



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Diseño de un Sistema Térmico a Vapor para elaborar 2500 Kg/h de
Jarabe de Azúcar para la empresa Termoautomatica Servicios
Generales E.I.R.L.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

AUTOR(ES):

Calderón Cruz, Jheysom Alfonso (orcid.org/0000-0002-5285-2542)
Sánchez Arias, Willan Robinson (orcid.org/0000-0002-2750-4917)

ASESOR:

Dr. Jorge Antonio Olortegui Yume (ORCID: 0000-0001-5734-040X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO — PERÚ

2022

DEDICATORIA

Jheysom calderón Cruz

A Dios por darme la bendición de culminar esta investigación.

A mis padres Jorge Calderón, Tania Lorena por su sacrificio incondicional, por sus palabras de ayuda, comprensión, muestras de amor, y ser parte de mi formación personal.

A mis queridos hermanos Brayan Calderón y María Zenaida por sus palabras de ánimo y aliento.

A mi bella novia Kiara y adorada hija Alessia Valeria por su amor, comprensión, confianza y ayuda.

Y mis 2 abuelitos, Alfonso calderón y María Fabián y a toda mi familia, por sus palabras de bien y bendición.

DEDICATORIA

Willan Sánchez Arias

A Dios por darme la bendición de culminar esta investigación.

*A mis padres Pedro Sánchez y Gabriela Arias por su sacrificio incondicional,
por sus palabras de ayuda, comprensión, muestras de amor, y ser parte de mi
formación personal.*

*A mis queridos hermanos Mitchael y Esthefany por sus palabras de ánimo y
aliento.*

*Y mis 2 abuelitos Felipe Arias y María Flores, y a toda mi familia, por sus
palabras de bien y bendición.*

AGRADECIMIENTOS

Estamos agradecidos a Dios por brindarnos la salud y sabiduría en cada día de nuestra vida, permitiendo culminar esta investigación.

En este punto queremos hacer mención a nuestros amados padres por el apoyo incondicional, sembrando en nosotros valores y virtudes buenas para lograr ser personas correctas.

Agradecemos a nuestro asesor Dr. Jorge Olortegui Y. por su apoyo profesional e interés para lograr culminar esta investigación.

A nuestro docente, Ing. Jorge Inciso por su apoyo en la solución de problemas en el camino.

A la reconocida empresa Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L por darnos la oportunidad de realizar esta investigación, al Departamento de Diseño y Gestión que encabeza el Ingeniero Raúl Paredes Rosario.

Por último y no menos importante agradecemos a nuestros familiares (Tíos y Tías) por siempre brindarnos su apoyo moral y económico en momentos de escasez en el transcurso de toda nuestra vida de estudiantes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice De Contenidos	iv
Índice de Tablas	v
Índice de Graficos y Figuras.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRUDUCCION	1
2. MARCO TEORICO	6
3. METODOLOGIA	23
3.1. Tipo de diseño de investigación	23
3.2. Variables de operacionalización	23
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	28
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.5. Método de análisis de datos	29
3.6. Aspectos éticos.....	30
4. RESULTADOS.....	31
4.1. Necesidades y exigencias del proceso de jarabe de azúcar.	31
4.2. Códigos y normas de diseño para los componentes del sistema.	35
4.3. Diseño conceptual	38
4.4. Diseño de configuración	48
4.5. Selección de Materiales y Dimensionamiento	54
5. DISCUSION	101
6. CONCLUSIONES	104
7. RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS.....	107
ANEXOS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	27
Tabla 2:	29
Tabla 3:	34
Tabla 4:	38
Tabla 5:	46
Tabla 6:	46
Tabla 7:	47
Tabla 8:	52
Tabla 9:	53
Tabla 10:	54
Tabla 11:	60
Tabla 12:	89
Tabla 13:	90
Tabla 14:	92
Tabla 15:	93
Tabla 16:	94
Tabla 17:	94
Tabla 18:	95
Tabla 19:	96
Tabla 20:	96
Tabla 21:	97
Tabla 22:	97
Tabla 23:	98
Tabla 24:	99
Tabla 25:	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1	11
Figura 2	13
Figura 3	14
Figura 4	16
Figura 5	17
Figura 6	18
Figura 7	24
Figura 8	25
Figura 9	26
Figura 10	39
Figura 11	41
Figura 12	42
Figura 13	44
Figura 14	49
Figura 15	50
Figura 16	51
Figura 17	55
Figura 18	56
Figura 19	58
Figura 20	69
Figura 21	73
Figura 22	77
Figura 23	79
Figura 24	81
Figura 25	82
Figura 26	87
Figura 27	88
Figura 28	91
Figura 29	91

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se realizó el Diseño de un sistema térmico a vapor para elaborar 2500 kg/h de jarabe de azúcar para la empresa Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L. La finalidad del proyecto es elaborar un sistema que cumpla con las especificaciones técnicas del mercado.

Para el desarrollo se han tenido en cuenta las necesidades de la empresa, empleando como técnica la entrevista, la que fue realizada a 3 trabajadores que laboran actualmente, con los datos obtenidos se elaboró una tabla de características y necesidades que ayudaron a definir el diseño del sistema térmico, seguida de una recopilación de normativas de diseño, materiales y normas de seguridad las cuales fueron consideradas a la hora de elaborar el diseño, también se generaron 4 conceptos de solución, los cuales nos ayudaron a ver y seleccionar partes del sistema térmico para un óptimo diseño adecuado, lo cual nos llevó a elaborar 3 diseños de configuración mediante una tabla de selección de criterio y conceptos de configuración en busca de la mejor elección. Teniendo en cuenta las especificaciones detalladas de Diseño de Ingeniería, donde se empleó el cálculo para el dimensionamiento de los recipientes a presión, luego se realizó el cálculo de las presiones hidrostáticas y presiones por peso de líquido para dimensionar el espesor de los recipientes, posteriormente se realizó el cálculo termodinámico de la chaqueta en el caso del fundidor de azúcar y serpentín en el calentador de agua, finalmente se realizó una simulación de los soportes de ambos recipientes a presión apoyados por el software ANSYS.

Palabras claves: Sistema Térmico, Grados Brix, Azúcar, Recipientes a Presión.

ABSTRACT

In this thesis work, the design of a steam thermal system to produce 2500 kg/h of sugar syrup for the company Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L. was carried out. The purpose of the project is to develop a system that meets the technical specifications of the market.

For the development, the needs of the company have been taken into account, using as a technique the interview, which was conducted to 3 workers currently working, with the data obtained a table of characteristics and needs that helped to define the design of the thermal system was prepared, followed by a compilation of design regulations, These were considered when elaborating the design. Four solution concepts were also generated, which helped us to see and select parts of the thermal system for an optimal adequate design, which led us to elaborate 3 configuration designs by means of a criteria selection table and configuration concepts in search of the best choice.

Taking into account the detailed specifications of Engineering Design, where the calculation for the sizing of pressure vessels was used, then the calculation of hydrostatic pressures and pressures by weight of liquid to size the thickness of the vessels was performed, then the thermodynamic calculation of the jacket in the case of the sugar melter and coil in the water heater was performed, finally a simulation of the supports of both pressure vessels supported by ANSYS software was performed.

Keywords: Thermal System, Brix, Sugar, Pressure Vessels.

1. INTRUDUCCIÓN

A nivel mundial, la producción anual de caña de azúcar asciende a casi 1.700 millones de toneladas y cubre una superficie de 24 millones de hectáreas. El mayor productor es Brasil, con 720 millones de toneladas, produciendo más del 40% de la producción mundial. Esto, combinado con las cifras de India y China, significa que estos tres países son responsables de dos tercios de la producción mundial de caña de azúcar en un área de aproximadamente 15 millones de hectáreas. Los factores climáticos, especialmente el suministro de agua, tienen la mayor influencia en la producción. Mientras que el rendimiento promedio de caña de azúcar en el mundo es cercano a las 60 t/ha, algunos países promedian una producción de 100 t/ha o más. Entre los principales productores que producen más de 20 millones de toneladas por año, Colombia, Argentina, Australia, Filipinas y Brasil tienden a tener un rendimiento promedio de 80 toneladas/ha o más.

Según OECworld (2020), en 2020, el jarabe de azúcar sin adición de aromatizante ni colorante, con fructosa, sobre producto seco, $\geq 20\%$ pero $< 50\%$ en peso (excluido azúcar invertido) fue el producto número 3514to más comercializado a nivel mundial, se comercializó por un total de 212'000,000 USA\$. El comercio de Glucosa sólida y jarabe de azúcar sin aromatizante ni colorante, con fructosa, sobre producto seco, $\geq 20\%$ pero $< 50\%$ en peso (sin azúcar invertido) representa 0.0013% del total de comercio mundial.

Según Malongo (2020), los valores nutricionales del jarabe de azúcar son: a)
Por 100 ml de jarabe diluido: Energía: 42.7 kcal, Grasa: 0 g, Glúcidos (incluidos

azúcares): 11 g - 3 %, Proteínas: 0g, Sal: 0 g. b) Por 100 ml de jarabe puro: Energía: 342 kcal, Grasa: 0 g, Glúcidos (incluidos azúcares): 85 g – 27.5 %, Proteínas: 0 g, Sal: 0 g

La Norma Técnica Sanitaria de Azúcar y Jarabes para el consumo humano (RMN° 684-2005 / MINSA 14 de septiembre de 2005) regula las condiciones y requisitos sanitarios que deben adecuarse para la producción, fraccionamiento y comercialización de azúcares y jarabes, con el fin de garantizar una sana calidad y la seguridad protegiendo la salud de los consumidores, también define al jarabe de azúcar como una solución acuosa de sacarosa en una proporción hasta un máximo de 62% de materia seca. Si esta proporción de azúcar es mayor se trata de un azúcar líquido su fabricación debe hacerse en condiciones de higiene aplicando el sistema HACCP.

