en la planta son: las oficinas, el comedor, área de vestuarios, sanitarios y área de descanso, guardianía, parqueaderos (recepción de materia prima, parqueadero general y despacho de producto terminado) y un área para desechos sólidos y cisterna. Para el dimensionamiento de las áreas de recepción y limpieza, área de equipos de producción, servicios auxiliares y parqueaderos se tomó en consideración los siguientes criterios que describen de forma global cada área (Casp, 2005, p. 194) :

- Recepción y limpieza (R). El tipo de material a limpiar y las condiciones óptimas de almacenamiento de la materia prima.
- Producción (P). Los equipos necesarios y movilidad del personal alrededor de los equipos y el acceso para el mantenimiento de los mismos.
- Servicios auxiliares (S). Los equipos necesarios y movilidad del personal y el acceso para el respectivo mantenimiento de los equipos.
- Embarque (parqueadero de despacho de producto terminado). La frecuencia y el volumen de las entregas, además de las condiciones de almacenamiento del producto final.

La ecuación que se aplicó para determinar la superficie del área de recepción y el área de producción se muestra en el Anexo AVII.1. Dicha ecuación se aplica para

cada equipo existente en la planta (Casp, 2005, p. 127), la sumatoria de la superficie necesaria por cada equipo se multiplica por el factor 1,8 (coeficiente para necesidades previstas -vías de acceso y servicios-) y finalmente dicho valor es el requerido para determinada área.

La superficie total del terreno requerida para la edificación de las instalaciones de la planta de extracción es de aproximadamente 1 080 m² (incluidas las áreas para futuras ampliaciones, espacios exteriores (pasillos y caminos), parqueaderos previamente especificados, cerramiento y guardianía.

Las dimensiones de las áreas previamente mencionadas son:

- Zona 1 que es la recepción y limpieza de la materia prima (R). Es el área en la que se recibe, pesa, limpia, decapsula y descascara la materia prima. Su superficie es de 69 m².
- Parqueadero para recepción de materia prima. Es el sitio destinado para los proveedores de la materia prima, el área es de 40 m².
- Zona 2 y zona 3. Es el área de producción P, en la que se realiza el proceso de extracción del aceite desde el lavado de las semillas hasta el embotellado del aceite. Su superficie es de 33,11 m², este valor solo incluye a la superficie necesaria para los equipos. El área de control de calidad, servicios auxiliares, almacenamiento, bodega de insumos y mantenimiento son parte del área de producción.
- Control de calidad. Es el área en la que se controla la calidad de la materia prima recibida y del aceite obtenido para el envío a laboratorios especializados. Su superficie es de 10 m².
- Servicios auxiliares (S). En esta área se encuentra el tanque calentador de agua y el compresor de aire. Su superficie es de 10 m².
- Almacenamiento. El almacenamiento del producto terminado tiene un área de 23 m².

- Bodega de insumos. Es el área en que se encuentran los envases, embalajes y otros insumos el área es de 10 m².
- Mantenimiento. Es el área destinada a la reparación de los equipos de la planta, su área es de 6,4 m².
- Comedor. El área del comedor es de 12,3 m².
- Oficinas. El área administrativa y sanitarios de esta área tiene una superficie de 30,3 m².
- Área de Sanitarios y vestidores. Los sanitarios y vestidores destinados para el personal de producción comprenden un área de 20,6 m².
- Parqueadero de despacho de producto terminado. A esta área le corresponden 40 m².
- Desechos. Esta área es destinada para el depósito de las cápsulas y cascaras de la materia prima, el área correspondiente es de 9 m².
- Otras áreas que se toma en consideración son las necesarias para pasillos (60 m²), rampas y gradas de acceso a pasillos (30 m²), acceso a parqueaderos (100 m²), parqueadero general (40 m²), guardianía (6,25 m²) y cisterna (6,6 m²).

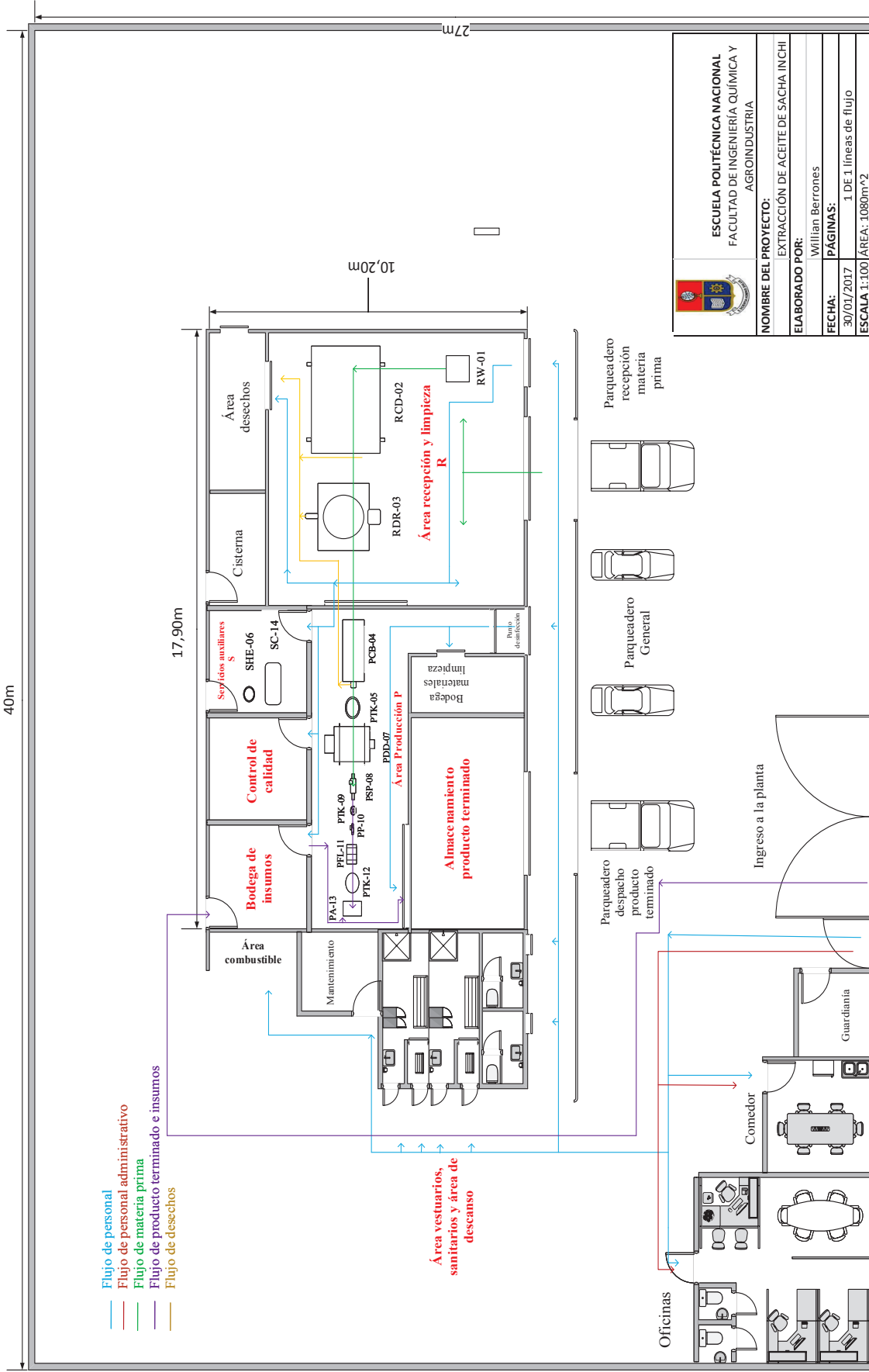
La sumatoria de todas estas áreas da un valor de 571,74 m² y quedan 508,27 m² para futuras ampliaciones en la planta.

La disposición de los equipos en la planta debe ser tal que permita la interacción entre el hombre y los materiales objeto de transformación, y que posibilite la maximización de beneficios. Esta distribución debe ser segura, respetar los principios de seguridad alimentaria, agradable para el personal y para el entorno (Casp, 2005, pp. 67–68). La disposición de los equipos en la planta elegida es la configuración en L, esta configuración ofrece una buena separación entre áreas de trabajo, se puede realizar ampliaciones de la infraestructura por las cuatro caras (Casp, 2005, p. 197).

En la Figura 4.6. se muestra el *layout* propuesto en este estudio y en la Figura 4.7 se muestran las líneas de flujo (personal, personal administrativo, materia prima,

producto terminado, insumos y desechos). En la Figura 4.8 se muestran los cortes A – A´ y B – B´ y en la Figura 4.9 se muestran los cortes C – C´ y D – D´.

En el Anexo AVII.2 se encuentra información relacionada con la seguridad industrial a considerar en la planta y en el Anexo AVII.3 se presenta información general del diseño higiénico de la planta de extracción.



	ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
	FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
NOMBRE DEL PROYECTO:	EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI
ELABORADO POR:	William Berrones
FECHA:	30/01/2017
PÁGINAS:	1 DE 1 líneas de flujo
ESCALA:	1:100 (ÁREA: 1080m ²)

Figura 4.7. Líneas de flujo

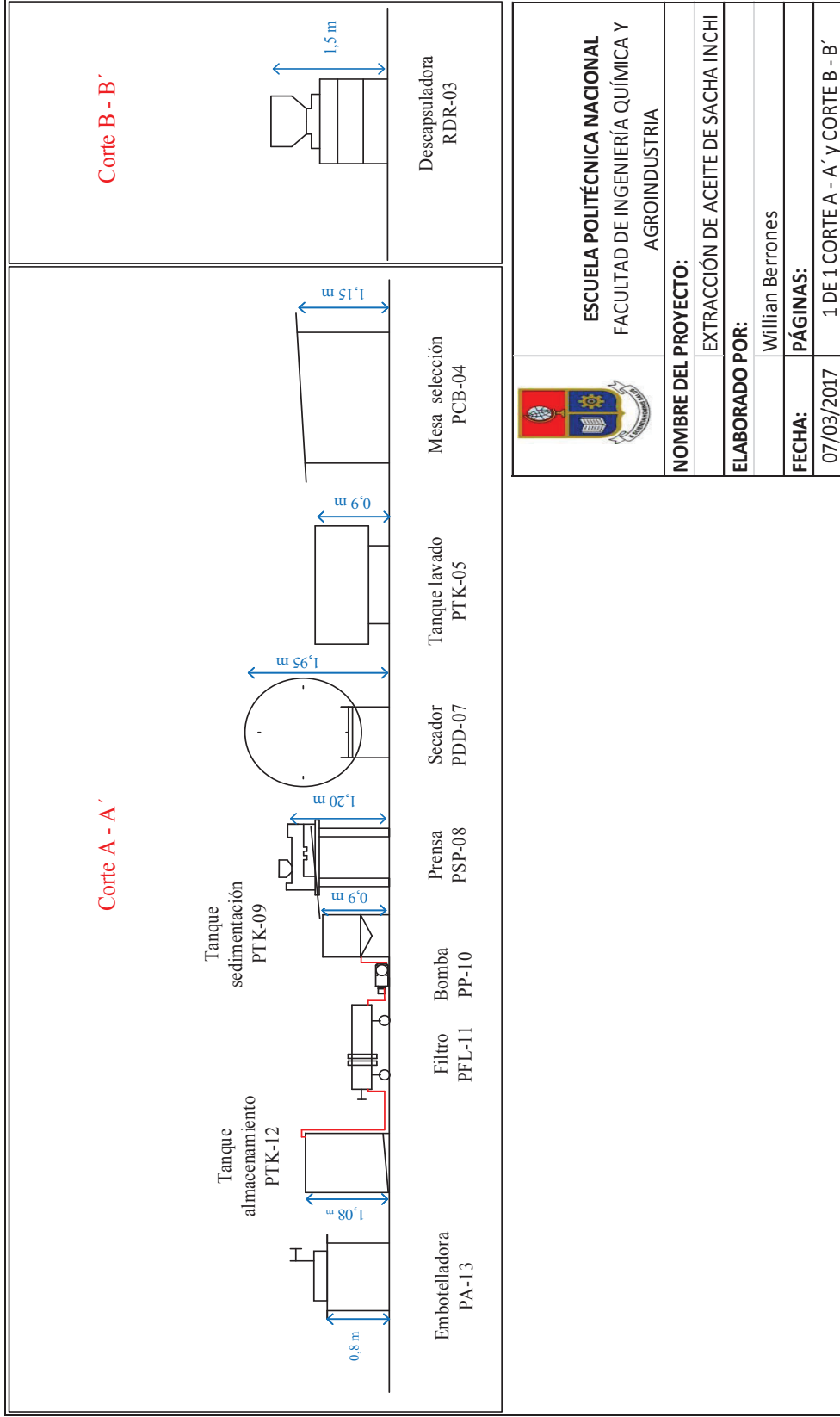


Figura 4.8. Corte A - A' y Corte B - B'

	
<p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA</p>	
<p>NOMBRE DEL PROYECTO: EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI</p>	
<p>ELABORADO POR: Willian Berrones</p>	
<p>FECHA: 07/03/2017</p>	
<p>PÁGINAS: 1 DE 1 CORTE A - A' Y CORTE B - B'</p>	

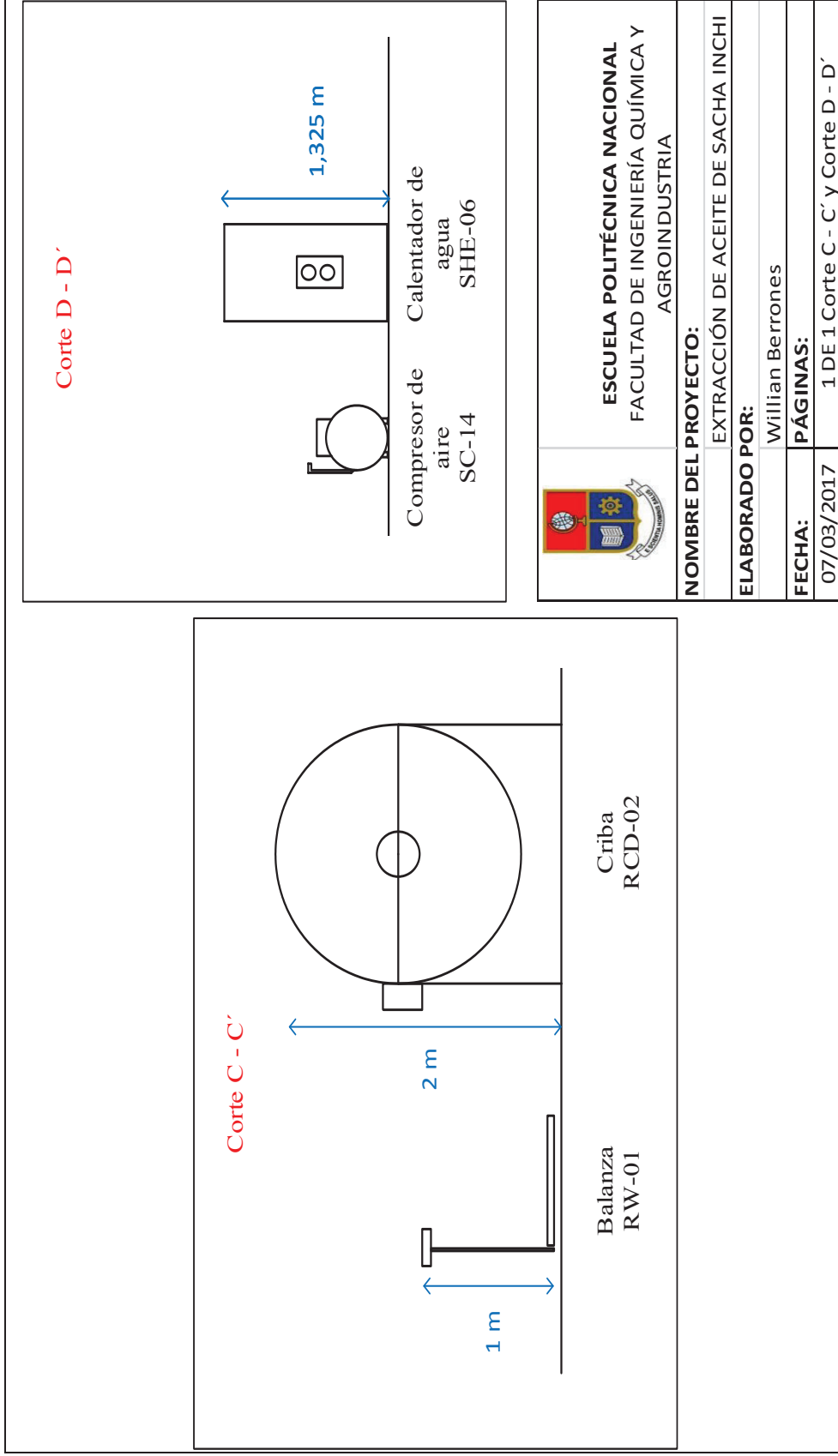


Figura 4.9. Corte C – C’ y Corte D – D’

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Un estudio económico determina los recursos monetarios que se necesitan para la ejecución de un proyecto, cuál será el coste total de la actividad en planta (funciones como: producción, administración y ventas); así como indicadores que serán la base de la culminación del proyecto que es la evaluación económica (Baca, 2010, p. 139). En la Figura 5.1. se muestra el organigrama empresarial de este proyecto.

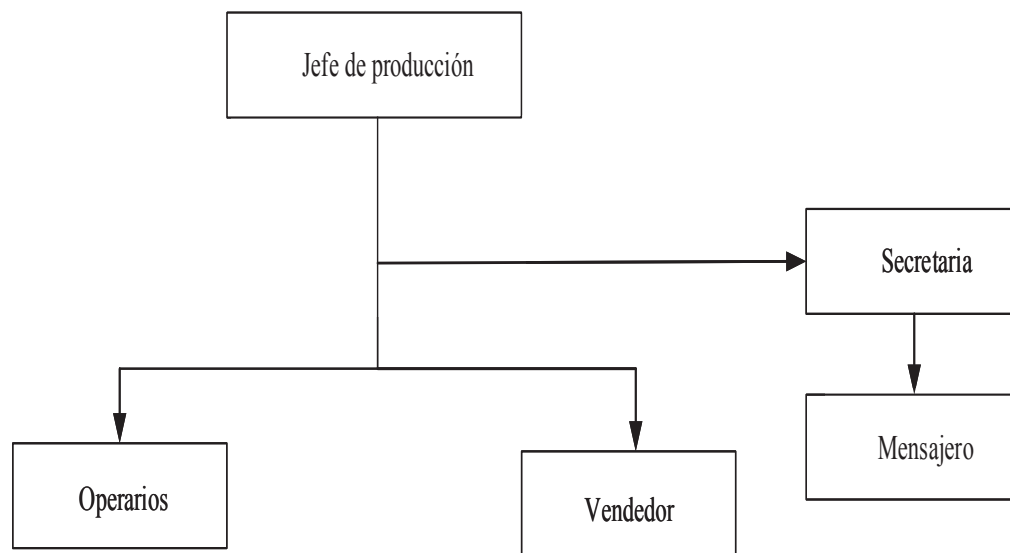


Figura 5.1. Organigrama considerado en la planta de extracción

5.1. COSTOS

5.1.1. COSTOS DE PRODUCCIÓN

En la Tabla 5.1. se presenta el costo anual por concepto de adquisición de las cápsulas de sachá inchi.

Tabla 5.1. Costo anual de la materia prima

Materia prima	Consumo diario kg	Costo \$	Consumo anual kg	Costo anual \$
Cápsulas de sachá inchi	500	1,15	130 000	149 500

El costo de la materia prima se tomó como el promedio de la variación de precio a lo largo del año, la variación fue de entre \$ 0,8 y \$ 1,50. A inicios del año 2016 el precio era de \$ 1,5 y al finalizar el año el precio fue de \$ 0,8.

Con base en el balance de masa se obtienen diariamente 78,71 kg de aceite de sachá inchi de los cuales se pueden obtener máximo 343 botellas de aceite, el volumen de las botellas es de 250 cm³. Se utilizó el siguiente razonamiento para determinar la cantidad de botellas diarias producidas.

$$78,71 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{918,7 \text{ kg}} * \frac{100^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ botella}}{250 \text{ cm}^3} = \mathbf{343 \frac{\text{botellas}}{\text{día}}}$$

Para saber la producción anual se consideran 260 días laborables en el año, entonces se realiza el siguiente razonamiento.

$$78,71 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{260 \text{ días}}{1 \text{ año}} = \mathbf{20\ 464,6 \frac{\text{kg aceite}}{\text{año}}}$$

En la Tabla 5.2. se muestran los costos anuales de los envases y embalajes necesarios.

