

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

**DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE COLUTORIODENTAL
CON ACEITE ESENCIAL DE ROMERO (*Rosmarinus officinalis*)
EXTRAÍDO POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS (FSC).**

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

CRISTIAN ALEJANDRO ALMEIDA ORTIZ

DIRECTOR: ING. MARCELO FERNANDO SALVADOR QUIÑONES M. Sc.

Quito, Abril 2022

© Escuela Politécnica Nacional (2022)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Alejandro Almeida Ortiz, declaro bajo juramento 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.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Cristian Alejandro Almeida Ortiz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Almeida Ortiz Cristian Alejandro, bajo mi supervisión.

Ing. Marcelo Fernando Salvador Quiñones M. Sc
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la Pachamama, por brindarme el conocimiento e inspiración en cada paso de mi existencia, permitiéndome crear un mundo sustentable a partir del conocimiento del hombre, el cual me ha guiado a tomar conciencia de la realidad humana, razón por la cual, le debo todo mi sustento y protección a la naturaleza de este bello planeta.

A mis padres, Rafael Almeida y María Ortiz, por toda su paciencia, esfuerzo, dedicación y comprensión. A ellos les agradezco haberme permitido culminar mis estudios y seguir con mis proyectos. A mi madre, le agradezco por ser mi ejemplo de lucha ante el machismo y la desigualdad de la sociedad, por enseñarme a progresar esforzándome sin depender de nadie en cualquier lugar, tiempo y circunstancia.

A mi abuela Luz Acurio, le agradezco su amistad, sabiduría, consejo, amor incondicional, apoyo económico, sus enseñanzas sobre el valor del trabajo, la realidad de la vida, el amor al prójimo y por haber sido el sustento y el pilar de unión de toda una familia.

A mi hermana, Doris Almeida, quien se ha preocupado siempre por el futuro de su familia, apoyándome en mis metas. Al resto de mi familia que de una u otra forma han aportado un grano de arena a este objetivo. Agradezco a mis docentes por haberme enseñado el poder del conocimiento y los alcances que tiene para cambiar al mundo.

Al ingeniero Marcelo Salvador, por abrirme las puertas como parte de sus pupilos titulados y por la paciencia y tiempo al guiarme en este trabajo, por todo su apoyo durante el desarrollo de la tesis. Por compartir su experiencia y conocimientos conmigo. Muchas gracias por su valiosa amistad.

DEDICATORIA

A la Pachamama, por darme la vida y permitirme ver los últimos bosques y montañas que aún no daña el hombre.

A mi madre María Ortiz la cual admiro

A mi hermana, Doris Almeida, gracias por existir y regalarme inolvidables momentos y ayudarme a cuidar a mis animalitos.

A mi abuelita Lucita, la más grande guerrera y ahora mi ángel guardián A mis docentes y fuentes de conocimiento

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	ix
1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1. Estudio de mercado	1
1.1.1. Oferta	1
1.1.2. Demanda	1
1.1.3. Competidores	2
1.1.4. Segmento de mercado	3
1.2. Tipos de extracción de aceites esenciales	4
1.2.1. Extracción por enfleurage	4
1.2.2. Extracción por prensado	4
1.2.3. Extracción con solventes volátiles	4
1.2.4. Extracción por hidrodestilación	5
1.2.5. Extracción con fluidos supercríticos	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	7
2.1. Capacidad de producción	7
2.1.1. Cálculo de la población demandante potencial y efectiva	7
2.1.2. Capacidad de producción teórica	8
2.2. Localización de la planta	9
2.2.1. Macro-localización	9
2.2.2. Micro-localización	10
2.3. Proveedores de materia prima	11
2.3.3. Romero	11
2.3.4. Etanol	12
2.3.5. Aditivos químicos	12
2.4. Descripción del proceso por zonas de producción	12
2.4.1. Preparación y secado de hojas de romero	12
2.4.1.1. Clasificación y recepción	12
2.4.1.2. Pre secado o acondicionamiento	13
2.4.1.3. Secado	13
2.4.2. Extracción de aceite esencial	14
2.4.2.1. Molienda y tamizado	14
2.4.2.2. Extracción por fluidos supercríticos	14
2.4.3. Elaboración del colutorio dental	15

2.4.3.1. ..Mezclado	15
2.4.3.2. ..Envasado y empaquetado	15
2.5. Descripción del producto	15
3. CRITERIOS DE DISEÑO	17
3.1. Almacenamiento de materias primas	17
3.2. Clasificación y recepción de romero	18
3.3. Desinfección	19
3.4. Pre secado y secado	21
3.5. Molienda	23
3.6. Extracción por fluidos supercríticos y compresores	24
3.7. Mezclado y envasado	27
3.8. Tuberías	29
4. DISEÑO DE LA PLANTA	30
4.1. Diagrama de bloques (BFD) de colutorio dental de romero	30
4.2. Balance de masa	31
4.3. Balance de energía	33
4.4. Diseño y selección de equipos principales y secundarios	33
4.4.1. Selección de una banda transportadora	33
4.4.2. Selección del tanque de desinfección	34
4.4.3. Diseño de cuartos de pre secado y selección de secador	35
4.4.4. Selección de molino	38
4.4.5. Selección de equipo de fluidos supercríticos	38
4.4.6. Diseño y selección de tanque de mezclado	41
4.4.7. Selección de tanques almacenamiento y bombas centrífugas	43
4.5. Planificación de la producción	44
4.6. Diagrama de flujo (PFD)	46
4.7. Diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D)	50

4.8.	Disposición de la planta (LAY OUT)	54
4.8.1.	Análisis de proximidad.	54
4.8.2.	Distribución de la planta	56
5.	ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA	60
5.1.	Inversión del proyecto	60
5.2.	Egresos deducibles del proyecto	62
5.2.1.	Mano de obra directa e indirecta	62
5.2.2.	Materias primas	63
5.2.3.	Gastos	63
5.3.	Egresos no deducibles del proyecto	65
5.3.1.	Depreciación y amortización	65
5.4.	Ingresos y determinación del punto de equilibrio	66
5.5.	Flujo de caja	68
5.6.	Indicadores financieros para el proyecto	71
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6.1.	Conclusiones	73
6.2.	Recomendaciones	73
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1	Segmentación de mercado	3
Tabla 2.1	Composición química de colutorio dental	16
Tabla 4.1	Balance de masa del proceso	32
Tabla 4.2	Consumo energético de la planta de producción	33
Tabla 4.3	Parámetros de selección de la banda transportadora	34
Tabla 4.4	Parámetros de selección del tanque de desinfección	35
Tabla 4.5	Parámetros de diseño del cuarto de pre secado	37
Tabla 4.6	Parámetros de selección del secador de bandejas	37
Tabla 4.7	Parámetros de selección del molino de martillos	38
Tabla 4.8	Parámetros de selección del equipo de fluidos supercríticos	40
Tabla 4.9	Parámetros de diseño del tanque de mezclado	42
Tabla 4.10	Parámetros de diseño de la bomba de dosificación	43
Tabla 4.11	Parámetros de diseño de tanques de almacenamiento	44
Tabla 4.12	Horarios de actividades de la planta operación	46
Tabla 4.13	Operaciones de cada zona de riesgo	55
Tabla 4.14	Nomenclatura del de análisis de proximidad	55
Tabla 5.1	Inversión en maquinaria	60
Tabla 5.2	Inversión en construcción y terrenos	61
Tabla 5.3	Egresos de mano de obra directa	62
Tabla 5.4	Egresos de mano de obra indirecta	62
Tabla 5.5	Costos de materia prima	63

Tabla 5.6	Gastos fijos de la planta	64
Tabla 5.7	Egresos deducibles del proyecto	64
Tabla 5.8	Valor en libros de activos tangibles	65
Tabla 5.9	Depreciación de activos tangibles	65
Tabla 5.10	Ingresos por ventas de colutorio dental	68
Tabla 5.11	Flujo de caja del proyecto	70
Tabla 5.12	Valor presente	72
Tabla A.I.1	Método cualitativo por puntos	91
Tabla A.II.1	Densidad y viscosidad de la materia prima	92
Tabla A.V.1	Cinética de secado de la hoja de romero	134
Tabla A.V.2.	Valores para la linealización de la función k_{ya} vs Q	142
Tabla A.V.3.	Valores para la linealización de la función k_{xa} vs Q	143
Tabla A.V.4	Propiedades físicas del CO ₂ a 100 bar	155
Tabla A.V.5	Cálculo del tiempo de mezcla en función de las velocidades de motores comerciales	171
Tabla A.V.6.	Criterios de diseño de tanques de almacenamiento de glicerina, saborizante y éter lauril sulfato de sodio (SLES)	189
Tabla A.VI.1	Especificaciones banda transportadora	190
Tabla A.VI.2	Especificaciones del tanque de desinfección	191
Tabla A.VI.3	Especificaciones de cuarto de acondicionamiento	192
Tabla A.VI.4	Especificaciones de caldero	193
Tabla A.VI.5	Especificaciones de secador de bandejas	194
Tabla A.VI.6	Especificaciones de molino de martillos	195
Tabla A.VI.7	Especificaciones de equipo de extracción por FSC	196
Tabla A.VI.8	Especificaciones de tanque de mezclado	198

Tabla A.VI.9. Especificaciones de bomba dosificadora	199
Tabla A.VI.10 Especificaciones de tanque de almacenamiento de 1 500 gal	200
Tabla A.VI.11 Especificaciones de tanque de almacenamiento de 2 000 gal	201
Tabla A.VI.12 Especificaciones de tanque de almacenamiento de 550 gal	202
Tabla A.VI.13 Especificaciones de bomba centrífuga	203
Tabla A.VII.1 Diseño higiénico de las áreas de la planta de producción	204
Tabla A.VII.2 Superficies y dimensiones de la planta	206

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1	Equipo de extracción con solventes	4
Figura 1.2	Características de los fluidos supercríticos	6
Figura 1.3	Esquema de proceso fluidos supercríticos	6
Figura 2.1	Localización de la planta productora de colutorio bucal	11
Figura 2.2	Cuartos de acondicionamiento	13
Figura 3.1.	Criterios de diseño, capacidades y dimensiones de tanques de almacenamientos horizontales	17
Figura 3.2	Efecto de la temperatura y velocidad del aire en el tiempo de secado	21
Figura 3.3	Parámetros de selección de tuberías de alta presión	29
Figura 4.1	Esquema del proceso para obtención del colutorio dental de romero	31
Figura 4.2	Tanque de mezclado y sus relaciones dimensionales.	41
Figura 4.3	Diagrama de Gantt para las actividades propuestas en la planta de producción de colutorio dental de Romero	45
Figura 4.4	Diagrama de flujo (PFD) de la planta productora de colutorio dental	47
Figura 4.5	Diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D)	51
Figura 4.6	Análisis de proximidad entre procesos	55
Figura 4.7	Distribución de la planta de producción (LayOut)	57
Figura 4.8	Vista horizontal la planta de producción	58
Figura 4.9	Vista superior de la planta de producción	59
Figura A.III.1	Corrientes entrada y salida clasificación de hojas de romero	93
Figura A. III.2.	Corrientes entrada y salida desinfección	94
Figura A. III.3	Corrientes entrada y salida pre secado	96

Figura A. III.4.	Corrientes entrada y salida secado	97
Figura A. III.5.	Corrientes entrada y salida en el proceso de extracción	99
Figura A. III.6	Gráfica de extracción sólido líquido	103
Figura A. III.7	Corrientes entrada y salida en el separador del equipo de fluidos supercríticos	106
Figura A. III.8	Corrientes entrada y salida en la recirculación del equipo	106
Figura A. III.9.	Corrientes entrada y salida en el tanque de CO ₂	108
Figura A. III.10	Corrientes entrada y salida del mezclado	109
Figura A.IV.1.	Entalpías de entrada y salida de la clasificación de hojas de romero	112
Figura A.IV.2.	Entalpías de entrada y salida de la desinfección de hojas de romero	114
Figura A.IV.3	Carta psicrométrica a condiciones de acondicionamiento	115
Figura A.IV.4.	Entalpías de entrada y salida en el pre secado de hojas de romero	116
Figura A.IV.5	Entalpías de entrada y salida en el secado de hojas de romero	117
Figura A.IV.6.	Entalpías de entrada y salida en la molienda de hojas de romero	118
Figura A.IV 7.	Entalpías de entrada y salida en la extracción por fluidos supercríticos	119
Figura A.IV.8.	Entalpías de entrada y salida en el mezclado	120
Figura A.V.1.	Dimensiones de segmentos circulares	126
Figura A.V.2	Índice de bond	136
Figura A.V.3	Propiedades del CO ₂ a diferente presión y temperatura	137
Figura A.V.4	Valores aproximados de rendimientos	141
Figura A.V.5	Parámetros del modelo BIC	142
Figura A.V.6	Linealización de coeficiente de rendimiento k_y	143
Figura A.V.7	Linealización de coeficiente de rendimiento k_x	143
Figura A.V.8.	Gráfica para la determinación de factor de fricción a partir de: a.	

	gráfica de la rugosidad y b. diagrama de Moody	146
Figura A.V.9.	Esquema lecho fijo	149
Figura A.V.10	Tiempo adimensional de mezclado en función de número de Reynolds	170
Figura A.V.11	Número de potencia en función del número de Reynolds	172
Figura A.IX.1	Proforma del etanol 96 °	209
Figura A. IX.2	Proforma del lauril éter sulfato de sodio	210
Figura A. IX.3	Proforma de la sacarina sódica	210
Figura A. IX.4	Proforma del saborizante	211
Figura A. IX.5	Proforma de la clorhexidina	211
Figura A. IX.6	Proforma de la glicerina	212
Figura A. IX.7	Proforma de tanques de almacenamiento	213
Figura A. IX.8	Proforma de tanques de mezclado	213

RESUMEN

El proyecto de diseño de una planta de producción de colutorio dental tiene como objetivo generar un producto terminado a partir del romero producido en parcelas campesinas de asociaciones agrícolas. El romero tiene características antimicrobianas que pueden prevenirla formación de caries, gingivitis, etc. Se estima que la población demandante potencial es de 627 388 posibles compradores, lo que determina una capacidad de la planta de 150,64 t de colutorio dental, donde es necesario 59,75 t de romero fresco y 28,13 t de etanol. La planta de producción se ubicará en la parroquia de Moraspungo, lugar en el cual la planta podrá abastecerse de romero y etanol.

Las operaciones unitarias de la planta de producción de colutorio dental de romero son: clasificación, desinfección, pre secado, secado, molienda, extracción por fluidos supercríticos (FSC), mezclado y envasado, estas operaciones unitarias están ubicadas en tres diferentes zonas de acuerdo al riesgo de contaminación que tiene cada una.

La planta de producción de colutorio dental de romero tiene los siguientes procesos corazón: el secado que se realiza a una temperatura de 40 °C y una velocidad del aire de 2,5 m/s; la extracción por fluidos supercríticos que se realiza a una presión crítica de 250 bar, una temperatura crítica de 60 °C y con una concentración de cosolvente del 4 % m/m de etanol, lo que permite extraer 34,33 kg de aceite esencial que representa un rendimiento del 5 % de cada lote de romero; y el mezclado que se realiza a una velocidad de agitación de 37 RPM durante 9,5 min por cada lote para producir 627 388 unidades/mes de colutorio dental de romero.

La planta de producción demandará una inversión de 3 845 397,20 USD. El proyecto alcanzará una utilidad neta de 15 078 234,54 USD en el primer año, lo que permitirá recuperar el capital de inversión en el primer año. El punto de equilibrio del proyecto es 271 583 unidades y 698 702,72 USD. El flujo de caja calculado para 5 años de vida del proyecto determina los siguientes indicadores financieros: una tasa interna de retorno (TIR) de 369,59 % y un valor actual neto (VAN) de 63 609 338,08 USD.

INTRODUCCIÓN

La demanda de aceite esenciales en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica está creciendo. ABNEWswire (2018) proyecta que la demanda mundial de aceites esenciales crecerá de forma anual en un 8,5 % hasta el 2025. De acuerdo con los datos del Banco Central del Ecuador (2018), la exportación de aceites esenciales representó el 2,3 % de las exportaciones no petroleras, lo que generó 22 000 000,0 USD para Ecuador (p. 6). Los aceites esenciales producidos en la agroindustria ecuatoriana se comercializan en Brasil, Alemania y EEUU (Hernández, 2017, pp. 118-119).

La investigación y producción etnomédica y quimiotaxonómica de las plantas medicinales ha permitido industrializar aceites esenciales que están reemplazando a aditivos químicos regulados por sus efectos secundarios (Montoya, 2010, p.23). La clorhexidina es un aditivo químico bactericida cuya dosificación es controlada (0,12 %) y es el principal ingrediente de los enjuagues bucales comerciales, este bactericida genera la sensación de quemazón y manchan el esmalte dental. Los productos de enjuague bucal con clorhexidina son rechazados por algunos jóvenes del Ecuador que consideran a la higiene bucal poco importante. El uso de plantas medicinales es una alternativa para reducir la tasa de rechazo por estos colutorios bucales (Chávez y Tello, 2017, p. 16).

El aceite esencial de la planta de romero se ha usado en la medicina alternativa para tratar el ciclo menstrual, afecciones de piel, tónico cerebral, dolor de las piezas dentales, y como especia aromática en comidas tradicionales. Los di terpenos, fenoles, flavonoides, mono terpenos, sesquiterpenos y taninos presentes en el romero como el camphor, cineole, verbenone, etc. tienen propiedades contra biofilms de microorganismos como: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Streptococcus mutans* y *Streptococcus pyogenes* causantes de infecciones de garganta, caries y complicaciones quirúrgicas (Kreth, Merrin, Qil y Shi, 2005, p. 7193; Santoyo et al., 2005, p. 791).

La producción de nuevos productos bactericidas en la higiene bucal es muy importante para combatir enfermedades bucales, según la OMS indica que alrededor 5 mil millones de personas sufren de caries, lo que afecta hasta el 90 % de niños (OMS, 2004). Según el MSP (2010) afirma que “el 88,2 % de jóvenes hasta los 15 años presenta caries dentales, por lo cual se busca la educación y promoción de la salud bucal”.

La creación de una planta de producción de enjuague bucal a base de aceite esencial de romero fomentará la salud oral gracias a la creación de un colutorio dental de romero de 250 mL que permitiría atraer un nicho de mercado con una población que supera los 627 388 consumidores con deficiencia en la higiene bucal.

La composición de un colutorio dental con aceite esencial de romero es eficaz al combatir bacterias como: *Enterococcus faecalis*, *Porphyromonas gingivalis*, *Streptococcus mutans* y *Streptococcus viridans* causantes de gingivitis, caries dentales y otras infecciones bucales. Se estima que la concentración mínima bactericida de 0,5 % m/m de aceite esencial de romero genera el mismo efecto bactericida que colutorios con gluconato de clorhexidina al 0,12 % (Brancho, 2017, p. 60; Loja, 2017, p. 55). El colutorio dental de romero previene la formación de placa bacteriana sin afectar al esmalte dental a diferencia del gluconato de clorhexidina (Cueva, 2017, p. 82).

La industria demanda tecnología que reemplace los métodos convencionales de extracción que usan solventes químicos como el hexano para extraer aceites esenciales, estos solventes químicos generan elevados costos, contaminan el aceite esencial con trazas de solvente y reducen su pureza (Carrera, Velasco y Villada, 2007, p. 54). Además, los tiempos de extracción de aceites esenciales por métodos convencionales son más elevados y los rendimientos son menores (Martínez, 2004, p. 251).

El desarrollo de la extracción de aceites esenciales a partir de fluidos supercríticos

permitiría al Ecuador convertirse en uno de los mayores productores de algunos compuestos activos que son usados en la industria. En el Ecuador la extracción de aceites esenciales por fluidos supercríticos no existe a nivel industrial, pero las investigaciones a escala laboratorio del uso de fluidos supercríticos (FSC) han despertado su interés (Yáñez, 2019, p. 2).

La extracción de aceites esenciales a partir CO₂ supercrítico puede optimizar la extracción al controlar la temperatura y la presión en su punto crítico, donde las propiedades físicas del CO₂ gaseoso y líquido son iguales (Esquivel y Vargas, 2007, pp. 42-45; Martínez, 2004, p. 251). El CO₂ supercrítico incrementa los rendimientos de extracción sin afectar los componentes volátiles, reduce el tiempo de extracción, incrementa la pureza y selectividad de compuestos activos del aceite esencial, el CO₂ puede recuperarse al volver a su estado gaseoso, reduce gastos en solventes, reduce los efluentes químicos con residuos de hexano, etanol y otros solventes usados en métodos convencionales (Carrera et al, 2007, pp. 53-54; Espinoza, 2017, pp. 386- 388)

La aplicación de la tecnología de fluidos supercríticos puede beneficiar a los productores de romero de las comunidades agrícolas de: Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Imbabura, etc. (Balslev, Macia, Muriel, Navarrete, Torre, 2008, p. 390). La producción de romero en la sierra ecuatoriana puede abastecer la materia prima necesaria para el proceso de elaboración del colutorio dental. En Chimborazo, la Asociación de Productores de Plantas Medicinales de Chimborazo “Jambi Kiwa”, localizada en la ciudad de Riobamba, es una de las principales productoras de romero que podrían beneficiarse del desarrollo de esta industria en la región (Avalos, 2014, p. 33), debido a que el romero puede alcanzar un costo de 5,00 USD/kg (FIA, 2007, p. 3; Mejía, 2019, p. 17).

1. JUSTIFICACIÓN

1.1. ESTUDIO DE MERCADO

1.1.1. OFERTA

El cultivo de romero se produce en la sierra ecuatoriana en climas templados cálidos. En Riobamba, la Asociación de Productores de Plantas Medicinales de Chimborazo “Jambi Kiwa” es la mayor productora de romero, que abastece la demanda nacional e internacional. La producción de romero de acuerdo con la FIA (2007) estima que “las zonas de cultivo pueden producir 2 200 kg/ha (p. 3),

El romero producido en huertas familiares se vende a asociaciones de la sierra ecuatoriana que abastecen la demanda. En Tungurahua y Cotopaxi, el MAG ayuda con plantas medicinales certificadas a pequeños emprendedores. El 90 % de la producción de plantas medicinales es comercializado en el mercado interno, mientras que el 10 % es exportado por empresas intermediarias y asociaciones como: ALGRANEL, VIVEVERDE, CEDEIN, JAMBI KIWA, etc. (Avalos, 2014, pp. 65-95),

Las industrias buscan aceites esenciales con altas purezas, que reemplacen los aditivos y conservante químicos. En el Ecuador se producen aceites esenciales de especias como: albahaca (*Ocimum basilicum L*), cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), orégano (*Origanum vulgare*), etc. (Ortega y Usca, 2018, pp. 7-26). Las empresas como AROMALAB, AROMCOLOR, entre otras, distribuyen aceites esenciales en el Ecuador en presentaciones desde 10 mL. Los precios de estos productos son muy elevados, dada la poca industria en el país.

1.1.2. DEMANDA

La demanda por colutorios dentales se ha incrementado considerablemente debido

a las recomendaciones de odontólogos sobre el uso colutorios dentales antes de las consultas y después de cada comida para reducir el riesgo de enfermedades bucales (Bernal et al., 2020).

La demanda de plantas medicinales como el romero, cascarilla, eucalipto, etc. se ha incrementado en la ciudad de Quito debido a las creencias populares que afirman ser útiles para el tratamiento del COVID-19 (Bernal et al., 2020). El Universo (2020) reporta que “durante la pandemia el consumo de productos naturales como extractos, aceites e infusiones de hierbas medicinales han incrementado en todo el país”. Lo que representa una gran oportunidad para satisfacer las nuevas necesidades que se han generado en el mercado.

Los extractos de plantas medicinales usadas durante la pandemia han abierto un nicho de mercado en el ámbito nacional como internacional. La industria busca aceites esenciales con mayores purzas para sus productos. Estudios de mercado realizados para nuevos enjuagues bucales orgánicos libres de compuestos como clorhexidina, han mostrado que el 94,59 % de la población está dispuesta a utilizar un colutorio dental que no presente químicos (Basurto, 2019, p. 41).

El 99 % de la población de Ecuador consume alimentos cariogénicos al menos una vez al día, por lo cual necesitan mantener su higiene bucal. El 45 % de esta población tiene una salud oral entre buena a muy excelente, esta población demanda de productos de higiene bucal como: pasta de dientes, cepillos de dientes, enjuagues bucales, etc. (Villavicencio, 2017, pp. 44-47). Ecuador también exporta enjuagues bucales a otros países como Perú y Colombia que demandan estos productos dado el alto índice de caries que tiene su población (Basurto, 2019, p. 19).

Pocas empresas pueden abastecer la demanda nacional de producción de colutorios dentales, muchos de estos productos son importados por empresas como Blenastor, ESSEL, etc., que distribuyen sus productos a la competencia local (Cabezas, 2019, p.23).

1.1.3. COMPETIDORES

La venta de colutorios dentales es muy amplia en el Ecuador, los más conocidos son: BucoralColgate, Listerine, Oral B, etc. La presentación más vendida de estos enjuagues bucales es de 250 mL. Estos productos son distribuidos en grandes cadenas de supermercados como Fybeca, Supermaxi, etc., con costos entre 3,00 y 7,00 USD.

Grupo Corporativo Cid es la mayor empresa dedicada a la fabricación de productos de salud oral en el Ecuador, estos productos como pastas de dientes, medicamentos y colutorios dentales se comercializan el 90 % a nivel nacional y el 10 % en mercados extranjeros como Chile donde exportó por primera vez cerca de 100 000 unidades de productos de salud oral (Revista Líderes, 2020). NatureFresh S.A. es otra empresa en el Ecuador dedicada a la producción de colutorios dentales libre de químicos dañinos cuyos productos han sido exportados hacia Perú dado la alta demanda que existe en este mercado (Basurto, 2019, p. 19).

1.1.4. SEGMENTO DE MERCADO

En la Tabla 1.1 se muestra la segmentación de mercado en función de las variables geográfica, demográfica, psicográfica y de conducta que permite definir el nicho de mercado ideal para la distribución del colutorio dental con aceite esencial de romero para prevención de caries, gingivitis, etc.

Las variables de la segmentación de mercado se eligen de acuerdo a: la variable geográfica determinó a la población que vive en ciudades que cuentan con grandes cadenas de supermercados; la variable demográfica analiza a toda la población a la que se recomienda tener una adecuada higiene oral; la variable psicográfica se establece de acuerdo a la posición social de la población considerada; y la variable conductual se establece en función de la tendencia de higiene oral de la población.

Tabla 1.1. Segmentación de mercado

Variable geográfica	Variable demográfica	Variable psicográfica	Variable de conducta
El colutorio dental se distribuirá en Ambato, Cuenca, Guayaquil, Ibarra, Latacunga, Loja, Machala, Manta, Riobamba, Quevedo, Quito, Portoviejo, Machachi, Santo Domingo y Tulcán	Habitantes entre los 5 y 65 años de edad	Habitantes de clase social alta y media alta	Personas con deficiencia en higiene bucal
8 822 783	83,64 %	13,10 %	64,90 %

(Chávez y Tello, 2017, p. 16; INEC, 2011, p. 9, Rodríguez, 2012, pp. 13- 50; Supermaxi, 2020).

1.2. TIPOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

1.2.1. EXTRACCIÓN POR ENFLAURAGE

La extracción de aceites esenciales a partir de grasas es un proceso muy utilizado por nuestros antepasados. Los aceites esenciales liposolubles se ponen en contacto con alguna grasa vegetal o animal a una temperatura determinada para su extracción. La separación del aceite esencial de la grasa ocurre con ayuda de etanol. Esta técnica tiene un bajo rendimiento y un difícil proceso de separación, por lo cual no es usada a nivel industrial (Alcaraz, Real, Rodríguez, 2012, p. 9).

1.2.2. EXTRACCIÓN CON SOLVENTES VOLÁTILES

El método de extracción Soxhlet de la Figura 1.1 es el más utilizado a escala industrial, el aceite esencial se pone en contacto con solventes volátiles como el etanol, el hexano. Los solventes químicos ayudan a extraer al aceite esencial a determinadas condiciones de presión y temperatura, además combinan la técnica de extracción microonda con el método Soxhlet acetona, etc. Los rendimientos de extracción son altos, pero pueden contaminar al aceite esencial (Alcaraz et al., 2012, p. 8).



Figura 1.1. Equipo de extracción con solventes
(Alcaraz et al., 2012, p. 29)

1.2.3. EXTRACCIÓN POR PRENSADO

El aceite esencial de algunas plantas medicinales puede extraerse a partir de presión, al exprimir de forma mecánica la matriz vegetal, para posteriormente filtrarla. Este método no utiliza ningún tipo de solvente para extraer el aceite y es muy común en la extracción de esencias cítricas y aceites de semillas. La extracción por prensado presenta bajos rendimientos de extracción, por lo cual no es comúnmente usada en la extracción de aceites esenciales (Alcaraz et al., 2012, p. 9).

1.2.4. EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN

Es un proceso que extrae el aceite esencial gracias a las propiedades físicas que presenta el vapor saturado. El vapor saturado se pone en contacto con la matriz vegetal para la extracción del aceite esencial y los rendimientos de este proceso dependen si la materia prima es hidrosoluble. El aceite esencial se separa con ayuda de un condensador y un florentino. La hidrodestilación es un proceso que tiene largos tiempos de residencia y muy bajos rendimientos, por lo cual es una alternativa económica pero poco efectiva (Alcaraz et al., 2012, p. 19).

1.2.5. EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Este método de extracción permite mejorar los rendimientos y pureza de los aceites esenciales con la ayuda del CO₂ supercrítico y el etanol a bajas concentraciones. La variación de la presión y temperatura durante el proceso permite separar el aceite esencial de la matriz vegetal sin afectar los componentes volátiles.

Los fluidos supercríticos se obtienen al superar el punto crítico donde el estado líquido y gaseoso coexisten a una presión y temperatura crítica como se observa en la Figura 1.2, en el punto crítico las propiedades físicas como densidad, viscosidad, difusividad, etc. del CO₂ líquido y gaseoso son iguales e incrementan o disminuyen al variar temperatura y la presión crítica. El CO₂ supercrítico no es tóxico, se volatiliza fácilmente, no es inflamable y alcanza su punto crítico a una baja presión y temperatura (Martínez, 2004, p.251).

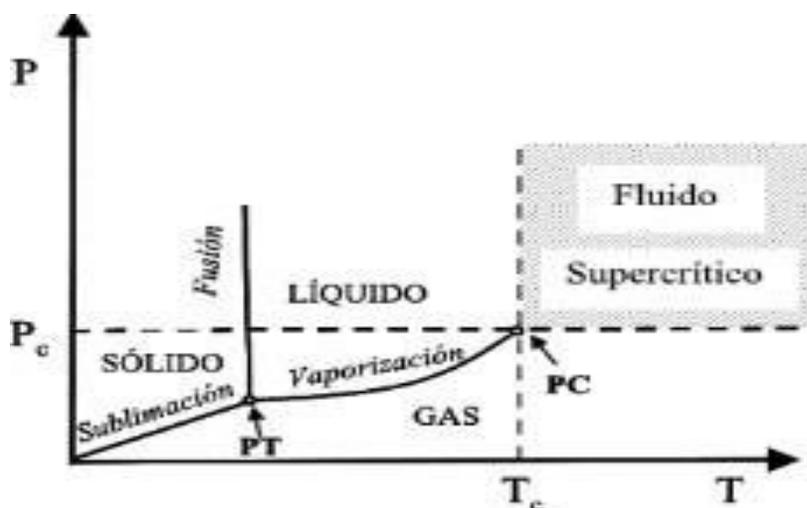


Figura 1.2. Características de los fluidos supercríticos
(Martínez, 2004, p. 251)

El punto crítico del CO₂ se obtiene a una temperatura de 31,1 °C y a una presión de 7,27 MPa, valores que pueden variar según la matriz vegetal. Adicionar etanol como cosolvente inicial a la matriz vegetal permite incrementar los rendimientos y acelerar la extracción del aceite esencial. En la Figura 1.3 se observa el esquema del equipo

de fluidos supercríticos (Martínez,2004, p. 251).

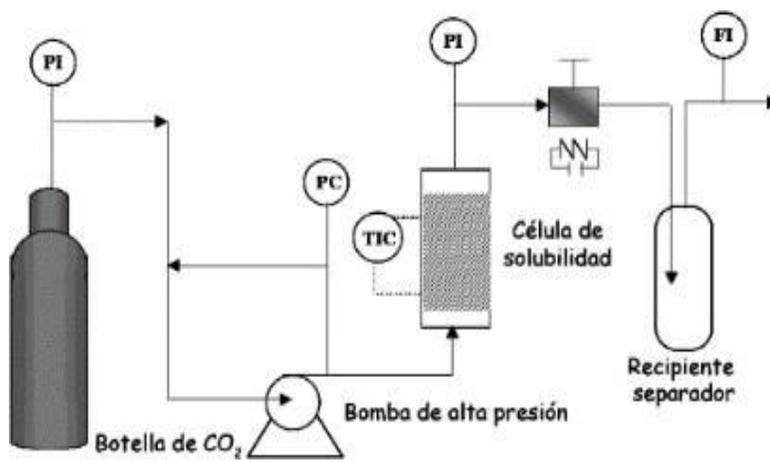


Figura 1.3. Esquema de proceso FSC
(Martínez, 2004, p. 251)

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

2.1.1. CÁLCULO DE LA POBLACIÓN DEMANDANTE POTENCIAL Y EFECTIVA

Los mayores distribuidores de colutorios dentales de 250 mL son las cadenas de supermercados de la corporación La Favorita presentes en: Ambato, Cuenca, Guayaquil, Ibarra, Latacunga, Loja, Machala, Manta, Riobamba, Quevedo, Quito, Santo Domingo y Tulcán (SUPERMAXI, 2020). En estas ciudades donde habitan 8 822 783 personas (INEC, 2020), el 83,64 % de sus

habitantes están entre 5 a 65 años de edad (INEC, 2011, p. 9; Rodríguez, 2012, pp. 13- 50), y solo el 13,10 % de estos tiene nivel socio económico alto y medio alto, y de estos el 64,90 % presenta una higiene bucal deficiente, lo que determina a partir de la Ecuación 2.1 una población demandante potencial de 627 388 posibles consumidores de colutorios dentales que buscan reducir la incidencia de caries y gingivitis (Ortega, Guerreiro y Aliaga, 2018, p. 24).

$$N = P \times VD \times VP \times VC \quad [2.1]$$

$$N = 8\,822\,783 \times 0,836 \times 0,131 \times 0,649 \approx 627\,388$$

Donde:

N: Población demandante potencia

IP: Población geográfica

VD: Fracción variable demográfica

VP: Fracción variable psicográfica

VC: Fracción variable conductual

El estudio de mercado para enjuagues bucales orgánicos realizado por Basurto (2019) muestra una tendencia de consumo del 94,59 % de los consumidores encuestados (p.41). Esto determina una población demandante efectiva de 593 447 habitantes calculada con la Ecuación 2.2.

$$Ne = N \times a \quad [2.2]$$

$$Ne = 627\,388 \times 0,9459 = 593\,446,31$$

Donde:

- a:** Tendencia de consumo del mercado
- N:** Población demandante potencial
- Ne:** Población demandante efectiva

2.1.2. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN TEÓRICA

El producto que se obtiene entre la segmentación de mercado y la población demandante potencial de acuerdo a la Ecuación 2.3 determina la capacidad de producción de la planta de colutorio dental con romero es de 156,85 m³/mes.

$$CP = N \times V_e \quad [2.3]$$

$$CP = 627\,388 \times 0,250 L \times \frac{1 m^3}{1\,000 L} = 156,85 \frac{m^3}{mes}$$

Donde:

- CP:** Capacidad de proceso [m³/mes]
- N:** Población demandante potencial
- Ve:** Volumen de empaque [L]

La Ecuación 2.4 permite determinar el porcentaje de la población que podría adquirir el

producto en el futuro al obtener la diferencia entre la población demandante potencial y la población demandante efectiva. Esta relación obtenida estima un posible crecimiento de la demanda de 5,4 % de la población restante.

$$\%D = \frac{N - N_e}{N} \times 100 \% \quad [2.4]$$

$$\%D = \frac{627\,388 - 593\,447}{627\,388} \times 100 \% = 5,4 \%$$

Donde:

N: Población demandante potencial

Ne: Población demandante efectiva

%D: Porcentaje de mercado disponible

2.2 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Para la localización de la planta productora de colutorio dental con aceite esencial de romero extraído a partir de fluidos supercríticos se realizó un análisis de la macro y micro localización. La macro localización permite identificar la provincia donde se construirá la planta de producción, mientras que la micro localización analiza de forma cualitativa las posibles zonas donde se levantará la planta, al identificar factores benéficos como: menores costos, materias primas, servicios básicos, etc. (Machicado y Quiroga, 2016, p. 29-33).

La selección de la localización se determinó con métodos cualitativos que analizan factores como: los antecedentes de las industrias, la ubicación de materias primas, etc., además métodos cuantitativos que genera valores a los factores más importantes, estos valores son cuantificados y ponderados, lo que permite tomar una decisión más acertada de la localización de la planta procesadora (Machicado y Quiroga, 2016, p. 29-33).

2.2.1 MACRO-LOCALIZACIÓN

La provincia de Cotopaxi es la mejor opción para los cultivos de romero por su topografía en la parte limítrofe con las provincias de Los Ríos y Santo Domingo, donde los climas son templados, ideales para la producción de romero. Las asociaciones campesinas asentadas en estas zonas producen y comercializan el romero, etanol y una gran variedad de especias y plantas medicinales que abastecerán a la planta procesadora de colutorio dental (Vargas, 2012, p. 20).

Se estima que la pequeña producción agrícola de plantas medicinales en Cotopaxi supera las 2 ha. El MAG (2020) realizó planes de apoyo con plantas medicinales certificadas a las asociaciones y emprendedores de Cotopaxi para promover el desarrollo de la economía familiar.

La provincia de Cotopaxi es un punto estratégico por sus carreteros que permiten transportar las materias primas a las grandes ciudades de Quito, Ambato, Quevedo, Guayaquil, etc., y se encuentra cerca de puertos marítimos y aeropuertos, por lo cual, es importante la creación de programas de acopio de estas plantas para desarrollar la producción (Vargas, 2020, p. 20).

2.2.2 MICRO-LOCALIZACIÓN

La forma óptima de definir una localización es a partir del método cualitativo por puntos calculados en el Anexo 1, donde se definen varios factores de localización como económicos, geográficos, institucionales y sociales, los cuales permiten encontrar la mejor localización para la planta de producción.

Los factores de localización se les designa un valor entre 0,00 y 1,00 el cual se denomina factor de importancia. Los factores de localización tienen una puntuación entre 1 al 10, donde 1 representa que el factor no es óptimo y 10 representa que el

factor si es óptimo. La suma de los valores de la multiplicación entre los factores de importancia y las calificaciones de los factores de localización permitieron determinar la selección del lugar de ubicación de la planta.

Los lugares seleccionados para la posible ubicación de la planta de producción de colutorio dental estarán ubicados en la provincia de Cotopaxi, en las siguientes posibles zonas: en el parque industrial Pujilí, zona rural parroquia Moraspungo del cantón Pangua, zona rural recinto la esperanza del cantón La Mana (Urbina, 2010, pp. 87). Los factores de localización seleccionados son los siguientes:

- **Clima:** Por la precipitación, humedad relativa y temperatura de las zonas analizadas
- **Topografía:** Zonas para cultivos, pendiente de terrón, fuentes de agua y suelos fértiles.
- **Permisos municipales:** Permisos de funcionamiento, licencias ambientales, etc.
- **Mano de obra:** Personal capacitado y adaptable.
- **Materia prima:** Precio y cercanía a los insumos.
- **Servicios básicos:** Cobertura de Internet, agua, luz, transporte público y alcantarillado.
- **Cercanía a escuelas y servicio de salud:** Acceso a salud y educación de los trabajadores y sus familias.
- **Cercanía del mercado:** La cercanía a los mercados objetivos es indispensable para reducir el costo en transporte de los productos.
- **Costo de terreno:** Los terrenos a menor precio incrementan la factibilidad de un proyecto.

Los factores analizados en la zona rural de la parroquia Moraspungo muestran que esta zona es ideal para implementar la planta que se propone como se observa en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Localización de la planta productora de colutorio bucal
(Google Maps, 2021)

En la Tabla A.1 muestra que la mejor localización para la planta de producción es la zona rural de la parroquia Moraspungo, en el Cantón Pangua, provincia de Cotopaxi en la vía Quinsaloma-Moraspungo. La parroquia Moraspungo tiene una gran producción de etanol, terrenos a bajos costos y vías de primer orden que se conecta con diferentes vías de la sierra y costa ecuatoriana.

2.3. PROVEEDORES DE MATERIA PRIMA

2.3.3. ROMERO

El romero es una planta medicinal cuyas hojas están ubicadas de forma lineal en un arbusto, las hojas tienen hasta 3 cm de largo, y el cultivo se realiza hasta los 2 800 msnm. Las hojas de romero se usan en infusiones, antisépticos, diuréticos, etc. (Castro et al., 2013, p. 23)

La Norma NTE INEN-ISO 11164 "*Romero desecado (Rosmarinus officinalis L.). especificaciones*" indica que las hojas deben estar libre de hongos e insectos y un olor típico a alcanfor, la humedad del romero fresco debe oscilar entre el 70 al 80 % y la humedad máxima del romero seco será 11 %, la concentración de cenizas solubles e insolubles máxima será 8 % y 1 % y la concentración de aceite esencial mínimo de 0,8

% (INEN, 2010a, ISO, 2004b). El principal proveedor de esta materia prima será la asociación JAMBI KIWA de Chimborazo cuya producción de más de 10 ha podría abastecer la demanda de la planta de producción

2.3.4. ETANOL

El etanol necesario para el proceso de producción del colutorio dental debe tener los requisitos planteados en la norma INEN 375 "*Requisitos para el etanol rectificado*" donde se establece que el etanol debe tener 95° GL, una concentración de 8 % de metano, 0 % furfural y 2 % de aldehídos (INEN, 1987). La asociación de cañicultores de Pangua y la fundación MAQUITA, son los principales proveedores de etanol y agua ardiente en Cotopaxi (Maquita, 2020).

2.3.5. ADITIVOS QUÍMICOS

Empresas como REFAQUIM S.A, Ecu química, La Casa del Químico o AromColor proveen de insumos como la glicerina, sorbitol, éter-sulfato de sodio, sacarina sódica, sabores y colorantes necesarios para la producción del colutorio dental (Refaquim, 2020, La casa del químico, 2020). La clorhexidina en cambio debe ser importada dado que no existe producción de este químico en el Ecuador.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO POR ZONAS DE PRODUCCIÓN

2.4.1. PREPARACIÓN Y SECADO DE HOJAS DE ROMERO

2.4.1.1. Clasificación y recepción

Es la etapa donde las hojas con imperfectos como manchas o daños por insectos son

separadas, en algunas empresas se procede a desinfectar las hojas para eliminar la carga microbiana presente en las hojas. La desinfección de plantas aromáticas no es frecuente, pero es un proceso necesario para asegurar la calidad de la materia prima. Las hojas de romero son sumergidas en una solución desinfectante y luego son colocadas en bandejas para escurrir el agua sobrante y poder tomar el peso de las hojas desinfectadas (Acosta et al., 2002).

2.4.1.2. Pre secado o acondicionamiento

Las hojas de romero desinfectadas con una humedad entre el 70 al 80 % se almacenan en cuartos oscuros con temperaturas entre 30 a 40 °C, humedad relativa del 45 % y buena ventilación durante 1 o 2 días hasta alcanzar una humedad de saturación entre el 50 al 55 %. Estos cuartos de almacenamiento tienen características en sus materiales que le permiten aprovechar la energía solar para acelerar la deshidratación. Estos cuartos pueden crearse con nylon negro, polietileno transparente o en macro túneles, estos materiales mantienen la temperatura interna como se observa en la Figura 2.2. Esta operación es fundamental para el control de hongos en las hojas, por lo cual, las hojas deben voltearse diariamente (Almada, Cáceres, Machain y Pulfer, 2005, pp. 10-14).



Figura 2.2. Cuartos de acondicionamiento
(Banchero, Carballo y Telesca, 2008, pp. 24-27)

2.4.1.3. Secado

La hoja de romero se somete al contacto con el aire que tiene una baja humedad relativa que permite evaporar la humedad libre de las hojas. El secador de bandejas permite controlar las condiciones de operación para acelerar la eliminación de agua de la superficie de la hoja.

El secado se genera en tres fases: la fase de estabilización donde el agua de la superficie del sólido se transfiere al aire gracias a un gradiente de temperatura entre el aire y el sólido; la fase de velocidad constante en la cual el agua líquida de la superficie del sólido migra en un flujo constante hacia el aire; y por último la fase de velocidad decreciente en donde la poca humedad aún presente en el sólido está ligada y tiene mayor dificultad de transferir agua al aire, en esta etapa la temperatura del sólido se asemeja a la del aire, por lo cual disminuye el gradiente de temperatura y la tasa de secado.

La hoja de romero cuando alcanza el 54 % de humedad relativa se seca en un secador de bandejas a temperatura de 40 °C y velocidad de aire de 2,5 m/s hasta alcanzar una humedad final de 9,5 % (Palomino, 2016, p. 37; Quilca, 2016, pp. 12-75). El control de la temperatura es muy importante para evitar daños durante el secado.

2.4.2. EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL

2.4.2.1. Molienda y tamizado

Cuando la hoja alcanza la humedad final de 9,5 % es sometida al proceso de molienda, donde se reduce el tamaño de partícula para facilitar la extracción del aceite esencial y se tamiza para obtener una partícula más uniforme. Se estima que los mejores rendimientos se pueden obtener con partículas de tamaño de 0,66 mm (Carvalho, Meireles, Moura y Rosa, 2005, p. 201).

2.4.2.2. Extracción por fluidos supercríticos

La matriz vegetal triturada entra a un tanque de extracción y se adiciona un 4 % m/m de etanol para mejorar la extracción del aceite esencial, luego se eleva la temperatura a 60 °C hasta alcanzar una presión de 250 bar. El CO₂ supercrítico pasa por la matriz vegetal y el extracto de etanol, en donde extraerá todo el aceite esencial. La mezcla aceite esencial y CO₂ supercrítico pasa al tanque separador, dentro del cual, la presión es reducida a 100 bar y 30 °C para permitir al CO₂ cambiar su estado supercrítico al estado gaseoso, lo que facilita la separación del aceite esencial (Santoyo et al., 2005, p. 791).

El CO₂ es separado del aceite esencial de romero y es enfriado a 20 °C con una presión de 100 bar, para luego ser recirculado al tanque de almacenamiento de CO₂ para reutilizarse en la siguiente extracción

Los tanques de almacenamiento de CO₂ se diseñarán en función del flujo de CO₂ necesario para la extracción del aceite esencial de romero, en caso de que los tanques comerciales de CO₂ presurizados disponibles en el mercado no abastezcan la capacidad de la planta, se diseñará el tanque de almacenamiento de CO₂. Por último, el aceite esencial de romero obtenido en los tanques de separación pasa a un tanque de mezclado donde será mezclado con otros aditivos para elaborar el colutorio dental.

2.4.3. ELABORACIÓN DEL COLUTORIO DENTAL

2.4.3.1. Mezclado

Los ingredientes necesarios para la elaboración del colutorio dental pasan a un tanque de mezclado con la ayuda de bombas centrífugas, donde se mezclarán a una temperatura de operación de 40 °C con un agitador tipo turbina que puede mezclar emulsiones con viscosidades de hasta 100 cP, la velocidad de agitación dependerá del

tiempo necesario para generar la emulsión de los componentes a temperatura ambiente y posterior envase (Castillo, 2013, p. 6). Las bombas se seleccionarán en función de las características físicas químicas de la sustancia, el caudal del fluido, la presión y distancia que se desplacen los fluidos en la planta de producción.

2.4.3.2. Envasado y empaquetado

Por último, los ingredientes del colutorio dental de romero forman una emulsión durante el mezclado, la cual será envasada en frascos cilíndricos de 250 mL con la ayuda de una línea de embotellado y dosificación para posteriormente ser empaquetado en cajas de 12 unidades.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto es una emulsión cuya composición lo clasifica como un enjuague bucal según la norma NTE-INEN-ISO 11 164: " *Dentistry Oral Hygiene products Oral rinses*" donde se define un enjuague bucal como la formulación líquida utilizada para higiene bucal (ISO, 2004a). De acuerdo con la norma ISO 16 408 " *Dentistry-Oral hygiene-Oral rinses*" el colutorio debe tener un valor de pH entre 5,5 y 10,5; con una cantidad de ion fluoruro que no exceda 125 mg/kg, y una concentración de metales pesados de 120 mg/kg (INEN, 2014; ISO, 2004b). En la Tabla 2.1 se detalla la composición química del colutorio dental de romero.

En las Tablas 2.1 y A.2.1 se observa la concentración y propiedades físicas importantes a considerar en el mezclado de los componentes de la emulsión, estos componentes son: espumante tensoactivo éter-sulfato de sodio; humectante glicerina y sorbitol; alcohol (96°) para conservar y disolver el aceite esencial; aceite esencial de romero usado como antimicrobiano; gluconato de clorhexidina fortificante del efecto antimicrobiano; saborizante de menta; endulzante sacarina sódica; colorante verde y

agua en cantidad suficiente para 250 mL. Esta composición presenta una capacidad antibacteriana eficiente ante microorganismos causantes de las caries y gingivitis (Loja, 2017, p. 51; Lara, 2009, p. 33. Mosquera y Veloz, 2011, p. 20).

Tabla 2.1. Composición química de colutorio dental

Compuesto	Concentración [% m/m]	Propósito
Éter-sulfato de sodio	3,75	Tensoactivo para espumar
Glicerina	18,38	Humectante
Sorbitol	5,63	Humectante
Alcohol (96°)	12,50	Conservante y disolvente
Aceite esencial de romero	0,50	Antimicrobiano
Gluconato de clorhexidina	0,02	Antimicrobiano
Menta	4,00	Saborizante
Sacarina sódica	0,04	Endulzante
Colorante verde	5,20	Colorante
Agua	50,00	Base de mezcla

(Loja, 2017, p. 51; Lara, 2009, pp. 33-36. Mosquera y Veloz, 2011, p. 20).

3. CRITERIOS DE DISEÑO

3.1. ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

De acuerdo con Walas (1990) los tanques de almacenamiento de cantidades menores a 5 000 galson horizontales y tienen un volumen nominal estandarizado por la norma ASME sección VIII para tanques de almacenamiento (p. 622). Los tanques de almacenamiento se seleccionarán en función del balance de masa que determinará el volumen de cada materia prima necesaria para la producción del colutorio dental de romero. La Figura 3.1 muestra las capacidades nominales de los tanques de almacenamientos horizontales comerciales y sus dimensiones

a. Small Horizontal Underwriter Label				
Capacity Gallons	Dimensions			Weight in Pounds
	Diameter	Length	Thickness	
280	42"	4' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	540
550	48"	6' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	800
1000	48"	10' - 8"	$\frac{3}{16}$ "	1260
1000	64"	6' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	1160
1500	64"	9' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	1550
2000	64"	12' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	1950
3000	64"	18' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	2730
4000	64"	24' - 0"	$\frac{3}{16}$ "	3510

P (psig)	0-250	251-500	501+
L/D	3	4	5

Figura 3.1. Criterios de diseño, capacidades y dimensiones de tanques de almacenamiento horizontales
(Walas, 1990, pp. 612-666)

Para seleccionar los tanques de almacenamiento es necesario calcular los parámetros de diseño a partir de las Ecuaciones 3.1 a 3.4 que permitirán determinar la presión hidrostática en función de la altura del líquido y sus presiones de diseño y operación.

$$\dot{Q}_i = m_i / \rho_i \quad [3.1]$$

$$P_h = \rho_i \times g \times H_i \quad [3.2]$$

$$P_{max} = P_{atm} + P_h \quad [3.3]$$

$$P_D = P_{max} + 24,65 \quad [3.4]$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad [m/s²]

H_i: Nivel del líquido [m]

m_i: Masa del compuesto [kg]

P_{atm}: Presión atmosférica [PSI]

P_D: Presión de diseño [PSI]

P_h: Presión hidrostática [PSI]

P_{max}: Presión de operación máxima [PSI]

Q_i: Caudal del compuesto [m³/s]

ρ_i: Densidad del compuesto [kg/ m³]

3.2. CLASIFICACIÓN Y RECEPCIÓN DE ROMERO

Las hojas de romero cosechadas con una humedad del 75 % ingresan a la planta procesadora, en la cual se revisa que la materia prima no esté lignificada y no presente flores, las ramas de romero deben tener una longitud entre 15 a 20 cm y deben permanecer el menor tiempo expuestas al sol (Bernal, 2014, p. 66; Cortez, Cañón, Rodríguez y Pérez 2014, pp. 32-34). En la clasificación, las hojas no pueden tener puntas negras y deben estar libres de cualquier enfermedad, se estima que el porcentaje de pérdidas en la post cosecha puede ser de 5 al 15 % (Cuervo, Figueredo. Rodríguez, Rodríguez y Pulido, 2017, pp. 69-100).