Según Agro Perú (2021), en marzo 2021, La Libertad fue el principal productor de caña de azúcar, logró un crecimiento del 45,8% y una concentración del 55,3% de la producción total de caña de azúcar. Según el informe nacional, la producción de caña de azúcar alcanzó las 693.278 toneladas, un incremento de 8,8% respecto al nivel alcanzado en igual mes de 2020, debido a la mejora de la productividad. En la región Arequipa, un aumento del 279,0% y Lima (28,7%); En cambio, disminuyó en Piura (-79,8%), Lambayeque (-28,8%) y Ancash (-19,6%).

La empresa **TERMOAUTOMATICA SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.** comenzó sus actividades en el año 2003. Esta empresa está dedicada y especializada en realizar proyectos de ingeniería, fabricación, instalación y

mantenimiento de activos industriales, térmicos, neumáticos, eléctricos, cuenta con más de 18 años de experiencia en el rubro, los cuales la avala como una empresa preocupada por brindar soluciones ingenieriles, eficientes y eficaces, ofreciendo servicios a empresas industriales de La Libertad, Lambayeque, Ancash y Piura. Cuenta con un Departamento de Ingeniería, con un Departamento de Energía, térmica y eléctrica y con un Departamento de Mantenimiento Industrial.

Actualmente, la elaboración del jarabe de azúcar en algunas empresas industriales azucareras se realiza de forma casi artesanal y a baja escala. Debido a este modo artesanal de producción, existen mermas importantes de la materia prima inicial. Durante todo el proceso no se realiza un adecuado control de temperatura ni monitoreo de la calidad del producto. Del mismo modo, no se presta atención al tiempo de procesado. Esta situación ocasiona reprocesos especialmente en el área de centrifugación. Adicionalmente, esta falta de orden en el procesamiento impacta también el consumo de combustible, por ejemplo, una empresa promedio del rubro consume de 2000 a 2500 kg de carbón de madera por semana, a un costo de 3.5 soles por kilogramo, lo que representa, alrededor de 35,000 soles al mes. Como un dato aproximado se tiene que en esta empresa se tiene por lo menos tres reprocesos de azúcar rubia por semana, debido a que el jarabe de caramelo no cumple con los estándares de color y viscosidad. En términos de cantidad y dinero se reprocesan de 500 a 700 kg de azúcar rubia, lo que significa un promedio de 3,800 a 5,320 soles por semana, a un costo unitario de reproceso de 7.6 soles/kg azúcar. Este panorama presentado ha llevado a las empresas de este rubro a considerar una necesidad

el diseño formal de un sistema térmico a vapor para elaborar jarabe de azúcar teniendo en cuenta una correcta secuencia de procesado y un control adecuado del mismo. Debido a que estas empresas azucareras no poseen una división de diseño y fabricación propia se prefiere encargar este trabajo a empresas externas de amplia experiencia en la materia tales como Termoautomática Servicios Generales E.I.R.L.

La formulación del problema de investigación sería ¿Qué características técnicas y dimensiones debería tener un sistema térmico de vapor que permita elaborar 2500 Kg/h de Jarabe de Azúcar para la empresa Termoautomatica E.I.R.L.?

Por lo expuesto, se plantea dimensionar un sistema térmico a vapor que permita fabricar el sistema indicado para la elaboración de jarabe de Azúcar con lo cual se obtendrá el producto final listo para su uso en la fabricación de Azúcar rubia comercial. El sistema deberá tener una capacidad de producción de 2500 kg/h de jarabe en un determinado tiempo para mejorar así la producción y la calidad de azúcar rubia comercial.

El presente trabajo de investigación se justifica mediante la aplicación de conocimientos ya existentes para solucionar un determinado problema. Se utilizarán normas y guías especializadas de diseño de intercambiadores de calor con cambio de fase para materiales cristalinos y brindar una propuesta a la empresa Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L, apoyada en la recolección de datos que permitirá mejorar la situación actual de elaboración de jarabe de azúcar reduciendo los reprocesos y mejorando la producción.

Dada la problemática actual de la empresa, se planteó como objetivo general diseñar un sistema térmico de vapor para elaborar 2500 kg/h de jarabe de azúcar para la empresa Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L, para ello como objetivos específicos se planteó: (1) Identificar las necesidades y exigencias de diseño de la empresa, (2) Evaluar alternativas de solución y seleccionar la más adecuada para el sistema, (3) Calcular, dimensionar y seleccionar los componentes mecánicos y térmicos del sistema, (4) Analizar y simular los componentes críticos diseñados, y finalmente (5) Realizar un análisis económico de la solución.

2. MARCO TEÓRICO

Entre los antecedentes encontrados a nivel internacional, a continuación, se presentan los más relevantes.

2.1. ANTECEDENTES

Gubskis (2016) en su trabajo de tesis 'Diseño y modelamiento de tanque con serpentín a medio tubo' Universidad Tecnológica de Kaunas, facultad de ingeniería mecánica y diseño, modelan y diseñan tanques con aplicación interna o presión externa según el código ASME de calderas y recipientes a presión. El objetivo del estudio consistió en diseñar y verificar la seguridad de un recipiente a presión con serpentín de media tubería según lo mencionado. El autor estableció que el principal requisito de seguridad para recipientes presurizados se basa en la determinación de los espesores mínimos de los componentes de los recipientes. Después se establecen los espesores y se debe aplicar una prueba de presión fabricada en el recipiente a los componentes presurizados para garantizar la seguridad del recipiente a presión. El principal problema de la investigación es que el código ASME solo proporciona recomendaciones sobre lo que se debe usar un espesor mínimo para el fondo cónico del recipiente en caso de que el serpentín de medio tubo presurizado sea soldado en él. Todo ingeniero puede seguir esta regla y utilizar el espesor mínimo recomendado, pero en el caso estudiado, se pasó por alto esta regla y redujo el espesor mínimo requerido determinando los materiales reales con el límite elástico, haciendo modelo de elementos finitos y aplicando prueba de presión. Estos cambios en el diseño del tanque son importantes porque reduce los costos de materiales. Además, el tiempo de producción se reduce porque la hoja de acero más delgada es mejor manejable y moldeable.

Rodríguez (2012) en su trabajo de tesis: Modelación de un calentador de chaqueta externa mediante vapor saturado, en su estudio modela el un Calentador de Chaqueta con Calentamiento exterior por vapor, aplicando las ecuaciones de balance de masa y energía en cada situación del sistema de chaqueta y tanque, determinó que la capacidad del sistema varía notoriamente con los flujos en la chaqueta y en el tanque. El flujo definido en el informe, lo es considerado para la modelación definida en Matlab, en las curvas del sistema se observa el momento en el cual la temperatura de la chaqueta y la del estanque es constante, por existir un equilibrio térmico entre ellos y en la transferencia de calor, la temperatura al salir de chaqueta (T2) es 108°C y la del tanque (T4) a 57°C, tiempo de estabilización: 3hrs en chaqueta y 3 hrs 45 min en tanque.

El autor concluye que los datos obtenidos son los esperados, la temperatura en chaqueta (T2) es mayor que la del tanque (T4). La temperatura en chaqueta (T2) debe ser mayor que en tanque (T4), pues la chaqueta tiene un serpentín con vapor saturado, la transferencia de calor hacia ésta es mucho mayor.

Correa, y Vives (2001) en su tesis 'Desarrollo De Una Herramienta De Cálculo Para El Diseño De Calentadores De Fuego Directo ', integraron conceptos de mecánica de fluidos, transferencia de calor, control de procesos, diseño e ingeniería económica implícitos en el diseño y evaluación de calentadores de fuego directo, según los estándares internacionales.

Los autores concluyen que los resultados obtenidos por DECAP todavía se ajustan bien a las realidades del proceso debido al bajo porcentaje de desviación, tanto para la temperatura de salida del proceso como para la eficiencia del

dispositivo, lo que proporciona una confiabilidad significativa del programa. resultado.

Padilla (2013) en su tesis 'Diseño De Un Evaporador Tipo Marmita con Accionamiento interno y Serpentín Para La Elaboración De Diversos Alimentos En Planta Piloto', presentó el diseño de una marmita con serpentín interno para elaborar diversos alimentos con evaporación, que es una operación unitaria importante en los procesos de alimentos, para conservar los mismos mediante la remoción de agua. Para el diseño del calentador se realizó una evaluación bibliográfica, determinación de las ecuaciones de dimensionamiento del intercambiador de calor de olla y serpentín, y una estimación del costo unitario de fabricación considerando materiales y acondicionamientos adecuados. Transporte y empleo.

Sánchez (2021) realizo su tesis 'Diseño Y Simulación De Un Dosificador De Kéfir De Leche Con Acoplamiento A Un Tanque Con Agitación Y Chaqueta Térmica Con Capacidad De 120 L/H Para La Empresa Astimec S.A.', estudio el estado actual de la producción de kéfir de leche a nivel nacional, cómo se lleva a cabo la producción, los recursos utilizados y la optimización de recursos para la elaboración de kéfir de leche. El autor realizó un análisis en el que presentó la opción más factible, a partir de las opciones más factibles que pudieran satisfacer las necesidades productivas y económicas. También evalúa todos los componentes para hacer la selección correcta de los siguientes componentes principales: el sistema de dosificación, el sistema de transferencia de calor en el tanque, el sistema de limpieza y los materiales para su construcción.

2.2. JARABE DE AZUCAR

Este es un jugo natural de productos vegetales (maíz, frutas, etc.), endulzado, concentrado a una consistencia de jarabe, con un mínimo de 62 °Brix y no contiene saborizantes, colorantes ni colorantes artificiales.