Tabla 5.2. Costo de envases y embalajes

Ítem	Cantidad diaria (unidades)	Costo unitario \$	Consumo anual (unidades)	Costo anual \$	Porcentaje %
Botellas ámbar (250 cm ³)	343	0,49	89 180	43 698,20	77,1
Etiquetas	343	0,10	89 180	8 918,00	15,7
Cartones	29	0,50	7 540	3 770,00	6,7
Imprevistos 0,5%				281,93	0,5
TOTAL				56 668,13	100

En la tabla 5.2. se muestra que el valor más alto corresponde a las botellas de vidrio con el 77 %. En imprevistos se consideró este concepto ya que normalmente se pueden dañar los insumos en el momento de manipular los mismos.

En la Tabla 5.3. se presentan los costos anuales de la mano de obra directa necesaria para el proceso de producción.

Tabla 5.3. Costo anual de mano de obra directa

Plaza	Número	Sueldo mensual \$	Sueldo anual \$
Operarios	2	1 003,94	12 047,28

Los valores que se muestran en la Tabla 5.3. incluyen las prestaciones de ley (IESS 12,15%, décimos tercero y cuarto sueldos, además de fondos de reserva), la remuneración mensual de cada trabajador es de \$ 501,97.

En la Tabla 5.4. se presentan los costos anuales de la mano de obra indirecta involucrada.

Tabla 5.4. Costo anual de mano de obra indirecta

Plaza	Número	Sueldo mensual \$	Sueldo anual \$
Jefe de producción	1	2 057,25	24 687

El valor de la Tabla 5.4. incluyen igualmente las prestaciones de ley (IESS 12,15%, décimos tercero y cuarto sueldos, además de fondos de reserva) de la persona encargada de controlar la producción en la planta de extracción, quien además es el responsable de la empresa.

En la Tabla 5.5. se muestran los costos varios en los que incurre la empresa como son el pago de servicios básicos, suministros de oficina, seguros, implementos de limpieza, entre otros.

Tabla 5.5. Otros costos anuales

Concepto	Costo mensual \$	Costo anual \$	Porcentaje %
Combustible del secador (GLP)	50,49	605,88	4
Agua	77,76	933,12	6
Electricidad	83,61	1 003,28	7
Otros	132,33	1 588,00	11
Suministros de oficina	58,33	700,00	5
Control de calidad	166,67	2 000,00	13
Seguro (1% inversión)	219,42	2 633,02	18
Depreciación equipos de producción	451,56	5 418,68	36
TOTAL		14 881,97	100

Según los valores obtenidos en la Tabla 5.5. el costo que representa el mayor porcentaje es el de depreciación de los equipos de producción con el 36 %.

De acuerdo al balance de energía, la cantidad diaria de GLP a utilizar es de 5,1 kg, aproximadamente. En el caso del consumo de agua se tiene en consideración: el agua para el lavado de las semillas, para uso del personal, limpieza de la planta e imprevistos con un consumo diario aproximado de 3,6 m³. Para el consumo eléctrico se tiene en cuenta el consumo de los equipos eléctricos de la planta (recepción y limpieza, producción y servicios auxiliares), el valor correspondiente es de 24,5 kWh/día. Por concepto de otros se incluye: cubrebocas, cofias, botas de caucho, detergentes, escobas, cepillos y jabs plásticas (en el Anexo IX se detalla el consumo de agua, consumo eléctrico y otros costos considerados). En el rubro de control de calidad se incluyen los costos del envío de muestras de aceite y materia prima para el análisis en laboratorios especializados. Los costos de los servicios básicos son: combustible GLP 0,33 \$/kg, agua 0,72 \$/m³ y electricidad 0,09 \$/kWh, los cuales son valores referenciales para el sector industrial.

5.1.2. GASTOS ADMINISTRATIVOS

En la Tabla 5.6. se detallan los gastos administrativos y generales en los que se encuentran los sueldos, depreciaciones, costos por seguridad e imprevistos.

Tabla 5.6. Gastos administrativos y generales

Concepto	Costo mensual \$	Costo anual \$	Porcentaje %
Sueldo secretaria	501,97	6 023,64	17
Sueldo mensajero	501,97	6 023,64	17
Seguridad	1 003,94	12 047,28	34
Depreciación equipos oficina y ventas	88,00	1 056,00	3
Depreciación vehículo ventas	750,00	9 000,00	26
Monitoreo seguridad	80	960,00	3
Imprevistos 2%	58,52	702,21	2
	TOTAL	35 110,56	100

En la Tabla 5.6 se observa que los sueldos del personal administrativo (secretaria, y mensajero), es el valor más alto con el 34 %. Todos los sueldos presentados ya incluyen las prestaciones de ley (IESS 12,15 %, décimos tercero y cuarto sueldos, además, de fondos de reserva). El rubro de seguridad es el pago a una empresa de seguridad por la vigilancia constante de las instalaciones (pago al personal de seguridad en el que se consideran dos guardias), el monitoreo por seguridad es el costo correspondiente por pago a una empresa de seguridad.

5.1.3. GASTOS DE VENTAS

En la Tabla 5.7. se presentan los gastos por ventas, estos incluyen: publicidad (hojas informativas, muestras a potenciales clientes, etc.) y distribución (los costos aproximados por mantenimiento y combustible del vehículo del área de ventas).

Tabla 5.7. Gastos de ventas

Concepto	Costo mensual \$	Costo anual \$	Porcentaje %
Sueldo vendedor	2 229,50	26 754	52
Publicidad	1 000	12 000	23
Distribución	1 000	12 000	23
Imprevistos 2%	84,59	1 015,08	2
	TOTAL	51 769,08	100

En la Tabla 5.7 se observa que al sueldo del vendedor le corresponde el costo más alto con el 52 %. El sueldo del vendedor se asume como el 5 % de las ventas anuales de 89 180 unidades por un precio unitario de \$ 6.

5.2. INVERSIÓN TOTAL INICIAL

En la Tabla 5.8. se muestra el valor total de la inversión en activos fijos. En el ANEXO IX se tienen mayores detalles.

Tabla 5.8. Inversión total en activos

Concepto	Costo \$	Porcentaje %
Equipos de producción	54 186,83	21
Equipos de oficina, ventas	51 530,00	20
Terreno y obra civil	138 380	53
SUBTOTAL INVERSIÓN	244 096,83	

Tabla.5.8. Inversión total en activos (**continuación...**)

Concepto	Costo \$	Porcentaje %
Imprevistos 5%	12 204,84	5
Diseño del Proyecto	5 000,00	2
Constitución sociedad	2 000,00	1
SUBTOTAL	263 301,67	100
Capital de trabajo	46 475,00	
TOTAL	309 776,67	

En la Tabla 5.8. se observa que en la adquisición del terreno y la construcción de la obra civil corresponde el porcentaje más alto con un valor de 53 % y el valor total de la inversión es de \$ 309 776,67. En la Tabla 5.9. se muestra la cantidad correspondiente al capital propio y al capital financiado.

Tabla 5.9. Valor total de la inversión

Inversión	Valor \$	Porcentaje %
Capital propio	46 475	15
Capital financiado	263 301,67	85
Total	309 776,67	100

En la Tabla 5.9. se observa la cantidad total a invertir, \$ 263 301,67 es la cantidad que se va a financiar con una institución financiera y el valor restante, el 15 % correspondiente a \$ 46 475 es el capital propio que servirá como capital de trabajo. En la sección 5.3. se detalla la obtención de los valores para el capital de trabajo.

5.2.1. DEPRECIACIÓN

En la Tabla 5.10. se presentan los valores de depreciación de activos fijos para un periodo de 10 años.

Tabla 5.10. Depreciación de activos

Concepto	Valor \$	Vida útil (años)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valor salvamento \$
Equipos Producción	54 186,83	10	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	5 418,68	0,00
Vehículo	45 000	5	9 000,00	9 000,00	9 000,00	9 000,00	9 000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipo oficina	1 060	10	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	106,00	0,00
Computadoras	2 850	3	950,00	950,00	950,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Obra civil	95 180	20	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	4 759,00	47 590,00
TOTAL			20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	90 790,00

En la Tabla 5.10. se observa que al año 10 solo la obra civil tiene un valor de salvamento de \$ 47 590. En el valor de salvamento por \$ 90 790 se incluyen los \$ 43 200 del valor de compra del terreno.

5.3. CAPITAL DE TRABAJO

Para el capital de trabajo se considera el inventario de materia prima, insumos, salarios, otros costos (agua, luz, gas y otros suministros) y costos administrativos por 45 días. En la Tabla 5.11. se presenta el inventario de materia prima, insumos necesarios, sueldos y otros costos para 45 días.

Tabla 5.11. Capital de trabajo para 45 días

Concepto	Costo anual \$	Costo 45 días \$	Porcentaje %
Semillas de sachá inchi	149 500	25 875	56
Botellas	43 698,20	7 563,15	16
Etiquetas	8 918	1 543,5	3
Cartones	3 770	652,5	1
Mano de obra directa	12 047,28	1 505,91	3
Mano de obra indirecta	24 687	3 085,88	7
Otros costos	14 881,97	1 860,25	4
Costos administración y generales	35 110,56	4 388,82	9
	TOTAL	46 475	100

En la Tabla 5.11. se observa que el costo de la materia prima representa el porcentaje más alto con un valor de 56 %. El valor obtenido de \$ 46 475 representa el capital propio que será el capital de trabajo con un porcentaje del 15 % con respecto al valor total de la inversión.

5.3.1. PUNTO DE EQUILIBRIO

El análisis del punto de equilibrio es fundamental para determinar la capacidad que debe poseer una instalación industrial con el objetivo de lograr la rentabilidad. Las empresas deben operar por encima de este valor para tener beneficios (Heizer y Render, 2009, p. 296).

Para encontrar el valor del punto de equilibrio en unidades se utilizó la ecuación 5.1 (Heizer y Render, 2009, p. 297).

$$PEQ_x = \frac{F}{P-V} \quad [5.1]$$

Donde:

PEQ_x: punto de equilibrio en unidades (unidades)

F: costos fijos (\$)

P: precio por unidad (\$)

V: costo variable unitario (\$)

Para encontrar el valor del punto de equilibrio en dólares se utilizó la ecuación 5.2 (Heizer y Render, 2009, p. 297).

$$PEQ_{\$} = \frac{F}{1-\frac{V}{P}} \quad [5.2]$$

Donde:

PEQ_{\$}: punto de equilibrio (\$)

F: costos fijos (\$)

P: precio por unidad (\$)

V: costo variable unitario (\$)

En la Tabla 5.12. se presentan los costos operacionales anuales del proyecto, los cuales son: el costo de producción, costo de ventas, gastos administrativos y generales y el gasto por financiamiento.

Tabla 5.12. Costo operacional anual y costo del producto

Concepto	Valor \$	Porcentaje %
Costo producción	278 018,07	70
Costo ventas	51 769,08	13
Costo administrativo	35 110,56	9
Gastos financiamiento	31 148,59	8
TOTAL	396 046,30	100
Unidades producidas	89 180	
Costo variable unitario	4,44	
Precio de venta unitario	6,00	

En la Tabla 5.12. se observa que el costo total de operación es de \$ 396 046,3 para producir 89 180 botellas de 250 cm³ de aceite de sachá inchi al año. El costo de producción es el porcentaje más alto con el 70 %. El costo variable unitario de cada

unidad es de \$ 4,44; obtenido de dividir el costo total de operación para el número de unidades producidas; el margen de utilidad que se consideró es del 35 % y por lo tanto el precio de venta unitario es de \$ 6. En supermercados y farmacias del país se encuentran botellas de aceite de similares características con un precio en el rango entre \$ 11 y \$ 16, respectivamente. En la Tabla 5.13. se presentan los costos referentes al costo de producción.

Tabla 5.13. Detalle de los costos de producción

Concepto	Valor \$	Porcentaje %
Materia prima	149 500	54
Envases y embalajes	56 668,13	20
Mano de obra directa	12 047,28	4
Mano de obra indirecta	24 687	9
Otros costos	14 881,97	5
Depreciación	20 233,68	7
TOTAL	278 018,07	100

En la Tabla 5.13. se observa que el mayor porcentaje corresponde a la materia prima con el 54 %. El costo de la materia prima influye de forma significativa en el costo de producción ya que afecta directamente en el costo unitario variable del producto.

Los costos fijos (F) son la sumatoria de los costos de: mano de obra directa, mano de obra indirecta y costo administrativo. En la tabla 5.14. se muestra el costo fijo anual.

Tabla 5.14. Costo fijo anual

Concepto	Valor \$	Porcentaje %
Mano de obra directa	12 047,28	17
Mano de obra indirecta	24 687	34
Costos administrativos	35 110,56	49
TOTAL	71 844,84	100

En la Tabla 5.14. se observa que los costos administrativos representan el porcentaje más alto de los costos fijos con el 49 %.

$$F = 71\,844,84 \text{ (\$)}$$

$$P = 6 \text{ (\$)}$$

$$V = 4,44 \text{ (\$)}$$

$$PEQ_x = \frac{71\,844,84}{6 - 4,44}$$

$$PEQ_x = 46\,054 \text{ unidades (botellas de } 250 \text{ cm}^3)$$

$$PEQ_{\$} = \frac{71\,844,84}{1 - \frac{4,44}{6}}$$

$$PEQ_{\$} = 276\,326,31$$

El punto de equilibrio en unidades se alcanza al cumplir el 52 % de la producción planificada para el proyecto, sin embargo, el valor encontrado no es un factor

determinante en la aceptación o rechazo en la realización del proyecto (Baca, 2013, p. 179). En la Figura 5.2. se muestra el punto de equilibrio del proyecto.

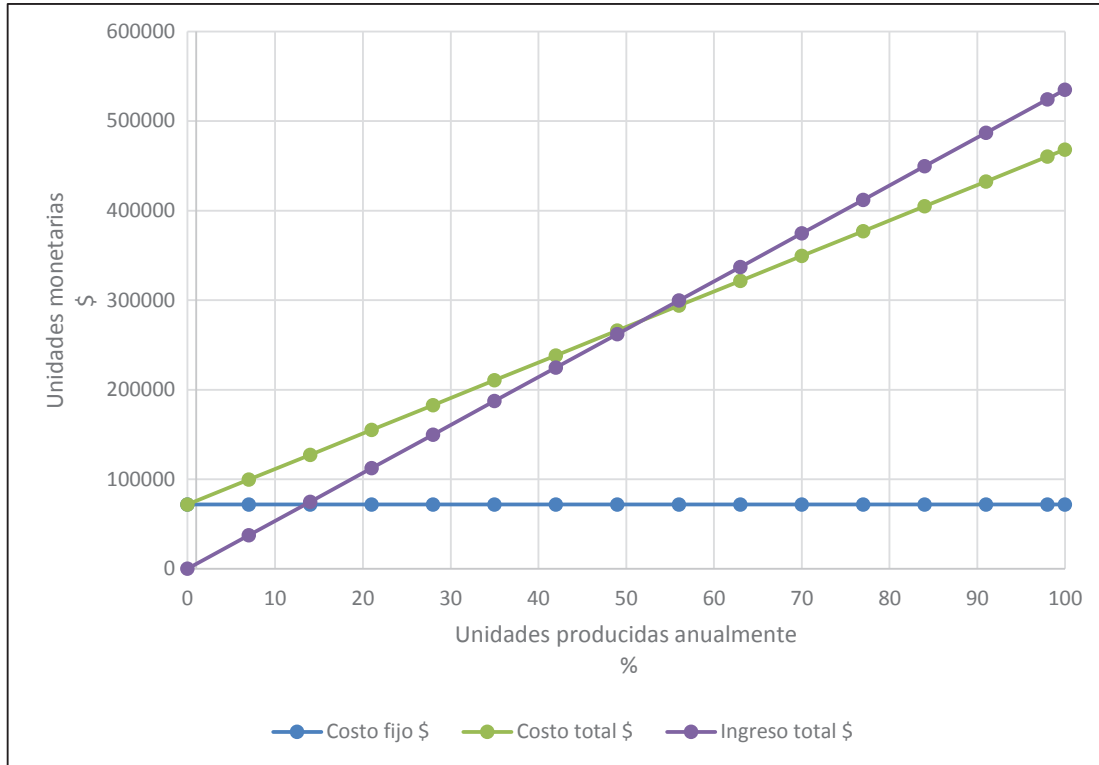


Figura 5.2. Punto de equilibrio

Con base en los resultados mostrados en la Figura 5.2, el punto de equilibrio es del 52 % del total de unidades que se producen anualmente, a este porcentaje le corresponden 46 054 unidades, encontradas previamente con la ecuación 5.1. La planta puede utilizar aún el 48 % de su capacidad.

5.4. ESTADO DE RESULTADOS

El objetivo de analizar el estado de resultados (de ganancias o pérdidas) es para determinar la utilidad neta, restando a los ingresos todos los costos e impuestos. Generalmente se proyectan los resultados económicos a cinco años.

Analizando y sumando o restando las partidas no monetarias que se incluyen en el estado de resultados, se obtiene el flujo neto de efectivo de un proyecto, el que generalmente es el beneficio real de la actividad generada (Baca, 2013, p. 182).

En la Tabla 5.15. se presenta la información correspondiente al flujo de caja del proyecto para un tiempo de 10 años.

Tabla 5.15. Flujo de caja del proyecto

Concepto	Años											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Aporte capital de trabajo	46 475,00											
Financiamiento inicial	263 301,67											
Ingresos venta aceite	0,00	534 662,50	550 702,38	567 223,45	584 240,15	601 767,36	619 820,38	638 414,99	657 567,44	677 294,46	697 613,29	
Ingresos venta torta	0	2 941,38	3 029,62	3 120,51	3 214,13	3 310,55	3 409,87	3 512,16	3 617,53	3 726,05	3 837,83	
Costo de producción	0	278 018,07	286 358,61	294 949,37	303 797,85	312 911,79	322 299,14	331 968,11	341 927,16	352 184,97	362 750,52	
UTILIDAD BRUTA	0	259 585,81	267 373,39	275 394,59	283 656,43	292 166,12	300 931,10	309 959,03	319 257,81	328 835,54	338 700,61	
Gastos de administración	0	35 110,56	36 163,88	37 248,79	38 366,26	39 517,24	40 702,76	41 923,84	43 181,56	44 477,01	45 811,32	
Gastos de ventas	0	51 769,08	53 322,15	54 921,82	56 569,47	58 266,56	60 014,55	61 814,99	63 669,44	65 579,52	67 546,91	
Gastos financieros	0	31 148,59	26 228,91	20 727,23	14 574,70	7 694,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Utilidad antes de 15% e IR	0	141 557,58	151 658,45	162 496,75	174 146,00	186 688,00	200 213,79	206 220,20	212 406,81	218 779,01	225 342,38	
Participación trabajadores 15%	0	21 233,64	22 748,77	24 374,51	26 121,90	28 003,20	30 032,07	30 933,03	31 861,02	32 816,85	33 801,36	
SUBTOTAL		120 323,95	128 909,68	138 122,24	148 024,10	158 684,80	170 181,72	175 287,17	180 545,79	185 962,16	191 541,02	
Impuestos (RENTA 22%)	0	26 471,27	28 360,13	30 386,89	32 565,30	34 910,66	37 439,98	38 563,18	39 720,07	40 911,68	42 139,03	
UTILIDAD NETA	0	93 852,68	100 549,55	107 735,35	115 458,80	123 774,14	132 741,74	136 723,99	140 825,71	145 050,48	149 402,00	
Depreciación	0	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	20 233,68	
Pago a principal		41 586,49	46 506,18	52 007,86	58 160,39	65 040,76	0	0	0	0	0	
FLUJO NETO DE EFECTIVO	46 475,00	72 499,87	74 277,06	75 961,17	77 532,10	78 967,06	152 975,42	156 957,68	161 059,40	165 284,17	169 635,68	
Saldo anterior	0,00	46 475,00	118 974,87	193 251,93	269 213,10	346 745,20	425 712,26	578 687,69	735 645,36	896 704,76	1 061 988,93	
Saldo caja acumulado	46 475,00	118 974,87	193 251,93	269 213,10	346 745,20	425 712,26	578 687,69	735 645,36	896 704,76	1 061 988,93	123 1624,61	
VALOR ACTUAL	46 475,00	102 377,00	143 092,92	171 529,04	190 107,43	200 840,80	234 923,89	256 979,57	269 542,17	274 690,98	294 333,16	

A partir del año 2 se considera un crecimiento del 3 % anual de la empresa, se considera también que se vende la torta obtenida por un valor de \$ 0,10 cada kg (según el balance de masa se obtienen 113,13 kg/día, en el año se obtienen 29 413,8 kg de torta).

