

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE
LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS FERNANDO GAMBOA FLORES

ASESORADO POR EL ING. GABRIELA LUCÍA ARRIAGA DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha junio de 2011.

Luis Fernando Gamboa Flores



Guatemala, 27 de septiembre de 2011.
Ref.EPS.DOC.1238.09.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.


Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Fernando Gamboa Flores** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200011077**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

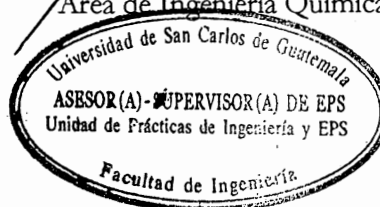
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Vineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





Guatemala, 27 de septiembre de 2011.
Ref.EPS.D.866.09.11.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

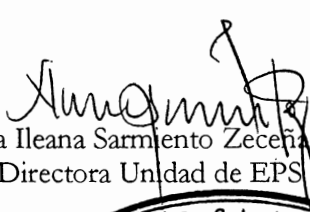
Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Fernando Gamboa Flores**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la **Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera**.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 30 de mayo de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.029.2012

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-275-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad EPS-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Fernando Gamboa Flores**

Identificado con número de carné: **2000-11077**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

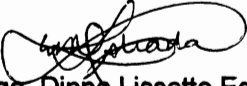
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE
LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera: **Gabriela Lucía Arreaga**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación


ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012


ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.096.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) del estudiante **LUIS FERNANDO GAMBOA FLORES** titulado: **"DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio de 2012

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

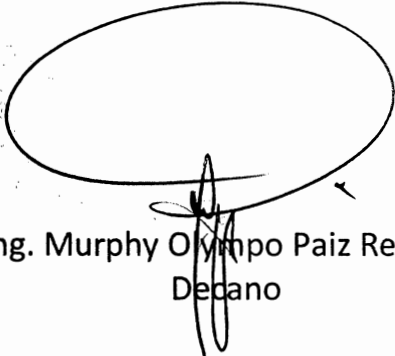


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 330.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO NECESARIO PARA LA MANUFACTURA DE LÍQUIDOS NO PENICILÍNICOS EN UNA PLANTA FARMACÉUTICA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Fernando Gamboa Flores**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 13 de julio de 2012.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre	Estela Gamboa, por el esfuerzo realizado a lo largo de mi vida para alcanzar esta meta, este triunfo es suyo.
Mi primo	Juan Pablo Contreras, por ser la inspiración para estar aquí el día de hoy.
Mi tía y prima	Blanca Gamboa y Mariana Contreras, por ser un apoyo durante toda mi carrera.
Mi segunda mamá	Herlinda Paau, por ser testigo del esfuerzo a lo largo de mi carrera y compartir mis vivencias dentro de la universidad.
Mi novia	Alma Barrientos, por complementar mi vida y compartir este triunfo tan anhelado, la amo.
Mi familia	Porque hoy ven este triunfo alcanzado. Gracias a todos.
Mis amigos	Por compartir momentos inolvidables en la vida que quedarán marcados y muy especialmente a Andrés Penados, Daniel Velásquez, Gabriela Arriaga, Gabriel González, Guillermo Pérez, Marco Antonio Pérez, Lesbia Ávila, Fernando Miranda, Mario González, Mariana Flores, Fernando Toje y Wendy Flores.

AGRADECIMIENTOS A:

VESA Laboratorios Por permitirme realizar este estudio con el cual hoy logro esta meta.

Inga. Lorena Pineda Por el apoyo y dedicación a lo largo de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Diseño de procesos.....	3
2.2. Agitación y mezclado de fluidos y necesidades de potencia.....	5
2.2.1. Objetivos de la agitación.....	6
2.2.2. Equipo para agitación.....	7
2.2.2.1. Agitador propulsor de tres aspas	7
2.2.2.2. Agitadores de paletas.....	7
2.2.2.3. Agitadores de turbina.....	8
2.2.2.4. Agitadores de banda helicoidal.....	8
2.3. Diseño del tanque de agitación.....	9
2.3.1. Equipo para agitación de líquidos.....	9
2.3.1.1. Selección del agitador e intervalos de viscosidad.....	9
2.3.1.2. Trayectoria del flujo en la agitación.....	10
2.3.1.3. Potencia consumida en los recipientes de agitación	11

2.4.	Casos especiales de coeficientes de transferencia de calor.....	12
2.4.1.	Transferencia de calor en recipientes agitados.....	12
2.4.2.	Recipientes con chaqueta de calentamiento.....	12
2.4.3.	Recipientes con serpentín de calentamiento.....	14
2.5.	Diseño de calderas.....	15
2.5.1.	Terminología de la capacidad o producción de calderas.....	16
2.5.2.	Bases fundamentales del diseño de calderas.....	16
2.6.	Cálculos de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor presente.....	17
2.6.1.	Interés utilizando ensayo y error manual	18
2.7.	Clasificación de beneficios, costos y beneficios negativos.....	19
2.7.1.	Cálculo de beneficios positivos y negativos y de costos para un proyecto único.....	20
3.	METODOLOGÍA	23
3.1.	Variable independientes.....	23
3.2.	Variables dependientes.....	23
3.3.	Delimitación del campo de estudio.....	23
3.4.	Recursos humanos disponibles.....	23
3.5.	Recursos materiales disponibles.....	23
3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	24
3.6.1.	Proyección de ventas.....	24
3.6.2.	Cálculo de la cantidad de litros a producir diario.....	25
3.6.3.	Cálculo de las dimensiones del tanque.....	25
3.6.4.	Cálculo de la potencia consumida en el tanque.....	28
3.6.5.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en un recipiente agitado y con chaqueta.....	29

3.6.6.	Determinación de la caldera adecuada.....	32
3.6.7.	Determinación de la tasa de retorno para un proyecto.....	38
3.6.8.	Análisis de costo beneficio para el proyecto.....	42
3.6.9.	Tiempo de recuperación de la inversión.....	43
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	44
4.	RESULTADOS	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
6.	LOGROS OBTENIDOS	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	59
	APÉNDICES.....	61
	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Dimensiones del área de mezclado.....	25
2.	Propuesta de tamaño de tanque de agitación enchaquetado.....	26
3.	Cálculo del volumen de un cono truncado.....	27
4.	Dimensiones del tanque enchaquetado.....	49

TABLAS

I.	Costos de tubería que une el tanque con la caldera.....	38
II.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 10\%$ y $+15\%$ en ventas.....	39
III.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 12\%$ y $+15\%$ en ventas.....	39
IV.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 10\%$ y normal en ventas.....	40
V.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 12\%$ y normal en ventas.....	41
VI.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 10\%$ y -10% en ventas.....	41
VII.	Cálculo saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i= 12\%$ y -10% en ventas.....	42
VIII.	Datos obtenidos del tanque de agitación enchaquetado.....	44
IX.	Resultados del tanque enchaquetado al variar volumen de ventas....	44
X.	Datos obtenidos de la caldera.....	46

XI.	Recopilación de los equipos obtenidos y su precio.....	47
XII.	Tamaño y descripciones resultantes de los equipos.....	48
XIII.	Datos económicos del proyecto.....	49

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
A	Área
BHP	Boiler horse power (caballos de fuerza de caldera)
BTU	British thermal unit (unidades térmicas británicas)
Q	Calor
ΔT	Cambio de temperatura
cm	Centímetros
cp	Centipoises
h_j	Coefficiente de transferencia de calor
h_{oi}	Coefficiente de transferencia de calor respecto de la pared
U_c	Coefficiente total de diseño
k	Conductividad térmica
ρ	Densidad
D_a	Diámetro de las aspas
D_T	Diámetro del tanque
C	Distancia entre el fondo del tanque y el aspa
h	Entalpía
R_D	Factor de obstrucción
$^{\circ}C$	Grado centígrado
$^{\circ}F$	Grado Fahrenheit
K	Grado Kelvin
W	Grosor del aspa
kJ	Kilo joule

kg	Kilogramo
lb	Libras
L	Litros
M	Masa
m³	Metro cúbico
m	Metros
ml	Mililitros
N_p	Número de potencia
N	Número de revoluciones/tiempo
N_{Re}	Número de Reynolds
π	Pi (3.14159)
%	Porcentaje
P	Potencia
R	Radio mayor de una figura geométrica
r	Radio menor de una figura geométrica
s	Segundos
μ	Viscosidad
μ_w	Viscosidad del agua a determinada temperatura
V	Volumen

GLOSARIO

Absorción	Es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con la cual forma solución (un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida).
Aleación	Es una mezcla homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
Capital	Es una cantidad de dinero que se presta o se impone, de la cual se distingue el interés cobrado por el préstamo.
Condensado	Cambio de la materia de estado gaseoso a estado líquido.
Convección	Es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.
Correlación	Indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias.

Corrosión	Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
Costos	Es el valor monetario de los consumos de factores que supone el ejercicio de una actividad económica destinada a la producción de un bien o servicio.
Depreciación	Una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. Esta depreciación puede derivarse de tres razones principales: el desgaste debido al uso, el paso del tiempo y la obsolescencia.
Diagrama de flujo	Es una representación gráfica de un proceso. Estos diagramas utilizan símbolos con significados bien definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de término.
Estándar	Un modelo que se sigue para realizar un proceso o una guía que se sigue para no desviarse de un lugar al que se desea llegar.
Homogeneidad	Es aquel sistema que está formado por una sola fase, es decir, que tiene igual valor de propiedades intensivas en todos sus puntos o de una mezcla de varias sustancias que da como resultado una sustancia de estructura y composición uniforme.

Humedad relativa	Cantidad de vapor de agua presente en el aire.
Jarabe	Son líquidos de consistencia viscosa que por lo general contienen soluciones concentradas de azúcares, como la sacarosa, en agua o en otro líquido.
Materia	Es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, tiene una energía medible y está sujeto a cambios en el tiempo y a interacciones con aparatos de medida.
Número de Reynolds	Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte, para caracterizar el movimiento de un fluido.
Serpentín	Tubo de forma frecuentemente espiral, utilizado comúnmente para enfriar vapores provenientes de la destilación en un calderín y así condensarlos en forma líquida. Suele ser de vidrio, cobre u otro material que conduzca el calor fácilmente.
Turbulencia	Es un régimen de flujo caracterizado por baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio-temporales rápidos de presión y velocidad.
Viscosidad	Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

RESUMEN

La implementación de un diseño de las áreas y el equipo necesario para la manufactura de jarabes y suspensiones, se realizó dimensionando con base en la cantidad proyectada de ventas de los productos, capacidad de la planta de producción, y propiedades físicas de los jarabes y suspensiones, aplicando los conocimientos de balances de materia y energía, flujo de fluidos y transferencia de calor, se propuso una caldera, la tubería necesaria para conectar el tanque con la caldera, los costos de propano para la operación de la caldera y un tanque de agitación enchaquetado.

Se trataron tres diferentes tipos de volúmenes de ventas en los cuales se trató el caso con un 10% menos de ventas, las ventas proyectadas y un incremento de 15% en las ventas donde se determinó el comportamiento del tamaño de los equipos con sus costos de operación, previendo que la empresa pueda operar con todas las capacidades y evitar que los equipos sean obsoletos con un crecimiento; para los tres casos no varió significativamente el tamaño de los diseños, siendo factible la compra de los equipos descritos en el presente informe, obteniendo por métodos económicos dicha factibilidad por medio de la tasa interna de retorno y el factor beneficio costo del proyecto; el tiempo de recuperación de la inversión es de 10.5 meses, manteniendo el volumen de ventas utilizado.

Los equipos resultantes de los cálculos se adecuaron a equipos ya existentes comercialmente, que se encuentren dentro los rangos necesarios para la operación de la planta, dado que requiere menos inversión en comparación con uno fabricado a la medida.

OBJETIVOS

General

Diseñar y dimensionar el equipo necesario para la manufactura de líquidos no penicilínicos utilizando la proyección estimada de ventas, en una empresa farmacéutica.

Específicos

1. Determinar el equipo necesario para la manufactura de líquidos no penicilínicos.
2. Calcular el tamaño adecuado de los equipos para las operaciones de manufactura, variando el volumen de ventas en función del crecimiento y decrecimiento de éstas.
3. Determinar el costo del proyecto planteado y el tiempo de retorno de la inversión y verificar que ambos sean factibles a la empresa para su implementación.

INTRODUCCIÓN

La realización del diseño del área de manufactura de líquidos busca satisfacer las necesidades de la planta en cuanto a la implementación de una nueva línea de productos entre los cuales se encuentran jarabes y suspensiones.

Con base en las proyecciones de ventas, se realizaron los cálculos para determinar el equipo necesario, así como su dimensionamiento y ubicación dentro de las instalaciones.

Los equipos deben adecuarse a las dimensiones de planta, así como cumplir con el flujo adecuado para la fabricación de los productos y deberán estar contruídos con materiales que no interactúen con las fórmulas.

Los costos de los equipos serán sometidos a un análisis económico para determinar la factibilidad de la inversión y el tiempo de retorno de ésta.

Se presentan los conceptos necesarios para realizar los cálculos pertinentes abarcando los temas de mezclado, tipos de agitadores, transferencia de calor y dimensionamiento de calderas, todos los temas contienen las fórmulas necesarias que se relacionan para la obtención de los resultados.

1. ANTECEDENTES

La empresa en estudio se dedica desde hace 18 años, por medio de la visión de los dueños, a la dilución de alcohol etílico a 55%, 70% y 88% para cubrir el segmento farmacéutico de productos de desinfección de venta libre, producto que cuenta con un desnaturalizante para evitar el consumo humano, convirtiéndose así en la empresa líder dentro de este segmento en las ventas de dicho producto.

Luego de cubrir el mercado nacional, la empresa incursiona en el área de líquidos incorporando cuatro nuevos productos como agua oxigenada, alcohol isopropílico para uso en hospitales, timerosal 0.1 % y mercurocromo.

Después del giro que toma la empresa, se emprende la idea de fabricar jarabes y suspensiones de uso popular en el mercado, que cubran necesidades diarias tanto de vitaminas, minerales y fórmulas naturales.

En el transcurso de noviembre del 2008 y junio de 2009, se realizaron las ampliaciones a la infraestructura para el desarrollo de las áreas de líquidos no penicilínicos como un giro para el aumento de las ventas y la ampliación de la línea de productos que ofrecerá la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Diseño de procesos

Dentro de la estrategia general de ingeniería de procesos, el diseño de procesos puede considerarse constituido por tres etapas:

- Síntesis de procesos: es la etapa en la cual se crea la estructura básica del diagrama de flujo; esto es, se seleccionan los equipos que serán utilizados, con sus correspondientes interconexiones, y se establecen los valores iniciales de las condiciones de operación.
- Simulación de procesos: es la etapa en la cual se requiere solucionar balances de materia y energía para un proceso estacionario, calcular dimensiones y costos de los equipos y efectuar una evaluación económica preliminar del proceso.
- La optimización: puede ser paramétrica, modificando parámetros tales como presión, temperatura o estructural cuando se hacen modificaciones al diagrama de flujo involucrando a los equipos y/o sus interconexiones.

El resultado de estas tres etapas es el diagrama de flujo de proceso en una forma no definitiva. Aunque el propósito de una planta química de proceso es iniciado por los ingenieros químicos, su construcción y diseño completo requieren de los aportes de otros especialistas como mecánico estructural, eléctrico, y los ingenieros de instrumentación.

En los proyectos grandes todas estas actividades están correlacionadas por un trabajo de diseño o proyecto en artículos individuales de equipo.

Las empresas de ingeniería siempre están sujetas a consideraciones monetarias y se busca un equilibrio entre los costos fijos y de operación. En los términos más simples, los costos fijos incluyen la depreciación de la inversión más los intereses sobre el capital de trabajo. Los costos de operación incluyen la mano de obra, materias primas, servicios, mantenimiento y gastos generales que consiste a su vez de las ventas administrativas y los costos de investigación.

Una gran cantidad de normas se ha desarrollado a lo largo de los años para asegurar el diseño seguro y económico, fabricación y ensayo de equipos, estructuras y materiales. Las grandes empresas de fabricación suelen mantener conjuntos individuales de normas con el fin de mantener la continuidad del diseño y simplificar el mantenimiento de instalaciones.

Típico de los muchos de miles de artículos que están estandarizados en el campo de la ingeniería son las limitaciones en el tamaño y la pared las especificaciones, composiciones, aleaciones y estipulación de los factores de seguridad aplicados a los puntos fuertes de la construcción materiales y procedimientos de prueba para muchos tipos de materiales, etc.