2.2.1. GRADOS BRUX

Grado Brix (símbolo °Brix) mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. Brix se miden en sacarímetro, que mide la gravedad específica de un líquido, o, más fácilmente con un refractómetro.

$$m_1 \times \text{°Brix}_1 = m_2 \times \text{°Brix}_2 \quad \dots (1)$$

Donde:

m_1 : masa de azúcar inicial (kg)

m_2 : masa de jarabe acaramelado (kg)

°Brix_1 = cantidad de sacarosa en azúcar inicial (°Brix)

°Brix_2 = cantidad de sacarosa en el jarabe acaramelado (°Brix)

Si quiero calcular cuánta agua necesito agregar para cambiar el grado Brix en una solución, necesito usar la siguiente fórmula:

$$VF = \frac{(100 \cdot X1)}{\text{°Brix}_2} \quad \dots (2)$$

Donde:

°Brix = grados Brix de la solución.

X1 = cantidad de azúcar inicial, se calcula con la fórmula 2.

VF = Volumen similar de mezclar V1 y Vagua.

VF = V1 + Vagua lo que nos conlleva al siguiente despeje.

$$V_{agua} = V_F - V_1 \dots (3)$$

Volumen de liquido

$$V_{liquido} = \frac{m}{\rho} \dots (4)$$

Donde:

$V_{liquido}$: Volumen del líquido m³

$m_{liquido}$: masa de líquido (kg)

$\rho_{liquido}$: densidad del líquido (kg/m³)

Presión Hidrostática

Suponiendo que todos los puntos del fluido están en equilibrio, la presión hidrostática es proporcional a la densidad, profundidad y gravedad del fluido. La ecuación de la presión hidrostática en un fluido en equilibrio es:

$$P_H = \rho g h \dots (5)$$

Donde:

P_H : Presión Hidrostática (Pa)

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

g : gravedad (m/s²)

h : altura del tanque (m)

Presión por peso del liquido

Se conoce como la fuerza ejercida por el peso de dicho liquido en el fondo del recipiente.

$$Pl = \frac{m \cdot g}{A} \dots (6)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \dots (7)$$

Donde:

P_l : Presión del líquido (Pa)

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

g : gravedad (m/s^2)

A : área del tanque (m^2)

2.3. DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESION

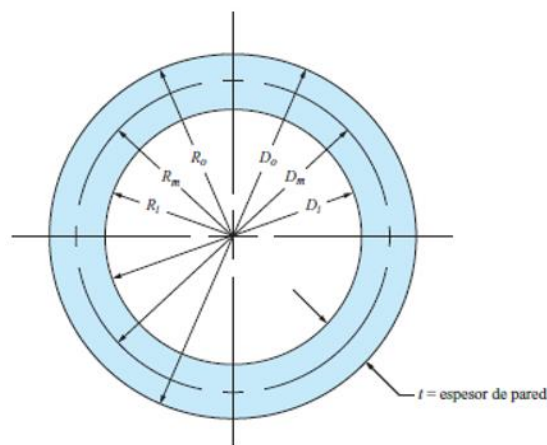
2.3.1. Espesor de recipientes a Presión.

La cantidad de esfuerzo en la pared de un recipiente a presión cambia en función de la posición en la pared. Un análisis preciso hace posible calcular la presión en cualquier punto.

Sin embargo, cuando el espesor de pared del recipiente a presión es pequeño, la suposición de que el esfuerzo es uniforme en toda la pared produce un error insignificante. Además, esta suposición permite desarrollar fórmulas de esfuerzo relativamente simples.

Figura 1

Diámetros, radios y espesores de pared clave de cilindros y esferas.



Fuente: Resistencia de Materiales (p.641), por Mott Robert L, 2009.

$$\begin{array}{rcl}
 R_i = R_o - t & D_i = D_o - 2t & \\
 R_m = R_o - \frac{t}{2} & D_m = D_o - t & \\
 R_m = R_i - \frac{t}{2} & D_m = D_i - t &
 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{rcl} R_i = R_o - t \\ R_m = R_o - \frac{t}{2} \\ R_m = R_i - \frac{t}{2} \end{array}} \right\} \dots (8)$$

Donde:

R_i : Radio inicial (m)

R_m : Radio medio (m)

R_o : Radio exterior (m)

D_i : Diámetro inicial (m)

D_m : Diámetro medio (m)

D_o : Diámetro exterior (m)

Los criterios para determinar si un recipiente a presión es de pared delgada son los siguiente:

Si la relación entre el radio medio del recipiente y el espesor de su pared es 10 o más, entonces los esfuerzos son casi uniformes y se puede suponer que todos los materiales de la pared resisten por igual las fuerzas aplicadas. Los recipientes como éstos se denominan recipientes de pared delgada.

Por consiguiente, un recipiente a presión se considera delgado si

$$\frac{R_m}{t} \geq 10 \quad \dots (9)$$

Donde t es el espesor de la pared del recipiente:

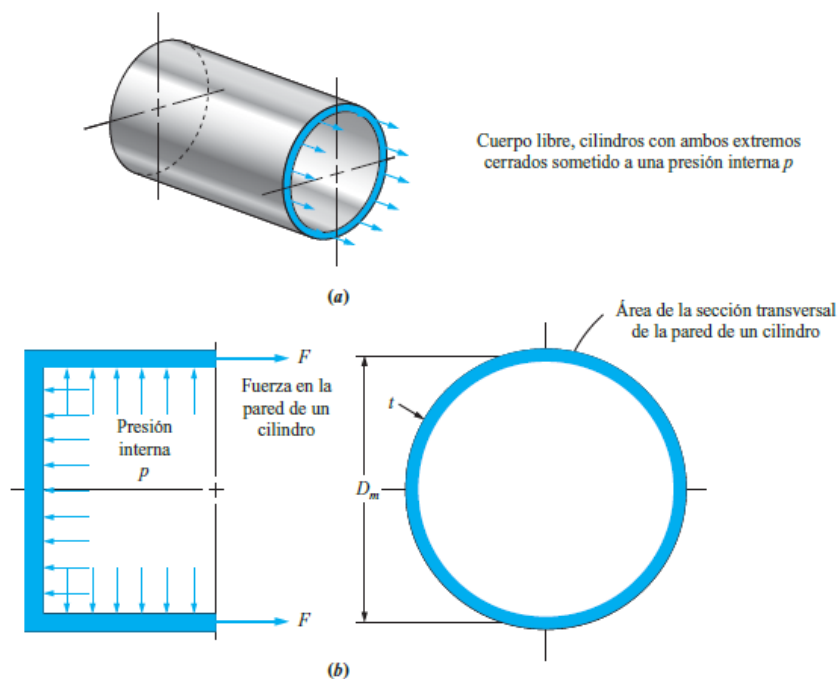
$$\frac{D_m}{t} \geq 20 \quad \dots (10)$$

2.3.2. Esfuerzo longitudinal

La siguiente figura muestra una sección de un cilindro de presión interna, cortada perpendicularmente a su eje para poder crear un diagrama de cuerpo libre. Suponiendo que el extremo del cilindro está cerrado, por la presión que actúa en el área circular del extremo producirá una fuerza resultante.

Figura 2

Diagrama de cuerpo libre de un cilindro sometido a presión interna



Fuente: Resistencia de Materiales (p.644), por Mott Robert L, 2009.

$$\sigma = \frac{F_R}{A_w} = \frac{p\left(\frac{\pi D_m^2}{4}\right)}{\pi D_m t} = \frac{p D_m}{4t} \quad \dots (11)$$

Donde:

F_R : Fuerza Resultante (N)

A_w : Área Transversal de la pared (m^2)

D_m : Diámetro medio (m)

P: Presión (Pa)

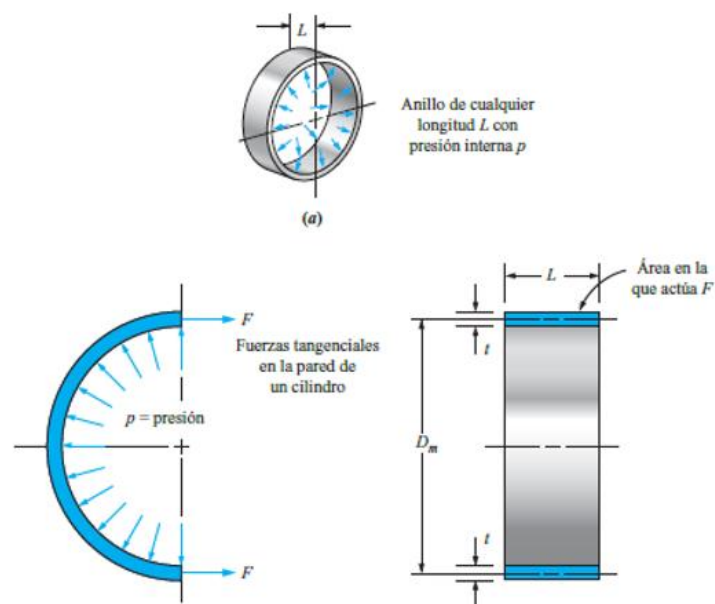
t: espesor de la pared (m)

2.3.3. Esfuerzo Anular

La presencia del anillo o presión circunferencial se observa al aislar un anillo del cilindro como se muestra en la Fig. 3. La fuerza interna empuja hacia afuera uniformemente alrededor del anillo. Esto crea un esfuerzo de tracción transversal en su circunferencia para resistir la tendencia de la presión de reventarlo.

Figura 3

Diagrama de cuerpo libre de un cilindro sometido a presión interna



Fuente: Resistencia de Materiales (p.645), por Mott Robert L, 2009.

$$\sigma = \frac{F_R}{A_w} = \frac{pD_mL}{2tL} = \frac{pD_m}{2t} \quad \dots (12)$$

Donde:

F_R : Fuerza Resultante (N)

A_w : Área Transversal de la pared (m^2)

D_m : Diámetro medio (m)

P: Presión (Pa)

t: espesor de la pared (m)

2.3.4. Teoría de la energía de distorsión

La teoría de la energía de deformación máxima augura que la falla por fluencia se produzca cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcance o supere la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia de fluencia en tensión o en compresión del mismo material.