5.5. COSTO DE CAPITAL (TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO)

La tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) se define según la ecuación 5.3 (Baca, 2013, p.184).

$$\text{TMAR} = i + f + if \quad [5.3]$$

Donde:

i: premio al riesgo (%)

f: inflación (%)

El premio al riesgo generalmente se toma el rango entre 10 y 15% (Baca, 2013, p. 184), en este estudio se trabajó con el valor promedio (12,5%). La inflación se tomó como el valor promedio de la inflación mensual en el Ecuador entre octubre 2014 hasta septiembre 2016 (Banco Central del Ecuador, 2016a), el valor promedio mencionado fue de 3,30 %. El valor de TMAR con el que se trabajó es de 16,2 %.

5.6. FINANCIAMIENTO

La cantidad a financiar que requiere el Proyecto es de \$ 263 301,67, con una tasa de interés de 11,83 % anual, que corresponde a la tasa para préstamos productivos PYMES (Banco Central del Ecuador, 2016b). Para encontrar el valor de la anualidad a pagar se utilizó la fórmula 6.4 (Baca, 2013, p.187). En la Tabla 5.16. se muestra la amortización de la deuda.

$$A = p \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad [6.4]$$

Donde:

A: anualidad (\$)

p: cantidad prestada (\$)

i: tasa de interés (%)

n: tiempo necesario para cubrir el préstamo (años)

p: \$ 263 301,67

i: 11,83 %

n: 5 años

$$A = 263\,301,67 \left[\frac{0,1183(1 + 0,1183)^5}{(1 + 0,1183)^5 - 1} \right]$$

$$A = \$ 72\,735,08$$

Tabla 5.16. Amortización de la deuda

Año	Interés \$	Pago fin de año \$	Pago a capital \$	Deuda luego del pago \$
0				263 301,67
1	31 148,59	72 735,08	41 586,49	221 715,18
2	26 228,91	72 735,08	46 506,18	175 209,00
3	20 727,23	72 735,08	52 007,86	123 201,15
4	14 574,70	72 735,08	58 160,39	65 040,76
5	7 694,32	72 735,08	65 040,76	0,00

En la Tabla 5.16. se puede observar que se paga una cantidad igual al final de cada año (\$ 72 735,08), el valor de los intereses anuales a cubrir disminuye cada año, pero aumenta el valor de pago al capital.

5.7. INDICADORES ECONÓMICOS

El valor presente neto (VPN) o valor actual neto (VAN) es el valor monetario que se obtiene de restar la sumatoria de flujos descontando la inversión inicial (Baca, 2013, p. 208). La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento en la cual el VPN toma el valor de cero (Baca, 2013, p. 209). Para el cálculo del VAN se trabajó con la TMAR mencionada previamente y cuyo valor es de 16,2 %. Los indicadores financieros del proyecto se presentan en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Indicadores financieros del proyecto y punto de equilibrio

INDICADOR	VALOR
Valor Actual Neto (VAN) \$	512 219,99
Tasa interna de retorno (TIR) %	49
Flujo de fondos (años 1-10) \$	1 231 624,61
Flujo de fondos (año 0) \$	46 475,00
Punto de equilibrio (unidades)	46 184
Punto de equilibrio (\$)	277 115,81

En la Tabla 5.17. se observa que el proyecto tiene una TIR de 49 %, tasa que es mayor al valor de los intereses pagados por las instituciones financieras. Otro indicador de importancia para determinar o no la viabilidad de un proyecto es el VAN el mismo que tiene un valor positivo de \$ 512 219,99. El valor de la TIR (49 %) al ser mayor que la TMAR (16,2 %) y el VAN al ser mayor a cero permiten concluir que la inversión en este proyecto es viable.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. Con los criterios de diseño establecidos es posible definir flujos máxicos a lo largo de todo el proceso. Además, se seleccionaron y diseñaron los equipos de acuerdo a las características de estas semillas oleaginosas, logrando obtener un producto final acorde a las normativas ecuatorianas para el sachá inchi.
2. Las mejores condiciones que permitieron obtener el mayor rendimiento en la extracción del aceite de sachá inchi fueron a una temperatura de 50 °C y una presión de 400 kgf/cm².
3. La distribución de equipos en la planta presenta una configuración en L debido a que ofrece posibilidades de ampliaciones futuras sin afectar el proceso productivo.
4. A partir de la cantidad de materia prima a procesar y la cantidad final de aceite obtenido el rendimiento es de 14,36 %.
5. Con base en los indicadores económicos de este estudio (VAN \$ 512 911,34 y TIR de 49 %), el establecimiento de una planta extracción de aceite de sachá inchi si es factible. El punto de equilibrio tuvo un valor de 52 % con respecto a la cantidad de unidades producidas anualmente.

6.2. RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación, bajo éstos mismos tratamientos de presión y temperatura, para determinar la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados y componentes bioactivos en la materia prima y en el aceite que se obtiene.
2. Realizar una caracterización de las semillas nativas procedentes de diferentes provincias del país.
3. Caracterizar y dar algún valor agregado a la torta obtenida, ya que este subproducto que se obtiene de la extracción del aceite, esta fuera del alcance de este estudio.
4. Realizar el estudio en el que la operación unitaria de centrifugado del aceite reemplace a la decantación del aceite por medio de gravedad, debido que el centrifugado disminuye considerablemente el tiempo de procesamiento comparado con la decantación gravitatoria.
5. Sobre la base de los indicadores económicos que se establecen en este estudio, se recomienda realizar la inversión en el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abenoza, M., Benito, M., Saldaña, G., Álvarez, I., Raso, J. y Sánchez-Gimeno, A. (2012). Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil. *Food Bioprocess Technology*, (6), 1367-1373. doi: 10.1007/s11947-012-0817-6.
2. Adrianzén, N., Rojas, C. y Linares, G. (2011). Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico de las almendras trituradas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el rendimiento y las características físico-químicas del aceite obtenido por prensado mecánico en frío. *Agroindustrial Science*, (2), 46 – 55.
3. Agidi, G., Liberty, J., Udekwe, M e Ifere, M. (2014). Design, Construction and Performance Evaluation of a Groundnut (*Arachis hypogaea*) oil Clarifier. *International Journal of Enginnering and Technology*, 4(1), 23-34. Recuperado de: http://ietjournals.org/archive/2014/jan_vol_4_no_1/775725138394276.pdf (Noviembre, 2016).
4. Arfini, F. y Antonioli, F. (2013). *Sacha inchi: Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica en el Perú*. Recuperado de http://www.ciedperu.org/admin/files/publicaciones/04032014112507_SACHA%20INCHI_Publicaci%F3n%202013.pdf (Julio, 2016).
5. Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. (7ma. ed.). México: McGraw-Hill.
6. Bailey, A. (2001). *Aceites y grasas industriales*. (2da. ed.). Zaragoza, España: Reverté.

7. Banco Central del Ecuador (2016). Recuperado de: <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/350-comercio-exterior> (Noviembre, 2016).
8. Banco Central del Ecuador (2016a). Recuperado de: <https://contenido.bce.fin.ec/indicador.php?tbl=inflacion> (Noviembre, 2016).
9. Banco Central del Ecuador (2016b). Recuperado de: <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm> (Noviembre, 2016).
10. Barbosa-Cánovas, G y Vega-Mercado, H. (1996). *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
11. Cárdenas, V. (2015). *Elaboración y caracterización de una bebida a partir de la semilla de sachá inchi (Plukenetia Volubilis L.)*. (Trabajo de Grado para la obtención del título de Ingeniera Química no publicado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
12. Carrera, M. Galán, V. González, F. Hidalgo, L. Maroto, J. Mateo, J. Navarro, J. Puerta, C. Rojo, C y Zaragoza, S. (2005). *Prontuario de agricultura: Cultivos agrícolas*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
13. Casp, A y Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. (2a. ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
14. Casp, A. (2004). *Diseño de una planta de alimentos preparados*. En III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos (pp. 1157-1164). Pamplona, España. Recuperado de <http://www.acyja.com/publicaciones/comunicaciones-a-congresos/> (Noviembre, 2016).

15. Casp, A. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. (2da. ed.). España: Mundi-Prensa.
16. Castaño, D., Valencia, M., Murillo, E., Mendez, J, y Eras Joli, J. (2012). COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE SACHA INCHI (*Plukenetia volúbilis* Linneo) Y SU RELACIÓN CON LA BIOACTIVIDAD DEL VEGETAL. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(1), 45-52.
17. Castro, F. (2007). *Guía técnica institucional para elaborar un plan de negocios*. Bogotá, Colombia: Editorial Politécnico Grancolombiano. Recuperado de <http://www.ebrary.com>.
18. Cheftel, J y Cheftel, H. (1999). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
19. Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., y Campos, D. (2013). Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*): A Seed Source of Polyunsaturated Fatty Acids, Tocopherols, Phytosterols, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 1732–1739. doi:10.1016/j.foodchem.2013.04.078.
20. CODEX ALIMENTARIUS (2015). *NORMA PARA GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES NO REGULADOS POR NORMAS INDIVIDUALES* Recuperado de: www.fao.org/input/download/standards/74/CXS_019s_2015.pdf (Septiembre, 2016).
21. CODEX ALIMENTARIUS (2016a). *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comité del codex sobre grasas y aceites*. Recuperado de: ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/ccfo/ccfo23/fo23_06s.pdf (Marzo, 2016).
22. CODEX ALIMENTARIUS (2016b). *CODIGO DE PRÁCTICAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE ACEITES Y GRASAS*

COMESTIBLES A GRANEL CAC/RCP 36-1987. Recuperado de: http://www.fao.org/input/download/standards/101/CXP_036s_2015.pdf (Marzo, 2016).

23. Correa, J. y Yesid, H. (1989). *Especies vegetales promisorias de los países del convenio Andrés Bello* (tomo VII). (1era ed.). Santa Fe de Bogotá, Colombia: Secretaría ejecutiva del convenio Andrés Bello (SECAB).
24. Costa, C., Luciano, M., y Pasa, A. (2013). Guiding Criteria for Hygienic Design of Food Industry Equipment. *Journal of Food Process Engineering*, 36(6), 753–762. doi: 10.1111/jfpe.12044.
25. FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027s04.htm> (Marzo, 2016).
26. FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). (2000). *Quinoa: Postharvest operations*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ar364s.pdf>.
27. Felder, R y Rousseau, R. (2004). *Principios elementales de los procesos químicos*. (3a. ed.). México: LIMUSA WILEY.
28. Geankopolis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: Compañía Editorial Continental, SA.
29. Gutiérrez, L., Rosada, M. y Jiménez, A. (2011). Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites* 62(1), 76–83.

30. Hamm, W., Hamilton, R. y Calliau, G. (2013). *Edible Oil Processing*. Recuperado de <http://www.ebrary.com> (Mayo, 2016).
31. Heizer, J. y Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. (7ma. ed.) México: Pearson Educación.
32. Hoed, V., Barbouche, I., De Clercq, N., Dewettinck, K., Slah, M., Leber, E. y Verhé, R. (2011). Influence of filtering of cold pressed Berry seed oils on their antioxidant profile and quality characteristics. *Food Chemistry*, 127, 1848-1855. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.134.
33. Ibarz, A y Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. España:Mundi-Prensa.
34. Larico, S. (2013). *Evaluación del rendimiento en la extracción del aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) del ecotipo predominante en el valle del río Apurímac (Ayacucho) y su caracterización físico-química y sensorial*. Recuperado de http://tesis.unjbg.edu.pe:8080/bitstream/handle/unjbg/294/178_2013_Sihuayro_Larico_FCAG_Aliemtaras_2013_Resumen.pdf?sequence=1 (julio, 2016).
35. Liu, Q., Xu, Y. K., Zhang, P., Na, Z., Tang, T. y Shi, Y. X. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas Y Aceites*, 65(1), 1-9.
36. Mazza, G. (2000). *Alimentos funcionales: Aspectos bioquímicos y de procesado*. Zaragoza, España: Acribia S.A.

37. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2013a). Recuperado de <http://www.agricultura.gob.ec/magap-exporta-semilla-de-Sachai-inchi-de-buena-calidad-a-peru/> (Noviembre, 2013).
38. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2013b). Recuperado de: <http://www.agricultura.gob.ec/magap-dicto-curso-sobre-cultivo-y-comercializacion-del-Sacha-inchi/> (Octubre, 2013).
39. Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. (6ta. ed.). México: Pearson Educación.
40. Mujumdar, A. (2006). *Handbook of industrial drying*. (3ra. ed.). New York, USA: Taylor & Francis Group, LLC.
41. Nonhebel, G. y Moss, A. (2002). *El secado de sólidos en la industria química*. España: Reverté.
42. NTE INEN 2688:2013. *Aceite de Sacha Inchi. Requisitos*. Recuperado de: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2688.pdf>
43. Oficina Comercial de Chile en Ecuador PRO CHILE, (2016). *Perfil de Mercado de aceite de oliva en Ecuador*. Recuperado de: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/estudio/28692.PDF> (Diciembre, 2016).
44. Ortega López., M y Peña., A. (1996). *Cartas Psicrométricas*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
45. Páez, S. (2015). *Desarrollo del branding plan para el lanzamiento de productos con omega 3, en el Distrito Metropolitano de Quito. Caso: sachá inchi*. (Tesis de grado presentada al departamento de Ciencias Administrativas y

Contables como requisito para la obtención del título de Ingeniero Comercial no publicado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

46. Pantoja, L. y Maldonado, S. (2012). *Caracterización del contenido de aceite de dos Oleaginosas: Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) y canola (Brassica napus y Brassicarapa)*. (Tesis de grado presentada al Departamento de Alimentos como requisito para la obtención del título de Ingeniero de Alimentos no publicado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
47. Peri, C. (2014). *The Extra-Virgin olive Oil Handbook*. (1era. ed.). Ucrania: Wiley Blackwell.
48. Pino, G., Urgilés, V. y Villacreses, C. (2013). *Aceite de sachá inchi. Producción y comercialización para la provincia del Guayas*. (Tesis de grado presentada a la Escuela de Posgrados en Administración de Empresas como requisito para la obtención del título de Magister en Administración de Empresas no publicado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
49. Richardson, J. y Harker, J. (2007). *Particle Technology and Separation Processes*. (5ta. ed.). Gran Bretaña: Elsevier.
50. Saravacos, G. y Kostaropoulos, A. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment*. [Versión Adobe Digital editions] doi:10.1007/978-1-4615-0725-3.
51. Sinnott, R. (2005). *Chemical Engineering Design*. (5ta. ed.). New York, USA: Elsevier

52. Torres, J. (2015). *Proyectos de negocios: Método práctico para emprendedores*. Santiago de Chile, Chile: Editorial Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.ebrary.com>. (Octubre, 2016).
53. Towler, G. y Sinnott R. (2008). *CHEMICAL ENGINEERING DESIGN. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. California, USA: Elsevier.
54. Velasco, S. y Campins, M. (2013). *Gestión de proyectos en la empresa: Planificación, programación y control*. Madrid, España: Larousse-Ediciones Pirámide.
55. Villaflor, G., Morales, G. y Velasco, J. (2008). Variables significativas del proceso de combustión del gas natural. *Información Tecnológica* 19 (6), 57-62. doi: 10.1612/inf.tecnol.388it.07.
56. Walas, S. (1990). *Chemical Process Equipment. Selection and Design*. (3ra. ed.). Kansas, USA: Reed Publishing.

ANEXOS

ANEXO I

GENERALIDADES DEL SACHA INCHI

De forma silvestre el sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) se encuentra distribuido desde el sur de Panamá, Perú, Bolivia, Brasil y en Ecuador en el río Palenque en la provincia de Los Ríos (Correa y Yesid, 1989, pp. 578-579). En la Tabla AI.1 se presentan algunas generalidades del sacha inchi.

Tabla AI. 1. Generalidades del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L)

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
<p>Taxonomía</p>	<p>Planta trepadora, las hojas son alternadas y de color verde oscuro.</p> <p>Frutos: en forma de cápsulas con un diámetro de 3 - 5 cm, esta cápsula puede presentar 4 o 5 lóbulos, dentro de la cápsula se encuentran las semillas con cáscara.</p> <div data-bbox="821 1150 1097 1356" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">Cápsula de sacha inchi</p> <p>Semillas: de color marrón oscuro y de forma ovalada de diámetro entre 1,3 - 2,1 cm, espesor entre 7 - 8 mm, y un peso entre 0,8 - 1,4 g (Arfini y Antonioli, 2013, pp. 19-20).</p> <div data-bbox="688 1591 920 1808" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">Semillas con cáscara</p> <div data-bbox="971 1591 1235 1808" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">Semillas peladas</p>

Tabla AI.1. Generalidades del sachá inchi (*Plukenetia volubilis L*)
(continuación...)

Parámetro	Descripción
Manejo del cultivo	<p>La planta empieza a producir a los 8 meses obteniéndose semillas comerciales a partir de los 12 meses. La planta necesita de buenos suelos, materia orgánica en abundancia, aireación y permeabilidad, aunque es una planta muy rústica y resiste los suelos de malas condiciones (Correa y Yesid, 1989, p. 584)</p> <p>Altura de desarrollo: 80 - 2 000 m.s.n.m</p> <p>Temperatura de desarrollo: 22 - 32 °C</p>
Cosecha	<p>Las cápsulas se recolectan cada 20 - 25 días, tarea que se efectúa de forma manual y consiste en la recolección de los frutos maduros (Arfini y Antonioli, 2013, p. 23).</p>
Poscosecha	<p>El almacenamiento adecuado es importante. La temperatura, humedad, ventilación y sanidad son factores a tomar en cuenta (Carrera et al., 2005, p. 475).</p>
Otros componentes de interés presentes en las semillas	<p>Según el perfil de aminoácidos, la fracción proteínica del sachá inchi muestra altos niveles de cisteína, tirosina, treonina y triptófano comparados con otras semillas oleaginosas (Chirinos et al., 2013, p. 1 732). Minerales como el potasio, magnesio, calcio, hierro, zinc, sodio y cobre también se han cuantificado en las semillas de sachá inchi (Gutiérrez, Rosada y Jiménez, 2011, p. 79).</p>

ANEXO II

BALANCE DE MASA

Balance de masa en el pesaje:

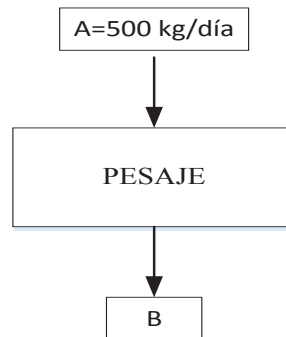


Figura AII. 1. Diagrama del balance de masa en el pesaje

Materia prima (sacha inchi): $A=B= 500 \text{ kg/día}$

Balance de masa en la limpieza:

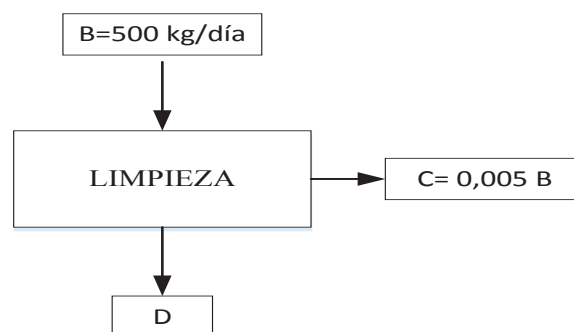


Figura AII. 2. Diagrama del balance de masa en la limpieza

Impurezas (tallos, hojas, tierra, otros): $C = 0,005 \times 500 = 2,5 \text{ kg/día}$

$$D = B - C$$

Sacha inchi sin impurezas: $D = 500 - 2,5 = 497,5 \text{ kg/día}$

Balance de masa en el descapsulado y descascarado:

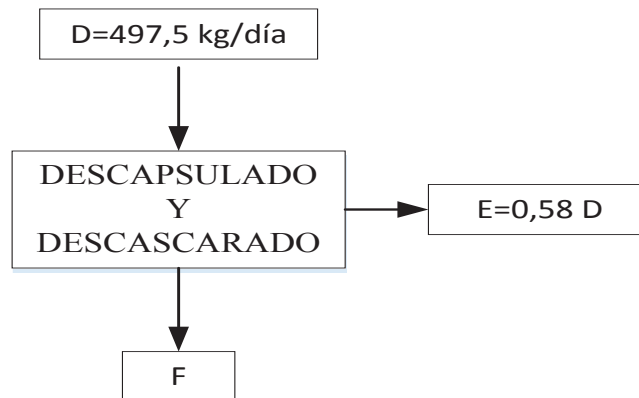


Figura AII. 3. Diagrama del balance de masa en el descapsulado y descascarado

Cápsulas y cáscaras de sachá inchi: $E = 0,58 \times 497,5 = 288,55 \text{ kg/día}$

$$F = D - E$$

Sachá inchi pelado: $F = 497,5 - 288,55 = 208,95 \text{ kg/día}$

Balance de masa en la selección:

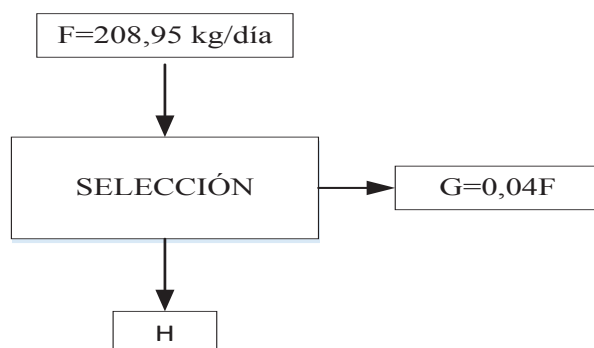


Figura AII. 4. Diagrama del balance de masa en la selección de las semillas

Semillas no adecuadas (podridas, etc.): $G = 0,04 \times 208,95 = 8,36 \text{ kg/día}$

$$H = F - G$$

Semillas que continúan en el proceso: $H = 208,95 - 8,36 = 200,59 \text{ kg/día}$

Balance de masa en el lavado:

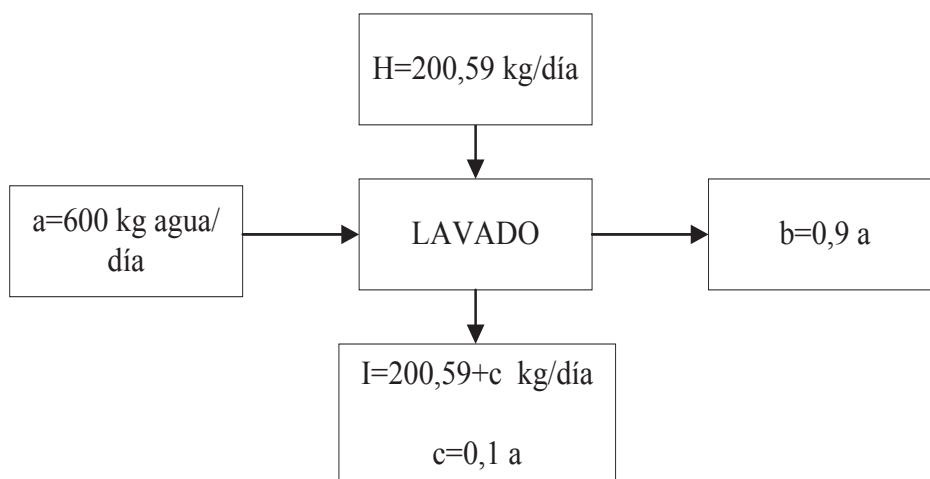


Figura AII. 5. Diagrama del balance de masa en el lavado de las semillas

Balance de agua

$$a = b+c$$

$$b = 0,9 \times 600 = 540 \text{ kg/día}$$

$$c = 0,1 \times 600 = 60 \text{ kg/día}$$

$$I = 200,59 + 60 \text{ kg/día}$$

$$I=260,59 \text{ kg/día}$$

Semillas húmedas: $I = 260,59 \text{ kg /día}$

Balance de masa en el secado:

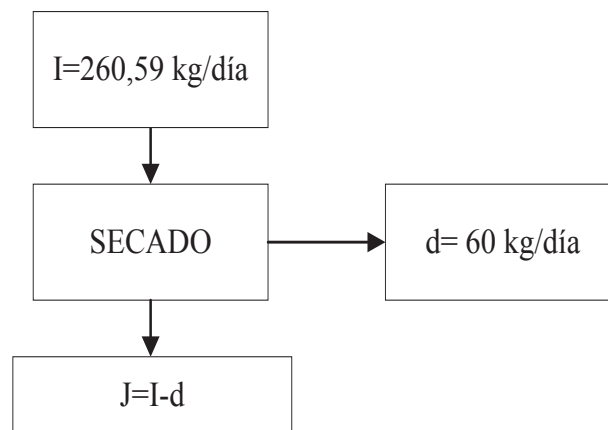


Figura AII. 6. Diagrama del balance de masa en el secado de las semillas

$$J=260,59 - 60 \text{ kg/día}$$

Semillas secas para el prensado: $J = 200,59 \text{ kg/día}$

Balance de masa en el prensado:

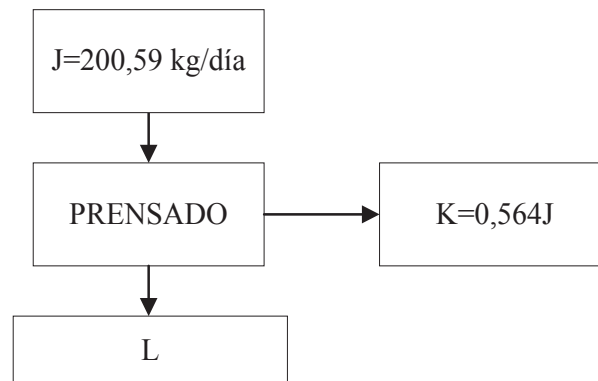


Figura AII. 7. Diagrama del balance de masa en el prensado

Torta: $K = 0,564 \times 200,59 = 113,13 \text{ kg/día}$

$$L = J - K$$

Aceite sin decantar: $L = 200,59 - 113,13 = 87,46 \text{ kg/día}$

Balance de masa en el decantado:

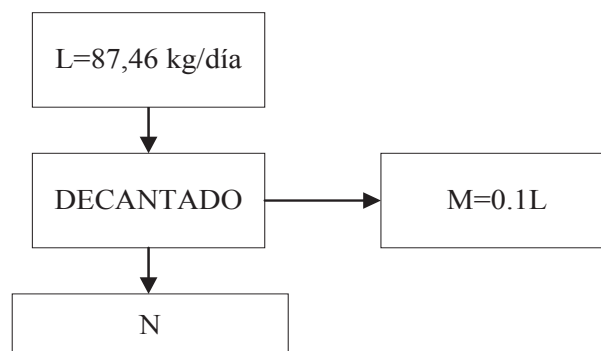


Figura AII. 8. Diagrama del balance de masa en el decantado del aceite

Lodo residual: $M = 0,1 \times 87,46 = 8,75 \text{ kg/día}$

$$N = L - M$$

Aceite sin filtrar: $N = 87,46 - 8,75 = 78,71 \text{ kg/día}$

Balance de masa en la filtración:

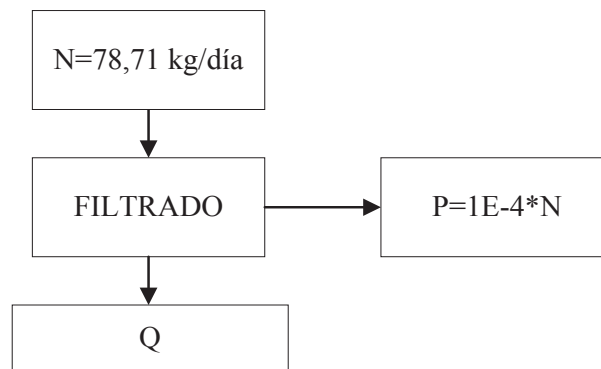


Figura AII. 9. Diagrama del balance de masa en el filtrado del aceite

Impurezas filtradas: $P = 1E-4 \times 78,71 = 78,71E-3 \text{ kg/día}$

$$Q = N - P$$

Aceite filtrado: $Q = 78,71 - 78,71E-3 = 78,70 \text{ kg/día}$

ANEXO III

CRITERIOS DE DISEÑO

Anexo AIII.1 Lavado de las semillas

Anexo AIII.2 Diseño experimental propuesto para el prensado

AIII.1 LAVADO DE LAS SEMILLAS

Con base en la información de la Tabla 3.2. se realizan los cálculos propuestos

$$\frac{1}{\rho_t} = \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{\rho_{t_j}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad [\text{AIII.1}]$$

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{0,03}{995,68} + \frac{0,42}{917,24} + \frac{0,247}{1319,53} + \frac{0,04}{2418,18} + \frac{0,309}{1592,89}$$

$$\rho_t = \rho_{\text{semilla sachu inchi}} = 1\,128,99 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

AIII.2 DISEÑO EXPERIMENTAL PROPUESTO PARA EL PRENSADO

Se realizó un diseño experimental para determinar la influencia de la temperatura y la presión en el rendimiento de extracción del aceite, el diseño se realizó de acuerdo a los tratamientos mostrados en la Tabla AIII.1. La mayoría de prensas de prensado continuo operan con presiones en un rango de hasta 2 800 kg/cm². La temperatura durante el prensado en frío no debe exceder de 50 °C (Bailey, 2001, p. 446; Hoed et al., 2011, p. 1 848).

Tabla A.III. 1. Diseño experimental propuesto para determinar los mejores rendimientos de extracción del aceite

Tratamiento	Presión Kgf/cm²	Temperatura ° C
T1	350	40
T2	350	50
T3	400	40
T4	400	50

(Bailey, 2001, p. 446; Hoed et al., 2011, p. 1 848)

Los rendimientos obtenidos de la extracción del aceite se presentan en la Tabla A.III.2, se realizaron cuatro repeticiones de cada tratamiento, el tratamiento estadístico de los datos de rendimiento obtenidos se realizó en el programa Statgraphics Centurion XVI. Se determinó el rendimiento obtenido de cada tratamiento utilizando la ecuación 5.1 (Toscano y Foppa, 2007, p.14).

$$\eta_e = \frac{O_e}{S_m} \quad \text{[A.III.2]}$$

Donde:

η_e : rendimiento de aceite obtenido (%)

O_e : masa de aceite extraído (kg)

S_m : masa de semillas usadas en la extracción (kg)

Tabla A.III. 2. Rendimientos obtenidos mediante los diferentes tratamientos

Presión kgf/cm²	Temperatura °C	
	40	50
350	38,8±1,88	40,78±1,88
400	40,93±1,88	43,60±1,88

$\bar{x} \pm \sigma (n = 4)$

Se observa en la Tabla AIII.2. que a mayor presión y a mayor temperatura se obtienen los mejores rendimientos, y a menor presión y menor temperatura se obtienen los menores rendimientos en la extracción del aceite. Para el balance de masa se trabajó con el promedio del tratamiento con el mejor rendimiento (400 kgf/cm² y 50 °C), es decir 43,60. En la Tabla AIII.3. se presentan los resultados del análisis de varianza de este estudio.

Tabla A.III. 3. Análisis de varianza para el rendimiento en la extracción del aceite

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	RAZÓN F	VALOR P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Presión	24,45	1	24,45	29,64	0,0001
B: Temperatura	21,62	1	21,62	26,21	0,0003
INTERACCIONES					
AB	0,48	1	0,48	0,59	0,4590
RESIDUAL	9,90	12	0,83		
TOTAL (CORREGIDO)	56,46	15			

Como se muestra en la Tabla AIII.3. el valor de P para la interacción es de 0,459, lo que indica que no existió un efecto estadísticamente significativo en la interacción entre la presión y la temperatura.

Por otra parte, los valores para los factores presión y temperatura son menores a 0,05 en los dos casos, lo que demuestra que sí tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento, cada uno de forma independiente.

En la Figura AIII.1. se muestra la gráfica de medias de rendimiento con respecto a la presión.

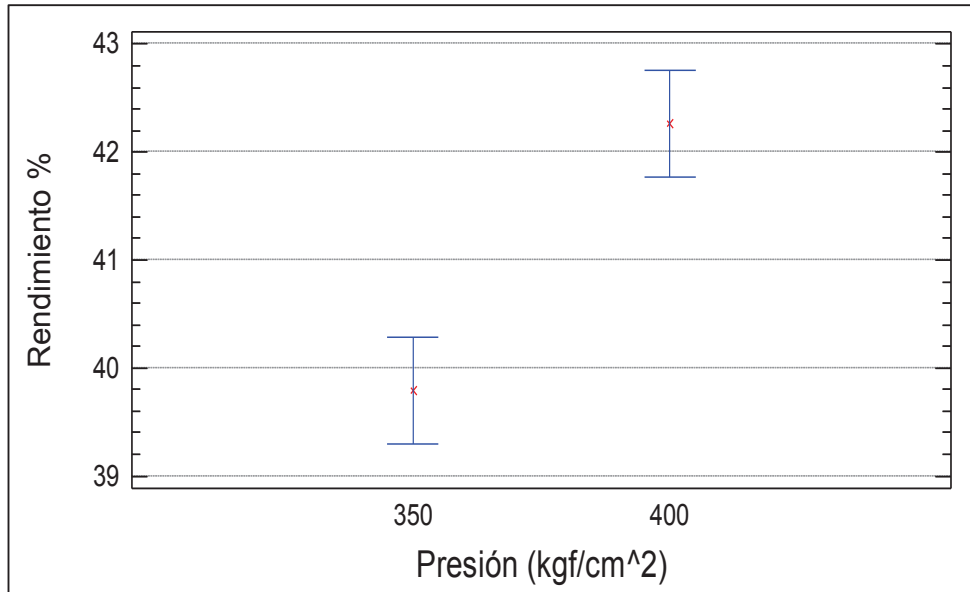


Figura AIII.1. Gráfica de medias de rendimiento con respecto a la presión

En la Figura AIII.1. se observa que a mayor presión aumenta el rendimiento en la extracción del aceite. Para materias primas oleaginosas se usan prensas hidráulicas o prensas de tornillo, de alta o baja presión (2 549,29 a 152,96 kgf/cm²), si se trabaja a baja presión se obtiene un aceite de mejor calidad, pero con 2/3 de rendimiento (Cheftel y Cheftel, 1999, p. 222).

En la Figura AIII.2. se muestra la gráfica de medias de rendimiento con respecto a la temperatura.

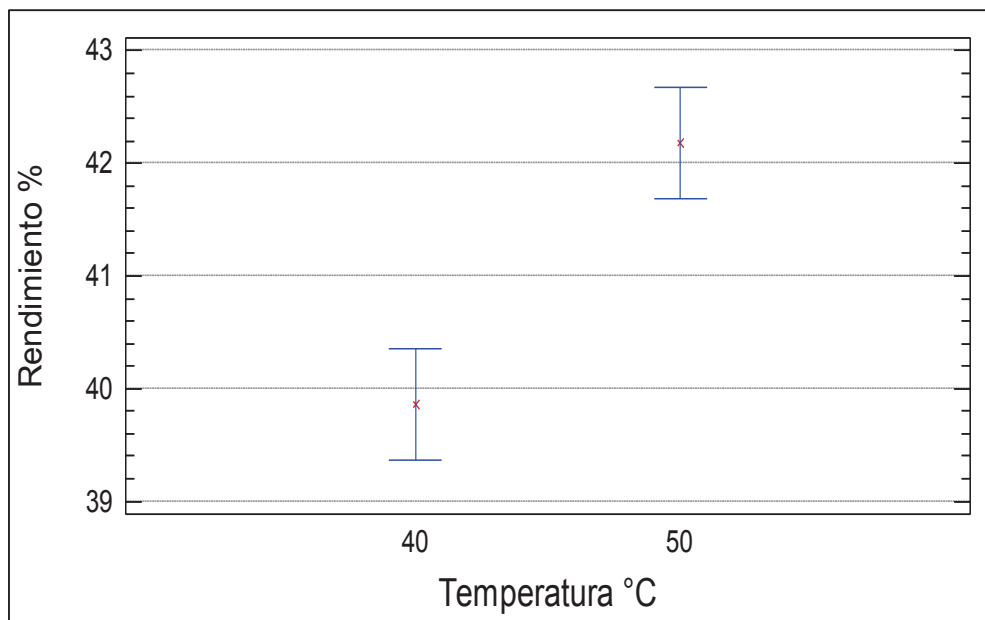


Figura AIII.2. Gráfica de medias de rendimiento con respecto a la temperatura

En la Figura AIII.2. se observa que a mayor temperatura aumenta el rendimiento en la extracción del aceite. En el prensado en frío no se realiza extracción con solventes y la temperatura de la torta se mantiene a una temperatura inferior a 60 °C por medio del enfriamiento con agua de la prensa durante el prensado mecánico (Mazza, 2000, p. 275).

ANEXO IV

BALANCE DE ENERGÍA DEL SECADOR DE SEMILLAS

AIV1. Balance de energía en el calentador de aire

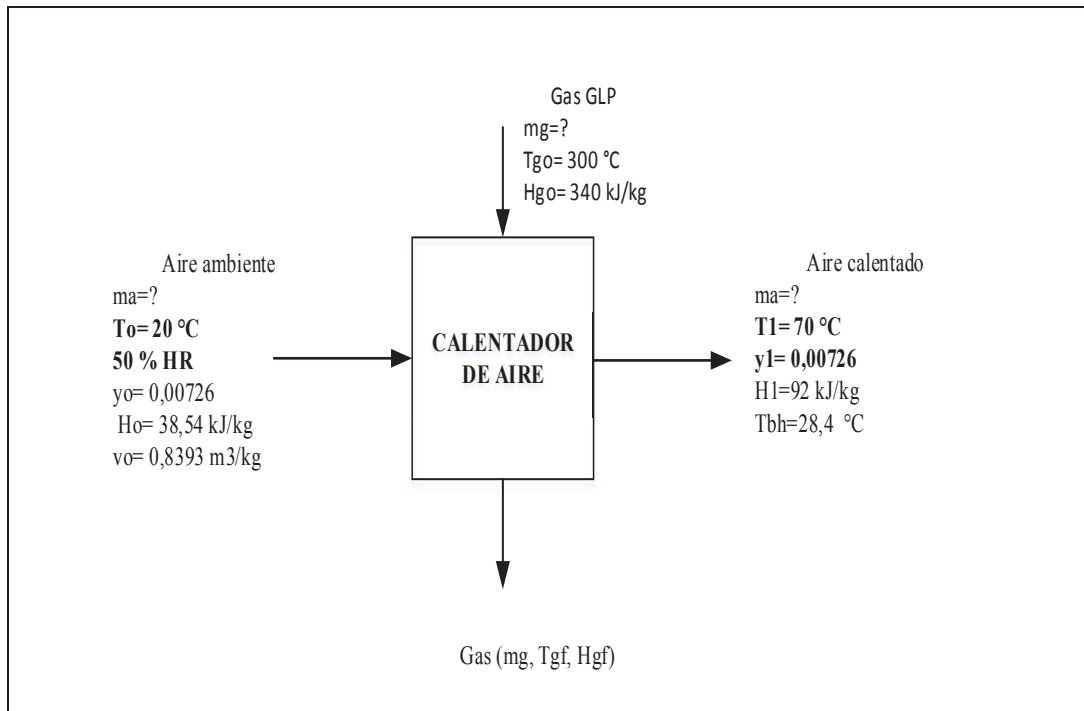


Figura AIV.1. Diagrama del calentador de aire del secador

Base de cálculo: 1 h

Se asume que el aire ambiente está a 20 °C y $50\% \text{ HR}$, los gases de combustión entran a 300 °C y salen a 100 °C y el aire sale del calentador a 70 °C . Las condiciones de entrada del aire ambiente corresponden al punto A (20 °C y $50\% \text{ HR}$) de la Figura AIV. 2 y las condiciones de salida del aire caliente, punto B (70 °C y $0,00726\text{ kg agua/kg aire seco}$) de la Figura AIV.3.