El uso de una banda transportadora facilita las operaciones de clasificación. El tiempo que tome la operación de clasificación depende de la velocidad de la banda

transportadora, la cual es fabricada con una velocidad estándar de 0,84 m/s de acuerdo al fabricante y a la norma DIN 22101 “*Belt conveyors for loose bulk materials*”. El largo de la banda transportadora será de 4 m que permitirá colocar un operario por cada metro de la banda transportadora. Las banda transportadoras son fabricadas con una banda de PVC y su estructura de acero inoxidable (FABERG, 2002). Los parámetros necesarios para la selección de la banda transportadora se calculan con las Ecuaciones 3.5, 3.6 y 3.7 (Salinero, 2013, pp. 72-103).

$$Q_v = 3\,600 \times v \times A \times k \quad [3.5]$$

$$Q_m = Q_v \times \beta \quad [3.6]$$

$$P = \frac{C_b \times v + Q_m}{C_l \times k_f} \quad [3.7]$$

Donde:

A: Área de la sección transversal [m²]

C_b: Factor de ancho de banda [kg/m]

C_l: Factor de longitud de la banda [m⁻¹]

k: Coeficiente de reducción por capacidad de inclinación

k_f: Factor de servicio

P: Potencia para mover la cinta [kW]

Q_m: Capacidad de transporte [t/h]

v: Velocidad de la banda transportadora [m/s]

Q_v: Capacidad volumétrica [m³/h]

β: Peso específico hojas de romero [t/m³]

3.3. DESINFECCIÓN

Una vez clasificadas y separadas las hojas con desperfectos y los restos leñosos, las hojas clasificadas son desinfectadas. Acosta et al. (2002) indican que 100 L de

solución de NaClO al 0,5 % m/m desinfecta 24 kg de romero al sumergirlas en un tanque durante 5 min. Los tanques de desinfección son diseñados de acuerdo al volumen que se procesará y al tiempo que durará el proceso, en estos tanques es ideal generar burbujas con oxígeno para mejorar la desinfección. Walas (1990) afirma que “el diseño de tanque horizontales con volúmenes de hasta 280 galones tienen un diámetro de 42 pulgadas y un largo de 4 pies” (p. 622). Por lo cual, las dimensiones del tanque para la desinfección se calcularán con las Ecuaciones 3.8 a 3.14.

$$NL = \dot{m}/B \quad [3.8]$$

$$tp = NL \times t \quad [3.9]$$

$$VT_{SD} = VL + Vr + Va \quad [3.10]$$

$$Vr = B/\beta \quad [3.11]$$

$$VT_D = \pi \times r_1^2 \times L_1 \quad [3.12]$$

$$P d_1 = Pmax + 24,65 \quad [3.13]$$

$$Td1 = T max \quad [3.14]$$

Donde

- B: Masa por lote [kg]
- L₁: Largo del tanque de desinfección [m]
- \dot{m} : Flujo de hojas de romero [kg/día]
- NL: Número de lotes
- P d₁: Presión de diseño [PSI]
- Pmax: Presión de operación máxima [PSI]
- r₁: Radio del tanque [m]
- t: Tiempo por tratamiento [min]

- T_{max} : Temperatura ambiental máxima [°C]
 T_d : Temperatura de diseño tanque de desinfección [°C]
 t_p : Tiempo del proceso [min]
 V_a : Volumen de agua [m³]
 V_{L1} : Volumen de líquido [m³]
 V_r : Volumen de hoja de romero [m³]
 V_{TsD} : Volumen de tanque semicilíndrico [m³]
 β : Peso específico hojas de romero [t/m³]

3.4. PRE SECADO Y SECADO

El pre secado es una operación unitaria que permite reducir la humedad relativa de las hojas de romero hasta un 54,00 % por medio de calderos de leña que permiten elevar la temperatura del aire ambiental a partir de la quema de los residuos de romero, esta operación se realiza en cuartos de acondicionamiento que protegen al romero de la contaminación cruzada.

La infraestructura debe prevenir la exposición a la luz, por lo cual, estos se diseñan con el fin de evitar al menos el 60,00 % de la luz, estos cuartos son construidos con polietileno transparente de 150 μ m con una estructura de caño galvanizado de diámetro 1½" (Banchemo et al., 2008, pp. 28-31).

El proceso de secado inicia cuando el romero alcanza una humedad de 54,00 % después del acondicionamiento y se seca hasta alcanzar una humedad final de 9,50 % en un secador de bandejas.

El aire que ingresa al secador tiene una temperatura de 40 °C y una velocidad de 2,50 m/s para un flujo horizontal. La curva de secado que determina la cinética de secado para estas condiciones se observa en la Figura 3.2 (Palomino, 2016, p. 37; Quilca, 2016, pp. 12-75).

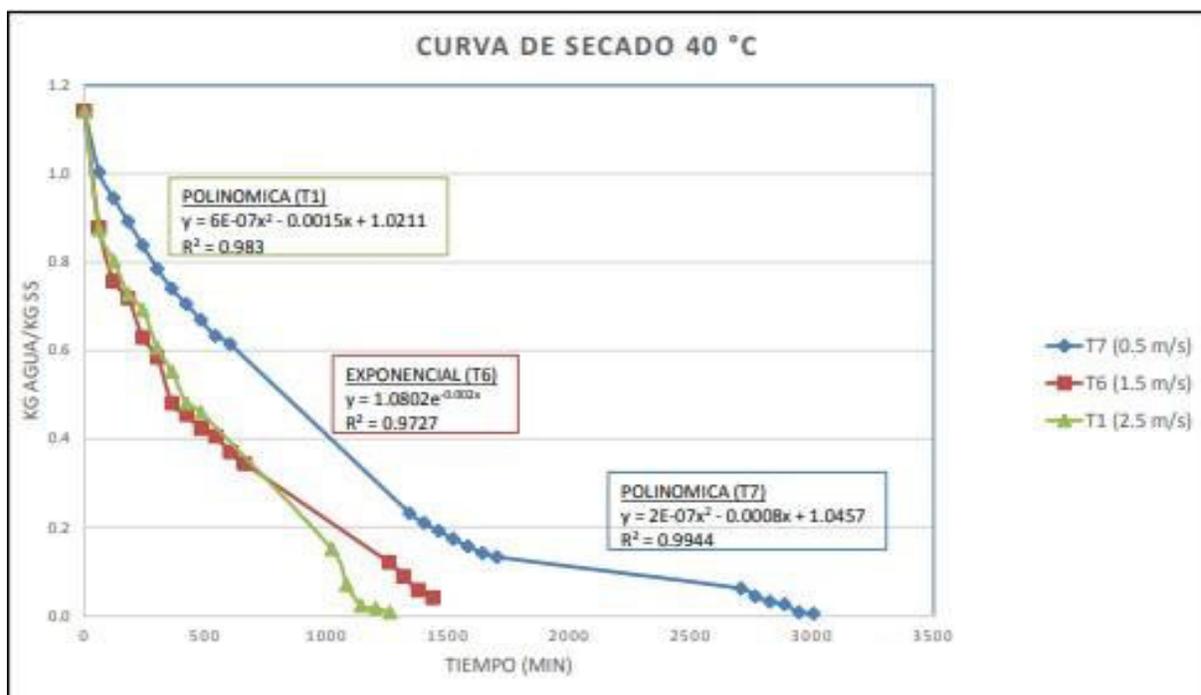


Figura 3.2. Efecto de la temperatura de 40 °C y velocidad del aire en el tiempo de secado (Palomino, 2016, p. 37)

Para determinar los criterios de diseño de un secador de bandejas se determina la humedad crítica a partir de la Figura 3.2 que permite obtener su ecuación polinómica en función de la velocidad de secado constante y velocidad de secado crítica, este proceso demora alrededor de 1 000 minutos. Las Ecuaciones 3.15 a 3.22 permiten determinar los criterios para la selección del secador de bandejas para la hoja de romero (Aguado et al., 2003, pp. 151-152; Geankoplis, 1998, pp. 579-634).

$$G = va \times \rho a \times 3\ 600 \quad [3.15]$$

$$h = 0,0204 \times G^{0,8} \quad [3.16]$$

$$Rc = -\frac{dw}{dt} = \frac{h}{\lambda} \times (Ta - Ts) \times 3\ 600 \quad [3.17]$$

$$Hr = \frac{mr \times x_{agua}}{mrs} \quad [3.18]$$

$$Ab = a \times b \times nb \times ne \quad [3.19]$$

$$Hc = 6E - 0,7 \times 1\,000^2 - 0,0015 \times 1\,000 + 1,0211 \quad [3.20]$$

$$ts = W_3/Rc_2 \quad [3.21]$$

$$t = \frac{mrs}{Ab} \times \int_{H_2}^{H_1} \frac{dx}{R} \quad [3.22]$$

Donde

a: Largo de bandeja [m]

Ab: Área de bandejas secador [m²]

b: Ancho de bandeja [m]

G: Flujo másico de aire [kg/m²h]

H: Humedad del aire [kg agua/kg a.s.]

h: Coeficiente de individual transferencia de calor [kW/m²K]

Hc: Humedad crítica [kg agua/kg a. s]]

mr: Flujo másico de romero[kg/día]

mrs: Flujo másico seco de romero [kg/día]

nb: Número de bandejas

ne: Número de estantes

Rc: Tasa de secado [kg/m²h]

t: Tiempo que demora en alcanzar la humedad crítica [h]

Ta: Temperatura bulbo seco [°C]

Ts: Temperatura bulbo húmedo [°C]

va: Velocidad del aire [m/s]

W: Flujo másico de agua evaporada [t/mes]

W3: Humedad sustraída del alimento hasta alcanzar su humedad crítica [t/día]

x₁₂: Fracción de agua

ρa: Densidad del aire [kg/m³]

λ : Calor latente [kJ/kg]

3.5. MOLIENDA Y TAMIZADO

Para la extracción del aceite esencial es importante que la humedad promedio de matriz vegetal sea 9,50 % y el tamaño de partícula sea 0,66 mm (Palomino, 2016, p. 1). Carvalho et al. (2005) mostraron que los mejores rendimientos experimentales se obtuvieron con tamaños de partícula de 0,66 mm (p. 200).

La selección de los materiales de construcción y el tipo de molino con su tamiz homogeneizador dependerán de las características del material a triturar (Ramos y Vega, 2015, pp. 26-28). La baja resistencia a la ruptura y contenido de humedad (9,5 %) de las hojas de romero secas son criterios de diseño fundamentales para evitar la corrosión del equipo y para seleccionar un molino capaz de reducir el tamaño de partícula a 0,66 mm.

La temperatura de operación del molino es un criterio de selección importante, dado que las hojas de romero pueden verse afectadas a temperaturas superiores a 40 °C, por la cual, el molino de martillos es la mejor opción para procesar las hojas secas (Ramos y Vega, 2015, pp. 26-28). Las Ecuaciones 3.23 a 3.26 permiten seleccionar el tipo de molino (Cervantes et al, 2015, p 46).

$$\eta = \frac{D_o}{D_F} \quad [3.23]$$

$$V_{tv} = mrs/\beta \quad [3.24]$$

$$tm = mrs/Cp \quad [3.25]$$

$$E = 0,3162 \times W_{IT} \times \left(\frac{1}{\sqrt{D_{p2}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{p1}}} \right) \quad [3.26]$$

Donde:

C_p : Capacidad de procesamiento [kg/h]

D_f : Diámetro final de partículas [mm]

D_o : Diámetro inicial de partículas [mm]

E : Eficiencia del molino [

M_{rs} : Flujo másico de romero seco [kg/día]

t_m : Tiempo de molienda [h]

V_{tv} : Volumen tolva [m³/h]

W_{iT} : Índice de Bond [kWh/t]

β : Densidad de hojas de romero [t/m³]

η : Grado de trituración

3.6. EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS Y COMPRESORES

Para la selección de del equipo de fluidos supercríticos es importante conocer los componentes, características y condiciones de extracción que conforman el sistema de extracción de aceite esencial de romero. La regla del pulgar en ingeniería es un excelente método para poder escalar procesos de producción de una forma casi precisa. En los fluidos supercríticos, el escalado debe desarrollarse en función de posibles relaciones geométricas, químicas y físicas, las cuales permanecen constantes (Padilla,2017, p.15)

Para la extracción del aceite esencial, es necesario tener en cuenta las condiciones supercríticas ideales del CO₂. El diseño experimental realizado por Carvalho et al. (2005), muestran que los mejores rendimientos de extracción se presentan a 60 °C y con una presión de 300 bar, durante 180 min, alcanzando un rendimiento del 5 % de la materia seca inicial (pp. 5-10).

Para el proceso de extracción del aceite esencial se diseñarán 3 tanques: un tanque de extracción, un tanque de separación y un tanque de almacenamiento de CO₂. Estos tanques serán diseñados con base en las normas: A.P.I 620 “*Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes soldados y de baja presión*”; API 12D “*Tanques soldados para almacenamiento de líquidos de producción*”; A.S.M.E. BPVC “*Calderas y recipientes sometidos a presión*”;

O.S.H.A 1910.101 “*Gases comprimidos*”. El diseño de los tanques se basará en función de la presión crítica de 250 bar y la presión de descompresión de 100 bar (American Petroleum Institute, 2008; American Petroleum Institute, 2002; Occupational Safety and Health Administration, 1996; Tirenti, 2016, pp. 4-77).

Para la extracción del aceite esencial por fluidos supercríticos Aguado et al. (2002) recomiendan suponer que la extracción es sólido líquido considerando al CO₂ supercrítico como un líquido para el proceso de lixiviación que separa al aceite esencial de la matriz vegetal (p. 169). Para lo cual, se diseñará un tanque extractor para la matriz vegetal de hoja de romero que contiene 5 % de aceite esencial. Para el diseño del tanque de extracción se usará la relación altura diámetro del extractor usado a escala piloto, esta relación es de 8,4 (Padilla, 2017, pp. 20-60; Carvalho et al., 2005, pp. 5-10). Los compresores involucrados en el proceso se seleccionarán de acuerdo al flujo del fluido supercrítico y sus condiciones de operación que permitirán determinar la potencia de los compresores a partir del balance de energía del compresor. Las Ecuaciones 3.27 a 3.33 permiten la selección del equipo de fluidos supercríticos y accesorios involucrados en el proceso (Padilla, 2017, pp. 20-60).

$$S/F = 0,0009 \quad [3.27]$$

$$\Delta q + \Delta w = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta h \quad [3.28]$$

$$v_i = \frac{\dot{m}}{\rho_{CO_2} \times A_d} \quad [3.29]$$

$$m = Q \times Y^* \times [1 - e^{-z}] \times t \quad [3.30]$$

$$Re = \frac{V \times D \times \rho_{CO_2}}{\mu} \quad [3.31]$$

$$\frac{v_{et2}^2}{2} - \frac{v_{et1}^2}{2} + g \times (z_2 - z_1) + \frac{1}{\rho_{CO_2}} (P_2 - P_1) + \sum F = W \quad [3.32]$$

$$\sum F = \frac{2 \times f \times v_{et}^2 \times (L + \sum L_{eq})}{D} \quad [3.33]$$

Donde:

- D: Diámetro de tubería [m]
- f: Factor de fricción
- F: Flujo de másico romero [kg/h]
- g: Aceleración de la gravedad [m/s²]
- L: Longitud de tubería [m]
- m: Masa aceite esencial [kg]
- ṁ: Flujo de CO₂ [kg/h]
- P_i: Presión en tubería [bar]
- Q_{CO₂}: Caudal CO₂ [L/h]
- S: Flujo de CO₂ [kg/s]
- t_e: Tiempo de extracción [s]
- Y: Tasa de recuperación de aceite esencial [kg/kg CO₂]
- z_i: Alturas de tubería [m]
- ρ_{CO₂}: Densidad del CO₂ [kg/m³]
- μ: Viscosidad [cP]
- u_i: Velocidad de gas [m/s]
- ∑ F: Pérdidas por fricción [kJ/kg]
- ∑ L_{eq}: Longitud equivalente [m]
- ΔE_c: Energía cinética de los compresores [kJ/kg]

ΔEp : Energía potencial de los compresores [kJ/kg]

Δh : Variación de entalpía del proceso de los compresores [kJ/kg]

Δq : Calor perdido de los compresores [kJ/kg]

Δw : Trabajo del proceso de los compresores [kJ/kg]

3.7. MEZCLADO Y ENVASADO

Para el mezclado se diseñará un tanque atmosférico cuyas dimensiones estarán en función del volumen a mezclar, el tanque de mezclado dispondrá de un agitador de tipo turbina que permita mezclar el colutorio con una viscosidad 0,1052 kg/ms y se seleccionará la velocidad de agitación del motor entre 37 y 1 150 RPM en función del tiempo que demore en generar la emulsión, estos agitadores pueden mezclar emulsiones con viscosidades de hasta 100 cP. Se estima que los productos cosméticos con aceite esencial de romero tienen una viscosidad 2 500 a 18 000 Pa s con un valor de pH entre 6,3 y 6,7 (Mosquera, 2014, p. 75). Las bombas empleadas en el desplazamiento de los componentes de la mezcla se seleccionarán de acuerdo a: los balances de masa y con base en la norma A.P.I. 610 “*Bombas centrífugas*” (American Petroleum Institute, 2010), las características físicas y químicas de la sustancia, el caudal del fluido, la presión y la distancia que se desplacen los fluidos dentro de la planta de producción.

Por último, el colutorio dental con romero será envasado en botellas de 250 mL con la ayuda de una bomba dosificadora, la cual se seleccionará de acuerdo al número de pistones dosificadores, a la velocidad de llenado de cada pistón y el grado de automatización que tenga esta bomba dosificadora comercial disponible en el mercado. Los cálculos para el diseño del tanque de mezclado se realizarán a partir de las Ecuaciones 3.34 a 3.38

$$P_D = \frac{2 \times St \times E \times e}{D_{TM} \times k + 0,2 \times e} \quad [3.34]$$

$$e = \frac{P_D \times D_{TM} \times k}{2 \times St \times E - 0,2 \times P_D} \quad [3.36]$$

$$St = \frac{P_D(D_{TM} \times k + 0,2 \times e)}{2 * E \times e} \quad [3.37]$$

$$N_{RE} = \frac{N \times D_a^2 \times \rho_c}{\mu_c} \quad [3.38]$$

$$t_{b95\%} = \frac{N_{tb}}{N \times \left(\frac{D_A}{D_{TM}}\right)^{2,3}} \quad [3.39]$$

Donde

D_a : Diámetro del agitador [m]

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

E : Eficiencia de la soldadura

e : Espesor de la tapa [mm]

N : Velocidad de agitación [RPM]

N_{RE} : Numero de Reynolds

N_{tb} : Tiempo de mezcla adimensional

P_D : Presión del domo [PSI]

St : Esfuerzo permitido de la tapa [plg]

t_b : Tiempo de mezcla [h]

μ_c : Viscosidad de colutorio [cP]

ρ_c : Densidad del colutorio [kg/m³]

3.8. TUBERÍAS

Las tuberías de la planta de producción se seleccionarán en función de los balances

de masa, caudales, tipo de fluido y el material respectivo, con base en las normas A.P.I. 5L “Especificación de tubos en línea” usada para transportar agua, gases en oleoductos y A.P.I. 570 “Código de inspección de tuberías inspección, reparación, alteración e integridad de sistemas de tubería”, usado para transportar productos químicos (Aguirre, 2008, pp. 18-86; American Petroleum Institute, 2003b). Las tuberías se seleccionarán de acuerdo a la presión y temperatura del fluido transportado de acuerdo con la Figura 3.3

Maximum Allowable Pressure (kPa) (psi)											
Nominal Size (mm) (in)	Schedule no.		Wall Thickness (mm) (in)	Temperature (°C) (deg F)							
				-29 - 38	205	260	350	370	400	430 ¹⁾	450
				Maximum Allowable Stress (MPa) (psi)							
				137.8	137.8	130.2	117.1	115.7	89.6	74.4	59.9
15	STD	40	2.77	34416	34416	32528	29255	28910	22372	18589	14972
	XS	80	3.73	48092	48092	45466	40878	40396	31260	25969	20918
		160	4.78	62830	62830	59378	53404	52777	40837	33929	27333
	XXS		7.47	98245	98245	92836	83507	82522	63857	53053	42739
20	STD	40	2.87	28070	28070	26526	23860	23578	18245	15158	12209
	XS	80	3.91	39418	39418	37247	33506	33106	25617	21283	17142
		160	5.56	58152	58152	54955	49429	48843	37799	31398	25293
	XXS		7.82	83107	83107	78539	70643	69809	54024	44881	36152
25	STD	40	3.38	26251	26251	24804	22310	22048	17060	14173	11417
	XS	80	4.55	36283	36283	34285	30862	30474	23584	19595	15785
		160	6.35	52481	52481	49594	44606	44082	34112	28339	22827
	XXS		9.09	77030	77030	72793	65476	64704	50070	41595	33506
32	STD	40	3.56	21614	21614	20421	18369	18155	14049	11672	9404
	XS	80	4.85	30178	30178	28518	25651	25348	19616	16295	13125
		160	6.35	40596	40596	38364	34505	34099	26389	21924	17659
	XXS		9.70	64601	64601	61045	54906	54266	41988	34884	28097
40	STD	40	3.68	19444	19444	18375	16529	16329	12636	10550	8454
	XS	80	5.08	27402	27402	25900	23295	23019	17811	14800	11919
		160	7.14	39738	39738	37599	33816	33416	25858	21483	17308

Figura 3.3. Parámetros de selección de tuberías de alta presión
(EngineeringToolBox, 2021)

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES (BFD) DE COLUTORIO DENTAL DE ROMERO

En la Figura 4.1 se observa el diagrama de flujo para la producción de colutorio dental a partir de aceite esencial de romero extraído a partir de fluidos supercríticos, cuyo proceso se realizará por lotes. En el diagrama de flujo se describen las corrientes de entrada y salida de cada operación unitaria, en donde se muestran los flujos máxicos y sus respectivas condiciones de operación.

La producción iniciará al recibir 59,75 t/mes de romero, las cuales serán clasificadas y desinfectadas, eliminando 2,99 t/mes de impurezas y 235,71 t de agua sucia, las hojas desinfectadas pasarán al proceso de pre secado, donde 56,76 t/mes serán secadas en cuartos de acondicionamiento a una temperatura entre 30 a 40 °C hasta alcanzar una humedad relativa de 54 %. El romero pasará al secador de bandejas que opera a 40 °C con una velocidad del aire de 2,5 m/s donde se secará 30,80 t/mes.

La extracción del aceite esencial se realizará con la matriz vegetal con humedad relativa de 9,5 % y con un tamaño de partícula de 0,66 mm; la cual se obtendrá en la operación de molienda, donde se procesará 15,69 t/mes. La extracción por fluidos supercríticos demandará de 1,36 t/mes de CO₂ supercrítico a 250 bar y 60 °C y 9,33 t/mes de etanol de 96° que permitirán extraer 0,76 t/mes de aceite esencial de romero.

En el tanque se mezclará con el aceite esencial 0,03 t/mes de clorhexidina; 18,83 t/mes de etanol de 96°; 75,32 t/mes de agua; 5,65 t/mes de éter lauril sulfato de sodio; 27,69 t/mes de glicerina; 8,49 t/mes de sorbitol; 6,03 t/mes de saborizante de menta y 0,06 t/mes de sacarina sódica, que permitirán producir 150,64 t/mes de colutorio dental de romero, el cual se envasará en frascos de 250 mL para producir 627 388 unidades al mes.

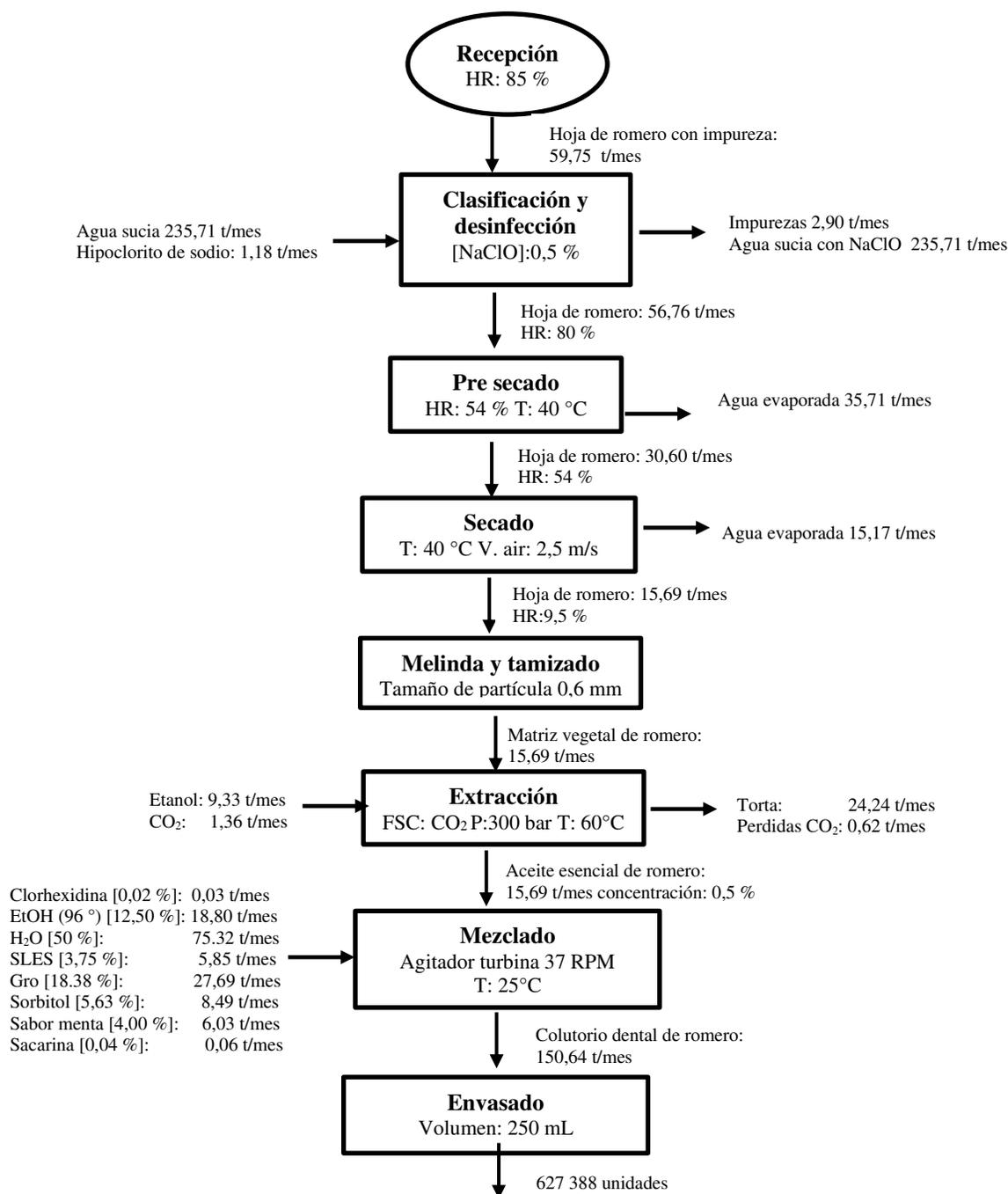


Figura 4.1. Esquema del proceso para obtención del colutorio dental de romero

4.2. BALANCE DE MASA

La Tabla 4.1 muestra el balance de masa con los flujos de entrada y salida de cada operación unitaria del proceso de producción calculados en el Anexo III.

Tabla 4.1. Balance de masa del proceso

Balance de masa				
Materia prima	Proceso	Notación	Cantidad	Unidad/mes
Romero	Clasificación	R	59,75	t
Romero sin impurezas	Clasificación	Rh	56,76	t
Rechazo	Clasificación	I ₁	2,99	t
Agua	Desinfección	A	234,53	t
Hipoclorito de sodio	Desinfección	Hp	1,18	t
Agua sucia	Desinfección	As	235,71	t
Romero acondicionado	Acondicionamiento	Ra	30,86	t
Agua evaporada	Acondicionamiento	W	35,71	t
Agua evaporada	Secado	W ₂	15,17	t
Romero seco	Secado	Rs	15,69	t
Romero molido	Molienda	Rm	15,69	t
Aceite esencial	Extracción	Ac ₁	0,76	t
Etanol	Extracción	Et	9,33	t
Torta	Extracción	R ₁	24,24	t
Pérdidas de CO ₂	Extracción	P	3,26	t
Reciclado de CO ₂	Extracción	Re	13,05	t
CO ₂ almacenado	Extracción	C	3,26	t
Aceite esencial	Mezclado	Ac	0,76	t
Agua	Mezclado	Ag	75,32	t
Etanol	Mezclado	Et _m	18,80	t
Sorbitol	Mezclado	S _r	8,49	t
Glicerina	Mezclado	G ₁	27,69	t
SLES	Mezclado	E _s	5,65	t
Clorhexidina	Mezclado	C ₁	0,03	t
Sabor menta	Mezclado	A _m	6,03	t
Sacarina sódica	Mezclado	S _s	0,06	t
Colutorio de romero	Mezclado	D	150,64	t

4.3. BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía del proceso de producción del colutorio dental permite determinar el flujocalórico específico y consumo energético de cada operación unitaria. Para el consumo energético es necesario conocer la potencia eléctrica que demanda cada equipo, la cual se encuentra indicada en las hojas de especificación del Anexo VI, mientras que las entalpías y el trabajo se calculan en el Anexo IV. Para determinar las entalpías involucradas en las operaciones unitarias se tomará como temperatura de referencia 0 °C. La Tabla 4.2 muestra el consumo energético de la planta durante el año de producción en función de las potencias eléctricas.

Tabla 4.2. Consumo energético de la planta de producción

Equipo	Temperatura [°C]	Flujo calórico [kW]	Potencia eléctrica [kW]	Horas de consumo al día	Horas de consumo al año	Consumo energético anual [kW-h]
Banda transportadora	25 °C	26,97	1,10	2,00	528,00	580,8
Desinfección	24 °C	116,98	3,30	3,00	792,00	2 613,6
Acondicionador	40 °C	32 745,29	0,10	7,57	1 998,48	199,85
Secador	40 °C	34 579,56	5,80	9,00	2 376,00	13 780,8
Molino	25 °C	4,88	3,00	2,90	765,60	2 296,80
Extractor FSC	60 °C	131,25	3,00	4,60	1 214,40	3 643,2
Mezcladora	25 °C	40,27	3,60	3,40	897,60	3 231,36
					Total	25 346,41

4.4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS

4.4.1. SELECCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

La selección de la banda transportadora se hace en función del peso y volumen de la

materia prima, material del equipo y el número de operarios de la clasificación, estos factores son calculados en el Anexo III y V. Para la selección de la banda transportadora se considera 22 días laborales y se supondrá que la clasificación durará 2 h diarias.

Las especificaciones de la banda transportadora se muestran en la Tabla A.VI.1 del Anexo VI, donde se indica que el largo del equipo es de 4,00 m, por lo cual, se destinará a los 4 operarios para la clasificación del romero, se supondrá que cada operario se ubique a una distancia de 1,00 m a ambos lados de la banda, se calcula en el Anexo A.V.1 que cada operario clasifique 5,67 kg/min de romero. La velocidad estándar de la banda transportadora para la clasificación es de 0,84 m/s de acuerdo con las especificaciones del fabricante, el flujo másico que transporta y la potencia necesaria para mover la banda transportadora se muestran en la Tabla 4.3. Los cálculos para la selección de la banda transportadora se muestran en el Anexo A.V.1.

Tabla 4.3. Parámetros de selección de la banda transportadora

Parámetro de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	2,00	h
Velocidad de operación	0,84	m/s
Largo	4,00	m
Ancho	0,40	m
Potencia	1,11	kW

4.4.2. SELECCIÓN DEL TANQUE DE DESINFECCIÓN

La desinfección se realizará en un tanque horizontal comercial de 550 gal para facilitar la manipulación de las hojas de romero por los operarios, las dimensiones del tanque de desinfección comerciales son: 1,22 m de diámetro y 1,83 m de largo (Walas, 1990, p. 622), el tanque de desinfección será modificado a una forma semicilíndrica horizontal que permita el ingreso de las hojas de romero y se asemeje a las lavadoras de desinfección comerciales horizontales que se muestra en la hoja de especificación 2 de

la Tabla A.VI.2 del Anexo VI, al tanque de desinfección de romero se le integrará un sistema de burbujeo que optimice la desinfección del material vegetal de forma homogénea para mantener la inocuidad de las hojas de romero.. El volumen ocupado del tanque de desinfección se calcula a partir de la capacidad de procesamiento para evitar el derrame de las hojas de romero al realizar el burbujeo del agua.

Para la desinfección de las hojas de romero se utilizará una solución de 300 L de agua con hipoclorito de sodio al 0,5 % con una densidad similar al agua (997 kg/m^3), dado su baja concentración de hipoclorito de sodio, esta solución podrá desinfectar lotes de 72 kg de hoja de romero (Acosta et al., 2002).

Se estima desinfectar 2 580 kg/día de hoja de romero, se considera que las hojas de romero tienen una densidad de $158,7 \text{ kg/m}^3$ valores calculados en los Anexos III y V. El volumen que ocupa las hojas y el agua permitirá determinar el nivel del líquido del tanque de desinfección. Conocido el nivel de líquido se determina la altura del tanque.

Para la determinar la presión de operación, se tiene en cuenta las presiones generadas por el agua, el peso de las hojas de romero y la atmósfera, las cuales se suman para determinar la presión de operación. Para el cálculo de la presión y temperatura de diseño se usará la norma PDVSA (1995) “*Manual de proceso de diseño*”, esta norma indica como calcular las presiones de diseño de acuerdo con el tipo de tanque utilizado en el proceso. Para la desinfección se considera que es un tanque atmosférico. Los cálculos para la selección del tanque de desinfección se observan en el Anexo V. La Tabla 4.4 muestra los criterios de selección del tanque de desinfección.

Tabla 4.4. Parámetros de selección del tanque de desinfección

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	3,00	h
Volumen del tanque semicilíndrico	1,81	m^3
Largo	2,75	m

Tabla 4.4. Parámetros de selección del tanque de desinfección (continuación...)

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Alto	0,91	m
Presión de diseño	16,00	PSI
Temperatura de diseño	30,00	°C
Capacidad de procesamiento	72,00	kg/lote

4.4.3. DISEÑO DE CUARTOS DE PRE SECADO Y SELECCIÓN DE SECADOR

Los criterios de diseño necesarios para la selección de los equipos utilizados en el proceso de pre secado y secado deben calcularse de forma óptima, dado que si no se cuida las condiciones de operación se puede causar daños a la materia prima. En el pre secado se secará 2 580 kg/día de hojas de romero hasta que alcance una humedad relativa del 54 % en un tiempo de 7,12 h y el tamaño de las hojas se reducirá de 40 mm a 20 mm conforme pierda agua (Lax, 2014, p. 11).

Las dimensiones de los cuartos de acondicionamiento dependerán de la capacidad de procesamiento. Los galpones de acondicionamiento son de forma semicilíndrico con dimensiones de 2,60 m de alto; 5,50 m de ancho y 10,00 m de largo; estas dimensiones se calculan en el Anexo V. Los 2 galpones almacenarán 30 estantes que soportarán 36 bandejas cada uno, los estantes serán ubicados en 2 filas de 8 estantes en cada galpón. Las dimensiones estándar de los estantes son 2,20 m de alto; 1,70 m de la largo y 0,80 m de ancho y de las bandejas son 0,80 m de largo; 0,75 m de ancho y 0,03 m de espesor; la bandeja contará con una malla fina que soportará 2,40 kg de hoja de romero.

Cada galpón contará con caldero cilíndrico a leña para calentar el aire ambiental y acelerar la disminución de la humedad de las hojas de romero en el pre secado, las dimensiones estándar de estos calderos comerciales suelen ser de 1,00 m de diámetro

y 1,00 m de alto con un volumen 200 L como se muestra en la Tabla A.VI.4 del Anexo VI. Se estima que la quema de virutas semi leñosas con una humedad del 15 % generadas en la clasificación del romero generen un poder calorífico de 15 000 kJ/kg (Herguedas, Prieto, Rodríguez y Taranco, 2012, p.27).

El aire entra al galpón de pre secado a una temperatura promedio ambiental de 24 °C y con una humedad relativa del 70 % (León, Letamendi y Lucero, 2006, pp. 119-125). La determinación del tiempo de pre secado y el balance energía se realiza con ayuda de la carta psicrométrica que determina los siguientes parámetros: la temperatura de bulbo húmedo (20 °C), la concentración de agua (0,013 kg agua/kg aire seco) y el volumen específico de aire húmedo (0,86 m³/kg aire seco). El aire se calienta hasta alcanzar la temperatura de 40 °C debido a la energía que emite la quema de los residuos de romero en el caldero, la humedad relativa del aire a esta temperatura es del 29 %, es decir 0,0135 kg agua/ kg de aire seco y el volumen específico a esta temperatura es 0,905 m³/kg aire seco.

La velocidad del aire ambiental en el cuarto de acondicionamiento será de 0,6 m/s. En las Tablas A.VI.3 y A.VI.4 se observa las hojas de especificaciones de los cuartos de acondicionamiento y el caldero de leña. El tiempo de que demora el pre secado es de 7,12 h; el cual se calcula en el Anexo A.V.3. En la Tabla 4.5 se muestran los criterios de diseño para la construcción del cuarto de acondicionamiento.

Tabla 4.5. Parámetros de diseño del cuarto de pre secado

Parámetro de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	7,12	h
Número de estantes	30	-
Número de bandejas	1 080	-
Temperatura del aire	40,00	°C
Capacidad de procesamiento	1 290,00	kg

Los criterios de diseño del proceso de secado se calculan bajo el mismo principio del

pre secado, las condiciones de secado como la velocidad del aire (2,5 m/s) y la temperatura del aire (40 °C) cambian para acelerar el secado de las hojas de romero y permitir que la humedad baje al 9,5 % en un tiempo de 9 h, la cinética que ayuda a determinar el tiempo el secado del proceso se determina en el Anexo A.V.4 en la Tabla A.V.1 que muestra la cinética de secado calculada a partir de la Figura 3.2. La Tabla 4.5 muestra los parámetros de selección del secador de bandejas. La Tabla A.VI.5 del Anexo VI muestra al secador de bandejas seleccionado

Tabla 4.6. Parámetros de selección del secador de bandejas

Parámetro de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	9,00	h
Número de estantes	21	-
Número de bandejas	294	-
Dimensiones de bandejas	0,80x 0,75 x0,03	m
Dimensiones de estantes	2,20 x 1,70 x 0,80	m
Velocidad del aire	2,50	m/s
Temperatura del aire	40,00	°C
Capacidad de procesamiento	701,30	kg/lote

4.4.4. SELECCIÓN DE MOLINO Y SU TAMIZ

La selección del molino de martillos con tamiz vibratorio es importante debido a la necesidad de generar un grado de molienda fina homogénea con un diámetro de partícula 0,66 mm. Para este proceso las hojas deben estar secas y el trabajo se debe realizar a temperatura ambiente.

El triturador será semiautomático, el equipo debe ser ligero y desmontable en caso de ser traslado de lugar. El equipo debe ser construido con acero ASTM A-36 con un recubrimiento de pintura electroestática. En la selección del molino es indispensable determinar el grado de trituración a partir de la relación 20:1, es decir la partícula

disminuye hasta 20 veces su tamaño (Ramos y Vega, 2015, p. 29). La capacidad de procesamiento del molino es de 713,18 kg/día; si el trabajo se realiza durante 2,9 h por día; se estima procesar 245,96 kg/h.

Para la selección de este equipo es importante conocer las dimensiones que ocupará dentro de la nave de producción. Además, es importante determinar la capacidad de la tolva antes de seleccionar el equipo, estos parámetros se observan en la Tabla A.VI.6. El Anexo A.V.5 se muestran los cálculos para la selección del molino de martillos. La Tabla 4.7 muestra los parámetros de selección del molinode martillos.

Tabla 4.7. Parámetros de selección del molino de martillos

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	2,90	h
Capacidad de trituración	250,00	kg/h
Velocidad de trituración	2 800,00	RPM
Eficiencia	2,46	kW-h/t

4.4.5. SELECCIÓN DE EQUIPO DE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Para el escalado de la planta de extracción de aceite esencial se usará la Ecuación 3.27 que expresa una relación entre la masa de disolvente y la masa de materia prima (Padilla,2017, p. 15). En el experimento de Carvalho et al. (2005) usaron 0,093 kg de romero con una porosidad de lecho de 0,66 y una densidad del romero molido de 1 046 kg/m³, mientras que el flujo de CO₂ fue de 8,33x10⁻⁵ kg CO₂/s con una densidad 365 kg/m³ usado por un tiempo de 3 h, estos datos sirven de referencia para determinar los parámetros de diseño del equipo. El volumen de CO₂ permitirá determinar la energía y características del compresor para extraer el aceite esencial. El CO₂ con una presión de 100 bar y una temperatura de 20 °C proveniente del tanque de almacenamiento pasa al tanque extractor a una presión 250 bar y 60 °C, la Figura A.V.3 muestra las propiedades físicas del CO₂ a diferentes temperaturas y presiones.

El equilibrio energético permite determinar los parámetros necesarios en la selección de un compresor, asumiendo que la energía potencial es insignificante dado que la alimentación será al nivel del suelo, la pérdida de calor es despreciable debido a que es una compresión adiabática y la energía cinética es nula dado a que el diámetro de succión y descarga es el mismo, lo que genera una velocidad del flujo de CO₂ constante.

El modelo broken and intact cells (BIC) permite determinar el tiempo de extracción del aceite esencial de romero en función de la cinética de extracción de la transferencia de masa del aceite esencial cuando las condiciones supercríticas destruyen las células que almacena el aceite esencial. El modelo BIC establece 3 fases de extracción que son: extracción constante, decreciente, y ligada a las moléculas de la matriz vegetal. Los parámetros del modelo BIC que se observan en la Figura A.V.5 se obtienen a partir de las dimensiones del equipo. El método de extracción en la fase constante permite extraer hasta un 98 % del aceite esencial de la matriz vegetal de romero, la cual resulta suficiente para la elaboración de colutorio dental (Padilla, 2017, pp. 20-60).

En el Anexo VI se observa la Tabla A.VI.7 con los equipos que comprenden el sistema de extracción por fluidos supercríticos (FSC), teniendo en cuenta que el tanque extractor tendrá una forma cilíndrica con una tapa torisférica. De acuerdo con Ronquillo y Yugcha (2016) indican que el espesor de un tanque extractor de aceite esenciales es de 0,392 pulgadas y un cabezal torisférico que permita resistir la presión del recipiente (pp. 44-65).

Las tuberías de succión y descarga del CO₂ serán de acero al carbono A-53 STD 40, de 15 mm de diámetro interno; 2,77 mm de espesor con una presión máxima de operación de 137,8 MPa; capaz de soportar temperaturas de hasta 300 °C de acuerdo a la Figura 3.3, estos criterios de diseño son fundamentales para alcanzar las condiciones de extracción del aceite esencial. La Tabla 4.8 muestra los parámetros de selección del equipo de fluidos supercríticos necesario para la extracción del aceite esencial de romero

Tabla 4.8. Parámetros de selección del equipo de fluidos supercríticos

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	4,60	h
Capacidad de procesamiento	713,14	kg/día
Eficiencia compresores	87,00	%
Diámetro del tanque de extracción	1,09	m
Altura del tanque de extracción	1,53	m
Volumen de diseño del tanque de extracción	1,44	m ³
Presión de diseño del tanque de extracción	262,50	bar
Temperatura de diseño del tanque de extracción	88,00	°C
Volumen de diseño del tanque separador	49,88	L
Diámetro del tanque separador	0,32	m
Altura del tanque separador	0,64	m
Presión de diseño del tanque separador	105,00	bar
Temperatura de diseño del tanque separador	58,00	°C
Eficiencia de la turbomáquina	80,00	%
Volumen de diseño del tanque de almacenamiento CO ₂	1,00	m ³
Diámetro del tanque de almacenamiento CO ₂	1,09	m
Largo del tanque de almacenamiento CO ₂	2,16	m
Presión de diseño del tanque de almacenamiento CO ₂	105,00	bar
Temperatura de diseño del tanque de almacenamiento CO ₂	30,00	°C
Volumen de diseño del tanque de almacenamiento de etanol	1 000,00	gal
Diámetro del tanque de almacenamiento de etanol	1,11	m
Largo del tanque de almacenamiento de etanol	3,33	m
Presión del diseño del tanque de almacenamiento de etanol	16,00	PSI
Temperatura de diseño de tanque de almacenamiento etanol	30,00	°C

4.4.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DE TANQUE DE MEZCLADO

De acuerdo con la norma API 620 “*Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes soldados y de baja presión*” todo tanque debe tener un

espacio libre sobre el nivel del líquido entre el 20 al 25 % (American Petroleum Institute, 2002). De acuerdo con Aguado et al. (2002) el tanque agitado no debe tener un fondo plano, y debe tener una relación entre la altura y el diámetro de 1:1, en caso de que la relación sea 2:1 se instalará dos agitadores o más en caso de que la relación sea mayor (pp. 32-56). El tanque a diseñar debe tener un fondo elipsoidal que reduzca la formación de vórtices, la norma ASME VIII para calderas y recipientes de presión estima que el volumen del domo toriesférico se calcula con las Ecuaciones 3.34 a 3.36.

El diámetro del tanque no debe ser mayor a 4,60 m y debe presentar deflectores en sus zonas radiales para evitar la formación de vórtices que dañen el tanque, la relación entre el diámetro del tanque y el deflector es de 12, además los deflectores deben tener un largo que no supere al diámetro del tanque. La relación que existe entre el diámetro del tanque y el diámetro del agitador es de 0,30. En la Figura 4.2 se muestran las relaciones dimensionales de los componentes de un tanque de mezclado (Walas, 1990, pp. 287-288). El tiempo de mezclado para los lotes producidos durante el día considera el tiempo de agitación, el tiempo de envasado y el tiempo de limpieza del tanque en cada lote colutorio dental.

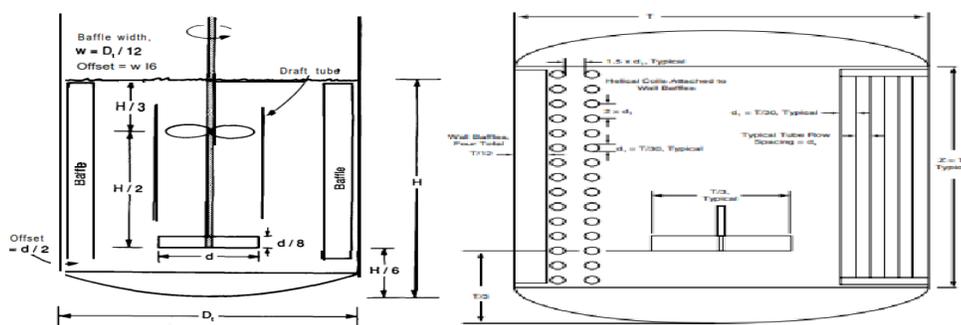


Figura 4.2. Tanque de mezclado y sus relaciones dimensionales.
(Walas, 1990, p. 278, Quispe, 2016, p.9)

De acuerdo con Aguado et al. (2002) el tiempo de mezclado se determina al considerar el grado de mezcla, densidad y viscosidad del líquido (p.49). Busscher, Perdock y Van der Mai (1990) reportaron que las viscosidades de colutorios comerciales varían desde 0,105 a 0,174 kg/m s; lo que varía dependiendo del compuesto activo de cada colutorio

dental (p. 148). Para el colutorio de romero se tomará la menor viscosidad (0,105 kg/m*s) dado la alta solubilidad, alta miscibilidad y su baja densidad. El tiempo de agitación se determinará con la Ecuación 3.38 y las Figuras A.V.10 y A.V.11 que permitirán encontrar los factores de cálculo necesarios para determinar el tiempo de agitación en función de la velocidad del agitador.

De acuerdo con Walas (1990) las velocidades comerciales de los agitadores se muestran en la Tabla A.V.5, en donde se calcula el tiempo de agitación para seleccionar la velocidad del motor (pp. 289-302). El agitador seleccionado es tipo turbina y no presentará curvaturas, En la Figura A.V.11 se determina un número de poder de 4.5 a partir de la función del agitador tipo turbina, cuyo valor permitirá calcular el tiempo de agitación. En la Tabla 4.9 se detallan los parámetros de diseño del tanque de mezclado calculado en el Anexo A.V.7. La Tabla A.VI.8 del Anexo VI muestra las especificaciones del tanque de mezclado con agitación,

Tabla 4.9. Parámetros de diseño del tanque de mezclado

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de operación	3,40	h
Capacidad de procesamiento	2,09	m ³ /lote
Volumen de diseño del tanque de mezclado	2,52	m ³
Diámetro del tanque de mezclado	1,52	m
Altura del tanque de mezclado	1,52	m
Presión de diseño del tanque de mezclado	16,39	PSI
Temperatura de diseño del tanque de mezclado	40,00	°C
Tiempo de agitación	9,50	min/lote
Velocidad de agitación	37	RPM
Diámetro de paletas del agitador	0,51	m
Diámetro del deflector del tanque de mezclado	0,13	m
Altura del deflector del tanque de mezclado	1,15	m

Cuero y López (2009) indican que la dosificación se debe realizar con un pistón de

vástago simple, el cual tiene una presión de diseño de 83 PSI (p. 65). La dosificadora comercial contará con 4 pistones para llenar 4 unidades/s de 250 mL, los envases serán guiados a los pistones por una banda transportadora, que conducirá los envases de colutorio en filas de 4 unidades, esta banda transportadora contará con un sensor eléctrico que activará al dosificador cuando los envases están debajo del dosificador.

Para el envasado y selección de la bomba de dosificación se estima que la venta de colutorio puede alcanzar 627 388 unidades de 250 mL/mes. Se estima producir alrededor 7,13 m³/día de colutorio; cuya producción se dividirá en 4 lotes, 3 lotes de 2 097 L y un lote 849 L, cada lote se mezcla durante 9,5 min de acuerdo con la Tabla 4.9, dejando un tiempo de 51 min para realizar el envasado y la limpieza del tanque. Las dosificadoras comerciales pueden llenar hasta 2 500 mL/s de acuerdo a la cantidad de pistones y volumen del recipiente, por lo cual es importante la velocidad de llenado. Los parámetros de diseño del tanque de mezclado y selección de la bomba dosificadora se calculan en el Anexo A.V.7. La Tabla A.VI.8 y A.VI.9 muestran las especificaciones del tanque de mezclado y la bomba dosificadora. En la Tabla 4.10 se muestra los parámetros de selección del dosificador.

Tabla 4.10. Parámetros de diseño de la bomba de dosificación

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Tiempo de envasado	35	min/lote
Capacidad de procesamiento	2,09	m ³ /lote
Número de pistones	4,00	
Presión del pistón	85,00	PSI
Velocidad de llenado	4,00	unidades/s

4.4.7. SELECCIÓN DE TANQUES ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS Y BOMBAS CENTRÍFUGAS

La Figura 3.1 muestra las dimensiones estandarizadas para los tanques de

almacenamiento producidos comercialmente de acuerdo a la norma ASME VIII seleccionados en la Tabla A.V.6. La Tabla 4.11 muestra los parámetros de diseño calculados en el Anexo A.V.8 para la selección de los tanques de almacenamiento comerciales de materia prima y las Tablas A.VI.10 a A.VI.12 del Anexo VI muestra las especificaciones de los tanques de almacenamiento. Los cálculos de los criterios de selección de las bombas centrífugas involucradas en el proceso de producción del colutorio dental se encontrarán en el Anexo A.V.8 y sus especificaciones se observan en la Tabla A.VI.13

Tabla 4.11. Parámetros de diseño de tanques de almacenamiento

Parámetros de diseño	Valor	Unidad
Volumen de diseño del tanque de agua,	4,12	m ³
Presión de diseño del tanque de agua,	39,66	PSI
Largo del tanque de agua	3,66	m
Diámetro del tanque de agua	1,12	m
Volumen de diseño de tanque de etanol	6,50	m ³
Presión de diseño del tanque de etanol	16,00	PSI
Largo del tanque de etanol	3,96	m
Diámetro del tanque de etanol	1,32	m
Volumen de diseño del tanque de sorbitol	1,56	m ³
Presión de diseño del tanque de sorbitol	39,78	PSI
Largo del tanque de sorbitol	2,46	m
Diámetro del tanque de sorbitol	0,82	m
Temperatura de diseño de los tanques de almacenamiento	30,00	°C

4.5. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La Figura 4.3 muestra el diagrama de Gantt donde se muestra el tiempo de duración de cada actividad durante producción de un colutorio dental de romero. Los criterios para el cálculo del tiempo de cada operación se encuentran en el Anexo V. Una visión

dinámica de las actividades de la planta de producción se realiza a partir del diagrama de Gantt propuesto en la Figura 4.3.

Hora	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Operación	Dia 1										
Clasificación	1er lote										
Desinfección	1er lote										
Acondicionamiento				1er lote							
	Dia 2										
Clasificación	2do lote										
Desinfección	2do lote										
Acondicionamiento				2do lote							
Secado	1er lote										
Molienda y tamizado									1er lote		
	Dia 3										
Clasificación	3er lote										
Desinfección	3er lote										
Acondicionamiento				3er lote							
Secado	2do lote										
Molienda y tamizado									2do lote		
Extracción	1er lote										
Mezclado y envasado							1er lote				

Figura 4.3. Diagrama de Gantt para las actividades propuestas en la planta de producción de colutorio dental de Romero

	Dia 4									
Clasificación	4to lote									
Desinfección	4to lote									
Acondicionamiento				4to lote						
Secado	3er lote									
Molienda y tamizado									3er lote	
Extracción	2do lote									
Mezclado y envasado						2do lote				
	Dia 5									
Clasificación	5to lote									
Desinfección	5to lote									
Acondicionamiento				5to lote						
Secado	4to lote									
Molienda y tamizado									4to lote	
Extracción	3er lote									
Mezclado y envasado						3er lote				

Figura 4.3. Diagrama de Gantt para las actividades propuestas en la planta de producción de colutorio dental de Romero (continuación...)

El diagrama de Gantt es una herramienta que sirve en el análisis de los tiempos de producción para los 3 días que dura la producción de un lote de colutorio, mostrando la duración de cada operación unitaria durante cada día.

Los procesos de molienda, extracción y mezclado dependen del acondicionamiento y el secado, cuyos tiempos de operación abarcan la mayor parte de la jornada laboral, por lo cual, se debe hacer una distribución de actividades durante la primera semana de producción para realizar un diagrama de Gantt de forma adecuada. La Tabla 4.12 muestra los horarios de trabajo, el tiempo diario y el tiempo anual que cada equipo opera durante la producción. Las diversas actividades involucradas en la producción

demandan de 4 operarios que trabajen en todas las operaciones necesarias para la producción, dado que algunos procesos como el acondicionamiento y el secado solo necesitan de vigilancia de un operario, lo que deja tiempo libre para el operario.

Tabla 4.12. Horarios de actividades de la planta operación

Operación	Hora de inicio	Hora de final	Tiempo de operación diaria [h]	Tiempo de operación Anual [h]
Clasificación	8:00	10:00	2,00	526,00
Desinfección	8:05	11:05	3,00	192,00
Acondicionado	11:05	18:17	7,12	1 879,68
Secado	8:00	16:03	8,06	2 127,84
Molienda	16:03	18:57	2,90	765,60
Extracción	8:00	12:36	4,60	1 214,40
Mezclado y envasado	13:36	17:00	3,40	897,60

4.6. DIAGRAMA DE FLUJO (PFD)

El diagrama de flujo (PFD) es un esquema del proceso de producción para la producción de colutorio dental, en donde se muestran los flujos másicos, condiciones de operación y criterios de diseño. El PFD es la base para desarrollar el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) y el Lay Out. El diagrama se muestran los equipos requeridos en el proceso, los cuales son identificados con un código ubicado en la parte superior del plano seguido de los criterios de diseño del equipo. El PFD muestra las líneas del proceso enumeradas de forma creciente empezando por los flujos másicos principales y luego por los secundarios, los cuales hacen referencia a la salida de desechos o el ingreso de insumos secundarios. Estas corrientes que circulan por la línea de proceso se muestran en la tabla de flujo del PFD de la Figura 4.4.