Antes de que un diseño de procesos químicos pueda ser adecuadamente puesto en marcha, deben clasificarse los datos necesarios en datos de diseño específico y básico. Como específicos incluyen:

- Productos necesarios: sus composiciones, cantidades, grado de pureza, toxicidad, temperaturas, presiones y los valores monetarios.

- Las materias primas disponibles: sus composiciones, cantidades, toxicidad, temperaturas, presiones, los valores monetarios, y todos los propiedades físicas pertinentes a menos que sean estándar y puede establecerse a partir de las correlaciones.
- La vida y corrosión de los equipos.

Los datos básicos de ingeniería incluyen:

- Características y valores de los combustibles líquidos y gaseosos que se van a ser utilizados.
- La unidad de vapor y condensado: media presiones y temperaturas y sus fluctuaciones en cada nivel, la cantidad disponible, el grado de recuperación de condensado, y los costos unitarios.
- Potencia eléctrica: tensiones permitidas para los instrumentos, la iluminación y varios tamaños del conductor, la capacidad del transformador, la necesidad de emergencia del generador y los costos unitarios.
- Aire comprimido: la capacidad y las presiones de la planta, el instrumento aire y el instrumento secador de aire.

2.2. Agitación y mezclado de fluidos y necesidades de potencia

En las industrias químicas de procesos y en otras semejantes, muchas operaciones dependen en alto grado de la agitación y mezclado eficaz de los fluidos.

Por lo general, la agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado implica partir de dos fases individuales, tales como: un fluido y un sólido pulverizado o dos fluidos, y lograr que ambas fases se distribuyan al azar entre sí.

2.2.1. Objetivos de la agitación

Existen varios objetivos en la agitación de fluidos y algunos de ellos son:

- Mezclado de dos líquidos miscibles, tales como alcohol etílico y agua.
- Disolución de sólidos en líquidos, tales como sal en agua.
- Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas, como en el caso del oxígeno del aire en una suspensión de microorganismos para la fermentación, o para el proceso de activación de lodos en el tratamiento de aguas de desperdicio.
- Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido, tal como en la hidrogenación catalítica de un líquido, donde las partículas del catalizador sólido y las burbujas de hidrógeno se dispersan en un líquido.
- Agitación de un fluido para aumentar la transferencia de calor entre dicho fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente.

2.2.2. Equipo para agitación

Generalmente, los líquidos se agitan en un recipiente cilíndrico que puede estar cerrado o abierto. La altura del líquido debe equivaler en forma aproximada al diámetro del tanque. Un motor eléctrico impulsa al propulsor agitador, que está montado en un eje.

2.2.2.1. Agitador propulsor de tres aspas

Existen varios tipos de agitadores de uso común. Uno de los más conocidos es el agitador de tres aspas de tipo marino, similar a la hélice de un motor fuera de borda para lanchas.

El agitador puede ser móvil para introducirlo lateralmente en el tanque o estar montado en la pared de un tanque abierto, en posición desplazada del centro. Estos agitadores giran a velocidades de 400 a 1750 rpm (revoluciones por minuto) y son propios para líquidos de baja viscosidad. Este tipo de patrón de flujo se llama axial, ya que el fluido fluye axialmente hacia abajo en el eje central o eje de la hélice y hacia arriba a los lados del tanque.

2.2.2.2. Agitadores de paletas

Para velocidades de 20 a 200 rpm se emplean diversos tipos de agitadores de paletas. Se tienen sistemas de dos a cuatro paletas planas.

La longitud total del propulsor de paletas mide del 60 al 80% del diámetro del tanque y la anchura de la paleta es de 1/6 a 1/10 de su longitud. A bajas velocidades se consigue una agitación suave en un recipiente sin deflectores.

A velocidades más altas se usan deflectores, porque sin ellos, el líquido simplemente hace remolinos y en realidad casi no se mezcla.

El agitador de paletas no es efectivo para sólidos en suspensión porque, aunque hay un buen flujo radial, hay poco flujo axial o vertical. Se suele usar una paleta de ancla o compuerta, la cual barre o raspa las paredes del tanque y a veces su fondo. Se emplea con líquidos viscosos que pueden generar depósitos en las paredes y para mejorar la transferencia de calor hacia las mismas, pero no es buen mezclador. Se suele usar para procesar pastas de almidón, pinturas, adhesivos y cosméticos.

2.2.2.3. Agitadores de turbina

Cuando se procesan líquidos con amplia diversidad de viscosidades se usan turbinas semejantes a un agitador de paletas múltiples con aspas más cortas. El diámetro de una turbina suele medir del 30 al 50% del diámetro del tanque. Normalmente las turbinas tienen cuatro o seis aspas. Para dispersar un gas en un líquido, el gas puede hacerse penetrar justo por debajo del propulsor de la turbina en su eje; de esa manera las paletas dispersan el gas en muchas burbujas finas. Con la turbina de hojas inclinadas con las aspas a 45°, se imparte cierto flujo axial, de modo que hay una combinación de flujos radial y axial. Este tipo es útil para sólidos en suspensión, ya que las corrientes fluyen hacia abajo y luego levantan los sólidos depositados.

2.2.2.4. Agitadores de banda helicoidal

Este tipo de agitadores se usa para soluciones sumamente viscosas y opera a pocas rpm, en la región laminar. La banda se forma en una trayectoria helicoidal y está unida a un eje central.

El líquido se mueve en una trayectoria de flujo tortuosa hacia abajo en el centro y hacia arriba a los lados, con movimiento de giro. Otros tipos semejantes son el de banda helicoidal doble y con tornillo.

2.3. Diseño del tanque de agitación

El diseño del tanque depende de la disposición de los impulsores, pantallas y otros factores internos que influyen en la cantidad de energía necesaria para lograr la agitación o la calidad de la mezcla.

Las disposiciones internas dependerán de los objetivos de la operación: si se trata de mantener homogeneidad de una mezcla de reacción, mantener un sólido suspendido o un gas disperso o para mejorar la transferencia de calor o masa.

2.3.1. Equipo para agitación de líquidos

Los líquidos se agitan en un recipiente cilíndrico que puede estar cerrado o abierto. Por medio de un propulsor sujeto a un motor eléctrico se realiza el mezclado del líquido, el cual debe estar colocado en un eje específico para optimizar la agitación.

2.3.1.1. Selección del agitador e intervalos de viscosidad

La viscosidad del fluido es uno de los diferentes factores que influyen en la selección del tipo de agitador. En seguida se dan algunas indicaciones de los intervalos de viscosidad de esos agitadores: los propulsores se usan para viscosidades del fluido inferiores a $3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (3000 cp).

Las turbinas pueden usarse por debajo de unos 100 Pa•s (100000 cp); las paletas modificadas como los agitadores tipo ancla se pueden usar desde más de 50 Pa•s hasta unos 500 Pa•s (500000 cp); los agitadores helicoidales y de tipo banda se suelen usar desde arriba de este intervalo hasta cerca de 1000 Pa•s.

2.3.1.2. Trayectoria del flujo en la agitación

La trayectoria del flujo en un tanque de agitación depende de las propiedades del fluido, de la geometría del tanque, del tipo de deflectores y del propio agitador.

Si el propulsor u otro agitador va montado verticalmente en el centro del tanque sin deflectores, casi siempre se desarrolla una trayectoria de flujo tipo remolino. Esto suele ser indeseable debido a que se atrapa aire, se desarrolla un vórtice considerable y ocurren oleadas y otros efectos perjudiciales, en especial cuando se opera a velocidades altas. Para evitar esto, puede usarse una posición angular desplazada del centro cuando se trata de propulsores de baja potencia. Sin embargo, para agitación vigorosa a potencias altas, las fuerzas no equilibradas pueden ser severas y limitar el uso de esas potencias.

Para lograr una agitación vigorosa con agitadores verticales, se acostumbra el empleo de deflectores para reducir el tamaño del remolino y obtener así un buen mezclado. Casi siempre basta con cuatro deflectores, que tengan anchura de cerca de 1/12 del diámetro del tanque para turbinas y propulsores. El impulsor de la turbina fuerza al líquido en dirección radial hasta las paredes donde se divide, en una porción que fluye hacia arriba, hasta tocar la superficie para regresar hacia el propulsor; mientras la otra porción, fluye hacia abajo.

Algunas veces, cuando se trata de tanques con grandes profundidades de líquido en comparación con el diámetro del tanque, se montan dos o tres propulsores en el mismo eje, y cada uno actúa como un mezclador individual. El propulsor inferior está cerca de 1.0 diámetro del propulsor por arriba del fondo del tanque.

En un sistema de agitación, el gasto volumétrico del fluido que mueve el impulsor (esto es, la velocidad de circulación), es un factor muy importante para asegurarse de agitar la totalidad del volumen del mezclador en tiempo razonable. Además, la turbulencia en la corriente de agitación es decisiva para el mezclado, puesto que arrastra al material hacia la corriente.

Algunos sistemas de agitación requieren una alta turbulencia con velocidades de circulación bajas; otros se basan en turbulencias bajas con altas velocidades de circulación. Esto casi siempre depende de los tipos de fluidos que se mezclan y del grado de mezclado que se solicite.

2.3.1.3. Potencia consumida en los recipientes de agitación

Un factor trascendental en el diseño de un recipiente de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia. La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor N'_{Re} .

El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido ρ , su viscosidad μ , la velocidad de rotación N y el diámetro del impulsor D_a , por medio de gráficas de número de potencia N_p en función de N'_{Re} .

2.4. Casos especiales de coeficientes de transferencia de calor

Muchos procesos químicos y biológicos requieren frecuentemente del uso de recipientes agitados. Los líquidos suelen agitarse en recipientes cilíndricos con un propulsor montado en un eje e impulsado por un motor eléctrico.

2.4.1. Transferencia de calor en recipientes agitados

Con mucha frecuencia es necesario enfriar o calentar el contenido del recipiente durante la agitación.

Esto suele hacerse con superficies de transferencia de calor, que pueden tener forma de chaquetas de enfriamiento o de calentamiento en las paredes, o serpentines de tubería sumergidos en el líquido.

2.4.2. Recipientes con chaqueta de calentamiento

Cuando se trata de un calentamiento, puede emplearse vapor de agua, que se condensa en el interior de la chaqueta y sale por el fondo. El recipiente está equipado con un agitador y, en algunos casos, también con deflectores. Las correlaciones para el coeficiente de transferencia de calor entre líquidos newtonianos agitados en el interior de un recipiente y las paredes de la chaqueta tienen la siguiente forma:

$$\frac{hD_t}{k} = a \left(\frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \right)^b \left(\frac{c_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor del líquido agitado a la pared interior en $W/m^2 \cdot K$; D_t es el diámetro interior del tanque en m, k es la conductividad térmica en $W/m \cdot K$; D_a es el diámetro del agitador en m; N es la velocidad de rotación en revoluciones por seg; ρ es la densidad del fluido en kg/m^3 y μ es la viscosidad en $Pa \cdot s$. Todas las propiedades físicas del líquido se evalúan a la temperatura general del mismo, excepto μ_w que corresponde a la temperatura de pared T_w . A continuación se mencionan algunas de las correlaciones existentes y el intervalo del número de Reynolds:

- Agitador de paletas sin deflectores:

$$a = 0.36, b = 2/3, m = 0.21, N'_{Re} = 300 \text{ a } 3 \times 10^5$$

- Agitador de turbina de paletas planas sin deflectores:

$$a = 0.54, b = 2/3, m = 0.14, N'_{Re} = 30 \text{ a } 3 \times 10^5$$

- Agitador de turbina con paletas planas y deflectores:

$$a = 0.74, b = 2/3, m = 0.14, N'_{Re} = 500 \text{ a } 3 \times 10^5$$

- Agitador tipo ancla sin deflector:

$$a = 1.0, b = 1/2, m = 0.18, N'_{Re} = 10 \text{ a } 300$$

$$a = 0.36, b = 2/3, m = 0.18, N'_{Re} = 300 \text{ a } 4 \times 10^4$$

- Agitador de bandas helicoidales sin deflectores

$$a = 0.633, b = 1/2, m = 0.18, N'_{Re} = 8 \text{ a } 10^5$$

2.4.3. Recipientes con serpentín de calentamiento

A continuación se describen las correlaciones para el coeficiente de transferencia de calor a la superficie externa de los serpentines, en recipientes agitados por diversos sistemas.

Para un agitador de paletas sin deflectores:

$$\frac{hD_t}{k} = 0.87 \left(\frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \right)^{0.62} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.4}$$

Esta expresión es válida para un número de Reynolds de 300 a 4×10^5 .

Cuando el serpentín de calentamiento o enfriamiento tiene la forma de deflectores de tubos verticales con turbina de paletas planas, puede usarse la siguiente correlación:

$$\frac{hD_o}{k} = 0.09 \left(\frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \right)^{0.65} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{D_a}{D_t} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{2}{n_b} \right)^{0.2} \left(\frac{\mu}{\mu_f} \right)^{0.4}$$

donde D_o es el diámetro externo del tubo del serpentín en m; n_b es el número de tubos deflectores verticales y μ_f es la viscosidad a la temperatura media de la película.

Perry y Green (1984) proporcionan valores típicos para coeficientes generales de transferencia de calor U en serpentines sumergidos en diversos líquidos, en recipientes agitados y no agitados.

2.5. Diseño de calderas

Los generadores de vapor se planean para producir el vapor que se requiere en el proceso, para procesos con generación de energía eléctrica y a veces, solo para generación de energía eléctrica. En cualquier caso, el incentivo primario es diseñar la caldera más eficiente y confiable con el mínimo costo. Existen muchos factores que influyen en el diseño y selección del tipo de generador de vapor.

Las siguientes definiciones de caldera generalmente se encuentran en forma de leyes estatales y códigos de caldera referentes a requisitos de instalación o inspección.

Una caldera es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible. Una caldera de potencia usa vapor de agua o de fluido que trabaja por encima y excede el tamaño de una caldera miniatura; una caldera de baja presión se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psig.

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido.

Generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básicamente lo mismo.

2.5.1. Terminología de la capacidad o producción de calderas

La capacidad o la potencia de caldera puede expresarse en HP, Kg/hora, y para calderas de centrales, la capacidad de generación tan grande puede darse en megavatios de electricidad. Las calderas de calefacción pueden tasarse en HP, libras/hora y BTU/hora, pero sus capacidades son también descritas en términos relacionados con la superficie de transferencia térmica necesaria para un espacio.

Un caballo de caldera se define como la evaporación en términos de vapor saturado seco de 34.5 libras/hora de agua a temperatura de 100°C.

2.5.2. Bases fundamentales del diseño de calderas

El diseño de calderas incluye la interacción de muchas variables: circulación de vapor de agua, características del combustible, sistemas de combustión e introducción de calor y transferencia de calor. El límite del horno es uno de los componentes más importantes de un generador de vapor y debe diseñarse en forma conservadora para asegurar la alta disponibilidad de la caldera.

La configuración del horno y sus dimensiones se determinan de acuerdo con los requerimientos de combustión, las características del combustible, los patrones de emisión de algunas sustancias específicas y la necesidad de

proporcionar un flujo uniforme de gas y temperatura al entrar a las superficies de absorción de calor en la zona de convección para reducir al mínimo los depósitos de cenizas y las temperaturas del metal sobrecalentado.

2.6. Cálculos de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor presente

Para entender con mayor claridad los cálculos de la tasa de retorno, recordar que la base para los cálculos de la ingeniería económica es la equivalencia, o el valor del dinero en tiempo. En los cálculos de la tasa de retorno, el objetivo es encontrar la tasa de interés i a la cual la cantidad presente y la cantidad futura son equivalentes. La columna vertebral del método de la tasa de retorno es la relación tasa de rendimiento. Puesto que, en general, en un proyecto dado, hay entradas y desembolsos involucrados, puede encontrarse un valor de i^* ; además, la tasa de retorno siempre será mayor que cero si la cantidad total de los ingresos es mayor que la cantidad total de los desembolsos, cuando se considera el valor del dinero en relación con el tiempo.

Debe ser evidente que las relaciones de la tasa de retorno son apenas una reordenación de una ecuación de valor presente. Las únicas diferencias están en lo que está dado y en lo que se busca. Hay dos formas comunes para determinar i^* una vez se ha establecido la relación VP: la solución manual a través del método de ensayo y error o la solución de computadora través de la hoja de cálculo. La segunda es más rápida, pero la primera ayuda a entender mejor la forma como trabajan los cálculos de tasa de rendimiento.