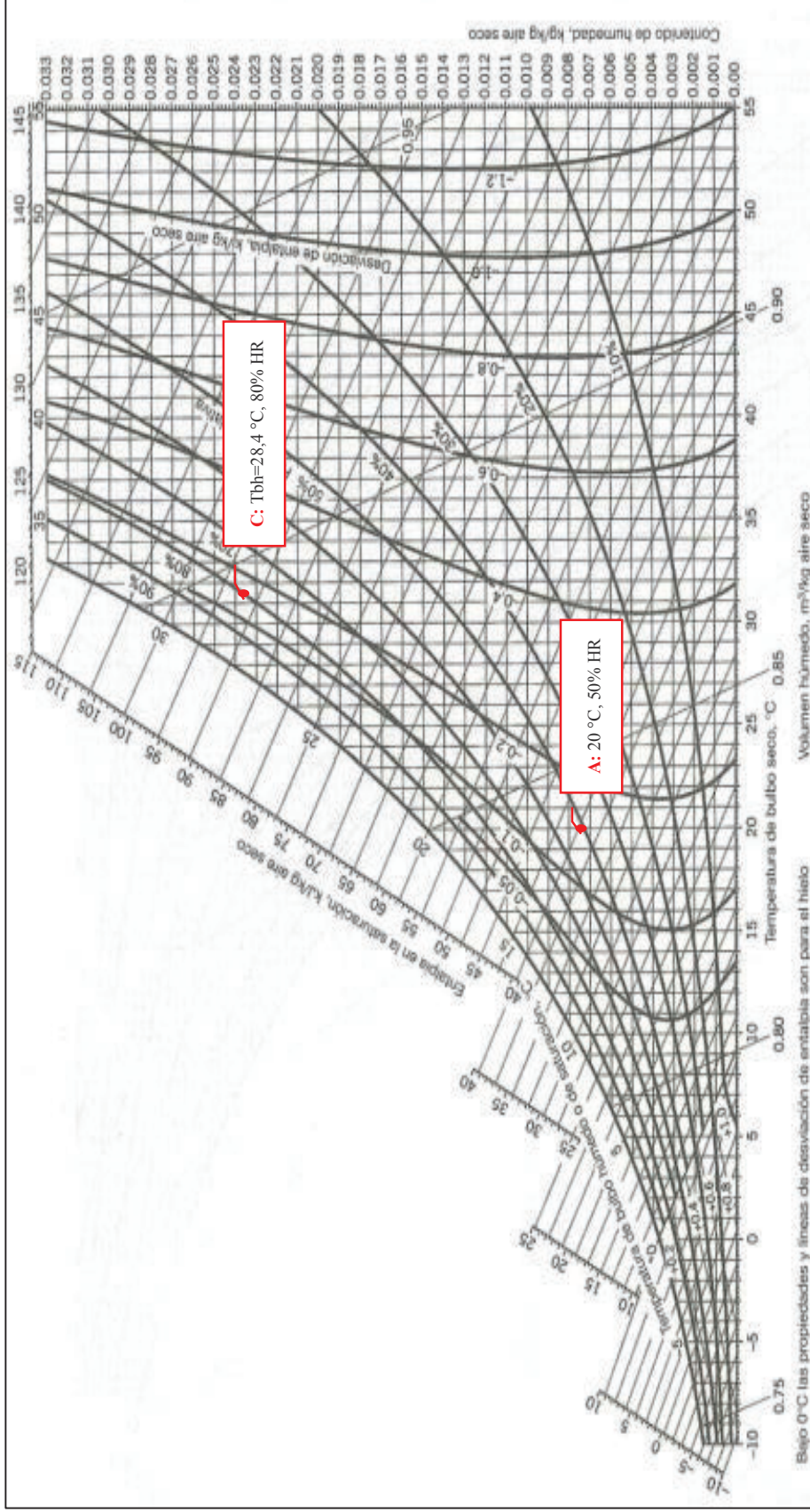


Figura AIV.2. Diagrama psicrométrico unidades SI (Felder, 2004, p. 385)

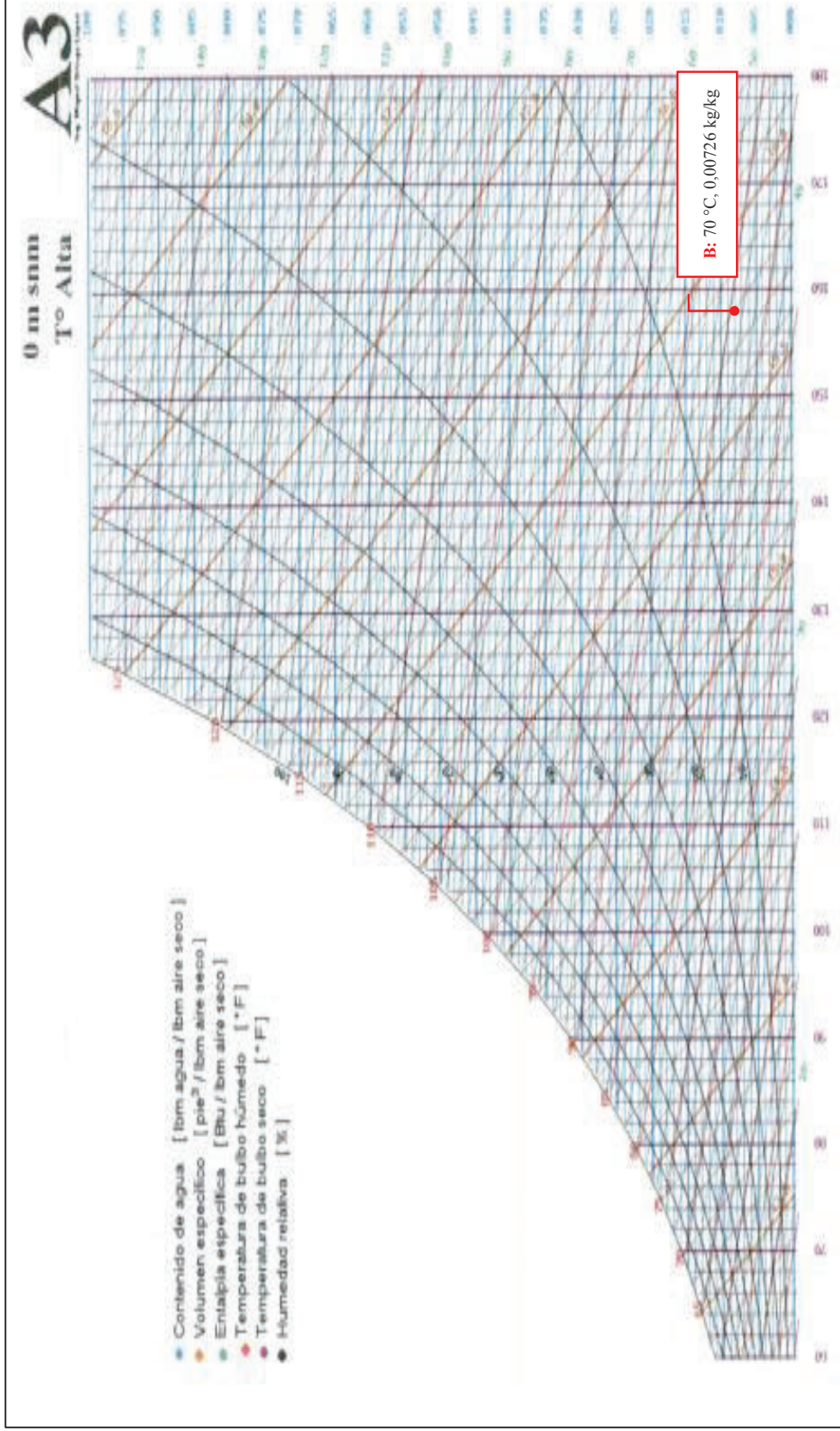


Figura AIV.3. Diagrama psicrométrico a 0 msnm y °T alta
(Ortega López y Peña, 1996, p. 11)

Una vez encontrados los datos necesarios en los diagramas psicrométricos de las Figuras AIV.2. y Figura AIV.3. correspondientes se aplican las ecuaciones AIV.1, AV.2 Y AV.3

$$\Delta H_{\text{entra}} = \Delta H_{\text{sale}} \quad [\text{AIV.1}]$$

$$m_a(H1 - H_o) = \dot{m}_{gc}c_{p_{gc}}(T1 - T_o)$$

Donde:

m_a : flujo másico del aire (kg/h)

H_o : entalpía del aire a 20 °C y 50% HR (38,54 kJ/kg)

$H1$: entalpía del aire a 70°C y $y_o=0,00726$ (92 kJ/kg)

$c_{p_{gc}}$: capacidad calórica de los gases de combustión 1,195 kJ/kg °C (Villaflor, Morales, y Velasco, 2008, p.60)

\dot{m}_{gc} : masa de los gases de combustión

T_o : temperatura del aire ambiente

$T1$: Temperatura del aire a la salida del calentador de aire

AIV2. Balance de masa en el calentador de aire

$$\text{volumen de aire que entra} = m_a * v_o \quad [\text{AIV.2}]$$

Donde:

m_a : flujo másico del aire (kg/h)

v_o : volumen específico del aire a 20 °C y 50% HR (0,8393 m³/kg)

AIV3. Balance de energía en el secador de semillas

Se considera humidificación adiabática del aire, el aire a la salida del secador tiene 80% HR. El punto C de la Figura AIV.2 corresponde a 80% HR y 28,4 °C (temperatura de bulbo húmedo (Tbh)).

Para las condiciones de las semillas que ingresan al secador $F_s = 338,77$ kg/h (este valor se obtuvo a partir del valor del balance de masa de semillas a secar más el 30 % por el sobredimensionamiento del equipo [260,59 + 78,18]), $T_s = 25$ °C y el contenido inicial de humedad $x_o = 0,299$ kg agua/ kg semillas, en base seca.

Finalmente, en el secador las condiciones de las semillas a la salida del secador $T_f = 50$ °C (es la temperatura máxima que se desea que alcancen las semillas, se desea solo evaporar el agua, no se desea calentar las semillas), $x_f = 0,06$ kg de agua/ kg de semillas (Adrianzen, Rojas y Linares, 2011, p. 49) y F_s es la cantidad de semillas secas a obtener con el 6 % de humedad en base seca.

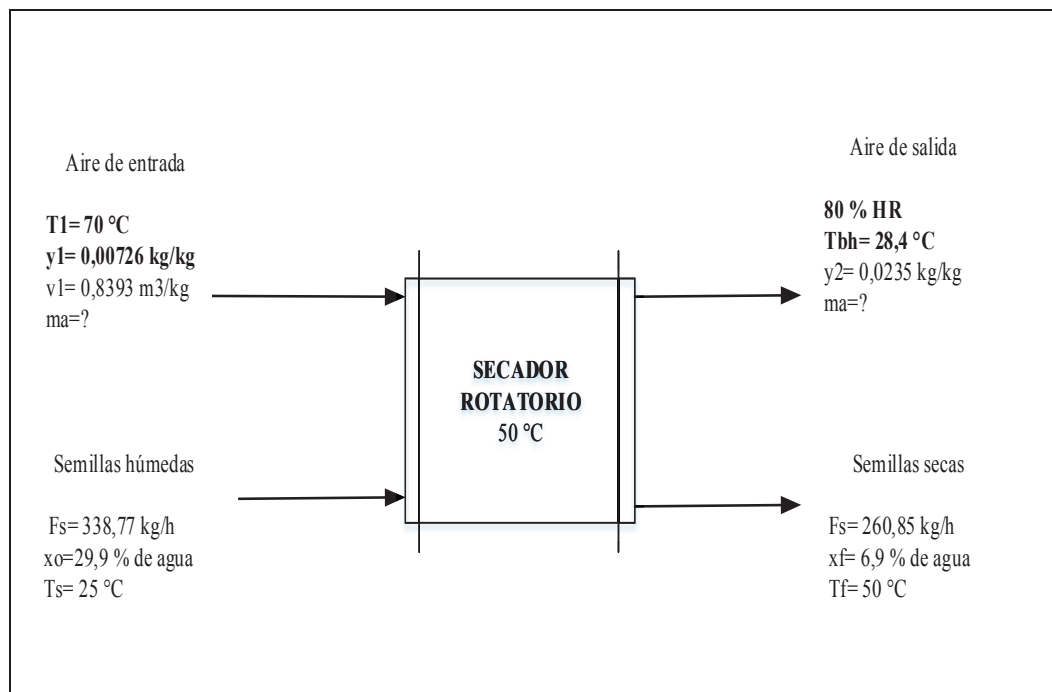


Figura AIV. 4. Diagrama del secador rotatorio

Balance de masa en el secador

agua que sale de la semilla = agua que gana el aire [AIV.3]

$$F_s(x_o - x_f) = m_a(y_2 - y_1)$$

Donde:

F_s: flujo del material húmedo a secar (338,77 kg/h)

x_o: contenido inicial de humedad en las semillas (0,299 kg agua/kg sólido)

x_f: contenido final de humedad en las semillas (0,069 kg agua/kg sólido)

m_a: flujo másico del aire (kg/h)

y₁: humedad del aire a la entrada del secador (0,00726 kg de agua/ kg aire seco)

y₂: humedad del aire a la salida del secador 80% HR y T_{bh}=28,4 °C (0,02358 kg de agua/ kg aire seco)

$$338,77(0,299 - 0,069) = m_a(0,02358 - 0,00726)$$

$$m_a = \frac{77,92 \frac{\text{kg agua}}{\text{h}}}{0,01632 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$m_a = 4\,774,51 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{h}}$$

Regresando a los balances de masa y energía en el calentador de aire

volumen de aire que entra = m_a * v_o

$$\text{volumen de aire que entra} = 4\,774,51 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{h}} * 0,8393 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{volumen de aire que entra} = 4\,007,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\Delta H_{\text{entra}} = m_a(H_1 - H_o)$$

$$\Delta H_{entra} = 4\,774,51 \frac{\text{kg}}{\text{h}} (92 - 38,54) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 255\,245,3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$m_a(H1 - H_o) = \dot{m}_{gc} c_{p_{gc}} (T1 - T_o)$$

$$255\,245,3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = \dot{m}_{gc} 1,195 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (300 - 100)^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{gc} = 1\,068 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para saber la cantidad necesaria de gas

$$m_g * H_{glp} = m_a * (H1 - H_o)$$

Donde:

m_a : flujo másico del aire (kg/h)

H_{glp} : poder calórico del gas licuado de petróleo (50 000 kJ/kg) Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p.415

m_g : flujo másico del gas (kg/h)

H_o : entalpía del aire a 20 °C y 50% HR (38,54 kJ/kg)

$H1$: entalpía del aire a 70°C y $y_o=0,00726$ (92 kJ/kg)









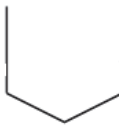






$$m_g * 50\,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 255\,245,3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$m_g = 5,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

ANEXO IV

SIMBOLOGÍA DE EQUIPOS DEL DIAGRAMA PFD

Tabla A.V.1. Simbología de los equipos del diagrama PFD

EQUIPOS		
 <p>Balanza</p>	 <p>Criba</p>	 <p>Descapsuladora y descascaradora</p>
 <p>Mesa de selección</p>	 <p>Tanque de lavado</p>	 <p>Secador</p>
 <p>Calentador de agua</p>	 <p>Prensa expeller</p>	 <p>Tanque de sedimentación</p>
 <p>Bomba sanitaria</p>	 <p>Filtro</p>	 <p>Tanque de almacenamiento</p>
 <p>Llenadora de botellas</p>	 <p>Compresor de aire</p>	 <p>Coche para transporte de sólidos</p>

ANEXO VI

SELECCIÓN Y DISEÑO DE EQUIPOS PROPUESTOS

Anexo AVI.1 Selección del tanque de lavado

Anexo AVI.2 Selección del calentador de agua

Anexo AVI.3 Hoja de especificación técnica para el diseño del secador

Anexo AVI.4 Estimación del tamaño del secador

Anexo AVI.5 Diseño del secador

Anexo AVI.6 Diseño del tanque de decantación

Anexo AVI.7 Selección de la bomba peristáltica

Anexo AVI.8 Diseño del filtro prensa

Anexo AVI.9 Diseño del tanque de almacenamiento

AVI.1 SELECCIÓN DEL TANQUE DE LAVADO

A partir de la información obtenida del anexo AIII.1 se realiza la selección del tanque de lavado

El volumen ocupado por 200 kg de semillas:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{[AVI.1]}$$

$$V = \frac{200,59 \text{ kg}}{1\,128,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,18 \text{ m}^3$$

En el lavado, por cada kg de semillas se necesita un kg de agua, el volumen de agua sería:

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

$$V = \frac{200,59 \text{ kg}}{995,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,20 \text{ m}^3$$

El volumen necesario del tanque de lavado sería de 0,38 m³. Este tamaño no es óptimo para su construcción por ello se selecciona con tanque cilíndrico de 1 m³ de capacidad y un radio de 0,70.

$$V_{\text{tanque}} = \pi r^2 h \quad [\text{AIII.2}]$$

$$1 = \pi * 0,70^2 * h$$

$$\mathbf{h = 0,65 \text{ m}}$$

AVI.2 SELECCIÓN DEL CALENTADOR DE AGUA

Se realizó el siguiente balance de energía:

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad [\text{AIII.3}]$$

Donde:

Q: calor necesario (kJ/día)

m: masa de agua a calentar (kg/día)

c_p: calor latente de vaporización del agua (kJ/kg °C)

ΔT: diferencia de temperatura (°C)

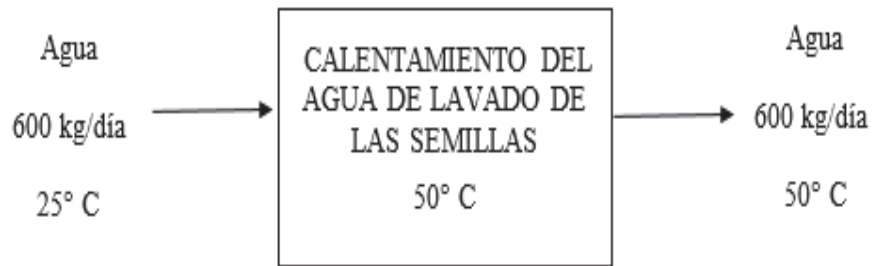


Figura AVI. 1. Diagrama del balance de energía para el calentamiento del agua de lavado

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

$$Q = 600 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{4,17 \text{ kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (50 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q = 62\,550 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

Considerando un factor de sobredimensionamiento del 30% se obtiene:

$$Q = 62\,550 + (62\,550 * 0,3) \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

$$Q = 81\,315 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

Si se considera el uso de 4 horas

$$Q = \frac{81\,315 \text{ kJ}}{4 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} * \frac{1 \text{ W}}{\frac{\text{J}}{\text{s}}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 5,65 \text{ kW}$$

AVI.3. HOJA DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO DEL SECADOR

Para conocer el valor del contenido de humedad en las semillas a secar se utilizó la ecuación AVI.2.

$$x_o = \frac{\text{masa de agua en las semillas}}{\text{masa de semillas secas}} \quad [\text{AVI.4}]$$

Donde:

x_o =contenido de humedad en base seca (bs) (kg agua/kg semillas)

Masa de agua en las semillas=60 kg

Masa de semillas secas =200,59 kg

$$x_o = \frac{60}{200,59}$$

$$x_o = 0,299 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg semillas}}$$

AVI.4. ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DEL SECADOR

Para estimar el tamaño del secador se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$q = ha V (t - t_m)_{lm} \quad [\text{AVI.5}]$$

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [\text{AVI.6}]$$

Donde:

q: Tasa de calor de transferencia (kcal/h) (Mujumdar, 2006, p. 45)

ha: Coeficiente volumétrico de transferencia de calor (kcal/s K m³)
(Mujumdar, 2006, p. 45)

V: volumen del material a secar (m³)

m: masa del material a secar (kg)

ρ : densidad del material a secar (kg/m³)

$$V = \frac{338,77 \text{ kg}}{1\,128,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

V = 0,30 m³ de semillas

$(t - t_m)_{lm}$ = temperatura media logarítmica entre el aire caliente y el producto a secar a la entrada y salida, respectivamente (°C).

$$(t - t_m)_{lm} = \frac{(T_1 - T_s) - (T_2 - T_f)}{\ln \frac{T_1 - T_s}{T_2 - T_f}} \quad [\text{AVI.7}]$$

$$(t - t_m)_{lm} = \frac{(70 - 25) - (50 - 31,5)}{\ln \frac{70 - 25}{50 - 31,5}}$$

$$(t - t_m)_{lm} = 29,81 \text{ °C}$$

$$q = ha V (t - t_m)_{lm}$$

$$q = 150 \frac{\text{kcal}}{\text{h °C m}^3} * 0,30 \text{ m}^3 * 29,81 \text{ °C}$$

$$q = 1341,45 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 5612,63 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Al ser solo una estimación del tamaño del secador este valor solo es referencial pero no se toma en consideración en cálculos posteriores.