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad \dots (13)$$

Para el esfuerzo plano, sean σ_A y σ_B ambos esfuerzos diferentes de cero.

Entonces obtenemos la siguiente ecuación:

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad \dots (14)$$

Utilizando los componentes x e y para el esfuerzo plano se tiene la siguiente ecuación:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad \dots (15)$$

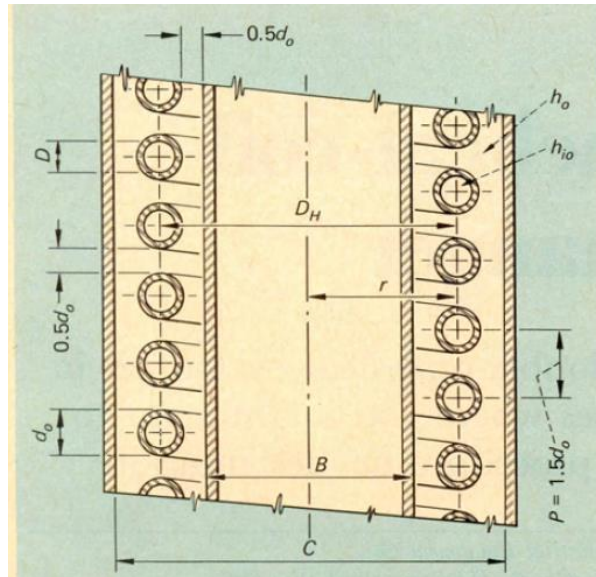
Para poder calcular el factor de seguridad con el esfuerzo de Von Mises y el esfuerzo de fluencia del material se usará la siguiente expresión:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad \dots (16)$$

2.3.5. SERPENTIN

Figura 4

Distribución de tuberías en un serpentín.



Fuente: Ramachandra K. Patil, Rathi Industrial Equipment,

2.3.5.1 Cálculo de diámetro equivalente del serpentín

$$D_H = D - 2 * D_e - 2 * W \dots (17)$$

Donde:

D_H : Diámetro equivalente del serpentín (mm)

D : Diámetro del tanque (mm)

D_e : Diámetro exterior (mm)

W : ancho de punta de agitador tipo ancla (mm)

2.3.5.2 Cálculo de diámetro interno del serpentín

$$D_{I-S} = D_H - D_e \dots (18)$$

2.3.5.3 Cálculo de diámetro externo del serpentín

$$D_{E-S} = D_H + D_e \dots (19)$$

2.3.5.4 Cálculo del paso del serpentín

$$P_s = 1.5 * D_e \dots (20)$$

2.3.5.5 Cálculo de altura de serpentín

$$H_s = (N * P_s) + D_e \dots (21)$$

Donde:

N: número de espiras del serpentín

2.3.5.6 Cálculo de longitud del serpentín

$$L_s = N \sqrt{P_s^2 + (\pi * D_H)^2} \dots (22)$$

2.3.5.7 Cálculo de área del serpentín

$$A_s = \pi * L_s * D_e \dots (24)$$

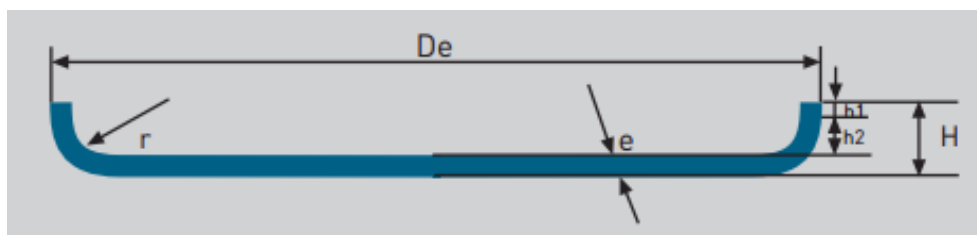
2.3.5.8 Cálculo de volumen del serpentín

$$V_s = \frac{\pi}{4} * D_e^2 * L_s \dots (25)$$

2.3.6. Dimensionamiento de tapa plana para calentador de agua.

Figura 5

Fondo de tanque calentador de agua



Fuente: Norma DIN 23632

$$H = r + h_1 + e \dots (26)$$

$$V(h_2) = 0.75 * D^2 * h_2 \dots (27)$$

$$h_2 = r$$

Donde:

H: altura de tapa en (mm)

De: diámetro exterior de tanque (mm)

h1: altura interior de tapa (mm)

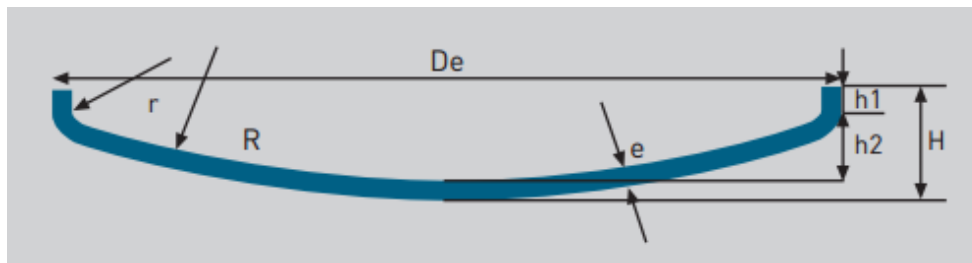
e: espesor de tanque (mm)

V(h2): volumen de tapa plana interior (m³)

2.3.7. dimensionamiento de tapa de baja presión.

Figura 6

Tapa de recipiente a baja presión



Fuente: Norma DIN 23632

$$R = 2 * De \dots (28)$$

$$h2 = R - \sqrt{(R - r)^2 - \left(\frac{D}{2} - r\right)^2} \dots (29)$$

$$H = h1 + h2 + e \dots (30)$$

$$V(h2) = (De + r)^2 * 0.42 * h2 \dots (31)$$

Donde:

R: radio de tapa de baja presión (mm)

h2: altura interior de tapa (mm)

H: altura exterior de tapa (mm)

V(h2): Volumen interior de tapa (m³)

COMPONENTES

Potencia del Motor

$$T = \frac{\mu * F * d}{2} \dots (32)$$

Entonces:

$$H = \frac{T * n}{63000} \dots (33)$$

2.4. ANÁLISIS TERMICO GENERAL

La ecuación de conservación de energía para el flujo estable de un fluido en un tubo se expresa como:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_e - T_i) \dots (34)$$

Donde:

\dot{Q} : transferencia de calor

T_i : temperatura de entrada

T_e : temperatura de salida

2.4.1. Cilindros y esferas con capas múltiples

La transferencia de calor estacionaria a través de capas cilíndricas o esferas múltiples.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \dots (35)$$

Donde R_{total} es la resistencia térmica total, expresada como:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil,1} + R_{cil,2} + R_{cil,3} + R_{conv,2}$$
$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \dots (36)$$

2.5. COEFICIENTE TOTAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para calcular la resistencia térmica de la pared en un intercambiador de calor de doble tubo se utiliza:

$$R_{pared} = \frac{\ln(D_0/D_i)}{2\pi kL} \dots (37)$$

Donde:

k : conductividad térmica del material de la pared

D_0 : diámetro exterior

D_i : diámetro interior

L : es la longitud del tubo

Entonces:

$$R = R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_0/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o} \dots (38)$$

Donde:

A_i : es el área de la superficie interior.

A_o : es el área de la superficie exterior.

Durante un análisis de intercambiadores de calor es más factible combinar todas las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor del fluido caliente hacia el frío en una sola resistencia R la cual se expresa como:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o \Delta T \dots (39)$$

Donde:

U : es el coeficiente total de transferencia de calor ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) = h , cancela ΔT

Entonces la fórmula quedaría así:

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o A_o} \dots (40)$$

SERPENTÍN EN TANQUE O RECIPIENTE CON CHAQUETA, MEDIO CALEFACTOR ISOTERMICO.

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} = \frac{UA\theta}{Mc} \dots (41)$$

Donde:

T_1 : temperatura del medio condensante

t_1 : temperatura inicial

t_2 : temperatura del lote a cualquier tiempo

θ : tiempo

Mc: contenido del recipiente con calor especifico

Recordando

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = e^{-(hA/\rho C_p v)t} \dots (42)$$

Reescribiendo la ecuación (42)

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = e^{-bt} \dots (43)$$

Donde

$$b = \frac{hA}{\rho C_p V} \dots (44)$$

CÁLCULO DE RECIPIENTE ENCHAQUETADO

$$\frac{h_i D_i}{k} = 0.36 \left(\frac{L^2 N p}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{c \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \dots (45)$$

Las demandas de potencia están dadas por la ecuación dimensional de White y colaboradores.

$$hp = 1.29 * 10^{-4} D_i^{1.1} L^{2.72} N^{2.86} y^{0.8} z^{0.6} \mu^{0.14} \rho^{0.86} \dots (46)$$

donde y = ancho del agitador (pies)

D_i : diámetro interior del recipiente (pies)

L : longitud de la paleta del agitador (pies)

y : ancho del agitador (pies)

N' : velocidad (rps)

z : altura del líquido en el recipiente (pies)

μ' : viscosidad dinámica (lb/pie x seg.)

ρ : densidad promedio (lb/pie³)

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de diseño de investigación

La presente investigación es de **tipo aplicada**, pues se desea resolver un problema industrial, de producir jarabe de azúcar, en cierta cantidad y calidad; con la aplicación de técnicas y conocimientos de áreas específicas, como diseño de intercambiadores de calor, transferencia de calor, termodinámica.

El diseño de investigación del presente estudio es no experimental, pues no habrá manipulación de las variables de estudio independientes, como los flujos de azúcar, agua potable y vapor; se analizarán componentes de la realidad problemática y parámetros de operación como calor útil, características del calentador a diseñar, de los fluidos a utilizar, etc.