2.6.1. Interés utilizando ensayo y error manual

El procedimiento general empleado para calcular una tasa de retorno utilizando la ecuación de valor presente y cálculos manuales de ensayo y error es el siguiente:

- Trazar un diagrama de flujo de efectivo.
- Plantear la ecuación de la tasa de retorno
- Seleccionar valores de i mediante ensayo y error hasta que la ecuación esté equilibrada.

Al utilizar el método de ensayo y error para determinar i^* , es conveniente acercarse bastante a la respuesta correcta en el primer ensayo. Si los flujos de efectivo se combinan, de tal manera que el ingreso y los desembolsos pueden estar representados por una solución tal como P/F o P/A , es posible buscar (en las tablas) la tasa de interés correspondiente al valor de ese factor.

El problema, entonces, es combinar los flujos de efectivo en el formato de uno solo de los factores estándar, lo cual puede hacerse mediante el siguiente procedimiento:

- Convertir todos los desembolsos en cantidades bien sea únicas (P o F) o cantidades uniformes (A), al ignorarse el valor del dinero en el tiempo. El esquema seleccionado para el movimiento de los flujos de efectivo debe ser aquel que minimiza el error causado por ignorar el valor del dinero en el tiempo.

- Convertir todas las entradas en valores bien sea únicos o uniformes.
- Después de haber combinado los desembolsos y las entradas, de manera que se aplique bien sea el formato P/E P/A o A/F, se deben utilizar las tablas de interés para encontrar la tasa de interés aproximada a la cual se satisface el valor P/E P/A o A/F, respectivamente, para el valor apropiado de n . La tasa obtenida es una buena cifra aproximada para utilizar en el primer ensayo. Es importante reconocer que la tasa de retorno obtenida en esta forma es solamente una estimación de la tasa de retorno real, ya que ignora el valor del dinero en el tiempo.

2.7. Clasificación de beneficios, costos y beneficios negativos

El método de selección de alternativas más comúnmente utilizado por las agencias gubernamentales federales, estatales, provinciales y municipales para analizar la deseabilidad de los proyectos de obras públicas es la razón beneficio/costo (B/C).

Como su nombre lo sugiere, el método de análisis B/C está basado en la razón de los beneficios a los costos, asociada con un proyecto particular.

Se considera que un proyecto es atractivo cuando los beneficios derivados de su implementación y reducidos por los beneficios negativos esperados, exceden sus costos asociados. Por tanto, el primer paso en un análisis B/C es determinar cuáles de los elementos son beneficios positivos, negativos y costos. Se pueden utilizar las siguientes descripciones que deben ser expresadas en términos monetarios:

- Beneficios (B): ventajas experimentadas por el propietario.

- Beneficios negativos (BN): desventajas para el propietario cuando el proyecto bajo consideración es implementado.
- Costos (C): gastos anticipados por construcción, operación, mantenimiento, etc., menos cualquier valor de salvamento.

2.7.1. Cálculo de beneficios positivos y negativos y de costos para un proyecto único

Antes de calcular una razón B/C, todos los beneficios positivos, negativos y costos identificados, deben convertirse a unidades comunes en dólares. La unidad puede ser un valor presente, valor anual o valor futuro equivalente, pero todos deben estar expresados en las mismas unidades. Puede utilizarse cualquier método de cálculo VP, VA o VF siempre que se sigan los procedimientos aprendidos hasta ahora.

Una vez que tanto el numerador (beneficios positivos y negativos) como el denominador (costos) están expresados en las mismas unidades, puede aplicarse cualquiera de las versiones siguientes de la razón B/C.

La razón convencional B/C se calcula de la siguiente manera:

$$B/C = (\text{beneficios positivos} - \text{beneficios negativos}) / \text{costos}$$

Una razón B/C mayor o igual que 1.0 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso. En los análisis B/C, los costos no están precedidos por un signo menos. Los beneficios negativos se restan de los positivos, no se agregan a los costos. El valor de B/C puede cambiar de manera considerable si los beneficios negativos se toman como costos.

La razón B/C modificada, que está ganando adeptos, incluye los costos de mantenimiento y operación (M&O) en el numerador, tratándolos en una forma similar a los beneficios negativos. El denominador, entonces, incluye solamente el costo de inversión inicial. Una vez que todas las cantidades están expresadas en términos de VP, VA o VF, la razón B/C modificada se calcula como: $BC \text{ modificada} = (\text{beneficios positivos} - \text{beneficios negativos} - \text{costos M\&O}) / \text{inversión inicial}$.

Como se consideró antes, cualquier valor de salvamento está incluido en el denominador como un costo negativo. Obviamente, la razón B/C modificada producirá un valor diferente que el arrojado por el método convencional B/C. Sin embargo, como sucede con los beneficios negativos, el procedimiento modificado puede cambiar la magnitud de la razón pero no la decisión de aceptar o de rechazar.

La medida de la diferencia entre beneficios y costos del valor, que no involucra una razón, está basada en la diferencia entre el VP, el VA o el VF de los beneficios y de los costos, es decir, $B - C$. Si $(B - C) \geq 0$, el proyecto es aceptable. Este método tiene la ventaja obvia de eliminar las discrepancias antes observadas cuando los beneficios negativos se consideran como costos, puesto que B representa los beneficios netos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables independientes

70,000 unidades mensuales de 240 mililitros

3.2. Variables dependientes

- Tamaño de tanque enchaquetado con agitación
- Tamaño de caldera

3.3. Delimitación del campo de estudio

40 m² ubicados en el segundo nivel

3.4. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Luis Fernando Gamboa
- Gerente General Lab. VESA: Lic. Byron Velásquez Salguero
- Director EIQ: Ing. Williams Álvarez
- Director EPS: Inga. Norma Sarmiento
- Asesor docente: Inga. Lorena Pineda

3.5. Recursos materiales disponibles

- Planta de tratamiento de agua
- Mapa de las instalaciones

3.6. Técnica cualitativa o cuantitativa

Con base en las fórmulas propuestas en el marco teórico se determinaron los cálculos detallados a continuación para el proyecto propuesto.

3.6.1. Proyección de ventas:

Para pronosticar un análisis de riesgo de la inversión, se toma la cantidad proyectada normal, con un 15% más y con un 10% menos en las ventas.

- 70 000 unidades mensuales de 240 mililitros
- 70 000 unidades * 0,240 L / unidad = 16 800 litros de producto
- Considerando un crecimiento de 15% (80 500 L) se tiene 19 320 litros
- Considerando un decrecimiento de 10 % (63 000 L) se tiene 16 800 litros
- Rango de propiedades físicas de los productos a fabricar

$$\mu = 50 - 500 \text{ cp}$$

$$\rho = 1,15 - 1,40 \text{ g / ml}$$

- Tomando la viscosidad y la densidad más alta para los cálculos se convierten al sistema internacional

$$500 \text{ cp} \approx 0,5 \text{ Kg/m}\cdot\text{s} \quad \text{y} \quad 1,40 \text{ g/ml} \approx 1\,400 \text{ Kg/m}^3$$

3.6.2. Cálculo de la cantidad de litros a producir diario

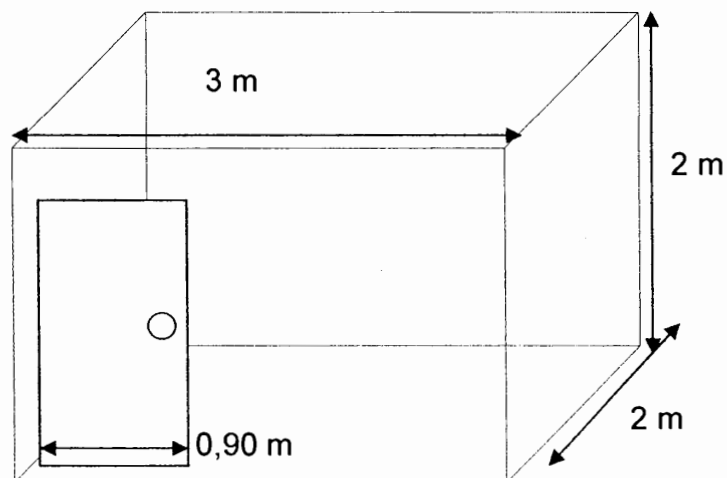
- 16 800 L teniendo un mes con 22 días hábiles de 8 horas cada uno
- $16\ 800 \text{ litros} / 22 \text{ días} = 763,64 \text{ l/día}$
- $15\ 120 \text{ litros} / 22 \text{ días} = 687,27 \text{ l/día}$

Asumiendo que se hace dos preparaciones por día se necesita un tanque de 440 L (proyección +15%), 380 L (proyección normal) y 345 L (proyección - 10%). Al volumen se agrega un 10% para tener una agitación adecuada y evitar desbordes del líquido. Quedando de 484 L, 420L y 380 L

3.6.3. Cálculo de las dimensiones del tanque

Según las dimensiones del área de mezclado que influyen en el diseño se tiene lo siguiente:

Figura 1. Dimensiones del área de mezclado



Fuente: elaboración propia.

Como limitante se tiene el ancho de la puerta el cual es de 90 cm; por lo cual el ancho del tanque debe ser igual o menor que esta cantidad. Tomando como punto de partida 75 centímetros = D_t , se calcula el diámetro del impulsor:

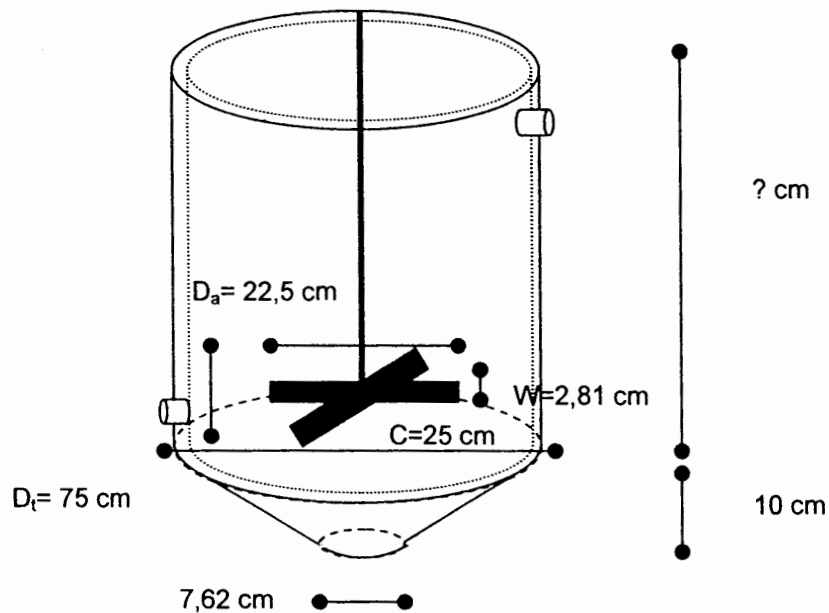
$$\frac{D_a}{D_t} = 0.3 \text{ a } 0.5$$

Tomando los 0.3 del rango de cálculo se tiene:

$$D_a = D_t * 0,3 = 75 \text{ cm} * 0,3 = 22,5 \text{ cm} \approx 0,225 \text{ m}$$

Se requiere una base cónica para evitar acumulación en el fondo de producto, el cual será de 10 cm de altura y salida en el fondo de 3 pulg $\approx 7,62$ cm.

Figura 2. Propuesta de tamaño de tanque de agitación enchaquetado



Fuente: elaboración propia.

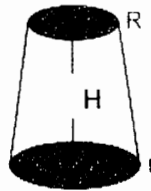
Donde:

- $C = D_t / 3 = 75 / 3 = 25 \text{ cm}$
- $W = D_a / 8 = 2.81 \text{ cm}$

Calculando el volumen que contiene el cono truncado

Figura 3. **Cálculo del volumen de un cono truncado**

$$V = \pi(R^2 + r^2)H / 2$$



Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 162.

- $V = \pi * (37,5^2 + 3,81^2) * 10 / 2 = 22\,317 \text{ cm}^3 \approx 22,32 \text{ L}$

Por lo tanto a los litros del tanque se le restan 22,32 litros del cono para hacer el cálculo del cilindro:

$$\text{Volumen cilindro} = \pi r^2 H$$

$$\text{Volumen cilindro} = 484 - 22,32 = 461,68 \text{ L (+15\% en ventas)}$$

$$\text{Volumen cilindro} = 420 - 22,32 = 397,68 \text{ L (normal en ventas)}$$

$$\text{Volumen cilindro} = 380 - 22,32 = 357,68 \text{ L (-10\% en ventas)}$$

$$461,68 \text{ L} * 1\,000 \text{ ml/1L} = 461,680 \text{ ml (+15\% en ventas) costo } \$1\,800,00$$

$$397,68 \text{ L} * 1\,000 \text{ ml/1L} = 397,680 \text{ ml (normal en ventas) costo } \$1\,650,00$$

$$357,68 \text{ L} * 1\,000 \text{ ml/1L} = 357,680 \text{ ml (-10\% en ventas) costo } \$1\,550,00$$

$$461,680 \text{ ml} / \pi(37,5 \text{ cm})^2 = 104,5 \text{ cm} \approx 105 \text{ cm (+15\% en ventas)}$$

$$397,680 \text{ ml} / \pi(37,5 \text{ cm})^2 = 90,01 \text{ cm} \approx 90 \text{ cm (normal en ventas)}$$

$$357,680 \text{ ml} / \pi(37,5 \text{ cm})^2 = 80,96 \text{ cm} \approx 81 \text{ cm (-10\% en ventas)}$$

Por tanto altura del tanque = altura del cono + altura del cilindro:

$$H = 10 \text{ cm} + 105 \text{ cm} = 115 \text{ cm (+15\% en ventas)}$$

$$H = 10 \text{ cm} + 90 \text{ cm} = 100 \text{ cm (normal en ventas)}$$

$$H = 10 \text{ cm} + 81 \text{ cm} = 91 \text{ cm (-10\% en ventas)}$$

Construido interiormente en acero inoxidable AISI 316, calibre 11, acabado sanitario pulido espejo.

Construido exteriormente en acero inoxidable AISI 304, calibre 11 (chaqueta), pulido.

Ancla de agitación construida en acero inoxidable AISI 316.

Ambos aceros contienen cromo del 12 al 28%, níquel 6 al 26%, molibdeno 2 al 3% y carbono entre 0,03 y 0,08%. El acero AISI 304 se utiliza para recubiertas de equipos de fabricación que no están en contacto directo, mientras el AISI 316 se utiliza para utensilios o partes de maquinaria que se encuentran en contacto directo con el producto durante la fabricación. Se utiliza pulido tipo espejo en el interior ya que es muy importante para la limpieza o remoción de residuos del producto fabricado y evitar contaminación cruzada con el siguiente producto a fabricar.

3.6.4. Cálculo de la potencia consumida en el tanque

Calculando el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

Tomando un motor de 2 000 rpm se calcula:

$$2\,000 \text{ rev/min} \cdot 1 \text{ min}/60 \text{ seg} = 33,33 \text{ Rev/seg}$$

$$N_{Re} = (0,225 \text{ m})^2(33,33 \text{ rev/seg})(1\,400 \text{ Kg/m}^3) / 0,5 \text{ Kg/m}\cdot\text{s} = 4\,724,53$$

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5}$$

Según figura 8 y usando la curva 3 para una turbina abierta de seis aspas a 45°:

$N_p = 1,3$, por tanto:

$$1,3 = P / (1\,400 \text{ Kg/m}^3)(33,33 \text{ rev/seg})^3(0,225 \text{ m})^5 = 39,08 \text{ KW} \approx 52,41 \text{ HP}$$

3.6.5. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en un recipiente agitado y con chaqueta

Según el proceso para la manufactura de los productos, solamente se calienta el agua inicial para disolver los conservantes metilparaben y propilparaben.