AVI.5. DISEÑO DEL SECADOR

Para el cálculo del diámetro de la cámara cilíndrica

$$D = \left(\frac{4Q_{n+2}}{\pi u (1-f)} \right)^{1/2} \quad [\text{AVI.8}]$$

Donde:

D: diámetro de la cámara cilíndrica (m)

Q_{n+2} : flujo de aire =4027 m³/h (Anexo IV)

u: velocidad del aire =9 000 m/h (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p.356)

f: fracción de llenado =0,85

El flujo de aire se obtuvo a partir del balance de masa y energía en el calentador de aire, la velocidad del aire recomendada para sólidos grandes tiene un valor de 2,5 m/s (Saravacos y Kostaropoulos, 2016, p. 356) y para la fracción de llenado se utilizó el valor de 0,85 (Mujumdar, 2006, p. 188).

$$D = \left(\frac{4 * 4027}{\pi * 9000 * (1 - 0,85)} \right)^{1/2}$$

$$\mathbf{D = 1,95 m}$$

Para el cálculo del largo de la cámara cilíndrica (Mujumdar, 2006, p.185)

$$L = 2,1D$$

[AVI.9]

$$L = 2,1 * 1,95$$

$$\mathbf{L = 4 m}$$

Para el cálculo del volumen de la cámara cilíndrica

$$L = \frac{4V}{\pi D^2}$$

[AVI.10]

$$V = \frac{L\pi D^2}{4}$$

$$V = \frac{4 * \pi * 1,95^2}{4}$$

$$\mathbf{V = 11,95 m^3}$$

Para calcular el volumen de las partículas (semillas)

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} \quad [\text{AVI.11}]$$

m_p = masa de las partículas=338,77 kg

ρ_p = densidad de las partículas=1 128,99 kg/m³ (Anexo AIII.1)

$$V_p = \frac{338,77}{1\ 128,99}$$

$$V_p = \mathbf{0,30\ m^3}$$

Para calcular la porosidad

$$\varepsilon = 1 - \frac{V_p}{V} \quad [\text{AVI.12}]$$

V_p = volumen de las partículas = 0,30 m³

V = volumen del lecho (cámara de secado) =11,95 m³

$$\varepsilon = 1 - \frac{0,30}{11,95}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0,97}$$

Para calcular la masa total del producto en el secador (Mujumdar, 2006, p.185)

$$M = (1 - \varepsilon)\rho_p H \quad [\text{AVI.13}]$$

$$\frac{H}{V} = 0,145 \quad [\text{AVI.14}]$$

V = volumen de la cámara de secado=11,95 m³

$$H = 0,145 * 11,95$$

$$H = \mathbf{1,73\ m^3}$$

ϵ = porosidad=0,97

ρ_p = densidad de las semillas=1 128,99 kg/m³

H= retención del producto en la cámara de secado=1,73 m³

$$M = (1 - 0,97) * 1\,128,99 * 1,73$$

$$\mathbf{M = 58,59\ kg}$$

Para calcular el tiempo de retención $\bar{\tau}$, (Mujumdar, 2006, p.185)

$$\bar{\tau} = \frac{M}{F_s} \quad \text{[AVI.15]}$$

M= masa total del producto en el secador =58,59 kg

F_s= Tasa de alimentación de las semillas=338,77 kg/h

$$\bar{\tau} = \frac{58,59}{338,77}$$

$$\bar{\tau} = \mathbf{0,17\ h}$$

Para calcular el número de aletas en el interior de la cámara de secado (Mujumdar, 2006, p.185)

$$\frac{n_f}{D} = 5 \quad \text{[AVI.16]}$$

D= diámetro de la cámara cilíndrica=1,95 m

$$n_f = 5 * 1,95$$

$$\mathbf{n_f = 9,75 \approx 10\ aletas}$$

$$\theta_o = \frac{360^\circ}{n_f} \quad \text{[AVI.17]}$$

$$\theta_o = \frac{360^\circ}{10}$$

$$\theta_o = 36^\circ$$

Para encontrar el espesor del cilindro (t) se utilizó la ecuación:

$$\frac{t}{d_i} \leq 0,10 \quad [\text{AVI.18}]$$

$$d_o = d_i + 2t \quad [\text{AVI.19}]$$

Donde:

t: espesor de la pared de la cámara de secado=3 mm

d_i: diámetro interior de la cámara de secado=1 100 mm

d_o: diámetro exterior de la cámara de secado (mm)

$$d_o = 1\,110 + 2(3)$$

$$d_o = 1\,106$$

$$\frac{3}{1\,100} \leq 0,10$$

El valor del espesor que se asume de 3 mm es el adecuado ya que cumple la desigualdad planteada, además ese espesor es estándar.

Para calcular la potencia eléctrica para la rotación de la cámara de secado
(Mujumdar, 2006, p.185)

$$h_p = ND(M + W') \quad [\text{AVI.20}]$$

Para calcular el peso del secador (Mujumdar, 2006, p.185)

$$W' = \rho_M \left(\frac{2\pi D^2}{4} + \pi DL \right) dx \quad [\text{AVI.21}]$$

ρ_M = densidad del metal=7 930 kg/m³

dx= espesor de la pared del secador=0,003 m

$$W' = 7\,930 \left(\frac{2 * \pi * 1,95^2}{4} + \pi * 1,95 * 4 \right) * 0,003$$

$$W' = 725,1 \text{ kg}$$

$$h_p = ND(M + W')$$

Donde:

h_p : potencia eléctrica (kW)

N: velocidad de rotación=4 rpm (Nonhebel y Moss, 2002, p.211)

D: diámetro de la cámara de secado=1,95 m

M: masa total de semillas en el secador=58,59 kg

W': peso del secador 725,1 kg

$$h_p = 4 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * 1,95\text{m} * (58,59 + 725,1)\text{kg} * \frac{0,00981 \text{ kW}}{1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}}}$$

$$h_p = 6,28 \text{ Kw}$$

AVI.6 DISEÑO DEL TANQUE DE DECANTACIÓN

$$V_1 = \frac{m_a}{\rho_a} \quad \text{[AVI.22]}$$

$$V_1 = 78,71 \text{ kg aceite} * \frac{1 \text{ m}^3}{918,7 \text{ kg}}$$

$$V_1 = 0,09 \text{ m}^3 \text{ aceite}$$

$$V_2 = \frac{m_l}{\rho_l} \quad \text{[AVI.23]}$$

$$V_2 = 8,75 \text{ kg lodos residuales} * \frac{1 \text{ m}^3}{1\,319,53 \text{ kg}}$$

$$V_2 = 6,63E - 3 \text{ m}^3 \text{ lodos residuales}$$

$$\text{Volumen}_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

[AVI.24]

$$\text{Volumen}_{\text{total}} = 0,097 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen}_{\text{total}} = \text{capacidad nominal} = 0,097 \text{ m}^3 \approx 25 \text{ galones}$$

Según Walas (1990) las Normas API para tanques horizontales o verticales pequeños y en función de la capacidad nominal (de 25 galones en este caso) considera un espesor de pared de 4,8 mm y 4 soportes (p. 622). El radio (r) del tanque se asume que es de 0,25 m.

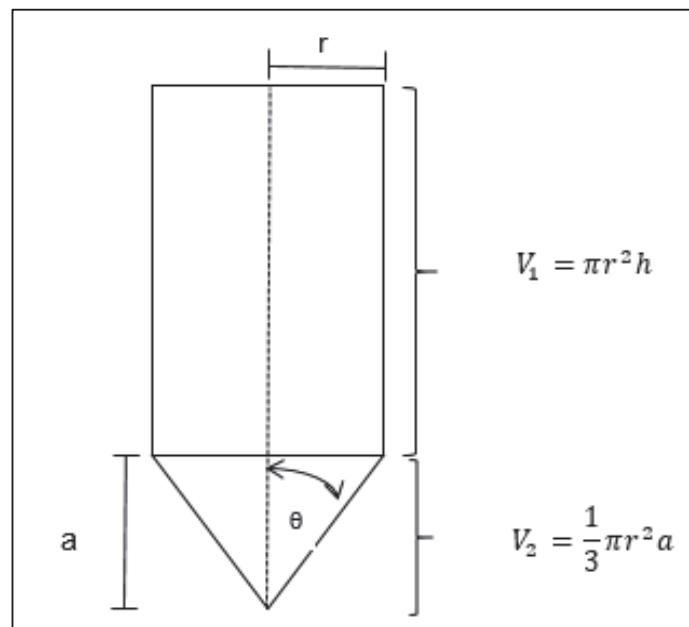


Figura AVI.2. Diagrama del tanque de sedimentación

$$a = \frac{r}{\tan \theta}$$

[AVI.25]

$$a = \frac{0,25}{\tan \frac{60\pi}{180}}$$

$$\mathbf{a = 0,4 \text{ m}}$$

$$V_1 = \pi * r^2 * h \quad \text{[AVI.26]}$$

$$0,09 = \pi * 0,25^2 * h$$

$$\mathbf{h = 0,46 \text{ m}}$$

Al ser un tanque a presión atmosférica se considera que el espesor de la tapa será el mismo que el espesor (t) del tanque es de (4,8 mm), la forma de la tapa será toriesférica, el diámetro de la tapa (D) es de 0,514 m (medida correspondiente al diámetro del tanque más tres veces el espesor de la pared del tanque).

$$r = 6\%D \quad \text{[AVI.27]}$$

$$h = 3,5t \quad \text{[AVI.28]}$$

$$h_1 = 0,1935D - 0,45t \quad \text{[AVI.29]}$$

Donde:

D: diámetro de la tapa 514,4 (mm)

t: espesor de la tapa 4,8 (mm)

r: radio de abombamiento de la tapa (mm)

h: altura del borde (mm)

h1: altura desde el borde (mm)

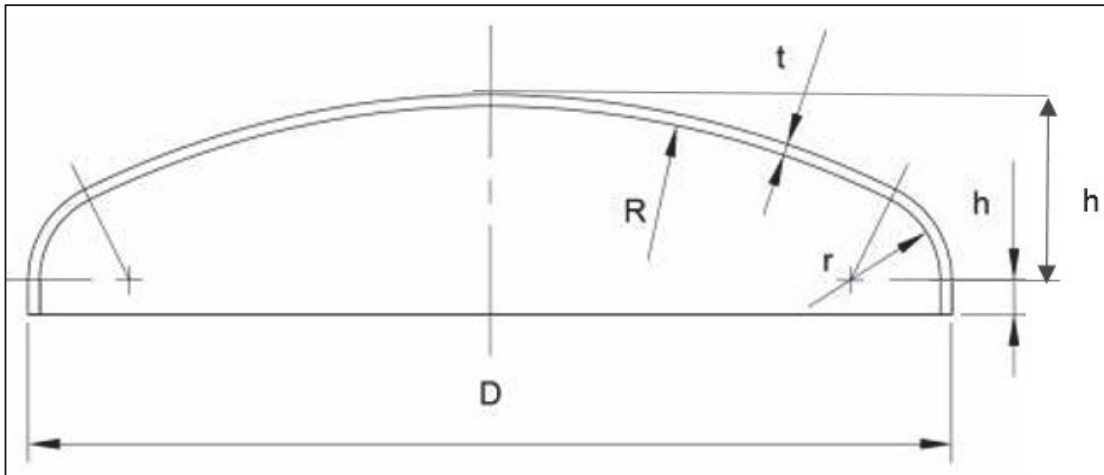


Figura AVI.3 Diagrama de la tapa del tanque de sedimentación

$$r = 0,06 * 514,4 \text{ mm}$$

$$\mathbf{r = 30,86 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 * 4,8 \text{ mm}$$

$$\mathbf{h = 16,8 \text{ mm}}$$

$$h_1 = 0,1935D - 0,45t$$

$$\mathbf{h_1 = 97,38 \text{ mm}}$$

AVI.7 SELECCIÓN DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

$$W = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta u^2}{\alpha} + g\Delta z + E_f$$

[AVI.30]

Donde:

W: trabajo realizado por la bomba (J/kg)

ΔP : diferencia de presión en el sistema (Pa)

ρ :	densidad del líquido (kg/m ³)
Δu :	diferencia de velocidad de circulación del fluido (u_2-u_1), (m/s)
α :	factor de corrección adimensional que depende del régimen de flujo
Δz :	diferencia de elevación (z_2-z_1), (m)
E_f :	caída de presión debida a la tubería y accesorios (m ² /s ²)
g :	aceleración debida a la gravedad (9,8 m/s ²)
\dot{m} :	flujo másico (kg/s)

$$Re = \frac{d_i u \rho}{\eta} \quad [AVI.31]$$

Donde:

Re:	número de Reynolds
d_i :	diámetro interno de la tubería (m)
u :	velocidad de circulación del fluido (m/s)
ρ :	densidad del fluido (kg/m ³)
η :	viscosidad del fluido (kg/m s)

$$Re = \frac{0,0158 * 1,5 * 918,7}{0,0354} = 615,06 \text{ (régimen laminar)}$$

Con flujo laminar $\alpha=0,5$

$\Delta P=0$ los dos tanques están a la misma presión

$\Delta u=0$ la velocidad es constante

$\Delta z=z_2-z_1$

Para evaluar la caída de presión (E_f), se tomó en consideración:

- La tubería (2,75 m)

$$E_{f1} = f \frac{L u^2}{d_i} \quad [AVI.32]$$

$$f = \frac{16}{Re} \quad [AVI.33]$$

- Válvulas (2 válvulas de diafragma ½ abierto)

$$E_{f2} = k_2 \frac{u^2}{2} \quad [\text{AVI.34}]$$

- Codos (13 codos de 90°)

$$E_{f3} = k_3 \frac{u^2}{2} \quad [\text{AVI.35}]$$

- Reducción brusca (a la salida del tanque de decantación) y ensanchamiento brusco (a la entrada del tanque de almacenamiento)

$$E_{f4} = \frac{Re}{160} \left(1,25 - \frac{d_1^2}{d_2}\right)^2 + \frac{Re}{32} \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2}\right)^2 \quad [\text{AVI.36}]$$

Entonces el término E_f quedaría de la siguiente forma:

$$E_f = E_{f1} + E_{f2} + E_{f3} + E_{f4} \quad [\text{AVI.37}]$$

$$E_f = f \frac{L}{d_i} \frac{u^2}{2} + k_2 \frac{u^2}{2} + k_3 \frac{u^2}{2} + \left(\frac{Re}{160} \left(1,25 - \frac{d_1^2}{d_2}\right)^2 + \frac{Re}{32} \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2}\right)^2 \right)$$

Tabla A.VI. 1. Factores de resistencia de los accesorios

Accesorio	k_i
Válvula de diafragma ½ abierto	4,3
Codos de 90°	0,75

Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 217

$$E_{f1} = \frac{16}{615,06} * 2,75 * \frac{1,5^2}{2}$$

$$E_{f1} = 5,09 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_{f2} = 2 * 4,3 * \frac{1,5^2}{2}$$

$$E_{f2} = 9,68 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_{f3} = 13 * 0,75 * \frac{1,5^2}{2}$$

$$E_{f3} = 10,97 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_{f4} = \frac{615,06}{160} \left(1,25 - \left(\frac{0,0158}{0,25} \right)^2 \right)^2 + \frac{615,06}{32} \left(1 - \left(\frac{0,0158}{0,35} \right)^2 \right)^2$$

$$E_{f4} = 5,97 + 19,14 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_{f4} = 25,11 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_f = E_{f1} + E_{f2} + E_{f3} + E_{f4}$$

$$E_f = 5,09 + 9,68 + 10,97 + 25,11$$

$$E_f = 50,84 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$W = g\Delta z + E_f$$

$$W = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (1,2 - 0)\text{m} + 50,84 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$W = 62,61 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$W = 62,61 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$P_o = W * \dot{m}$$

[AVI.38]

$$\dot{m} = \rho u A$$

[AVI.39]

$$A = \frac{\pi}{4} * d_i^2$$

[AVI.40]

$$A = \frac{\pi}{4} * 0,0158^2 = 1,96E - 4 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 918,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1,96E - 4 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,27 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Potencia} = 62,61 \frac{\text{J}}{\text{kg}} * 0,27 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Potencia} = 16,9 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\text{Potencia} = 16,9 \text{ W} = 0,02 \text{ hp}$$

AVI.8 DISEÑO DEL FILTRO PRENSA

Para el dimensionamiento del filtro se tomó en consideración el siguiente modelo matemático:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{R} \quad [\text{AVI.41}]$$

$$R_T = \alpha_o \mu \frac{L}{A} \quad [\text{AVI.42}]$$

$$R_M = \beta_o \mu \frac{L_o}{A} \quad [\text{AVI.43}]$$

Donde:

V: volumen de filtrado

t: tiempo de filtrado

P: presión

R: resistencia al flujo

$R = R_T$ y R_M resistencias del precipitado y del material filtrante utilizado, respectivamente

α_0, β_0 : constantes de proporcionalidad

μ : viscosidad del líquido

L y L_0 : espesor del precipitado y material filtrante, respectivamente

A : área de filtración

El espesor del precipitado se puede expresar:

$$L = k \frac{W}{A} \quad [AVI.44]$$

$$R_T = \alpha \mu \frac{W}{A^2}, \quad R_M = \beta \frac{\mu}{A}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\frac{\alpha \mu W}{A^2} + \beta \frac{\mu}{A}}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{PA^2}{\alpha \mu W + \beta \mu A}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{PA^2}{\alpha \mu \omega V + \beta \mu A}$$

ω : cantidad de precipitado

α : resistencia específica del precipitado

β : resistencia específica del material filtrante

Despejando t e integrando desde $t=0$ $v=0$ a $t=t$ $v=v$

$$t = \frac{\alpha \mu \omega}{2A^2 P} V^2 + \frac{\beta \mu}{A P} V$$

Dividiendo para V

$$\frac{t}{V} = \frac{\alpha\mu\omega}{2A^2P}V + \frac{\beta\mu}{AP} \quad [\text{AVI.45}]$$

Si a los datos experimentales obtenidos se grafican t/V vs V se obtiene una recta encontrándose el valor de la pendiente K_1 y ordenada en el origen K_2 .

$$K_1 = \frac{\alpha\mu\omega}{2A^2P} \quad [\text{AVI.46}]$$

$$K_2 = \frac{\beta\mu}{AP} \quad [\text{AVI.47}]$$

$$\frac{t}{V} = K_1V + K_2 \quad [\text{AVI.48}]$$

A continuación, se muestra la gráfica de filtrado obtenida a partir de datos experimentales.