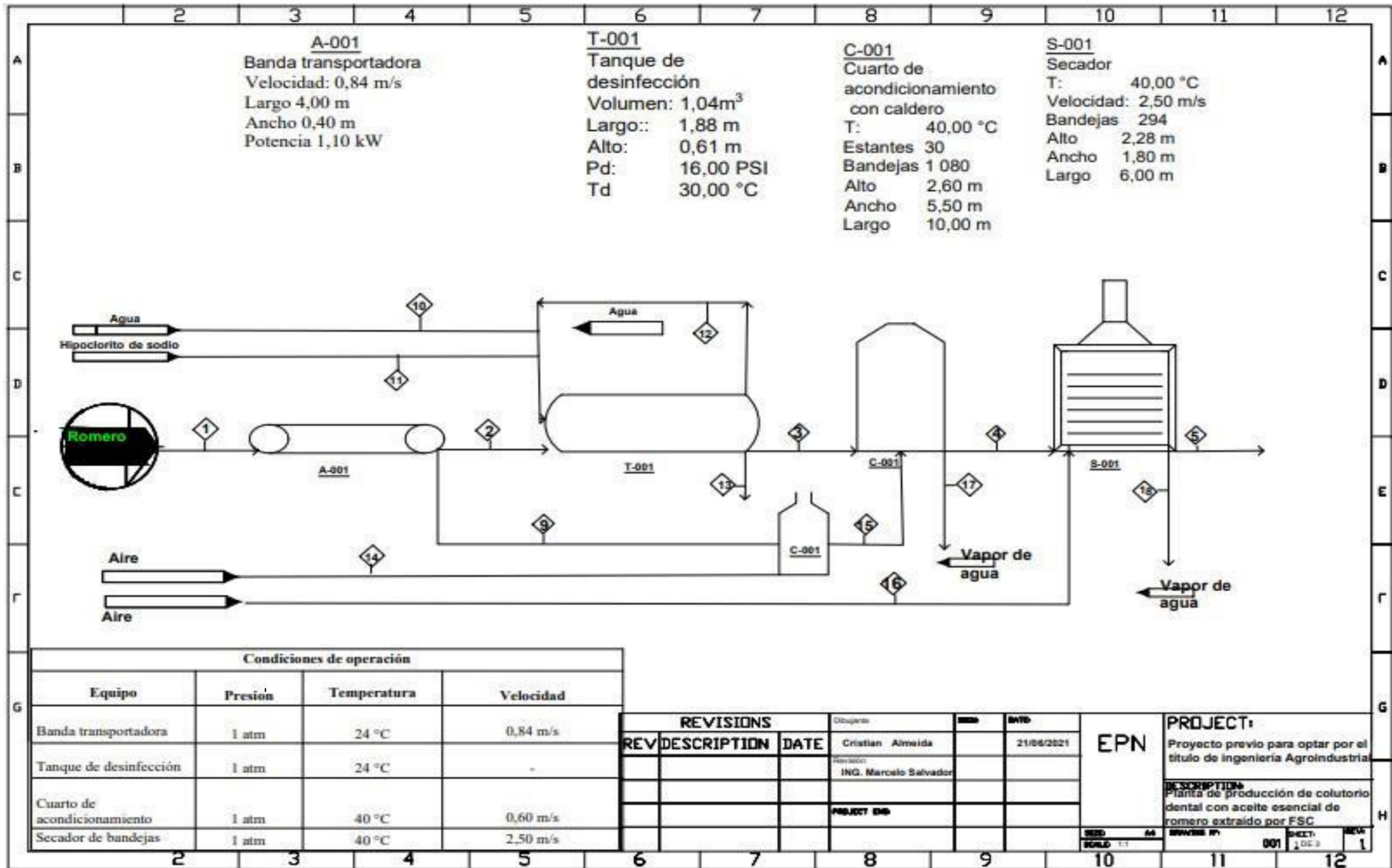


Figura 4.4. Diagrama de flujo (PFD) de la planta productora de colutorio dental

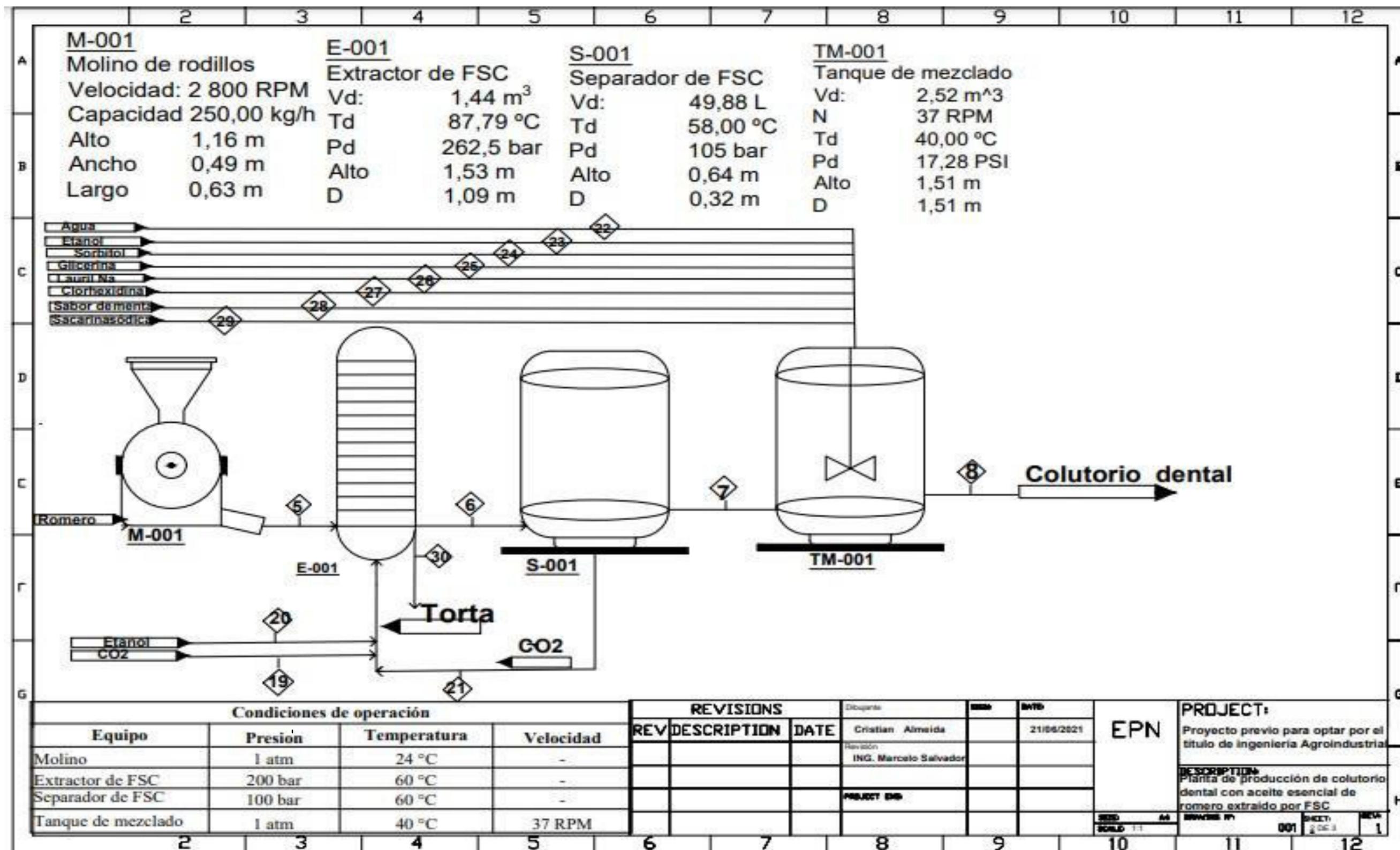


Figura 4.4. Diagrama de flujo (PFD) de la planta productora de colutorio dental (continuación...)

		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																							
A													A																																																						
Flujos masicos del proceso																																																																			
B	Compuesto	Unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																			
	Romero	t/mes	59,8	56,8	56,8	30,9	15,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Aceite esencial	kg/día	-	-	-	-	-	34,3	34,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Colutorio dental	t/mes	-	-	-	-	-	-	-	150,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Torta	t/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 101,8																																			
	Impurezas	t/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
C	Agua	t/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Agua sucio	t/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Hipoclorito de sodio	t/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Aire	kg ^{m⁻²} h ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 419,2	2 419,2	10 080,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Vapor de agua	t/mes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
D	CO2	kg/h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 311,2	-	2 311,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Eanol	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	855,8	-	-	-	-	-	-	-																																			
	Sorbitol	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	386,2	-	-	-	-	-	-																																			
	Glicerina	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 258,5	-	-	-	-	-																																			
	Lauril eter sulfato de sodio	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	256,8	-	-	-	-																																			
	Clorhexidina	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-																																			
E	Sabor de menta	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	273,9	-	-	-																																		
	Sacarina sódica	kg/día	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	-	-	-																																		
	Total de flujo		59,8	56,8	56,8	30,9	15,7	34,3	34,3	150,6	2,9	236,4	1,2	10,8	1,2	2 419,2	2 419,2	10 080,0	25,9	15,2	2 311,2	424,2	2 311,2	3,4	855,8	386,2	1 258,5	256,8	1,4	273,9	2,7	1 101,8																																			
F													F																																																						
G													G																																																						
						<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">REVISIONS</th> <th>Dibujante</th> <th>REV</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>REV</td> <td>DESCRIPTION</td> <td>DATE</td> <td>Cristian Almeida</td> <td></td> <td>21/05/2021</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Revisión</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>ING. Marcelo Salvador</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>PROJECT ENG</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			REVISIONS			Dibujante	REV	FECHA	REV	DESCRIPTION	DATE	Cristian Almeida		21/05/2021				Revisión						ING. Marcelo Salvador						PROJECT ENG			<table border="1"> <tr> <td>EPN</td> <td>PROJECT:</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Proyecto previo para optar por el título de ingeniería Agroindustrial</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DESCRIPTION:</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Planta de producción de colutorio dental con aceite esencial de romero extraído por FSC</td> </tr> </table>		EPN	PROJECT:		Proyecto previo para optar por el título de ingeniería Agroindustrial		DESCRIPTION:		Planta de producción de colutorio dental con aceite esencial de romero extraído por FSC	<table border="1"> <tr> <td>001</td> <td>001</td> <td>001</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>001</td> <td>001</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>001</td> <td>001</td> </tr> </table>		001	001	001	001	001	001	001	001	001	<table border="1"> <tr> <td>001</td> <td>001</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>001</td> </tr> <tr> <td>001</td> <td>001</td> </tr> </table>		001	001	001	001	001	001
REVISIONS			Dibujante	REV	FECHA																																																														
REV	DESCRIPTION	DATE	Cristian Almeida		21/05/2021																																																														
			Revisión																																																																
			ING. Marcelo Salvador																																																																
			PROJECT ENG																																																																
EPN	PROJECT:																																																																		
	Proyecto previo para optar por el título de ingeniería Agroindustrial																																																																		
	DESCRIPTION:																																																																		
	Planta de producción de colutorio dental con aceite esencial de romero extraído por FSC																																																																		
001	001	001																																																																	
001	001	001																																																																	
001	001	001																																																																	
001	001																																																																		
001	001																																																																		
001	001																																																																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																							

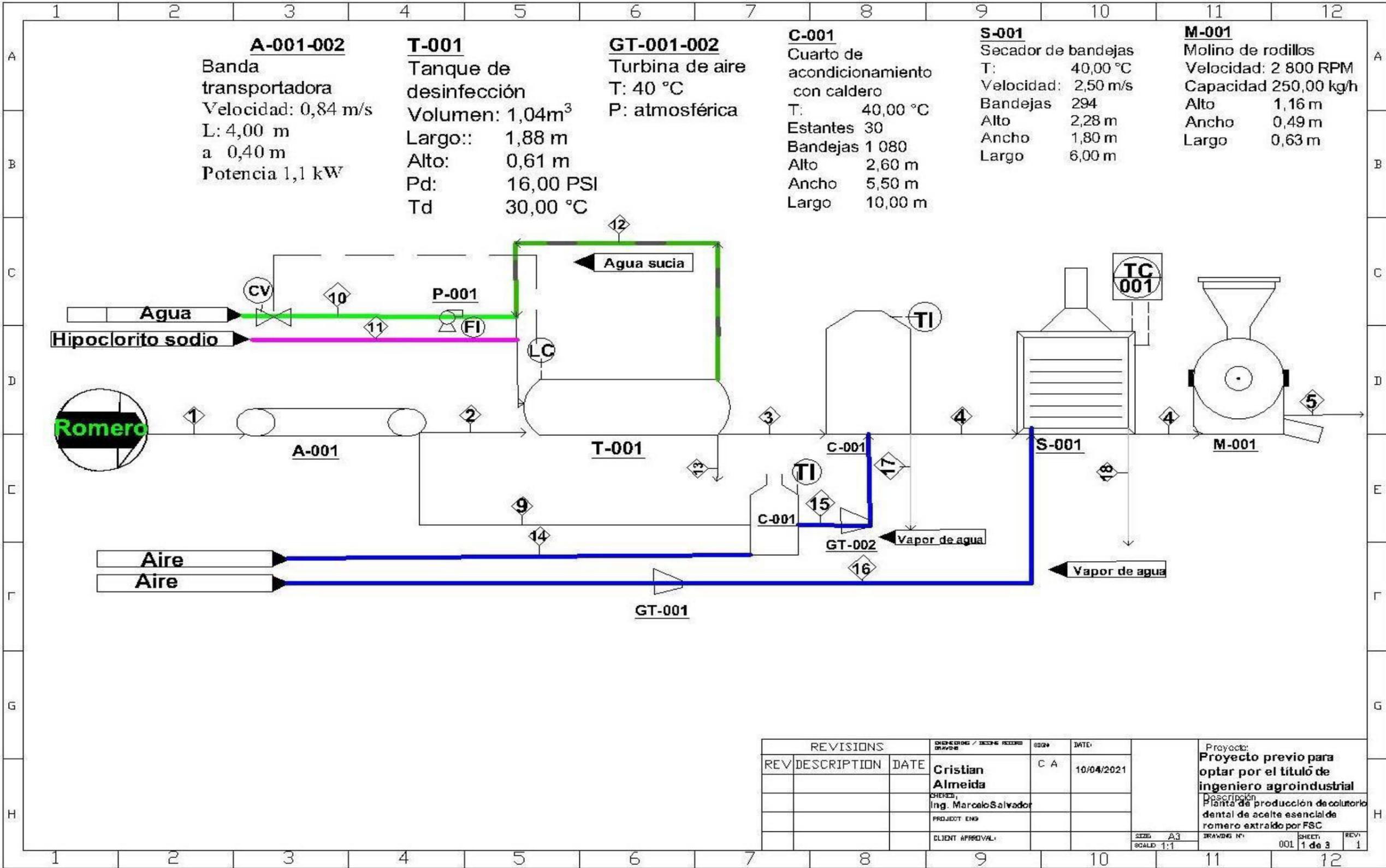
Figura 4.4. Diagrama de flujo (PFD) de la planta productora de colutorio dental (continuación...)

4.7. DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (PI&D)

El diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D) muestra los equipos, las tuberías que transportan las diferentes materias primas, el tipo de bombas usadas, los compresores de aire y CO₂ involucrados en el secado y extracción de aceite esencial, los tanques de almacenamiento, los parámetros de operación de los equipos, los controles y las válvulas necesarias en el proceso de producción del colutorio dental de romero. El diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D) también muestra la posición de los lazos de control e indicadores de las condiciones de operación y el nivel de llenado máximo, medio y mínimo de los tanques usados en el proceso, además, el PI&D muestra el tipo de fluido que transportan las tuberías con la ayuda de diferentes colores, cada color representa un fluido diferente.

El PI&D tiene una nomenclatura que detalla el tipo de fluido es cada color pintado en las líneas del proceso y el tipo de controlador e indicador de cada equipo. El diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D) se realizó basado en la norma PDVSA (1994) "*Manual de ingeniería de diseño. procedimiento de ingeniería. preparación de diagramas de proceso*" (PDVSA, 1994)

Este diagrama se diferencia del PFD dado que se detallan a mayor detalle todos los equipos involucrados en el proceso de producción del colutorio dental de romero y los equipos secundarios que forman parte del proceso como: bombas, compresores y válvulas. Las etiquetas ubicadas en la parte superior del diagrama hacen referencia a los equipos principales y secundarios de la planta de producción y detalla los parámetros de diseño de los mismos. En las tuberías del proceso se muestra el número de tubería, las válvulas y el color del tipo de fluido. Los lazos de control sugeridos están localizados en el tanque de desinfección, cuarto de acondicionamiento, secador de bandejas, tanque de extracción, tanque separador y tanque de mezclado. En la Figura 4.5 se observan los detalles del PI&D, el cual está conformado por tres planos; el plano 1 y 2 muestra los equipos del proceso y el plano 3 muestra la nomenclatura.



REVISIONS			DESIGNED / DISEÑO	SEEN / REVISADO	DATE
REV	DESCRIPTION	DATE			
			Cristian Almeida	C A	10/04/2021
			SHARED, Ing. Marcelo Salvador		
			PROJECT ENG		
			CLIENT APPROVAL		

Proyecto: **Proyecto previo para optar por el título de ingeniero agroindustrial**
 Descripción: **Planta de producción de coolorio dental de aceite esencial de romero extraído por FSC**
 SIZE: A3
 SCALE: 1:1
 DRAWING N°: 001 SHEET: 1 de 3 REV: 1

Figura 4.5. Diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D)

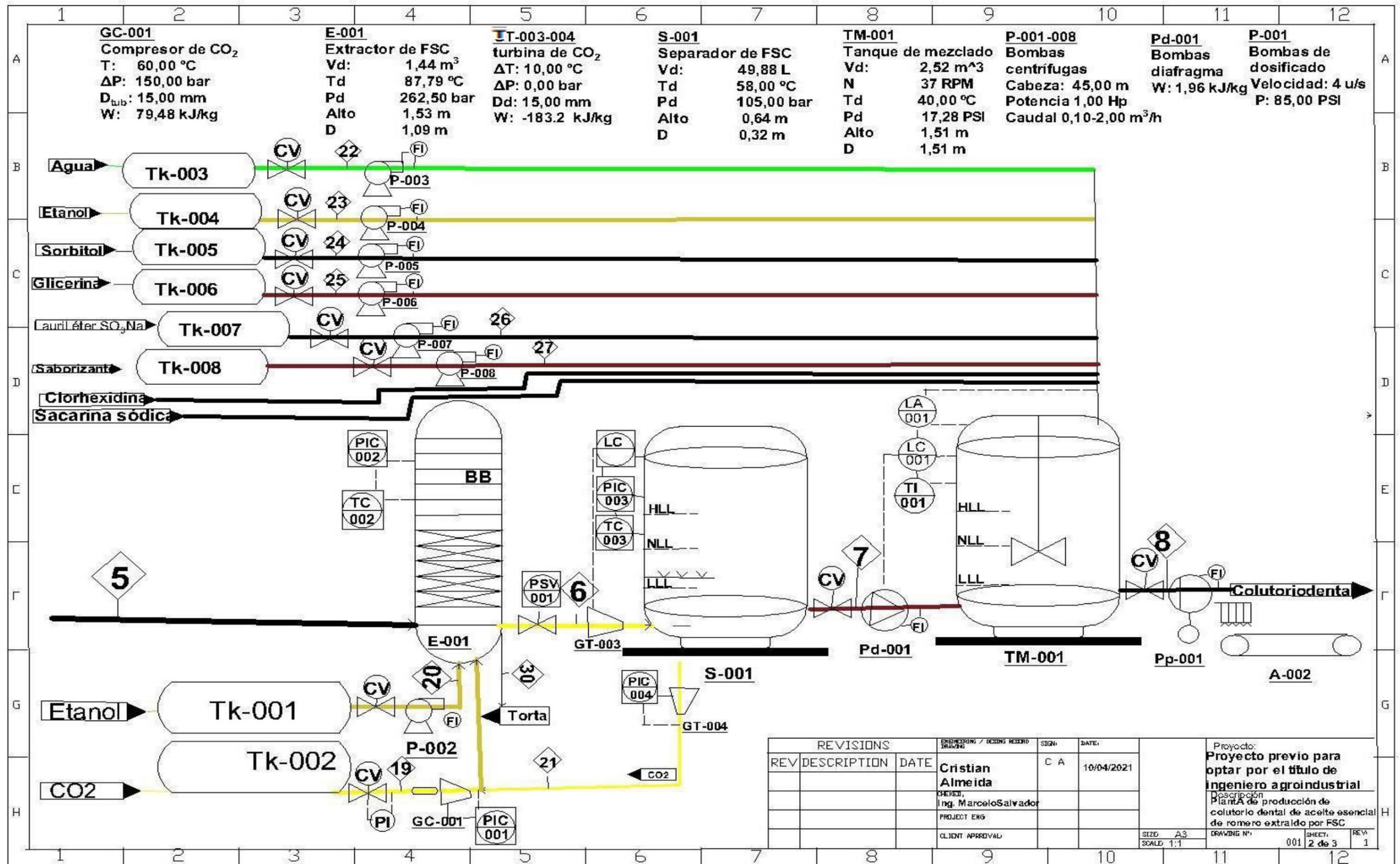


Figura 4.5. Diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D) (continuación...)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A		Parámetros de diseño tanques almacenamiento												
B														
C														
D														
E														
F														
G														
H														

Nomenclatura de P&ID	
BB	Purga continua
LLL	Bajo nivel de líquido
NLL	Nivel de líquido normal
HLL	Alto nivel de líquido
CV	Válvula de control
PIC	Indicador controlador de presión
LC	Controlador de nivel
PSV	Válvula de seguridad y alivio
TC	Controlador de temperatura
TI	Indicador de temperatura
PIC	Indicador y controlador de presión
FI	Indicador de caudal
LA	Nivel de alarma

Tipo de flujo de tuberías	
Muy viscosos	
CO₂	
Etanol	
Aire	
Agua	
Agua sucia	
Hipoclorito de sodio	
Sustancias alimenticias	

REVISIONS			DESIGNED / DRAWING RECORD	SIGN	DATE
REV	DESCRIPTION	DATE	Cristian Almeida	C A	10/04/2021
			Ing. Marcelo Salvador		

PROJECT ENG	CLIENT APPROVAL	SIZE: A3	SCALE: 1:1	PROJECT: Proyecto previo para optar por el título de ingeniero agroindustrial	DESCRIPTION: Planta de producción de colutorio dental de aceite esencial de romero extraído por FSC	DRAWING NO: 001	SHEET: 3 de 3	REV: 1
-------------	-----------------	----------	------------	---	---	-----------------	---------------	--------

Figura 4.5. Diagrama de tuberías e instrumentación (PI&D) (continuación...)

4.8. DISPOSICIÓN DE LA PLANTA (LAY OUT)

Para determinar la disposición de la planta es importante verificar la cercanía y los riesgos que existen en todos los procesos para asegurar la inocuidad de las materias primas y del producto. La disposición de la planta en el LayOut será en forma de letra L para asegurar la inocuidad en el análisis de proximidad y riesgos. Es importante determinar la ubicación de cada unidad de producción para realizar el diseño higiénico, el análisis de proximidad y el respectivo cálculo de las superficies de cada proceso que se muestra en el Anexo VII.

4.8.1. ANÁLISIS DE PROXIMIDAD

En la Tabla 4.11 se muestran los procesos de producción ubicados en 3 zonas de riesgo que son: inerte, sensible y muy sensible. En la zona inerte se efectúan las operaciones de clasificación, desinfección y acondicionamiento, en esta zona el riesgo de contaminación es bajo dado que la misión de esta zona es eliminar toda la contaminación que lleven las hojas de romero usadas en la extracción del aceite esencial. En la zona sensible se desarrolla la operación de secado, donde el control de la humedad y temperatura es importante para no perder las propiedades del aceite esencial, en esta zona también se desarrolla la operación de molienda donde se reduce el tamaño de partícula de las hojas para mejorar el rendimiento de extracción.

En la zona muy sensible están localizadas las operaciones de extracción, mezclado y envasado, en esta zona es importante mantener la inocuidad y la calidad del aceite esencial y el producto, al controlar las condiciones de operación como: el caudal de las bombas, el nivel de llenado del tanque y las concentraciones de las materias primas durante el mezclado. Con el análisis proximal se puede determinar el desplazamiento de los operarios por cada zona de riesgo para controlar la entrada de operarios no autorizados a las zonas sensibles donde se pueda generar contaminación cruzada.

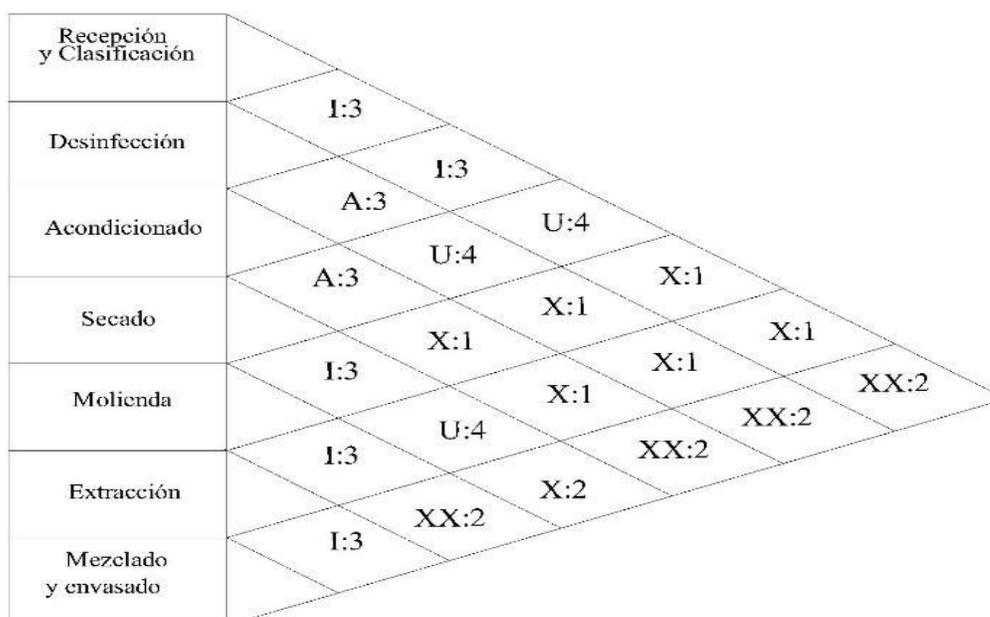
Tabla 4.13. Operaciones de cada zona de riesgo

Zona	Riesgo de contaminación	Operación	Desplazamiento
Inerte	Bajo	Clasificación, desinfección, pre secado	Alto
Sensible	Medio	Secado, molienda	Medio
Muy sensible	Alto	Extracción, mezclado envasado	Bajo

La determinación de zonas de riesgo se determina por cercanía que existe entre cada operación y el riesgo de contaminación dentro de la planta de producción como se observa en la Figura 4.6 y su nomenclatura en la Tabla 4.12.

Tabla 4.14. Nomenclatura del de análisis de proximidad

Códigos de cercanía	Código por motivos
A Absolutamente necesario	1: Por control
I Necesario	2: Por higiene
U Sin importancia	3: Por proceso
X Indeseable	4: Por conveniencia
XX Muy Indeseable	5: Por seguridad

**Figura 4.6.** Análisis de proximidad entre procesos

4.8.2. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

Una adecuada distribución de la planta de procesamiento se realiza en función del desplazamiento de las materias primas, la inocuidad, la seguridad y el espacio necesario para las actividades del operario (Urbina, 2010 pp.96-98). Las áreas de cada unidad de producción son diseñadas en función de las dimensiones que ocupa cada equipo sumándole 0,60 m al lado donde está ubicado el operador y 0,45 m en los demás lados del equipo para su mantenimiento, al área del equipo se multiplica por: 1,8 si se necesita transportar material o 1,2 si solo hay desplazamiento de operarios (PDVSA, 1993).

Una vez determinadas las dimensiones de los equipos utilizados en la producción del colutorio dental de aceite esencial de romero extraído por fluidos supercríticos se realiza la distribución de la planta donde se identifican las siguientes áreas de trabajo.

- Área de recepción de hoja de romero
- Área de desinfección de materia prima
- Área de desperdicios
- Área de acondicionamiento
- Área de secado
- Área de molienda
- Área de extracción por fluidos supercríticos
- Área de mezclado, envasado y almacén de productos
- Área de almacenamiento de materias primas
- Área de servicios higiénicos
- Área de oficinas, sala de juntas y comedor
- Área de parqueaderos y zonas verdes

La Tabla A.VII.1 muestra el diseño higiénico de la planta y la Tabla A.VII.2 muestra las áreas de las unidades de producción plasmadas en el Lay Out de la planta de producción de colutorio dental de romero plasmadas en las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9

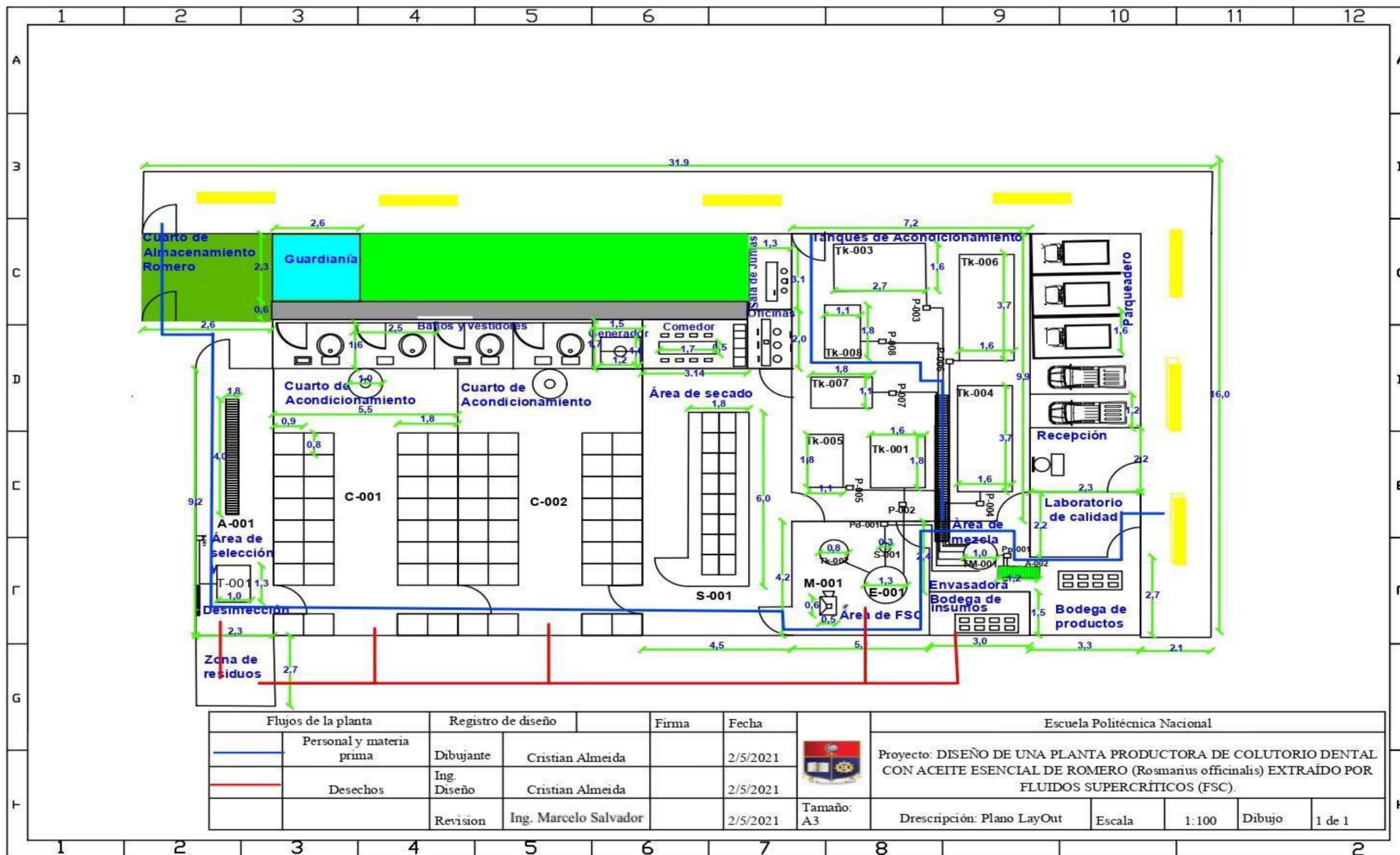


Figura 4.7. Distribución de la planta de producción (LayOut)

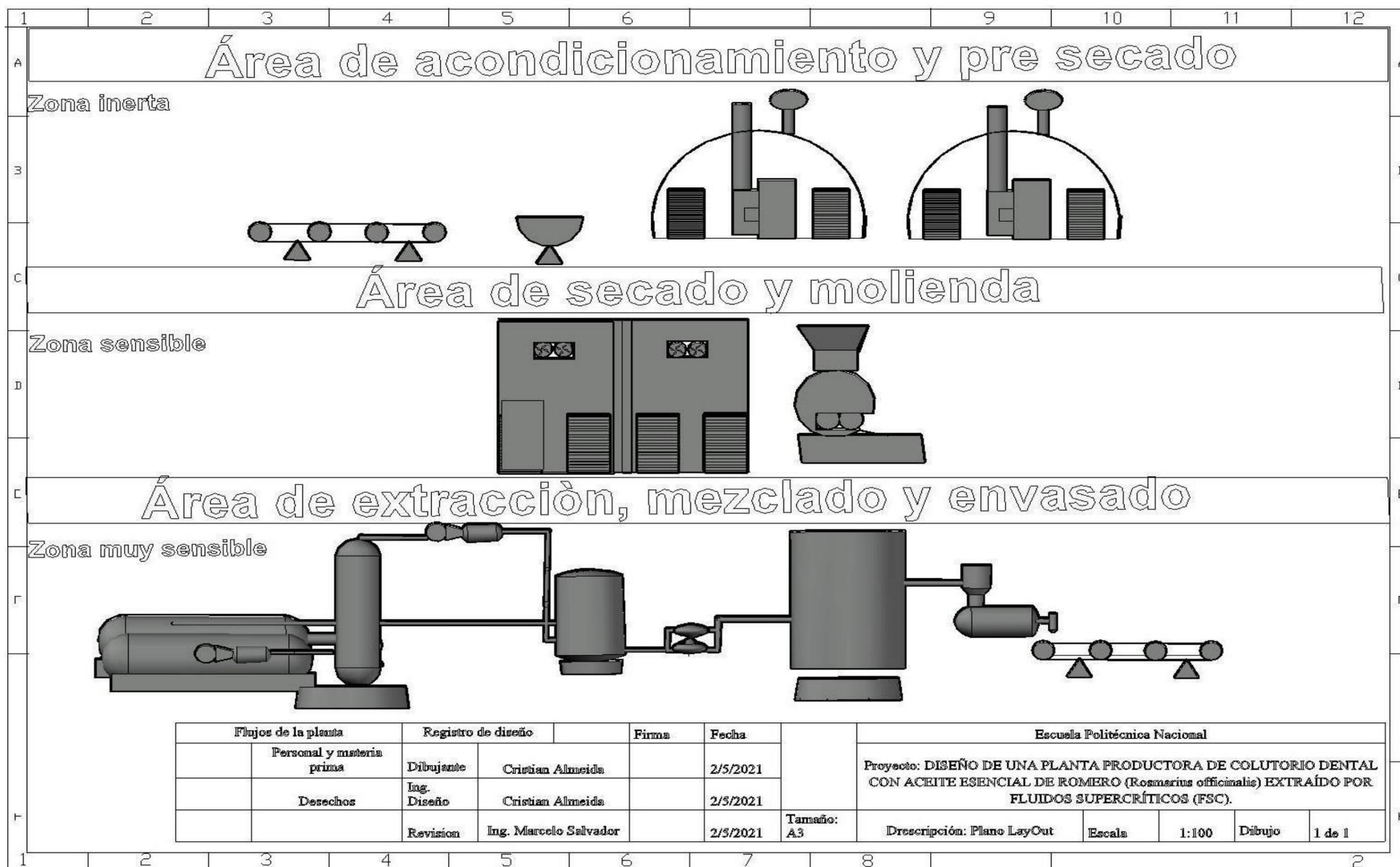


Figura 4.8. Vista horizontal la planta de producción

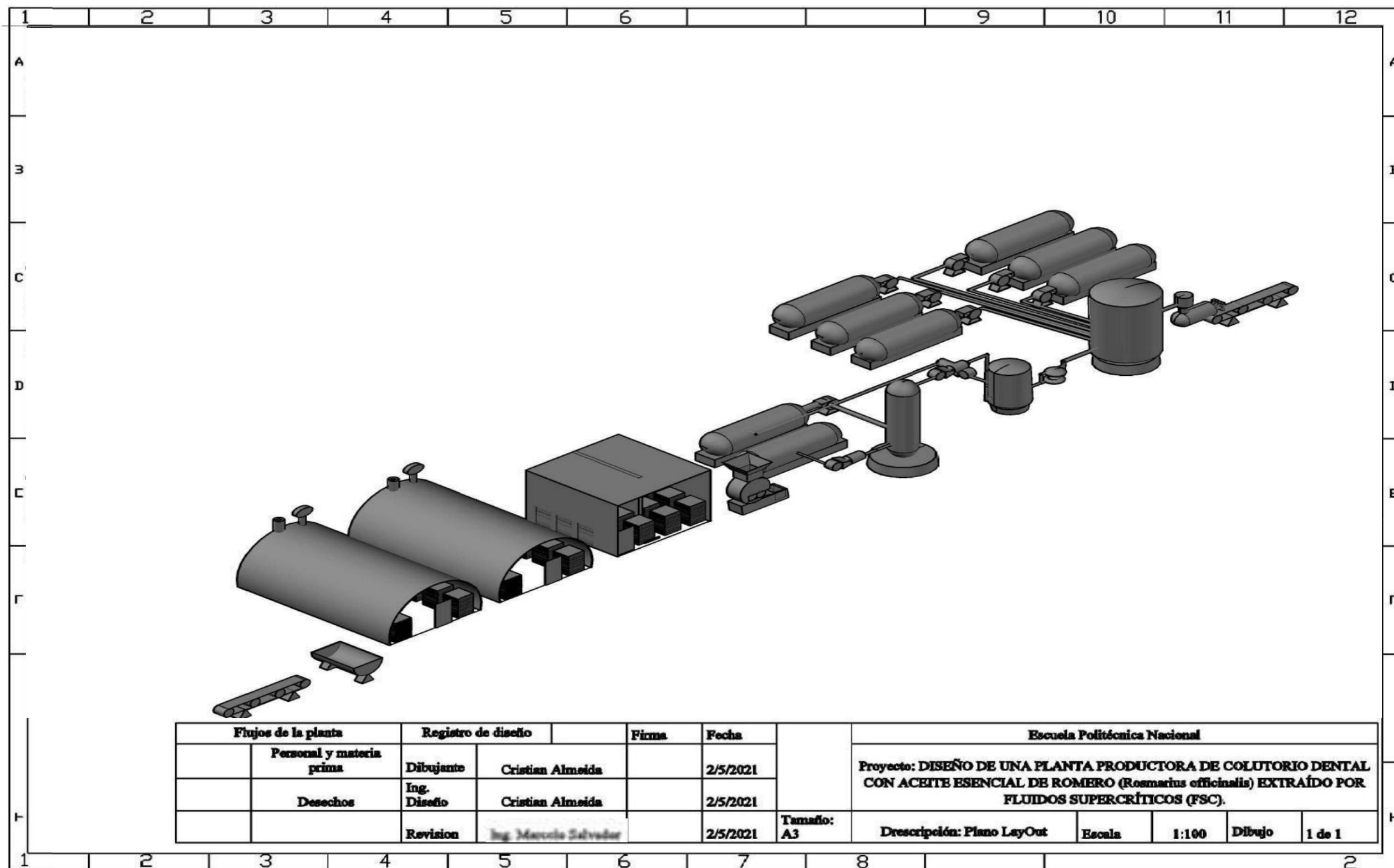


Figura 4.9. Vista superior de la planta de producción

5. ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El estudio de pre factibilidad económica es una herramienta que permite analizar si el diseño de una planta de producción es viable en función de los indicadores financieros,

5.1. INVERSIÓN DEL PROYECTO

La inversión es el desembolso de dinero hecho para la compra de terreno, edificación de la planta de producción y la compra de maquinaria necesaria. El capital de inversión para la adquisición de la maquinaria de la planta se observa en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Inversión en maquinaria

Descripción	Modelo	Cantidad	Precio unitario [USD]	Precio total [USD]
Banda transportadora	Ecuapack	2	1 650,00	3 300,00
Lavadora	Tengsheng	1	3 710,00	3 710,00
Cuartos de acondicionado	Artesanal	2	462,00	924,00
Estantes	Artesanal	32	32,00	1 024,00
Calderos	IOLMYT	2	840,00	1 680,00
Secador	Gongyo	1	16 800,00	16 800,00
Molino de martillo	Minsheng	1	2 940,00	2 940,00
Equipo de fluidos supercríticos	Minsheng	1	1 000 000,00	1 000 000,00
Tanque de almacenamiento 550 gal	FOB shanghai	3	4 800,00	14 400,00
Tanque de almacenamiento 1 000 gal	FOB shanghai	1	5 700,00	5 700,00
Tanque de almacenamiento 1 500 gal	FOB shanghai	1	6 800,00	6 800,00
Tanque de almacenamiento 2 000 gal	FOB shanghai	2	8 000,00	16 000,00
Bombas centrífugas	Shinshang	8	131,00	1 048,00
Tanque de mezclado	LST	1	17 770,00	17 770,00
Bomba dosificadora	Huayang	1	18 000,00	18 000,00
Bomba de diafragma	Alibaba	1	760,00	760,00
			TOTAL	1 110 856,00

Para la inversión de la compra de terreno se realizó una investigación sobre los costos de terrenos de una hectárea de superficie en la zona rural de la parroquia de Moraspungo en el cantón Pangua cerca a la vía Quinsaloma-Moraspungo, cuyos precios oscilan entre 10 000,00 a 25 000,00 USD dependiendo de la topografía del terreno y acceso a fuentes de agua (Mitula, 2021).

El costo de construcción varía dependiendo de la infraestructura, el Colegio Nacional de Arquitectos de Ecuador (2019) realizó una estimación de los costos de construcción por metro cuadrado dependiendo el tipo de infraestructura. Peters y Timerhaus (2002) han estimado que los costos de accesorios, instalación y pruebas de tuberías representa el 10 % del costo de la maquinaria de fluidos supercríticos, tanques y bombas, mientras que el costo de las instalaciones y generadores eléctricos es equivalente al 6 % del costo de la maquinaria (p. 240).

Los costos indirectos relacionados a la contingencia de las instalaciones, estructura de comunicaciones y otros servicios representa el 1 % del costo de la maquinaria (Peters y Timerhaus, 2002, p. 247). En la Tabla 5.2 se muestra el total de la inversión en la construcción de la planta.

Tabla 5.2. Inversión en construcción y terrenos

Terreno			
	Cantidad [m²]	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Terreno producción	7 800,00	3,10	24 180,00
Construcción			
	Cantidad [m²]	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Fábrica	372,00	300,00	111 600,00
Oficinas, comedor, lockers	18,20	300,00	5 460,00
Cerramiento	41,20	250,00	10 300,00
Corredores y bodegas	75,00	250,44	18 783,00
Cuarto de laboratorio	7,34	300,00	2 202,00

Tabla 5.2. Inversión en construcción y terrenos

Construcción			
	Cantidad [m²]	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Estación e instalación eléctrica	-	66 651,30	66 651,30
Instalación de tuberías y controladores	-	108 145,80	108 145,80
Instalaciones contingencia e instrumentación	-	11 108,56	11 108,56
Costo total de infraestructura			358 430,66

5.2. EGRESOS DEDUCIBLES DEL PROYECTO

5.2.1. MANO DE OBRA DIRECTA E INDIRECTA

La mano de obra directa es todo el personal que está en contacto de forma directa en la producción, mientras que la mano de obra indirecta es todo el personal que no está involucrado en el procesamiento. Los sueldos de la mano de obra y sus beneficios públicos se muestran en las Tablas 5.3 y 5.4. (Ministerio del Trabajo, 2016, pp. 1-15). El imprevisto laboral se considera como un 5 % del total de los sueldos anuales en caso de existir un accidente, permiso por maternidad, etc. (Bohórquez y Rojas, 2009, p. 297).

Tabla 5.3. Egresos de mano de obra directa

Mano de obra directa	Personas	Sueldo [USD]	Aportación anual del IESS [USD]	Décimos [USD]	Fondos de reserva [USD]	Total [USD]
Gerente operación y I+D	1	800,00	1 070,40	1 200,00	799,68	12 670,68
Ingeniero de alimentos	1	600,00	802,80	1 000,00	599,76	9 602,56
Operarios	4	400,00	535,20	3 200,00	1 599,36	24 534,56
					Subtotal	46 807,20
					Imprevistos	2 340,36
					Total	49 147,56

Tabla 5.4. Egresos de mano de obra indirecta

Mano de obra indirecta	Personas	Sueldo [USD]	Aportación anual del IESS [USD]	Décimos [USD]	Fondos de reserva [USD]	Total [USD]
Gerente ejecutivo	1	600,00	802,80	1 000,00	799,68	9 802,48
Contador/comercio exterior	1	500,00	669,00	900,00	499,80	8 068,80
Vendedores	1	550,00	735,90	950,00	550,20	8 836,10
Guardias	1	450,00	602,10	850,00	448,68	7 300,78
Diseñador gráfico/redes	1	450,00	602,10	850,00	448,68	7 300,78
Empleado de limpieza	1	450,00	602,10	850,00	448,68	7 300,78
					Subtotal	48 809,72
					Imprevistos	2 430,49
					Total	51 040,21

5.2.2. MATERIAS PRIMAS

Los costos de la materia prima necesaria para el procesamiento de colutorio dental pueden variaren función del volumen de producción. En la Tabla 5.5 se muestran los costos relacionados con la producción anual de colutorio dental.

Tabla 5.5. Costos de materia prima

Materia prima	Cantidad/año	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Hipoclorito de sodio	14 142,50	kg	2,38	33 659,15
Agua	3 733,49	m ³	0,35	1 306,72
Etanol	337 560,00	L	1,30	438 828,00
Sorbitol	101 880,00	kg	1,15	117 162,00
Glicerina	332 280,00	kg	1,70	564 876,00
Lauril sulfato desodio	67 800,00	kg	1,75	118 650,00
Sabor menta	72 360,00	kg	17,00	1 230 120,00
Clorhexidina	361,56	kg	31,00	11 208,36

Tabla 5.5. Costos de materia prima (continuación...)

Materia prima	Cantidad/ año	Unidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Sacarina sódica	723,00	kg	15,60	11 278,80
Romero	717 000,00	kg	1,05	752 850,00
Envases vidrio250 mL	7 528 656,00	kg	0,05	376 432,80
			Total	3 656 371,83

5.2.3. GASTOS

Los gastos son egresos relacionados al costo de servicios, permisos, estudios previos, etc. Estos gastos se desembolsan durante el año para cubrir servicios básicos, gastos publicitarios y otros gastos del funcionamiento de la planta de producción. Todos estos gastos se observan en la Tabla 5.6.

El consumo eléctrico estimado se obtiene a partir de la Tabla 4.2, en Ecuador el precio de la energía eléctrica para el sector industrial con altos voltajes es de 0,07 USD/kW-h (CNELEP, 2020, pp. 7-23).

Tabla 5.6. Gastos fijos de la planta

	Cantidad/año	Unidad	Gasto unitario [USD]	Gasto total [USD]
Permisos y otros gastos jurídicos	1,00	-	8 000,00	8 000,00
Electricidad	25 346,41	kW-h	0,07	1 774,25
Publicidad	12,00	mes	25 000,00	300 000,00
Viáticos	12,00	mes	800,00	9 600,00
Otros servicios	12,00	mes	4 809,57	57 714,80
			Total	377 089,05

Los costos relacionados a otros servicios como publicidad, internet, permisos, etc. se han obtenido a partir de una investigación en los tarifarios de las diferentes instituciones públicas y empresas privadas que brindan estos servicios en Moraspungo cantón Pangua provincia de Cotopaxi.

La Tabla 5.7 muestra los egresos deducibles de mano de obra directa e indirecta, materia prima y los gastos por servicios que se generan en la planta de producción. Estos gastos incrementan 5,4 % de acuerdo al incremento de mercado que se calculó con la Ecuación 2.4.

Tabla 5.7. Egresos deducibles del proyecto

Año	Mano de obra directa [USD]	Mano de obra indirecta [USD]	Materia prima [USD]	Gastos fijos [USD]	Egresos deducibles [USD]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	49 147,56	51 040,21	3 656 371,83	377 089,05	4 133 858,65
2	51 801,51	53 796,38	3 853 815,91	397 451,86	4 357 087,01
3	54 598,81	56 701,38	4 061 921,97	418 914,26	4 592 369,71
4	57 547,15	59 763,26	4 281 265,76	441 535,63	4 840 357,68
5	60 654,69	62 990,47	4 512 454,11	465 378,55	5 101 736,99

5.3. EGRESOS NO DEDUCIBLES DEL PROYECTO.

5.3.1. DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

La depreciación es la pérdida de valor en el tiempo de la maquinaria, edificio, muebles, etc. En caso de no existir una depreciación total de los activos fijos tangibles se establece el valor en libros de los mismos, el cual representa el precio de estos activos en caso de ser vendidos al final del tiempo de vida del proyecto de la planta de producción de colutorio dental a partir de aceite esencial de romero extraído a partir

de fluidos supercríticos (FSC) (Niño y Rivas, 2004, p. 150). En la Tabla 5.8 se muestra el valor en libros al final del proyecto, mientras que la Tabla 5.9 muestra el total de la depreciación anual de 135 0358,13 USD de los activos tangibles de la empresa. Los muebles y el vehículo son los activos que se desprecian totalmente durante el tiempo de vida del proyecto. Mientras que la maquinaria es el activo que puede venderse a mayor precio al final del proyecto.

Tabla 5.8. Valor en libros de activos tangibles

Bien inmueble	Depreciación [Años]	Años					
		0	1	2	3	4	5
Maquinaria [USD]	10	1 110 856,00	999 770,40	888 684,80	777 599,20	666 513,60	555 428,00
Auto [USD]	5	27 000,00	21 600,00	16 200,00	10 800,00	5 400,00	0,00
Edificio [USD]	20	334 250,60	317 538,10	300 825,60	284 113,10	267 400,50	250 688,00
Muebles [USD]	5	9 200,00	7 360,00	5 520,00	3 680,00	1 840,00	0,00
Terreno [USD]	0	24 180,00	24 180,00	24 180,00	24 180,00	24 180,00	24 180,00
						Valor libros [USD]	830 296,00

Tabla 5.9. Depreciación de activos tangibles

Bien inmueble	Valor depreciado anual [USD]
Maquinaria	111 085,60
Auto	5 400,00
Edificio	16 712,53
Muebles	1 840,00
Terreno	0,00
Total	135 038,13

La amortización es la pérdida de valor de los documentos necesarios para funcionamiento de la planta, la pérdida de valor total del documento puede ser anual, mientras que otros documentos pueden caducar al final del proyecto. Se supondrá que la planta tenga una inversión de 7 573,00 USD en documentos como: escritos

de abogados, constitución de la empresa, registro de marca, estudios de mercado, notificación sanitaria y permiso de funcionamiento, estos perderán valor durante 5 años, el total del valor de la amortización por año será 1 514,60 USD

5.4. INGRESOS Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

El estudio de mercado determina la población dispuesta a adquirir un colutorio dental, se estima que para abastecer la demanda nacional es necesario producir 627 388 unidades mensuales de producto, asumiendo que el cliente se abastecerá de este producto una vez por mes. Los competidores presentes en el mercado han permitido analizar el precio de venta y el costo de producción. El precio de venta al público será de 4,50 USD incluido el IVA dejando 0,54 USD de IVA y un margen de ganancia al intermediario de 35 % es decir 1,39 USD. Lo que determinó un precio de fábrica de 2,57 USD. Las Ecuaciones 5.1 a 5.4 permiten obtener los precios de acuerdo a los cálculos del Anexo A.VIII.1 (Vallejos y Chilliquinga, 2017, pp. 8-11).

$$IVA = 0,12 \times P_v \quad [5.1]$$

$$P_d = P_v - IVA \quad [5.2]$$

$$m = 0,35 \times P_d \quad [5.3]$$

$$P_f = P_d - m \quad [5.4]$$

Donde:

IVA: Valor de impuesto agregado [USD]

m: Margen de ganancia [USD]

P_f: Precio de fábrica [USD]

P_d: Precio de distribución [USD]

P_v : Precio de venta [USD]

El costo unitario es importante ya que permite determinar el precio unitario del colutorio dental de romero y permite conocer el porcentaje de ganancia que dejaría la venta de cada unidad. Para determinar el costo unitario es necesario conocer el costo de la mano de obra directa y el costo de materia prima.

El costo unitario para el colutorio dental de romero es 0,49 USD. El costo unitario se determina a partir de la Ecuación 5.5 cuyo cálculo se encuentra en el Anexo A.VIII.1 (Vallejos y Chilliquinga, 2017, p. 10).

$$CU = \frac{C_{mp} + C_{md}}{12 \times N} \quad [5.5]$$

Donde:

C_{mp} : Costo materia prima [USD]

C_{md} : Costo mano de obra directa [USD]

CU : Costo unitario [USD]

N : Número de unidades

Los costos fijos de la empresa son los valores relacionados a: mano de obra indirecta, servicios básicos y gastos iniciales del tiempo de vida del proyecto (5 años), estos costos fijos representan un valor de 564 891,99 USD. Los costos variables al sumar los costos la mano de obra directa y materia prima representan un valor de 3 705 519,39 USD; estos valores se obtienen de los egresos deducibles del proyecto que se muestra en la Tabla 5.7.