Datos a utilizar:

Agua a 20 °C

$$\rho = 998,23 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 0,0010050 \text{ Kg/m}\cdot\text{s}$$

$$k = 0,596 \text{ W/m}\cdot\text{K}^\circ$$

Agua 100 °C :

$$\rho = 958,38 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 0,000284 \text{ Kg/m}\cdot\text{s}$$

$$k = 0,681 \text{ W/m}\cdot\text{K}^\circ$$

Se calcula el número de Reynolds a 20 °C:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = (0,225 \text{ m})^2 (1,67) (998,23) / (0,0010050) = 83974,24$$

Según figura 10:

$$j = \frac{h_j D_j}{k} \left(\frac{Cp\mu}{k} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14}$$

Según Kern (1965) $(\mu/\mu_w)^{-0.14}$ puede considerarse 1.0 para agua

$$\text{Aproximadamente } 710 = h_j (0,75) / 0,596 * (1,92) * 1$$

$$\text{Despejando } h_j = 1,083,29 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^\circ$$

Asumiendo un coeficiente de calor en la pared de $h_{oi} = 1,500 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}^\circ$ se calcula el coeficiente total limpio:

$$U_c = \frac{h_j h_{oi}}{h_j + h_{oi}}$$

$$U_c = 1\,083 * 1\,500 / 1\,083 + 1\,500 = 628,91$$

Utilizando un factor de obstrucción de $R_d = 0,005$

$$H_d = 1 / R_d = 1 / 0,005 = 200$$

Se calcula el coeficiente total de diseño:

$$U_D = \frac{U_C h_D}{U_C + h_D}$$

$$U_D = 628,91(200) / 628,91 + 200 = 151,74 \text{ W /m}^2 \cdot \text{K}^\circ$$

Calculando la temperatura necesaria del vapor:

$$Q = U_D A \Delta T$$

Se requieren $Q = MC_p \Delta T$

$$M = 0,48 \text{ m}^3 * 998,23 \text{ Kg/m}^3 = 479,15 \text{ Kg (+15% en ventas)}$$

$$M = 0,42 \text{ m}^3 * 998,23 \text{ Kg/m}^3 = 419,26 \text{ Kg (normal en ventas)}$$

$$M = 0,38 \text{ m}^3 * 998,23 \text{ Kg/m}^3 = 379,33 \text{ Kg (-10% en ventas)}$$

$$Q = 479,15 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ = 160 227,76 \text{ KJ (+15% en ventas)}$$

$$Q = 419,26 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ = 140 200,54 \text{ KJ (normal ventas)}$$

$$Q = 379,33 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ = 126 847,95 \text{ KJ (-10% ventas)}$$

$$A_{\text{cilindro}} = 2\pi RH = 27 096 \text{ cm}^2 \approx 2,70 \text{ m}^2 (+15% en ventas)$$

$$A_{\text{cilindro}} = 2\pi RH = 23 562 \text{ cm}^2 \approx 2,36 \text{ m}^2 (\text{normal ventas})$$

$$A_{\text{cilindro}} = 2\pi RH = 21\,441 \text{ cm}^2 \approx 2,14 \text{ m}^2 \text{ (-10\% ventas)}$$

Se toma como referencia 1 hora y despejando ΔT :

$$\Delta T = 44\,507,71 \text{ J/s} / (151,74 \text{ J/s/m}^2 \cdot \text{K}^\circ) * (2,70 \text{ m}^2) = 108,64 \text{ K}^\circ \text{ (+15\% en ventas)}$$

$$\Delta T = 38\,944,59 \text{ J/s} / (151,74 \text{ J/s/m}^2 \cdot \text{K}^\circ) * (2,36 \text{ m}^2) = 108,75 \text{ K}^\circ \text{ (normal ventas)}$$

$$\Delta T = 35\,235,54 \text{ J/s} / (151,74 \text{ J/s/m}^2 \cdot \text{K}^\circ) * (2,14 \text{ m}^2) = 108,51 \text{ K}^\circ \text{ (-10\% ventas)}$$

Sumándole la temperatura inicial del agua 20°C

$$\text{Temp. del vapor} = 401,64 \text{ K}^\circ \text{ (+15\% en ventas)}$$

$$\text{Temp. del vapor} = 401,75 \text{ K}^\circ \text{ (normal ventas)}$$

$$\text{Temp. del vapor} = 401,51 \text{ K}^\circ \text{ (-10\% ventas)}$$

3.6.6. Determinación de la caldera adecuada

Calor necesario para calentar el agua de 20 a 100 °C:

$$Q = 479,15 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ$$

$$Q = 160\,227,76 \text{ KJ} \text{ (+15\% en ventas)}$$

$$160\,227,76 \text{ KJ} * 1 \text{ BTU} / 1,05506 \text{ KJ} = 151\,866,02 \text{ BTU}$$

$$Q = 419,26 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ$$

$$Q = 140\,200,54 \text{ KJ} \text{ (normal ventas)}$$

$$140\,200,54 \text{ KJ} * 1 \text{ BTU} / 1,05506 \text{ KJ} = 132\,883,95 \text{ BTU}$$

$$Q = 379,33 \text{ Kg} * 4,18 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}^\circ * (373 - 293) \text{K}^\circ$$

$$Q = 126\,847,95 \text{ KJ (-10\% ventas)}$$

$$126\,847,95 \text{ KJ} * 1 \text{ BTU} / 1,05506 \text{ KJ} = 120\,228,18 \text{ BTU}$$

Haciendo un balance de calor para determinar la cantidad de vapor necesario:

$$Q_{agua} = Q_{vapor}$$

$$Q_{vapor} = M (h_{fv} - h_{iv}) + M h_{Lv} + M (h_{fL} - h_{iL})$$

Donde:

h_{fv} = entalpía a la temperatura final del vapor

h_{iv} = entalpía a la temperatura inicial del vapor

h_{Lv} = entalpía necesaria para pasar el líquido a vapor

h_{iL} = entalpía a la temperatura inicial del líquido

h_{fL} = entalpía a la temperatura final del líquido

Teniendo la temperatura inicial del vapor de 130 °C y temperatura de salida de 70°C como líquido. Interpolando en las tablas de vapor se obtiene:

$$\begin{aligned} 151\,866,02 \text{ BTU} &= M (1\,169,85 \text{ BTU/lb} - 1\,150,4 \text{ BTU/lb}) + M (1\,370,30 \text{ BTU/lb}) \\ &+ M (1\,150,40 \text{ BTU/lb} - 1\,129,4 \text{ BTU/lb}) = 151\,866,02 / 1\,410,75 = 107,65 \text{ lb} \\ 107,65 \text{ lb/hora} / 34,5 \text{ lb/hora} &= 3,12 \text{ BHP (+15\% en ventas)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 140\,200,54 \text{ BTU} &= M (1\,169,85 \text{ BTU/lb} - 1\,150,4 \text{ BTU/lb}) + M (1\,370,30 \text{ BTU/lb}) \\ &+ M (1\,150,40 \text{ BTU/lb} - 1\,129,4 \text{ BTU/lb}) = 140\,200,54 / 1\,410,75 = 99,38 \text{ lb} \\ 99,38 \text{ lb/hora} / 34,5 \text{ lb/hora} &= 2,88 \text{ BHP (normal ventas)} \end{aligned}$$

$$120\,228,18 \text{ BTU} = M (1\,169,85 \text{ BTU/lb} - 1\,150,4 \text{ BTU/lb}) + M (1\,370,30 \text{ BTU/lb}) + M (1\,150,40 \text{ BTU/lb} - 1\,129,4 \text{ BTU/lb}) = 120\,228,18 / 1\,410,75 = 85,22 \text{ lb} \text{ (-10\% ventas)}$$

$$85,22 \text{ lb/hora} / 34,5 \text{ lb/hora} = 2,47 \text{ BHP}$$

La caldera utilizará gas propano para su funcionamiento, por lo tanto para determinar los kilogramos de combustible utilizados es necesario encontrar primero la cantidad de energía requerida para calentar el agua de 20°C a 130°C. Luego se plantean los balances de materia y energía asociados al proceso de combustión, para calcular la cantidad de energía generada por la combustión del propano. Luego el calor generado por el sistema debe ser transmitido al agua en su totalidad, asumiendo una eficiencia del 100 %.

$$Q_{\text{requerido}} = M_{\text{agua}} \times C_{p \text{ agua}} \times \Delta T + M_{\text{agua}} \times \Delta H_{\text{vap.}} + M_{\text{agua}} \times C_{p \text{ vapor}} \times \Delta T$$

$$\text{Cantidad de vapor producido por hora } 34,5 \text{ lb} \times 3 = 103,5 \text{ lb} \times \text{hora}$$

La caldera pasará 3 horas encendida durante 22 días hábiles que tiene el mes y se tendrá 13662 lb de vapor

$$6\,831 \text{ lb} \times 1 \text{ Kg}/2,2 \text{ lb} = 3\,105 \text{ Kg agua}$$

$$C_{p \text{ agua}} = 4,22 \text{ Kj} / (\text{Kg} \times ^\circ\text{K}) \quad C_{p \text{ vapor}} = 1,89 \text{ Kj} / (\text{Kg} \times ^\circ\text{K})$$

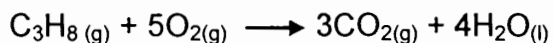
$$\Delta H_{\text{vap.}} = 44\,045 \text{ Kj} / \text{Kg}$$

$$Q_{\text{requerido}} = 3\,105 \times 4,22 \times (373 - 293) + 3\,105 \times 44\,045 + 3\,105 \times 1,89 \times (403 - 373) =$$

$$Q_{\text{requerido}} = 1\,048\,248 + 136\,759\,725 + 176\,053,5 = 137\,984\,026,5 \text{ KJ}$$

La reacción de combustión del propano viene dada por la siguiente reacción.

No se sabe qué cantidad de propano es necesaria para generar el calor requerido para calentar el agua. Por ello, se utilizará una variable, n , cuya unidad es gmol.



A partir del balance de materia se encuentra:

Moles que entran de propano: $A = n \text{ gmol C}_3\text{H}_8$

Moles que entran de oxígeno: $Bx_B = n * 5/1 * (100+20)\%/100\% = 6n \text{ gmol O}_2$

Moles que se forman de CO_2 : $Cx_C = n * 3/1 = 3n \text{ gmol CO}_2$

Moles que se forman de H_2O : $Cx_C = n * 4/1 = 4n \text{ gmol H}_2\text{O}$

Moles que salen de O_2 : $Cx_C = 6n - n * 5/1 = n \text{ gmol O}_2$

Moles que salen de N_2 : $Cx_C = 22,571n - 0 = 22,571n \text{ gmol N}_2$

A partir del balance de energía se encuentra la ecuación de balance de energía que se reduce a $Q = \Delta H$, donde Q es el calor generado por la combustión del propano. La entalpía se calcula a través de la siguiente expresión.

Los valores utilizados para las entalpías de formación y las capacidades caloríficas son las siguientes:

$$\Delta H^\circ_{\text{propano}} = -24\,808,2 \text{ cal/gmol}$$

$$C_{p \text{ propano}} = 0,360 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{CO}_2} = -94\,046,5 \text{ cal/gmol}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{agua}} = -68\,315,8 \text{ cal/gmol}$$

$$C_{p \text{ CO}_2} = 0,199 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$C_{p \text{ agua}} = 1,00 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$C_{p \text{ O}_2} = 0,360 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$C_{p \text{ N}_2} = 0,248 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Asumiendo que los gases de chimenea salen a 400 °C, el propano se encuentra a 25°C y el aire a 25 °C, el cálculo de las entalpías se escribe como:

$$Q=\Delta H=[3n*(-94\ 046,5+44,01*0,199*(400-25)) + 4n*(-68\ 315,8+18,016*1*(400-25)) + n*(0+32*0,218*(400-25)) + 22,571n*(0+28,02*0,248*(400-25))] - [n*(-24\ 808,2 + 44,09*0,369*(25-25)) + 6n*(0+32*0,218*(25-25)) + 22,571n*(0+28,02*0,248*(25-25))] = -123\ 429\ 984\ n\ \text{cal.}$$

Seguidamente se plantea que:

$$-C_{\text{combustión}} = Q_{\text{requerido}} = -432\ 284,90\ [\text{cal}] = 137\ 984\ 026,5*1000*0,239$$

Despejando la variable n, se tiene que:

$n = 3,3 * 10^{10}\ \text{cal} / 432\ 284,90\ \text{cal/gmol} = 76\ 338,55\ \text{gmol propano}$, asumiendo una eficiencia de caldera de 90 % la eficiencia n se define como:

$$n = (\text{energía de entrada} - \text{perdidas}) / \text{energía entregada} * 100\ \%$$

siendo n = 90 % se tiene que el calor que debe entregar la caldera será :

$$Q_{\text{requerido}} * 100\% / 90\% = -C_{\text{combustión}}$$

$$432\ 284,90\ n[\text{cal}] = 137\ 984\ 026,5*1000*0,239*100/90\ [\text{cal}] =$$

$$n = 3,3 * 10^{10}\ \text{cal} / 432\ 284,90\ \text{cal/gmol} * 100/90 = 84\ 820,60\ \text{gmol propano} \approx$$

$$84\ 820,60\ \text{gmol} * 44\ \text{g}\ \text{C}_3\text{H}_8 / 1000 = 3\ 732,11\ \text{Kg propano}$$

$$3\ 732,11\ \text{Kg} * 2,2\ \text{lb}/1\ \text{Kg} = 8\ 210,64\ \text{Lb de propano industrial}$$

Costo de la libra de propano a febrero 2012: Q4,43

$$\text{Costo mensual de gas propano} = 8\ 210,64 * 4,43 = Q36\ 373,14$$

Para determinar el diámetro de la tubería de vapor utilizando tubo con normas ASME B31.1 para transporte de vapor, uno de los criterios más importantes es la velocidad de flujo del vapor dentro del tubo. La velocidad del vapor en una tubería circular se puede expresar como:

$$V = 3.056 V_e W / d^2$$

Donde, V = la velocidad del vapor en pies por minuto

V_e = volumen específico del vapor, pies cúbicos por hora

W = flujo de masa del vapor, libras por hora

D = diámetro interior de la tubería en pulgadas

En el rango de presiones hasta 600 psig, el volumen específico del vapor saturado puede ser representado por:

$$V_e = 334 / P^{0.938}$$

P = presión absoluta del vapor, psig

Sustituyendo:

$$V = 1\,020 (W / d^2 * P^{0.938}) \quad \text{o} \quad d^2 = 1\,020 (W / V * P^{0.938})$$

Teniendo una temperatura de vapor de 130 °C, se obtiene por tablas de vapor una presión de 38,15 psi (interpolando) y asumiendo una velocidad de 150 pies por minuto.

$d^2 = 1\,020 (103,5 \text{ lb/h} / 150 \text{ Ft/min} * 38,15^{0.938}) = 23.12$ que al sacarle la raíz cuadrada da un diámetro de 4,8 plg, trayecto de la tubería a utilizar 12,2 m.

Aislamiento a utilizar: cañuelas de fibra de vidrio para tubo de 5 plg con espesor 30 mm, tubo ASTM A53 cédula 40 diámetro 5 plg; la distancia de la caldera al tanque enchaquetado es de 12,2 m lineales en donde se tiene el siguiente material:

Tabla I. Costos de tubería que une el tanque con la caldera

Descripción	Precio unitario	Total
2 tubo HN, ced. 40, Ø5"	Q 2 146,00	Q.4,292.00
4 codos HN, Ø5"	Q 216,00	Q 864.00
1 válvula de compuerta de Ø1½"	Q 933,00	Q 933.00
2 válvulas de globo de Ø1½"	Q 1 033,00	Q 2 066.00
12 cañuelas de fibra de vidrio	Q 93,00	Q 1116.00
6 Reducidores de Ø5" a Ø1½"	Q 65,00	Q 390.00
T O T A L		Q 8 821,00

Fuente: elaboración propia.

3.6.7. Determinación de la tasa de retorno para un proyecto

Tomando un interés inicial de 10 % y un período de tiempo de 5 años, se utiliza la fórmula para la recuperación de un capital para un valor presente de una inversión costo de los dos tanques + caldera + tubería + revestimiento.

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

$$A=7\,230,9[0,1(1+0,1)^5/(1+0,1)^5-1] = 1\,907,50 \text{ (+15\% en ventas)}$$

$$A=6\,930,9[0,1(1+0,1)^5/(1+0,1)^5-1] = 1\,828,35 \text{ (normal ventas)}$$

$$A=6\,730,9[0,1(1+0,1)^5/(1+0,1)^5-1] = 1\,775,60 \text{ (-10\% ventas)}$$

Con 12 %

$$A=7\ 230,9 [0,1(1+0,12)^5/(1+0,12)^5-1] = 1\ 671,60 \text{ (+15\% en ventas)}$$

$$A=6\ 930,9 [0,1(1+0,12)^5/(1+0,12)^5-1] = 1\ 602,25 \text{ (normal ventas)}$$

$$A=6\ 730,9 [0,1(1+0,12)^5/(1+0,12)^5-1] = 1\ 556,01 \text{ (-10\% ventas)}$$

Tabla II. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 10\%$ se tiene (+15% en ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,1(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-7 230,90	0	-7 230,9
1	-7 230,90	723,09	1 907,50	1 184,41	-6 046,49
2	-6 046,49	604,65	1 907,50	1 302,851	-4 743,64
3	-4 743,64	474,36	1 907,50	1 433,14	-3 310,50
4	-3 310,50	331,05	1 907,50	1 576,45	-1 734,05
5	-1 734,05	173,41	1 907,50	1 734,09	0,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 12\%$ se tiene (+15% en ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,12(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-7 230,90	0	-7 230,90
1	-7 230,90	723,09	1 671,60	948,51	-6 282,39

Continuación de la tabla III.