Gráfico de filtrado

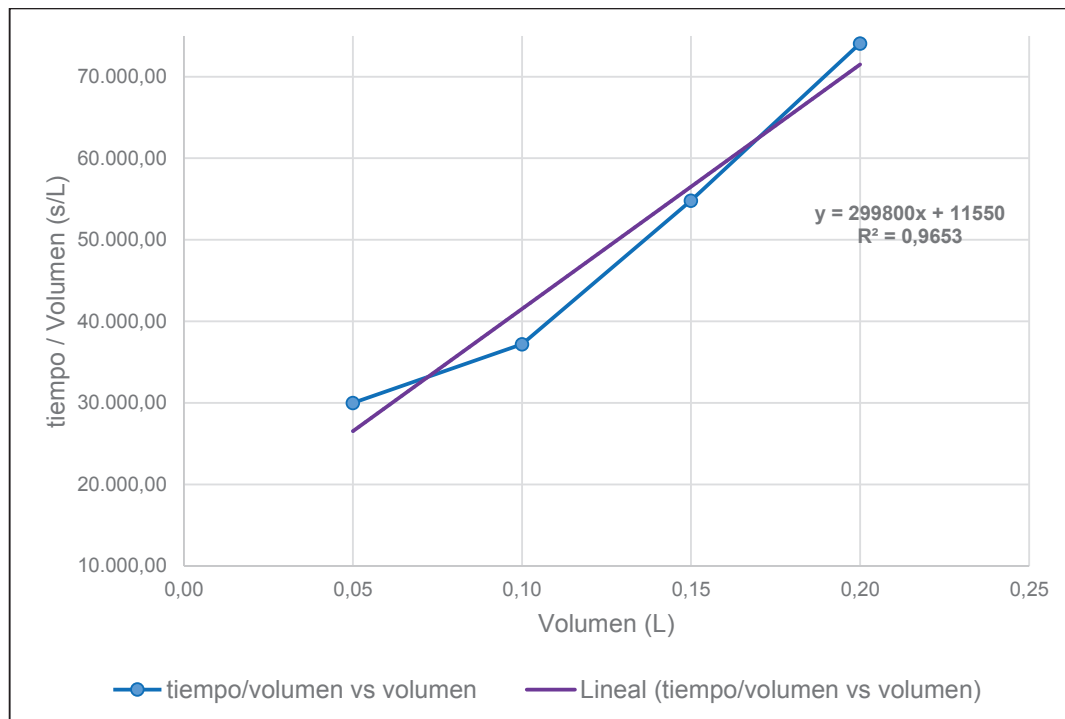


Figura AVI.4. Gráfico tiempo/volumen con respecto al volumen

$$\omega = \frac{0,079 \text{ kg sólidos}}{78,71 \text{ g aceite} * \frac{\text{m}^3}{918,7 \text{ kg}}}$$

$$\omega = 0,92 \text{ kg/m}^3$$

t= Tiempo de filtrado en horas

A= área de filtrado=3,08E-3 m²

P= presión de trabajo=7 321,56 kgf/m²

μ= Viscosidad del aceite=127,44 kg/m h

K₂=Ordenada en el origen=11 550 s/L=3 208,33 h/m³

K₁=Pendiente=299 800,00 s/L² =83 277 777,78 h/m⁶

$$K_2 = \frac{\beta \mu}{A P}$$

$$\beta = \frac{K_2 A P}{\mu}$$

$$\beta = \frac{3\,208,33 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} * (3,08\text{E} - 3 \text{ m}^2) * 7\,321,56 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{127,44 \frac{\text{kg}}{\text{m h}}}$$

$$\beta = 7,21\text{E}10 \text{ m}^{-1}$$

$$K_1 = \frac{\alpha \mu \omega}{2A^2 P}$$

$$\alpha = \frac{2K_1 A^2 P}{\mu \omega}$$

$$\alpha = \frac{2 * 83\,277\,777,78 \frac{\text{h}}{\text{m}^6} * (3,08\text{E} - 3)^2 \text{ m}^4 * 7\,321,56 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}}{127,44 \frac{\text{kg}}{\text{m h}} * 0,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\alpha = 1,25E13 \frac{\text{m}}{\text{kg}}$$

El volumen filtrante se obtiene dividiendo la cantidad de sólido seco para el precipitado por unidad de volumen, la cantidad de sólido seco corresponde a los sólidos retenidos en la filtración (0,01 kg del balance de masa, corriente P).

$$V = \frac{0,01 \text{ kg}}{0,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 8,55E - 3 \text{ m}^3$$

$$t = \frac{\alpha\mu\omega}{2A^2P} V^2 + \frac{\beta\mu}{A P} V$$

Considerando un tiempo $t = 1,5 \text{ h}$

$$1,5 \text{ h} = \frac{\alpha\mu\omega}{2A^2P} V^2 + \frac{\beta\mu}{A P} V$$

$$1,5 \text{ h} = \frac{1,25E13 * 127,44 * 0,92}{2 * 7\,321,56A^2} 8,55E - 3^2 + \frac{7,21E10 * 127,44}{7\,321,56A} 8,55E - 3$$

$$1,5 A^2 = (5,76E - 2) + (8,45E - 2) A$$

$$1,5 A^2 - (8,45E - 2)A - (5,76E - 2) = 0$$

El área de filtrado es:

$$A = 0,23 \text{ m}^2$$

Según Sinnott (2005) una guía para la selección de un filtro incluye los siguientes parámetros: tasa de formación de torta, concentración de sólidos, tasa de asentamiento y tasa de filtrado (p. 412)

- Tasa de formación de torta: el aceite a filtrar no presenta torta
- Concentración de sólidos: según el balance de masa los sólidos retenidos representan el 0,01 %
- Tasa de asentamiento: al no haber torta no hay asentamiento
- Tasa de filtrado:

Volumen de filtrado en una hora=0,0973 L

Tiempo de filtrado= 1 hora

Área de filtrado= 3,08 E-3 m²

$$\text{Tasa de filtrado} = \frac{0,0973 \text{ L}}{1 \text{ h} * 3,08 \text{ m}^2}$$

$$\text{Tasa de filtrado} = 0,032 \frac{\text{m}^3}{\text{h m}^2}$$

Con base en los parámetros mencionados previamente uno de los filtros óptimos es el filtro de marcos y placas. Se escogen dos placas cada una tendrá un área de 0,12 m². Los marcos del filtro son cuadrados, entonces:

$$A = l^2 \quad \text{[AVI.49]}$$

$$0,12 = l^2$$

$$l = 0,35 \text{ m}$$

Considerando 15 marcos filtrantes se tiene un área filtrante (A₁):

$$A_1 = 15 * 0,12 \text{ m}^2 = 1,8 \text{ m}^2$$

La capacidad de filtración del equipo sería:

$$\text{Capacidad} = A_1 * \text{tasa de filtrado}$$

$$\text{Capacidad} = 1,8 \text{ m}^2 * 0,032 \frac{\text{m}^3}{\text{hm}^2} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 57,6 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

AVI.9 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el tanque de almacenamiento se considera la presión interna igual a la presión atmosférica y temperaturas de almacenamiento menores a 93 °C.

La producción diaria de aceite es de 78,71 kg (393,55 kg/semana)

Consideraciones:

Radio (r)= 0,35 m

$\theta = 4^\circ$

$$\text{volumen}_{\text{aceite}} = 393,55 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ m}^3}{918,70 \text{ kg}}$$

$$\text{volumen}_{\text{aceite}} = 0,43 \frac{\text{m}^3 \text{ aceite}}{\text{semana}}$$

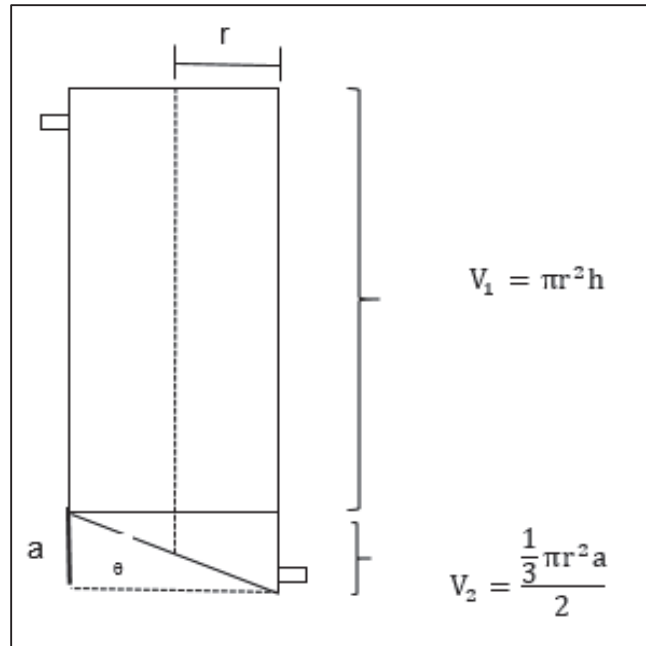


Figura AVI.5 Diagrama del tanque de almacenamiento

$$a = 0,70 * \tan \frac{4\pi}{180}$$

$$a = 4,89E - 2 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{\frac{1}{3} \pi * 0,70^2 * 4,89E - 2}{2}$$

$$V_2 = 1,25E - 2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

[AVI.50]

$$V_1 = 0,417 \text{ m}^3$$

$$V_1 = \pi r^2 h$$

[AVI.51]

$$0,417 = \pi 0,35^2 h$$

$$h = 1,08 \text{ m}$$

Espesor del material del tanque

$$T_t = \frac{\rho_L H_L g D_t}{2 S_t E 10^3} \quad [\text{AVI.52}]$$

Donde:

T_t : espesor de pared a la altura H_L (mm)

H_L : Profundidad del líquido=1,13 m

ρ_L : densidad del líquido=918,7 kg/m³

E : eficiencia de las juntas =0,8 (Walas, 1990, p. 625)

g : aceleración de la gravedad, 9,8 m/s²

S_t : esfuerzo máximo del material del tanque=517,11 N/mm² (Towler y Sinnott, 2008, p. 1038)

D_t : diámetro del tanque 0,35 m

$$T_t = \frac{918,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,13 \text{ m} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0,35 \text{ m}}{2 * 517,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,8} \frac{1}{10^3}$$

$$T_t = 4,3 \text{ E} - 3 \text{ mm}$$

Este espesor es muy bajo por lo que se escoge un espesor recomendado por Walas, 1990, p. 622, cuyo valor es de 4,8 mm (espesor de pared para tanques de hasta 4 000 gal). La forma de la tapa será toriesférica, el diámetro de la tapa (D) es de 714,4 mm (medida correspondiente al diámetro del tanque más tres veces el espesor de la pared del tanque).

$$r = 6\%D \quad [\text{AVI.53}]$$

$$h = 3,5t \quad [\text{AVI.54}]$$

$$h_1 = 0,1935D - 0,45t \quad [\text{AVI.55}]$$

Donde:

D : diámetro de la tapa=714,4 mm

t : espesor de la tapa=4,8 mm

- r: radio de abombamiento de la tapa (mm)
 h: altura del borde (mm)
 h₁: altura desde el borde (mm)

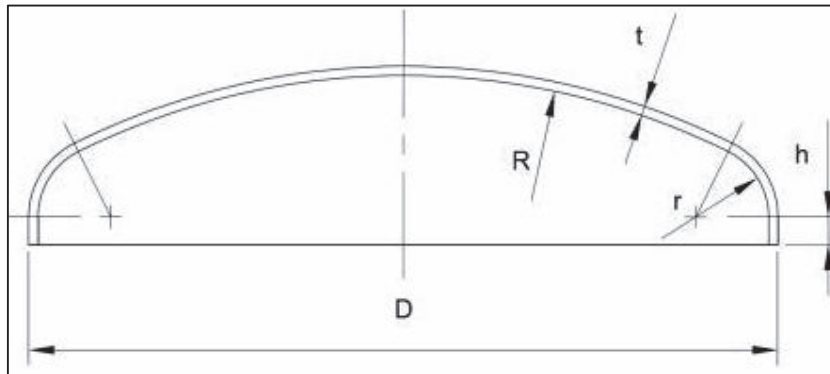


Figura AVI.6. Diagrama de la tapa del tanque de almacenamiento

$$r = 0,06 * 714,4 \text{ mm}$$

$$\mathbf{r = 42,86 \text{ mm}}$$

$$h = 3,5 * 4,8 \text{ mm}$$

$$\mathbf{h = 16,8 \text{ mm}}$$

$$h_1 = 0,1935D - 0,45t$$

$$\mathbf{h_1 = 136,10 \text{ mm}}$$

ANEXO VII

Anexo AVII.1 Determinación de espacios del área de recepción y área de producción

Anexo AVII.2 Criterios de seguridad industrial a considerar en la planta

Anexo AVII.3 Diseño higiénico de la planta

AVII.1 DETERMINACIÓN DE ESPACIOS DEL ÁREA DE RECEPCIÓN Y ÁREA DE PRODUCCIÓN

- Área de recepción de la materia prima

$$S = (L + 0,6 + 0,45) \times (A + 0,45 + 0,45) \quad [\text{AVII.1}]$$

Donde:

S= superficie necesaria por equipo (m²)

L= longitud del equipo (m)

A= ancho del equipo (m)

0,6= constante correspondiente a la superficie necesaria para un operador al operar el equipo (m)

0,45= espacio necesario para limpieza de equipos (m)

- Ejemplo de cálculo para la superficie necesaria para la balanza (RW-01)

L=largo de la balanza= 1 m

A= ancho de la balanza= 1 m

$$S = (1 + 0,6 + 0,45) \times (1 + 0,45 + 0,45)$$

$$S = 3,9 \text{ m}^2$$

- Área de producción

$$S = (L + 0,6 + 0,45) \times (A + 0,45 + 0,45) \quad [\text{AVII.2}]$$

- Ejemplo de cálculo para la superficie necesaria para la mesa de selección (PCB-04)

L=largo de la mesa= 2 m

A= ancho de la mesa= 1 m

$$S = (2 + 0,6 + 0,45) \times (1 + 0,45 + 0,45)$$

$$S = 5,8 \text{ m}^2$$

AVII.2 CRITERIOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL A CONSIDERAR EN LA PLANTA

El diseño de la instalación debe contemplar los riesgos a la seguridad y contribuir a un ambiente con cero accidentes de trabajo. Un examen estructural y sistemático debe llevarse a cabo para identificar y evaluar problemas que representen riesgos al personal o a los equipos (Hamm et al., 2013, p. 303).

Tabla AVII.1. Riesgos en la seguridad industrial de la planta

Riesgo	Descripción	Mitigación
Piso resbaladizo	Derrames de aceite provocan un film resbaladizo en la superficie del suelo, lo que conduciría a serios accidentes al operador, contratistas y visitantes	La selección adecuada de un piso apto para la limpieza continua, uso de calzado antideslizante.
Caídas de superficies altas	Estructuras, equipos o tanques suelen ubicarse en partes altas. Los operadores, contratistas trabajan en superficies elevadas. Se debe tener en cuenta que los objetos pueden caer desde la altura y causar lesiones graves.	Arneses de seguridad para uso del operario. Uso de cascos para proteger a los operadores, contratistas y visitantes.

Tabla AVII.1. Riesgos en la seguridad industrial de la planta (**continuación...**)

Ruido	El ruido se produce durante el funcionamiento de las máquinas, el uso de vapor	Paredes aislantes de ruido, también se debe proveer a los operarios, contratistas y visitantes tapones para los oídos.
Afecciones a los ojos	El derrame de químicos, polvo y vapores agresivos pueden dañar los ojos.	Utilizar gafas de protección.

(Hamm, 2013, p. 303)

AVII.3 DISEÑO HIGIÉNICO DE LA PLANTA

En una planta todo el sistema de procesamiento comprende: la infraestructura necesaria, el sistema de proceso y los sistemas auxiliares. La actividad principal en una industria es la fabricación de un producto y por esta razón el diseño debe brindar condiciones de comodidad en el trabajo, y un proceso higiénico (Casp, 2005, p. 283).

Caracterización de la infraestructura

En la Tabla AVII.2. se da una visión general de las características de los espacios exteriores de la planta de extracción de aceite.

Tabla AVII.2. Características generales de espacios exteriores

Áreas	Característica
Zonas exteriores	Libre de olores desagradables, humo, polvo y otros contaminantes, que no sea proclive a inundaciones.

Tabla AVII.2. Características generales de espacios exteriores (**continuación...**)

Áreas	Característica
Zona de modificaciones (ampliaciones futuras)	Debe haber posibilidad de ampliaciones futuras sin interferir en las labores diarias, se debe tomar en cuenta el diseño de redes de desagüe.
Zona de desechos	Debe haber una zona exclusiva para desechos sólidos.
Tejados	De fácil limpieza, debe permanecer limpio para que sean sitios de difícil establecimiento y crianza de animales que contaminen los productos.

(Casp, 2005, pp. 291–292)

Características del sistema de proceso

En la Tabla AVII.3. se caracterizan las condiciones que deben cumplir los locales de producción existentes en la planta de extracción de aceite.

Tabla AVII.3. Características generales de los locales de producción

Sistema	Característica
Paredes	Deben ser de materiales: duraderos, resistentes (al tránsito, a los impactos, a los químicos de limpieza), impermeables, de color claro, superficies lisas, que facilite la limpieza y la desinfección.
Columnas	Redondeadas, lisas, con espacios de total accesibilidad para la limpieza.
Techos	Lisos, lavables, sin juntas, grietas o aperturas que acumulen suciedad ni sean habitáculo de roedores.
Desagües	Que permitan la rápida evacuación de desechos líquidos, fáciles de limpiar y sanear, deben poseer rejillas para detener desechos sólidos.

Tabla AVII.3. Características generales de los locales de producción (**continuación...**)

Sistema	Características
Puertas y ventanas	Deben siempre mantenerse limpias, las puertas deben abrirse hacia fuera y cerrarse automáticamente. Las puertas deben ser de material liso y lavable. Los marcos de puertas y ventanas deben permitir un cierre hermético (para impedir la entrada de polvo, roedores e insectos). Las ventanas con posibilidad de apertura deben contar con una malla de protección.
Iluminación	Debe haber buena iluminación en todas las áreas de trabajo, deben ser de fácil mantenimiento y limpieza, si es posible se da preferencia a la luz natural.

(Casp, 2005, pp. 285–291)

Características de los sistemas auxiliares

En la Tabla AVII.4. se mencionan las características de los sistemas auxiliares de la planta de extracción de aceite.

Tabla AVII.4. Características de los sistemas auxiliares

Sistema	Característica
Tuberías y accesorios	Deben ser de acero inoxidable (no cobre ni sus aleaciones), no medidores de temperatura que contengan mercurio.
Equipos en contacto con el alimento	De preferencia acero inoxidable u otro material inerte (de la menor rugosidad posible, fácil de desmontar y que permitan el drenaje total).
Bombas	Se deben utilizar las de denominación “sanitaria”.
Tanques	Los tanques de proceso y los de almacenamiento deben ser de fácil acceso para la limpieza e inspección. Deben ser de fondo esférico, con pendiente mínima del 1% y válvula de drenaje en su parte inferior.
Instalación eléctrica	Todo el sistema eléctrico (equipos, interruptores, paneles de control, etc.) deben permanecer limpios y en buen estado. Deben estar impermeabilizados contra la humedad y filtraciones posibles al momento de la limpieza.

(Casp, 2005, pp. 285–291)

Características del área de sanitarios del personal de producción

Se considera que el área sanitaria del personal de producción debe constar de: un vestuario, punto de desinfección de manos, los sanitarios y duchas y una sala de descanso. (Casp, 2005, pp. 278-279). En la Tabla AVII.5. se presentan las características del área sanitaria para el personal de producción.

Tabla.AVII.5. Características del área sanitaria del personal de producción

Área	Característica
Vestuario	Con cancelles metálicos (uno por cada trabajador) y que permitan la separación de la ropa de trabajo y la ropa de calle, que sea un ambiente ventilado, suelo impermeable y vestuarios separados por sexos.
Desinfección de manos	Uno por cada 10 empleados, con disponibilidad de agua caliente, de material inoxidable, mando de pie, fácil desmontado y dispensador de papel.
Sanitarios y duchas	Iluminados y ventilados, puertas con cierre automático, 1 sanitario por cada 15 trabajadores. Las duchas deben ser individuales y lavamanos de cierre no manual con agua caliente y fría, jabón y cepillo de uñas. No deben tener comunicación directa con las áreas de producción.
Sala de descanso	No debe ser el comedor, puede ser la zona limpia del vestuario y no debe tener comunicación con la zona de producción.

(Casp, 2005, pp.278-282)

En la Tabla AVII.6. se especifica la vestimenta del personal que labora en la planta de extracción.

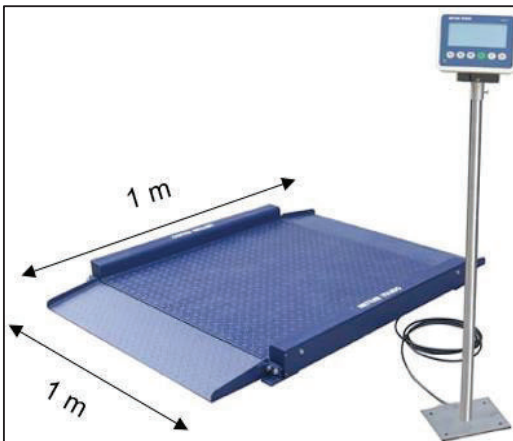
Tabla AVII.6. Vestimenta del personal de la planta

Área	Vestimenta
Producción	Overol blanco, botas blancas antideslizantes, guantes, cofia, mascarilla y protectores auditivos el encargado de la limpieza, descapsulado y descascarado de la materia prima.
Supervisión	Overol blanco, botas blancas antideslizantes, cofia y mascarilla.
Administración	Semiformal.