El ingreso proyectado que generará la empresa por ventas de colutorio dental de romero durante el primer año será de 19 348 646,00 USD como se observa en la Tabla 5.10. El incremento de los ingresos después del primer año se realiza en función del

crecimiento proyectado en el estudio de mercado de la Ecuación 2.4, que hace referencia al porcentaje de personas a las que se podría vender el producto en el futuro y se obtiene con la diferencia entre la población demandante efectiva y la población demandante potencial, lo que determina un porcentaje de incremento de mercado de 5,4 % de la población

Los ingresos, los costos fijos y variables determinan el punto de equilibrio en el cual no se tendrán pérdidas ni ganancias. La Ecuación 5.6 determina el punto de equilibrio en función del número de unidades vendidas (271 583) e ingresos por ventas (698 702,72 USD). Estos valores permiten saber la cantidad de unidades que se debe vender para cubrir todos los gastos y costos de la planta de producción calculados en el Anexo A.VIII.2 (Vallejos y Chilliquinga, 2017, pp. 8-11).

$$P.E = \frac{CF}{P_v - CU} = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{I}} \quad [5.6]$$

Donde:

CF: Costo fijo [USD] CU: Costo unitario [USD] CV: Costo variable [USD]

P.E: Punto de equilibrio [USD]

Tabla 5.10. Ingresos por ventas de colutorio dental

Año	Colutorio dental	Precio de fábrica [USD]	Ingresos [USD]
0	0	2,57	0,00
1	7 528 656	2,57	19 348 645,92
2	7 935 203	2,57	20 393 473,80
3	8 363 704	2,57	21 494 720,33
4	8 815 344	2,57	22 655 435,23
5	9 291 373	2,57	23 878 828,73

5.5. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja detalla las utilidades brutas, utilidades netas y el flujo neto que se obtiene al final de cada año del proyecto. En el flujo de caja también se detalla la inversión en maquinaria, capital de trabajo, construcción, gastos iniciales, etc.

El capital de trabajo es el presupuesto que necesitará la planta para un tiempo estimado en el cual la planta de producción no generará ventas (Fornero, 2003, p. 126). Para la planta de producción del colutorio dental de romero se supondrá que los primeros 7 meses del inicio del proyecto no se generarán ingresos debido a la puesta en marcha del proceso y apertura del mercado. El capital de trabajo se calcula en el Anexo A.VIII.3 a partir de la Ecuación 5.7 que determina un monto necesario de 2 411 417,54 USD para que la planta pueda cubrir los gastos fijos y costos variables durante un periodo de tiempo de 7 meses el cual se supondrá que la planta no obtendrá ganancias.

$$CT = n \times \frac{CF + CV}{12} \quad [5.7]$$

Donde

CF: Costos fijos [USD]

CV: Costos variables [USD]

CT: Capital de trabajo [USD]

n: Número de meses de capital de trabajo

Para la determinación del flujo neto en el flujo de caja, se considera que el capital de trabajo se recupera al finalizar el tiempo de vida del proyecto. El valor en libros de los activos que aún tienen un precio de venta en el mercado al final del proyecto se sumará también al último año del flujo de caja para determinar el flujo neto. La utilidad neta se diferencia del flujo neto dado que en el flujo neto de cada año se le suma la

depreciación y amortización que se resta a la utilidad bruta como egresos no deducibles del proyecto. La Tabla 5.11 muestra el flujo de caja del proyecto, el SRI (2021) indica que exonerará por 3 años del impuesto a la renta a la PYMES recién creadas a partir del 2017 (p. 10)

Tabla 5.11. Flujo de caja del proyecto

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos [USD]	0,00	19 348 645,92	20 393 472,80	21 494 720,33	22 655 435,23	23 878 828,73
Egresos deducibles [USD]	0,00	-4 133 648,65	-4 356 865,01	-4 592 136,42	-4 840 111,79	-5 101 477,82
Utilidad bruta[USD]	0,00	15 214 997,27	16 036 607,13	16 902 583,91	17 815 323,44	18 777 350,91
Egresos no deducibles proyecto [USD]	0,00	-136 552,73	-136 552,73	-136 552,73	-136 552,73	-136 552,73
Utilidad antes de impuestos [USD]	0,00	15 078 444,54	15 900 054,39	16 766 031,18	17 678 770,71	18 640 798,18
Impuestos 25 % USD]	0,00	0,00	0,00	0,00	-4 419 692,68	-4 660 199,54
Utilidad neta [USD]	0,00	15 078 444,54	15 900 054,39	16 766 031,18	13 259 078,03	13 980 598,63
Valor en libros [USD]						830 296,00
Recuperación de capital de trabajo [USD]						2 411 295,04
Depreciación [USD]		135 038,13	135 038,13	135 038,13	135 038,13	135 038,13
Amortización [USD]		1 514,60	1 514,60	1 514,60	1 514,60	1 514,60
Inversión financiada[USD]	-3 845 094,70					
Inversión empresa [USD]	-51 180,00					
Flujo neto [USD]	-3 896 274,70	15 214 997,27	16 036 607,13	16 902 583,91	13 395 630,77	17 358 742,40

5.6. INDICADORES FINANCIEROS PARA EL PROYECTO

Los indicadores financieros son parámetros que permiten concluir si es viable o no realizar el proyecto de edificación de una planta de producción de colutorio dental con aceite esencial de romero extraído a partir de fluidos supercríticos. Según Fornero (2003) indica que las proyecciones financieras para determinar los indicadores financieros de una empresa no deben ser menor de 5 años (p. 194). El tiempo de 5 años es el tiempo que se supondrá para que el producto alcance su madurez en el mercado antes de que empiece a decaer las ventas. Para realizar las proyecciones financieras para más tiempo de vida del proyecto, se debe realizar un estudio del ciclo de vida de productos similares al colutorio dental de romero para determinar el porcentaje de reducción de las ventas en la etapa de declive.

Los principales indicadores financieros por considerar en este proyecto son: la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). Las Ecuaciones 5.8, 5.9 y 5.10 permiten determinar estos valores con ayuda del software Excel. Para determinar la tasa de oportunidad se considera el porcentaje de proyección de incremento de ventas (5,4 %) que se obtuvo en la Ecuación 2.4.

$$TIR = \sum VP = 0 \quad [5.8]$$

$$VAN = -I_0 + \sum VP \quad [5.9]$$

$$VP = \frac{VF}{(1 + TO)^n} \quad [5.10]$$

Donde:

lo: Inversión inicial [USD]

n: Año

- TO: Tasa de oportunidad [USD]
 TIR: Tasa interna de retorno [USD]
 VF: Flujo de caja de cada año [USD]
 VP: Valor presente [USD]
 VAN: Valor actual neto [USD]

Los indicadores financieros se obtienen a partir de la determinación del valor presente que se observa en la Tabla 5.12 calculada a partir de la Ecuación 5.10, el valor presente neto permite calcular la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) del proyecto de producción del colutorio dental de romero.

Tabla 5.12. Valor presente

Año	Valor presente (VP) [USD]
0	-3 869 294,20
1	14 435 481,28
2	14 435 481,28
3	14 435 481,28
4	10 854 272,61
5	13 344 896,32

Para la planta de producción de colutorio dental se determinó que la tasa interna de retorno es de 369,59 %; este valor muestra una gran viabilidad para la implantación del proyecto, pese a que se considera una baja tasa de oportunidad (5,4 %) calculada a partir de la Ecuación 2.4. El valor actual neto (VAN) calculado a partir de la Tabla 5.12 es de 63 609 338,08 USD; este valor al ser positivo y elevado corrobora a la tasa interna de retorno confirmando la viabilidad del proyecto. El flujo neto de la proyección financiera también determina que el capital invertido en la planta de producción de colutorio dental se podrá recuperar al finalizar el primer año de ventas del producto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La planta producirá 627 388 unidades/mes de colutorio dental que representa 150,64 t de colutorio dental; para lo cual necesitará 59,73 t de romero fresco del cual se extraerá 755,36 kg de aceite esencial. Cada lote de producto se producirá en 3 días de operación
- La planta de producción de colutorio dental tiene una inversión total de 3 869 397,20USD; que corresponde a los costos de maquinaria, estructura y capital de trabajo.
- La utilidad neta de la empresa en el primer año es 15 078 444,54 USD; obteniendo los siguientes indicadores financieros: tasa de oportunidad 5,4 %; periodo de recuperación de capital de 1 año, tasa interna de retorno (TIR) de 369,59 %; y el valor actual neto (VAN) de 63 609 338,08 USD; determinando un proyecto de gran viabilidad.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un estudio de mercado con datos reales a partir de encuestas realizadas a la población demandante potencial para determinar la intención real de compra del producto en los supermercados.
- Se recomienda realizar la ingeniería al detalle para edificar una planta piloto de producción de colutorio dental que permita replicar el proceso de escalado de las dimensiones de los equipos y determinar el tiempo de extracción de una forma más precisa que permita validar el diseño propuesto.

- Se recomienda realizar el estudio experimental que permita determinar la cinética de secado de la hoja de romero y la cinética extracción de aceite esencial de romero para optimizar los tiempos de operación que involucra cada proceso a diferentes tamaños de partícula, presiones y temperaturas de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNEWswire (2018) “*Overview of the global essential oils market covering changing market trends y emerging opportunities for different products like orange, eucalyptus, peppermint, citronella, lemon, lime, clover leaf. Business Wire: A Berkshire Hathaway Company.*” Recuperado de: http://www.abnewswire.com/pressreleases/overview-of-the-global-essential-oils-market-covering-changing-market-trends-emerging-opportunities-for-different-products-like-orange-eucalyptus-peppermint-citronella-lemon-lime-clover-leaf_22641.html (Enero, 2021)
2. Acosta, L., Alfaro, T., Cabezas, C., Carballo, C., Palazón, Z. Ramos, R., Rodríguez, C., y Reyes, M. (2002). “*Desinfección química de plantas medicinales II*”. Revista cubana de plantas medicinales. Vol. 2002(2-3). 1028-4769. Recuperado de: http://scielosldcu/scielolo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962002000300003 (Abril, 2020)
3. Aguado, J., Calle, J., Cañizares, P. Lopez, B., Santos, A. y Serrano, D. (1999). “*Ingeniería de la industria alimentaria*”. Vol. 1. 1ra Ed. Síntesis S. A. Editorial Madrid-España
4. Aguado, J., Calle, J., Cañizares, P. Lopez, B., Santos, A. y Serrano, D. (2002). “*Ingeniería de la industria alimentaria*”. Vol. 2. 1ra Edición.: Síntesis S. A. Editorial. Madrid-España
5. Aguado, J., Calle, J., Cañizares, P. Lopez, B., Santos, A. y Serrano, D. (2003). “*Ingeniería de la industria alimentaria*”. Volumen 3. 1ra Ed: Síntesis S. A. Editorial. Madrid-España
6. Aguirre, L. (2008). “*Construcción de una máquina para ensayos de juntas soldadas*”. Proyecto previo a la obtención del título tecnólogo en procesos de producción

mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador

7. Alcaraz, L., Real, S. y Rodríguez, M. (2012). "*Procedimiento de extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas*". Recuperado de: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/540/1/rodriguez_m.pdf (Junio, 2021)
8. Alibaba (2020). "*Venta de equipos industriales*". Recuperado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/>(Septiembre, 2021)
9. Almada, M., Cáceres, M., Machain, M. y Pulfer, J. (2005). "*Guía de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*". Fundación Celestina Pérez de Almada. Asunción-Paraguay. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf> (Enero, 2021)
10. American Petroleum Institute (2002). "*A.P.I. 620 Diseño y construcción de tanques de almacenamiento grandes soldados y de baja presión*". Recuperado de: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.620.2002.pdf> (Enero, 2021)
11. American Petroleum Institute (2003a). "*A.P.I. 617 compresores centrífugos*". Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/133570919/API-617-Centrifugal-Compressor-pdf>(Enero, 2021)
12. American Petroleum Institute (2003b). "*A.P.I. 570 Código de inspección de tuberías inspección, reparación, alteración e integridad de sistemas de tubería*". Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/15778082/API-570-Codigo-de-Inspeccion-de-Tuberia-agosto-2003-OK-pdf> (Enero, 2021)
13. American Petroleum Institute (2008) "*A.P.I 12D Tanques para almacenamiento*

delíquidos". Recuperado de: <https://dokumen.tips/documents/normas-api-12d.html> (Enero, 2021)

14. American Petroleum Institute (2010) " *A.P.I. 610 Bombas centrifugas* ". Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5529/1/Ap%C3%A9ndice%201%20-%20Norma%20API%20610%20-%20Version.doc> (Enero, 2021)
15. Avalos, R. (2014). " *Proyecto de exportación de los productos obtenidos a partir de las hierbas medicinales - tisanas de la asociación de productores de plantas medicinales del Chimborazo "JAMBI KIWA", Al mercado canadiense durante el periodo, 2014 - 2015*". Tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniería en comercio exterior. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador
16. Balslev, H., Macia, M., Muriel, M., Navarrete, P. y Torre, L. (2008). " *Enciclopedia de plantas útiles y plantas medicinales del Ecuador*". Herbario QCA PUCE editorial. Quito-Ecuador
17. Banchemo, L., Carballo, S. y Telesca, J. (2008). " *Manual de secado solar de especies medicinales y aromáticas para predios familiares*". Recuperado de: <http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/18429090512093946.pdf> (Abril, 2021)
18. Banco Central del Ecuador (2018). " *Evaluación de la balanza comercial del Ecuador*". Recuperado de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadísticas/SectorExterno/BalanzaPaos/balanzaComercial/ebc201811.pdf> (Enero, 2021)
19. Basurto, K. (2019). " *Estudio de factibilidad de la producción y comercialización de*

Enjuague Bucal Artesanal para exportar a Perú Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Comercio y Finanzas Internacionales Bilingüe. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador

20. Besora, J. (2017). *"Informe técnico para la construcción de un secador solar de café"*. Recuperado de: <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf> (Septiembre, 2021)
21. Bernal, A. (2014). *"Evaluación del enraizamiento de esquejes de dos cultivares de romero (Rosmarinus officinalis) Crespo e israelí"*. Trabajo de grado. Universidad Militar NuevaGranada. Nueva Granada- Colombia
22. Bernal, J., Haldar, Z., Lanata, A., Jwaki, L., Rodríguez, J., Olate, S., Sánchez, C. y Sigua,E., (2020). *"COVID-19 y la Odontología: una Revisión de las Perspectivas para Latinoamérica"*. International journal of odontostomatology. Vol. 14(3). 299-309. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2020000300299> (Abril, 2021)
23. Boardman (2020). *"Volumen XLIII.V: ASME sec. I & sec. VIII fundamentals part 5 pressure vessels"*. Recuperado de: <http://www.boardmaninc.com/news.html/2020/03/11/volume-xliii-vol-v-asme-section-i-and-section-viii-fundamentals-part-5/> (Abril, 2021)
24. Bohórquez, N. y Rojas, M. (2010). *"Aproximación metodológica para el cálculo del AIU "* Revista Dyna. Vol. 162. 232-302.
25. Brancho, N, (2017). *" Efecto inhibitorio del aceite esencial de Rosmarinus Officinalis (romero) en cepas de Porphyromonas Gingivalis estudio in-vitro"*. Proyecto de investigación presentado como requisito previo a la obtención del título de Odontólogo.Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador

26. Busscher, H., Perdock, J. y Van der Mai, H. (1990). "*Physicochemical properties of commercially available mouthrinses*". Journal Dent. Vol 1990 (18). 141-150. Doi:[https://sci-hub.st/10.1016/0300-5712\(90\)90055-j](https://sci-hub.st/10.1016/0300-5712(90)90055-j). (Abril, 2021)
27. Cabezas, M. (2019). "*Relanzamiento de una pasta dental para la sensibilidad dental caso: BLENASTOR C.A.*". Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniería comercial. Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Matriz.
28. Cadena, C. y Larrea, P. (2012). "*Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante de 100 000 barriles de capacidad para la empresa Tesca ingeniería del Ecuador*". Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Quito Ecuador
29. Calvache, G, Rosero, T, y Yaselga, M. (2009). "*Geometría plana y del espacio, geometría analítica de dibujo*". 1ra Ed. Ministerio de educación y cultura editorial. Quito- Ecuador"
30. Carrera, J., Velasco, R. y Villada, H. (2007). " *Aplicaciones de los Fluidos Supercríticos en la Agroindustria*". Revista Información Tecnológica. Vol. 18(1). P. 53-65.
31. Carvalho, R., Moura, L., Rosa, P., y Meireles, M. (2005). "*Supercritical fluid extraction from rosemary (Rosmarinus officinalis): Kinetic data, extract's global yield, composition, and antioxidant activity*". The Journal of Supercritical Fluids, Vol. 35(3), 197–204. doi:10.1016/j.supflu.2005.01.009 (Enero, 2021)
32. Castillo, V. (2013). "*Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*". Seminario de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica. Universidad del Bío-Bío. Chile.

33. Castro, D., Díaz, J., Serna, R., Martínez, M., Urrea, P., Durango, K. y Osorio, E. (2013). *“Cultivo y producción de plantas medicinales y aromáticas”*. 2da Edición. Fondo Editorial Universidad Católica del Oriente. Medellín Colombia.
34. Cengel, Y. (2007). *“Transferencia de calor y masa”*. 3ra Ed. Mac GrawHill editorial México D. F. México27)
35. Cengel, Y. (2012). *“Termodinámica de procesos”*. 3ra Ed. Mac GrawHill editorial México D. F. México
36. Cervantes, R., Fernández, D., Fernández D., Hernández, L., Ocampo, A. y Urriolagoitia, G.(2015). *“Diseño de un molino para reciclar pastas de freno de tracto-camiones usando el método de bond”*. Revista científica técnica agraria. Vol. 24 (3). 45-51
37. Chávez, A. y Tello, G. (2017). *“ Asociación entre el conocimiento de los padres sobre saludbucal y uso de técnicas educativas con relación a la presencia de biofilm y caries en infantes”*. Revista ODONTOLOGIA. Vol. 19(1). P. 5-21
38. CNELEP (2020). *“Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado”*. Recuperado de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/2/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf> (Julio, 2021)
39. Colegio Nacional de Arquitecto Ecuador. (2019). *“Reglamento Nacional de Aranceles”* Recuperado de: <https://www.cae.org.ec/wp-content/uploads/2017/07/REGLAMENTO-NACIONA-DE-ARANCELES.pdf> (Abril, 2021)
40. Cortéz-Rojas, M., Cañón, F., Rodríguez, D., Pérez, M. (2014). *“Efecto de la densidad de siembra y el ambiente de cultivo sobre el rendimiento y la*

calidad de tallos de los cultivares de romero (Rosmarinus officinalis L.) Crespo e Israelí". Revista de la Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas. Vol. 9(2). 186-199. Doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.345> (Abril, 2021)

41. Cuero, D. Y López, N. (2009). "*Diseño de máquina llenadora para fluidos viscoso*". Proyecto para optar al título de Ingeniero Electrónico y Mecatrónico. Universidad autónoma de occidente. Cali-Colombia
42. Cuervo, J., Figueredo, L., Rodríguez, J., Rodríguez, M. y Pulido, A. (2017). "*Obtención de aceite esencial de romero en el municipio de Guasca Cundinamarca*". 1ra Ed. Produmedios Editorial. Bogotá Colombia.
43. Cueva (2017) "*Actividad antimicrobiana del aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis) frente al crecimiento de Streptococcus mutans ATCC25175*". Tesis para optar el título de cirujano dentista. Universidad NORBERT WIENER. Lima – Perú
44. El Universo (2020). "*Ventas de productos naturales crecieron durante la cuarentena en Ecuador*". Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/06/08/nota/7866093/dulcamare-herbalife-nature-garden-defensas-emergencia-ecuador> (Abril, 2021)
45. EngineeringToolBox (2021). "*Pressure (kPa) and temperature (°C) ratings of ASTM A-106, API 5L and ASTM A-53 Seamless Carbon Steel Pipes - temperatures ranging - 29 °C - 450 °C*". Recuperado de: https://www.engineeringtoolbox.com/astm-steel-pipes-pressure-temperature-d_742.html (Abril, 2021)
46. Espinoza, C. (2017). "*Efecto de presión y temperatura en la extracción de isotiocianato de bencilo por fluidos supercríticos a partir de hojas de Tropaeolum majus L*". Revista de Investigaciones Alto andinas. Vol. 19(4).

389-396

47. Esquivel, A. y Vargas, P. (2007), "*Uso de aceites esenciales extraídos por fluidos súper críticos para la elaboración de alimentos funcionales*". Revista Tecnología en marcha. Vol. 20(4). 42-50
48. FABERG. (2002). "*Belt conveyors for loose bulk materials*". DIN 22101. Recuperado de: https://www.academia.edu/9226095/DIN_22101 (Abril, 2021)
49. Fernández, P. (2000). "*Compresores características*". Universidad de Cantabria. Recuperado de: http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/compresores-y-ventiladores.pdf (Abril, 2021)
50. FIA (2007). "*Producción de romero y tomillo, proyecto de innovación de la región de Valparaíso*". Recuperado de: http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/205001944/2064/23_Ficha_RomeroTomillo.pdf?sequence=2&isAllowed=y (Enero, 2021)
51. Fornero, R. (2003). "*Análisis financieros con información contable*". Recuperado de: https://www.economicas.unsa.edu.ar/afinan/dfe/trabajos_practicos/afic/AFICC_ap.pdf (Septiembre, 2021)
52. Geankopolis, C. (1998). "*Procesos de transporte y operaciones unitarias*". 3ra Ed. Continental S.A. Editorial. México D.F.- Mexico
53. Google maps (2021). "*Mapa de Cotopaxi*". Recuperado de: <https://www.google.com.ec/maps/place/Moraspungo+Central+Park/@-1.1744943,-79.2254869,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d4a92a52f8409d:0x3d36b376b4fbf920!8m2!3d-1.1744943!4d-79.2232982?hl=en> (Mayo, 2021)

54. Herguedas, A. Prieto, P. Rodríguez E. y Taranco, C. (2012). "*Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad Capítulo II Biocombustibles*". Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario ITAGRA.CT. Madrid- España
55. Hernández, I. (2017). "*Plan de negocios para producción y exportación de aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas de ciclo corto*". Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniera comercial. UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL. Guayaquil- Ecuador
56. INEC (2011). "*Encuesta de estratificación del nivel socioeconómico NSE 2011*". Ecuador Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/Encuesta_Estratificacion_Nivel_Socioeconomico/111220_NSE_Presentacion.pdf (Enero, 2021)
57. INEC (2020). "*Proyecciones poblacionales cantonales*". Ecuador. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-sus-proyecciones-poblacionales-cantonales/> (Enero, 2021)
58. INEN (1987). "*Requisitos para el etanol rectificado INEN 375*". Recuperado de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_375-2.pdf (Febrero, 2021)
59. INEN (2010). "*Romero desecado (Rosmarinus Officinalis L.). especificaciones. (ISO 11164:2010, IDT)*". Recuperado de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_11164.pdf (Febrero, 2021)
60. INEN (2014). "*Odontología productos para la higiene bucal, enjuagues bucales*". NTE INEN-ISO 16408. Recuperado de: <https://docplayer.es/43234962-Quito-ecuador-extracto-odontologia-productos-para-la-higiene-bucal-enjuag>

u es-bucales-iso-16408- 2004-idt.html (Abril, 2021)

61. I.S.O (2004a). "*Dentistry Oral Hygiene products Oral rinses ISO 11164*". Recuperado de: <https://www.sis.se/api/document/preview/904696/> (Febrero, 2021)
62. I.S.O (2004b). "*Dentistry-Oral hygiene-Oral rinses*". ISO 16408:2004. Recuperado de: <https://www.sis.se/api/document/preview/904696/> (Abril,2021).
63. Kreth, J., Merritt,J., Qi1, F., Shi, W. (2005). "*Competition and Coexistence between Streptococcus mutans and Streptococcus sanguinis in the Dental Biofilm*". JOURNAL OF BACTERIOLOGY. Vol. 187(21). 7193-7203. Doi: 10.1128/JB.187.21.7193- 7203.2005. (Enero, 2021)
64. La Casa del Químico (2020). "*Nuestros productos*". Recuperado de: <http://lacasadelosquimicos.com.ec/index.php/productos> (Abril, 2021)
65. Lara, C. (2009). "*Formulación de un colutorio dental para mucositis*". Ecuador. Recuperadode: <https://www.sefh.es/54congresoInfo/documentos/ponencias/1027.pdf> (Enero, 2021)
66. Lax, V. (2014). "*Estudio de la viabilidad química, propiedades antioxidantes y biosidas depoblaciones espontaneas de rosmarinus officinalis en Murcia*". Tesis de grado para doctoren biología. Universidad de Murcia. Murcia-España
67. León, L., Letamendi, C. y Lucero, L. (2006) "*Aprovechamiento de las aguas de los ríos Angamarca y Sinde de la Provincia de Bolívar para el desarrollo de una centralhidroeléctrica*". Tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniero en electricidad. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil- Ecuador

68. Loja, M. (2017). " *Efecto antibacteriano in vitro de un colutorio elaborado con extracto alcohólico de Rosmarinus officinalis L. (romero) sobre Streptococcus mutans y Enterococcus faecalis* ". Tesis para obtener el título profesional de cirujano dentista. Universidad Señor de Sipán. Pimentel - Perú
69. Machicado, F. y Quiroga, M. (2016). " *Estudio de localización de un proyecto* ". Revista Ventana Científica. Vol. 7(11). 19- 33.
70. MAG (2020). " *Cotopaxi: MAGAP entrega plantas ancestrales para huertos familiares* " Recuperado de: <https://www.agricultura.gob.ec/cotopaxi-magap-entrego-plantas-ancestrales-para-huertos-familiares/> (Abril, 2021)
71. Martínez (2004). " *Termotecnia básica para ingenieros químicos* ". Castilla España. Ediciones Universidad Castilla La Mancha. Recuperado de: <https://bvirtual.epn.edu.ec:2057> (Enero, 2021)
72. Maquita (2020). " *Proyectos en ejecución 2020* ". Recuperado de: <https://maquita.com.ec/proyectos2020/> (Abril, 2021)
73. Megawatsoft (2020). " *Propiedades del CO₂* ". Recuperado de: <https://www.carbon-dioxide-properties.com/contactus.aspx> (Abril, 2021)
74. Mejía, P. (2019). " *Evaluación de la capacidad antioxidante de extracción alcohólico y acuoso de romero (Rosmarinus Officinalis) frente a un compuesto sintético* ". trabajo experimental previo a la obtención del título ingeniería en Biotecnología de los recursos naturales. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca - Ecuador.
75. Ministerio del Trabajo (2016). " *Ley Organica para la justicia laboral y reconocimiento del trabajo en el hogar* ". Recuperado de:

https://oig.cepal.org/sites/default/files/ecuador__ley_org._para_la_justicia_labora_y_reconocimiento_del_trabajo_en_el_hogar.pdf (Julio, 2021)

76. Mitula (2021). "Terrenos en Moraspungo". Recuperado de: <https://casas.mitula.ec/casas/terrenos-moraspungo> (Septiembre, 2021)
77. Montoya (2010). "Aceites esenciales una alternativa de diversificación para el eje cafetero". Universidad Nacional de Colombia. Manizales-Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55532> (Enero, 2021)
78. Mosquera, T. (2014). "Estudio comparativo de la eficiencia antimicrobiana de una mezcla de parabenos frente al aceite de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) utilizados como conservante en una formulación cosmética". Tesis previa a la obtención del título magister en ciencias y tecnologías cosméticas. Universidad Politécnica Salesiana. QUITO - Ecuador.
79. Mosquera, T. y Veloz, T. (2011). "Eficacia in-vitro de un colutorio elaborado con aceite esencial de la hoja de ishpingo *Ocotea quixos* (Lam.) Kostern. ex O.C.Schmidt y clavo de olor *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry". La Granja. Vol. 13(1). 31-41. Doi:<https://doi.org/10.17163/lgr.n13.2011.04>. (Enero, 2021)
80. MSP (2010). "Manual de educación para la salud bucal para maestros y promotores". Recuperado de: <https://aplicaciones.msp.gob.ec/salud/archivosdgitales/documentodirecciones/dnn/archivos/MANUAL%2DEDUCATIVO%20PARA%20LA%20SALUD%20%20BUCAL%20PARA%20MAESTROS%20Y%20PROMOTORES.pdf> (Enero, 2021)
81. Niño, J. y Rivas, C. (2004) "La razón Valor en Libros-Valor de Mercado: el caso chileno". Revista Análisis Económico. Vol. 19(42). 149-186.

82. Occupational Safety and Health Administration (O.S.H.A) (1996) "*1910.101 Gases comprimidos*". Recuperado de: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.101> (Enero, 2021)
83. OMS (2004). "*La OMS publica un nuevo informe sobre el problema mundial de las enfermedades bucodentales*". Recuperado de: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr15/es/> (Enero, 2021)
84. Ortega, C., y Usca, P. (2018). "*Evaluación In Vitro de la actividad inhibitoria de aceites esenciales y sus mezclas (Curcuma longa, Cymbopogon citratus, Ocotea quixos, Melaleuca armillaris Zingiber officinale) en Aeromona hydrophila, Aeromonasalmonicida Y Pseudomona fluorescens*". Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: ingeniera e ingeniero en biotecnología de los recursos naturales. Universidad Politécnica Salesiana. Quito - Ecuador.
85. Ortega, F., Guerreo, A., y Aliaga, P. (2018). "*Determinantes sociales y prevalencia de la caries dental en población escolar de zonas rurales y urbanas de Ecuador*". USFQ. Quito- Ecuador. Recuperado de: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/odontoinvestigacion/article/view/1281/1253> (Enero, 2021)
86. Ovares, J. (2016). "*Determinación de los rendimientos y caracterización de aceites esencialobtenidos por hidrodestilación a partir de Lippia alba y Rosmarinus officinalis*". Proyecto para optar al grado de licenciatura en Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica. San José-Costa Rica
87. Palomino, J. (2016). "*Estudio de las Condiciones de Secado sobre la Cinética de Deshidratación de las Hojas de Romero (Rosmarinus Officinalis L.)*". Tesis para optar al título profesional de ingeniero agroindustrial. Universidad

Privada de Tacna. Tacna -Perú.

88. Padilla, A. (2017). "*Escalado de procesos de extracción supercrítica en batch de materiales vegetales*". Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid-España
89. PDVSA (1993). "*Manual de ingeniería de riesgos separación de equipos e instalaciones*". Recuperado de: https://www.academia.edu/37703853/separacion_entre Equipos_e_instalaciones_manual_de_ingenieria_de_riesgos (Abril, 2021)
90. PDVSA. (1994). "*Manual de Ingeniería de Diseño. Procedimiento de Ingeniería. Preparación de Diagramas de Proceso*". Recuperado de: <https://unefmdisenodeplantasfileswordpress.com/2017/03/midl-tp1-150615205233-lva1-app6891.pdf> (Marzo, 2021)
91. PDVSA (1995). "*Manual de proceso de diseño*". Temperatura y presión de diseño. MDP- 01-DP-01. Recuperado de: https://www.academia.edu/43812212/TEMPERATURA_Y_PRESION_DE_DISE%3%91O (Abril, 2021)
92. Peters, M. y Timmerhaus, K. (2002). "*Plant Design and Economics for Chemical Engineers*". Mc-Graw Hill
93. Quilca, V. (2016). "*Secador de bandejas para hierbas aromáticas dedicado a la microindustria*". Tesis previa a la obtención del título de ingeniería en mecatrónica. Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador
94. Quispe, M. (2016). "*Agitación y mezclado*". Recuperado de: <https://docplayer.es/9359132-Facultad-de-ciencias-aplicadas-eap-de-ingenieria-agroindustrial-operaciones-unitarias-ii.html> (septiembre, 2021)

95. Ramos, F. y Vega, K. (2015). *“Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de un triturador de cacao 6.5 quintales hora”* Proyecto previo a la obtención del título de ingeniería mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.
96. Refaquim (2020). *“Nuestros productos”*. Recuperado de: <https://leonardoastudillo.factura.deuna.com/shop> (Abril, 2021)
97. Revista Líderes (2020). *“Ecuador exporta artículos de salud oral y medicinas”*. Recuperado de: <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-exporta-articulos-salud-oral.html> (Agosto, 2021)
98. Rodríguez, E. (2012). *“Jóvenes ecuatorianos en cifras: indicadores claves de la década 2001-2010 y proyecciones al 2050”*. Ecuador. Recuperado de: <http://openbiblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54762.pdf> (Enero, 2021)
99. Ronquillo, A. y Yugcha, J. (2016). *“Diseño y construcción de un prototipo extractor de esencias de plantas aromáticas con fluidos supercríticos”*. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero electromecánico. Universidad de las fuerzas armadas. Quito- Ecuador
100. Salinero, D. (2013). *“Diseño de una banda transportadora en guide de matlab”*. Proyecto fin de carrera ingeniería industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid-Escpaña
101. Salazar, A. y Mayanquer, S. (2009). *“Obtención de aceites esenciales de cedròn (Aloysia triphylla), sunfo (Clinopodium nubigenum (Kunth) Kuntze) y hierba luisa (Cymbopogon Citratus), en un alambique tipo cachimbo por cohobacion”* Tesis previa a la obtención del título de ingeniero agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Ibarra Ecuador

102. Santoyo, S., Cavero, S., Jaime, L., Ibañez, E., Señoráns, F. J., & Reglero, G. (2005). "Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oil Obtained via Supercritical Fluid Extraction". *Journal of Food Protection*, 68(4), 790–795. Doi: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.4.790> (Enero, 2021)
103. SRI (2021): "Guía para el contribuyente: Impuesto a la renta". Recuperado de: <https://www.sri.gob.ec/o/sri-portlet-biblioteca-alfresco-internet/descargar/e6c5f5af-9384-4ef5-96b2-455a71fd617d/Art.%209%20Exenciones.pdf> (Julio, 2021)
104. SUPERMAXI (2020). "Nuestros locales y productos". Recuperado de: <https://www.supermaxi.com/locales/> (Enero, 2021)
105. Tirenti, J. (2016). "A.S.M.E. BPVC Calderas y recipientes sometidos a presión". Recuperado de: <https://arvengtraining.com/wp-content/uploads/2016/02/PVI-STUDY-NOTES-ESPA%C3%91OL-PRUEBA.pdf> (Enero, 2021)
106. Urbina, G. (2010). "Formulación y evaluación de proyectos". 6ta Ed. McGraw-Hill editorial. México D. F., México.
107. Vallejos, H. y Chilliquinga, M. (2017). "Costos, Modalidad ordenes de producción". 1ra Ed. UTN editorial. Ibarra- Ecuador
108. Vargas, V. (2012). "Elaboración de té aromático a base de plantas cedrón (*aloyiacitrodora*) y toronjil (*mellisaofficinalis*) procesado con stevia (*steviarebaudiana bertonii*) endulzante natural, utilizando el método de deshidratación". Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniera agroindustrial. Universidad técnica de Cotopaxi. Latacunga – Ecuador Vallejos, y Chilliquinga, 2017, pp. 8-11).

109. Villavicencio, J. (2017). “*Calidad de salud bucal de los habitantes de los sectores rurales del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua, mediante el análisis de indicadores de salud bucal (IHOS e índice CPOD/ceod)*”. Proyecto de Investigación presentado como requisito previo a la obtención del Título de Odontólogo. Universidad Central del Ecuador
110. Walas, S. (1990). “*Chemical process equipment selection and design*”. 1ra Ed. Howard Brenner Editorial. Kansas-Estados Unidos
111. Yáñez (2019). “*Extracción y caracterización del aceite de la Sacha Inchi (Plukenetia volubilis) por la técnica de fluido supercrítico con Dióxido de Carbono*”. Proyecto de investigación para la obtención del título de ingeniera química. Universidad Central del Ecuador. Quito – Ecuador.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Determinación de la micro localización de la planta	91
ANEXO II Propiedades del los componentes del colutorio dental	92
ANEXO III Balance de masa	93
ANEXO IV. Balance de energía	112
ANEXO V Selección y dimensionamiento de equipos	122
ANEXO VI Hojas de especificación	190
ANEXO VII Superficies y diseño higiénico de la planta de producción	204
ANEXO VIII Análisis de pre factibilidad económica	207
ANEXO IX Proformas	209

ANEXO I

DETERMINACIÓN DE LA MICRO LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

En la Tabla A.1.1 se observa el análisis de los factores anteriormente mencionados en la sección 2.2.2 para la selección de la localización de la planta de producción,

Tabla A.I.1. Método cualitativo por puntos

Factor de localización	Factor de importancia (0 -1) [P]	Recinto La Esperanza La Mana		Parque industrial Pujilí		Zona rural Moraspungo Pangua	
		Calificación del factor (1-10) [C]	Producto [P]x[C]	Calificación del factor (1-10) [C]	Producto [P]x[C]	Calificación del factor (1-10) [C]	Producto [P]x[C]
Clima	0,05	6	0,30	4	0,20	10	0,50
Topografía	0,10	7	0,70	6	0,60	7	0,70
Accesos	0,15	10	1,50	9	1,35	8	1,20
Permiso municipal	0,05	8	0,40	8	0,40	10	0,50
Mano de obra	0,15	10	1,50	8	1,20	10	1,50
Servicios básicos	0,10	10	1,00	7	0,70	10	1,00
Materia prima	0,15	4	0,60	3	0,45	8	1,20
Servicio de salud y educación	0,05	10	0,50	7	0,35	10	0,50
Cercanía a mercados	0,10	10	1,00	7	0,70	9	0,90
Precio del terreno	0,10	6	0,60	8	0,80	10	1,00
TOTAL	1,00		8,10		7,85		9,00

ANEXO II

PROPIEDADES DEL LOS COMPONENTES DEL COLUTORIODENTAL

Para definir de forma adecuada los criterios de diseño de la planta productora de colutorio dental de romero es indispensable conocer las propiedades físicas como densidad y viscosidad de los componentes de su formulación. Estos datos son obtenidos de las fichas técnicas emitidas por los productores. La Tabla A.II.1 muestra estas propiedades.

Tabla A.II.1. Densidad y viscosidad de la materia prima

Compuesto	Densidad [kg/L]	Viscosidad [kg/ms]
Aceite esencial	0,860	0,003
Agua	0,997	0,001
Etanol 96 %	0,789	0,0017
Sorbitol	1,489	0,185
Glicerina	1,260	1,390
Lauril éter sulfato de sodio	1,050	3,000
Clorhexidina	1,060	
Saborizante de menta	0,900	1,390
Sacarina sódica	0,600	
Colutorio dental	0,960	0,1052

(Refaquim, 2020, La casa del químico, 2020)

ANEXO III

BALANCE DE MASA

A.III.1 CLASIFICACIÓN

Para el balance de masa en la etapa del proceso de clasificación de hojas de romero se toma en cuenta la cantidad de hoja fresca necesaria, la cual se especifica en la Tabla 4.1. El balance se obtiene al considerar el romero entregado por los proveedores y las impurezas que se separan en el proceso de clasificación, las cuales se supone no más del 5 % que representa los restos leñosos del romero como se especifica en la sección 2.4.1.1. Las Ecuaciones A.III.1 y A.III.2 permitirán determinar los valores de las corrientes de entradas y salidas del balance de masa que se observa en la Figura A.III.1.

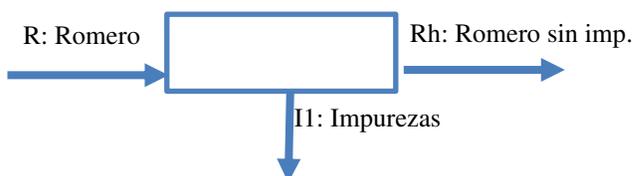


Figura A.III.1. Corrientes entrada y salida clasificación de hojas de romero

$$R = I_1 + Rh \quad [A. III.1]$$

Balance de impureza

$$I_1 = x_i \times R \quad [A. III.2]$$

$$I_1 = 0,05 \times R$$

Donde:

I: Impurezas [t/mes]

R: Romero receptado [t/mes]

Rh: Romero clasificado [t/mes]

x_i : Fracción de impurezas

$$R = I_1 + 56,76 \frac{t}{mes}$$

$$R = \frac{56,76 \frac{t}{mes}}{0,95} = 59,75 \frac{t}{mes}$$

$$I_1 = 0,05 \times 59,75 \frac{t}{mes} = 2,99 \frac{t}{mes}$$

A.III.2 DESINFECCIÓN

En la desinfección de las hojas de romero libre de impurezas se considera la corriente de entrada de agua necesaria para desinfectar todos los lotes de hojas y el desinfectante hipoclorito de sodio, en este proceso se supondrá que las pérdidas son insignificantes. Para la desinfección la concentración de hipoclorito de sodio será 0,5 % y la densidad del agua será 997 kg/m³ (Acosta et al., 2002). Se estima que se necesita 300 L de agua para desinfectar 72 kg de hojas de romero. El número de lotes que se desinfectará al día se obtiene al dividir la cantidad de romero clasificado al día (2 580 kg/día) para la capacidad del tanque de desinfección (72 kg/lote) lo que determina 36 lotes. Las Ecuaciones A.III.3 a A.III.5 permitirán determinar las corrientes de entrada y salida del balance de masa en la operación de desinfección como se observa en la Figura A.III.2.

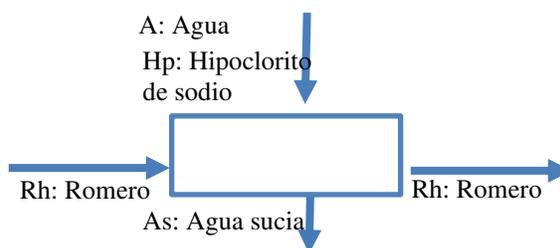


Figura A.III.2. Corrientes entrada y salida desinfección

$$Rh + A + Hp = As + Rh \quad [A. III.3]$$

Balance de agua sucia

$$As = Va \times NL \times \rho_a \quad [A. III.4]$$

Balance de hipoclorito:

$$Hp = x_{hp} \times A \quad [A. III.5]$$

$$A + 0,005 \times A = Va \times NL \times \rho a$$

Donde:

A: Agua [t/mes]

As: Agua sucia [t/mes]

Hp: Hipoclorito de sodio [t/mes]

NL: Número de lotes a desinfectar

Rh: Romero clasificado [t/mes]

Va: Volumen de agua [m³]

x_{hp}: Fracción másica de hipoclorito de sodio

ρa : Densidad del agua [kg/ m³]

$$1,005 \times A = 0,30 \frac{m^3}{lote} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times 36 \frac{lote}{día}$$

$$A = 10\,714,03 \frac{kg}{día}$$

$$Hp = 0,005 \times 10\,714,03 \frac{kg}{día} = 53,57 \frac{kg}{día}$$

$$As = 10\,767,60 \frac{kg}{día}$$

A.III.3 PRE SECADO

El balance de masa en el pre secado toma en cuenta a la hoja de romero húmeda que sale de la operación de desinfección, para someterse al escurrido del agua en exceso absorbida, en este proceso se tiene en cuenta la psicrometría del aire, dado que se realizará un proceso de secado a partir del aire atmosférico que será pre calentado para acelerar el secado de la hoja, por lo cual, una de las corrientes de salida será agua evaporada. Las concentraciones de agua del romero se han obtenido de datos bibliográficos en los cuales se estima que el romero fresco entra a una humedad del

75 % y es acondicionado hasta alcanzar una humedad del 54 % (Cortez et al., 2014, pp. 32-34; Palomino, 2016, p. 37). Los flujos determinados en el balance de masa de esta operación unitaria y las anteriores han sido calculadas a partir de los datos obtenidos en la última operación unitaria de mezclado donde se cuenta con la información necesaria para determinar los flujos involucrados de las otras operaciones unitarias. Las Ecuaciones A.III.6 y A.III.7 permitirán determinar las corrientes de entrada y salida que se observan en la Figura A.III.3



Figura A.III.3. Corrientes entrada y salida pre secado

$$Rh = Ra + W \quad [A.III.6]$$

Balance de agua:

$$x_{a1} \times Rh = x_{a2} \times Ra + W \quad [A. III.7]$$

Donde:

Ra: Romero acondicionado [t/mes]

Rh: Romero clasificado desinfectado [t/mes]

W: Agua evaporada [t/mes]

x_{ai} : Fracción másica de agua del romero

El valor de romero acondicionado ($Ra= 30,86$ t/mes) se determinó a partir de la operación de secado en la sección A.III.4 y se deriva de la capacidad del proceso calculado en la sección 2.1.2

$$Rh = 30,86 + W$$

$$W = Rh - 30,86$$

$$0,75 \times Rh = 0,54 \times Ra + W$$

$$0,75 \times Rh = 0,54 \times Ra + (Rh - Ra)$$

$$0,75 \times Rh = 0,54 \times 30,86 \frac{t}{mes} + (Rh - 30,86 \frac{t}{mes})$$

$$Rh = \frac{14,19 \frac{t}{mes}}{0,25} = 56,76 \frac{t}{mes}$$

$$W = 25,90 \frac{t}{mes}$$

A.III.4 SECADO

Para la extracción del aceite esencial de romero es necesario 15,69 t/mes de romero seco, este dato se determina en la sección A.III.6 a partir de la capacidad de producción calculada en el análisis del mercado de la sección 2.1.2 y con el rendimiento de aceite esencial de la materia seca (5 % m/m) (sección 3.5). La masa de materia seca permite determinar los flujos másicos de las operaciones unitarias de pre secado, desinfección y clasificación.

Se estima secar 713,18kg/día durante 22 días laborales que tiene el mes. El secado de las hojas se realiza hasta alcanzar una humedad relativa del 9,50 % (sección 3.4) (Palomino, 2016, p. 37). Las Ecuaciones A.III.8 y A.III.9 permitirán determinar las corrientes de entrada y salida que se observan en la Figura A.III.4.

La cantidad de romero acondicionado que ingresa al secador y que es usado en los balances de masa de las operaciones unitarias previas, se determina en el siguiente balance de masa.

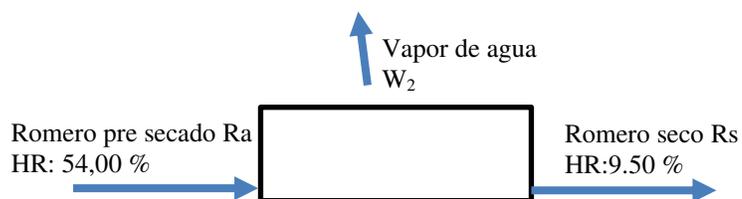


Figura A.III.4. Corrientes entrada y salida secado

$$Ra = Rs + W2$$

[A.III.8]

Balance de agua:

$$x_{a1} \times Ra = x_{a2} \times Rs + W_2 \quad [A.III,9]$$

Donde:

Ra: Romero acondicionado [t/mes]

Rs: Romero seco [t/mes]

W₂: Agua evaporada [t/mes]

x_{ai}: Fracción de agua del romero

$$0,54 \times Ra = 0,095 \times 15,69 \frac{t}{mes} + W_2$$

$$Ra = 15,690 \frac{t}{mes} + W_2$$

$$(15,69 \frac{t}{mes} + W_2) \times 0,54 = 15,69 \frac{t}{mes} \times 0,095 + W_2$$

$$8,47 \frac{t}{mes} + 0,54 \times W_2 = 1,491 \frac{t}{mes} + W_2$$

$$W_2 = \frac{6,98 \frac{t}{mes}}{0,46} = 15,17 \frac{t}{mes}$$

$$Ra = 15,69 \frac{t}{mes} + 15,17 \frac{t}{mes} = 30,86 \frac{t}{mes}$$

A.III.5 MOLIENDA

En el proceso de molienda del romero seco, se estima que el equipo de molienda no generará pérdidas significativas, por lo cual la corriente de romero molido será el mismo valor que la corriente de romero seco que entra a la maquina como se observa en la Ecuación A.III.9.

$$Rs = Rm = \frac{Ac - Ac_r}{x_{ac}} = 15,69 \frac{t}{mes} \quad [A.III.10]$$

Donde

R_m : Flujo másico de romero molido [t/mes]

R_s : Flujo másico de romero seco [t/mes]

A_c : Flujo másico de aceite esencial de romero (sección A.III.6.1) [kg/lote]

A_{c_r} : Flujo másico de aceite esencial de romero en el residuo (sección A.III.6.1) [kg/lote]

x_{ac} : Concentración de aceite esencial matriz vegetal (sección 3.6)

$$R_m = \frac{(34,33 + 1,29) \frac{kg}{lote} \times 22 \frac{lotes}{mes}}{0,05} = 15,69 \frac{t}{mes}$$

A.III.6 EXTRACCIÓN FSC SÓLIDO LÍQUIDO

A.III.6.1 Balance de masa en el extractor

El método gráfico de extracción de aceite esencial es la forma óptima para determinar las corrientes de entrada y salida de esta operación unitaria, aquí se tiene en cuenta los criterios de diseño determinados en el Anexo V que permiten determinar las cantidades de solventes de CO₂ y etanol.

Las corrientes de entrada y salida que se observa en la Figura A.III.5 se determinarán a partir de las Ecuaciones A.III.10 a A.III.15 calculadas de las corrientes de la Figura A.III.5.

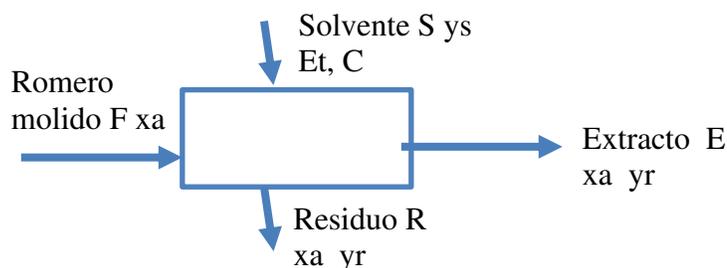


Figura A.III.5. Corrientes entrada y salida en el proceso de extracción

La cantidad de disolvente necesario en el proceso se obtiene a partir de la Ecuación

A.III.10, donde se estima que la concentración de CO₂, en el disolvente será 96 % m/m, con 4 % m/m de etanol que actúa como cosolvente (Carvalho et al., pp. 5-10; Padilla, 2017, pp. 20-60). Para determinar la masa de disolvente involucrada en el proceso, es necesario conocer el flujo de disolvente (0,642 kg/s) (sección A.V.6) y el tiempo de extracción de cada lote (16 520,34 s) (sección A.V.6) calculados en los criterios de diseño del Anexo A.V.5. El método gráfico de extracción permite determinar las concentraciones y masas de cada componente involucrado en la extracción, pero no es útil si se usa flujos de masa, dado que los datos pueden generar errores debido a la recirculación del CO₂ (Aguado et al. 2002, p.169). Las Ecuaciones A.III.11 y A.III.12 determinan la masa de CO₂ y etanol del disolvente.

$$\dot{D} = \dot{E}_t + \dot{C} \quad [\text{A.III.11}]$$

$$\dot{C} = x_{CO_2} \times \dot{D} \quad [\text{A.III.12}]$$

$$\dot{E}_t = x_{Et} \times \dot{D} \quad [\text{A.III.13}]$$

Donde:

D: Masa de disolvente [kg]

Et: Masa de etanol cosolvente [kg]

C: Masa de CO₂ supercrítico [kg]

x_{CO₂}: Concentración de CO₂ del disolvente

x_{et}: Concentración de etanol del disolvente

$$\dot{C} = 0,96 \times 0,642 \frac{kg}{s} = 0,616 \frac{kg}{s}$$

$$C = 0,616 \frac{kg}{s} \times 16\,520,34\,s = 10\,181,82\,kg$$

$$D = 0,642 \frac{kg}{s} \times 16\,520,340\,s \approx 10\,606,06\,kg$$

$$E_t = 0,040 \times 10\,606,06\,kg \approx 424,240\,kg$$

La masa obtenida de CO₂ hace referencia a la masa total que estaría involucrada al

recircularse el CO₂ en caso de que no haya recuperación del fluido supercrítico. La masa de CO₂ es un parámetro necesario que permite encontrar la cantidad real de etanol involucrada en cada extracción de aceite esencial por día.

$$Et = 424,24 \frac{kg}{día}$$

Aguado et al. (2002) indican que las Ecuaciones A.III.13 y A.III.14 permiten determinar los factores de masa que relacionan las masas de disolvente y residuo generado en el proceso, estas ecuaciones ayudan a determinar las primeras coordenadas para trazar la recta de residuo de la Figura A. III.6 (p. 166).

$$x_r = \frac{Et}{Rm - x \times Rm} = \frac{424,24 \text{ kg}}{713,18 \text{ kg} (1 - 0,05)} = 0,63 \frac{kg \text{ Et}}{kg \text{ residuo}} \quad [A.III.14]$$

$$x_r + x_{sr} = \frac{0,626}{1 + 0,626} = 0,385$$

Donde:

Et: Masa de etanol cosolvente [kg]

R_m: Masa de la matriz vegetal (sección A.III.5) [kg]

x: Concentración de aceite esencial de la matriz vegetal (sección 3.6)

x_r: Concentración de aceite esencial en el residuo

x_{sr}: Concentración de disolvente en el residuo

El número de etapas de extracción del proceso dependerá de la cantidad de aceite esencial presente en la torta de residuo, las corrientes de entrada y salida del proceso se determinan en función del número de etapas de extracción que sucedan durante la operación. Las ecuaciones involucradas en cada etapa de extracción permiten determinar masas referenciales del proceso que determinarán las concentraciones de cada componente a partir de las Ecuaciones A.III.15 a A.III.18, estas concentraciones determinadas son coordenadas que permiten construir las rectas T-E1 y A-So de la

Figura A.III.6.

$$Rm + S_1 = T_1 = R_1 + E_1 \quad [\text{A.III.15}]$$

Balance de aceite:

$$Rm \times x_{a1} + S_1 \times x_{a2} = T_1 \times z_{a1} = R_1 \times x_{a4} + E_1 \times x_{a3} \quad [\text{A.III.16}]$$

Balance de disolvente

$$Rm \times y_1 + S_1 \times y_2 = T_1 \times z_{y1} \quad [\text{A.III.17}]$$

Donde:

E: Masa de extracto (CO₂ y aceite esencial) [kg]

Rm: Masa de la matriz vegetal [kg]

R: Masa de residuo [kg]

S: Masa de disolvente en la primera etapa [kg]

T: Masa total [kg]

x_{ai} : Concentración de aceite esencial (sección 3.6)

y_i : Concentración de disolvente

z_{ai} : Concentración de aceite esencial total

z_y : Concentración de disolvente tota

$$713,18 + 10\,606,06 \text{ kg} = T_1$$

$$T_1 \approx 11\,319,24$$

$$z_{a1} = 0,003$$

$$713,18 \times 0,00 + 10\,606,05 \times 1,00 = 11\,319,24 \times z_{y1}$$

$$z_{y1} = 0,937$$

Para la construcción de la Figura A.III.6 es importante determinar la recta de residuo, la recta del extracto, la recta E1-T, la recta A-So y las líneas de tendencia de las rectas. Las rectas de la Figura A.III.6 se construyen a partir de las coordenadas calculadas en el balance de masa y las coordenadas obtenidas en la intersección de las rectas que

conforman la Figura A.III.6. Los puntos de intersección entre rectas representan las concentraciones de disolvente y aceite esencial que tiene la torta de residuo y el extracto.