3.2. Variables de operacionalización

Variable dependiente

Sistema térmico de vapor

Variable independiente

Vapor, kg/h

Temperatura del Jarabe acaramelado, °C

Presión, Pa

Flujo de jarabe acaramelado, kg/h

Figura 7



Fuente: Propia

Figura 8



Fuente: Propia

Figura 9



Fuente: Propia

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Dependiente: Sistema Termino de vapor	Sistema que se basa en controlar la presión para regular la temperatura	Sistema que elabora jarabe acaramelado con características específicas.	°Brix Diámetro de chaqueta Rpm Agitador	Razón
Variable Independiente: Caudal de jarabe de azúcar, kg/h	Masa de jarabe que se obtiene al fundir azúcar rubia a temperatura y tiempo definidos	Masa de jarabe que pasa por un conducto en la unidad de tiempo	2500 kg/h	Intervalo
Variable Independiente: Temperatura del jarabe de azúcar, °C	Medida del calor contenido en el jarabe, con cierta masa	Es el resultado de dividir el calor del jarabe entre el producto del calor específico, y la masa	177-188°C	Intervalo

Variable Independiente: Presión	Es la unidad de medida variable durante la elaboración del jarabe acaramelado	Es el resultado de la fuerza ejercida por unidad de área.	20 – 25 Bar	Intervalo
Variable independiente: Flujo de vapor	Cantidad de vapor que se utiliza en un proceso, en determinado tiempo	Producto de la densidad del vapor, por la sección transversal de un conducto y por la velocidad del vapor.	0.1 – 0.5 Kg/s	Intervalo

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Población y muestra (criterios de selección), muestra, muestreo.

Unidad de análisis.

Población: Sistemas térmicos de vapor en las azucareras en La Libertad

Muestra: Sistema Térmico a Vapor a diseñar.

Muestreo: No probabilístico no intencionado porque no utilizará la estadística y además ha sido elegido por los investigadores.

Unidad de Análisis: Sistema Térmico a Vapor a diseñar.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

1. TÉCNICAS	2. INSTRUMENTO	3. VALIDACIÓN
OBSERVACION	Ficha de observación Para conocer las características de la elaboración de jarabe acaramelado	Por asesor especialista
ENTREVISTAS	Ficha de Entrevista para conocer el grado de conocimiento de los operarios	Por asesor especialista
ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	Fichas de investigación, información de manuales, catálogos, selección de equipos.	Por asesor especialista

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Método de análisis de datos

Para modelar el diseño de los componentes del sistema se siguió la metodología de diseño de Eggert, el programa SOLIDWORKS, para evaluar las cargas fijas de diseño, y el programa ANSYS para validar los resultados por análisis, además de calcular el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el retorno de la inversión del proyecto, el programa Microsoft Excel.

3.6. Aspectos éticos

El proyecto de investigación sigue los estándares propuestos en el Código de Ética de la Universidad, por lo tanto, tiene como objetivo proteger los intereses de los investigadores, así como la seguridad y la propiedad de los participantes. La mente de los investigadores procede a realizar investigaciones de manera responsable, honesta y transparente para crear y mejorar la competitividad científica.

4. RESULTADOS

4.1. Necesidades y exigencias del proceso de elaboración de jarabe de azúcar.

Las necesidades se obtuvieron mediante la aplicación de entrevistas personales que se realizaron en el área de Proyectos, Ingeniería y Producción, las entrevistas fueron desarrolladas por los principales representantes de cada área, el modelo de entrevista que se empleó para la recopilación de la información se encuentra en el Anexo 1 y en el Anexo 2 están todas las entrevistas realizadas y escaneadas. Así mismo el resumen de las entrevistas se encuentra en la Tabla 3, y a continuación se interpretan las respuestas.

Interpretación de los resultados:

Pregunta 1: En el proceso artesanal que se emplea actualmente, ¿Cuál es la capacidad de producción de jarabe de azúcar por hora, día o mes?

De las entrevistas realizadas se sabe que la capacidad de producción de jarabe de azúcar es de 700kg/h, 4200 kg/día y 109200 kg/mes.

Pregunta 2: Para el proceso ¿Cuál es la cantidad de leña que emplean por lote de producción de jarabe de azúcar?

De las entrevistas realizadas se sabe que se necesitan 36 Kg de leña.

Pregunta 3: ¿Cuánto dura la jornada de trabajo del personal a cargo de la elaboración actual del jarabe de azúcar?

De las entrevistas realizadas se sabe que la jornada de trabajo del personal es de 4.5 a 5 horas.

Pregunta 4: ¿Cuál es la cantidad de personal que se emplea en la elaboración actual del jarabe de azúcar?

De las entrevistas realizadas se sabe que se necesitan 2 personas para la elaboración del jarabe de azúcar.

Pregunta 5: ¿Cuáles son las características técnicas del recipiente que se encarga de procesar el jarabe de azúcar en la empresa? (dimensiones, material)

De las entrevistas realizadas se sabe que el recipiente es un cilindro de acero inox de 0.9m de diámetro x 1.7 m de alto.

Pregunta 6: ¿Cuáles es el principal problema que se genera en la elaboración de jarabe de azúcar actualmente?

De las entrevistas realizadas se sabe que el principal problema que se tiene es poder controlar la temperatura.

Pregunta 7: ¿Cuál es el tiempo que se emplea durante el proceso de elaboración de jarabe para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

De las entrevistas realizadas se sabe que para la elaboración del jarabe de azúcar se emplean 50 minutos de los cuales 40 min son para calentamiento, 7.5 min para llenado y 2.5 para evacuación de jarabe.

Pregunta 8: ¿Cuál es la temperatura deseada o recomendada del jarabe de azúcar para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

De las entrevistas realizadas se sabe que la temperatura deseada esta entre 180 a 186 °C para la etapa de fundición, el agua debe de tener una temperatura de 30 a 40 °C y el jarabe obtenido estará en rangos de temperatura de 60 a 65°C.

Pregunta 9: ¿Cuáles son los grados Brix deseados o recomendados para el jarabe de azúcar para su producción óptima?

De las entrevistas realizadas se sabe que los grados Brix deseados están entre 62 a 63°Brix.

Pregunta 10: ¿Cuánto es el costo por kilogramo de leña que emplean en proceso de elaboración de jarabe de azúcar?

De las entrevistas realizadas se sabe que el costo por kilogramo de leña vendido a las agroindustrias está a S/. 20 por kilogramo.

Pregunta 11: ¿Cuánto es el pago del operario involucrado en el proceso de elaboración de jarabe azúcar por jornada de trabajo?

De las entrevistas realizadas se sabe que el salario mínimo de cada operario es de S/. 2800 por mes.

Pregunta 12: ¿Cuál cree usted que es el costo estimado para el sistema de vapor?

De las entrevistas realizadas se sabe que el costo de diseño tendría un costo de 4000 soles a más, la fabricación de 40 000 soles a más y la instalación de 12000 soles a más.

Tabla 3: Tabla Resumen De Entrevistas

TABLA												
Resumen de las entrevistas para determinar las necesidades de la empresa, respecto al diseño del sistema termico a vapor para elaborar 2500 Kg/h de jarabe de azucar												
RESUMEN DE ENTREVISTA												
ASPECTOS	ASPECTO TECNICO					ASPECTO DE DISEÑO				ASPECTO ECONOMICO		
PREGUNTAS ENTREVISTADO	Capacidad de Produccion Actual	Cantidad de leña empleada actual	Duracion de Jornada de Trabajo	Cantidad de personal en elaboracion actual	Caracteristicas del Recipiente	Principal problema actual en el Proceso	Tiempo de elaboracion actual	Temperatura deseada	Grados Brix deseados	Costo de Kg de leña	Salario de operario	Costo estimado del sistema
R.P.R Gerente General	700Kg/h	36 Kg/h	4.5 a 5 h	2 personas	acero inox 304L, 0.9 m diametro, 1.7 altura y espesor de 1/4"	Buen control de la temperatura	50 min totales (45 min calentamiento, 3.5 min mezclado y 2.5 min evacuacion)	Etapa de fundición : 185 a 186°C , Enfriado : 80°C, mezclado con agua : 30 o 40°C y jarabe de azúcar : 60 a 65°C	62 a 63°Brix	S/. 20.87	S/. 2835	Diseño: 4000 a mas , Fabricacion: 40 000 a mas, Instalacion 12 000 a mas.
T.P.M Jefe de Proyectos y Mantenimiento	600Kg/h	30Kg/h	5 h	3 personas	acero inox 304L, 1 m de diametro, 1.7 de altura y 1/4"	Control de temperatura	50 min totales (40 min calentamiento, 3 min mezclado y 2 min evacuacion)	Etapa de fundición : 185 a 186°C , Enfriado : 80°C, mezclado con agua : 30 o 40°C y jarabe de azúcar : 60 a 65°C	60 a 63°Brix	S/. 15 a 20	S/. 2000 a 3000	Diseño: 4000 a mas , Fabricacion: 40 000 a mas
E.A.V Ingeniero de Diseño	900 Kg/h	36 Kg/h	5 h	2 personas	acero inox 304L, 0.9 m diametro, 1.7 altura y espesor de 1/4"	Control de temperatura	50 min totales (40 min calentamiento, 8 min mezclado y 2 min evacuacion)	Etapa de fundición : 185 a 186°C , Enfriado : 80°C, mezclado con agua : 30 o 40°C y jarabe de azúcar : 60 a 65°C	62 a 63°Brix	S/. 20	S/. 2900	Diseño: 4000 a mas , Fabricacion: 40 000 a mas

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Códigos, normas o recomendaciones de diseño para los componentes del sistema térmico a vapor.

Para el diseño del sistema térmico a vapor se tendrá en cuenta la siguiente normativa la cual describiremos a continuación.