2	-6 282,39	628,24	1 671,60	1 043,361	-5 239,03
3	-5 239,03	523,90	1 671,60	1 147,70	-4 091,33
4	-4 091,33	409,13	1 671,60	1 262,47	-2 828,87
5	-2 828,87	282,89	1 671,60	1 388,71	-1 440,15
6	-1 440,15	144,02	1 671,60	1 527,58	87,43

Fuente: elaboración propia.

Interpolando las cantidades de saldo final no recuperado se determina la tasa de interés exacto, por medio de LaGrange se tiene un valor de 9,99 %.

Tabla IV. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 10\%$ se tiene (normal ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,1(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-6 930,90	0	-6 930,90
1	-6 930,90	693,09	1 828,35	1 135,26	-5 795,64
2	-5 795,64	579,56	1 828,35	1 248,786	-4 546,85
3	-4 546,85	454,69	1 828,35	1 373,66	-3 173,19
4	-3 173,19	317,32	1 828,35	1 511,03	-1 662,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 12\%$ se tiene (normal ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,12(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-6 930,90	0	-6 930,90
1	-6 930,90	693,09	1 602,25	909,16	-6 021,74
2	-6 021,74	602,17	1 602,25	1 000,076	-5 021,66
3	-5 021,66	502,17	1 602,25	1 100,08	-3 921,58
4	-3 921,58	392,16	1 602,25	1 210,09	-2 711,49
5	-2 711,49	271,15	1 602,25	1 331,10	-1 380,39

Fuente: elaboración propia.

Interpolando las cantidades de saldo final no recuperado se determina la tasa de interés exacto, por medio de LaGrange se tiene un valor de 10.00 %

Tabla VI. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 10\%$ se tiene (-10% en ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,1(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-6 730,90	0	-6 730,90
1	-6 730,90	673,09	1 775,60	1 102,51	-5 628,39
2	-5 628,39	562,84	1 775,60	1 212,761	-4 415,63
3	-4 415,63	441,56	1 775,60	1 334,04	-3 081,59

Continuación de la tabla VI.

4	-3 081,59	308,16	1 775,60	1 467,44	-1 614,15
5	-1 614,15	161,42	1 775,60	1 614,18	0,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Cálculo del saldo final no recuperado mediante prueba y error con $i = 12\%$ se tiene (-10% en ventas)

Año (1)	Saldo inicial no recuperado (2)	Interés sobre saldo no recuperado (3)=0,12(2)	Flujo de efectivo (4)	Cantidad recuperada (5)=(4)-(3)	Saldo final no recuperado (6)=(2)+(5)
0	0	0	-6 730,90	0	-6 730,90
1	-6 730,90	673,09	1 556,01	882,92	-5 847,98
2	-5 847,98	584,80	1 556,01	971,212	-4 876,77
3	-4 876,77	487,68	1 556,01	1 068,33	-3 808,43
4	-3 808,43	380,84	1 556,01	1 175,17	-2 633,27
5	-2 633,27	263,33	1 556,01	1 292,68	-1 340,59
6	-1 340,59	134,06	1 556,01	1 421,95	81,37

Fuente: elaboración propia.

Interpolando las cantidades de saldo final no recuperado se determina la tasa de interés exacto, por medio de LaGrange se tiene un valor de 9.99 %.

3.6.8. Análisis de costo beneficio para el proyecto

$$B/C \text{ modificada} = \frac{\text{beneficios positivos} - \text{beneficios negativos} - \text{costos M\&O}}{\text{inversión inicial}}$$

Se hace un análisis respecto de los costos de operación de la caldera que son los más significativos con respecto a la inversión inicial de todo el proyecto. Teniendo el costo mensual de la caldera de Q36 373,14 equivalente a \$4 663,22, costo de mantenimiento de la caldera de Q10 000 mensual, el precio del producto terminado a la venta es de Q20,00 en el cual se desglosa que el costo de mantenimiento y operación de la caldera se toma como Q1,00 por jarabe y la ganancia de Q1,75 tomando en cuenta que las ventas bajen un 10% se tiene 63 000 unidades de producto contra una inversión inicial de \$6 730,90.

$$B/C = (Q1,75 * 63\ 000) - (Q1,00 * 63\ 000) + Q10\,000 / (\$6\ 730,90 * Q7,80/\$1) =$$

$$B/C = 1,09, \text{ siendo así un proyecto factible.}$$

Una razón B/C mayor o igual que 1.0 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso. En los análisis B/C, los costos no están precedidos por un signo menos según Kohan (2000).

3.6.9. Tiempo de recuperación de la inversión

El tiempo de recuperación está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de recup.} = \left[\frac{\text{valor de la inversión}}{\text{flujo de efectivo anual en la duración del proyecto}} \right]$$

Se tiene un flujo de efectivo anual el primer año de Q60 000 entonces el tiempo de recuperación = Q52 501,02 / Q60 000 = 0,88 años ≈ 10,5 meses.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Se ordenan todas las variables determinadas por los cálculos efectuados para la determinación de los tamaños óptimos para los equipos de manufactura.

Tabla VIII. **Datos obtenidos del tanque de agitación enchaquetado**

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	DIMENSIONAL
Diámetro	75	cm
Diámetro salida del cono	7.62	cm
Distancia entre el fondo del tanque y la turbina	25	cm
Diámetro de las aspas	22,5	cm
Grosor de las aspas	2,81	cm
Número de Reynolds	4 724,53	adimensional
Número de potencia	1,3	adimensional
Potencia	52,41	HP
Coefficiente de trans. de calor	1 083,29	$W/m^2 \cdot K^{\circ}$
Coefficiente total de diseño	151,74	$W / m^2 \cdot K^{\circ}$

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultados del tanque enchaquetado al variar el volumen de ventas**

DESCRIPCIÓN	VENTAS	RESULTADO	DIMENSIONAL
Volumen	+15%	484	Litros
	Normal	420	Litros
	-10%	380	Litros

Continuación de la tabla IX.

Costo	Normal	\$1 650,00	Dólares
	-10%	\$1 550,00	Dólares
Altura	+15%	115	cm
	Normal	100	cm
	-10%	91	cm
Masa de agua contenida	+15%	479,15	Kg
	Normal	419,26	Kg
	-10%	379,33	Kg
Calor necesario para calentar el agua	+15%	160 227,76	Kj
	Normal	140 200,54	Kj
	-10%	126 847,95	Kj
Área superficial del cilindro	+15%	2,70	m ²
	Normal	2,36	m ²
	-10%	2,14	m ²
Diferencial de temperatura	+15%	108,64	°K
	Normal	108,75	°K
	-10%	108,51	°K
Temperatura del vapor requerida	+15%	401,64	°K
	Normal	401,75	°K
	-10%	401,51	°K
Caldera requerida para el calentamiento	+15%	3,12	BHP
	Normal	2,88	BHP
	-10%	2,47	BHP

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Datos obtenidos de la caldera

DESCRIPCIÓN	RESULTADO	DIMENSIONAL
Calor transmitido por el vapor	126 554,49	BTU
Masa del vapor proporcionado	103,5	lb/hora
Potencia de la caldera estandarizada	3	BHP

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

Con base en los cálculos realizados para el diseño y dimensionamiento de la planta, se proponen los siguientes equipos para el cumplimiento de las expectativas de ventas.

Tabla XI. **Recopilación de los equipos obtenidos y su Precio**

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	EQUIPO COTIZADO	PRECIO
Tanque enchaquetado	Interior en acero inoxidable AISI 316 calibre 11 acabado sanitario pulido espejo, exterior en acero inoxidable AISI 304 calibre 11 (chaqueta) pulido y ancla de agitación, construida en acero inoxidable AISI 316	480 litros	\$1 800
		420 litros	\$1 650
		380 litros	\$1 550
Tuberías de vapor y accesorios	2 tubo HN, ced. 40, Ø5", 4 codos HN, Ø5", 1 válvula de compuerta de Ø1½", 2 válvulas de globo de Ø1½", 6 reductores de Ø5" a Ø1½"		Q7 705
Revestimiento	Cañuelas de fibra de vidrio	12	Q1 116
Caldera	Pirotubular a gas	3 BHP	\$2 500

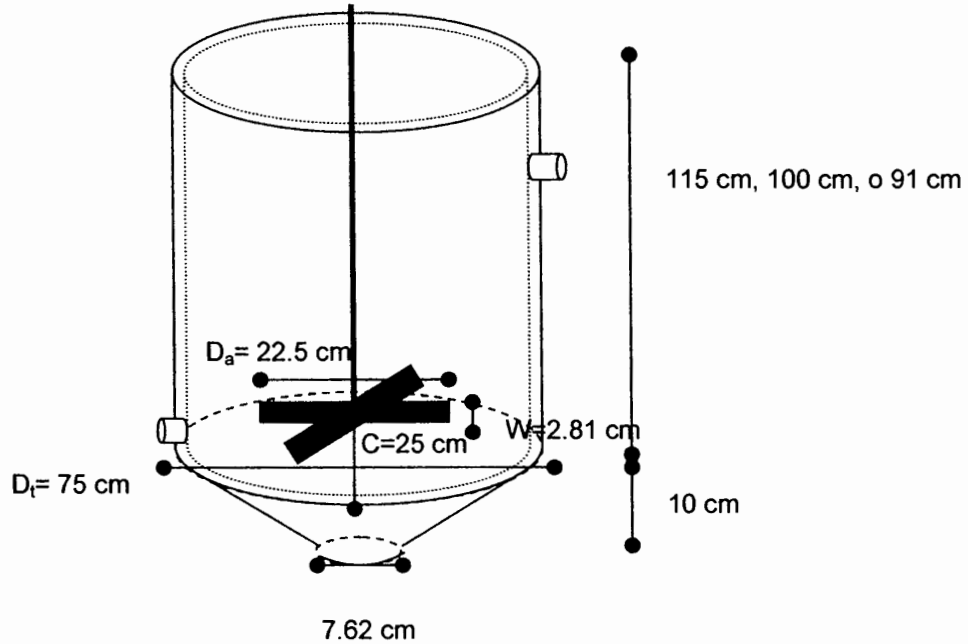
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Tamaños y descripciones resultantes de los equipos**

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	DIMENSIONAL
Tanque de agitación	Diámetro	75	cm
	Diámetro salida del cono	7.62	cm
	Distancia entre el fondo del tanque y la turbina	25	cm
	Diámetro de las aspas	22,5	cm
	Grosor de las aspas	2,81	cm
	Número de Reynolds	4 724,53	adimensional
	Número de potencia	1,3	adimensional
	Potencia	52,41	HP
	Coefficiente de trans. de calor	1 083,29	W/m ² ·K ^o
Caldera	Potencia	3	BHP
	Vapor generado	103,5	lb/hora
	Combustible consumido al mes	8 210,64	lb de propano
	Costo de mensual de operación	36 373,14	Quetzales
	Diámetro de la tubería de vapor	5	Pulgadas

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Dimensiones del tanque enchaquetado



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Datos económicos del proyecto

VOLUMEN DE VENTAS	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	TASA DE RETORNO DE LA INVERSIÓN	RELACIÓN BENEFICIO / COSTO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN
+15%	\$7 230,90	9,99 %	1,09	10,5 MESES
NORMAL	\$6 930,90	10,00 %		
-10%	\$6 730,90	9,99 %		

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los datos obtenidos a partir de la proyección de ventas muestra una planta de pequeñas proporciones; se comienza el proceso con la etapa de agitación en la cual se obtienen tres diferentes volúmenes de tanque variando el porcentaje de ventas, el cual se dimensionó de modo que pueda ser ingresado al área designada donde la limitante se encuentra en el ancho de la puerta; el volumen permite realizar dos *batch* de producto dentro de la jornada laboral; esto indica que se debe tener dos tanques de la misma proporción; con esto se pueden calentar dos volúmenes iguales de agua y así optimizar el vapor producido por la caldera.

La agitación se realiza por medio de un motor de 2,000 rpm el cual se adecua a la viscosidad del líquido, asegurándose que no queden grumos durante la preparación.

Los valores del coeficiente de transferencia de calor en el tanque enchaquetado arrojan el valor necesario de temperatura que debe tener el vapor para poder calentar el agua desmineralizada a su temperatura ambiente, hasta la temperatura de ebullición para la disolución del conservante, se asume que el vapor pasa de una temperatura de 130°C y sale como líquido de la chaqueta a 70°C; la transferencia de calor permite un flujo alto, de modo que se necesita poca cantidad de vapor para el calentamiento.

La caldera requerida para el proceso resultó de 2.6 HP la cual es aproximada a 3 HP para su análisis; el tamaño es pequeño, por lo tanto puede ser trabajada a gas propano y no necesita mayor espacio para su instalación.

El valor del proyecto se calculó tomando la base de los equipos, los cuales están cotizados con equipos ya existentes con los cuales se cubrirá el proceso de mezclado de los jarabes y suspensiones; el tanque enchaquetado y la caldera son los equipos en la línea de producción posibles de determinar por medio de cálculos de ingeniería química, quedando a consideración de los inversionistas los equipos de llenado y tapado en cuanto a velocidad, capacidad y modo de operación.

La tasa de retorno de la inversión fue considerada para un periodo de tiempo de 5 años, dando un resultado de 10.00%; lo cual indica el factor de tasa de retorno que a mayor porcentaje más alta es la rentabilidad de un proyecto, siendo este periodo de tiempo factible para un retorno de lo invertido.

6. LOGROS OBTENIDOS

Los logros obtenidos son:

- Se determinó el tamaño, capacidad y potencia de los equipos necesarios para la manufactura de los líquidos.
- Se diseñó la distribución de la planta con el fin de optimizar el área disponible en la empresa.
- Se obtuvo la tasa de retorno del proyecto propuesto.

CONCLUSIONES

1. La planta diseñada requiere un tanque de agitación enchaquetado y una caldera; ambos con una inversión factible para la empresa y tiempo de retorno corto.
2. La variación del volumen de ventas en crecimiento y decrecimiento no muestra un cambio significativo en el tamaño de los equipos.
3. La optimización del uso de la caldera para aminorar costos, dependerá de la utilización de dos tanques enchaquetados.
4. El costo del proyecto resultó factible por métodos económicos y el tiempo de retorno de la inversión es de 10,5 meses.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el tamaño de los equipos procedente del incremento de ventas resulta beneficioso para preveer el crecimiento de la empresa.
2. Si en un futuro se utiliza el agua caliente proveniente de la condensación del vapor nuevamente para alimentación en la caldera, aminora costos de utilización del propano.
3. Una doble jornada laboral reduciría el costo de producción de vapor, ya que se aminora el costo de encender la caldera; por lo tanto el tiempo de recuperación de la inversión es más rápido.