(Casp, 2005, p. 280)

ANEXO VIII

HOJAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS Y DISEÑADOS

Hoja de especificación N° 1	
Balanza electrónica	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Mettler Toledo	Fecha: 28 de junio de 2016
Ítem: RW-01	
Función: Pesaje de la materia prima (sacha inchi) recibida.	
Operación: Batch	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 1 000 mm	
- Ancho: 1 000 mm	
- Altura: 1 000 mm	
Capacidad: hasta 600 kg, capacidad mínima de 4 kg	
Peso: 15 kg	
Energía: 110 v, 50/60 Hz	
Material: acero inoxidable grado alimenticio 304	
Principio de operación: Balanza para el pesaje del sachá inchi en la recepción, consta de una plataforma de 1x1 metro y una pantalla digital.	
Esquema:	
	

Hoja de especificación N° 2	
Criba	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Equipos industriales Prometal	Fecha: 28 de junio de 2016
Ítem: RDC-02	
Función: Eliminar las impurezas del campo (piedras, hojas, tallos, etc.) que se encuentran junto con las cápsulas de sachá inchi.	
Operación: Batch	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 2 500 mm	
- Ancho: 1 800 mm	
- Alto: 2 000 mm	
Capacidad: 250 kg/h (en función del material que se esté tratando)	
Material: lata	
Principio de operación: La criba está compuestas de hojas de lata, agujereadas, y de alambres de hierro puestos circularmente unos junto a otros y a una distancia muy próxima para que no pase el grano sino únicamente las impurezas de campo.	
Esquema:	

Hoja de especificación N° 3	
Descapsuladora y descascaradora	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Madecsa Ítem: RDR-03	Fecha: 28 de junio de 2016
Función: Eliminar las cápsulas y cáscaras de las semillas de sachá inchi	
Operación: Continuo	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 1 300 mm	
- Ancho: 1 000 mm	
- Alto: 1 500 mm	
Potencia: 2.5 hp	
Capacidad: 300 kg/h	
Material: perfil y acero inoxidable	
Principio de operación: El equipo realiza dos procesos: a) descapsula los frutos para obtener las semillas con cáscaras y b) descascara las semillas para obtener las semillas peladas. El equipo cuenta con una tolva sobre la que se alimenta de forma manual el producto y un sistema de descarga por la cual se obtienen las semillas peladas.	
Esquema:	
<p>Cápsulas de sachá inchi</p> <p style="text-align: right;">→ Cápsulas y cáscaras</p> <p style="text-align: center;">Semillas peladas</p>	

Hoja de especificación N° 4	
Mesa de selección	
Identificación Fabricante: Macons Ítem: PCB-04	N° requerido: 1 Fecha: 28 de junio de 2016
Función: Permitir la selección de semillas inadecuadas para extraer el aceite	
Operación: Continua	
Datos del diseño: Dimensiones: - Largo de la mesa: 2 000 mm - Ancho de la mesa: 1 000mm - Alto: 1 000±150 mm Capacidad de carga: máximo 75 kg	
Material: Acero inoxidable AISI 304	
Principio de operación: La mesa permite la separación manual de las semillas en las que se visualice la presencia de podredumbre o coloración diferente a las semillas sanas. Tiene una ligera pendiente para permitir el escurrido del exceso de agua antes del secado.	
Esquema:	
Semillas →	
	Semillas dañadas
	Semillas adecuadas

Hoja de especificación N° 5	
Tanque de lavado	
Identificación Fabricante: Inoxidables MT Ítem: PTK-05	N° requerido: 1
	Fecha: 28 de junio 2016
Función: Lavar las semillas y permitir el escurrido de las mismas.	
Operación: Batch	
Datos del diseño: Dimensiones: - Radio: 700 mm - Alto: 650 mm Capacidad: 1 000 L	
Material: acero inoxidable AISI 304	
Principio de operación: Este tanque tiene la posibilidad de intercambio térmico, válvulas de entrada y salida de líquido calefactor y válvula de descarga.	
Esquema:  <p>El diagrama muestra un tanque cilíndrico de acero inoxidable. Una línea horizontal superior indica un radio de 700 mm. Una línea vertical a la derecha indica una altura de 650 mm. El tanque tiene una base con un tubo de salida y una válvula de descarga en la parte inferior izquierda.</p>	

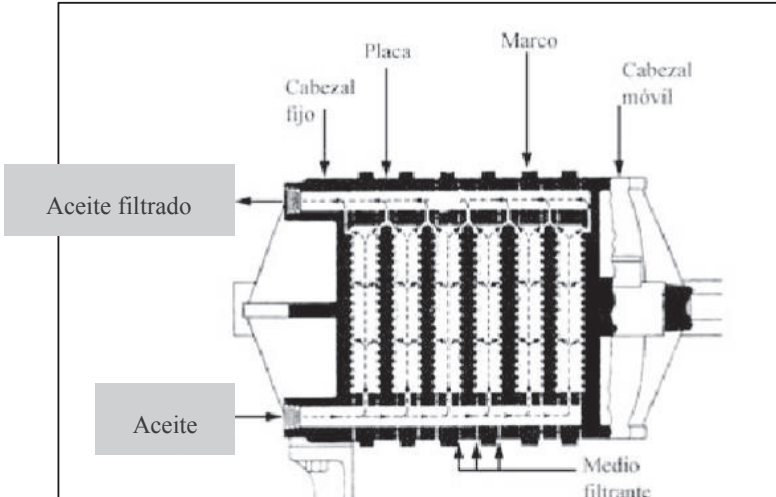
Hoja de especificación N° 6	
Calentador de agua	
Identificación Fabricante: Astep Ítem: SHE-06	N° requerido: 1 Fecha: 28 de junio de 2016
Función: Calentar el agua de lavado de las semillas y para limpieza de la planta.	
Operación: Batch	
Datos del diseño: Dimensiones: - Diámetro: 750 mm - Alto: 1 325 mm Potencia: 6 kW Capacidad: 350 litros Temperatura máxima de calentamiento: 90°C	
Material: Acero quirúrgico	
Principio de operación: Estos equipos poseen un tanque para acumular el agua y la calientan hasta alcanzar una temperatura determinada. La capacidad del tanque varía entre 15 a 1000 L. Utilizan como energía gas natural, gas (GLP), electricidad, carbón, luz solar. Estos calentadores proporcionan agua caliente a temperatura constante.	
Esquema:	
	

Hoja de especificación N° 7	
Secador de semillas	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante:	Fecha: 15 de agosto de 2016
Ítem: PDD-07	
Función: Secar las semillas procedentes del lavado desde una humedad de 0, 299 kg agua/ kg sólidos hasta una humedad en base seca de 0, 069 kg agua/kg sólidos.	
Operación: Continua	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 2 200 mm	
- Diámetro: 1 110 mm	
- Volumen: 2,15 m ³	
Potencia: 1,25 kW	
Capacidad de secado:346 kg/h	
Material: acero inoxidable AISI 304	
Principio de operación: Son secaderos de operan de modo continuo, constan de una carcasa cilíndrica la cual gira sobre unos soportes adecuados, generalmente esta carcasa está ligeramente inclinada con respecto a la horizontal. El producto húmedo ingresa por un extremo del cilindro, avanza por él por gravedad, por la rotación del mismo y de la inclinación de la carcasa, y sale seco por el otro extremo del cilindro. El medio calefactor es aire el cual circular por el interior del cilindro en co-corriente o a contracorriente. Estos secaderos pueden estar equipados con aletas en la superficie interior del cilindro, con el fin de que se produzca el movimiento del sólido húmedo, su elevación a lo largo de la pared y su caída, transversal a la dirección de los gases calientes (Casp y Abril, 2003, p. 361).	
Esquema:	
Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996, p.174	

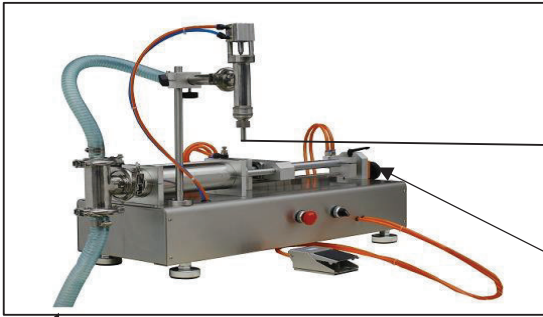
Hoja de especificación N° 8	
Prensa expeller	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Inducam Ítem: PSP-08	Fecha: 20 de agosto de 2016
Función: Extraer el aceite contenido en las semillas a una temperatura máxima de 50 °C	
Operación: Continua y con control de temperatura	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 780 mm	
- Ancho: 400 mm	
- Alto: 440 mm	
Potencia del motor: 3,73 kW	
Voltaje: 220 V, 50 Hz	
Capacidad aproximada de procesamiento: máximo 110 kg/h (en función de la semilla que se prensa)	
Material: acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio	
Principio de operación: La prensa de tornillo (expeller) es básicamente una prensa de jaula, en la cual la presión se desarrolla mediante un eje rotatorio o un tornillo sin fin. En esta jaula se desarrolla una presión de 1 400 a 2 800 kgf/cm ² . Por acción del tornillo contra un orificio o estrangulación regulable se restringe la descarga de la torta al extremo de la jaula (Bailey, 2001, p. 446).	
Esquema:	
<p>El diagrama ilustra el funcionamiento interno de una prensa expeller. Se muestra un eje horizontal con un tornillo sin fin que gira dentro de una cámara cilíndrica. Las semillas ingresan por un embudo superior etiquetado como 'Semillas a prensar'. El eje está conectado a un eje de accionamiento ('Drive shaft') a la derecha y tiene una 'Rueda manual para ajustar el estrangulador' ('Hand-wheel for adjusting choke') a la izquierda. El eje presiona las semillas contra un 'Anillo' ('Ring') y un 'Estrangulador' ('Choke') regulable. El aceite con lodos residuales ('Aceite con lodos residuales') fluye hacia un 'Receptor de aceite' ('Oil receiver') situado debajo. Las 'Barras de torta' ('Cake bars') se forman y salen por la 'Salida de Torta' ('Salida de Torta') a la derecha.</p>	

Hoja de especificación N° 9	
Tanque de decantación	
Identificación Fabricante: Inoxidables MT Ítem: PTK-09	N° requerido: 1
	Fecha: 21 de agosto de 2016
Función: Separar el aceite de los lodos residuales luego del prensado mecánico de las semillas de sachá inchi.	
Operación: Batch	
Datos del diseño: Dimensiones: Volumen total: 97 L - Altura del cilindro: 460 mm - Radio del cilindro: 250 mm Número de soportes: 4	
Material: Acero inoxidable AISI 304	
Principio de operación: Una suspensión se alimenta por la parte superior del tanque, los sólidos se sedimentan en la parte cónica del tanque y el líquido clarificado queda en la parte cilíndrica del tanque (Walas, 1990, p. 315).	
Esquema:	
<p style="text-align: center;">Aceite y lodos residuales</p> <p style="text-align: center;">$r = 250 \text{ mm}$</p> <p style="text-align: center;">$V = 97 \text{ L}$</p> <p style="text-align: center;">Aceite</p> <p style="text-align: center;">Lodos residuales</p>	

Hoja de especificación N° 10	
Bomba peristáltica	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Verderflex Ítem: PP-10	Fecha: 22 de agosto de 2016
Función: Transportar el aceite desde el tanque de decantación al tanque de almacenamiento.	
Operación: Continua	
Datos del diseño:	
Velocidad: 93 RPM	
Potencia: 0,18 kW (0,24 hp)	
Peso de la bomba: 12 kg	
Flujo volumétrico: 558 L/h	
Material de tubería en contacto con el aceite: Silicona y neopreno grado alimenticio	
Principio de operación: El fluido se captura en el interior de un tubo flexible a través del ciclo de bombeo. El tubo se dirige por un conjunto de rodillos giratorios y una carcasa fija. Estos rodillos aprietan el tubo y cogen un cierto volumen entre los rodillos adyacentes, el material del tubo se selecciona para que tenga una resistencia apropiada con el fluido a bombear (alcalino, ácido o solvente). Los materiales más comunes para el tubo son: PVC, PTFE, silicón, sulfuro de polifenilo y otros termoplásticos patentados (Mott, 2006, p. 390).	
Esquema:	

Hoja de especificación N° 11	
Filtro	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante:	Fecha: 23 de agosto de 2016
Ítem: PFL-11	
Función: Separa del aceite partículas grandes antes del transporte al tanque de almacenamiento	
Operación: Batch	
Datos del diseño:	
Área filtrante: 1,8 m ²	
Dimensiones de los marcos:	
- Largo: 350 mm	
- Ancho: 350 mm	
- Grosor: 25 mm	
Capacidad de filtración: 57,6 L/h	
Material: Marcos de acero inoxidable y medio filtrante de celulosa	
Principio de operación: El líquido a filtrar pasa por el medio filtrante, a medida que se filtra se forma la torta (sólidos insolubles) y va aumentando el espesor de la misma por lo que hay una caída de presión a través del filtro y disminuye el caudal de filtrado.	
Esquema:	
 <p style="text-align: center;">Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 273</p>	

Hoja de especificación N° 12	
Tanque de almacenamiento	
Identificación Fabricante: Inoxidables MT Ítem: PTK-12	N° requerido: 1 Fecha: 23 de agosto de 2016
Función: Almacenamiento aséptico y protegido del ambiente del producto final (aceite de sachá inchi)	
Operación: Batch	
Datos del diseño: Dimensiones: - Alto: 1 080 mm - Radio: 350 mm - Espesor: 4,8 mm Capacidad: 430 L	
Material: Acero AISI 304	
Principio de operación: Es un recipiente el cual es apto para el almacenamiento del aceite, posee válvula para descarga del producto.	
Esquema:	

Hoja de especificación N° 13	
Embotelladora	
Identificación	N° requerido: 1
Fabricante: Industrias LM Ítem: PA-13	Fecha: 30 de agosto de 2016
Función: Llenar un volumen constante (250 mL, aproximadamente) de aceite en las botellas.	
Operación: Continua	
Datos del diseño:	
Dimensiones:	
- Largo: 650 mm	
- Ancho: 460 mm	
- Alto: 450 mm	
Peso: 30 kg	
Capacidad: llenado de 10 a 20 botellas/min (en promedio 15 botellas de 250 cm ³ por minuto)	
Presión de trabajo: 0,4 – 0,6 MPa	
Equipo complementario: compresor de aire de mínimo 20 L de aire y de 2 hp de potencia	
Material: Acero AISI 304 y mangueras de plástico grado alimenticio.	
Principio de operación: El producto a envasar es alimentado o succionado desde una manguera, en la carrera de descarga el producto se deposita al contenedor (envase vidrio, PET, otros). La cantidad de producto a envasar es ajustada mediante una manivela, el ciclo de operación puede ser manual o automático, se regula la velocidad por medio de reguladores de flujo de aire.	
Esquema:	
	

Hoja de especificación N° 14	
Compresor de aire	
Identificación Fabricante: Campbell Ítem: SC-14	N° requerido: 1 Fecha: 30 de octubre de 2016
Función: Llevar el aceite del tanque de almacenamiento a la embotelladora de aceite	
Operación: Continua	
Datos del diseño: <ul style="list-style-type: none"> - Potencia del motor: 2 hp - Presión máxima: 125 psi - Voltaje: 110 V / 60 HZ - Capacidad del tanque: 75 L - Caudal de aire: 6,5 pie³/min a 40 psi 	
Material: Hierro fundido	
Principio de operación: Un compresor de aire aumenta la presión y desplaza fluidos compresibles como son los gases.	
Esquema:	
	

ANEXO IX

EVALUACIÓN ECONÓMICA

CONSUMO ELÉCTRICO CONSIDERADO

Tabla AIX.1. Consumo eléctrico anual

Equipo	Potencia kW	Consumo kW/h	Uso aproximado h/día	Total kW-h/día
Balanza	0,125	0,5	1	0,5
Criba	1	2,5	1	2,5
Descapsuladora	3	3,5	1	3,5
Calentador	6	4	1	4
secador	2	2,5	1	2,5
Prensa	4.8	4	2	8
Bomba	0,23	0,5	1	0,5
Llenadora	2	3	1	3
			Total día	24,5
			Total año	8 820
			Imprevistos 25%	2 205
			Total	11 025
			costo kW-h	0,091
			Costo anual \$	1 003,28

CONSUMO DE AGUA CONSIDERADO

Tabla AIX.2. Consumo anual de agua

Concepto	Valor	Unidad
Lavado semillas	800	L
Uso del personal	1200	L
Limpieza planta	1000	L
Subtotal consumo	3000	L
imprevistos	20 %	
Total diario	3600	L
Total diario	3,6	m ³
Costo unitario	0,72	\$
Total anual	933, 12	\$

OTROS COSTOS CONSIDERADOS

Tabla AIX.3. Otros costos

Concepto	Cantidad mensual	Cantidad anual	Costo unitario \$	Costo anual \$
Cubreboca	60	720	0,1	72
Cofia	60	720	0,1	72
Botas	1	8	20	160
Detergentes	4	48	25	1200
Escobas	2	24	2,5	60
Cepillos	1	12	2	24
Jabas plásticas		10	30	300
Otros 20%				377,6
			Total	1 588

INVERSIÓN

Tabla AIX.4. Activos fijos de producción

Cantidad	Equipo	Precio \$	Instalación/flete (5%)	Costo total \$
1	Balanza	1 500	-	1 500
1	Criba	2 000	100,00	2 100
1	Descapsuladora	7 000	350,00	7 350
1	Mesa de selección	620	31,00	651
1	Tanque de lavado	1 700	85,00	1 785
1	Calentador de agua	2 642,08	132,10	2 774,18
1	Secador	18 000	900,00	18 900
1	Prensa expeller	2 908,95	145,45	3 054,40
1	Tanque de decantación	400	20,00	420
1	Bomba peristáltica	2 000	100,00	2 100
1	Filtro de marcos y placas	2 500	125,00	2 625
1	Tanque de almacenamiento	1 745	87,25	1 832,25
1	Embotelladora	6 800	680,00	7 480,00
1	Compresor	500	50,00	550
1	Tubería de acero inoxidable y accesorios	300	15	315
5	Coches	150	-	750
			TOTAL	54 186,83

Tabla AIX.5. Activos fijos de oficina y ventas

Cantidad	Concepto	Precio unitario \$	Precio total \$
3	Computadoras, impresoras	950	2 850
3	Escritorio	130	390
10	Sillas	20	200
2	Microondas	140	280
1	Mesa	100	100
6	Sillas	15	90
1	Camioneta	45 000	45 000
1	Seguridad (cerca eléctrica, cctv*)	2 620	2 620
	TOTAL		51 530

*cctv=circuito cerrado de televisión

Tabla AIX. 6. Costo del terreno y obra civil

Concepto	Costo \$
Terreno	43 200
Construcción	37 920
Acabados	48 600
Muro y parqueaderos	8 660
TOTAL	138 380

PUNTO DE EQUILIBRIO

La Tabla AIX.7. muestra los valores de los costos fijos, costos variables y las ventas por un año por concepto de la actividad de extracción del aceite.

Tabla AIX. 7. Valores de costos fijos, variables y ventas anuales

Porcentaje %	Unidades producidas al año	Costo fijo \$	Costo variable total \$	Costo total \$	Ingreso total \$
0	0	71 845	0	71 845	0
7	6 243	71 845	27 746	99 591	37 457
14	12 485	71 845	55 493	12 7337	74 915
21	18 728	71 845	83 239	15 5084	112 372
28	24 970	71 845	110 985	18 2830	149 830
35	31 213	71 845	138 731	21 0576	187 287
42	37 456	71 845	166 478	23 8322	224 745
49	43 698	71 845	194 224	26 6069	262 202
56	49 941	71 845	221 970	29 3815	299 660
63	56 183	71 845	249 716	32 1561	337 117
70	62 426	71 845	277 463	34 9308	374 575
77	68 669	71 845	305 209	37 7054	412 032
84	74 911	71 845	332 955	40 4800	449 490
91	81 154	71 845	360 702	43 2546	486 947
98	87 396	71 845	388 448	460 292,71	524 405
100	89 180	71 845	396 375,37	468 220,21	535 106,75