La recta de extracto de la Figura A.III.6 se determina con las coordenadas (1:0), (0:1) que representan los puntos cuando el extracto está lleno de aceite esencial y lleno de disolvente. La recta de reparto de la Figura A.III.6 se determina a partir de las coordenadas del punto T (0,00315: 0,937) y punto inicial (0:0), la pendiente de la recta se calcula con la Ecuación A.III.18

$$m = \frac{z_{y1}}{z_{a1}} \quad [\text{A.III.18}]$$

Donde:

m: Pendiente de la recta

z_{ai} : Concentración de aceite esencial total

z_y : Concentración de disolvente total

$$m = \frac{0,937 - 0}{0,00315 - 0} = 297,46$$

La concentración de aceite esencial existente en el extracto se determina a partir de la intersección entre la recta de reparto y la recta de extracto que se calcula en la Ecuación A.III.19.

$$297,46 \times x = -x + 1 \quad [\text{A.III.19}]$$

Donde:

x_{ai} : Concentración de aceite esencial (sección 3.6)

y_i : Concentración de disolvente

$$x_{a3} = 0,00336$$

$$y_3 = 0,997$$

Para determinar la ecuación de la recta de residuo se utiliza el método dos puntos de la recta. La pendiente de la ecuación de residuo se considera 1 dado que sus coordenadas son: (0,00; 0,39) y (0,39; 0,00) calculadas a partir de la Ecuación A.III.14. La pendiente y el punto de corte determinan la Ecuación de la recta de residuo de la Figura A.III.6 (Aguado et al., 2002, p. 162).

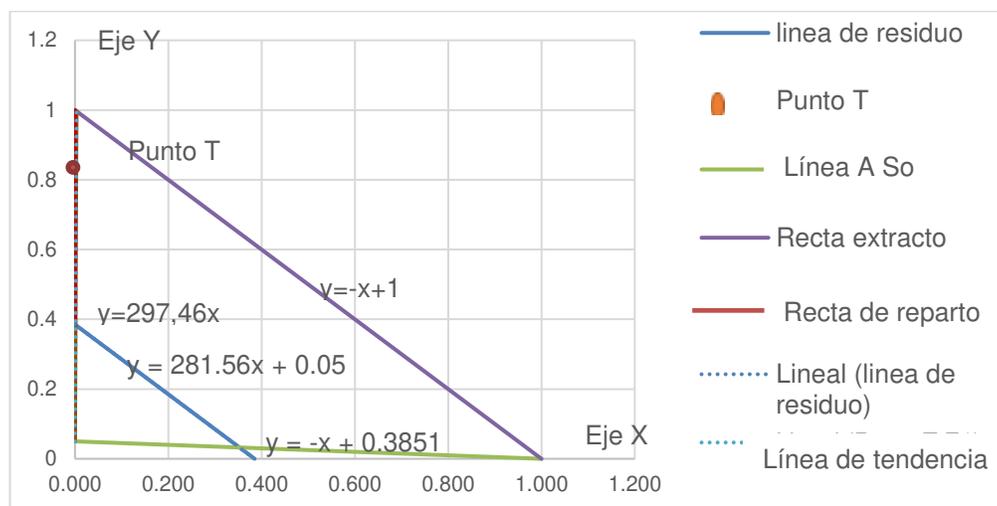


Figura A.III.6. Gráfica de extracción sólido líquido

Las concentraciones obtenidas a partir de las Ecuaciones A.III.15 a A.III.19 del balance de masa, permite obtener las primeras coordenadas (0,0034; 0,997) y (0,00315; 0,937) para graficar la recta T-E1 en la Figura A.III.6 cuya pendiente de la recta se calcula con la Ecuación A.III.18 y el punto de corte en el eje de las ordenadas de la recta se determina a partir de la Figura A.III.6. El punto de corte (b) y la pendiente determinarán la ecuación de la recta T-E1 observada en la Figura A.III.6. (Aguado et al., 2002, pp. 151-162).

$$m = \frac{0,997 - 0,937}{0,00336 - 0,00315} \approx 281,55$$

$$b = 0,050$$

Donde:

b: Punto de corte de la recta con el eje de las ordenadas

m: Pendiente de la recta

La intersección entre la recta de residuo y la recta T-E1 que se observa en la Ecuación A.III.20 permiten determinar las concentraciones de aceite esencial y disolvente de la torta de residuo.

$$281,550 \times x_{a4} + 0,050 = -1 \times x_{a4} + 0,385 \quad [\text{A.III.20}]$$

$$282,560 \times x_{a4} = 0,335$$

$$x_{a4} = 0,0012$$

$$y_4 = 281,550 \times x_{a4} + 0,050$$

$$y_4 = 281,550 \times 0,0012 + 0,050 \approx 0,384$$

Como el residuo tiene una concentración de aceite esencial cercana a 0, se concluye que es innecesario una segunda etapa de extracción. Las concentraciones obtenidas se reemplazan en la Ecuación A.III.16 para determinar el valor de la corriente del extracto referencial que contendrá: masa de CO₂ supercrítico referencial del proceso, trazas de etanol y el aceite esencial.

$$T_1 \times z_{a1} = E_1 \times x_{a3} + (T_1 - E_1) \times x_{a4}$$

$$11\,319,24 \times (0,00315) = E_1 \times (0,00336) + (11\,319,24 - E_1) \times (0,001185)$$

$$22,24 = 0,00217 \times E_1$$

$$E_1 \approx 10\,217,48 \text{ kg}$$

Una vez determinada la corriente del extracto y conociendo las concentraciones de aceite esencial y disolventes calculados a partir de la Ecuación A.III.16 a A.III.18, se determina la masa de aceite esencial contenida en el extracto y la corriente de residuo

con sus concentraciones restantes de aceite esencial y etanol atrapado en la matriz vegetal

$$Ac_1 = E_1 \times x_{a3} = 10\,217,479 \times 0,0034 \approx 34,33 \text{ kg}$$

$$R_1 = T - E_1 = 11\,319,24 - 10\,217,48 \approx 1\,101,760 \text{ kg}$$

$$Ac_{r1} = R_1 \times x_{a4} = 1\,101,76 \times 0,001 \approx 1,29 \text{ kg}$$

$$E_{tr1} = R_1 \times y_4 = 1\,101,76 \times 0,38 \approx 422,930 \text{ kg}$$

$$E_{te1} = E_1 - Ac_1 - C = 10\,217,48 - 10\,181,82 - 34,33 \text{ kg} \approx 1,34 \text{ kg}$$

Donde:

A_{c1} : Aceite esencial extraído en la primera etapa de extracción [kg]

A_{cr1} : Aceite esencial atrapado en torta de residuo en la primera etapa de extracción [kg]

E : Masa de extracto (CO₂ y aceite esencial) [kg]

E_{tr1} : Masa etanol atrapada en torta de residuo en la primera etapa de extracción [kg]

E_{te1} : Masa de etanol atrapada en el extracto en la primera etapa de extracción [kg]

R : Masa de residuo [kg]

T : Masa total [kg]

x_{ai} : Concentración de aceite esencial (sección 3.6)

y_i : Concentración de disolvente

Dado que la torta de romero tiene un residuo de aceite esencial, se puede hacer una segunda etapa para extraer el aceite esencial residual. La segunda etapa de extracción sucede en la fase decreciente de la extracción del aceite esencial de romero, donde la matriz vegetal necesitará mayor tiempo de residencia en el extractor a las mismas condiciones de extracción (250 bar y 60 °C) para extraer el aceite esencial residual. El balance de masa de la segunda etapa de extracción permitirá conocer cuál es la cantidad de aceite residual que quedará en la torta de residuo. Una segunda etapa de extracción permitiría extraer 1,30 kg de aceite esencial para almacenarse e involucraría tiempos de residencia más elevados, mayor gasto energético, pérdida de las propiedades organolépticas del aceite esencial y mayores pérdidas de CO₂ que

generarían mayores costos y gastos, por lo cual no se realizará los cálculos para una segunda etapa de extracción, dado que la cantidad de aceite esencial extraída en la primera etapa abastece la demanda de la planta de producción.

Una vez determinada las masas de cada corriente durante la extracción se realiza el balance de masa del separador del equipo de extracción. Es importante señalar que la masa referencial de CO₂ obtenida en estos balances es un valor referencial teórico que indica la cantidad de masa total del gas que ha pasado por el extractor durante todo el proceso de extracción considerando que no se recupera el CO₂. Este valor de la masa referencial de CO₂ es diferente a la masa de CO₂ almacenada que se calculará a continuación.

A.III.6.2 Balance de masa en el separador

El CO₂ pasa al tanque separador donde es recuperado para ser recirculado nuevamente a la matriz vegetal, para lo cual se supondrá que la eficiencia de recirculación del CO₂ será 80 % de acuerdo a las especificaciones técnicas que presentan las turbomáquinas (Walas, 1998, pp. 63- 66). La cantidad total de CO₂ utilizado en la extracción se calcula a partir de la Ecuación A.III.21 y la Ecuación A.III.22 permitirá determinar la cantidad de masa de CO₂ recirculado y la cantidad de masa perdida de CO₂ durante el proceso (Fernández, 2000, p.114). Las corrientes de entrada y salida se observan en las Figuras A.III.7 y A.III.8.

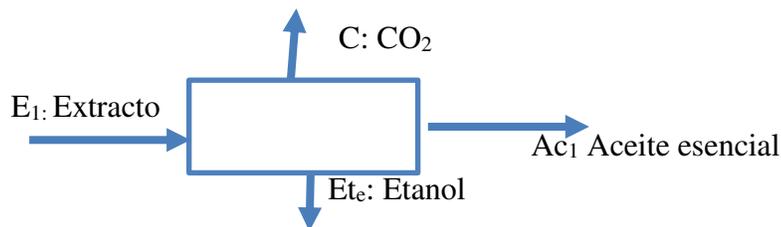


Figura A.III.7. Corrientes entrada y salida en el separador del equipo de fluidos supercríticos

$$E_1 = Ac_1 + C + Et_e$$

[A.III.21]

Donde:

Ac_1 : Aceite esencial extraído en la primera etapa de extracción [kg]

C : Masa de CO_2 del extracto [kg]

E : Masa de extracto (disolvente y aceite esencial) [kg]

Et_{e1} : Etanol atrapada en extracto de aceite esencial de primera etapa de extracción [kg]

$$C = E_1 - Ac_1 - Et_e$$

$$C = 10\,217,48\text{ kg} - 34,33\text{ kg} - 1,34\text{ kg}$$

$$C \approx 10\,181,82 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$$

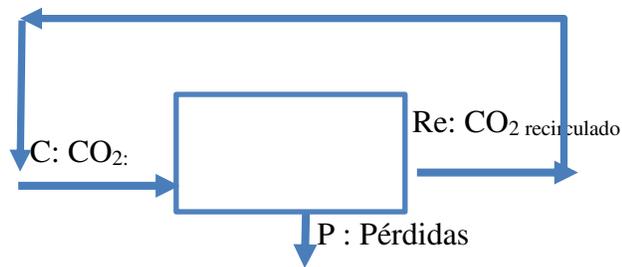


Figura A.III.8. Corrientes entrada y salida en la recirculación del equipo

$$C = Re + P$$

[A.III.22]

$$E_1 = Ac + Et_e + P + Re$$

$$Re = x_{re} \times C$$

$$Re = 0,80 \times C$$

$$C - 0,80 \times C = P$$

$$E_1 \times x_{a3} = Ac$$

$$E_1 \times y_3 = P + Re$$

Donde:

Re : Masa de CO_2 recirculado [kg]

P: Masa de pérdidas de CO₂ [kg]

x_{re} : Fracción de recirculación

y_i : Concentración de disolvente

$$P = 0,20 \times 10\,181,82 \frac{kg}{batch} \approx 2\,036,62 \frac{kg}{batch}$$

$$10\,217,48 \times 0,997 = 2\,036,62 + Re$$

$$Re \approx 8\,146,51 \text{ kg}$$

A.III.6.3 Tanque de CO₂

Se tiene en cuenta que la cantidad de CO₂ que se encuentra calculado en estos balances hace referencia a la cantidad total de gas que se ha recirculado por el tanque durante el tiempo total de extracción, por lo cual, se debe realizar el balance de masa para el tanque de CO₂, en función del tiempo de residencia que tiene el gas al pasar por el tanque, dado que la extracción no sucede de forma inmediata si no que el gas pasará varias veces por la matriz vegetal. El tiempo de residencia del gas se determinó a partir de los criterios de diseño calculados en el Anexo A.V.5. Las Ecuaciones A.III.23 y A.III.24 permitirán determinar la masa real que se almacena en el tanque de CO₂, la masa real que se pierde en cada lote y la cantidad que se recircula de regreso al tanque de CO₂ en cada lote. La calculadora de las propiedades físicas de CO₂ determina que el CO₂ tiene una densidad de 856,08 kg/m³ a las condiciones de almacenamiento del gas (100 bary 20 °C) la Figura A.V.3 muestra las propiedades físicas del CO₂ a diferentes condiciones de presión y temperatura.

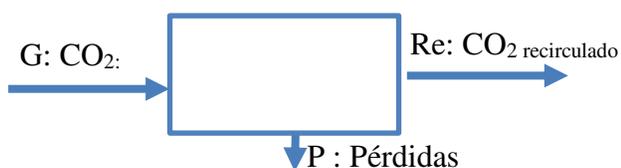


Figura A.III.9. Corrientes entrada y salida en el tanque de CO₂

$$G = (S - x_{et} \times S) \times t_{res} \quad [\text{A.III.23}]$$

$$G = Re + P$$

$$Re = x_{re} \times C \quad [\text{A.III.24}]$$

$$G = 0,80 \times G + P$$

Donde:

G: Masa de CO₂ almacenado [kg]

Re: Masa de CO₂ recirculado al tanque [kg]

P: Masa de pérdidas de CO₂ del tanque [kg]

S: Flujo másico de disolvente en el equipo de extracción (sección A.V.6) [kg/s]

t_{res}: Tiempo de residencia del CO₂ (sección A.V.6.2) [s]

t_{dura}: Tiempo de duración del tanque de CO₂ [días]

x_{re}: Fracción de CO₂ reciclado

x_{et}: Fracción de etanol en el disolvente

V: Volumen de CO₂ almacenado [L]

ρ_{CO2}: Densidad de CO₂ [kg/m³]

$$G = 1\,203,41 \text{ s} \times \left(0,642 \frac{\text{kg}}{\text{s}} - 0,040 \times 0,642 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) = 741,68 \text{ kg}$$

$$V = \frac{G}{\rho_{CO2}} = \frac{741,68 \text{ kg}}{856,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 866,37 \text{ L}$$

$$0,20 \times 741,68 \text{ kg} = P$$

$$P = 148,34 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}$$

$$P = 148,34 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} \times \frac{22 \text{ lotes}}{\text{mes}} = 3\,263,39 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$Re = 593,34 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}$$

$$Re = 593,34 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} \times \frac{22 \text{ lotes}}{\text{mes}} = 13\,053,48 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$t_{dura} = \frac{741,68 \text{ kg}}{148,34 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}} \times 1 \frac{\text{día}}{\text{lote}} = 5 \text{ días dura el tanque}$$

$$G = \frac{741,68 \text{ kg}}{5 \text{ días de } CO_2} \times \frac{22 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 3\,263,39 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

A.III.7 MEZCLADO

El estudio de mercado determinó que la capacidad de planta producirá cerca de 156,85 m³/mes de colutorio dental de romero. La Ecuación A.III.25 permite determinar la masa total de colutorio dental para calcular las corrientes de entrada y salida que se observan en la Figura A.III.7. Mosquera y Veloz (2021) indican que las densidades de los colutorios pueden variar entre 0,96 a 1,06 kg/L dependiendo la formulación del producto (p. 37). Para facilitar los cálculos del balance de masa se supondrá que la densidad es de 0,96 kg/L dado que la mezcla es altamente diluida. Para determinar las corrientes de entrada y salida se utilizará las Ecuaciones A.III.25 a A.III.35 y las concentraciones de los ingredientes del colutorio dental de romero se obtienen a partir de la Tabla 2.2. El tiempo que dura esta operación se obtiene al restar las 8,00 h de trabajo al día para 4,60 h de la extracción del aceite esencial calculado en la sección A.V.6. La capacidad de producción calculada en la sección 2.1.2 determina que la cantidad de colutorio a procesar es de 156,85 m³/mes y este valores el punto de partida para calcular los balances de masa de los procesos anteriores. Para determinar los flujos másicos de las materias primas usadas en la elaboración del colutorio dental, se usa las concentraciones mencionadas en la Tabla 2.1 de la sección 2.5.

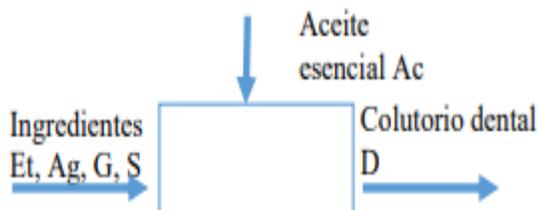


Figura A.III.10. Corrientes entrada y salida del mezclado

$$Q_D = 156,85 \frac{m^3}{mes} \times \frac{1 mes}{22 días} = 7,13 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día}{(8,0 - 4,6)h} = 2,10 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{D} = Q_D \times \rho_c \quad [A.III.25]$$

$$\dot{D} = 156,85 \frac{m^3}{mes} \times 960,42 \frac{kg}{m^3} \approx 150\,638,99 \frac{kg}{mes}$$

$$\dot{D} = A_c + A_G + Et_m + S_r + G_l + E_s + C_l + A_m + S_s \quad [A.III.26]$$

Balance de aceite esencial:

$$A_c = \dot{D} \times x_{Ac} \quad [A.III.27]$$

$$A_c = 150\,638,99 \frac{kg}{mes} \times 0,005 = 753,19 \frac{kg}{mes}$$

Balance de agua:

$$A_G = \dot{D} \times x_{Ag} = 1 \quad [A.III.28]$$

$$A_G = 50\,638,99 \frac{kg}{mes} \times 0,50 = 25\,319,50 \frac{kg}{mes}$$

Para determinar el flujo másico de etanol del proceso de mezclado, se considera a la cantidad de etanol residual que tiene el aceite esencial, por lo cual a la masa obtenida se le debe restar la cantidad de etanol que vendrá en el aceite esencial.

Balance de etanol:

$$Et_m = D \times x_{et} - Et_e \quad [A.III.29]$$

$$Et_m = 150\,638,99 \frac{kg}{mes} \times 0,125 - 1,34 \frac{kg}{día\ extracción} \times \frac{22\ días}{mes} \approx 18\,801,05 \frac{kg}{mes}$$

Balance de sorbitol:

$$S_r = D \times x_{S_r} \quad [A.III.30]$$

$$S_r = 150\,638,99 \frac{kg}{mes} \times 0,0564 = 8\,496,04 \frac{kg}{mes} = 386,18 \frac{kg}{día}$$

Balance de glicerina

$$G_l = x_{G_l} \times D \quad [A.III.31]$$

$$G_l = 0,184 \times 150\,638,99 \frac{kg}{mes} \approx 27\,687,44 \frac{kg}{mes} = 1\,258,52 \frac{kg}{día}$$

Balance de SLES

$$E_s = D \times x_{E_s} \quad [\text{A.III.32}]$$

$$E_s = 150\,638,99 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times 0,037 \approx 5\,648,96 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 256,77 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

Balance de clorhexidina

$$C_l = D \times x_{C_l} \quad [\text{A.III.33}]$$

$$C_l = 150\,638,99 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times 0,0002 = 30,13 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 1,37 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

Balance de saborizante:

$$A_m = D \times x_{A_m} \quad [\text{A.III.34}]$$

$$A_m = 150\,638,99 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times 0,04 = 6\,025,56 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 273,89 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

Balance de sacarina sódica:

$$S_s = D \times x_{S_s} \quad [\text{A.III.35}]$$

$$S_s = 150\,638,99 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times 0,0004 = 60,25 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 2,74 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

Donde

A_c : Flujo másico de aceite esencial [kg/mes]

A_g : Flujo másico de agua [kg/mes]

A_m : Flujo másico de sabor de menta [kg/mes]

C_l : Flujo másico de clorhexidina [kg/mes]

\dot{D} : Flujo másico de colutorio dental [kg/mes]

E_{tm} : Flujo másico de etanol [kg/mes]

E_{te} : Flujo másico de etanol del aceite esencial [kg/mes]

G_i : Flujo másico de glicerina [kg/mes]

Q_i : Flujo volumétrico del componente [m^3/mes]

S_r : Flujo másico de sorbitol [kg/mes]

E_s : Flujo másico de éter lauril sulfato de sodio [kg/mes]

S_s : Flujo másico de sacarina sódica [kg/mes]

x_i : Concentración del componente (sección 2.5)

ρ_i : Densidad del componente [kg/m]

ANEXO IV

BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía permitirá determinar el consumo energético de las 8 operaciones unitarias principales del proceso. Dado que el proceso no involucra reacciones químicas, los balances pueden desarrollarse en función de las capacidades caloríficas de los componentes involucrados en cada operación unitaria. Algunos balances no considerados en este Anexo se han determinado en el Anexo V debido a la necesidad de los mismos para determinar los criterios de diseño. Los flujos másicos involucrados en los balances de energía son los flujos por hora de cada operación unitaria y se obtienen a partir del Anexo III.

A.IV.1. CLASIFICACIÓN

El balance de energía de la operación de clasificación se calcula a partir de la Ecuación A.IV.1, la cual calcula las entalpías de entrada y salida del romero como se observa en la Ecuación A.IV.1. Este balance de energía permite determinar el trabajo necesario que se lleva a cabo en el proceso a partir de la Ecuación A.IV.3. Para el balance de energía se considera que el romero tiene un calor específico de 2,98 kJ/kg °C (Ovares, 2016, p. 86). La temperatura de referencia para este proceso se considerará 0 °C. La Figura A.IV.1 muestra las entalpías del sistema.

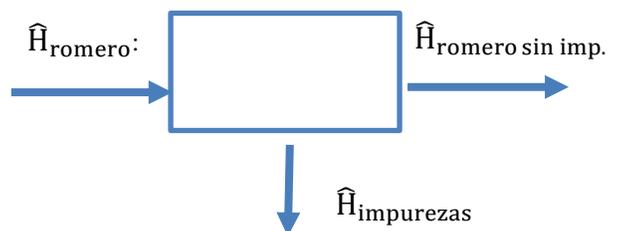


Figura A.IV.1. Entalpías de entrada y salida de la clasificación de hojas de romero

$$\hat{H}_{entra} = \hat{H}_{sale} \quad [A.1V.1]$$

$$R \times c_{p_{romero}} \times \Delta T = Rh \times c_{p_{romero}} \times \Delta T + I \times c_{p_{romero}} \times \Delta T \quad [A.1V.2]$$

$$\hat{H}_{entra} = R \times cp_{romero} \times (T_{entra} - T_{ref}) \quad [A.IV.3]$$

Donde:

cp: Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

\hat{H}_i : Flujo de Entalpía [kJ/h]

I: Flujo másico de impurezas [kg/h]

R: Flujo másico de romero receptado [kg/h]

Rh: Flujo másico de romero clasificado [kg/h]

T_i: Temperatura de entrada o salida [°C]

T_{ref}: Temperatura de referencia [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT: Variación de temperatura [°C]

$$R = 59,75 \frac{t}{mes} \times \frac{1\,000\,kg}{1\,t} \times \frac{1\,mes}{22\,días} \times \frac{1\,día}{2\,h} = 1\,357,95 \frac{kg}{h}$$

$$\hat{H}_{entra} = 1\,357,95 \frac{kg}{h} \times 2,98 \frac{kJ}{kg\,K} \times (297\,K - 273\,K) = 97\,120,58 \frac{kJ}{h}$$

$$W = 97\,120,58 \frac{kJ}{h} \times \frac{1\,h}{3\,600\,s}$$

$$W = 26,97\,kW$$

A.IV.2. DESINFECCIÓN

El balance de energía de la operación de desinfección se calcula a partir de la Ecuación A.IV.4, la cual calcula las entalpías del sistema de desinfección en función de sus capacidades caloríficas como se observa en la Ecuación A.IV.5 y A.IV.6. Este balance de energía determina el trabajo necesario que se lleva al desinfectar las hojas con la Ecuación A.IV.7 que se observa en la Tabla 4.2. Los calores específicos del hipoclorito de sodio y el agua son 3,11 kJ/kg °C y 4,18 kJ/kg °C respectivamente (Cengel, 2012, p. 912).

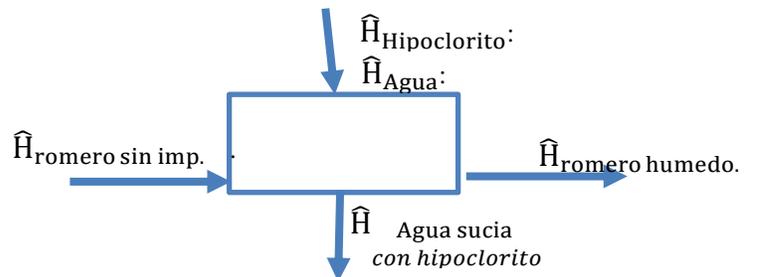


Figura A.IV.2. Entalpías de entrada y salida de la desinfección de hojas de romero

$$\hat{H}_{\text{entra}} = \hat{H}_{\text{sale}} \quad [\text{A.1V.4}]$$

$$\hat{H}_{\text{entra}} = R_h \times c_{p_{\text{romero}}} \times \Delta T + A \times c_{p_{\text{agua}}} \times \Delta T + H_p \times c_{p_{\text{hp}}} \times \Delta T \quad [\text{A.1V.5}]$$

$$\hat{H}_{\text{sale}} = R_h \times c_{p_{\text{romero}}} \times \Delta T + A_s \times c_{p_{\text{as}}} \times \Delta T \quad [\text{A.1V.6}]$$

Donde:

A: Flujo másico de agua [kg/h]

A_s: Flujo másico de agua sucia [kg/h]

c_{p_i}: Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

H_i: Flujo de entalpía [kJ/h]

H_p: Flujo másico de hipoclorito de sodio [kg/h]

I: Flujo másico de impurezas [kg/h]

R_h: Flujo másico de romero clasificado [kg/h]

T_i: Temperatura de entrada o salida [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT: Variación de temperatura [°C]

$$R_h = 56,76 \frac{\text{t}}{\text{mes}} \times \frac{1\,000\text{ kg}}{1\text{ t}} \times \frac{1\text{ mes}}{22\text{ días}} \times \frac{1\text{ día}}{3\text{ h}} = 860,00 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$A = 10\,714,03 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ día}}{3\text{ h}} = 3\,571,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$H_p = 53,57 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ día}}{3\text{ h}} = 17,86 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$R_h \times c_{p_{\text{romero}}} \times \Delta T = 860,00 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (297\text{ K} - 273\text{ K})$$

$$A \times c_{p_{\text{agua}}} \times \Delta T = 3\,571,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (297 \text{ K} - 273 \text{ K})$$

$$H_p \times c_{p_{\text{hp}}} \times \Delta T = 17,86 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (297 \text{ K} - 273 \text{ K})$$

$$\hat{H}_{\text{entra}} = 421\,117,09 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$W = \hat{H}_{\text{entra}}$$

[A.IV.7]

$$W = 421\,117,09 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 116,98 \text{ kW}$$

A.IV.3. PRE SECADO

El balance de energía de la operación unitaria de pre secado obtiene a partir de la carta psicrométrica que se observa en la Figura A.IV.1, esta figura permite determinar las entalpías del aire de secado a la entrada y salida de los cuartos de pre secado, las Ecuaciones A.IV.8 y A.IV.9 calculan las entalpías de entrada y salida del romero y aire de los cuartos de pre secado. Este balance de energía permite determinar el trabajo necesario que se lleva al acondicionar la hoja de romero a partir de la Ecuación A.IV.10 como se observa en la Tabla 4.2. El poder calorífico de la quema de residuos de romero es de 15 000 kJ/kg de rechazo de romero seco y se supondrá que la humedad será del 15 % (Herguedas et al., 2012, p.27). El tiempo de pre secado (10,5 h), el flujo másico del aire y el área de secado se obtendrá de los cálculos del Anexo A.V.3

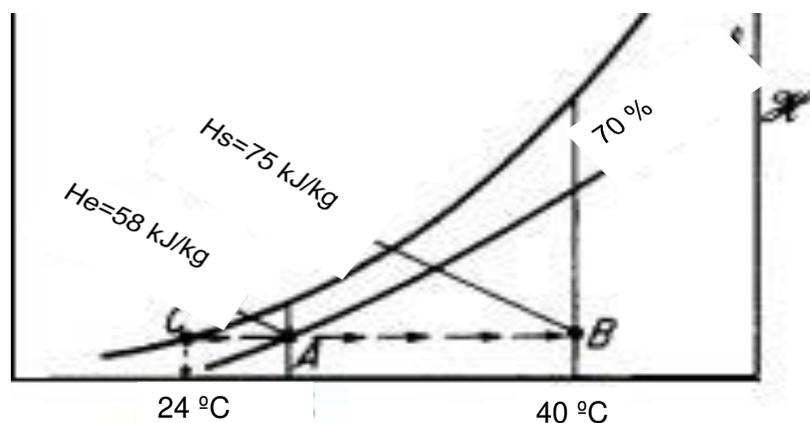


Figura A.IV.3. Carta psicrométrica a condiciones de acondicionamiento

Fuente: (Aguado et al., 2003, pp. 151-152)

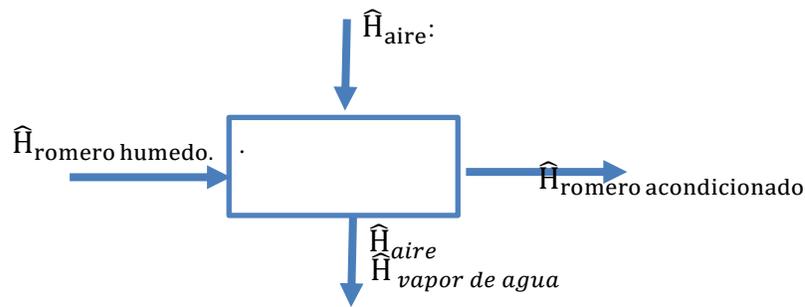


Figura A.IV.4. Entalpías de entrada y salida en el pre secado de hojas de romero

$$\hat{H}_{entra} = \hat{H}_{sale} \quad [A.1V.8]$$

$$\hat{H}_{entra} = H_e \times G \times A_s + R_h \times c_{p_{romero}} \times \Delta T + I \times PCI \quad [A.1V.9]$$

Donde:

A_s : Área de secado (sección A.V.3) [m^2]

c_{pi} : Calor específico del compuesto [$kJ/kg K$]

G : Flujo másico de aire [kg/m^2h]

\hat{H}_i : Flujo de entalpía [kJ/h]

H_e : Flujo de entalpía de entrada del aire [kJ/kg]

H_s : Flujo de entalpía de salida del aire [kJ/kg]

I : Flujo másico de residuos de romero [kg/h]

PCI : Calor de combustión de residuos de romero [kJ/kg]

R_h : Flujo másico de romero clasificado [kg/h]

T_i : Temperatura de entrada o salida [$^{\circ}C$]

W : Trabajo del proceso [kW]

ΔT : Variación de temperatura [$^{\circ}C$]

$$\hat{H}_{entra} = 75 \frac{kJ}{kg} \times 2\,419,2 \frac{kg}{m^2h} \times 648,0 m^2 + 2\,580 \frac{kg}{dia} \times \frac{1 dia}{7,57 h} \times 2,98 \frac{kJ}{kg K} \times (313 K - 273 K) + 15\,000 \frac{kJ}{kg} \times 2\,990 \frac{kg}{mes} \times \frac{1 mes}{22 dias} \times \frac{1 dia}{7,57 h} = 117\,883\,050,30 \frac{kJ}{h}$$

$$W = \hat{H}_{entra} W = 125\,231\,370,30 \frac{kJ}{h} \times \frac{1 h}{3\,600 s} = 32\,745,29 Kw \quad [A.1V.10]$$

A.IV.4. SECADO

El balance de energía de la operación unitaria de secado se obtiene a partir de las entalpías a la entrada y salida del romero y aire de secado que se calculan con las Ecuaciones A.IV.11 y A.IV.12. Este balance de energía permite determinar el trabajo necesario en esta operación unitaria a partir de la Ecuación A.IV.13 como se observa en la Tabla 4.2. El flujo másico del aire y el tiempo de secado se obtienen del Anexo A.V.4

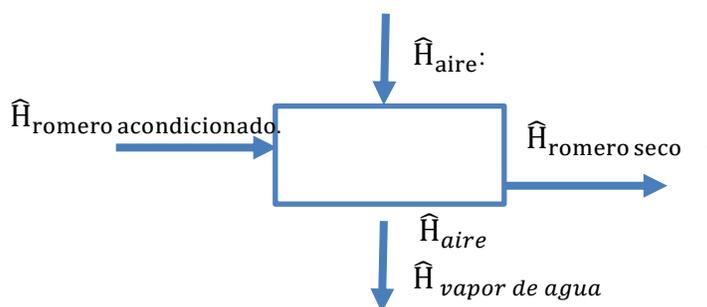


Figura A.IV.5. Entalpías de entrada y salida en el secado de hojas de romero

$$Ra = 30,86 \frac{t}{mes} \times \frac{1\,000\,kg}{1\,t} \times \frac{1\,mes}{22\,días} \times \frac{1\,día}{9\,h} = 155,86 \frac{kg}{h}$$

$$\hat{H}_{entra} = \hat{H}_{sale} \quad [A.IV.11]$$

$$\hat{H}_{entra} = G \times As \times H_e + Ra \times cp_{romero} \times \Delta T \quad [A.IV.12]$$

Donde:

As: Área de secado (sección A.V.4) [m²]

cp_i: Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

G: Flujo másico de aire (sección A.V.4) [kg/m²h]

\hat{H}_i : Flujo de entalpía [kJ/h]

H_e: Entalpía de entrada del aire [kJ/kg]

Ra: Flujo másico de romero acondicionado [kg/h]

T_i: Temperatura de entrada o salida [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT : Variación de temperatura [°C]

$$\hat{H}_{entra} = 75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 10\,080 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}} \times 164.64 \text{ m}^2 + 155,86 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 2,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (313 \text{ K} - 273 \text{ K})$$

$$\hat{H}_{entra} = 124\,486\,418,3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$W = \hat{H}_{entra}$$

[A.IV.13]

$$W = 124\,486\,418,3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} + 5,8 \text{ kW} = 34\,579,56 \text{ kW}$$

A.IV.5. MOLIENDA

El balance de energía en la molienda se obtiene a partir de las entalpías del romero de seco a la entrada y salida calculadas a partir de las Ecuaciones A.IV.14 y A.IV.15. Este balance de energía permite determinar el trabajo necesario en la molienda a partir de la Ecuación A.IV.14 como se observa en la Tabla 4.2. El tiempo de molienda se obtiene del Anexo A.V.5.



Figura A.IV.6. Entalpías de entrada y salida en la molienda de hojas de romero

$$\hat{H}_{entra} = \hat{H}_{sale} \quad \text{[A.IV.14]}$$

$$\hat{H}_{entra} = R_s \times c_{p_{romero}} \times \Delta T \quad \text{[A.IV.15]}$$

Donde:

c_{pi} : Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

\hat{H}_i : Flujo de entalpía [kJ/h]

R_s : Flujo másico de romero seco [kg/h]

T_i : Temperatura de entrada o salida [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT : Variación de temperatura [°C]

$$R_s = 15,69 \frac{\text{t}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{2,9 \text{ h}} = 713,18 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\hat{H}_{\text{entra}} = 713,18 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{2,9 \text{ h}} \times 2,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (297 \text{ K} - 273 \text{ K}) = 17 588,49 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$W = \hat{H}_{\text{entra}} + P_{\text{motor}}$$

$$W = 17 588,49 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3 600 \text{ s}} = 4,88 \text{ kW}$$

A.IV.6. EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

El balance de energía de la operación unitaria de extracción se obtendrá partir de la entalpía del romero de seco y el CO₂ a la entrada y salida del equipo y se calcula a partir de las Ecuaciones A.IV.17 y A.IV.18. Este balance de energía permite determinar el trabajo necesario en esta operación unitaria a partir de la Ecuación A.IV.19 como se observa en la Tabla 4.2. La Figura A.V.3 muestra que el calor específico del CO₂ supercritico a 250 bar y 60 °C es 2,49 kJ/kg K y el calor específico del etanol es 2,44 kJ/kg K (Cengel, 2012, p. 912).

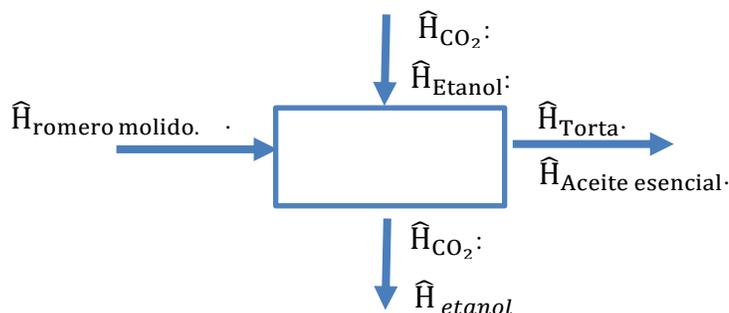


Figura A.IV.7. Entalpías de entrada y salida en la extracción por fluidos supercríticos

$$\hat{H}_{\text{entra}} = \hat{H}_{\text{sale}} \quad [\text{A.IV.17}]$$

$$\hat{H}_{\text{entra}} = \dot{C} \times cp_{\text{CO}_2} \times \Delta T + \dot{E}t \times cp_{\text{et}} \times \Delta T + R_s \times cp_{\text{rom}} \times \Delta T \quad [\text{A.IV.18}]$$

Donde:

\dot{C} : Flujo másico de CO₂ supercrítico [kg/h]

c_{pi} : Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

\dot{E}_t : Flujo másico de etanol [kg/h]

\hat{H}_i : Flujo de entalpía [kJ/h]

P: Potencia del equipo [kW]

R_s : Flujo másico de romero seco [kg/h]

T_i : Temperatura de entrada o salida [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT : Variación de temperatura [°C]

$$\hat{H}_{entra} = 0,616 \frac{kg}{s} \times \frac{3600s}{1h} \times 2,49 \frac{kJ}{kg K} \times (333 K - 273 K) + 0,026 \frac{kg}{s} \times \frac{3600s}{1h} \times 2,44 \frac{kJ}{kg K} \times (333 K - 273 K) + 713,18 kg \times 2,98 \frac{kJ}{kg K} \times (333 K - 273 K)$$

$$\hat{H}_{entra} = 472\,529,064 \frac{kJ}{h}$$

$$W = \hat{H}_{entra}$$

[A.IV.19]

$$W = 472\,529,064 \frac{kJ}{h} \times \frac{1h}{3600s} = 131,25 kW$$

A.IV.7 MEZCLADO

Dado que el colutorio dental es una mezcla de agua, alcohol y aceites su calor específico puede considerarse similar al de un aceite ligero con un valor 1,80 kJ/kg K (Cengel, 2007, p. 719).

El balance de energía se calcula a partir de las entalpías de entrada y salida como se observa en las Ecuaciones A.IV.20 y A.IV.21. El trabajo generado en esta operación se determinará con la Ecuación A.IV.22. El tiempo de agitación y dosificación se estima sea 3,4 h calculado en el Anexo A.V.6.

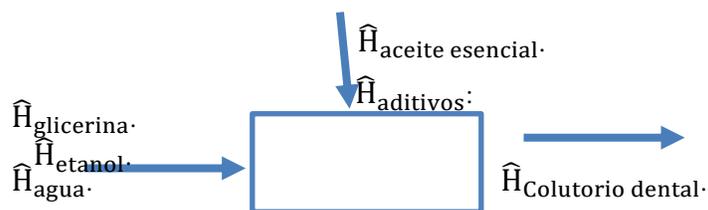


Figura A.IV.8. Entalpías de entrada y salida en el mezclado

$$\hat{H}_{entra} = \hat{H}_{sale} \quad [A.1V.20]$$

$$\hat{H}_{sale} = D \times c_{p\text{colutorio}} \times T \quad [A.1V.21]$$

Donde:

D: Flujo másico de colutorio dental [kg/h]

c_{pi} : Calor específico del compuesto [kJ/kg K]

\hat{H}_i : Entalpía [kJ/h]

P: Potencia del equipo [kW]

T_i : Temperatura de entrada o salida [°C]

W: Trabajo del proceso [kW]

ΔT : Variación de temperatura [°C]

$$D = 150,64 \frac{\text{t}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{3,4 \text{ h}} = 2\,013,90 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\hat{H}_{sale} = 2\,013,90 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1,80 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (313 \text{ K} - 273 \text{ K}) = 145\,001,01 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$W = \hat{H}_{sale} \quad [A.1V.22]$$

$$W = 145\,001,01 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 40,27 \text{ kW}$$

ANEXO V

SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

A.V.1 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

Para seleccionar la banda transportadora es importante conocer cuál es la capacidad que se procesará por hora y la cantidad de materia prima que clasificará cada operario. Las bandas transportadoras comerciales tienen una velocidad estándar de 0,84 m/s que permite determinar la capacidad que pueden procesar dependiendo del área que ocupa la banda y el factor de servicio (k). Las Ecuaciones 3.5 y 3.6 permiten determinar el caudal volumétrico y flujo másico que puede transportar una banda transportadora comercial. Para determinar el flujo másico es indispensable conocer la densidad de la hoja de romero. Para determinar la densidad de la hoja de romero se calcula de forma empírica a partir de la relación entre cantidad de romero almacenada (30,6 g) y el volumen del frasco (250 mL) de un producto comercial. La potencia de la banda transportadora es fundamental para conocer el consumo eléctrico que tiene la misma y se puede determinar a partir de la Ecuación 3.7.

$$59,75 \frac{t}{mes} \times \frac{1 mes}{22 día} = 2,72 \frac{t}{día} \times \frac{1 día}{2 h de trabajo} = 1,36 \frac{t}{h}$$

$$mop = \frac{1,36 \frac{t}{h} \times \frac{1 h}{60 min} \times \frac{1 000 kg}{1 t}}{4 operarios} = 5,67 \frac{kg}{min \times operario}$$

$$\beta = \frac{39,6 g}{250 mL} = 0,158 \frac{g}{mL}$$

$$Qv = 3 600 \times v \times A \times k$$

$$Qv = \frac{3 600 s}{1 h} \times 0,84 \frac{m}{s} \times 1,6 m^2 \times 1$$

$$Qv = 4 838,4 \frac{m^3}{h}$$

$$Qm = Qv \times \beta$$

$$Qm = 4\,838,4 \frac{m^3}{h} \times 0,158 \frac{t}{m^3}$$

$$Qm = 764,47 \frac{t}{h}$$

$$P = \frac{Cb \times v + Qm}{Cl \times kf}$$

$$P = \frac{54 \times 0,84 + 764,46}{625 \times 1,17} = 1,11 \text{ kW}$$

Donde:

g: Gravedad [m/s²]

H_i: Nivel del líquido [m]

m_i: Masa del compuesto [kg]

P_{atm}: Presión atmosférica [PSI]

P_D: Presión de diseño [PSI]

P_h: Presión hidrostática [PSI]

P_{max}: Presión de operación máxima [PSI]

Mop: Masa de romero fresco clasificada por cada operario [kg/min]

Q_m: Flujo másico [t/h]

Q_v: Caudal del volumétrico [m³/s]

β: Volumen específico del romero [g/mL]

ρ_i: Densidad del compuesto [kg/m³]

A.V.2. DISEÑO DEL TANQUE DE DESINFECCIÓN

Para el diseño del tanque horizontal semicilíndrico de la lavadora de desinfección se debe conocer la capacidad que se procesará al día y el número de lotes que se desinfectará a partir de las Ecuaciones 3.8 y 3.9. Se estima que cada lote se sumergirá en una solución de 0,5 % m/m de hipoclorito de sodio por 5 minutos para alcanzar la desinfección óptima (Acosta et al., 2002).

$$NL = \frac{\dot{m}}{B}$$

$$tp = NL \times t$$

$$NL = \frac{2\,580 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{72 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}} \approx 36 \frac{\text{batch}}{\text{día}}$$

$$tp = 36 \times 5 \text{ min} = 180 \text{ min}$$

Donde:

NL: Número de lotes

B: Capacidad de romero en el tanque [kg/lote]

t: Tiempo de desinfección

tp: Tiempo del proceso

Para determinar el volumen del tanque semicilíndrico es indispensable conocer el volumen de necesaria agua (300 L) para desinfectar 72 kg de romero (sección 4.4.2). El volumen libre del tanque semicilíndrico se calcula como el 20 % adicional al volumen que ocupa el agua y el romero en el tanque (American Petroleum Institute, 2002). Por último, el volumen de diseño del tanque se supondrá que es el doble del volumen del tanque semicilíndrico. Las Ecuaciones 3.10, 3.11 y 3.12 permitirán determinar estos volúmenes.

$$VT_{SD} = VL + Vr + Va$$

$$Vr = \frac{B}{\beta}$$

$$Vr = \frac{72 \text{ kg/lote}}{158 \text{ kg/m}^3} = 0,456 \frac{\text{m}^3}{\text{lote}}$$

$$Va = 300 \text{ L} = 0,3 \text{ m}^3$$

$$VL = 0,2 \times (Vr + Va)$$

$$VT_{SD} = 1,2 \times (0,456 + 0,3) \text{ m}^3 = 0,91 \text{ m}^3$$

$$VT_D = 2 \times VT_{SD} = 2 \times 0,91 \text{ m}^3 = 1,82 \text{ m}^3$$

Donde:

Va: Volumen que ocupa el agua [m³]

V_{L1}: Volumen libre del tanque [m³]

V_r: Volumen de cada lote de romero [m]

V_{TD}: Volumen del tanque [m³]

V_{TSD}: Volumen del tanque semicilíndrico [m³]

β: Densidad de la hoja de romero [kg/m³]

Walas (1999) indica que para tanques que manejen volúmenes menores a 1 000 gal deben diseñarse en posición horizontal y la relación entre altura y diámetro debe tener un valor de 3. (p. 612)

$$\frac{L}{D} = 3$$

Donde:

D: Diámetro del tanque [m]

L: Largo del tanque [m]

$$V_{TD} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times 3 * D$$

$$D^3 = \frac{1,82 \text{ m}^3 \times 4}{\pi \times 3}$$

$$D = 0,91 \text{ m}$$

$$L = 2,75 \text{ m}$$

$$V_L = 0,91 - 0,30 - 0,456 = 0,154 \text{ m}^3$$

El volumen libre del tanque semicilíndrico es 0,154 m³ que es 20 % de espacio libre necesario para que no suceda el derrame del fluido durante el burbujeo del tanque. El radio del tanque se considera 0,365 m.

Para determinar nivel del líquido en el tanque se acude a los recursos geométricos que se observan en la Figura A.V.1. El volumen ocupado por el romero y el agua dependen del área que ocupa el líquido en la base del cilindro y la longitud del cilindro, las Ecuación A.V.1 a A.V.7 permiten determinar el nivel del líquido en el tanque.