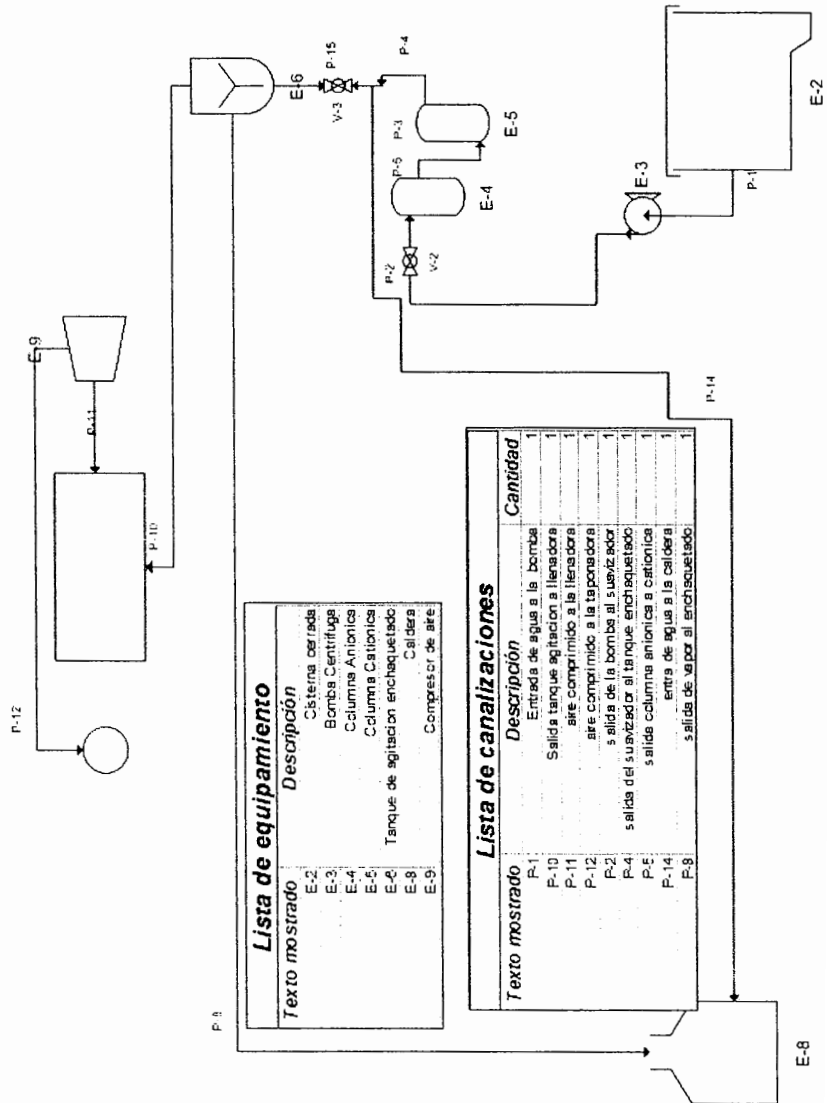
BIBLIOGRAFÍA

1. BENNETT, Carrol; MYERS, John. *Transferencia de momento, calor y masa*. 3a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1982. 852 p.
2. BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. *Ingeniería económica*. 4a. ed. Colombia: McGraw-Hill, 1999. 740 p.
3. GEANKOPLIS, Christy. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a. ed. México: Cecsa, 1998. 1 024 p.
4. KERN, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. Nueva York: Cecsa, 1965. 981 p.
5. KOHAN, Lawrence. *Manual de calderas*. España: McGraw-Hill, 2000. 420 p.
6. MCCABE, Warren; SMITH, Julian. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1985. 1 114 p.
7. Organización Mundial de la Salud. *Comité de expertos de la OMS en especificaciones para las preparaciones farmacéuticas*. Informe 32. Ginebra: OMS, 1992. 303 p.
8. PERRY, Robert; GREEN, Don. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 6a. ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1984. 2 577 p.

9. WELTY, James; WICKS, Charles. *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. 3a. ed. Nueva York: Limusa, 1984. 859 p.

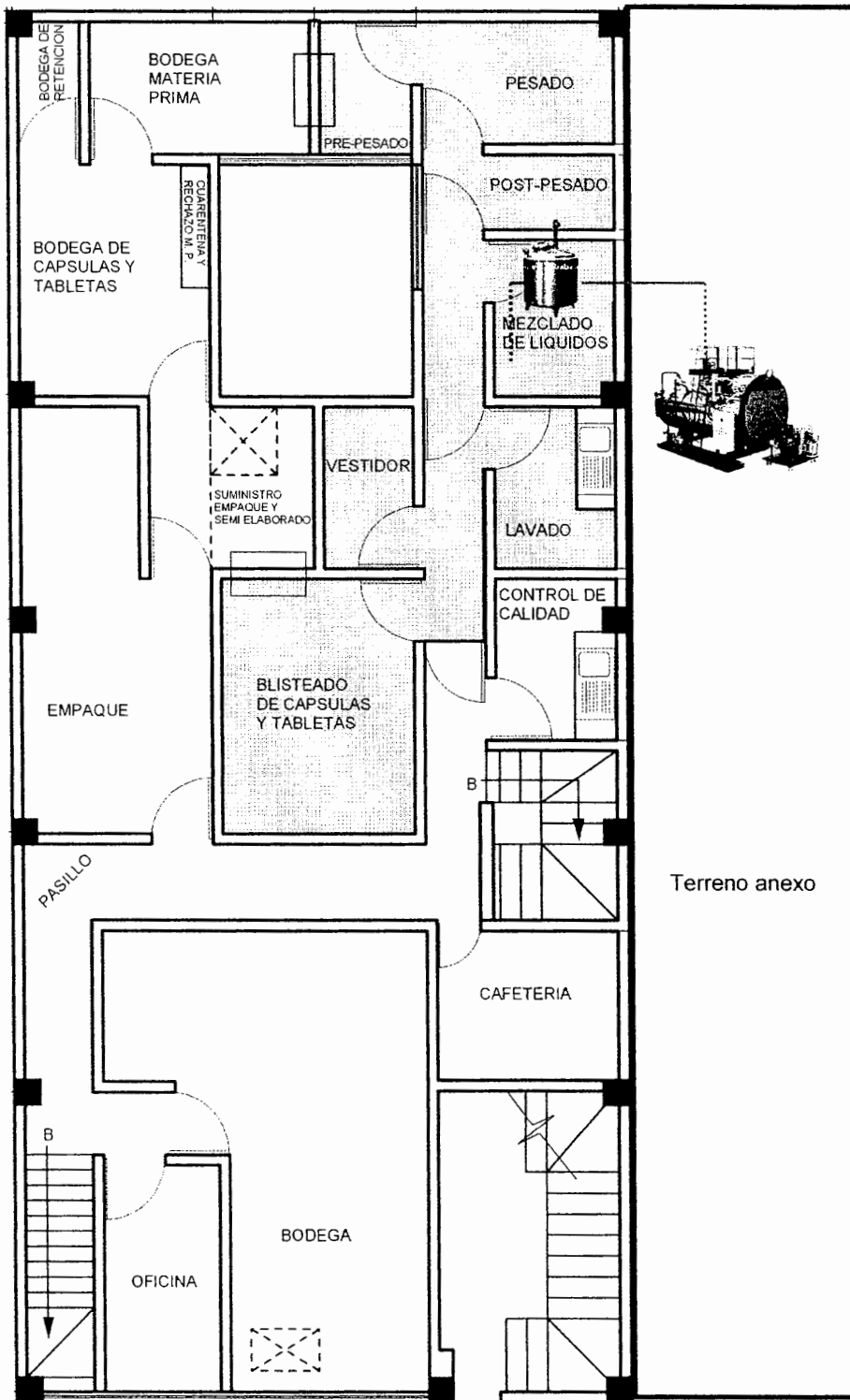
APÉNDICES

Apéndice 1. P&ID sugerido para la planta



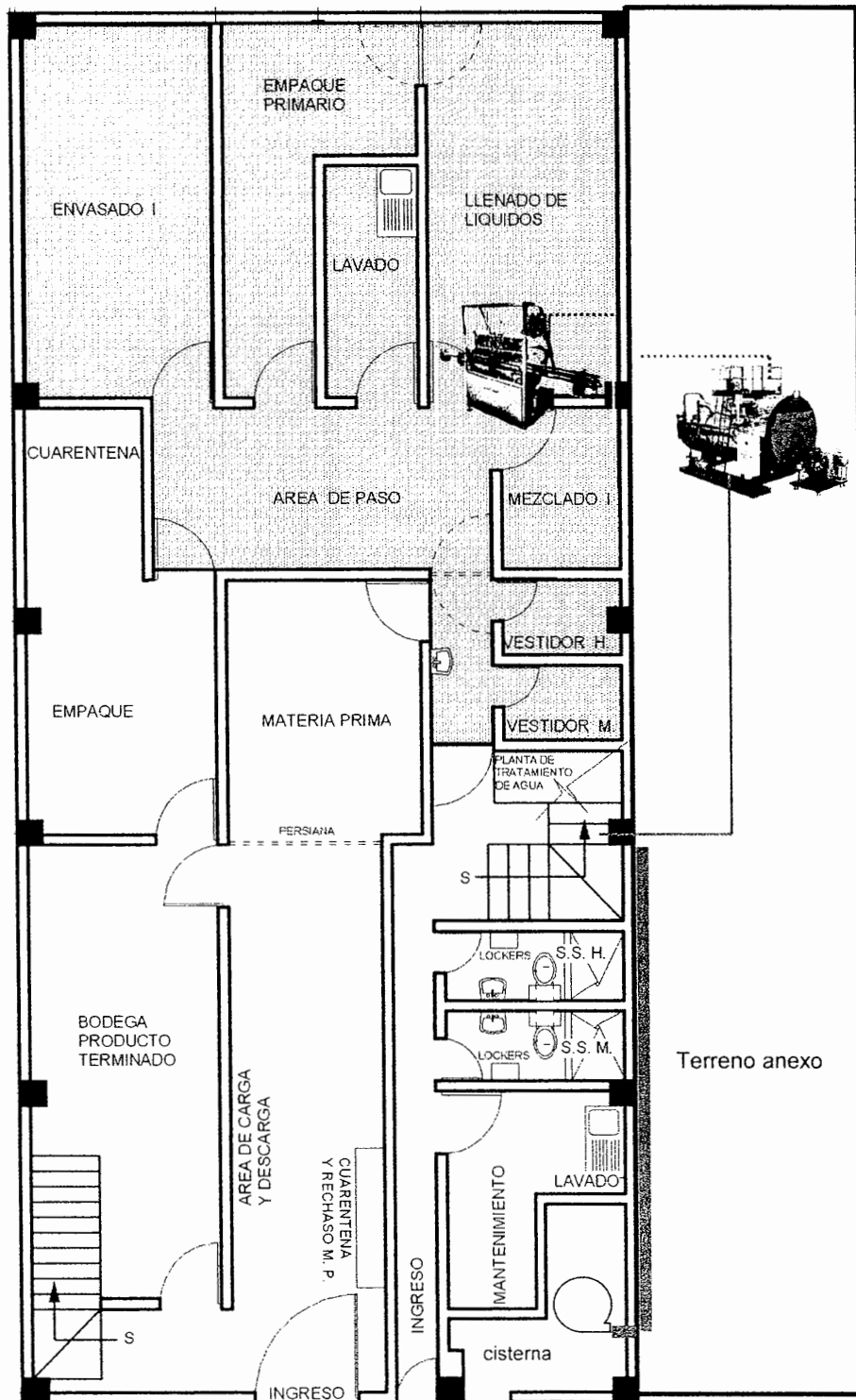
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diseño del primer nivel del laboratorio



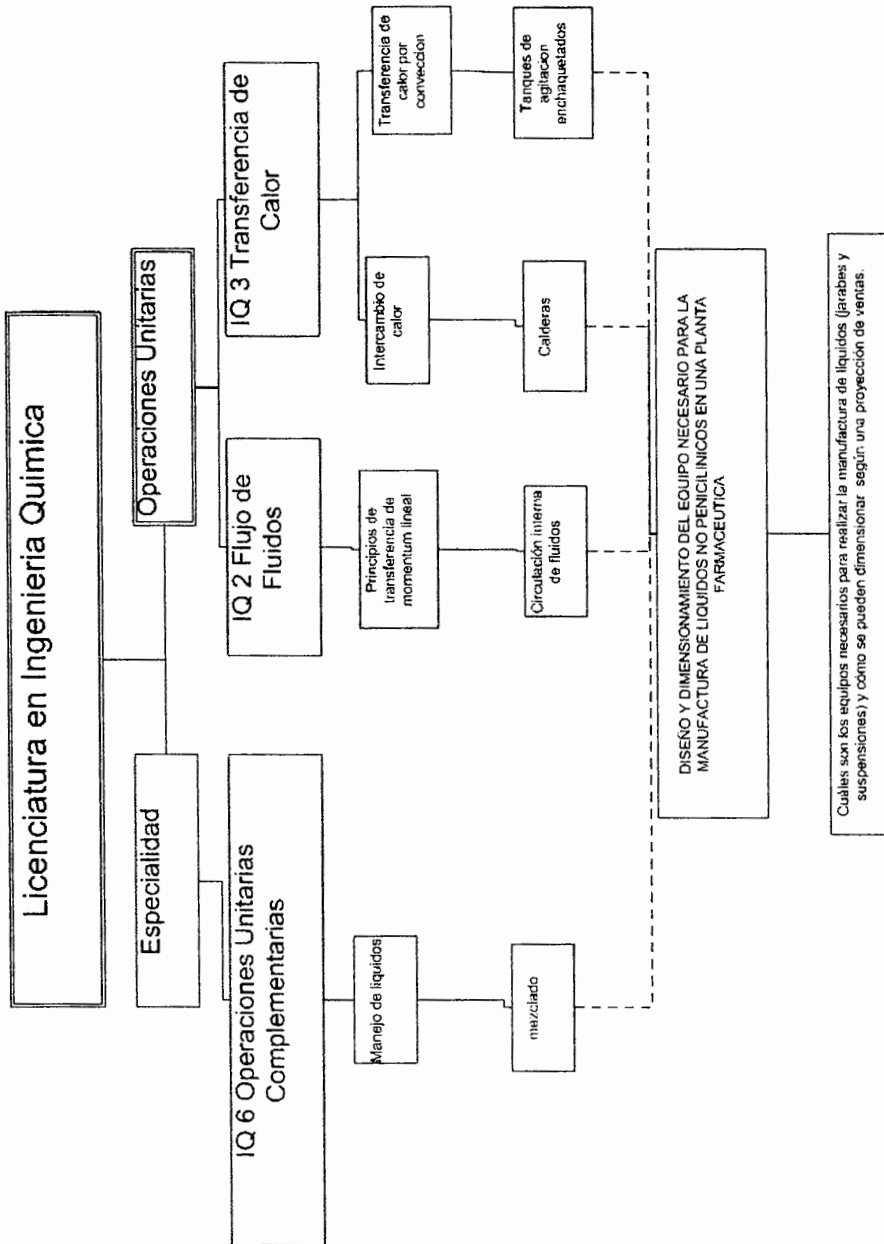
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diseño del segundo nivel del laboratorio



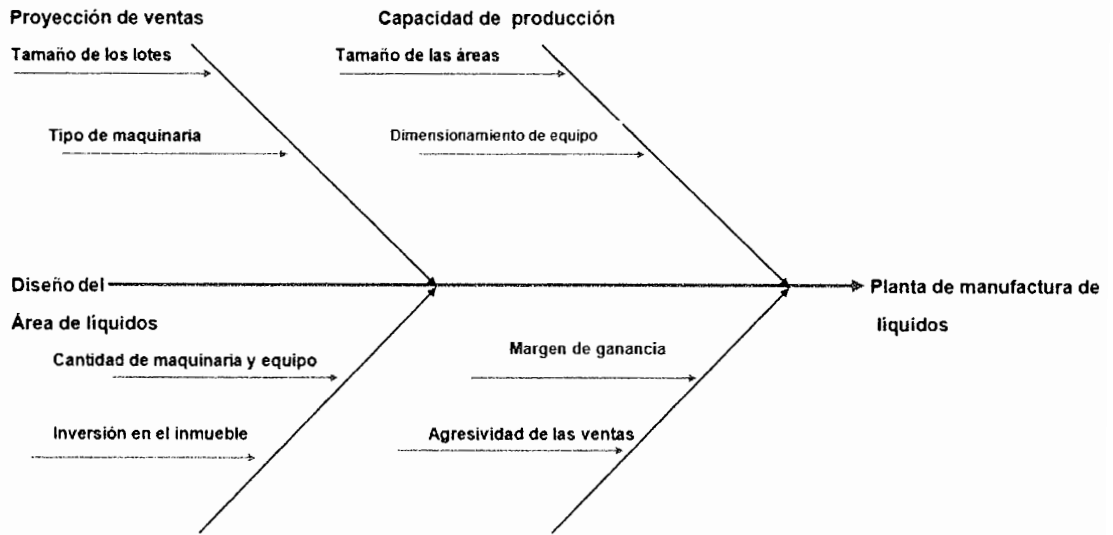
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa del problema planteado



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Cotización tanque enchaquetado Segisa



FACTURA
PROFORMA
No. 0036/11

Guatemala 13 Julio del 2011

Señores: Laboratorios Vesa
Atención: Luis Camboa

N#: 4702018-0
Tel: 22562222

A continuación les presentamos nuestra cotización para el proyecto de **FABRICACION DE EQUIPOS**

Cantidad	Descripción	Subtotal
2	Se efectuara la fabricación de un tanque cilíndrico enchaquetado con fondo cónico de capacidad de 450 litros en la meta de acero inoxidable 316L. Tapadera abatible en la parte frontal. Agitador de 3000 R.P.M. con motor monofásico. Aspas corte 45 grados el tanque cuenta con cuatro patas cilíndricas de 2 1/4" y rodos sanitarios de 3" con freno de plato. En la salida cónica tendrá instalada una válvula de bola, la conexión de tubería sanitaria es de 2" 316L. Siendo el recorrido del tanque hacia la entrada al tanque de balance de la llenadora al final de línea de la tubería llevara una válvula de bola. Se instalara la cometida de agua superior del tanque con tubería sanitaria de 1" tipo clamp. El motor del agitador es sellado por seguridad de gases inflamables. El tanque será pulido interior tipo espejo.	
	COSTO TOTAL	Q 14,560.00
El equipo que se utilizara es apto y adecuado para la realización de los trabajos. Y utilizando		
SON: VEINTINUEVE MIL CIN QUETZALES EXACTOS		TOTAL Q 29,100.00

OBSERVACIONES

Nuestros precios incluyen
Mano de Obra
Materiales
Insumos
IVA
Forma de pago: 50% de Anticipo 50% Contra entrega
por favor girar cheque a nombre de SEGISA
Tiempo de Realización: Inmediata
Detalles y Modificaciones se veran en realización de obra.
Cualquier tipo de modificación tendra un costo adicional.
En espera de su respuesta, atentamente.