4.2.1. NORMA TECNICA PRINCIPIOS DE DISEÑO HIGIÉNICO – DIRECTRICES EHEDG (TERCERA EDICION, MARZO 2018)

- ✓ Materiales de Construcción:
- ✓ Generalidades

Los materiales a utilizar para la construcción de maquinaria y fábricas de alimentos deberán cumplir con ciertos requisitos específicos. Bajo la condición de uso previsto, estos materiales deben ser

- Inerte al producto.
- Resistente a la corrosión.
- Inerte a detergentes y desinfectantes.
- Su acabado superficial no debe verse afectado negativamente.
- No tóxico.
- Mecánicamente estable.
- No contaminante.

La presencia de elementos tóxicos en los alimentos es inaceptable. El diseñador debe asegurarse de que los materiales, en las condiciones previstas de uso, en contacto directo o indirecto con el alimento no liberen ninguna sustancia en cantidades que sean perjudiciales para el consumidor. Es imperativo verificar los aspectos legislativos, muchos países tienen códigos de práctica y directivas que cubren la composición de los materiales en contacto con los productos alimenticios y se debe garantizar que el uso de un material específico esté permitido bajo las normas existentes o pendientes. Legislación. La trazabilidad es uno de los requisitos básicos de la legislación.

Vale la pena mantenerse al tanto de los nuevos desarrollos en materiales y productos para la industria alimentaria y buscar el consejo de los proveedores de materiales cuando sea apropiado.

Si los materiales en contacto con el producto o sin contacto con el producto están revestidos, el revestimiento debe ser resistente a las condiciones de uso previstas.

Se publica información adicional y detallada sobre los materiales de construcción de la directriz EHEDG. 32.

5.2 Metales

Existe una amplia gama de materiales disponibles para contruir equipos aplicables a productos o no productos en contacto. Su selección se basa por los valores de tensión a los que se somete al metal y su conformabilidad, corrosión, maquinabilidad, soldabilidad, dureza, resistencia, y costo. La elección final depende del uso previsto.

Los aceros inoxidable son la preferencia lógica para los materiales metálicos de construcción utilizados para las plantas de proceso de limpieza en húmedo, pero la aleación específica depende de la aplicación.

El uso de otros metales (por ejemplo, acero dulce y aluminio anodizado) puede ser usado en un entorno seco.

4.2.2. NORMA TECNICA SANITARIA APLICABLE A LOS AZUCARES Y JARABES DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO (PREPUBLICADA MEDIANTE RMN° 684-2005/MINSA EL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2005)

En el artículo 7°, sobre los nombres y propiedades, nos habla del jarabe simple: es un líquido ligeramente espeso, amarillo y de sabor dulce, con un valor Brix de

al menos 63° como mínimo. Químicamente, se elabora a partir de azúcar blanca refinada, que es sacarosa diluida en agua tratada sin aromatizar ni colorear. Suele utilizarse para bebidas.

4.2.3. NORMA ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN – VIII DIVISIÓN 1 – REGLAS PARA LA CONTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN (EDICION 2019, 1 DE JULIO DE 2019)

Los esfuerzos permisibles están determinados por los criterios del factor de seguridad enumerados en los anexos en la parte posterior de la sección II, D. En su mayor parte, esto está determinado por cuatro cosas: la resistencia a la tracción, el límite elástico, las propiedades dependientes del tiempo a temperaturas más altas (fluencia) y la forma del producto (tornillos, placas, etc.). La discusión de las propiedades dependientes del tiempo y de la fluencia se va a dejar fuera de este artículo; sin embargo, si está buscando en SC II, D, y ve una tensión admisible que está en cursiva, ese es un valor que se rige por la fluencia.

Para la resistencia a la tracción, el código requiere un factor de seguridad de 3.5 para no empernado y 4 o 5 para empernado. Además, si la forma del producto es un tubo o una tubería soldada, normalmente se aplica un factor de eficiencia conjunta de 0.85. Esto se puede ver en varias de las notas en las tablas de estrés.

4.2.1. Especificaciones de Ingeniería.

Tabla de recomendaciones de diseño con las variables obtenidas de las entrevistas, de los antecedentes y de las normas.

Tabla 4: Especificaciones de Ingeniería

Especificaciones de ingeniería			
Subfunción	Característica de ingeniería	Unidad	Limites
Altura máxima	Dimensiones	Metros	1.70-2.5m
Diámetro máximo	Dimensiones	Metros	$0.90 \leq D \leq 1.3$
Temperatura de fundición del azúcar	Cantidad de calor	°C	$180 \leq T \leq 186$
Inversión	Valor económico	Dólares Americanos	$40\ 000 \leq I \leq 50\ 000$

4.3. Diseño conceptual

Para determinar el concepto de solución óptimo para el diseño del sistema térmico a vapor para elaborar jarabe de azúcar, se elaboraron cuatro conceptos de las cuales se describen sus ventajas, características y desventajas:

Concepto N°1: Sistema con calentamiento por chaqueta externa

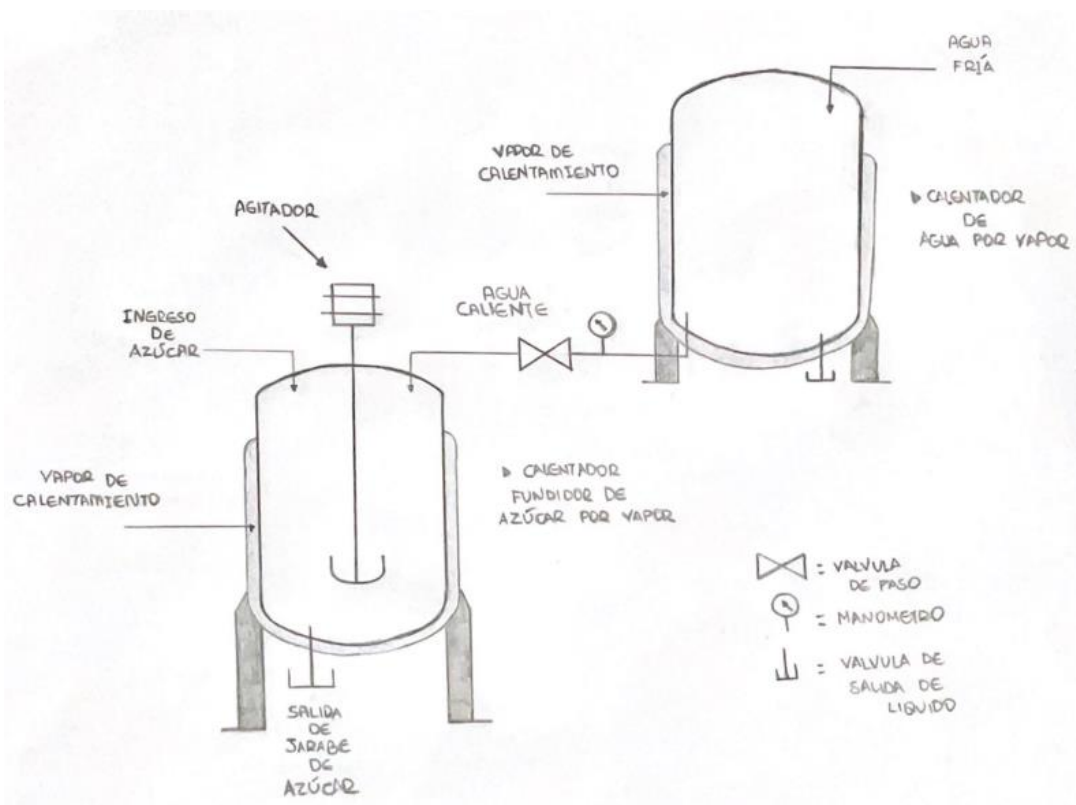
Este concepto tiene su base en Rodríguez (2012) quien desarrollo un modelo de un calentador de chaqueta externa mediante vapor saturado. En este concepto se dispone de dos recipientes enchaquetados que se puede adaptar para operaciones de régimen constante. El sistema con calentamiento por chaqueta externa cuenta con los siguientes componentes recipiente en acero inoxidable, chaqueta intercambiadora de calor, motor eléctrico con impulsor para mezcla, tuberías de abastecimiento de vapor y agua fría. el funcionamiento del sistema

térmico consiste de los siguientes procesos: agregado de materia prima (azúcar), calentamiento del recipiente través de la chaqueta externa con la línea de vapor alimentada de la caldera.

La ventaja de este sistema es que se mantiene una conducción de calor constante en recipiente con la materia prima evitando las pérdidas de vapor lo que reduce los costos de producción y brinda mayor control de operatividad, de fácil mantenimiento por sus partes desmontables. El diseño brinda seguridad al operario y la sanidad de que no existe contaminación alguna de la materia prima.

Figura 10

Esquema de calentamiento por chaqueta.



Nota: El dibujo muestra el diseño del recipiente enchaquetado. *Elaboración*

propia.