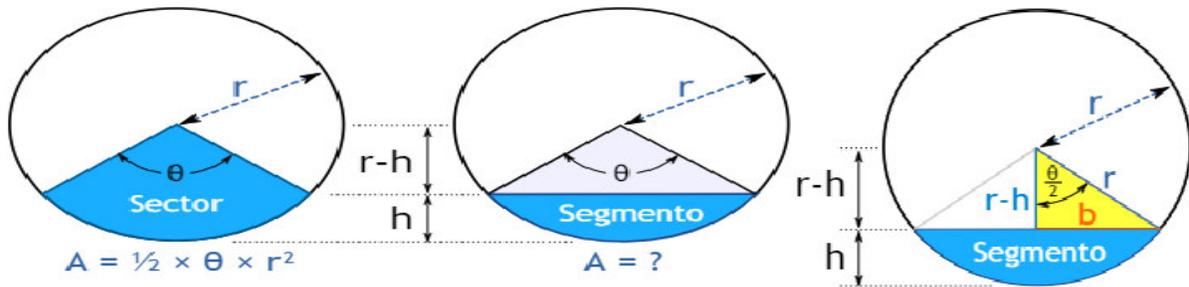


Figura A.V.1. Dimensiones de segmentos circulares
(Calvache, Rosero, y Yaselga, 2009, pp. 135-138)

$$A_o = \frac{r^2}{2} \times \theta \quad [A.V.1]$$

$$b^2 = r^2 - (r - h)^2 \quad [A.V.2]$$

$$b = \sqrt{2rh - h^2} \quad [A.V.3]$$

$$A_\Delta = b \times (r - h) \quad [A.V.3]$$

$$A_L = A_o - A_\Delta \quad [A.V.4]$$

$$Vr + Va = L \times A_L \quad [A.V.5]$$

$$\theta = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{b}{r} \right) \quad [A.V.6]$$

$$Vr + Va = L \times \left(r^2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r} \right) - (r - h) \times \sqrt{2rh - h^2} \right) \quad [A.V.7]$$

Donde

A_o : Área del segmento circular [m²]

A_L : Área de la base del líquido [m²]

A_Δ : Área del triángulo rectángulo en el segmento circular [m²]

b : Base del triángulo rectángulo en el segmento circular [m]

- h: Altura del nivel del líquido [m]
 L: Longitud del cilindro [m]
 r: Radio del cilindro [m]
 Vr: Volumen que ocupa la masa de romero [m³]
 Va: Volumen del agua de desinfección [m³]

$$h = 0,40 \text{ m}$$

$$\emptyset = 166,01^\circ$$

$$A_o = 0,94 \text{ m}^2$$

Para resolver la Ecuación A.V.7 se usó el software Excel y la herramienta Solver que permite iterar la variable del nivel de líquido hasta hallar su valor puntual, para lo cual, se debe conocer las demás variables involucradas en la ecuación. Conocidas las dimensiones que ocupa el tanquese procede a calcular la presión de operación máxima de los tanques a partir de presión hidrostática del agua, presión atmosférica a 500 m.s.n.m y la presión que ejerce la masa del romero a partir de las Ecuaciones A.V.8 a A.V.10, los valores obtenidos de estas ecuaciones determinan la presión y temperatura de diseño a partir de las Ecuaciones 3.12 y 3.14. Para la determinación de la presión de diseño de los recipientes la norma PDVSA (1995) "*Manual de diseño de proceso*" recomienda que para los recipientes no llenos de líquido cuya presión de operación sea menor a 15 PSI, la presión de diseño del recipiente se considera la presión mínima de 16 PSI, mientras que para definir la temperatura de diseño para tanques de almacenamiento o para este caso un tanque de desinfección con agua se recomienda que la temperatura de diseño sea la temperatura máxima de operación o temperatura máxima del ambiente (pp. 9-21).

$$Ph1 = \rho_a \times g \times h \quad [A.V.8]$$

$$Ph1 = 997,00 \frac{kg}{m^3} \times 9,80 \frac{m}{s^2} \times 0,40 \text{ m} = 3\,908,24 \text{ Pa} = 0,567 \text{ PSI}$$

$$Pr = \frac{B \times g}{A_o}$$

[A.V.9]

$$Pr = \frac{72,00 \text{ kg} \times 9,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,94 \text{ m}^2} = 750,63 \text{ Pa} = 0,109 \text{ PSI}$$

$$Patm_{500 \text{ m.s.n.m}} = 0,94 \text{ atm} = 13,84 \text{ PSI}$$

$$Pop \text{ max}_1 = Pr + Patm + Ph1 \quad [A.V.10]$$

Donde:

- A_o: Área del segmento circular [m²]
- B: Masa de romero por lote (sección 3.3) [kg]
- g: Aceleración de la gravedad [m/s²]
- h: Altura del líquido [m]
- Patm: Presión atmosférica [PSI]
- Pd: Presión de diseño [PSI]
- Pdmin: Presión de diseño mínima [PSI]
- Ph: Presión hidrostática [PSI]
- Pop. Max: Presión operación máxima [PSI]
- Pr: Presión de la masa de romero [PSI]
- Td: Temperatura de diseño [°C]
- Tamb: Temperatura ambiental [°C]
- ρ_a: Densidad del agua [kg/m³]

$$Pop \text{ max}_1 = 13,84 \text{ PSI} + 0,567 \text{ PSI} + 0,109 \text{ PSI} = 14,52 \text{ PSI}$$

$$P d_1 = P d_{min}$$

$$P d_1 = P d_{min} = 16 \text{ PSI}$$

$$Td1 = T \text{ amb. max} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A.V.3 DISEÑO DEL CUARTO DE PRE SECADO

Las dimensiones del cuarto de acondicionamiento se determinan en función del espacio que ocupan los estantes dentro del galpón (1,80 m de largo x 0,80 m de ancho)

y el caldero de leña (diámetro 1,00 m) (sección 4.4.3), las medidas del estante y el caldero son medidas estándar del fabricante, se supondrá que la planta contará con 2 cuartos de acondicionamiento y cada uno almacenará 15 estantes ubicados en 2 filas. Las Ecuaciones A.V.11 a A.V.14 determinarán el largo, ancho y alto del cuarto de acondicionamiento. Para calcular el largo y el ancho del cuarto se suma 0,60 m al inicio y final de la fila para que el operario pueda manipular los estantes en el galpón y se multiplica por un factor de 1,2 si necesita desplazamiento de operarios (PDVSA, 1993).

$$mb = \frac{Rh}{nb \times ne} = \frac{2\,580 \text{ kg/día}}{30 \times 36} = 2,39 \frac{\text{kg}}{\text{bandeja}} \quad [\text{A.V.11}]$$

$$Lg = 1,2 \times (1,2 \text{ m} + Ne \times Le + Dc) \quad [\text{A.V.12}]$$

$$Lg = 1,2 \times (1,2 \text{ m} + 8 \times 0,8 \text{ m} + 1,0 \text{ m}) \approx 10,5 \text{ m}$$

$$Ag = 1,2 \times (1,2 \text{ m} + Nf \times Ae) \quad [\text{A.V.13}]$$

$$Ag = 1,2 \times (1,2 \text{ m} + 2 \times 1,7 \text{ m}) \approx 5,5 \text{ m}$$

$$Hg = 1,2 \times (He) = 1,2 \times (2,17 \text{ m}) = 2,6 \text{ m} \quad [\text{A.V.14}]$$

Donde:

Ag: Ancho del galpón [m]

Dc: Diámetro del caldero [m]

He: Altura del estante [m]

Hg: Altura del galpón [m]

Le: Largo del estante [m]

Lg: Largo del galpón [m]

mb: Masa de romero en la bandeja (sección 4.4.3), [kg]

nb: Número de bandejas (sección 4.4.3),

Ne: Número de estantes por fila (sección 4.4.3),

ne: Número de estantes (sección 4.4.3),

Rh: Flujo másico diario de romero clasificado (sección A.III.3) [kg/día]

Para determinar el diseño de los cuartos de acondicionamiento es necesario

determinar el flujomásico de aire que entrará a los galpones a partir de la Ecuación 3.16 y el coeficiente de transferencia de calor a partir de la Ecuación 3.17. Estos parámetros determinarán la tasa de secado en los cuartos de acondicionamiento a partir de la Ecuación 3.18. Para los cálculos se considera la densidad del aire 1,12 kg/m³ a 40 °C y el calor latente 2 444,7 kJ/kg (Cengel, 2007, pp. 737-750).

$$G = va \times \rho a \times 3\,600$$

$$G = 0,6 \frac{m}{s} \times 1,12 \frac{kg}{m^3} \times 3\,600 \frac{s}{h} = 2\,419,20 \frac{kg}{m^2 h}$$

$$h = 0,0204 \times G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 2\,419,20^{0,8} = 10,39 \frac{W}{m^2 K} = 0,01039 \frac{kW}{m^2 K}$$

$$Rc = -\frac{dw}{dt} = \frac{h}{\lambda} \times (Ta - Ts) \times 3\,600$$

$$Rc = -\frac{dw}{dt} = \frac{0,01039 \frac{\frac{kJ}{s}}{m^2 K}}{2\,444,3 \frac{kJ}{kg}} \times (40,0 - 24,5)K \times 3\,600 \frac{s}{h} = 0,24 \frac{kg}{m^2 h}$$

$$As = a \times b \times nb \times ne$$

Donde:

a: Largo de bandeja (sección 4.4.3), [m]

Ab: Área de bandejas secador [m²]

b: Ancho de bandeja (sección 4.4.3), [m]

G: Velocidad másica de aire [kg/m²h]

h: Coeficiente de individual transferencia de calor [kW/m²K]

Rc: Tasa de secado [kg/m²h]

t: Tiempo de acondicionamiento [h]

Ta: Temperatura bulbo seco [°C]

Ts: Temperatura bulbo húmedo [°C]

va: Velocidad del aire (sección 4.4.3) [m/s]

w: Flujo de agua evaporada [t/mes]

ρ_a : Densidad del aire [kg/m³]

λ : Calor latente [kJ/kg]

$$As = 0,80 \times 0,75 \times 30 \times 36 = 648,00 \text{ m}^2$$

$$Rc = 0,24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}} \times 648,00 \text{ m}^2 = 155,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$ta = \frac{25,90 \frac{\text{t}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días}} \times \frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}}}{155,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 7,57 \text{ h}$$

A.V.4 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE UN SECADOR DE BANDEJAS

Para seleccionar el secador de bandejas, es importante conocer cuántos lotes procesará el equipo, el número de lotes se determina a partir de la relación entre la capacidad necesaria de hoja de romero seca que necesita la planta de producción y la capacidad de procesamiento del equipo por lote a partir de la Ecuación A.V.15

$$NL = \frac{Ra}{Ce} = \frac{1\,402,73 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{700 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}} = 2 \frac{\text{lotes}}{\text{día}} \quad [\text{A.V.15}]$$

Conocido el número de lotes es importante conocer el flujo másico de romero seco calculado a partir de la Ecuación A.V.16, este valor se determina al restarse el flujo másico de romero que entrará al equipo para la cantidad de agua presente en la hoja de romero, el cual se determina a partir de la humedad relativa del romero pre secado (54 %).

$$mrs = NL \times (Ce - Hr \times Ce) \quad [\text{A.V.16}]$$

$$mrs = 2 \frac{\text{lotes}}{\text{día}} \times \left(701,37 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} - 0,54 \times 701,37 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} \right) = 2 \times (322,63) = 645,26 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Donde:

Ce: Capacidad del secador (Tabla A.VI.5) [kg]

NL: Número de lotes

Ra: Flujo másico diario de romero acondicionado (sección A.III.4) [kg/día]

Hr: Humedad relativa del romero (sección A.III.3)

La Ecuación 3.18 permite determinar el flujo másico de agua presente en el romero y la Ecuación A.V.17 determinará la humedad crítica que tiene la hoja de romero seca, esta ecuación se obtiene de la Figura 3.2 que muestra la cinética de secado de la hoja de romero y se evalúa en un tiempo de 1 000 min.

$$Hr = \frac{Ra \times x_{agua}}{mrs}$$

$$Hr = \frac{1\,402,73 \frac{kg}{día} \times 0,54}{645,26 \frac{kg}{día}} = 1,17 \frac{kg\ agua}{kg\ masa\ seca}$$

$$Hc = 6e^{-0,7} \times t^2 - 0,0015 \times t + 1,0211 \quad [A.V.17]$$

$$Hc = 6 \times 10^{-0,7} \times 1\,000^2 - 0,0015 \times 1\,000 + 1,0211$$

$$Hc = 0,1211 \frac{kg\ agua}{kg\ masa\ seca}$$

Conocida la cantidad de agua presente en el romero seco se calcula la masa total del romero seco con la Ecuación A.V.18, esta ecuación permitirá calcular la masa total de romero seco que se obtenga al final de procesar cada lote.

$$mrc = Hc \times mrs + mrs \quad [A.V.18]$$

$$mrc = 0,12 \frac{kg\ agua}{kg\ ms} \times 322,63\ kg\ ms + 322,63\ kg\ ms = 361,70 \frac{kg}{día}$$

Con la masa de romero seco y la masa del romero pre secado calculado anteriormente, se determinará la cantidad de agua evaporada durante el proceso de secado a partir de la Ecuación A.V.19

$$W_3 = 2 \frac{lotes}{día} \times (Ra - mrc) \quad [A.V.19]$$

$$W_3 = 2 \frac{\text{lotes}}{\text{día}} \times \left(701,37 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} - 361,70 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} \right) = 2 \frac{\text{lotes}}{\text{día}} \times 339,67 \frac{\text{kg agua}}{\text{lote}}$$

$$= 679,34 \frac{\text{kg agua}}{\text{día}}$$

Donde:

Hc: Humedad crítica [kg agua/kg a. s]

Hr: Humedad relativa del romero

mrc: Masa crítica de romero [kg/día]

mrs: Masa seca de romero [kg/día]

Ra: Flujo másico de romero acondicionado (sección A.III.4) [kg/día]

W₃: Humedad sustraída de las hojas hasta su humedad crítica [t/día]

x₁₂: Fracción de agua (sección A.III.4)

Para determinar el tiempo de secado es necesario conocer los siguientes parámetros: el flujo másico de aire a partir de la Ecuación 3.15 que relaciona a la velocidad del aire (2,5 m/s) con su densidad a las condiciones de secado (1,12 kg/m³); el coeficiente individual de transferencia de calor calculado a partir de la Ecuación 3.16 y la tasa de secado del secador de bandejas obtenida a partir de la Ecuación 3.17. Para determinar la tasa de secado es necesario conocer el área de secado, por lo cual, en la Ecuación A.V.20 permite determinar el número de bandejas que se secarán en cada lote, este valor se reemplazará en la Ecuación 3.19.

$$= 2,50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3\,600 = 10\,080,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}}$$

$$h = 0,0204 \times 10\,080^{0,8} = 32,54 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} = 0,03254 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$Rc_2 = -\frac{dw}{dt} = \frac{0,03254 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{K}}}{2\,444,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \times (40,0 - 24,5) \text{K} \times 3\,600 \text{s} = 0,743 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}}$$

$$nb = \frac{Ce}{mb} = \frac{701,37 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}}{2,388 \frac{\text{kg}}{\text{bandeja}}} = 294 \text{ bandejas}$$

$$Ab = a \times b \times nb$$

[A.V.20]

$$As = 0,80 \times 0,70 \times 294 = 164,64 \text{ m}^2$$

$$Rc_2 = 0,743 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}} \times 164,64 \text{ m}^2 = 122,33 \frac{\text{kg agua}}{\text{h}}$$

Conocidos los parámetros anteriores se determina el tiempo de secado durante el periodo de secado constante de la hoja de romero hasta que alcanza su humedad crítica a partir de la Ecuación 3.21. que divide la masa de agua evaporada del lote para la tasa de secado.

$$t = \frac{W_3}{Rc_2}$$

$$t_1 = \frac{339,81 \frac{\text{kg agua}}{\text{lote}}}{122,33 \frac{\text{kg agua}}{\text{h}}} = 2,78 \frac{\text{h}}{\text{lote}}$$

Donde:

a: Largo de bandeja (sección 4.4.3) [m]

Ab: Área de bandejas secador [m²]

b: Ancho de bandeja (sección 4.4.3) [m]

G: Flujo másico de aire [kg/m²h]

h: Coeficiente de individual transferencia de calor [kW/m²K]

mb: Masa de romero en la bandeja [kg]

nb: Número de bandejas

t: Tiempo que demora en alcanzar la humedad crítica [h]

ts: Tiempo de secado [h]

va: Velocidad del aire (sección 4.4.3) [m/s]

Por último, el tiempo de secado del periodo decreciente se determina a partir de las Ecuaciones 3.22 y A.V.21, el valor de la integral de la Ecuación A.V.21 se obtiene a

partir de la cinética de secado calculada en la Tabla A.V.1, los parámetros de humedad y tiempo de secado se obtuvieron de la Figura 3.2.

Por último, la Ecuación A.V.22 permite determinar el tiempo total del secado de 2 lotes diarios de hojas de romero acondicionadas

Tabla A.V.1. Cinética de secado de la hoja de romero

H [kg ag/kg ms]	ΔH [kg ag]	t [min]	Δt [min]	ΔH/Δt [kg ag/h]	1/Rc [h/kg ag]	1/Rcp [h/kg ag]	ΔH*1/Rcp
0,121		1 000,000	-	-	-	-	-
0,118	0,041	1 010,000	10,000	0,250	3,995	-	-
0,115	0,040	1 020,000	10,000	0,240	4,165	4,080	0,163
0,113	0,038	1 030,000	10,000	0,230	4,350	4,253	0,163
0,110	0,037	1 040,000	10,000	0,220	4,552	4,451	0,163
0,108	0,035	1 050,000	10,000	0,209	4,774	4,663	0,163
0,105	0,033	1 060,000	10,000	0,199	5,019	4,897	0,163
0,105	0,003	1 061,000	1,000	0,194	5,165	5,092	0,016
							0,831

$$t_2 = \frac{W}{As} \times \int_{H_2}^{H_1} \frac{dx}{R} \quad [\text{A.V.21}]$$

$$\int_{H_2}^{H_1} \frac{dx}{R} = \sum \Delta H \times \left(\frac{1}{R_{cp}} \right) \quad [\text{A.V.22}]$$

$$\int_{H_2}^{H_1} \frac{dx}{R} = 0,8311$$

$$t_2 = \frac{339,67 \frac{\text{kg agua}}{\text{lote}}}{164,64 \text{ m}^2} \times 0,8311 \frac{\text{h m}^2}{\text{kg agua}} = 1,71 \frac{\text{h}}{\text{lote}}$$

$$t_s = t_1 + t_2$$

$$t_s = 1,71 \frac{\text{h}}{\text{lote}} + 2,78 \frac{\text{h}}{\text{lote}} = 4,49 \frac{\text{h}}{\text{lote}}$$

$$t_T = 4,49 \frac{\text{h}}{\text{lote}} \times 2 \text{ lotes} \approx 9,00 \text{ h}$$

A.V.5 CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE UN MOLINO TRITURADOR

La capacidad de procesamiento diario se calcula con ayuda de la Ecuación A.V.23. El tiempo de molienda de la hoja de romero seca se calculará con la Ecuación A.V.24, la cual relaciona la capacidad de procesamiento del equipo para el flujo másico diario de romero seco.

$$R_m = R_s = 15,69 \frac{t}{mes} \times \frac{1 mes}{22 días} \times \frac{1000 kg}{1 t} = 713,19 \frac{kg}{día} \quad [A.V.23]$$

$$t_m = \frac{R_m}{C_m} = \frac{713,18 \frac{kg}{día}}{250,00 \frac{kg}{h}} \approx 2,90 h \quad [A.V.24]$$

El grado de trituración de la hoja de romero seca se calcula a partir de la Ecuación 3.23, mientras que la Ecuación 3.24 permite calcular el volumen de la tolva a partir de la masa y volumen específico del romero seco.

$$\eta = \frac{D_o}{D_m}$$

$$\eta = \frac{20,00 mm}{0,66 mm} = 30,3$$

$$V_{tv} = \frac{R_s}{\beta} = \frac{713,18 \frac{kg}{día} \times \frac{1 día}{2,9 h}}{157,80 \frac{kg}{m^3}} = 1,55 \frac{m^3}{h}$$

Por último, la eficiencia del molino se calcula a partir de la Ecuación 3.23 y la Figura A.V.2 que indica el valor del índice de bond para diferentes materiales, este índice muestra la cantidad de energía que necesita el molino para moler materia prima de diferente dureza, este factor permite determinar la eficiencia del molino. La eficiencia del molino calculada en la Ecuación 3.26 ayuda a determinar la energía que consumirá el molino según el tipo de materia prima y diámetro de la partícula.

Descripción	Límite W_{IT} (kWh/ton) métricas
Muy blando	8
Blando	8-12
Medio	12-16
Duro	16-20
Muy duro	20-24

Figura A.V.2. Índice de bond
(Cervantes et al. 2015, p 46)

$$E = 0,3162 \times W_{IT} \times \left(\frac{1}{\sqrt{D_{p2}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{p1}}} \right)$$

$$E = 0,3162 \times 8 \times \left(\frac{1}{\sqrt{0,66}} - \frac{1}{\sqrt{20}} \right) = 2,54 \frac{kW - h}{t}$$

Donde:

C_m : Capacidad de molienda del equipo (Tabla A.VI.6) [kg/h]

D_o : Diámetro de hoja seca (sección 4.4.3) [mm]

D_m : Diámetro de hoja molida (sección 4.4.4) [mm]

E : Eficiencia del molino [kW-h/t]

R_m : Flujo másico de romero molido (sección A.III.4) [kg/día]

R_s : Flujo másico mensual de romero seco (sección A.III.4) [kg/día]

t_m : Tiempo de molienda [h]

V_{tv} : Caudal de la tolva [m³/h]

W_{IT} : Índice de Bond [kW-h/t]

η : Grado de trituración

A.V.6 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE UN EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ROMERO

Para determinar los parámetros de selección del equipo de fluidos supercríticos es importante conocer las propiedades físicas del CO₂ supercrítico a l diferentes condiciones de operación de equipo, la Figura A.V.3 muestra las propiedades físicas

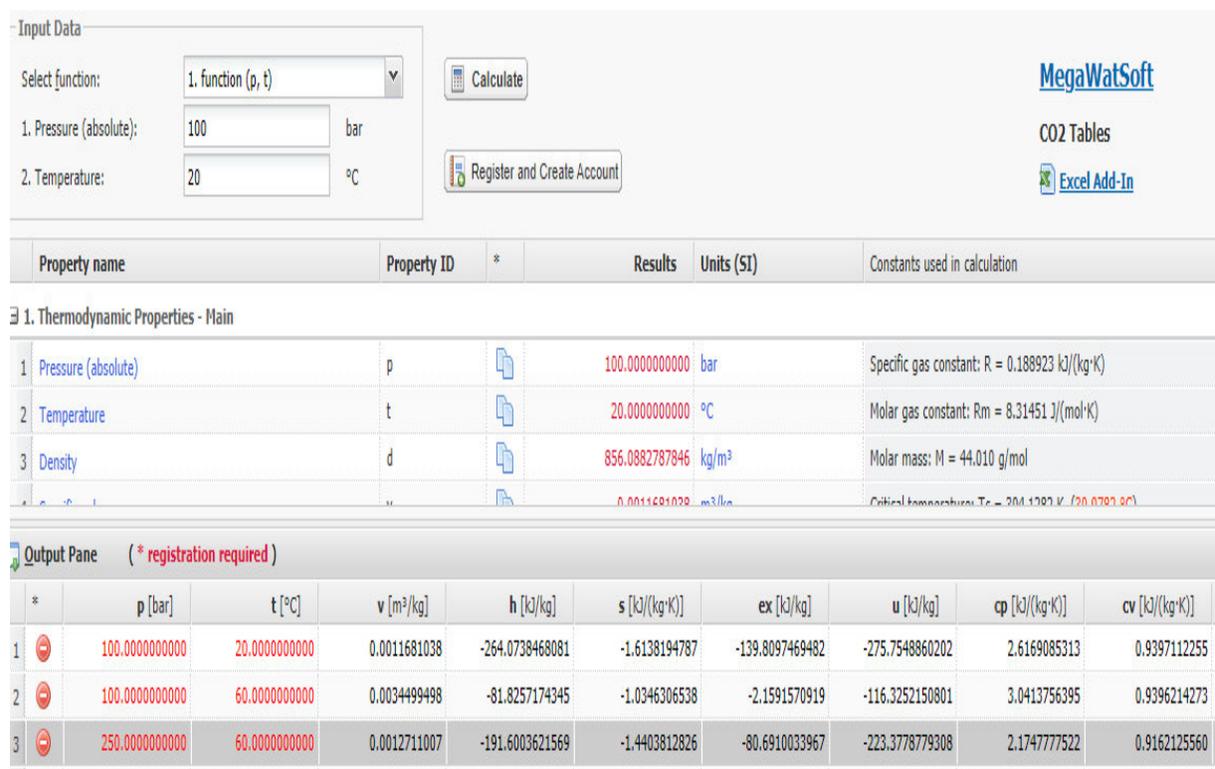
del CO₂ supercrítico

Figura A.V.3. Propiedades del CO₂ a diferente presión y temperatura
(Megawatsoft, 2020)

Para seleccionar el extractor por fluidos supercríticos es importante determinar los criterios de diseño durante la operación de extracción del aceite esencial. La Ecuación 3.27 permite determinar una relación que existe entre el flujo de disolvente y la masa de romero. Los valores son obtenidos de datos experimentales presentados por Carvalho et al. (2005) donde se obtiene el flujo usado de CO₂ y la masa de romero. Esta relación permite escalar el proceso permitiendo calcular la cantidad de disolvente necesaria para la masa de romero que procesará la planta de producción de colutorio dental.

$$\frac{S}{Rm} = \frac{S}{F'} = \frac{8,33 \times 10^{-05} \frac{kg}{s}}{0,0921 \text{ kg romero}} = 0,0009$$

$$S = 0,0009 \times F$$

$$S = 0,0009 \times 713,19 \frac{\text{kg}}{\text{bachh}} \approx 0,642 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 38,52 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 2\,310,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para determinar los parámetros de diseño es importante conocer las propiedades del CO₂ a las condiciones de operación que funciona el equipo, estos valores fueron determinados a partir de la aplicación online Megawasoft (2020) que permite obtener las propiedades del CO₂ a diferentes condiciones de presión y temperatura, como se observa en la Figura A.V.3.

$$\rho_{CO_2, 100 \text{ bar } 20^\circ C} = 856,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{CO_2, 250 \text{ bar } 60^\circ C} = 786,72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{100^3 \text{ cm}^3} \times \frac{1\,000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 0,787 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Conocidas las propiedades del CO₂ y la cantidad de disolvente necesaria para procesar 713,19 kg de romero se determina el flujo de CO₂ a la entrada y salida del extractor a partir de las Ecuaciones A.V.25 y A.V.26.

$$Q_{CO_2,1} = \frac{S}{\rho_{CO_2, 100 \text{ bar}}} = \frac{0,642 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{856,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 7,49 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,749 \frac{\text{L}}{\text{s}} \quad [\text{A.V.25}]$$

$$Q_{CO_2,2} = \frac{S}{\rho_{CO_2, 250 \text{ bar}}} = \frac{0,642 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{786,72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8,16 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,816 \frac{\text{L}}{\text{s}} \quad [\text{A.V.26}]$$

Donde:

F: Masa de romero experimento Carvalho [kg]

Q_{CO_2} Caudal de CO₂ [L/h]

Rm: Masa de romero molido por lote (sección A.III.4) [kg]

S: Flujo másico de CO₂ [kg/s]

ρ_{CO_2} : Densidad del CO₂ [kg/m³]

La Ecuación A.V.27 permite determinar el trabajo necesario para que el CO₂ pueda extraer el aceite esencial de la hoja de romero a partir de un balance de energía que relaciona el calor que se genera durante el proceso, el trabajo generado, la variación de energía potencial, la variación de energía cinética y la variación de entalpía generado por el cambio de las condiciones de operación del CO₂. Las Ecuaciones A.V.28 a A.V.30 permitirán determinar la variación de entalpía del CO₂ en el compresor a partir de la capacidad calorífica del CO₂ a las diferentes condiciones de operación, estos valores se obtienen a partir de la Figura A.V.3 y se considerará como temperatura de referencia 0 °C.

$$\Delta q + \Delta w = \Delta E_p + \Delta E_c + \Delta h \quad [\text{A.V.27}]$$

$$\Delta h = h_{250 \text{ bar } 60^\circ\text{C}} - h_{100 \text{ bar } 20^\circ\text{C}} \quad [\text{A.V.28}]$$

$$h_i = c p_i \times \Delta T \quad [\text{A.V.29}]$$

$$\Delta h = 2,17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (333 \text{ K} - 273 \text{ K}) - 2,62 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (293 \text{ K} - 273 \text{ K})$$

$$\Delta h = 130,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 52,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 77,80 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La energía cinética del compresor de CO₂ se determina a partir de la velocidad del flujo del disolvente calculada con las Ecuaciones 3.29 y A.V.30, el valor de la velocidad depende de la masa, densidad y del área transversal de la tubería que transporta el CO₂ supercrítico. El diámetro de las tuberías de alta presión para las condiciones de presión de 100 bar a 250 bar es de 15 mm de acuerdo a la Figura 3.3 (sección 3.8).

$$v_i = \frac{S}{\rho_{\text{CO}_2} \times A_d} \quad [\text{A.V.30}]$$

Donde:

A_d : Área transversal tubería

$c p_i$: Calor específico etanol líquido y gaseoso [kJ/kg K]

- W_a : Trabajo real del compresor [kJ/kg]
 v_i : Velocidad de gas [m/s]
 ΔEc : Energía cinética del compresor [kJ/kg]
 ΔEp : Energía potencial del compresor [kJ/kg]
 Δh : Variación de entalpía del CO₂ en el compresor [kJ/kg]
 ΔT : Variación de temperatura en el compresor [°C]
 Δw : Variación de trabajo en el compresor [kJ/kg]
 Δq : Calor pérdida en el compresor [kJ/kg]

$$v_1 = \frac{0,642 \frac{kg}{s}}{856,09 \frac{kg}{m^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 m}{2}\right)^2} = 4,24 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = \frac{0,642 \frac{kg}{s}}{786,81 \frac{kg}{m^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 m}{2}\right)^2} = 4,62 \frac{m}{s}$$

$$\Delta Ec = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2}$$

$$\Delta Ec = \frac{4,62^2 - 4,24^2}{2} = 1,68 \frac{kJ}{kg}$$

El trabajo que genera el compresor de CO₂ se obtiene al suponer que no existe pérdida de calor y que la variación de energía potencial es depreciable.

$$W_a = 1,68 \frac{kJ}{kg} + 77,80 \frac{kJ}{kg} = 79,48 \frac{kJ}{kg}$$

La eficiencia del compresor del CO₂ es del 87 % y se calcula al interpolar los rendimientos expresados en la Figura A.V.4. La Ecuación A.V.31 determina el rendimiento del compresor a partir de la relación que tienen la presión de entrada (100 bar) que proviene del tanque de almacenamiento del CO₂ y salida (250 bar) que es la presión necesaria para la extracción del aceite esencial en el tanque extractor, el valor de esta relación se interpola con la Ecuación V.32 (Fernández, 2000, p. 10)

(p_1/p_2)	$\eta_{vol} \%$	$\eta_i \%$	$\eta_{mec} \%$	$\eta_{eléc} \%$
2	88	90	85 a 93	85 a 90
4	83	82	85 a 93	85 a 90
6	78	74	85 a 93	85 a 90

Figura A.V.4. Valores aproximados de rendimientos
(Fernández, 2000, p. 10)

$$\frac{P_{250 \text{ bar}}}{P_{100 \text{ bar}}} = \frac{250 \text{ bar}}{100 \text{ bar}} = 2,5 \quad [\text{A.V.31}]$$

$$\eta = \eta_1 + \frac{\eta_2 - \eta_1}{\frac{P_x}{P_{y_2}} - \frac{P_x}{P_{y_1}}} \times \left(\frac{P_x}{P_y} - \frac{P_x}{P_{y_1}} \right) = 0,87 \quad [\text{A.V.32}]$$

$$\eta = 0,88 + \frac{0,83 - 0,88}{4,00 - 2,00} \times (2,50 - 2,00) = 0,87$$

Donde:

η : Eficiencia de bomba o compresor

$P_{x,y}$:: Presión del CO₂ [bar]

Para determinar el tiempo que se demora el proceso de extracción de aceite esencial se propone usar el modelo *broken and intact cells* (BIC), el cual interpreta que el aceite esencial se extrae cuando se rompe la pared celular de la matriz vegetal cuando pasa el CO₂ a las condiciones supercríticas por el extractor del equipo de fluidos supercríticos. Este modelo consta de 3 fases, de las cuales, la fase de extracción constante permite extraer la mayor cantidad de aceite esencial de la matriz vegetal de romero, mientras que para extraer el aceite esencial ligado a las células se considera a la fase decreciente del modelo BIC para lo cual se debe modificar las condiciones de operación del tanque extractor. Para el presente trabajo solo se utilizará el modelo BIC en la fase constante de extracción (Padilla, 2017, p. 96).

Para determinar el tiempo de extracción es indispensable conocer los parámetros

experimentales que se involucran en el proceso de extracción del aceite esencial de romero, estos parámetros experimentales se los obtiene de la Figura A.V.5.

	P = 14 MPa			P = 24 MPa	P = 34 MPa
<i>Run order</i>	1	2	3	4	5
$Q \times 10^4$ (kg·s ⁻¹)	2.5	5.0	7.5	5.0	5.0
ρ_{CO_2} * (kg·m ³)	763.2	763.2	763.2	872.5	930.2
Y^* (kg·kg ⁻¹)	0.0032	0.0032	0.0032	0.0038**	0.0049**
$k_{YA} \times 10^2$ (s ⁻¹)	0.420	0.570	0.940	0.97	1.50
$k_{XA} \times 10^3$ (s ⁻¹)	0.010	0.021	0.027	0.039	0.055
t_{CER} (min)	15.98	11.78	7.14	5.10	2.40
t_{FER} (min)	72.34	40.08	25.75	30.3	22.17
Y_{CER} (kg/kg)	0.0031	0.0028	0.0029	0.0036	0.0048
$M_{CER} \times 10^7$ (kg·s ⁻¹)	7.68	14.2	21.8	18.3	24.3
$AARD^{***}$ (%)	6.62	3.67	2.06	2.47	5.06

Figura A.V.5. Parámetros del modelo BIC
(Padilla, 2017, p. 15).

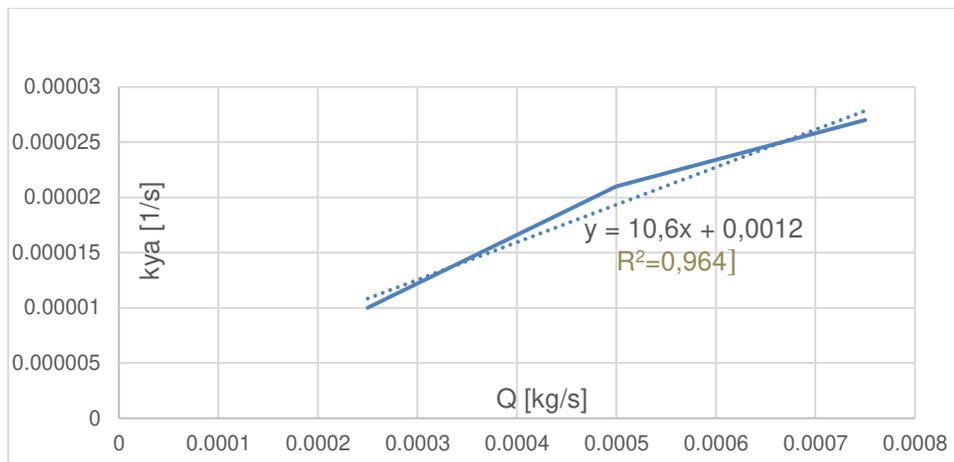
Para determinar las constantes de rendimiento k_{ya} y k_{xa} se realiza la linealización de la función flujo másico de CO₂ versus el coeficiente de rendimiento que se muestran en las Tablas A.V.2 y A.V.3 y las Figuras A.V.6 y A.V.7, al linealizar la función se obtienen las Ecuaciones A.V.33 y A.V.34, que permitirán determinar los coeficientes de rendimiento para cualquier caudal.

Tabla A.V.2. Valores para la linealización de la función k_{ya} vs Q

Kya [1/s]	Qm [kg/s]
0,0042	0,0003
0,0057	0,0005
0,0095	0,0008

Tabla A.V.3. Valores para la linealización de la función k_{xa} vs Q

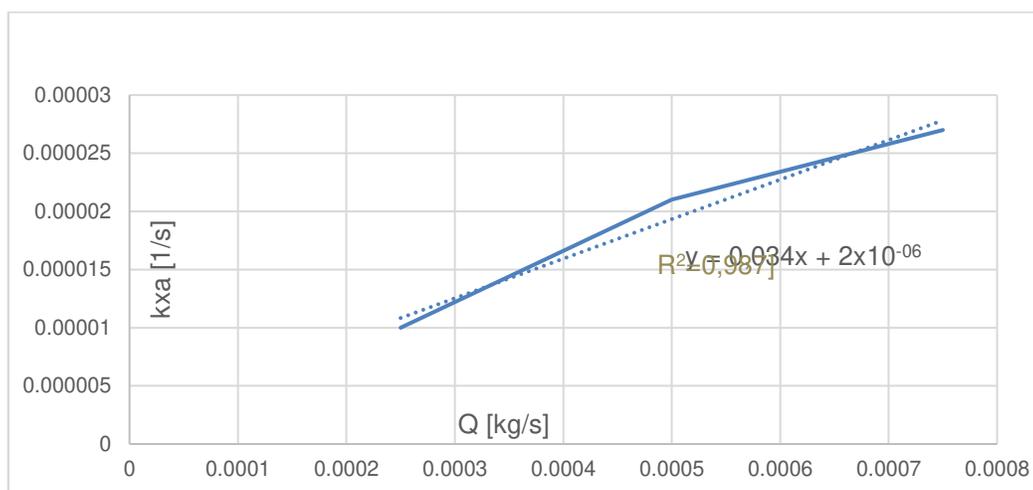
K_{xa} [1/s]	Q_m [kg/s]
0,00001	0,0003
0,00002	0,0005
0,00003	0,0008

**Figura A.V.6.** Linealización de coeficiente de rendimiento k_{ya}

$$k_{ya} = 10,60 \times Q + 0,0012$$

[A.V.33]

$$k_{YA} = 10,60 \times 0,642 + 0,0012 = 6,80$$

**Figura A.V.7.** Linealización de coeficiente de rendimiento k_{xa}

$$k_{XA} = 0,034 \times Q + 2 \times 10^{-06} \quad [\text{A.V.34}]$$

$$k_{XA} = 0,034 \times 0,642 + 2 \times 10^{-06} = 0,02183$$

Donde

k_{yxa} : Parámetros de rendimiento [s^{-1}]

Q_m : Flujo másico de CO_2 [kg/s]

Conocidos los coeficientes de rendimiento de extracción para el caudal usado, se determina el tiempo de extracción para la fase constante a partir de la Ecuación 3.30 (sección 3.6) y las Ecuaciones A.V.35 y A.V.36, donde se relaciona la masa de aceite esencial (msi), el coeficiente de rendimiento ($k_{ya,xa}$), la porosidad de la matriz vegetal (0,66) reportada por Carvalho et al. (2005), y la densidad del disolvente ($786,7 \text{ kg/m}^3$) obtenida en la Figura A.V.3 y la densidad de la matriz vegetal ($1\,046 \text{ kg/m}^3$) obtenida en el experimento de Carvalho et al. (2005).

Las constantes involucradas en estas ecuaciones son derivadas de la Figura A.V.5. La concentración de aceite esencial de la matriz vegetal (5 %) (sección 3.6).

$$msi = Q \times Y \times [1 - e^{-Z}] \times t \quad [\text{A.V.35}]$$

$$Z = \frac{msi \times k_{ya} \times \rho_{CO_2}}{Q \times (1 - \varepsilon) \times \rho_r} \quad [\text{A.V.36}]$$

$$msi = x_o \times Rm$$

$$msi = 0,05 \times 713,18 \text{ kg} = 35,66 \text{ kg}$$

$$Z = \frac{35,66 \text{ kg} \times \frac{6,80}{s} \times 786,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,642 \frac{\text{kg}}{s} \times (1 - 0,66) \times 1\,046 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 835,51$$

$$t = \frac{35,66 \text{ kg}}{\left(0,642 \frac{\text{kg}}{s} \times 0,0033 \frac{\text{kg}}{\text{kg } CO_2} \times [1 - e^{-835,51}]\right)} = 16\,831,87 \text{ s} = 280,34 \text{ min} \approx 4,6 \text{ h}$$

Donde:

- m_{si} : Masa de aceite esencial de la matriz vegetal [kg]
 Q : Caudal de CO₂ [kg/s]
 R_m : Masa de romero molido por lote (sección A.III.4) [kg]
 t_e : Tiempo de extracción [s]
 x_{ai} : Concentración de aceite esencial en los flujos
 Z : Factor adimensional modelo BIC
 Y : Tasa de recuperación de aceite esencial [kg/kg CO₂]
 ε : Porosidad
 ρ_{CO_2} : Densidad del CO₂ [kg/m³]
 ρ_r : Densidad de la matriz vegetal [kg/m³]

A.V.6.1 Selección de bomba para el transporte de etanol (cosolvente)

Los equipos de fluidos supercríticos cuentan con un sistema bombas que le permiten dosificar disolvente y el cosolvente al tanque extractor de aceite esencial, para la selección de la bomba de etanol del sistema de extracción se debe conocer la masa de etanol involucrada en la extracción del aceite esencial, la cual se obtiene del balance de masa. El flujo de etanol que pasará por la bomba se calcula a partir de la Ecuaciones A.V.37 y A.V.38.

$$\dot{E}t = \frac{Et}{t} = \frac{424,24 \text{ kg}}{4,6 \text{ h}} = 92,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad [\text{A.V.37}]$$

$$\dot{Q}_{etd} = \frac{\dot{E}t}{\rho_{et}} = \frac{92,23 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,117 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad [\text{A.V.38}]$$

Donde:

- E_t : Masa de etanol [kg]
 t_e : Tiempo de extracción [s]

Q_{et} : Caudal del etanol [m^3/h]

La determinación de la velocidad de entrada y de salida de la bomba se determina a partir del caudal y el área transversal de la tubería con la Ecuación A.V.39, para este caso se supondrá que las velocidades de la bomba serán constantes. La velocidad permite determinar el número de Reynolds a partir de la Ecuación 3.31 que indica el tipo de régimen que el flujo tiene al pasar por la tubería. Los parámetros de dimensión de tubería y el número de Reynolds permiten determinar las relaciones de las Ecuaciones A.V.40 y A.V.41 con ayuda de la Figura A.V.8.

$$v_{et2} = v_{et1} = \frac{\dot{Q}_{etd}}{A_d} = \frac{\left(0,117 \frac{m^3}{h}\right) \times \frac{1 h}{3600 s}}{\pi \times \left(\frac{0,015 m}{2}\right)^2} = 0,184 \frac{m}{s} \quad [A.V.39]$$

$$Re = \frac{v \times D \times \rho}{\mu} = \frac{0,184 \frac{m}{s} \times 0,015 m \times 789 \frac{kg}{m^3}}{0,001704 \frac{kg}{m \cdot s}} = 1277,96$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,06 \quad [A.V.40]$$

$$4f = 0,08 \quad [A.V.41]$$

Donde:

Ad: Área transversal de tubería [m^2]

D: Diámetro tubería [m]

f: Factor de fricción

Re: Número de Reynolds

v_{et} : Velocidad del flujo de etanol [m/s]

ε : Rugosidad de tubería [m]

μ : Viscosidad [cP]

La Ecuación A.V.40 determina la rugosidad de la tubería al relacionar el diámetro de

la tubería con la rugosidad del material de la tubería del equipo de extracción.

En la Figura A.V.8 la imagen (a.) muestra a la curva 6 que hace referencia al acero y la imagen (b.) determina el factor de fricción de la Ecuación A.V.41 al relacionar la rugosidad y el número de Reynolds.

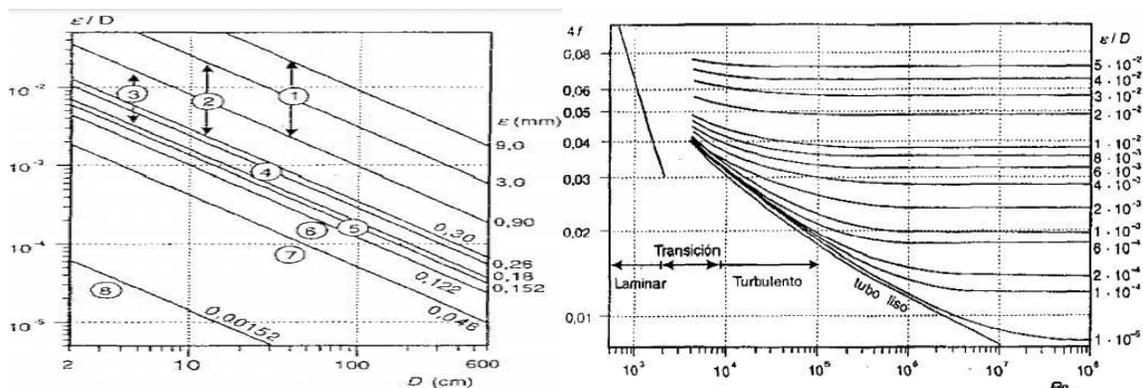


Figura A.V.8. Gráfica para la determinación de factor de fricción a partir de: a. gráfica de la rugosidad y b. diagrama de Moody
(Aguado et al., 1999, pp. 97-98)

Para seleccionar la bomba es necesario conocer el trabajo que se realiza al impulsar el etanol al tanque de extracción, la Ecuación 3.32 permite obtener el trabajo realizado por la bomba al considerar la variación energía cinética, potencial, entalpía y pérdidas de fricción.

Las pérdidas de fricción se determinarán a partir de la Ecuación 3.33, asumiendo que la tubería tendrá 2 m de largo y codos de 90 ° para poder llevar el etanol al tanque de extracción, lo que permite obtener la longitud equivalente para estos accesorios (Aguado, 1999, p. 101).

$$\frac{v_{et2}^2}{2} - \frac{v_{et1}^2}{2} + g \times (z_2 - z_1) + \frac{1}{\rho_{et}} \times (P_2 - P_1) + \sum F = W$$

$$\sum F = \frac{2 \times f \times v_{et}^2 \times (L + \sum L_{eq})}{D}$$

$$\sum F = \frac{0,04 \times 0,184^2 \frac{m^2}{s^2} \times (2,78 \text{ m})}{0,015 \text{ m}} = 0,25$$

$$W = 9,8 \frac{m}{s^2} \times (0,65 \text{ m}) + \frac{1}{789 \frac{kg}{m^3}} \times \left(2,50 \times 10^{07} \frac{N}{m^2} - 1,22 \times 10^{05} \frac{N}{m^2} \right) + 0,25 \frac{J}{kg}$$

$$W = 31\,537,67 \frac{J}{kg}$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad [m/s]

L: Longitud de desplazamiento [m]

P_i: Presión succión y descarga [N/m²]

W: Trabajo de la bomba que transporta etanol [J/kg]

z: Nivel de tuberías [m]

$\sum F$: Perdidas por fricción [J/kg]

$\sum L_{eq}$: Longitud equivalente [m]

ρ_{et} : Densidad del etanol [kg/m³]

Por último, para seleccionar la bomba se determina la potencia necesaria para el transporte del fluido a partir de la Ecuación A.V.42, la potencia permitirá seleccionar la mejor bomba del mercado que se ajuste a las necesidades de la planta

$$P = W \times \dot{E}t \quad [A.V.42]$$

$$P = 31\,537,67 \frac{J}{kg} \times 92,23 \frac{kg}{h} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 807,97 \text{ W} = 1,08 \text{ HP}$$

Donde:

Et: Masa de etanol [kg]

P: Potencia [Hp]

A.V.6.2 Diseño de tanque de extracción

Para el diseño del tanque de extracción se usará la relación altura diámetro del extractor usado a escala piloto, esta relación es de 1,4 como se observa en la Ecuación A.V.43 (Padilla, 2017, pp. 16; Carvalho et al., 2005, pp. 200-205). Para determinar las dimensiones del extractor es importante conocer el volumen que ocupará la matriz vegetal y el etanol se calcula a partir de la Ecuación A.V.44 El volumen que ocupa la matriz vegetal y etanol se supondrá como un cuerpo cilíndrico cuyo volumen se calculará en función de la altura y diámetro del cilindro como se observa en la Ecuación A.V.45, por lo cual, el volumen del tanque de acuerdo a los criterios de diseño de la norma A.P.I 620 tendrá un volumen 20 % mayor al volumen que ocupará la matriz vegetal como se observa en la Ecuación A.V.46 (American Petroleum Institute, 2002)

$$\frac{H}{D} = 1,4 \quad [\text{A.V.43}]$$

$$V_{et} + V_r = \frac{Et + Rs}{y_6 \times \rho_{et} + (1 - y_6) \times \rho_r} \quad [\text{A.V.44}]$$

$$V_{et} + V_r = \frac{424,24 \text{ kg} + 713,18 \text{ kg}}{\frac{424,24 \text{ kg}}{424,24 \text{ kg} + 713,18 \text{ kg}} \times 789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \left(1 - \frac{424,24 \text{ kg}}{424,24 \text{ kg} + 713,18 \text{ kg}}\right) \times 1046 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{et} + V_r = 1,197 \text{ m}^3$$

$$V_{et} + V_r = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H \quad [\text{A.V.45}]$$

$$V_d = 1,2 \times (V_{et} + V_r) \quad [\text{A.V.46}]$$

$$V_d = 1,2 \times 1,197 \text{ m}^3 = 1,436 \text{ m}^3$$

$$1,436 \text{ m}^3 = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times 1,4 \times D$$

$$D^3 = 1,306 \text{ m}$$

$$D = 1,093 \text{ m}$$

$$H = 1,4 \times D = 1,4 \times 1,093 = 1,53 \text{ m}$$

Donde:

D: Diámetro del tanque de extracción [m]

- Et: Masa de etanol [kg]
 H: Altura del tanque de extracción [m]
 Rs : Masa de romero seco[kg]
 V_{et} : Volumen de etanol [m³]
 V_d : Volumen de diseño del tanque de etanol [m³]
 V_r : Volumen de la matriz vegetal [m³]
 y: Concentración de etanol
 ρ_{et} : Densidad del etanol [kg/m³]
 ρ_r : Densidad de la matriz vegetal [kg/m³]

El modelo *broken and intact cells* (BIC) que reporta Padilla (2017) indica que la matriz vegetal se comporta como un lecho fijo como se observa en la Figura A.V.9 (pp. 29-57), por lo cual es necesario conocer la altura que ocupa la matriz vegetal en el tanque de extracción a partir de la Ecuación A.V.47, para el presente caso se conoce la porosidad (0,66) y la densidad (1 046 kg/m³) obtenidas en el experimento de Carvalho et al. (2005), este dato permitirá determinar la caída de presión del equipo (Aguado et al., 1999, pp.260- 271).

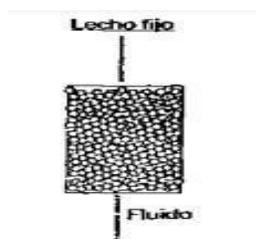


Figura A.V.9. Esquema lecho fijo
 (Aguado et al., 1999, p. 271)

$$H_r = \frac{Rm}{\rho_r \times A} = \frac{Rm}{\rho_r \times \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2} \quad [\text{A.V.47}]$$

$$H_r = \frac{713,18 \text{ kg}}{1\,046 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \pi \times \left(\frac{1,09 \text{ m}}{2}\right)^2} = 0,73 \text{ m}$$

La caída de presión que existe en el lecho empacado se calcula a partir de la Ecuación

A.V.48, la presión del CO₂ disminuye al pasar por la matriz vegetal, por lo cual se debe determinar la presión final del CO₂ a partir de la Ecuación A.V.49, la presión final se supondrá como la presión de operación del tanque de extracción que permitirá calcular la presión de diseño a partir de la Ecuación A.V.50.

$$\Delta P = H_r \times (1 - \varepsilon) \times (\rho_r - \rho_{CO_2}) \times g \quad [A.V.48]$$

$$\Delta P = 0,73 \text{ m} \times (1 - 0,66) \times (1\ 046,0 - 786,7) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 622,75 \text{ Pa} = 0,006 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_1 - \Delta P = 250,00 - 0,006 \approx 250 \text{ bar} \quad [A.V.49]$$

Donde:

- A: Área transversal del tanque [m²]
- g: Aceleración de la gravedad [m/s]
- H_r: Altura del lecho fijo [m³]
- R_m: Masa de la matriz vegetal [kg]
- ρ_{CO₂}: Densidad del CO₂ [kg/m³]
- ε: Porosidad de la matriz vegetal
- ΔP: Caída de presión [PSI]

La caída de presión calculada es cercana a 0 por lo cual no genera un efecto significativo en la presión final del CO₂ supercrítico. Conocida la presión final del equipo se calcula la presión de diseño la cual de acuerdo a la norma PDVSA 1995 “Manual de proceso de diseño”, los recipientes sometidos a presiones superiores a 1 160 PSI la presión de diseño se calculará como el 5 % adicional de la presión de operación máxima (p. 21).

$$P_{d2} = 1,05 \times P_{op} \quad [A.V.50]$$

$$P_{d2} = 1,05 \times 250 \text{ bar} \times \frac{14,5 \text{ PSI}}{1 \text{ bar}} = 3\ 807,25 \text{ PSI} = 262,5 \text{ bar}$$

El tanque es sometido a altas presiones, la temperatura de diseño es calculada a partir

de la Ecuación A.V.51. La temperatura de diseño se obtiene de acuerdo a la norma PDVSA (1995) “Manual de proceso de diseño” que indica que los equipos cuya temperatura de funcionamiento sea mayor a la ambiental, la temperatura de diseño se definirá al sumarle 28 °C a la temperatura de operación máxima siempre que la temperatura de operación no supere los 400 °C (p. 7).

$$T_{d2} = T_{op} + 28 \text{ } ^\circ\text{C} \quad [\text{A.V.51}]$$

$$T_{d2} = 60 + 28 = 88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

Pd: Presión de diseño [PSI]

Pop: Presión de operación [PSI]

Td: Temperatura de diseño [°C]

Top: Temperatura de operación [°C]

El tiempo de residencia del CO₂ se calcula con la Ecuación A.V.52, el gas dentro del extractor pasará varias veces hasta terminar la extracción, el tiempo de residencia determinará el balance de masa real de recirculación del CO₂ y sus pérdidas (Padilla, 2017, p. 18)

$$t_{res} = \frac{\pi \times D^2 \times H \times \varepsilon \times \rho_{CO_2}}{4 \times Q} \quad [\text{A.V.52}]$$

$$t_{res} = \frac{\pi \times (1,09)^2 \text{ m}^2 \times 1,53 \text{ m} \times 0,66 \times 786,71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{4 \times 0,616 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \approx 1\,203,41 \text{ s}$$

$$N_{ciclos} = \frac{t_e}{t_{res}} = \frac{4,6 \frac{\text{h}}{\text{batch}}}{20,06 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 13,76 \approx 14 \frac{\text{ciclo}}{\text{batch}}$$

Donde:

- H: Altura del tanque de extracción [m]
 N: Número de ciclos del CO₂ en la extracción
 Q: Caudal de CO₂ [m³/s]
 te: Tiempo de extracción [s]
 tres: Tiempo de residencia [s]

A.V.6.3 Selección de compresor de CO₂ en el separador

El CO₂ supercrítico extraerá la mayor cantidad de aceite esencial de la matriz vegetal en cada ciclo transportando el aceite esencial al tanque separador. En el tanque de separación el CO₂ se expande hasta alcanzar una presión de 100 bar y 30 °C, lo cual permite liberar al aceite esencial en el tanque separador, por último, el CO₂ es ventilado y enfriado para ser recirculado al tanque de almacenamiento de CO₂. Las Ecuaciones A.V.27 a A.V.29 permiten determinar el trabajo del compresor.

La energía cinética del compresor se calcula a partir de la Ecuación 3.28, la velocidad del flujo de CO₂ que contiene atrapado al aceite esencial extraído se calcula a partir de la Ecuación 3.29, para lo cual, se determina la densidad del CO₂ a partir de la Ecuación A.V.53, el balance de masa permite obtener las concentraciones involucradas en esta ecuación. Las densidades del CO₂ de estos procesos se obtienen de la calculadora Megawatsoft (2020). La eficiencia de este compresor es 87 % de acuerdo a los datos de la Figura A.V.4 y las Ecuaciones A.V.31 y A.V.32

$$\Delta h = 3,25 \frac{kJ}{kg K} \times (303 K - 273 K) - 2,17 \frac{kJ}{kg K} \times (333 K - 273 K) = -32,70 \frac{kJ}{kg}$$

$$\rho = x_{CO_2} \times \rho_{CO_2} + x_{ac} \times \rho_{ac} \quad [A.V.53]$$

$$\rho_{CO_2, 250 \text{ bar } 60^\circ C} = 0,99987 \times 786,81 \frac{kg}{m^3} + 0,0001283 \times 860 \frac{kg}{m^3} = 786,82 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{CO_2, 100 \text{ bar } 30^\circ C} = 0,99987 \times 771,88 \frac{kg}{m^3} + 0,0001283 \times 860 \frac{kg}{m^3} = 771,89 \frac{kg}{m^3}$$

$$v_1 = \frac{0,616 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{s}} + \frac{34,33 \text{ kg ac}}{4,6 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{786,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 \text{ m}}{2}\right)^2} = 4,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{0,616 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{s}} + \frac{35,67 \text{ kg e}}{4,6 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{771,89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 \text{ m}}{2}\right)^2} = 4,53 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta Ec = \frac{(4,53 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (4,45 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 0,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_a = -32,70 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 0,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -32,34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Donde:

v : Velocidad del flujo [m/s]

x_{ac} : Concentración del aceite esencial

x_{CO_2} : Concentración del CO_2

W : Trabajo del compresor en el separador [kJ/kg]

ρ_{ac} : Densidad del aceite esencial [kg/m³]

ρ_{CO_2} : Densidad del CO_2 (Tabla A.V.4) [kg/m³]

ΔEc : Variación de energía cinética en el separador [kJ/kg]

Δh : Variación de entalpía en el separador [kJ/kg]

A.V.6.4 Diseño del tanque de separación

De acuerdo a la norma ASME VIII la relación de altura diámetro de la Ecuación A.V.54 puede estar entre 2:1 a 5:1 (Walas, 1998, pp. 611-612). Para diseñar el tanque de separación se supondrá que la relación H/D es igual a 2, dado el bajo volumen que se extrae de aceite esencial calculado con la Ecuación A.V.55.

El volumen del recipiente no es el mismo que el del aceite esencial, dado que de

acuerdo a la norma API 620 se debe dejar el 20 % de espacio libre del tanque (American Petroleum Institute, 2002), este volumen se determina a partir del volumen que ocupa el líquido, el volumen de diseño del tanque separador se calcula a partir de la Ecuación A.V.56. Una vez determinado el volumen de diseño del tanque se calcula su diámetro y la altura a partir de la Ecuación A.V.57 que asume al tanque como un cuerpo cilíndrico.

$$\frac{H}{D} = 2 \quad [\text{A.V.54}]$$

$$V = \frac{Ace + Ete}{x_{ac} \times \rho_{ac} + x_{et} \times \rho_{et}} = \frac{35,66 \text{ kg}}{0,963 \times 0,860 \frac{\text{kg}}{\text{L}} + 0,036 \times 0,789 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 41,57 \text{ L} \quad [\text{A.V.55}]$$

$$V_d = 1,2 \times V = 49,88 \text{ L} \quad [\text{A.V.56}]$$

$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H \quad [\text{A.V.57}]$$

$$H = 2 \times D$$

$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times 2 \times D$$

$$D = \sqrt[3]{0,05 \text{ m}^3 \times \frac{2}{\pi}} \approx 0,32 \text{ m}$$

$$H = 2 \times 0,32 = 0,64 \text{ m}$$

Por último, ya conocido las dimensiones del tanque separador, se calcula la temperatura de diseño y presión de diseño de acuerdo a la norma "PDVSA (1995) *Manual de proceso de diseño*" a partir de las Ecuaciones A.V.50 y A.V.51, para lo cual, se tiene en cuenta que la presión y temperatura de operación del tanque de separación es 100 bar y 30 °C respectivamente.

$$T_d = 30 \text{ }^\circ\text{C} + 28 \text{ }^\circ\text{C} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_d = 1,05 \times 100 \text{ bar} = 105 \text{ bar}$$

Donde:

- Ace: Masa de aceite esencial en el extracto [kg]
 D: Diámetro del tanque separador [m]
 Ete: Masa de etanol en el extracto [kg]
 H: Altura del tanque del tanque separador [m]
 P_d: Presión de diseño [PSI]
 T_d: Temperatura de diseño [°C]
 V: Volumen de ocupado [m³]
 V_d: Volumen de diseño del tanque [m³]
 x_{ac}: Concentración del aceite esencial
 x_{et}: Concentración de etanol
 ρ_{ac}: Densidad del aceite esencial [kg/m³]
 ρ_{et}: Densidad del etanol [kg/m³]

A.V.6.4 Selección de una turbomáquina de CO₂

Las turbomáquinas tienen el mismo principio de funcionamiento que los compresores del sistema, pero se diferencian porque solo permiten controlar la temperatura del fluido supercrítico para que pueda recircularse al tanque de almacenamiento. El calor específico y densidad del CO₂ a las diferentes condiciones de presión y temperatura se detallan en la Tabla A.V.4

Tabla A.V.4. Propiedades físicas del CO₂ a 100 bar

P [bar]	T [°C]	C_p [kJ/kg K]	ρ [kg/m³]
100	60	3,04	289,86
100	30	3,24	771,88
100	20	2,61	856,09

(Megawatsoft, 2020)

La Ecuación 3.28 muestra el balance energético que permite determinar el trabajo a partir de la variación de energía cinética, potencial, entalpía y calor. La variación de

entalpía se calcula a partir de las Ecuaciones A.V.58 y A.V.29 donde el calor específico del CO₂ se multiplica por su variación de temperatura, por último, la diferencia entre las entalpías se multiplica por la eficiencia que presentan las turbomáquinas 85 % (Walas, 1998, pp. 63-66).