Tiempo de valides de la oferta 8 dias

JORGE ANTONIO BARRIOS
GERENTE GENERAL

Tel. 5608-9939 Telefax 2434-3582

E-mail Segisaguate@yahoo.com

Fuente: documento administrativo de la empresa Servicios Generales de Ingeniería.

Anexo 2. Cotización tanque enchaquetado Solac



Voice: (502) 8637-4409
 Fax: (502) 6634-1568

COTIZACIÓN

Quote Number: PG-0153
 Quote Date: 18 Jul 2011
 Page: 1

Customer To: Laboratorios Vesa 9 calle A 5-42 zona 3 Mixco Nueva Monserat

Customer ID	Good Term	Payment Terms	Sales Rep
352329-2		C.O.D.	0002

Quantity	Unit	Description	Unit Price	Amount
2		Tanque cilíndrico enchaquetado para uso con vapor con fondo cóncavo en acero inoxidable 316 grosor de 0.6 cm y capacidad de 450 litros, diámetro externo de 75 cm, 4 patas con rodos, salidas del tanque de 2" con tuberías tipo clamp. Valvula de bola en la salida del tanque y tapadera abatible.	10,000	10,000
2		Motores monofásicos de 2000 R.P.M marca Baldor 220 V sellados.	3,000	3,000
2		Varillas de agitación de 4 aspas con corte a 45 grados en acero inoxidable 316.	600	600

Subtotal	27,200.00
Sales Tax	
Freight	
TOTAL	27,200.00

NOTAS:

1. Tiempo de entrega: 3-4 semanas a partir del día que se recibió el anticipo. Si es trabajo urgente, hacerlo saber para poder cotizarlo en menos tiempo.
2. Una vez entregado el anticipo, NO se aceptan modificaciones a los equipo cotizados. Cualquier cambio en la cotización tendrá un recargo si el equipo inició está en producción.
3. No se incluyen trabajos de albañilería ni plomería.
4. No incluye nada extra que no esté descrito en esta cotización.

Fuente: documento proporcionado por la empresa Soluciones en Acero.

Anexo 3. Cotización tanque enchaquetado Sidasa



Guatemala 27 Julio 2011

Señores Laboratorios VESA

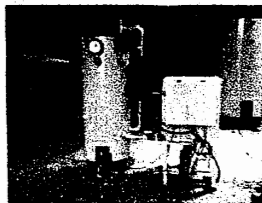
Presente

Permítanos cotizarle el siguiente equipo para uso en su laboratorio

Caldera vertical de 3 hp automática y completamente nueva

Características:

- bomba de agua para llenado de 1 hp.
- 2 válvulas solenoide para paso de gas
- 1 macgdonall
- 1 deposito de agua con capacidad de 50 lts.
- 1 presostato para corte de presión
- columna de nivel de agua
- Precio \$2,500.00 IVA incluido (no incluye tubería y accesorios para la instalación)



Suscribiéndome para cualquiera duda o comentario que tengan

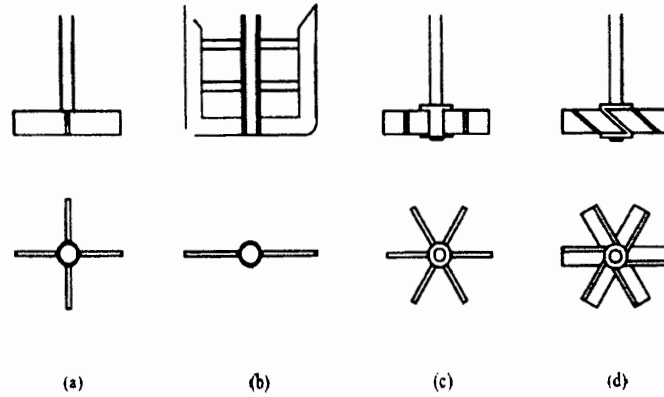
Aroldo López

Asesor de Ventas

Servicios Industriales y Agrícolas S.A. 10ª calle 0-52 zona 9
Guatemala, Guatemala C.A. - 01009 Tel: (502) 2323-5555 Fax: (502) 2334-7149/50

Fuente: documento proporcionado por SIDASA.

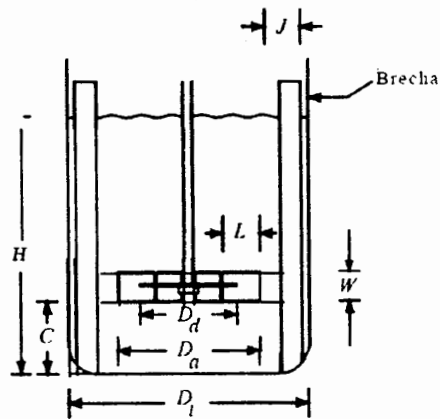
Anexo 4. Tipos de agitadores



Varios tipos de agitadores: a) paleta de cuatro aspas, b) paleta de compuerta o ancla, c) anclero de seis aspas, d) turbina de aspas inclinadas (45°).

Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 162.

Anexo 5. Dimensionamiento de un tanque de agitación



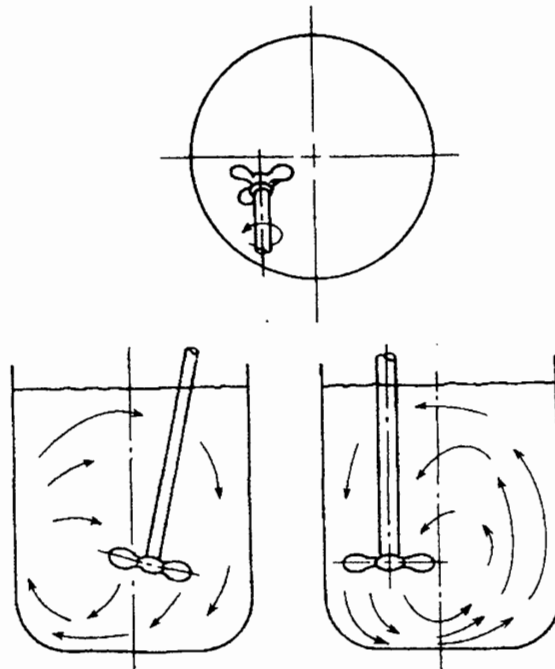
Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

Anexo 6. **Proporciones geométricas para un sistema de agitación normal**

$D_a/4 = 0.3 \text{ a } 0.5$	$H/D_t = 1$	$C/D_t = 1/3$
$w/D_a = 1/5 \quad D_d/D_a = 2/3$	$L/D_a = 1/4$	$L/D_t = 1/12$

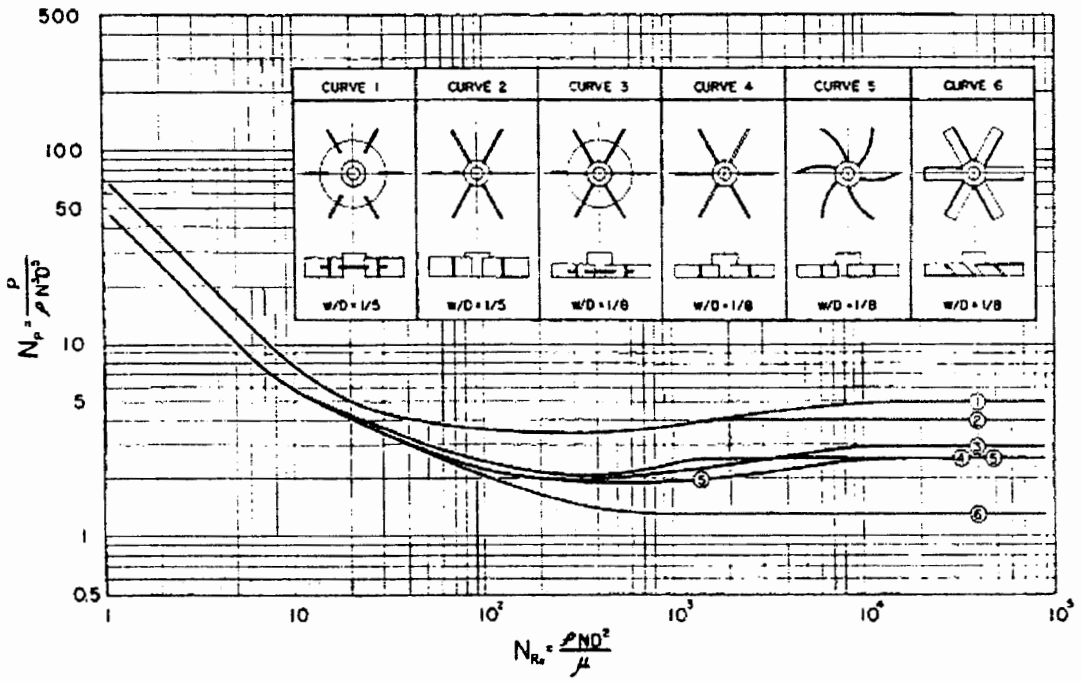
Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 165.

Anexo 7. **Ubicación óptima del agitador en un tanque**



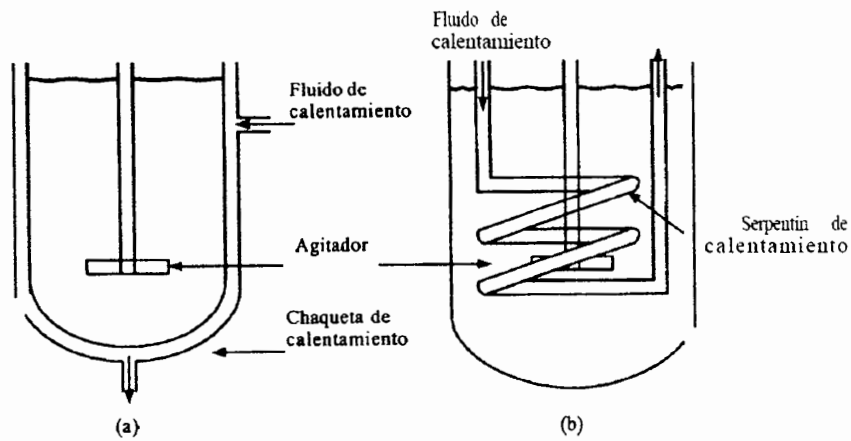
Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 163.

Anexo 8. Número de potencia para tanques agitados



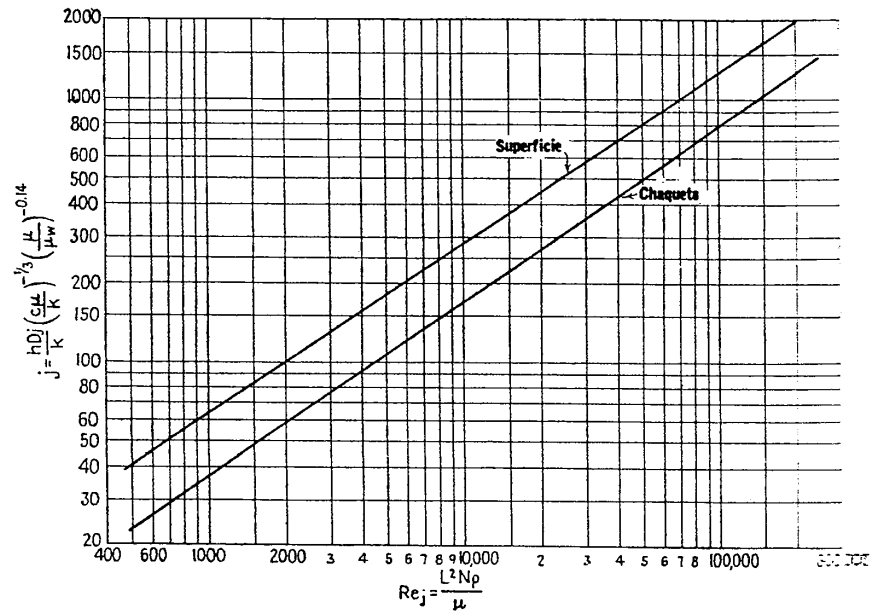
Fuente: PERRY Robert. Perry's chemical engineers' handbook. p. 21-6.

Anexo 9. Transferencia de calor en recipientes con agitación



Fuente: GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 337.

Anexo 10. **Coefficientes de transferencia de calor para chaquetas y serpentines**



Fuente: KERN, Donald. Procesos de transferencia de calor. p. 816.

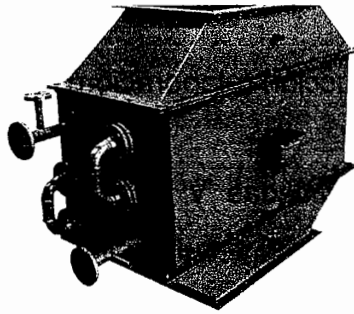
Anexo 11. Propiedades termodinámicas del vapor de agua