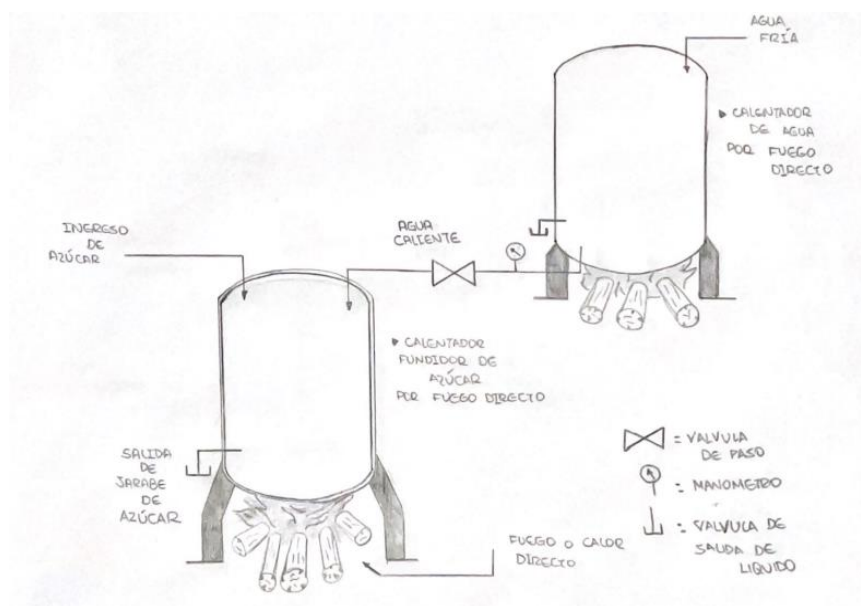
Concepto N°2: Sistema con calentamiento a fuego directo

Este concepto se basó en Correa, y Vives (2001) quienes desarrollaron una herramienta de cálculo para el diseño de calentadores de fuego directo. En este concepto se dispone de un proceso artesanal de cambio de temperatura basado en el contacto directo del recipiente y una fuente de calor que sería el fuego, Este sistema está constituido por los siguientes componentes un recipiente de diferente material (Acero Inoxidable u Acero al Carbono), una base de concreto y por último la leña que es su combustible principal, el funcionamiento principal de este sistema es añadir la materia prima (azúcar), aplicar movimiento constante al producto para mezclarlo uniformemente hasta su temperatura de fundición completamente, el funcionamiento del sistema térmico consiste de contacto directo entre un recipiente y fuego que es producido por leña.

La ventaja que presenta este sistema es que su diseño y manufactura es económico, además es de fácil mantenimiento. La desventaja de este sistema es que no se tiene una conducción de calor adecuada lo que puede ocasionar el quemado del jarabe de azúcar, la operatividad del proceso no es seguro, contamina el medio ambiente y es un proceso sanitario no adecuado.

Figura 11

Esquema de calentamiento por fuego directo.



Nota: El dibujo muestra el diseño del recipiente con fuego directo. Elaboración propia.

Concepto N°3: Sistema con serpentín interior

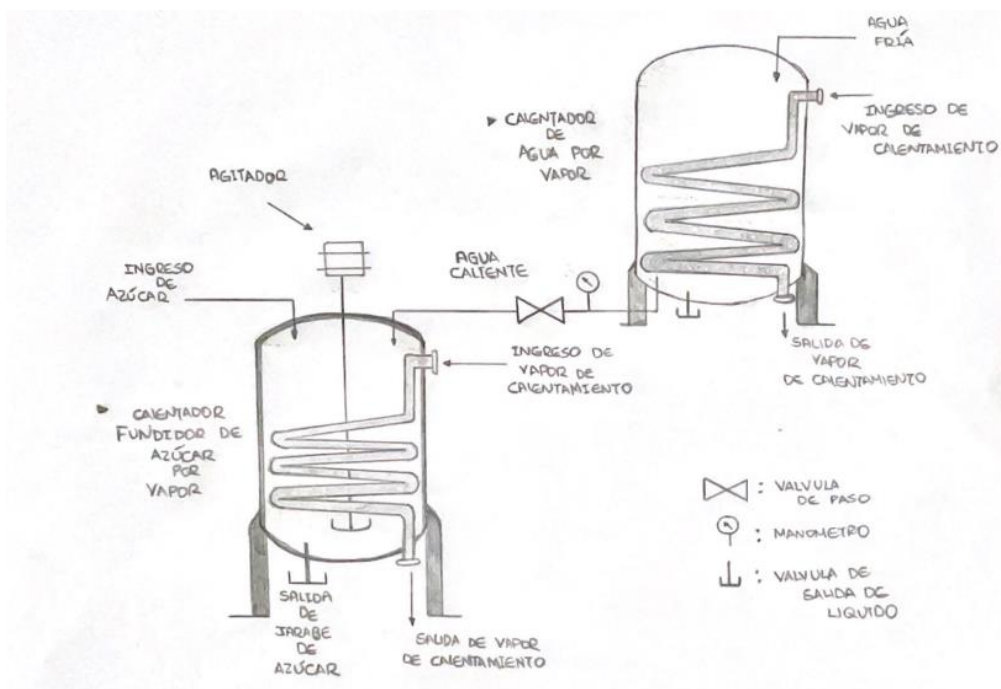
La idea original de este concepto es una adaptación de Padilla (2013) quien en su trabajo de tesis diseñó un evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos en planta piloto. En este concepto se dispone de dos recipientes que obtienen el calor internamente a través de una tubería de forma helicoidal acomodada a las dimensiones del mismo. El sistema con calentamiento por serpentín interno cuenta con los siguientes componentes: recipiente en acero inoxidable, serpentín interior de intercambiador de calor, motor eléctrico con impulsor para mezcla, tuberías de abastecimiento de vapor y tuberías de descarga de condensado, el funcionamiento del sistema térmico consiste de los siguientes procesos: agregado de materia prima, calentamiento del recipiente través del serpentín

interior con la línea de vapor alimentada de la caldera y una agitación constante mediante alabes internos ayudados por un motor reductor.

La ventaja que presenta este sistema es de mantener una temperatura constante de operatividad en el proceso y ser seguro para los operarios. La desventaja es el costo alto de diseño y manufactura, el mantenimiento es laborioso debido el jarabe de azúcar por sus características se adhiere al serpentín generando la contaminación y pérdidas de la materia procesada, por esta razón también se ve afectada la sanidad del jarabe.

Figura 12

Esquema de calentamiento por Serpentín Interior.



Nota: El dibujo muestra el diseño del recipiente de calentamiento por fuego directo. *Elaboración propia.*

Concepto N°4: Sistema con serpentín a medio tubo exterior

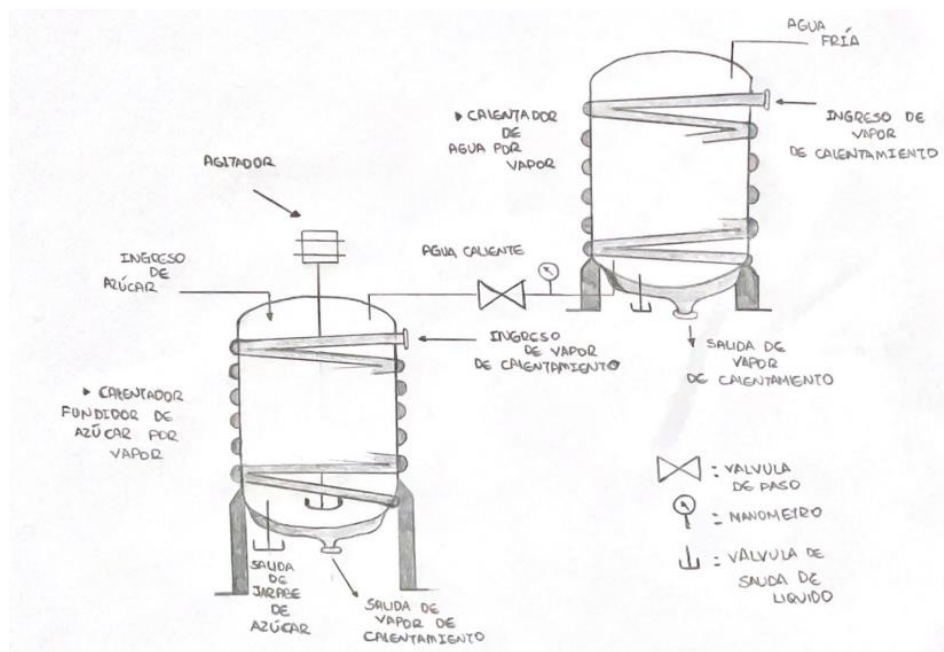
La idea original de este concepto es una adaptación de **Gubskis (2016)** que en su trabajo diseña y modela un tanque de serpentín a medio, en este concepto se dispone de dos recipientes que obtiene el calor a través de una tubería cortada por la mitad y fijada en la cara externa del recipiente mediante un proceso de soldadura adecuado. El sistema serpentín a medio tubo exterior cuenta con los siguientes componentes recipiente en acero inoxidable, serpentín exterior para intercambio de calor, motor eléctrico para mezcla, tuberías de abastecimiento de vapor y tuberías de descarga de condensado, el funcionamiento del sistema térmico consiste de los siguientes procesos: agregado de materia prima (azúcar), calentamiento del recipiente través del serpentín exterior con la línea de vapor alimentada de la caldera.

La ventaja que presenta este sistema es de mantener una temperatura constante de operatividad en el proceso de elaboración de jarabe de azúcar, se enfoca en la seguridad en fabricación, en mantener la materia prima libre de cualquier contaminación y tiene reducido costo de manufactura.

La desventaja es la necesidad de contar con personal calificado para una buena operación del sistema y la seguridad de operatividad.

Figura 13

Esquema de calentamiento por Serpentin Exterior.



Nota: El dibujo muestra el diseño del recipiente de calentamiento por serpentín exterior. *Elaboración propia.*

4.3.1. Selección del concepto óptimo de Diseño.

Se plasman todos los criterios de diseño que se indicaron en la Tabla 5. Ayudados de una motriz ponderada se procedió la selección del concepto más conveniente de diseño de un sistema térmico a vapor para elaborar jarabe da azucar y poder satisfacer las necesidades de producción en las plantas azucareras. Estos son los criterios de evaluación:

Operatividad: El primer criterio permite el control del equipo y a la vez la productividad del mismo.

Mantenimiento: El segundo criterio nos permite calcular la correcta funcionalidad del equipo, por medio de la realización de un óptimo plan de mantenimiento.

Seguridad: El tercer criterio nos facilita evaluar la seguridad de diseño del sistema térmico a vapor.

Grado de sanidad: El cuarto criterio nos facilita estimar la sanidad del sistema para elaboración del producto.