Las Ecuaciones 3.29 y A.V.30 determinan la velocidad de flujo de CO₂ gaseoso y la energía cinética involucrada en la disminución de la temperatura del CO₂ en la turbomáquina para su posterior almacenamiento en el tanque que almacena CO₂, el trabajo de la turbomáquina se determina suponiendo que la pérdida de calor y la energía potencial son despreciables. El balance de masa determino que la masa recirculada de CO₂ por cada lote es 8 146,51 kg

$$\Delta h = \kappa \times (h_{100 \text{ bar } 20^\circ\text{C}} - h_{100 \text{ bar } 30^\circ\text{C}}) \quad [\text{A.V.58}]$$

$$\Delta h = \left(2,61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (293 \text{ K} - 273 \text{ K}) - 3,24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (303 \text{ K} - 273 \text{ K}) \right) \times 0,85$$

$$\Delta h = -38,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = \frac{8\,146,51 \frac{\text{kg}}{4,6 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}}}{771,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 \text{ m}}{2}\right)^2} = 3,61 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{8\,146,51 \frac{\text{kg}}{4,6 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}}}{856,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \pi \times \left(\frac{0,015 \text{ m}}{2}\right)^2} = 3,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta Ec = \frac{(3,61 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 - (3,25 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 1,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_a = -184,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -183,21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Donde:

v: Velocidad del flujo [m/s]

- W: Trabajo de la turbomáquina [kJ/kg]
 ρ_{CO_2} : Densidad del CO₂ [kg/m³]
 ΔEc : Variación de energía cinética de la turbomáquina [kJ/kg]
 Δh : Variación de entalpía de la turbomáquina [kJ/kg]
 \aleph : Eficiencia del compresor

A.V.6.5 Criterios de diseño de tanque industrial comercial de almacenamiento de CO₂

De acuerdo con el balance de masa, se calculó que el total de CO₂ necesario para cada lote de romero molido es de 186,69 kg de CO₂, este valor se obtiene al sumar la cantidad recirculada y las pérdidas de CO₂. Se estima que la densidad del CO₂ en el tanque de almacenamiento es 856,09 kg/m³ de acuerdo a la Tabla A.V.4, lo que determina que un tanque de 1 000 L puede almacenar 856,1 kg de CO₂ de acuerdo con la Ecuación A.V.59. De acuerdo al balance de masa se estima que en cada lote de extracción se pierda 148,34 kg de CO₂ al recircularse para el almacenamiento según los cálculos de la sección A.III.6.3 La Ecuación A.V.60 permite determinar que la masa almacenada en el tanque puede durar hasta el lote número 5,

El tanque de almacenamiento de CO₂ es un tanque de alta presión, al igual que el tanque separador, la relación diámetro altura se supondrá 2 de acuerdo a la Ecuación A.V.54, dado que es un tanque de almacenamiento estándar de alta presión su posición será horizontal dado que pueden soportar entre 15 a 1000 PSI (Cadena y Larrea, 2012, p. 10), los tanques horizontales se utilizan cuando el volumen de almacenamiento es bajo debido a que presentan fallas por corte y flexión, estos tanques al estar en posición horizontal existe una mayor tasa de depósito del gas (Walas, 1990, pp. 611-612). Las Ecuaciones A.V.57, A.V.50 y A.V.51 permiten determinar las dimensiones y parámetros de diseño del tanque de almacenamiento de CO₂. El CO₂ al estar en estado gaseoso ocupará todo el volumen del tanque de almacenamiento, por lo cual, no se puede multiplicar el factor de 1,2 al volumen que ocupa el gas. El tanque almacenará el gas

a 20 °C, la cual es menor que la temperatura ambiental, por lo cual de acuerdo a la norma PDVSA (1995) “Manual de procesos de diseño” su temperatura de diseño será la máxima ambiental” La temperatura de diseño es la temperatura ambiental máxima.

$$m = V \times \rho_{CO_2} = 856,08 \frac{kg}{m^3} \times 1 m^3 = 856,08 kg \quad [A.V.59]$$

$$N = \frac{m}{P} = \frac{856,08 kg}{148,34 \frac{kg}{lote}} = 4,53 \approx 5 lotes \quad [A.V.60]$$

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

$$4 \times 1 m^3 = \pi \times D^2 \times D$$

$$D = 1,08 m$$

$$L = 2 \times D$$

$$L = 2,16 m$$

$$T_d = T_{amb. max.} = 30 \text{ } ^\circ C$$

$$P_d = 1,05 \times P_{op}$$

$$P_d = 1,05 \times 100 bar = 105 bar$$

Donde:

D: Diámetro del tanque de almacenamiento CO₂ [m]

L: Largo del tanque del tanque de almacenamiento CO₂ [m]

m: Masa almacenada en el tanque de almacenamiento de CO₂ [kg]

N: Número de lotes que durará el tanque de CO₂

P: Pérdidas de CO₂ en cada lote de extracción [kg]

P_d: Presión de diseño [bar]

P_{op}: Presión de operación [bar]

T_d: Temperatura de diseño [°C]

T_{amb}: Temperatura ambiental máxima [°C]

V: Volumen comercial del tanque de almacenamiento de CO₂ [m³]

A.V.6.6 Criterios de diseño de un tanque de etanol para el proceso de extracción

El sistema de extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos cuenta con tanques de almacenamiento para el cosolvente etanol, para lo cual por cada lote es necesario 424,24 kg de etanol. El volumen que ocupa la masa de etanol se calcula a partir de la Ecuación A.V.61, este volumen permite diseñar un tanque de almacenamiento estándar para 5 días de producción calculado a partir de la Ecuación A.V.62

Se estima que el volumen necesario para almacenar etanol para 5 días de producción es 710,22 gal, pero de acuerdo a Walas (1990) los tanques de almacenamiento para bajos volúmenes de líquidos se diseñan de forma horizontal tienen una relación entre el largo y el diámetro de 3 de acuerdo con la Figura 3.1 que muestra los criterios de diseño del tanque de almacenamiento (p. 612).

$$Et = 424,24 \text{ kg}$$

$$V_{et} = \frac{Et}{\rho_{et}} \quad [A.V.61]$$

$$V_{et} = \frac{424,24 \text{ kg}}{789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Los criterios de diseño del tanque de almacenamiento de cosolvente etanol de la Ecuación A.V.62 permite determinar las dimensiones del tanque a partir del volumen de diseño calculado con la Ecuación A.V.63. Para el diseño de los tanques de almacenamiento de líquidos el techo será fijo y su fondo plano, por lo cual el volumen de diseño se calculará como el volumen de un cilindro.

$$\frac{L}{D} = 3 \quad [A.V.62]$$

$$V_{et} = 0,54 \frac{m^3}{día} \times 5 \text{ días} \approx 2,69 m^3 \approx 710,22 \text{ gal}$$

$$V_d = 1,20 \times V_{et}$$

[A.V.63]

$$V_d = 1,20 \times 2,69 m^3 = 3,23 m^3$$

$$V_d = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times L$$

$$V_d = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times 3 \times D$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{3,23 \times 4}{\pi \times 3}} m^3 = 1,11 m$$

$$H = 3 \times D = 3 \times 1,11 m = 3,33 m$$

Donde:

D: Diámetro del tanque [m]

Et: Masa de etanol [kg]

L: Longitud del tanque [m]

Vet: Volumen de etanol del tanque [m³]

Vd: Volumen de diseño [m³] [A.V.61] [A.V.62] [A.V.63]

ρ_{et} : Densidad de etanol [kg/m³]

La presión hidrostática que generará el etanol es calculada a partir de la Ecuación A.V.8. El cálculo de la presión hidrostática del etanol se determina con la altura que ocupa el volumen de etanol en el tanque. La Figura A.V.1 permite establecer las relaciones geométricas de las Ecuaciones A.V.1 a la A.V.6 de la sección A.V.2 necesarias para determinar la altura del segmento de la circunferencia libre de líquido, por lo cual es importante conocer el volumen libre del tanque que se calcula con la Ecuación A.V.64 y permitirá determinar si este tanque de almacenamiento cumple con el 20 % de espacio libre que especifica la norma API 620. El nivel de líquido se determina al restar la altura del volumen libre para el diámetro del tanque como se observa en la Ecuación A.V.65. Para la determinación de la presión de diseño de los

tanques de almacenamiento la norma PDVSA (1995) “Manual de diseño de proceso” recomienda que para los recipientes no llenos de líquido cuya presión de operación sea menor a 15 PSI, la presión de diseño del recipiente se considera la presión mínima de diseño 16 PSI, mientras que para definir la temperatura de diseño para tanques de almacenamiento se recomienda que la temperatura de diseño sea la temperatura máxima de operación o temperatura máxima del ambiente (pp. 9-21). Las presiones hidrostáticas y de operación máxima se determina a partir de las Ecuaciones A.V.8 (sección A.V.2) y A.V.66.

$$V_{libre} = V_d - V_{et} \quad [A.V.64]$$

$$V_L = 3,23 \text{ m}^3 - 2,69 \text{ m}^3 = 0,54 \text{ m}^3$$

$$A_o = \frac{r_1^2}{2} \times \phi$$

$$b^2 = r^2 - (r - h)^2$$

$$b = \sqrt{2rh - h^2}$$

$$A_\Delta = b \times (r - h)$$

$$A_L = A_o - A_\Delta$$

$$V_L = L \times A_L$$

$$\phi = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{b}{r} \right)$$

$$V_L = L \times \left(r^2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r} \right) - (r - h) \times \sqrt{2rh - h^2} \right)$$

$$h_L = 0,25 \text{ m}$$

$$\phi = 56,52^\circ$$

$$A_o = 0,95 \text{ m}^2$$

$$H_{et} = D_{tanque} - h_{Libre} \quad [A.V.65]$$

$$H_{et} = 1,11 \text{ m} - 0,25 \text{ m} = 0,86 \text{ m}$$

$$Ph = \rho_{et} \times g \times H_{et}$$

$$Ph = 789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,86 \text{ m} = 6\,649,69 \text{ Pa} = 0,96 \text{ PSI}$$

$$Patm_{500 \text{ m.s.n.m}} = 0,94 \text{ atm} = 13,84 \text{ PSI}$$

$$P_{op} = P_{atm} + P_{het}$$

$$P_{op} = 13,84 \text{ PSI} + 0,96 \text{ PSI} = 14,08 \text{ PSI}$$

$$P_d = 16 \text{ PSI}$$

$$T_d = T_{amb \text{ max}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde:

Ao: Área del segmento circular [m²]

AL: Área libre de líquido del segmento circular [m²]

AΔ: Área del triángulo rectángulo en el segmento circular [m]

b: Base del triángulo rectángulo en el segmento circular [m]

D: Diámetro del tanque [m]

Het: Altura del líquido [m]

hL: Altura del segmento libre de líquido [m]

Ph: Presión hidrostática [PSI]

Pop: Presión operación máxima [PSI]

Pr: Presión de la masa de romero [PSI]

r: Radio del cilindro [m]

Patm: Presión atmosférica [PSI]

Pd: Presión de diseño [PSI] Td: Temperatura de diseño [°C]

Tamb: Temperatura ambiental [°C] [A.V.65] [A.V.66]

VL: Volumen libre del tanque [m³]

A.V.6.7 Selección de bomba diafragma para aceite esencial

Dado el bajo volumen de aceite esencial que produce el separador del equipo de fluidos supercríticos, la bomba más adecuada para transportar al aceite esencial es una bomba de diafragma. Según Geankopolis (1998) estas bombas permiten transportar bajos volúmenes y la velocidad del flujo permanece constante (pp.150-154).

El tanque separador está a una altura con respecto al piso de 0,3 m y el punto de descarga de aceite esencial está a 0,5 m del suelo; la diferencia de alturas permitirá calcular el trabajo teórico y real que la bomba realizará a partir de las Ecuaciones A.V.67 a A.V.69. La viscosidad de aceites esenciales de extractos vegetales oscila entre 2 y 3 cP y este factor es importante para la selección de la bomba (Salazar y Mayanquer, 2009, pp. 103-105). Las bombas de diafragma tienen una eficiencia (95 %) de acuerdo con el fabricante, la eficiencia determina el trabajo real de la bomba que determinará la potencia de la misma con la Ecuación A.V.70

$$\Delta H = H_d - H_s \quad [\text{A.V.66}]$$

$$Ac = \frac{35,66 \text{ kg}}{4,6 \text{ h}} = 7,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\Delta H = z_2 - z_1 \quad [\text{A.V.67}]$$

$$\Delta H = 0,5 - 0,3 = 0,2 \text{ m}$$

$$W_s = H \times g \quad [\text{A.V.68}]$$

$$W_p = \frac{W_s}{Ef} \quad [\text{A.V.69}]$$

$$\dot{P} = W_s \times \frac{Ac}{Ef} \quad [\text{A.V.70}]$$

$$W_s = 0,2 \text{ m} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,96 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$W_p = \frac{1,96 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{0,95} = 2,06 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\dot{P} = 1,96 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \times \frac{7,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0,95} = 4,44 \times 10^{-03} \text{ W}$$

Donde:

Ac: Flujo de aceite esencial [kg/h]

Ef: Eficiencia de la bomba

g: Gravedad [m/s²]

- H_d : Altura de descarga [m]
 H_s : Altura de succión [m]
 W_s : Trabajo teórico de la bomba [kJ/kg]
 W_p : Trabajo axial de la bomba [kJ/kg]
 P : Potencia de la bomba [W]
 ΔH : Altura de trabajo [m]

A.V.7 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN TANQUE DE MEZCLADO CON AGITACIÓN

A.V.7.1 Diseño tanque de mezclado

En el proceso de mezclado se procesará 2,09 m³/h de colutorio dental de romero, el cual será envasado en botellas de 250 mL. El volumen de diseño del tanque de mezclado se determinará a partir del caudal procesado con la Ecuación A.V.73. El tiempo que se designará al proceso de mezclado es de 3,4 h; valor que se obtiene al restar el tiempo que demora la extracción del aceite esencial (4,6 h) para la jornada laboral (8,0 h).

El volumen de diseño que se estima para procesar 2,097 m³/h se calcula al sumar volumen del domo elipsoidal y el volumen del cuerpo cilíndrico del tanque como se muestra en la Ecuación A.V.74. En el diseño de un tanque de mezclado es indispensable que su parte inferior tenga forma de domo elipsoidal para evitar la formación de vórtices. El volumen del domo y su cuerpo cilíndrico se calculan a partir de las Ecuaciones A.V.75 y A.V.76 (Aguado, 2002, p. 49; Walas, 1990, pp. 287-288). Las relaciones que existen entre la altura del domo y la altura del tanque se muestran en las Ecuaciones A.V.77 y A.V.78 (Walas, 1990, p. 258)

$$Q_D = \frac{D}{\rho_c}$$

[A.V.71]

$$Q_D = \frac{150,64 \frac{t}{mes} \times \frac{1\,000\,kg}{1\,t} \times \frac{1\,mes}{22\,días} \times \frac{1\,día}{3,4\,h}}{960 \frac{kg}{m^3}} = 2,097 \frac{m^3}{h}$$

$$N_l = \frac{6\,847,73 \frac{kg}{día}}{2\,014,03 \frac{kg}{h}} \approx 4\,lotes$$

Donde:

D : Flujo másico colutorio dental [kg/día]

Q_D : Caudal del colutorio dental [m³/h]

ρ_c : Densidad del colutorio [kg/m³]

El volumen de diseño se determinará al asumir que el volumen que se procesará en cada lotees 2,09 m³ de colutorio dental, dado que se mezclará y se envasará este lote durante 1 h.

$$V_d = 1,2 \times Q_D = 1,2 \times 2,097 \frac{m^3}{h} \times \frac{1\,h}{1\,lote} = 2,52\,m^3 \quad [A.V.72]$$

$$V_d = V_D + V_C \quad [A.V.73]$$

$$V_D = \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24} \quad [A.V.74]$$

$$V_C = \frac{\pi}{4} \times D_{TM}^2 \times (H - H_D) \quad [A.V.75]$$

$$V_d = \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24} + \frac{\pi}{4} \times (D_{TM})^2 \times (H - H_D) \quad [A.V.76]$$

$$H_D = \frac{D_{TM}}{4} \quad [A.V.77]$$

$$D_{TM} = H \quad [A.V.78]$$

Donde

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

H : Altura del tanque [m]

H_D : Altura del domo [m]

V_D : Volumen del domo elipsoidal [m³]

V_C : Volumen del cilindro [m³]

V_d : Volumen de diseño [m³]

$$V_d = \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24} + \frac{\pi}{4} \times D_{TM}^2 \times (D_{TM} - \frac{D_{TM}}{4})$$

$$V_d = \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24} + \frac{3\pi}{16} \times D_{TM}^3 = \frac{11\pi}{48} \times D_{TM}^3$$

$$D_{TM} = \sqrt[3]{\frac{48 \times 2,52 \text{ m}^3}{11\pi}} = 1,52 \text{ m}$$

$$D_{TM} = H = 1,52 \text{ m}$$

$$H_D = \frac{1,52 \text{ m}}{4} = 0,38 \text{ m}$$

$$V_D = \pi \times \frac{1,52^3 \text{ m}^3}{24} = 0,47 \text{ m}^3$$

$$V_C = \frac{3\pi}{16} \times 1,52^3 \text{ m}^3 = 2,05 \text{ m}^3$$

Una vez determinada las dimensiones del tanque de mezclado se calcula la presión hidrostática del fluido en el tanque partir de la altura que ocupará el líquido que se calculó con las Ecuaciones A.V.8 y A.V.79, la determinación de la presión de operación máxima se determina al sumar la presión atmosférica y la presión hidrostática del tanque calculadas a partir de la Ecuación A.V.65.

$$V_l = \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24} + \frac{\pi}{4} \times D_{TM}^2 \times (H_l - H_D) \quad [\text{A.V.79}]$$

$$H_l = \frac{V_l - \pi \times \frac{D_{TM}^3}{24}}{\frac{\pi}{4} \times D_{TM}^2} + H_D$$

$$H_l = \frac{2,097 \text{ m}^3 - \pi \times \frac{1,52^3}{24} \text{ m}^3}{\frac{\pi}{4} \times 1,52^2 \text{ m}^2} + 0,38 \text{ m} = 1,30 \text{ m}$$

$$P_{op} = P_{hid} + P_{atm}$$

$$P_{op} = 960 \frac{kg}{m^3} \times 9,80 \frac{m}{s^2} \times 1,30 m + 95\,423,44 Pa = 107\,653,84 Pa = 15,61 PSI$$

Donde:

H_l : Altura del líquido [m]

P_{op} : Presión de operación máxima [PSI]

T_{op} : Temperatura de operación máxima [°C]

Conocida la presión de operación máxima y la temperatura de operación del tanque se calcula la presión y temperatura de diseño. La norma PDVSA (1995) "*Manual para el proceso de diseño*" determina que la presión para los recipientes cuya presión de operación máxima sea menor a 247 PSI, la presión de diseño se calculará sumándole 5 % de la presión de operación máxima, mientras que para la temperatura de diseño se determinará como la temperatura de operación máxima del equipo que es 40 °C a partir de las Ecuaciones A.V.80 y A.V.81.

$$P_d = 1,05 \times P_{op\ max} \quad [A.V.80]$$

$$P_d = 1,05 \times 107\,653,84 Pa = 113\,036,53 Pa = 16,39 PSI$$

$$T_d = T_{op} = 40\ ^\circ C \quad [A.V.81]$$

Donde:

P_d : Presión de diseño [PSI]

T_d : Temperatura de diseño [°C]

Para el diseño del domo del tanque es importante conocer el esfuerzo del domo del tanque, la presión que soportará el domo y su espesor. Estos parámetros de diseño se determinan a partir de las Ecuaciones 3.35 a la 3.38 y la Ecuación A.V.82 (Boardman, 2020).

$$k = \frac{\left[2 + \left(\frac{D_{TM}}{2 \times H_D}\right)^2\right]}{6} \quad [\text{A.V.82}]$$

$$k = \frac{\left[2 + \left(\frac{1,52 \text{ m}}{2 \times 0,38 \text{ m}}\right)^2\right]}{6} = 0,99$$

$$P_D = \frac{2 \times St \times E \times e}{D_{TM} \times k + 0,2 \times e}$$

$$e = \frac{P_D \times D_{TM} \times k}{2 \times St \times E - 0,2 \times P_D}$$

$$St = \frac{P_D \times (D_{TM} \times k + 0,2 \times e)}{2 \times E \times e} \quad [\text{A.V.83}]$$

Donde:

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

E : Eficiencia de la soldadura

e : Espesor de la tapa [mm]

H_D : Altura del domo [m]

k : Factor de diseño del domo

P_D : Presión del domo [m]

Para resolver este sistema de ecuaciones se usará la aplicación de Excel Solver que resolverá el sistema de ecuaciones para obtener los parámetros de diseño del domo para diseñar la base del tanque de mezclado.

$$P_D \approx 6,93 \text{ in}_{H_2O} \times \frac{0,0361 \text{ PSI}}{1 \text{ in}_{H_2O}} = 0,25 \text{ PSI}$$

$$e \approx 0,6 \text{ in} \approx 15,24 \text{ mm}$$

$$St \approx 1,17 \text{ in}_{H_2O} \times \frac{0,0361 \text{ PSI}}{1 \text{ in}_{H_2O}} = 0,04 \text{ PSI}$$

A.V.7.2 Diseño del agitador

En el diseño del tanque de agitación es importante conocer las dimensiones del agitador tipo turbina que permite mezclar líquidos de viscosidad similar a la del colutorio dental, estas dimensiones se obtienen a partir de las relaciones que existen entre las dimensiones del agitador con el diámetro del tanque como se observa en la Figura 4.2. Las Ecuaciones A.V.83 a la A.V.85 permitirán determinar el diámetro y ancho de las paletas del agitador, la separación entre el fondo del tanque y el agitador, y la altura del eje de rotación del agitador (Walas, 1990, p. 278, Quispe, 2016, p. 9).

$$D_a = \frac{D_{TM}}{3} \quad [\text{A.V.84}]$$

$$D_a = \frac{1,52 \text{ m}}{3} \approx 0,51 \text{ m}$$

$$A_a = \frac{0,51}{8} = 0,06 \text{ m}$$

$$H_a = \frac{D_{TM}}{3} \approx 0,51 \text{ m} \quad [\text{A.V.85}]$$

$$H_b = H - H_a = 1,89 - 0,51 = 1,38 \text{ m}$$

Donde

A_a : Ancho del agitador [m]

D_a : Diámetro agitador [m]

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

H : Altura del tanque [m]

H_a : Separación del agitador y el fondo [m]

H_b : Altura del eje de rotación [m]

A.V.7.3 Diseño de deflectores

La longitud y diámetro del deflector se obtienen a partir de las relaciones que existen

entre el diámetro del tanque y la altura del líquido como se observa en la Figura 4.2 de la sección 4.4.6, las relaciones están expresadas en las Ecuaciones A.V.86 y A.V.87 (Walas, 1990, p. 278, Quispe, 2016, p. 9).

$$D_d = \frac{D_{TM}}{12} \quad [A.V.86]$$

$$D_d = \frac{1,52 \text{ m}}{12} \approx 0,13 \text{ m}$$

$$L_d = \frac{H_l}{2} + \frac{H_l}{3} \quad [A.V.87]$$

$$L_d = \frac{5 \times 1,38 \text{ m}}{6} = 1,15 \text{ m}$$

Donde:

D_d : Diámetro deflector [m]

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

H_l : Altura del líquido [m]

L_d : Largo del deflector [m]

A.V.7.4 Tiempo de agitación

Es importante determinar el tiempo que se mantendrá agitada la mezcla, para lo cual se calculan las variables necesarias en función del número de Reynolds, velocidad de agitación y el diámetro del agitador como se observa en la Ecuación 3.37, se conoce la viscosidad (0,1052 kg/ms), la densidad del colutorio (960 kg/m³) y las velocidades de los rotores comerciales como se observa en la Tabla A.V.5. El número de Reynolds calculado en la Tabla A.V.5, permite determinar el valor del tiempo adimensional (N_t) con la Ecuación 3.38 y la Figura A.V.10, este valor es despejado para determinar el tiempo de mezcla cuando se encuentre en un 95 y 100 % de homogeneidad con las Ecuaciones A.V.88 y A.V.89.

$$Re = \frac{N \times D_a^2 \times \rho_c}{\mu_c}$$

$$t_b \times N \times \left(\frac{D_a}{D_{TM}}\right)^{2,3} = N_{tb}$$

$$t_{b95\%} = \frac{N_{tb}}{N \times \left(\frac{D_a}{D_{TM}}\right)^{2,3}} \quad [A.V.89]$$

$$t_{b100\%} = \frac{t_{b95\%}}{0,95}$$

Donde:

D_a : Diámetro agitador [m]

D_{TM} : Diámetro del tanque [m]

N : Velocidad de agitación [rpm]

N_{RE} : Número de Reynolds

t_b : Tiempo de mezcla [h]

t_e : Tiempo de envasado y limpieza [h]

t_p : Tiempo del proceso [h]

ρ_c : Densidad de colutorio [kg/m^3]

μ_c : Viscosidad de colutorio [cP]

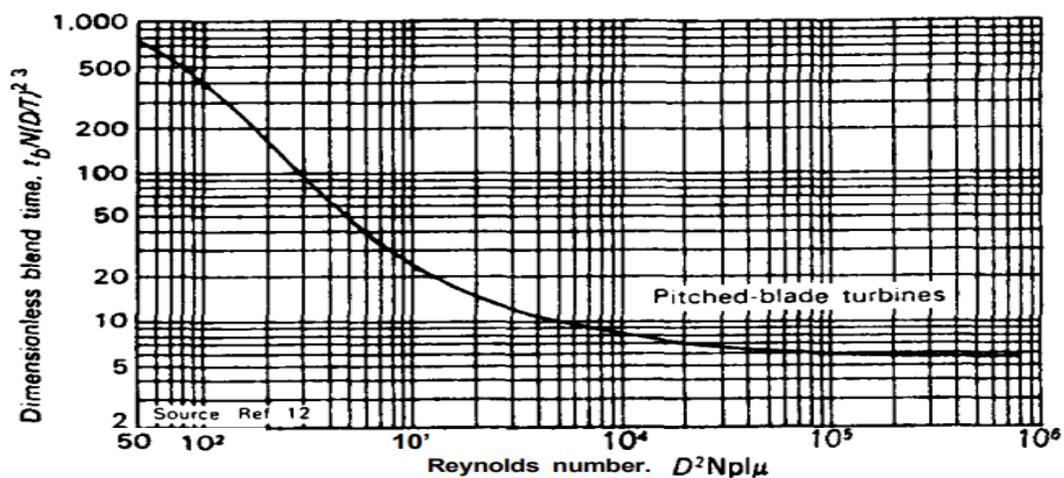


Figura A.V.10. Tiempo adimensional de mezclado en función del número de Reynolds (Walas, 1990, p. 290)

Tabla A.V.5. Cálculo del tiempo de mezcla en función de las velocidades de motores comerciales

Velocidad motores comercial [rpm]	Número de Reynolds	Factor $t_b * N * \left(\frac{D_A}{D_{TM}}\right)^{2.3}$	Tiempo 95 % de la mezcla homogenizada $t_{b95\%}$ [min]	Tiempo 100 % de la mezcla homogenizada $t_{b100\%}$ [min]	Resultado de la velocidad de rotación
1 150	35 418,25	7	0,09	0,10	Alta
500	15 399,24	8	0,26	0,27	Alta
100	3 079,85	11	1,77	1,87	Media
56	1 724,71	18	5,17	5,45	Media
37	1 139,54	20	8,70	9,50	Optima

$$t_b = 9,5 \frac{\text{min}}{\text{batch}}$$

Determinado el tiempo óptimo de agitación calculado en la Tabla A.V.5, el tiempo total que tomará mezclar 4 lotes de colutorio dental es 0,63 h. El tiempo total de agitación permite determinar el tiempo sobrante para realizar el envasado y limpieza del equipo. Para la operación de mezclado y envasado se destinaron 3,40 h sobrantes de la jornada laboral después de las 4,60 h que demora la extracción del aceite esencial. Por lo cual, se determina que el envasado y la limpieza del equipo deben realizarse en 2,97 h.

$$t_p = 9,5 \frac{\text{min}}{\text{lote}} \times 4 \text{ lotes} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,63 \text{ h}$$

$$t_e = 3,6 \text{ h} - 0,63 \text{ h} = 2,97 \text{ h}$$

Donde:

t_e : Tiempo de envasado y limpieza [h]

t_p : Tiempo del proceso [h]

Determinado el tiempo de agitación se procede a calcular la potencia del agitador a partir del número de Reynolds a la velocidad de rotación óptima del agitador en el proceso, que permitideterminar el número adimensional de la potencia de la Ecuación A.V.90 con la Figura A.V.11.

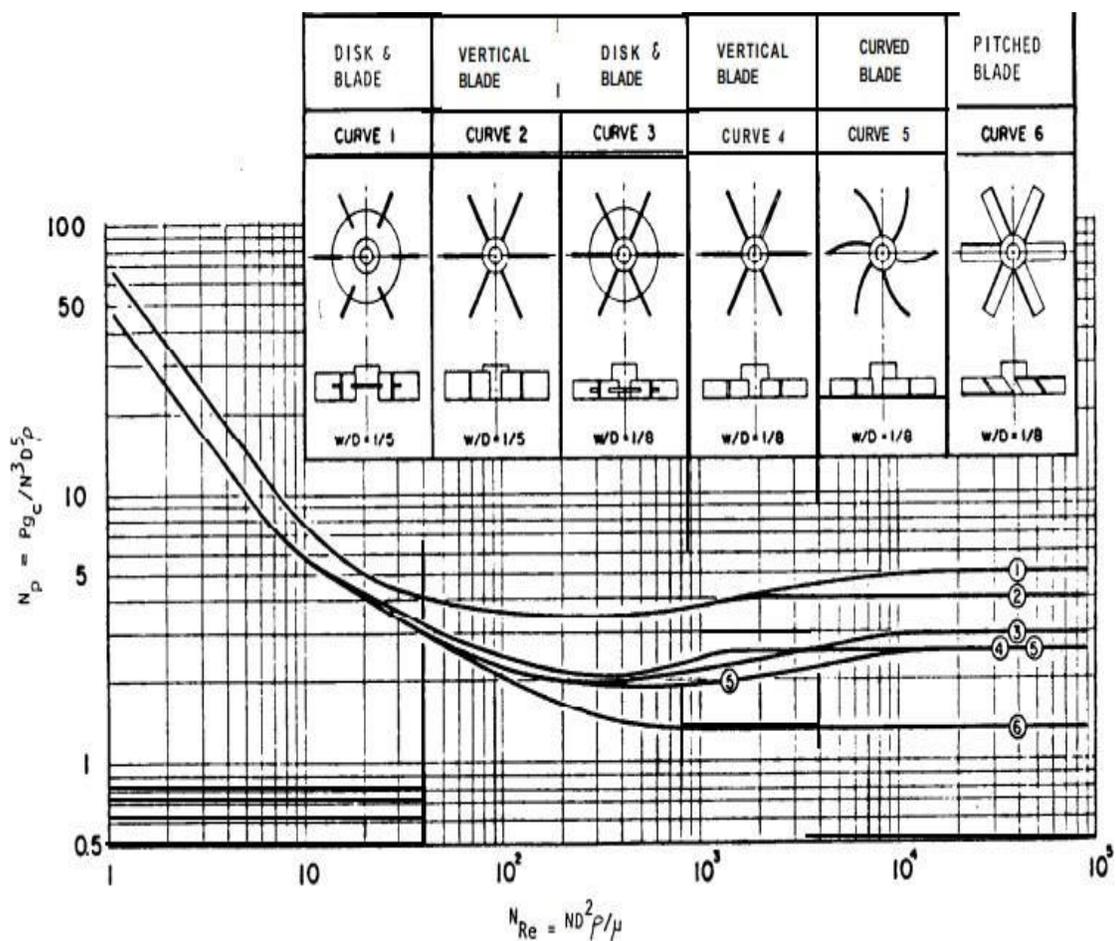


Figura A.V.11. Número de potencia en función del número de Reynolds
(Walas, 1990, p. 292)

$$N_p = \frac{P}{\rho_c \times N^3 \times D_a^5}$$

[A.V.90]

Donde:

D_a : Diámetro agitador [m]

- N : Velocidad de agitación [rpm]
 N_p : Número de potencia
 P : Potencia del agitador [W]
 ρ_c : Densidad de colutorio [kg/m^3]

Conocido el número adimensional de la potencia (1,6) obtenido a partir de la Figura A.V.11 se calcula la potencia con ayuda de la Ecuación A.V.91. para lo cual se toma en cuenta el diámetro del agitador, la velocidad de rotación del agitador y la densidad del colutorio dental de romero

$$1,6 \times \rho_c \times N^3 \times D_a^5 = P \quad [\text{A.V.91}]$$

$$P = 1,6 \times 960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 37^3 \frac{\text{rev}}{\text{min}^3} \times \frac{1 \text{ min}^3}{60^3 \text{ s}^3} \times 0,45^5 \text{ m}^5 = 6,65 \text{ W}$$

A.V.7.5 Dosificación

Para saber la cantidad de unidades a dosificar se establece el número de unidades que se procesará en 4 lotes durante 3,40 horas; donde se estima que 2 097 L se envasarán durante cada hora que tomará el mezclado y envasado del colutorio dental de romero. Se estima que los primeros 3 lotes tendrán un volumen de 2 097 L, el volumen sobrante de 849,8 L será el último lote que se debe procesar para completar los 7 129,8 L/día que se mezclarán en la planta. Se estima que cada lote se procesará durante 1,0 h y el último lote de menor volumen se procesará en 0,40 h.

$$2\,097 \text{ L} \times \frac{1 \text{ unidad}}{0,25 \text{ L}} = 8\,388 \frac{\text{unidades}}{\text{batch}}$$

$$849 \text{ L} \times \frac{1 \text{ unidad}}{0,25 \text{ L}} = 3\,396 \frac{\text{unidades}}{\text{batch}}$$

Por último, se estima que la agitación demorará 9,5 min/lote y se supondrá que el llenado envasado se realizará en 35,0 min/lote y el llenado del tanque se realizará en

15,5 min/lote. Determinados estos tiempos se calculará la velocidad en la que se debe llenar cada lote de colutorio dental. La bomba dosificadora con esta capacidad de llenado se encuentra especificada en la Tabla A.VI.9.

$$Velocidad\ de\ llenado = \frac{(8\ 388\ unidades)}{35,0\ min} \times \frac{1\ min}{60\ s} \approx 4\ \frac{unidades}{s}$$

$$Velocidad\ de\ llenado = \frac{(3\ 396\ unidades)}{13,9\ min} \times \frac{1\ min}{60\ s} \approx 4\ \frac{unidades}{s}$$

A.V.8 DISEÑO Y SELECCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA PROVISIÓN DE UNA SEMANA DE PRODUCCIÓN Y SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS PARA ALIMENTACIÓN DEL MEZCLADO.

El diseño de los tanques de almacenamiento de materias primas se realiza de acuerdo al balance de masa, por lo cual se mostrará 3 ejemplos de cálculo para el diseño de los tanques de almacenamiento de acuerdo a los criterios de diseño reportados por Walas (1990). El almacenamiento de estas materias primas se realizará en tanques horizontales usados para almacenar bajos volúmenes y cuya selección se realizó de acuerdo al volumen necesario que ocuparán las materias primas para la provisión de 5 días de producción.

A.V.8.1 Diseño de tanque de almacenamiento y selección bomba centrífuga para agua (tanque de 1 500 gal)

Con el balance de masa del agua en el proceso de mezclado se determina el flujo másico y volumen de agua necesaria para determinar los parámetros de diseño del tanque de almacenamiento. Dado que la masa de agua necesaria para cada lote mezclado es muy grande y la provisión de esta materia prima es fácil, este tanque de almacenamiento será el único que se diseñará para almacenar la masa de agua por día de producción. El volumen que ocupa esta materia prima por día de producción se

calcula con la Ecuación A.V.92

$$A_G = 75\,319,5 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días}} = 3\,423,61 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$Q_{A_G} = \frac{A_G}{\rho_{A_G}} = \frac{3\,423,61 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{0,997 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times \frac{1\,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}} = 3,43 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Donde:

A_G : Flujo másico de agua [kg/día]

Q_{A_G} : Caudal de agua [m³/h]

ρ_{A_G} : Densidad de agua [kg/m³]

Conocido el volumen de agua que se necesitará por día se determina el volumen de diseño del tanque de almacenamiento de agua con la Ecuación A.V.92. Con el volumen de diseño que necesitará el tanque se determina su altura y el diámetro Walas (1990) indica que la relación entre el largo del tanque y el diámetro de la Ecuación A.V.93 es igual a 3 (p. 612),. Para determinar los parámetros de diseño del tanque de almacenamiento de agua se usa la Figura A.V.1 de la sección A.V.2 que permite determinar las Ecuaciones geométricas y trigonométricas A.V.1 a la A.V.6 que permiten calcular el nivel de líquido en el tanque para calcular la presión hidrostática. Las relaciones expresadas a continuación se resuelven con ayuda de la herramienta Solver del software Excel.

$$VA_{Gd} = 1,2 \times QA_G \quad [A.V.92]$$

$$VA_{Gd} = 1,2 \times 3,43 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{1 \text{ lote lleno dura}} = 4,12 \text{ m}^3$$

$$\frac{L}{D} = 3 \quad [A.V.93]$$

$$VA_{Gd} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L$$

$$VA_{Gd} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times 3 \times D$$

$$D^2 = \frac{4,12 \text{ m}^3 \times 4}{3\pi}$$

$$D = 1,12 \text{ m}$$

$$L = 3,36 \text{ m}$$

$$V_L = VA_{Gd} - VA_G$$

$$V_L = 4,12 \text{ m}^3 - 3,43 \text{ m}^3 = 0,69 \text{ m}^3$$

$$A_o = \frac{r_1^2}{2} \times \emptyset$$

$$b^2 = r^2 - (r - h)^2$$

$$b = \sqrt{2rh - h^2}$$

$$A_\Delta = b \times (r - h)$$

$$A_L = A_o - A_\Delta$$

$$V_L = L \times A_L$$

$$\emptyset = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{b}{r} \right)$$

$$V_L = L \times \left(r^2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r} \right) - (r - h) \times \sqrt{2rh - h^2} \right)$$

$$h = 0,29 \text{ m}$$

$$\emptyset = 123,06^\circ$$

$$A_o = 2,11 \text{ m}^2$$

Donde:

A_L Área libre de líquido [m^2]

A_o : Área del segmento circular de la base del círculo [m^2]

A_Δ : Área del triángulo en la base del círculo [m^2]

b : Base del triángulo del círculo de la base [m]

D : Diámetro del tanque [m]

h : Altura del segmento libre de líquido [m]

- L : Longitud del tanque [m]
 r : Radio del segmento circular [m]
 V_{ag} : Volumen de agua [gal]
 V_d : Volumen de diseño [gal]
 V_L : Volumen libre de líquido [gal]
 \emptyset : Ángulo del segmento circular

Determinada la altura del nivel de líquido se procede a calcular la presión hidrostática a partir de la Ecuación A.V.8 y la presión de operación máxima a partir de la Ecuación A.V.65, la presión de operación máxima permite determinar la presión de diseño que debe tener el tanque de almacenamiento de agua a partir de la Ecuación A.V.66. Por último, se determina la temperatura ambiental de la zona para calcular la temperatura de diseño. Todas estas ecuaciones se basan en la norma PDVSA (1995).

$$Ph = \rho_a \times g \times (D - h_L)$$

$$Ph = 997,00 \frac{kg}{m^3} \times 9,80 \frac{m}{s^2} \times (1,12 - 0,29) m \approx 8\,109,60 Pa = 1,17 PSI$$

$$Patm_{500\,m.s.n.m} = 0,94 atm = 13,84 PSI$$

$$P_{op} = Patm + Ph$$

$$P_{op} = 1,17 PSI + 13,84 PSI = 15,01 PSI$$

$$P_d = P_{op} + 24,65 PSI$$

$$P_d = 15,01 PSI + 24,65 PSI = 39,66 PSI$$

$$T_d = T_{amb} = 30\,^{\circ}C$$

Donde:

- g : Aceleración de la gravedad [m/s^2]
 P_{atm} : Presión atmosférica [PSI]
 P_d : Presión de diseño [PSI]
 P_h : Presión hidrostática [PSI]
 P_{op} : Presión de operación máxima [PSI]

T_{amb} : Temperatura ambiental máxima [°C]

T_d : Temperatura de diseño [°C]

Para alimentar el agua al tanque de mezclado es importante el uso de una bomba centrífuga, para lo cual es importante conocer el caudal de agua que se utilizará en el proceso de mezclado. Para determinar los parámetros de selección de la bomba se realiza un balance energético que permite determinar el trabajo de la bomba a partir de la Ecuación 3.32, para lo cual, se determina la velocidad del flujo a partir de la Ecuación A.V.39 y el número de Reynolds a partir de la Ecuación 3.31.

Para determinar las pérdidas de fricción de la Ecuación 3.33 para el transporte del fluido se utilizará la Figura A.V.8, que permitirá determinar el valor numérico de las relaciones expresadas en las Ecuaciones A.V.40 y A. V.41. El diámetro de la tubería se seleccionará con ayuda de la Figura 3.3 de acuerdo a la presión y temperatura del fluido. Además, se supondrá que el fluido se alimentará desde la parte superior del tanque a una altura de 1,12 m y el líquido se transportará una distancia promedio de 11,25 m para llegar al tanque de mezclado de acuerdo a las distancias de la tubería determinadas en el Lay Out. Para la determinación de las pérdidas por fricción se utilizará la relación expresada por Fanning, cuyo factor de fricción se determinará a partir del diagrama de Moody de la Figura A.V.8 y se supondrá el transporte del líquido por una tubería de acero inoxidable STD 40 con un espesor de la pared 2,77 mm y un diámetro de 2.5 cm con 4 codos de 90° (Aguado et al., 1999, pp. 96-98). Se supondrá que la presión de succión es la presión hidrostática y la presión de descarga la será la atmosférica dado que se descargará en el tanque de mezclado abierto. Para seleccionar la bomba del tanque se supondrá que el tanque de mezclado se llenará por 30 min.

$$\dot{A}_g = 3\,423,61 \frac{kg}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{0,5 \text{ h de llenado}} = 6\,847,22 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{Ag} = \frac{6\,847,22 \frac{kg}{h}}{997 \frac{kg}{m^3}} = 6,87 \frac{m^3}{h}$$

$$v_{et2} = v_{et1} = \frac{\dot{Q}_{Ag}}{A_d} = \frac{\left(6,87 \frac{m^3}{h}\right) \times \frac{1 h}{3600 s}}{\pi \times \left(\frac{0,025 m}{2}\right)^2} = 3,89 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v \times D \times \rho}{\mu} = \frac{3,89 \frac{m}{s} \times 0,025 m \times 997 \frac{kg}{m^3}}{0,001 \frac{kg}{m \cdot s}} = 96\,899,05$$

$$\frac{v_{et2}^2}{2} - \frac{v_{et1}^2}{2} + g \times (z_2 - z_1) + \frac{1}{\rho_{ag}} \times (P_2 - P_1) + \sum F = W$$

$$\sum F = \frac{2 \times f \times v_{et}^2 \times (L_b + \sum L_{eq})}{D}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,003$$

$$4f = 0,028$$

$$\sum F = \frac{0,014 \times 3,89^2 \frac{m^2}{s^2} \times (11,25 + 4 \times 38)m}{0,025 m} = 1\,383,38 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 9,8 \frac{m}{s^2} \times (1,12) m + \frac{1}{997 \frac{kg}{m^3}} \times (13,84 - 1,17) PSI \times \frac{6894,76 Pa}{1 PSI} + 5\,114,99 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 1\,481,97 \frac{J}{kg}$$

Donde:

A_G : Flujo másico de agua [kg/día]

A_d : Área transversal de tubería [m²]

D : Diámetro tubería [m]

f : Factor de fricción

g : Aceleración de la gravedad [m/s]

L_b : Longitud de desplazamiento [m]

\dot{P} : Potencia [Hp]

P_i : Presión succión y descarga [N/m²]

\dot{Q}_{Ag} : Caudal de agua [m³/h]

- Re: Número de Reynolds
 v_{ag} : Velocidad del flujo de agua [m/s]
W: Trabajo de la bomba
z: Nivel de tuberías [m]
 ε : Rugosidad de tubería de acero inoxidable [m]
 ΣF : Pérdidas por fricción [J/kg]
 ΣLeq : Longitud equivalente [m]
 ρ_{ag} : Densidad del agua [kg/m³]
 μ : Viscosidad del agua [cP]

Conocido el trabajo de la bomba de agua se determinará la potencia teórica de la bomba a partir de la Ecuación A.V.42.

$$P = W \times \dot{A}g$$

$$P = 1\,481,97 \frac{J}{kg} \times 6\,847,22 \frac{kg}{h} \times \frac{1\,h}{3\,600\,s} \times \frac{1\,kW}{1\,000\,W} = 2,82\,kW = 25,69\,HP$$

Las bombas comerciales que se observan en la Tabla A.VI.13 nos indican que la bomba óptima para este tanque tiene una potencia del motor de 4 Hp, con una altura del cabeza de la bomba de 70 m, esta es la bomba que se seleccionará para permitir el desplazamiento del agua.

A.V.8.2 Diseño de tanque de almacenamiento y selección de bomba centrífuga para etanol

Con el balance de masa del tanque de mezclado se determina la cantidad de etanol necesaria para 5 días de producción a partir de la Ecuación A.V.94. Conocido el volumen de etanol que se necesitará por semana, se determina el volumen de diseño del tanque de almacenamiento de etanol con la Ecuación A.V.95. Con el volumen de diseño que necesitará el tanque, se usa la relación utilizada en la Ecuación A.V.93 que

relaciona el largo del tanque con su diámetro. Al igual que en el tanque de mezclado se determina los parámetros de diseño para el tanque de almacenamiento de etanol

$$Et_m = 18\,801,05 \frac{kg}{mes}$$

$$\dot{Q}Et_m = \frac{Et_m}{\rho_{Et}} \quad [A.V.94]$$

$$\dot{Q}Et_m = \frac{18\,801,05 \frac{kg}{mes}}{789 \frac{kg}{m^3}} = 23,83 \frac{m^3}{mes} \times \frac{mes}{22 \text{ días}} \times 5 \frac{días}{semana}$$

$$\dot{Q}Et_m = 5,41 \frac{m^3}{semana}$$

$$\dot{V}Et_{md} = 1,2 \times \dot{Q}Et_m = 1,2 \times 5,41 \frac{m^3}{semana} \times \frac{1 \text{ semana}}{1 \text{ lote dura}} = 6,50 m^3 \quad [A.V.95]$$

$$\frac{L}{D} = 3$$

$$\dot{V}Et_{md} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L$$

$$\dot{V}Et_{md} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times 3 \times D$$

$$D^2 = \frac{6,50 m^3 \times 4}{3\pi}$$

$$D = 1,32 m$$

$$L = 3,96 m$$

$$V_L = VA_{Gd} - VA_G$$

$$V_L = 6,50 m^3 - 5,41 m^3 = 1,09 m^3$$

$$A_o = \frac{r_1^2}{2} \times \emptyset$$

$$b^2 = r^2 - (r - h)^2$$

$$b = \sqrt{2rh - h^2}$$

$$A_\Delta = b \times (r - h)$$

$$A_L = A_o - A_\Delta$$

$$V_L = L \times A_L$$

$$\phi = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{b}{r} \right)$$

$$V_L = L \times \left(r^2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{2rh-h^2}}{r} \right) - (r-h) \times \sqrt{2rh-h^2} \right)$$

$$h = 0,33 \text{ m}$$

$$\phi = 121,36^\circ$$

$$A_o = 2,90 \text{ m}^2$$

Donde:

A_L : Área libre de líquido [m^2]

A_o : Área del segmento circular de la base del tanque [m^2]

A_Δ : Área del triángulo en la base del círculo [m^2]

b : Base del triángulo del círculo de la base [m]

D : Diámetro del tanque [m]

Et_m : Flujo másico de etanol en la mezcla [kg/día]

g : Aceleración de la gravedad [m/s^2]

h : Altura del segmento libre de líquido [m]

L : Longitud del tanque [m]

\dot{Q}_{Et_m} : Caudal de agua [m^3/h]

r : Radio del segmento circular [m]

V_{Et} : Volumen de etanol [gal]

V_d : Volumen de diseño [gal]

V_L : Volumen libre de líquido [gal]

ρ_{Et_m} : Densidad de etanol [kg/m^3]

ϕ : Ángulo del segmento circular

Determinado la altura del nivel de líquido se procede a calcular la presión hidrostática a partir de la Ecuación A.V.8 y la presión de operación máxima a partir de la Ecuación A.V.65, la presión de operación máxima permite determinar la presión de diseño que debe tener el tanque de almacenamiento de etanol a partir presión mínima de diseño.

Por último, se determina la temperatura ambiental de la zona para calcular la temperatura de diseño. Todas estas ecuaciones se basan en la norma PDVSA (1995).

$$P_h = \rho_a \times g \times (D - h)$$

$$P_h = 789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (1,32 - 0,33) \text{ m} = 7\,654,88 \text{ Pa} = 1,11 \text{ psi}$$

$$P_{atm_{500 \text{ m.s.n.m}}} = 0,94 \text{ atm} = 13,84 \text{ PSI}$$

$$P_{op} = P_{atm} + P_h$$

$$P_{op} = 1,11 \text{ PSI} + 13,84 \text{ PSI} = 14,95 \text{ PSI}$$

$$P_d = P_{min}$$

$$P_d = 16 \text{ PSI}$$

$$T_d = T_{amb} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde:

P_{atm} : Presión atmosférica [PSI]

P_d : Presión de diseño [PSI]

P_h : Presión hidrostática [PSI]

P_{op} : Presión de operación máxima [PSI]

T_{amb} : Temperatura ambiental máxima [$^\circ\text{C}$]

T_d : Temperatura de diseño [$^\circ\text{C}$]

Para alimentar el etanol al tanque de mezclado es importante el uso de una bomba centrífuga, para lo cual es importante conocer el caudal de etanol que se utilizará en el proceso de mezclado. Al igual que en el tanque de almacenamiento de agua, se tendrá en cuenta los siguientes parámetros para la selección de la bomba centrífuga del etanol: un tiempo de llenado del tanque de 0,50 h; y una distancia de tuberías de 5,00 m promedio determinado en el Lay Out.

$$\dot{Q}Et_m = 23,83 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{22 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{0,5 \text{ h}} \approx 2,17 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$v_{et2} = v_{et1} = \frac{\left(2,17 \frac{m^3}{h}\right) \times \frac{1 h}{3600 s}}{\pi \times \left(\frac{0,025 m}{2}\right)^2} = 1,22 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{1,22 \frac{m}{s} \times 0,025 m \times 789 \frac{kg}{m^3}}{0,0017 \frac{kg}{m s}} = 14\,224,51$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,003$$

$$4f = 0,036$$

$$\sum F = \frac{0,018 \times 1,22^2 \frac{m^2}{s^2} \times (5,00 + 4 \times 38) m}{0,025 m} = 168,25 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 9,8 \frac{m}{s^2} \times (1,32) m + \frac{1}{789 \frac{kg}{m^3}} \times (13,84 - 1,11) PSI \times \frac{6894,76 Pa}{1 PSI} + 168,25 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 292,43 \frac{J}{kg}$$

$$P = 292,43 \frac{J}{kg} \times 2,17 \frac{m^3}{h} \times 789 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1 h}{3600 s} \times \frac{1 kW}{1000 W} = 0,14 kW$$

Donde:

A_d : Área transversal de tubería [m^2]

D : Diámetro tubería [m]

Et_m : Flujo másico de etanol en la mezcla [kg/día]

f : Factor de fricción

g : Aceleración de la gravedad [m/s]

L_b : Longitud de desplazamiento [m]

\dot{P} : Potencia [Hp]

P_i : Presión succión y descarga [N/m^2]

\dot{Q}_{Et_m} : Caudal de agua [m^3/h]

Re : Número de Reynolds

v_{Et_m} : Velocidad del flujo de etanol [m/s]

- W: Trabajo de la bomba
 z: Nivel de tuberías [m]
 ε : Rugosidad de tubería [m]
 ΣF : Pérdidas por fricción [J/kg]
 ΣLeq : Longitud equivalente [m]
 ρ_{Etm} : Densidad de etanol [kg/m³]
 μ : Viscosidad del etanol [cP]

La potencia de la bomba comercial de la Tabla A.VI.13 muestra que la bomba de menor potencia tiene 0,75 kW de poder y es la óptima para ser seleccionada.