Temperatura, °F <i>t</i>	Presión absoluta, psi <i>p</i>	Volumen específico			Entalpía			Entropía			Temperatura, °F <i>t</i>
		Líquido saturado	Evaporación	Vapor saturado	Líquido saturado	Vapor	Evaporación	Líquido saturado	Evaporación	Vapor saturado	
		<i>v_f</i>	<i>v_{fg}</i>	<i>v_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_{fg}</i>	<i>h_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_{fg}</i>	<i>s_g</i>	
32	0.08854	0.01602	3306	3306	0.00	1075.8	1075.8	0.0000	2.1877	2.1877	32
35	0.09995	0.01602	2947	2947	3.02	1074.1	1077.1	0.0061	2.1709	2.1770	35
40	0.12170	0.01602	2444	2444	8.05	1071.3	1079.3	0.0162	2.1435	2.1597	40
45	0.14752	0.01602	2036.4	2036.4	13.06	1068.4	1081.5	0.0262	2.1167	2.1429	45
50	0.17811	0.01603	1703.2	1703.2	18.07	1065.6	1083.7	0.0361	2.0903	2.1264	50
60	0.2563	0.01604	1206.6	1206.7	28.06	1059.9	1088.0	0.0555	2.0393	2.0948	60
70	0.3631	0.01606	867.8	867.9	38.04	1054.3	1092.3	0.0745	1.9902	2.0647	70
80	0.5069	0.01608	633.1	633.1	48.02	1048.6	1096.6	0.0932	1.9428	2.0360	80
90	0.6982	0.01610	468.0	468.0	57.99	1042.9	1100.9	0.1115	1.8972	2.0087	90
100	0.9492	0.01613	350.3	350.4	67.97	1037.2	1105.2	0.1295	1.8531	1.9826	100
110	1.2748	0.01617	265.3	265.4	77.94	1031.6	1109.5	0.1471	1.8106	1.9577	110
120	1.6924	0.01620	203.25	203.27	87.92	1025.8	1113.7	0.1645	1.7694	1.9339	120
130	2.2225	0.01625	157.32	157.34	97.90	1020.0	1117.9	0.1816	1.7296	1.9112	130
140	2.8886	0.01629	122.99	123.01	107.89	1014.1	1122.0	0.1984	1.6910	1.8894	140
150	3.718	0.01634	98.06	97.07	117.89	1008.2	1126.1	0.2149	1.6537	1.8685	150
160	4.741	0.01639	77.27	77.29	127.89	1002.3	1130.2	0.2311	1.6174	1.8485	160
170	5.992	0.01645	62.04	62.06	137.90	996.3	1134.2	0.2472	1.5822	1.8293	170
180	7.510	0.01651	50.21	50.23	147.92	990.2	1138.1	0.2630	1.5480	1.8109	180
190	9.339	0.01657	40.94	40.96	157.95	984.1	1142.0	0.2785	1.5147	1.7932	190
200	11.526	0.01663	33.62	33.64	167.99	977.9	1145.9	0.2938	1.4824	1.7762	200
210	14.123	0.01670	27.80	27.82	178.05	971.6	1149.7	0.3090	1.4508	1.7598	210
212	14.696	0.01672	26.78	26.80	180.07	970.3	1150.4	0.3120	1.4446	1.7566	212
220	17.186	0.01677	23.13	23.15	188.13	965.2	1153.4	0.3239	1.4201	1.7440	220
230	20.780	0.01684	19.365	19.382	198.23	958.8	1157.0	0.3387	1.3901	1.7288	230
240	24.969	0.01692	16.306	16.323	208.34	952.2	1160.5	0.3531	1.3609	1.7140	240
250	29.825	0.01700	13.804	13.821	216.48	945.5	1164.0	0.3675	1.3323	1.6998	250
260	35.429	0.01709	11.746	11.763	228.64	938.7	1167.3	0.3817	1.3043	1.6860	260
270	41.858	0.01717	10.044	10.061	238.84	931.8	1170.6	0.3958	1.2769	1.6727	270
280	49.203	0.01726	8.628	8.645	249.06	924.7	1173.8	0.4096	1.2501	1.6597	280
290	57.566	0.01735	7.444	7.461	259.31	917.5	1176.8	0.4234	1.2238	1.6472	290
300	67.013	0.01745	6.449	6.466	269.59	910.1	1179.7	0.4369	1.1980	1.6350	300
310	77.68	0.01755	5.609	5.626	279.92	902.6	1182.5	0.4504	1.1727	1.6231	310
320	89.66	0.01765	4.896	4.914	290.28	894.9	1185.2	0.4637	1.1478	1.6115	320
330	103.06	0.01776	4.289	4.307	300.68	887.0	1187.7	0.4769	1.1233	1.6002	330
340	118.01	0.01787	3.770	3.788	311.13	879.0	1190.1	0.4900	1.0992	1.5891	340
350	134.63	0.01799	3.324	3.342	321.63	870.7	1192.3	0.5029	1.0754	1.5783	350
360	153.04	0.01811	2.939	2.957	332.18	862.2	1194.4	0.5158	1.0519	1.5677	360
370	173.37	0.01823	2.606	2.625	342.79	853.5	1196.3	0.5286	1.0287	1.5573	370
380	195.77	0.01836	2.317	2.335	353.45	844.6	1198.1	0.5413	1.0059	1.5471	380
390	220.37	0.01850	2.0651	2.0836	364.17	835.4	1199.6	0.5539	0.9832	1.5371	390
400	247.31	0.01864	1.8447	1.8633	374.97	826.0	1201.0	0.5664	0.9608	1.5272	400
410	276.75	0.01878	1.6512	1.6700	385.83	816.3	1202.1	0.5788	0.9386	1.5174	410
420	308.83	0.01894	1.4811	1.5000	396.77	806.3	1203.1	0.5912	0.9166	1.5078	420
430	343.72	0.01910	1.3308	1.3499	407.79	796.0	1203.8	0.6035	0.8947	1.4982	430
440	381.59	0.01926	1.1979	1.2171	418.90	785.4	1204.3	0.6158	0.8730	1.4887	440
450	422.6	0.0194	1.0799	1.0993	430.1	774.5	1204.6	0.6280	0.8513	1.4793	450
460	466.9	0.0196	0.9748	0.9944	441.4	763.2	1204.6	0.6402	0.8298	1.4700	460
470	514.7	0.0198	0.8811	0.9009	452.8	751.5	1204.3	0.6523	0.8083	1.4606	470
480	566.1	0.0200	0.7972	0.8172	464.4	739.4	1203.7	0.6645	0.7868	1.4513	480
490	621.4	0.0202	0.7221	0.7423	476.0	726.8	1202.8	0.6766	0.7653	1.4419	490
500	680.8	0.0204	0.6545	0.6749	487.8	713.9	1201.7	0.6887	0.7438	1.4325	500
520	812.4	0.0209	0.5385	0.5594	511.9	686.4	1198.2	0.7130	0.7006	1.4136	520
540	962.5	0.0215	0.4434	0.4649	536.6	656.6	1193.2	0.7374	0.6568	1.3942	540
560	1133.1	0.0221	0.3647	0.3868	562.2	624.2	1186.4	0.7621	0.6121	1.3742	560
580	1325.8	0.0228	0.2989	0.3217	588.9	588.4	1177.3	0.7872	0.5659	1.3532	580
600	1542.9	0.0236	0.2432	0.2668	617.0	548.5	1165.5	0.8131	0.5176	1.3307	600
620	1786.6	0.0247	0.1955	0.2201	646.7	503.6	1150.3	0.8398	0.4664	1.3062	620
640	2059.7	0.0260	0.1538	0.1798	678.6	452.0	1130.5	0.8679	0.4110	1.2789	640
660	2365.4	0.0278	0.1165	0.1442	714.2	390.2	1104.4	0.8987	0.3485	1.2472	660
680	2708.1	0.0305	0.0810	0.1115	757.3	309.9	1067.2	0.9351	0.2719	1.2071	680
700	3093.7	0.0369	0.0392	0.0761	823.3	172.1	995.4	0.9905	0.1484	1.1389	700
705.4	3206.2	0.0503	0	0.0503	902.7	0	902.7	1.0580	0	1.0580	705.4

Fuente: KERN, Donald. Procesos de transferencia de calor. p. 922.

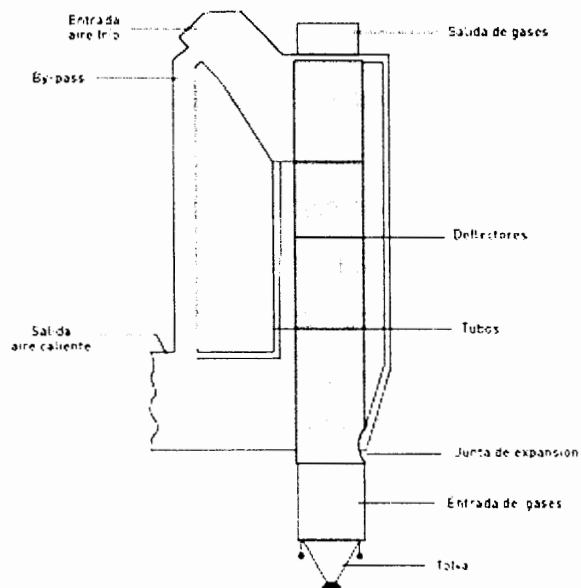
Anexo 12. Opciones para optimizar los costos de combustión de la caldera Módulo economizador para caldera

Puede reducir los costes de combustible de forma fácil y económica. Los gases provenientes de la combustión de calderas son una importante fuente de energía fácilmente aprovechable.



Fuente: KOHAN, A. Lawrence. Manual de calderas. p. 351.

Anexo 13. Calentador de aire tubular



Fuente: KOHAN, A. Lawrence. Manual de calderas. p. 351.

Anexo 14. **BPM informe 32 necesarias para la producción de líquidos según Organización mundial de la salud**

- **Área de producción**

- El laboratorio cuenta con áreas de tamaño, diseño y servicios (aire, agua, luz, ventilación, etc) para efectuar los procesos de producción.
- Las áreas de producción (elaboración):
 - ✓ Están identificadas y separadas para la producción de sólidos, líquidos y semisólidos. Tienen paredes, pisos y techos lisos, con curvas sanitarias, de tal forma que permitan la fácil limpieza y sanitización.
 - ✓ Las tuberías y puntos de ventilación son de material que permitan su fácil limpieza y están correctamente ubicados.
 - ✓ Están las tomas de gases y fluidos identificados y no son intercambiables.
 - ✓ Las ventanas y las lámparas con difusores lisos están empotrados.
 - ✓ Disponen de sistemas de inyección y extracción de aire.
 - ✓ No son utilizadas como áreas de paso.
 - ✓ Están libres de materiales y equipo que no estén involucrados en el proceso.
- Existe un área exclusiva para el lavado de equipos móviles, recipientes y utensilios.
- Las instalaciones tienen curvas sanitarias y servicios para el trabajo que allí se ejecuta.
- Se encuentra en buenas condiciones de orden y limpieza.

- El piso de esta área cuenta con desnivel hacia el desagüe, para evitar que se acumule el agua.
- Existe un área separada, identificada limpia y ordenada para colocar equipo limpio que no se esté utilizando.
 - ✓ Tienen paredes, pisos y techos lisos que permitan la fácil limpieza y sanitización.
 - ✓ No son utilizadas como áreas de paso.
- **Áreas de acondicionamiento para empaque**
 - Está el área de empaque separada e identificada.
 - El área tiene el tamaño de acuerdo con su capacidad y línea de producción, con el fin de evitar confusiones.
 - El área se encuentra ordenada y limpia.
 - El área de empaque:
 - ✓ Tienen paredes, pisos y techos lisos de tal forma que permitan la fácil limpieza y sanitización.
 - ✓ Están las tomas de gases y fluídos identificados.
 - ✓ Las ventanas y las lámparas con difusores lisos están empotrados.
 - ✓ Tiene ventilación e iluminación que asegure condiciones confortables al personal y no afecten negativamente la calidad del producto.
 - No son utilizadas como áreas de paso, ni cuarentena.
 - Están libres de materiales y equipo que no estén involucrados en el proceso.
 - No se utiliza madera en esta área.

- **Áreas auxiliares**

- Están los servicios sanitarios accesibles a las áreas de trabajo y no se comunican directamente con las áreas de producción.
- Los vestidores están comunicados directamente con las áreas de producción.
- Los vestidores y servicios sanitarios tiene las siguientes condiciones:
 - ✓ Identificados correctamente.
 - ✓ La cantidad de servicios sanitarios para hombres y mujeres está de acuerdo con el número de trabajadores.
 - ✓ Se mantienen limpios y ordenados.
 - ✓ Existen procedimientos para la limpieza y sanitización.
 - ✓ Están separados y accesibles los servicios sanitarios a las áreas de trabajo y no se comunican con las áreas de producción, manteniendo un flujo adecuado.
 - ✓ Cuentan con lavamanos y duchas provistas de agua fría y caliente donde se requiera.
 - ✓ Dispone de espejos, toallas de papel o secador eléctrico de manos, jaboneras con jabón líquido desinfectante y papel higiénico.
 - ✓ Tienen separados los vestidores de los servicios sanitarios por una pared.
 - ✓ Hay casilleros, zapateras y las bancas necesarias (no de madera).
 - ✓ Hay rótulos o letreros que enfatizan la higiene personal (lavarse las manos antes de salir de este lugar).

- ✓ Se prohíbe mantener, guardar, preparar y consumir alimentos en esta área, manteniendo rótulos que indiquen esta disposición.
 - Existe un área separada a las áreas de producción destinadas al mantenimiento de equipos y almacenamiento de herramientas y repuestos.
- **Equipo**
 - Está el equipo utilizado en la producción, diseñado y construido de acuerdo con la operación que en él se realice.
 - La ubicación del equipo, facilita su limpieza, así como la del área en la que se encuentra.
 - Cuenta el equipo con un código de identificación único.
 - Todo equipo empleado en la producción, control de calidad, empaque y almacenaje, cuenta con un procedimiento en el cual se especifiquen en forma clara las instrucciones y precauciones para su operación.
 - Todo los instrumentos de medición son utilizados de acuerdo con su rango y capacidad.
 - Se verifica en el equipo, la integridad de los tamices y filtros.
 - El proceso de limpieza del juego de mangas garantiza la no contaminación cruzada.
 - Son las piezas o partes de los equipos almacenadas en un lugar seguro y se mantienen en buen estado de conservación.
 - La reparación y mantenimiento de los equipos se efectúa de tal forma, que no presente ningún riesgo para la calidad de los productos.
 - Existe un programa de mantenimiento preventivo de los equipos.

- Los equipos en reparación se identifican como tales.
- Los equipos declarados fuera de servicio son identificados como tales y retirados de las áreas productivas, según procedimiento escrito.
- Existe un programa de mantenimiento de equipos.
- Existen procedimientos de la limpieza del equipo, incluyendo utensilios.
- Se establece un período de vigencia de la limpieza de los equipos y utensilios.
- Todas las mangueras, tubos y tuberías empleadas en la transferencia de fluidos, deben mantenerse identificadas.
- Si el equipo es muy pesado, está diseñado para que se pueda ejecutar su limpieza, sanitización o esterilización en el área de producción.
- Se identifican todos los equipos limpios con una etiqueta que indique la siguiente información:
 - ✓ Nombre del equipo
 - ✓ Fecha cuando fue realizada la limpieza
 - ✓ Nombre y código o número de lote del último producto fabricado
 - ✓ Nombre y código o número de lote del producto a fabricar, cuando aplique.
 - ✓ Nombre o firma del operario que realizó la limpieza y de quién la verificó
- Son las superficies de los equipos que tienen contacto directo con las materias primas, productos en proceso de acero inoxidable de acuerdo con su uso u otro material que no sea reactivo, aditivo y adsorbente.

- Se evita el contacto entre el producto y las sustancias lubricantes requeridas para el buen funcionamiento del equipo.
- **Sistema de agua**
 - Existe suministro de agua potable que le permita satisfacer sus necesidades.
 - El agua que abastece el sistema de tratamiento de agua es clorada; existe un sistema para retirar el cloro residual.
 - Posee un sistema de tratamiento de agua que le permita obtenerla, cumpliendo con las especificaciones de los libros oficiales para la producción.
 - Tiene diagrama del sistema de tratamiento, planos de la red de distribución del agua y sus puntos de muestreo.
 - El sistema de agua está construido en material de tipo sanitario.
 - La distribución del agua, se hace por tuberías y válvulas de material sanitario.
 - Son monitoreados regularmente los sistemas de suministro, tratamiento de agua y el agua tratada.
 - Se mantienen registros del monitoreo y de las acciones realizadas.
 - Existe un procedimiento escrito de muestreo del agua.
 - Hay rotación de los puntos de muestreo del sistema de tratamiento de agua y de su red de distribución.
 - El mantenimiento del sistema de tratamiento de agua y su red de distribución, está debidamente planificado.
 - Existen procedimientos escritos para operar y sanitizar el sistema de tratamiento de agua, su red de distribución y puntos de muestreo.

- Para la producción de los productos y el enjuague final en la limpieza de los recipientes y equipos, se utiliza agua que cumpla con las especificaciones de los libros oficiales.
- Cumplen los tanques o cisternas para almacenamiento de agua (potable y agua calidad farmacéutica) con condiciones que aseguren la calidad del agua almacenada.
- Existen procedimientos escritos para llevar a cabo la limpieza, sanitización y control de los tanques o cisternas.
- Se realizan controles fisicoquímicos del agua de calidad farmacéutica de acuerdo con farmacopeas oficiales o según métodos alternativos validados, de cada lote o día de producción.
- Se realizan controles microbiológicos en los días de uso del agua en la producción, o con una frecuencia establecida debidamente validada.

- **Sistema de aire**

- Existe un sistema de tratamiento de aire que evite el riesgo de la contaminación de los productos.
- El sistema de aire está ubicado de manera que facilite su limpieza y mantenimiento.
- Existen prefiltros, filtros y todo equipo necesario para garantizar el grado de aire que se requiere en las diferentes áreas de producción.
- Están convenientemente ubicadas las rejillas de inyección y extracción de aire.
- Se manejan diferenciales de presión.
- Se tienen instrumentos de medición para verificar los diferenciales de presión.

- Se llevan registros de temperatura, humedad relativa y diferenciales de presión en las áreas de acuerdo con los productos que se fabriquen.
- Existe un programa de mantenimiento preventivo que abarque los controles periódicos del sistema de aire.
- Se llevan registros escritos de los cambios de los filtros y prefiltros.
- Existe procedimiento escrito para la destrucción de los residuos y filtros que se utilizaron en el sistema de inyección y extracción de aire.
- Existe programa y procedimiento escrito para realizar los controles microbiológicos ambientales que garanticen la calidad del aire.