A.V.8.3 Diseño de tanque de almacenamiento y selección de bomba centrífuga para sorbitol

Con el balance de masa del tanque de mezclado se determina la cantidad de sorbitol necesaria para determinar el caudal a partir de la Ecuación A.V.96. Conocido el volumen de sorbitol que se necesitará por semana, se determina el volumen de diseño del tanque de almacenamiento desorbitol con la Ecuación A.V.95. Con el volumen de diseño que necesitará el tanque, se usa la relación utilizada en la Ecuación A.V.93 que relaciona el largo del tanque con su diámetro. Al igual que en el tanque de mezclado se determina los parámetros de diseño para el tanque de almacenamiento de etanol

$$S_r = 386,18 \frac{kg}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{0,5 \text{ h}} == 772,56 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q}S_r = \frac{S_r}{\rho_{S_r}} \quad [A.V.96]$$

$$\dot{Q}S_r = \frac{386,18 \frac{kg}{día} \times \frac{5 \text{ dias}}{\text{semana}}}{1,489 \frac{kg}{L} \times \frac{1000 L}{1 m^3}} = 1,29 \frac{m^3}{\text{semana}}$$

$$.VS_{rd} = 1,2 \times \dot{Q}S_r \quad [A.V.97]$$

$$VS_{rd} = 1,2 \times 1,29 \frac{m^3}{semana} \times \frac{1 \text{ semana}}{1 \text{ lote dura}} = 1,56 m^3$$

$$\frac{L}{D} = 3$$

$$\dot{V}Et_{md} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L$$

$$\dot{V}Et_{md} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times 3 \times D$$

$$D^2 = \frac{1,56 m^3 \times 4}{3\pi}$$

$$D = 0,82 m$$

$$L = 2,46 m$$

$$V_L = VA_{Gd} - VA_G$$

$$V_L = 1,56 m^3 - 1,29 m^3 = 0,27 m^3$$

$$A_o = \frac{r_1^2}{2} \times \emptyset$$

$$b = \sqrt{2rh - h^2}$$

$$A_\Delta = b \times (r - h)$$

$$A_L = A_o - A_\Delta$$

$$\emptyset = 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{b}{r} \right)$$

$$V_L = L \times \left(r^2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r} \right) - (r - h) \times \sqrt{2rh - h^2} \right)$$

$$h = 0,21 m$$

$$\emptyset = 122,88^\circ$$

$$A_o = 1,13 m^2$$

Donde

A_L Área libre de líquido [m²]

A_o : Área del segmento circular de la base del tanque [m²]

A_Δ : Área del triángulo en la base del círculo [m²]

- b: Base del triángulo del círculo de la base [m]
 D: Diámetro del tanque [m]
 h: Altura del segmento libre de líquido [m]
 L: Longitud del tanque [m]
 \dot{Q}_{S_r} : Caudal de sorbitol [m^3/h]
 r: Radio del segmento circular [m]
 S_r : Flujo másico de sorbitol [kg/día]
 V_{Et} : Volumen de etanol [gal]
 V_d : Volumen de diseño [gal]
 V_L : Volumen libre de líquido [gal]
 V_{std} : Volumen estándar [gal]
 ρ_{S_r} : Densidad de sorbitol [kg/m^3]
 ϕ : Ángulo del segmento circular

Determinado la altura del nivel de líquido a partir de la herramienta Solver se calcula la presión hidrostática con la Ecuación A.V.8 y la presión de operación máxima a partir de la Ecuación A.V.65, la presión de operación máxima determina la presión de diseño que tiene el tanque de almacenamiento de sorbitol a partir de la Ecuación A.V.66. Por último, se determina la temperatura ambiental de la zona para calcular la temperatura de diseño. Todas estas ecuaciones se basan en la norma PDVSA (1995).

$$Ph = \rho_a \times g \times (D - h)$$

$$Ph = 1\,489 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{s} \times (0,82 - 0,21) m = 8\,901,24 Pa \approx 1,29 PSI$$

$$Patm_{500\ m.s.n.m} = 0,94 atm = 13,84 PSI$$

$$P_{op} = Patm + Ph$$

$$P_{op} = 1,29 PSI + 13,84 PSI = 15,13 PSI$$

$$P_d = P_{op} + 24,65 PSI$$

$$P_d = 15,13 PSI + 24,65 PSI = 39,78 PSI$$

$$T_d = T_{amb} = 30\ ^\circ C$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad [m/s²]

P_{atm}: Presión atmosférica [PSI]

P_d: Presión de diseño [PSI]

P_h: Presión hidrostática [PSI]

P_{op}: Presión de operación máxima [PSI]

T_{amb}: Temperatura ambiental máxima [°C]

T_d: Temperatura de diseño [°C]

Para alimentar el sorbitol al tanque de mezclado es importante el uso de una bomba centrífuga, para lo cual es debe conocer el caudal de sorbitol que se utilizará en el proceso de mezclado. Al igual que en el tanque de almacenamiento de agua, se tendrá en cuenta los siguientes parámetros para la selección de la bomba centrífuga del sorbitol: un tiempo de llenado del tanque de 0,50 h; y una distancia de tuberías de 6,00 m promedio determinado en el Lay Out.

$$\dot{Q}S_r = \frac{S_r}{\rho_{S_r}}$$

$$\dot{Q}S_r = \frac{386,18 \frac{kg}{dia} \times \frac{1 \text{ dias}}{0,5 \text{ h}}}{1489 \frac{kg}{m^3}} = 0,52 \frac{m^3}{h}$$

$$v_{et2} = v_{et1} = \frac{\left(0,52 \frac{m^3}{h}\right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{\pi \times \left(\frac{0,025 \text{ m}}{2}\right)^2} = 0,29 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{V \times D \times \rho}{\mu} = \frac{0,29 \frac{m}{s} \times 0,025 \text{ m} \times 1489 \frac{kg}{m^3}}{0,185 \frac{kg}{m \cdot s}} = 59,06$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0035$$

$$4f = 0,085$$

$$\sum F = \frac{0,0425 \times 0,29^2 \frac{m^2}{s^2} \times (6,00 + 4 \times 38)m}{0,025 m} = 22,58 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 9,8 \frac{m}{s^2} \times (1,63) m + \frac{1}{1\,489 \frac{kg}{m^3}} \times (13,84 - 1,29) PSI \times \frac{6894,76 Pa}{1 PSI} + 0,49 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W = 96,68 \frac{J}{kg}$$

$$P = 96,68 \frac{J}{kg} \times 772,36 \frac{kg}{h} \times \frac{1 h}{3\,600 s} = 0,021 kW$$

Donde:

A_d : Área transversal de tubería [m²]

D : Diámetro tubería [m]

Et_m : Flujo másico de etanol en la mezcla [kg/día]

f : Factor de fricción

g : Aceleración de la gravedad [m/s]

L_b : Longitud de desplazamiento [m]

\dot{P} : Potencia [Hp]

P_i : Presión succión y descarga [N/m²]

\dot{Q}_{S_r} : Caudal de sorbitol [m³/h]

Re : Número de Reynolds

S_r : Flujo másico de sorbitol [kg/día]

v_{S_r} : Velocidad del flujo de sorbitol [m/s]

W : Trabajo de la bomba

z : Nivel de tuberías [m]

ε : Rugosidad de tubería [m]

$\sum F$: Pérdidas por fricción [J/kg]

$\sum Leq$: Longitud equivalente [m]

ρ_{S_r} : Densidad de sorbitol [kg/m³]

μ : Viscosidad del sorbitol [cP]

La potencia de la bomba comercial de la Tabla A.VI.13 muestra que la bomba de menor potencia tiene 0,75 kW de potencia y es la óptima para ser seleccionada, aunque la baja potencia calculada muestra que no es necesario una bomba.

Los cálculos para los parámetros de diseño de los tanques de almacenamiento para las demás materias primas son similares a los planteados anteriormente, por lo cual, la Tabla A.V.6 muestra los criterios de diseño de los tanques de almacenamiento de las materias primas faltantes que se seleccionarán en función de la Figura 3.3

Tabla A.V.6. Criterios de diseño de tanques de almacenamiento de glicerina, saborizante y éter lauril sulfato de sodio (SLES)

Tanque de almacenamiento	Volumen diseño [m³]	D [m]	L [m]	Pd [PSI]	Td [°C]
Glicerina	7,57	1,63	3,66	41,15	30,00
SLES	2,08	1,07	1,83	41,27	30,00
Saborizante	2,08	1,07	1,83	40,53	30,00

La selección de los tanques horizontales de almacenamiento se realiza por tener un volumen estandarizado que se comercializa en el mercado y por su fácil transportación con volúmenes estándar de 550, 1500 y 2000 gal respectivamente.

ANEXO VI

HOJAS DE ESPECIFICACIÓN

En este Anexo se analiza las especificaciones de los equipos diseñados y seleccionados de la planta de producción de colutorio dental de romero, las Tablas A.VI.1 a A.VI.9 muestran todos los parámetros de diseño y características de fábrica de los equipos

Tabla A.VI.1. Especificaciones banda transportadora

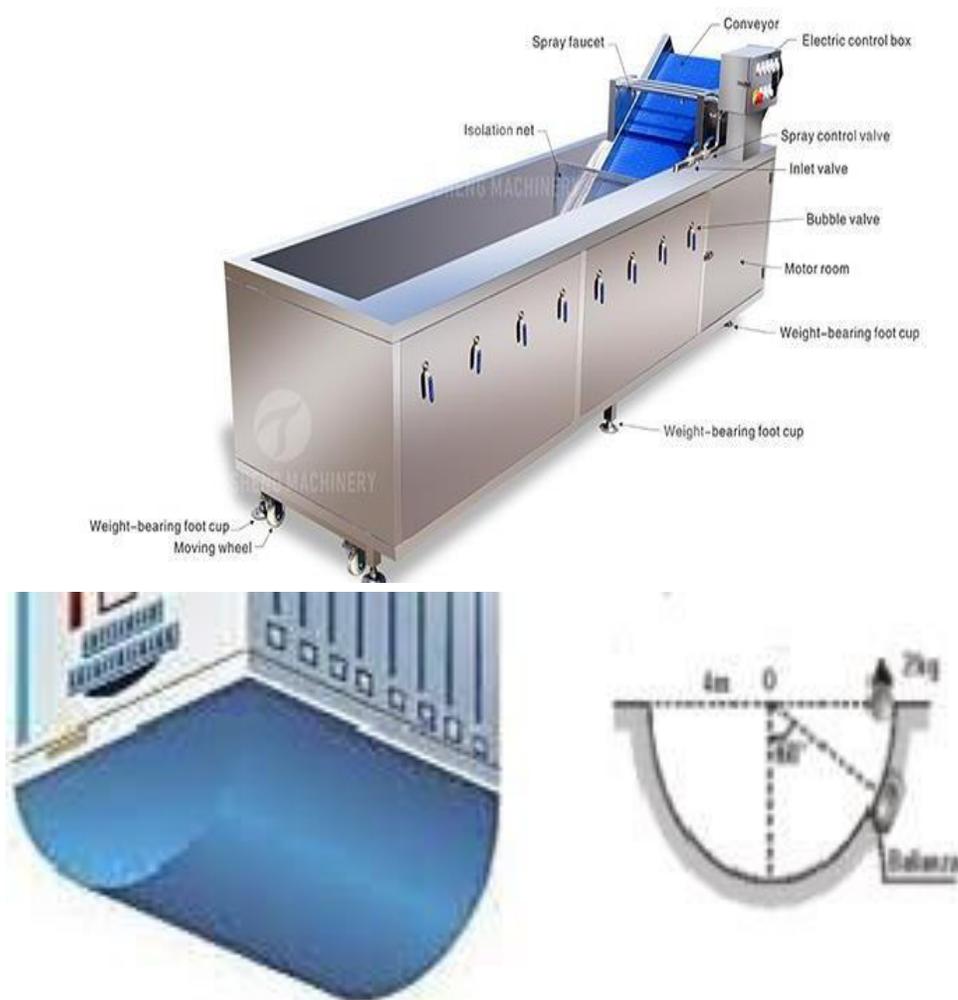
Hoja de especificación N° 1		
Nombre del Equipo: Banda Transportadora		
Fabricante: CoveTech	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: A-001
Dimensiones: Largo: 4,00 m Ancho: 0,40 m Altura: 0,80 m Área: 2,40 m ²	Especificaciones: Potencia: 1,1 kW Capacidad: 1,2 m ³ Velocidad: 0,84 m/s Material: PVC	
Principio de funcionamiento: Su función principal es transportar las hojas de romero para la selección de las hojas de mejor calidad y eliminación de las hojas que presenten desperfectos, la velocidad de funcionamiento permite al operario eliminar de forma adecuada las hojas con daños o plagas		
Esquema del equipo:		
(FABERG, 2002, pp. 30-34).		

Tabla A.VI.2. Especificaciones del tanque de desinfección

Hoja de especificación N° 2		
Nombre del Equipo: Tanque desinfección		
Fabricante: Tengsheng TS-X300	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: T-001
Dimensiones: Largo: 1,88 m Diámetro: 1,22 m Área: 3,25 m ²	Especificaciones: Potencia: 3,30 kW Volumen: 1,00 m ³ Capacidad: 1 500 kg/h Material: Acero inoxidable	

Principio de funcionamiento: Su función principal es permitir la desinfección de las hojas de romero a partir de la agitación que se genera con el burbujeo del agua, este burbujeo permite que la solución desinfecte todas las hojas.

Esquema del equipo:



(Alibaba, 2021)

Tabla A.VI.3. Especificaciones de cuarto de acondicionamiento

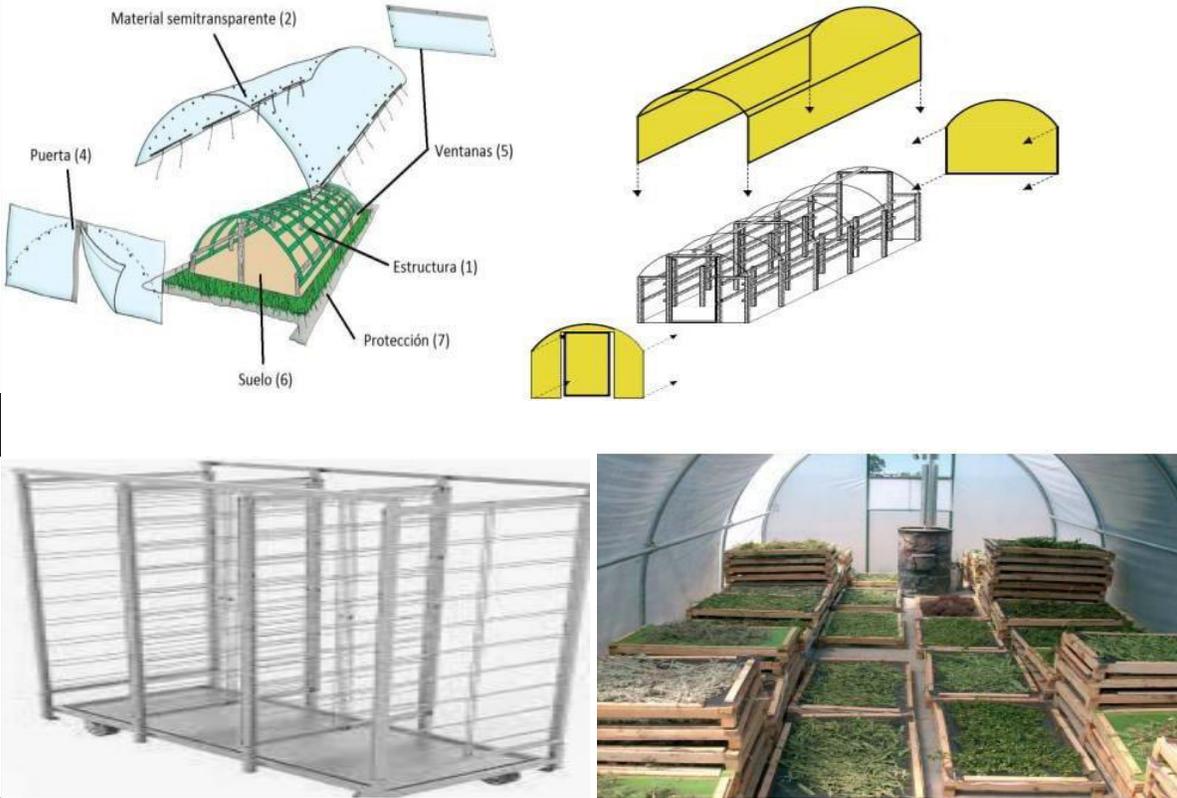
Hoja de especificación N° 3		
Nombre del Equipo: Cuarto de pre secado		
Fabricante: N/A	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: C-001
Dimensiones: Largo: 10,00 m Ancho: 5,50 m Área: 55,00 m ²		Especificaciones: Estantes: 16 Bandejas: 540 Capacidad: 2 580 kg/h Material: Polietileno 150 μm
<p>Principio de funcionamiento: La función principal del cuarto de pre secado es realizar el primer secado que permita evaporar el agua de las hojas de romero hasta alcanzar una humedad del 54 % y evitar cualquier ataque de hongos y otras plagas, el cuarto de pre secado cuenta con un caldero de leña que calienta el aire ambiental para acelerar la evaporación del agua y ahorra el consumo de energía.</p>		
<p>Esquema del equipo:</p> 		
(Besora, 2017, pp. 20-30; Bancho et al., 2008)		

Tabla A.VI.4. Especificaciones de caldero

Hoja de especificación N° 4		
Nombre del Equipo: Caldero de leña		
Fabricante: IOLMYT	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: C-001
Dimensiones: Largo: 1,02 m Alto: 1,50 m		Especificaciones: Capacidad: 5-15 kg/h Ventilador: 100 W Aire calentado: 500 – 1 500 m ³ /h Material: Aluminio
Principio de funcionamiento: Su función principal es generar la energía necesaria para calentar el aire dentro de los cuartos de pre secado, la energía es generada a partir de la quemade residuos leñosos de romero.		
<p>Esquema del equipo:</p>  <p>(Alibaba, 2021)</p>		

Tabla A.VI.5. Especificaciones de secador de bandejas

Hoja de especificación N° 5		
Nombre del Equipo: Secador de bandejas		
Fabricante: Gongyi Guoxin	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: S-001
Dimensiones: Largo: 6,00 m Alto: 2,28 m Ancho: 1,80 m	Especificaciones: Capacidad: 700 kg/h Voltaje: 220 V Aire calentado: 500 – 1 500 m ³ /h Material: Acero inoxidable	
Principio de funcionamiento: Su función principal es secar al romero hasta alcanzar una humedad relativa de 9,5 % para facilitar la molienda y la extracción del aceite esencial		
<p>Esquema del equipo:</p> <p>El diagrama ilustra el principio de funcionamiento del secador de bandejas, mostrando dos configuraciones de flujo de aire y alimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> Counter-Current: El aire caliente fluye de izquierda a derecha a través de un calentador y luego hacia la derecha sobre las bandejas, mientras que el alimento fluye de derecha a izquierda. Co-Current: El aire caliente fluye de izquierda a derecha y el alimento también fluye de izquierda a derecha. <p>Los diagramas muestran el 'Air Inlet' (entrada de aire) y el 'Exhaust' (escape) en ambas configuraciones.</p> <p>(Alibaba, 2021)</p>		

Tabla A.VI.6. Especificaciones de molino de martillos

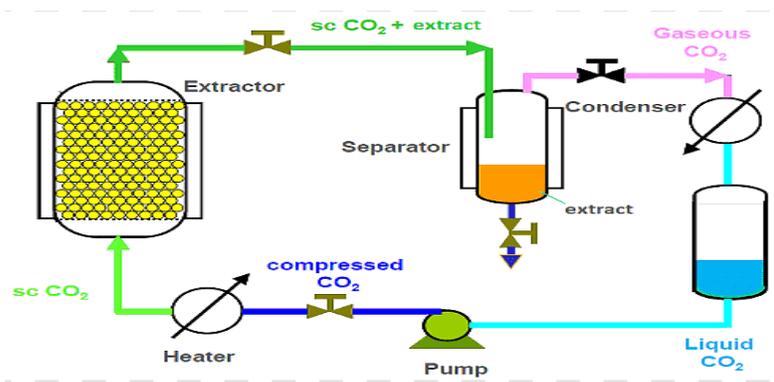
Hoja de especificación N° 6		
Nombre del Equipo: Molino de martillos		
Fabricante: Minsheng	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta:M-001
Dimensiones:Largo: 0,63 m Alto: 1,16 m Ancho: 0,49 m	Especificaciones: Capacidad: 50-250 kg/h Voltaje: 220 V Velocidad: 2 800 rpm Potencia: 3 kW Material: Acero inoxidable	
Principio de funcionamiento: Su función principal es disminuir el tamaño de partícula de las hojas de romero hasta alcanzar 0,66 mm creando la matriz vegetal óptima para la extracción del aceite esencial		
<p>Esquema del equipo:</p>  <p>(Alibaba, 2021)</p>		

Tabla A.VI.7. Especificaciones de equipo de extracción por FSC

Hoja de especificación N° 7		
Nombre del Equipo: Equipo de extracción por FSC		
Fabricante: -Minsheng Shandong	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta:E-001
<p style="text-align: center;">Dimensiones:</p> <p>Altura del tanque extractor: 1,53 m</p> <p>Altura del tanque separador: 0,64 m</p> <p>Largo del tanque CO2: 1,60 m</p> <p>Largo del tanque etanol: 1,83 m</p> <p>Diámetro del tanque extractor: 1,09 m</p> <p>Diámetro del tanque separador: 0,32 m</p> <p>Diámetro del tanque CO2: 0,80 m</p> <p>Diámetro del tanque etanol: 1.63 m</p>	<p style="text-align: center;">Especificaciones:</p> <p>Presión de diseño del tanque extractor: 262,50 PSI</p> <p>Presión de diseño del tanque separador: 105,00 bar</p> <p>Presión de diseño tanque CO2: 105,00 bar</p> <p>Presión de diseño tanque etanol: 39,77 PSI</p> <p>Temperatura de diseño extractor: 88,00 °C</p> <p>Temperatura de diseño del tanque separador: 58,00 °C</p> <p>Temperatura de diseño del tanque CO2: 30,00 °C</p> <p>Temperatura de diseño del tanque etanol 30,00 °C</p> <p>Potencia bomba etanol: 1,08 HP</p> <p>Eficiencia compresores: 87,00 %</p> <p>Capacidad: 800,00 kg/h</p> <p>Voltaje: 220 V</p> <p>Potencia eléctrica: 3,00 kW</p> <p>Flujo de disolvente: 0,646 kg/s</p> <p>Material: Acero inoxidable</p> <p>Peso del Equipo 3 000,00 kg</p> <p>Presión máx. bomba de diafragma: 8,60 bar</p>	
<p>Principio de funcionamiento: Su función principal es extraer el aceite esencial de la matriz vegetal triturada y seca. El solvente de extracción es el CO₂, el cual se presuriza en los compresores que tiene la máquina para alcanzar su punto crítico y extraer el aceite esencial. El equipo cuenta con separadores donde se obtiene el aceite esencial y el CO₂ regresa a su estado gaseoso para ser reciclado y presurizado para almacenarse en el tanque de almacenamiento del CO₂</p>		

Tabla A.VI.7 Especificaciones de equipo de extracción por FSC (continuación...)

Esquema del equipo:



(Alibaba, 2021)

Tabla A.VI.8. Especificaciones de tanque de mezclado

Hoja de especificación N° 8		
Nombre del Equipo: Tanque de mezclado		
Fabricante: Wenzhou LNT 300	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: TM-001
<p>Dimensiones:</p> <p>Diámetro tanque: 1,51 m</p> <p>Alto tanque: 1,51 m</p> <p>Diámetro agitador: 0,50 m</p> <p>Alto agitador: 0,50 m</p>	<p>Especificaciones:</p> <p>Capacidad: 2,52 m³</p> <p>Temperatura de diseño: 40 °C</p> <p>Presión de diseño: 16,39 PSI</p> <p>Voltaje: 220 V</p> <p>Velocidad: 37 - 2 800 rpm</p> <p>Potencia: 3 kW</p> <p>Material: Acero inoxidable</p>	
<p>Principio de funcionamiento: Su función principal es mezclar con agitación los ingredientes del colutorio dental a base de romero hasta alcanzar una emulsión homogénea, para posteriormente dosificar y envasar, la velocidad de mezcla baja permite una adecuada mezcla evitando daños en el equipo.</p>		
<p>Esquema del equipo:</p>		
<p>(Walas, 1990, p.278; Alibaba, 2021)</p>		

Tabla A.VI.9. Especificaciones de bomba dosificadora

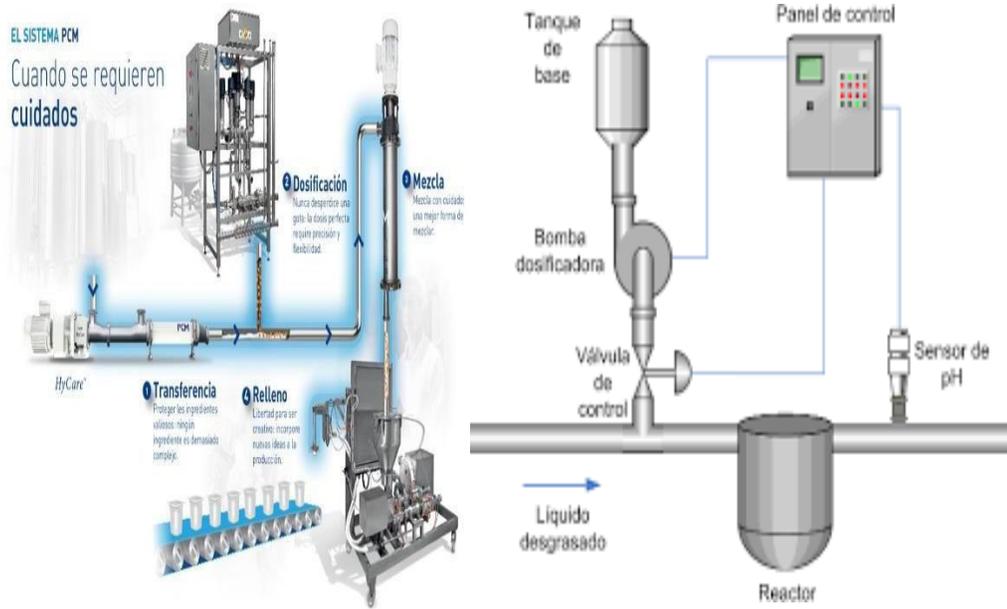
Hoja de especificación N° 9		
Nombre del Equipo: Bomba de dosificación		
Fabricante: Huayang Qz-6	Modalidad: Batch	Etiqueta en planta:Pp-001
Dimensiones:Largo: 3,00 m Alto: 1,30 m Ancho: 1,50 m	Especificaciones: Capacidad: 300 unidades/min Potencia: 1 HP Voltaje: 220 V Material: Acero inoxidable	
Principio de funcionamiento: Su función principal es dosificar y envasar emulsiones gracias a los pistones de alimentación con el que cuenta esta bomba.		
<p style="text-align: center;">Esquema del equipo:</p>  <p>EL SISTEMA PCM Cuando se requieren cuidados</p> <p>1 Dosificación Nunca desperdicio una gota: la dosis perfecta requiere precisión y flexibilidad.</p> <p>2 Mezcla Mezcla con cuidado: una mejor forma de mezclar.</p> <p>3 Transferencia Proteger los ingredientes valiosos: ningún ingrediente es demasiado complejo.</p> <p>4 Relleno Libertad para ser creativo: incorpore nuevos ideas a la producción.</p> <p>Tanque de base</p> <p>Panel de control</p> <p>Bomba dosificadora</p> <p>Válvula de control</p> <p>Sensor de pH</p> <p>Líquido desgrasado</p> <p>Reactor</p> <p>HyCar®</p>		
		
(Alibaba, 2021)		

Tabla A.VI.10. Especificaciones de tanque de almacenamiento de 1 500 gal

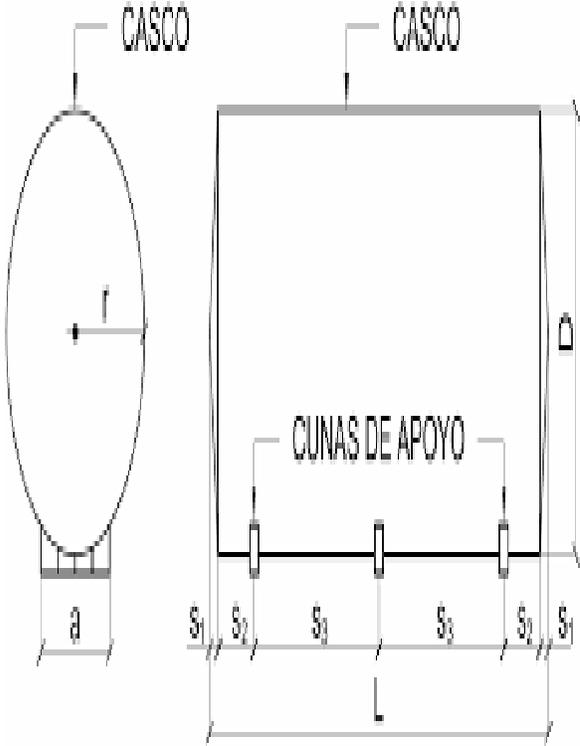
Hoja de especificación N° 10		
Nombre del Equipo: Tanques de almacenamiento		
Fabricante: Hwahon FOB	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: Tk-003
Dimensiones: Diámetro: 1,63 m Largo: 2,74 m Espesor: 3,00 mm Número de tanques: 1		Especificaciones: Capacidad: 1 500 gal T. diseño: 30 °C P. diseño: 39,81 PSI Peso equipo: 1 000 kg Material: Acero inox. 304
Principio de funcionamiento: La función principal es el almacenamiento de agua para la alimentación en el mezclado		
Esquema del equipo: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>		
(Alibaba, 2021)		

Tabla A.VI.11. Especificaciones de tanque de almacenamiento de 2 000 gal

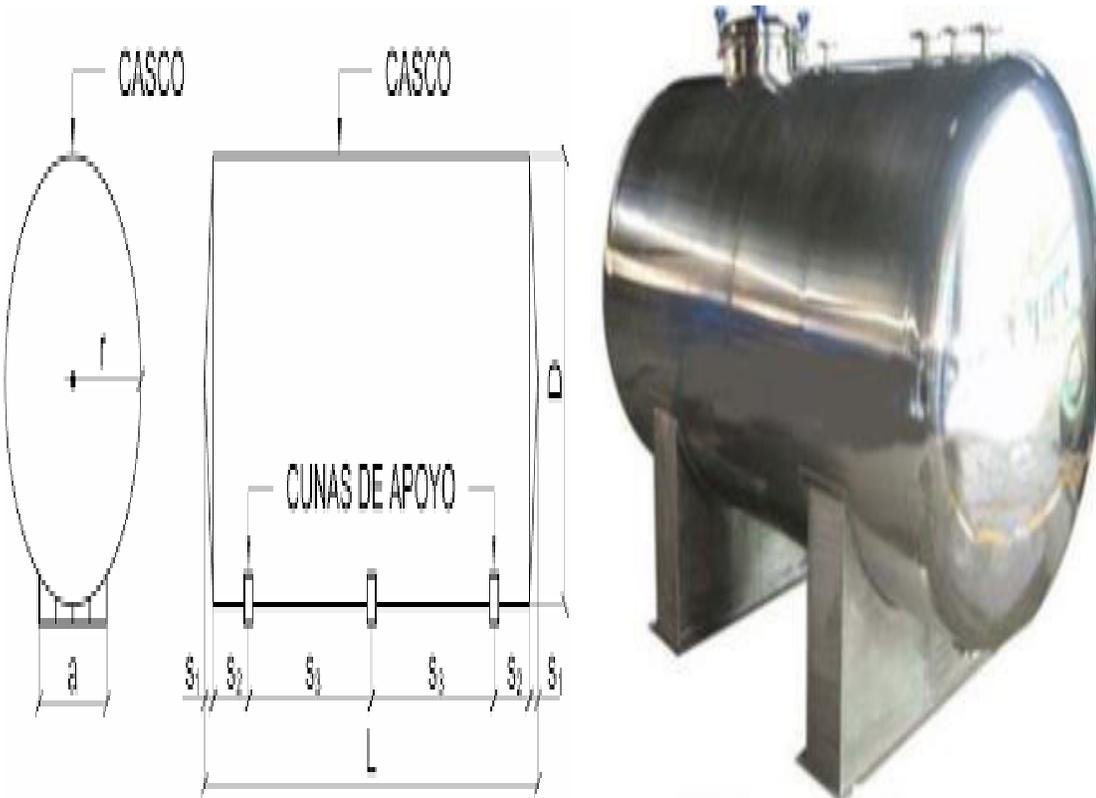
Hoja de especificación N° 11		
Nombre del Equipo: Tanques de almacenamiento		
Fabricante: Hwahon FOB	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: Tk-004
<p>Dimensiones:</p> <p>Diámetro: 1,63 m</p> <p>Largo: 3,66 m</p> <p>Espesor: 4,00 mm</p> <p>Número de tanques: 2</p>	<p>Especificaciones:</p> <p>Capacidad: 2 000 gal</p> <p>T. diseño: 30 °C</p> <p>P. diseño: 39,72 PSI</p> <p>Peso equipo: 1 100 kg</p> <p>Material: Acero inox. 304</p>	
Principio de funcionamiento: La función principal es el almacenamiento de etanol y glicerol para la alimentación en el mezclado		
Esquema del equipo:		
		
(Alibaba, 2021)		

Tabla A.VI.12. Especificaciones de tanque de almacenamiento de 550 gal

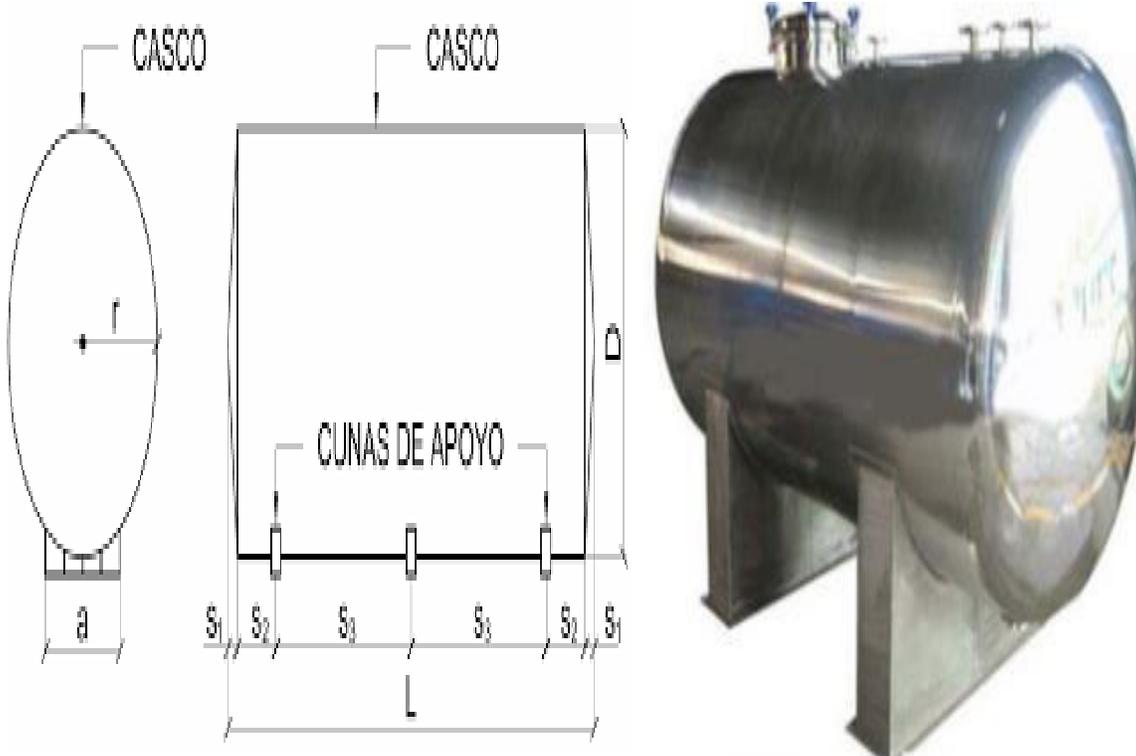
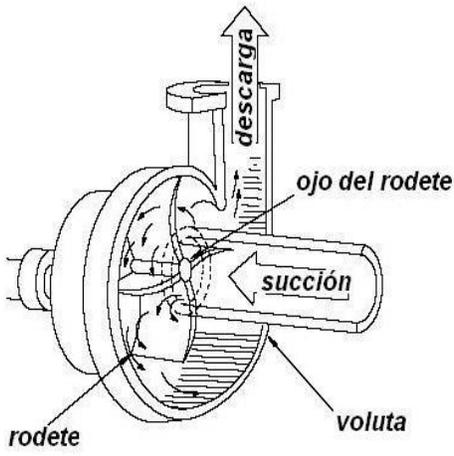
Hoja de especificación N° 12		
Nombre del Equipo: Tanques de almacenamiento		
Fabricante: Hwahon FOB	Modalidad: Por lotes	Etiqueta en planta: Tk-005
Dimensiones: Diámetro: 1,07 m Largo: 1,82 m Espesor: 2,00 mm Número de tanques: 3	Especificaciones: Capacidad: 550 gal T. diseño: 30 °C P. diseño: 40,84 PSI Peso equipo: 600 kg Material: Acero inox. 304	
<p>Principio de funcionamiento: La función principal es el almacenamiento de sorbitol, lauril éter sulfato de sodio y sabor de menta para la alimentación durante el proceso de mezclado del colutorio dental de romero</p>		
<p>Esquema del equipo:</p>  <p>(Alibaba, 2021)</p>		

Tabla A.VI.13. Especificaciones de bomba centrífuga

Hoja de especificación N° 13									
Nombre del Equipo: Bomba centrífuga									
Fabricante: OEM 2CHM			Modalidad: Por lotes			Etiqueta en planta:P-003-008			
Dimensiones:Largo: 0,60 m Alto: 0,50 m Número de bombas: 6					Especificaciones: Capacidad: 5 m ³ /h Cabezal bomba: 70 mSucción: 8 m Voltaje 220 V Velocidad máxima: 2 800 rpm Potencia: 4 HP Material: Acero inox. 304				
Principio de funcionamiento: La función principal es el transporte de fluidos para el tanque de mezclado.									
Esquema del equipo:									
									
Modelo		Poder		Flujo máximo	MAX la cabeza	Entrada/Salida	MAX SUCT	N.W	Tamaño c embalaje
1 fase	3 Fase	(Kw)	(Hp)	(L/min)	(M)	(Pulgadas)	(M)	(K g)	(Mm)
2CHM25/130	2CH25/130	0,75	1	90	44	1 1/4 "x 1"	8	16	265*130*
2CHM25/140M	2CH25/140M	1,1	1,5	160	47	1 1/2 "x 1"	8	21	265*130*
2CHM160/160	2CH160/160	1,5	2	125	66	1 1/4 "x 1"	8	28	265*130*
2CHM25/160A	2CH25/160A	2,2	3	200	68	1 1/2 "x 1"	8	32	265*130*
2CHM32/200C	2CH32/200C	3	4	250	70	1 1/2 "x 1/4"	8	43	265*130*
(Alibaba, 2021)									

ANEXO VII

SUPERFICIES Y DISEÑO HIGIÉNICO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

El área de producción debe ser diseñada para garantizar la inocuidad del producto, por lo cual, cada área tiene especificaciones de diseño a considerar en su construcción. En la Tabla A.VII.1 muestra la indumentaria, utensilios, especificaciones de piso, paredes y ventanas de la planta

Tabla A.VII.1. Diseño higiénico de las áreas de la planta de producción

Área	Indumentaria	Utensilios, instrumentos	Pisos	Paredes y ventanas
Área almacenamiento de tanques	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Tanques, bombas, pediluvio,	Piso de cemento/epóxico	Pared de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Área de desinfección	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Bandejas, palas acero inoxidable, pediluvio, lavabo, lámpara UV, cepillos de limpieza. escobas plásticas.	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Área de acondicionamiento	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Pediluvio, bandejas, estantes, palas acero inoxidable, lámpara UV, escobas plásticas.	Pisos de cemento	Paredes de polietileno transparente, estructura cañogalvanizado
Área de secado	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Bandejas, estantes, palas acero inoxidable, escobas plásticas, balanza	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Área de extracción FSC	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Cubetas plásticas, palas acero inoxidable, lámpara UV, cepillos de limpieza. escobas plásticas, balanza, dispensador de alcohol gel, y papel industrial.	Piso de cemento/epóxico y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Área de insumos	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Carretillas acero inoxidable, lámpara UV, escobas plásticas, balanza.	Pisos de cemento	Paredes de cemento enlucido epóxico

Tabla A.VII.1. Diseño higiénico de las áreas de la planta de producción (continuación...)

Área	Indumentaria	Utensilios, instrumentos	Pisos	Paredes y ventanas
Área de mezclado	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Lámpara UV, cepillos de limpieza, escobas plásticas, envases, balanza, dispensador de jabón, alcohol gel, y papel industrial, lavado y pediluvio. pHmetro	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Área de almacenamiento romero	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Carretillas acero inoxidable, cubetas, lámpara UV, escobas plásticas, balanza.	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico
Baños y vestidores	Uniforme	Canceles, lavabo, jabón, gel, papel higiénico	Pisos de cemento antideslizante	Paredes de cemento
Control de calidad	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Reactivos, equipos de laboratorio, balanza	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico, ventanas con protección, iluminadas
Bodega de productos	Botas de caucho, guantes, mandil, cofia	Bandejas, escobas plásticas, jabón, lámpara UV	Pisos de cemento, pintura epóxica y antideslizantes	Paredes de cemento enlucido epóxico
Área guardianía	Uniforme	Arma, carpeta de registros, cámara, estantería, muebles	Pisos de cemento	Paredes de cemento
Comedor	Uniforme	Muebles, jabón, gel, cámaras, estanterías	Pisos de cemento	Paredes de cemento
Oficinas	Uniforme	Muebles, jabón, gel, cámaras, estanterías	Pisos de cemento	Paredes de cemento
Salas de juntas	Uniforme	Muebles de cocina, jabón, gel, cámaras, estanterías de platos, lavabo jabón, electrodomésticos	Pisos de cemento	Paredes de cemento
Zona de desechos	Botas de caucho, guantes y mandil	Escobas plásticas, bandejas	Pisos de tierra	Paredes de polietileno

La Tabla A.VII.2 muestra las áreas que ocupará las operaciones unitarias en la planta de producción de colutorio dental, estas áreas se obtuvieron a partir del Software AutoCAD al calcular el área de cada polígono de la planta de producción de colutorio dental deromero.

Tabla A.VII.2. Superficies y dimensiones de la planta

Área	Superficie [m ²]	Largo [m]	Ancho [m]
Área almacenamiento de tanques	70,55	9,95	7,20
Área de desinfección	22,05	9,20	2,40
Área de acondicionamiento	48,48	9,20	5,50
Área de secado	38,07	9,20	4,45
Área de extracción FSC	21,42	5,10	4,20
Área de mezclado	7,30	2,40	3,10
Área de insumos	4,41	3,10	1,50
Área de almacenamiento romero	7,15	2,90	3,80
Área de parqueaderos	21,85	6,64	3,29
Área guardianía	5,86	2,60	2,30
Generador	3,20	1,50	1,70
Baños y vestidores	15,64	1,57	9,96
Zona de desechos	6,48	2,70	2,40
Oficinas	70,55	9,95	7,20
Salas de juntas	22,05	9,20	2,40
Comedor	48,48	9,20	5,50
Recepción	7,26	3,30	2,20
Bodega de productos	8,91	3,30	2,70
Control de calidad	7,26	3,30	2,20
Área Total	436,96	31,90	16,10

ANEXO VIII

ANÁLISIS DE PRE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

A.VIII.1 PRECIOS Y COSTO UNITARIO

La determinación del precio y costo unitario del colutorio dental de romero es importante para determinar los ingresos que recibirá la planta al vender el producto. El precio de venta al público se determina a partir de la Ecuación 5.1 donde se considera el IVA que pagará el producto, este valor permitirá determinar el precio de distribuidor a partir de la Ecuación 5.2, el precio de distribuidor permitirá determinar el margen de ganancia que tendrá el distribuidor a partir de la Ecuación 5.3, conocido el total de ganancia y el precio de venta del distribuidor se determina el precio de fábrica a partir de la Ecuación 5.4

$$\text{IVA} = 0,12 \times P_v$$

$$\text{IVA} = 0,12 \times 4,50 \text{ USD} = 0,54 \text{ USD}$$

$$P_d = P_v - \text{IVA}$$

$$P_d = 4,50 \text{ USD} - 0,54 \text{ USD} = 3,96 \text{ USD}$$

$$m = 0,35 \times P_d = 1,39 \text{ USD}$$

$$m = 0,35 \times 3,96 \text{ USD} = 1,39 \text{ USD}$$

$$P_f = P_d - m$$

$$P_f = 3,96 \text{ USD} - 1,39 \text{ USD} = 2,57 \text{ USD}$$

La determinación del costo unitario del producto de la Ecuación 5.5 se determina al sumar el costo total de la materia prima y mano de obra directa y se divide para el número de unidades que se proyecta vender en el año.

Los valores relacionados al costo de materia prima y mano de obra directa se obtienen de las Tablas 5.3 y 5.5 y las unidades vendidas de la Tabla 5.10.

$$CU = \frac{C_{mp} + C_{md}}{12 \times N}$$

$$CU = \frac{3\,656\,371,83 \text{ USD} + 49\,147,56 \text{ USD}}{12 \times 627\,388} = 0,49 \text{ USD}$$

A.VIII.2 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

Los costos fijos se determinan al sumar los costos de mano de obra indirecta y los gastos de servicios, amortización y depreciación. Estos valores se obtienen de las Tablas 5.4 y 5.9, mientras que los costos variables es el total del costo de la mano de obra directa y materia prima obtenidos en las Tablas 5.3 y 5.5. Estos valores permiten determinar el punto de equilibrio en unidades de venta y el punto de equilibrio en ingresos a partir de la ecuación 5.5.

$$P. E = \frac{CF}{P_f - CU}$$

$$P. E = \frac{(51\,250,21 + 377\,089,05 + 135\,038,13 + 1\,514,60) \text{ USD}}{2,57 \text{ USD} - 0,49 \text{ USD}}$$

$$P. E = 271\,583 \text{ unidades}$$

$$P. E = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{I}}$$

$$P. E = \frac{564\,891,99 \text{ USD}}{1 - \frac{(3\,656\,371,83 + 49\,147,56) \text{ USD}}{19\,348\,646,00 \text{ USD}}} = 698\,702,72 \text{ USD}$$

A.VIII.3 CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo de la Ecuación 5.7 se determina al sumar de los gastos administrativos y los costos variables de la planta para que pueda operar por el tiempo necesario hasta que pueda generar ganancias, los datos para el cálculo del capital de trabajo se obtuvieron de las Tablas 5.3 a 5.6 y se supondrá que 7 meses la planta no

recibirá ingresos (Fornero, 2003, p.126).

$$CT = n \times \frac{GA + CV}{12}$$

$$CT = 7 \times \frac{(51\,040,21 + 377\,089,05) \text{ USD} + 3\,705\,519,39 \text{ USD}}{12} = 2\,411\,295,055 \text{ USD}$$

ANEXO IX

PROFORMAS

Las Figuras A.IX.1 a A.IX.5 muestran las cotizaciones de las materias primas necesarias en la producción de colutorio dental de romero, mientras que las Figuras A.IX.6 y A.IX.7 muestran las cotizaciones de los tanques que se usaran durante la producción del colutorio dental de romero

	CALQUIM	RE-03
		Rev.1
COTIZACIÓN		
COTIZACION No. CQ-ML-24-03-2021		

Señores:

Atención: Cliente

CC:

Fecha: Quito, 24 DE MARZO DE 2021

Teléfono : 0983930917

Es muy placentero para nosotros poner en su consideración la oferta de lo siguiente:

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	UNIDAD	TIEMPO DE ENTREGA	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
1	1000	Alcohol etílico extraneutro 96%	litro	inmediato	1,30	1300,00
2	200	Alcohol etílico extraneutro 96%	litro	inmediato	1,42	284,00
SUBTOTAL						1584,00
IVA 12%						190,08
TOTAL						1774,08

TIEMPO DE ENTREGA: después de realizada la compra, ver en cada ítem

LUGAR DE ENTREGA:

FORMA DE PAGO: Contado

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 días

OBSERVACIONES:
Para cualquier consulta o inquietud nos ponemos a su disposición, y en espera de poder colaborar con ustedes,
un cordial saludo.

Atentamente,
Ronny Calderón
calquim@outlook.com

Figura A.IX.1. Proforma del etanol 96 °



**CASTILLO GAVILANES LORENA
ISABEL**

COTIZACION
No. 00000283

Fecha: 25/03/2021
Vendedor: LORENA CASTILLO
Referencia:
Almacén: PARQUE

Cliente: CASTILLO GAVILANES LORENA ISABEL ING.
Concepto:
Comentario:

No.	Código	Descripción	Und	Cantidad	Precio	Total
1	L-000006	LAURIL ETER SULFATO DE SODIO	kilos	1,000.000	1.750	1,750.00
Total Neto:						1,750.00
Total IVA:						210.00
Total:						1,960.00

QuickSOFT ® v.2.5.76 fmlEdicVocECot_GQ_01 1.1 Jennifer 25/03/2021 09:07:00 Pág. 1 / 1
2021-03-25 09:06:46 Jennifer

Ingresado por:

Revisado por:

Figura A. IX.2. Proforma del lauril éter sulfato de sodio



LA CASA DE LOS QUIMICOS LAQUIN CIA LTDA
AV. AMERICA N18-17 Y ASUNCION
RUC: 1790941892001 Telf(s) 2503 475
QUITO - Ecuador - Email: lacasadelosquimicos@gmail.com

CLIENTE	GERENCIA GYPHEMP TESAI			COTIZACION No. 14682 FECHA 25/03/2021 VALIDEZ OFERTA 0					
DIRECCION	QUITO								
TELEFONO	RUC	999999999999							
ATENCION A	VENDEDOR								
CONDICIONES COMERCIALES									
Ord	Código	Descripción	Presentación	Cantidad	P.V.P.	SUBTOTAL			
1	SAC-SOD	SACARINA SODICA USP	KG	100.00	15.6000	1,560.00			
Son UN MIL SETECIENTOS CUARENTA Y SIETE 20/100						Subtotal Imponible	1,560.00		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">AUTORIZADO</td> <td style="width: 50%;">ACEPTACIÓN CLIENTE</td> </tr> </table>						AUTORIZADO	ACEPTACIÓN CLIENTE	Subtotal No Imponible	0.00
						AUTORIZADO	ACEPTACIÓN CLIENTE		
0.00% Descuento	0.00								
						12% I.V.A.	187.20		
						TOTAL	1,747.20		

Oservaciones: Para las compras de los productos marcados con * necesitan el permiso del MDI

Figura A. IX.3. Proforma de la sacarina sódica

	DIRECCIÓN: TELÉFONOS E-MAIL:	JACOME GUAYASAMIN DIEGO Aguarico y San Pedro Chillo Jijon E8-19 3526109 - 3526092 - 0958968183 produquimicvalle@gmail.com http://www.produquimic.com.ec	RUC: 1719020883001
			PROFORMA
			N° 000004697

FECHA:	25 marzo 2021			
SOLICITANTE	GYPHEMPTESAI			
CORREO:	ventas@gypheptesai.com	TELÉFONO:		
CANT.	UNIDAD	DETALLE	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
1000,000	KILOS	SABOR MENTA LIQUIDO	17,00	17000,00
1,000	KILOS	SABOR MENTA LIQUIDO	25,00	25,00
1,000	KILOS	SABOR POLVO MENTA	40,00	40,00
1000,000	KILOS	SABOR POLVO MENTA	33,00	33000,00
TIEMPO DE ENTREGA:	INMEDIATA		SUBTOTAL 12%	50065,00
VALIDEZ DE LA OFERTA:	15 DÍAS		SUBTOTAL 0%	0,00
FORMA DE PAGO:	CONTADO		IVA 12%	6007,80
OBSERVACIONES:			TOTAL	56072,80

Atentamente,

KATHERIN QUISHPE

Figura A. IX.4. Proforma del saborizante



De alta calidad de grado farmacéutico de gluconato de **clorhexidina** 32449-92-6

\$35.00-\$75.00 / Kilogramo

1 Kilogramo (Orden mínima)

Anhui Graceman Imp. & Exp. Development Co., Ltd. >  13 YRS  

 ≤7h Tiempo de respuesta  US \$1,200,000+ in 23 Transacción (s)

1/6

Figura A. IX.5. Proforma de la clorhexidina

David Garcia vera
Distribuidora Garcia
 Dirección : Urdenor II mz 245 villa 10
 Cel:0984981910 - 0997002099
 Email: info@distribuidoragarcia.info - Hotmail: davidgarcia1121@hotmail.com
 www.distribuidoragarcia.info
 Guayaquil - Ecuador
 R.U.C. 0919840686001

COTIZACION NO. : AC-01255

Cliente : CRISTIAN ALEMIDA Ruc : Dirección : PANGUA Atención : Teléfono : 987510069	Fecha : 26/03/2021 Forma de Pago : Contado Validez de la Oferta : 15 Días Tiempo de Entrega : Asesor Comercial : Adriana Cueva
--	---

NO.	DESCRIPCION COMERCIAL	CANT	UNIT \$	TOTAL \$
1	TANQUE GLICERINA VEGETAL USP 270KLS *Cada caneca contiene 20 lts (5 gsl) de producto. *Cada galón contiene 4 lts de producto. <div style="text-align: center;">  </div>	1	\$ 457,00	\$ 457,00
COTIZACIÓN INCLUYE PRECIOS ESPECIALES				
1.- Productos químicos 100 % garantizados. 2.- Sellados y empacados. 3.- Costo de envío fuera de la ciudad de Guayaquil (A Convenir con el Comprador)* 4.- Pago efectivo, depósito o transferencia bancaria. 5.- Se despacha la mercadería previa confirmación de pago. 6.- Salida de la mercadería no hay devolución.				
Elaborado :		Aprobado :		1
ADRIANA CUEVA		SUB-TOTAL		\$ 457,00
		IVA 12%		\$ 54,84
		ENVIO		\$ 15,00
		TOTAL		\$ 526,84

Figura A. IX.6. Proforma de la glicerina

 建毅企业 JIANYI CORPORATION		SHANGHAI JIANYI MACHINERY CO.,LTD				
		TEL:0086-0512-57577268			FAX:0086-0512-57577268	
		Mobile(whatsapp,wechat):0086-18602119362			Contact: Max Wang	
		E-mail: onef@shjoyi.com			Website:www.jianyimachine.com	
We are very glad to offer the quotation as follows:						
No.	Name	Specification	QTY	Unit price (USD)	Total price (USD)	Picture
1	Storage tank	2000 gal Stainless steel 304 Single layer With manhole	1	7800	7800	
2	Storage tank	1000 gal Stainless steel 304 Single layer With manhole	1	4500	4500	
3	Storage tank	1500 gal Stainless steel 304 Single layer With manhole	1	6800	6800	

Figura A. IX.7. Proforma de tanques de almacenamiento

Wenzhou Leno Machinery Co.,Ltd

No.18 Luohe Road. LuCheng Disc. Wenzhou City.Zhe Jiang province.China

Mobile:+86 18957741100 Tel.:+86 -577-88550116 Fax:+0086-577-88550116
Email:Welson@lenotank.com

1200L Mixing Tank Quotation

TO:		Date:	08-04-2021			
FROM:	Welson.Chan		NO:	LN-20210408A		
No.	Item	Specification	QTY	Unit Price (EXW) USD	Total Price (EXW) USD	PIC
1	Mixing Tank	3000L	1	USD 12695	USD 12695	

Figura A. IX.8. Proforma de tanques de mezclado