Costo: El quinto criterio nos permite evaluar la inversión que es necesaria para fabricar el sistema térmico a vapor y todos sus componentes asociados.

Todos los resultados de la selección del diseño más adecuada se encuentran en la Tabla 3, se determinó que el sistema con chaqueta externa es el diseño más óptimo. Por lo que, el sistema seleccionado nos será de mayor utilidad para el desarrollo conceptual del diseño de un sistema térmico a vapor para la elaboración de jarabe de azúcar.

Procedimiento:

A cada uno de los criterios de evaluación que se les asignó un valor en porcentaje, según la importancia que tienen según las recomendaciones de diseño mostrados en la Tabla 4. Los porcentajes asignados a cada uno del criterio son mostrados en la Tabla 5, siendo los criterios de selección de la operatividad, mantenimiento, seguridad, grado de sanidad, y costo, estos criterios evaluarán los 4 diseños conceptuales descritos en la sección 4.3.

A los diferentes criterios de selección se les asigno una puntuación (ver tabla 5), siendo estos, insatisfecho (1), poco satisfecho (2), satisfecho (3) y muy satisfecho (4).

El valor ponderado se obtiene multiplicando la puntuación y el porcentaje (%) dado a cada criterio de selección, este valor es dividido por el total de porcentaje obtenido de los criterios.

Tabla 5

Indicadores de criterios ponderados

Fuente: Propia

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO (%)
Operatividad	30
Mantenimiento	15
Seguridad	10
Grado de sanidad	25
costo	20
Total	100

Tabla 6

Puntuación de los criterios ponderados

INDICADORES	
PUNTUACIÓN	EXPLICACIÓN
1	Insatisfecho
2	Poco satisfecho
3	Satisfecho
4	Muy satisfecho

Tabla 7: Matriz de selección.

TABLA N°3

Matriz ponderada de selección de la alternativa mas optima para el diseño

Fuente: Propia

CRITERIO	PONDERADO (%)	DISEÑO DE UN SISTEMA TERMICO A VAPOR		SISTEMA CON CALENTAMIENTO POR CHAQUETA EXTERNA		SISTEMA CON CALENTAMIENTO A FUEGO DIRECTO		SISTEMA CON CALENTAMIENTO MEDIANTE SERPENTIN INTERIOR		SISTEMA CON CALENTAMIENTO MEDIANTE TUBERIA A MEDIO TUBO EXTERIOR	
		PUNTUACION	PUNTUACION PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION PONDERADO	PUNTUACION	PUNTUACION PONDERADO
COSTO	20	3	0.6	2	0.4	1	0.2	1	0.2	1	0.2
MANTENIMIENTO	15	3	0.45	1	0.15	2	0.3	1	0.15	1	0.15
OPERATIVIDAD	30	4	1.2	1	0.3	2	0.6	2	0.6	2	0.6
GRADO DE SANIDAD	25	4	1	2	0.5	2	0.5	1	0.25	1	0.25
SEGURIDAD	10	3	0.3	1	0.1	2	0.2	2	0.2	2	0.2
TOTAL	100		3.55		1.45		1.8		1.4		1.4

4.4. Diseño de configuración

Se elaboró una lista de bosquejos con el fin de elegir el mejor concepto para cumplir con el objetivo de calentar agua de una forma rápida hasta una cierta temperatura esto nos va a servir para mezclarla con el azúcar fundido y finalmente obtendremos jarabe de azúcar. Para este fin se desarrolló un cuadro de selección ponderada bajo ciertos criterios establecidos que permitan un adecuado funcionamiento, bajo costo, facilidad de fabricación, equilibrio, seguridad, material no contaminante.

Configuración “A”

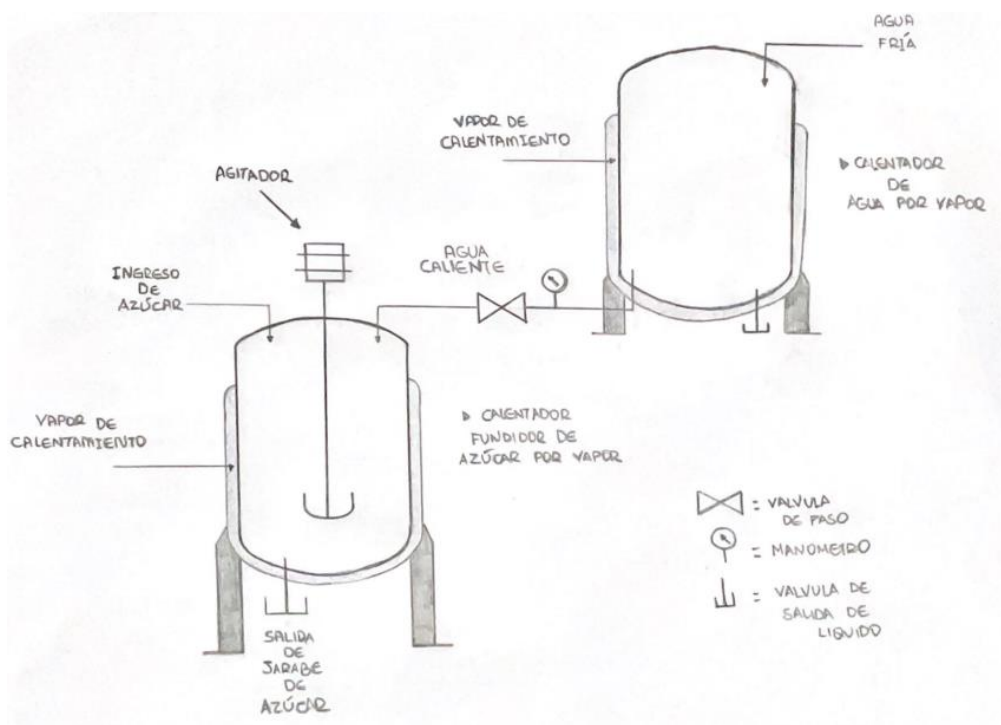
En la figura X se muestra el diseño de la configuración “A”, este recipiente está con un enchaquetado o encamisado por todo el contorno del mismo para una mejor transferencia de calor. Este diseño recubre toda la vuelta del recipiente a una distancia predeterminada.

La ventaja es que el diseño del enchaquetado o encamisado va de una forma de recubrimiento para que tenga un mayor contacto con el recipiente y este también con el agua.

La desventaja que tiene es que como va por todo la parte exterior del recipiente al momento de darle un mantenimiento es necesario quitar todo el enchaquetado o encamisado para proceder con la limpieza y esto tomaría demasiado tiempo.

Figura 14

Configuración "A"



Nota: EL dibujo muestra una configuración de forma encaquetada.

Fuente propia.

Configuración "B"

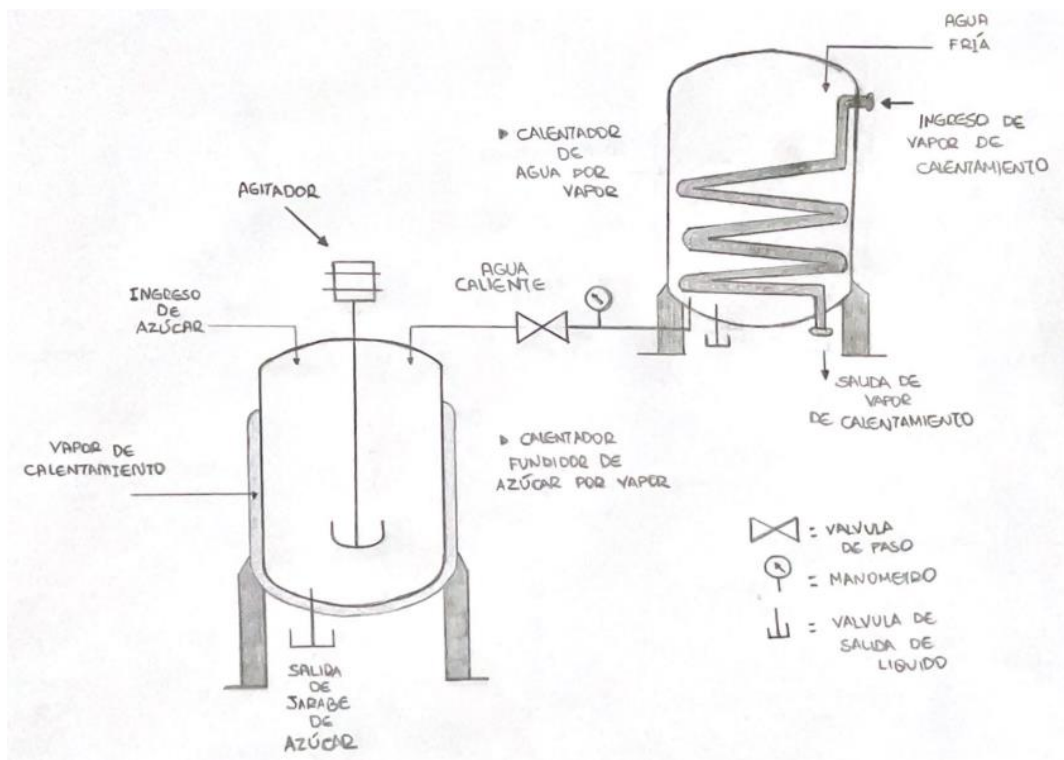
En este diseño observamos que lleva un serpentín interior el cual está en contacto directo con el agua que va a una distancia predeterminada interior en base a las paredes del recipiente.

La ventaja es que por su diseño en forma de serpentín por toda la parte interior del recipiente hay un contacto directo con el agua esto hace que el agua reciba demasiado calor en poco tiempo.

La desventaja es que como su diseño es no muy común esto implicaría su montaje y desmontaje para su mantenimiento correspondiente.

Figura 15

Configuración "B"



Nota: El dibujo muestra una configuración con serpentín interior. *Fuente propia.*

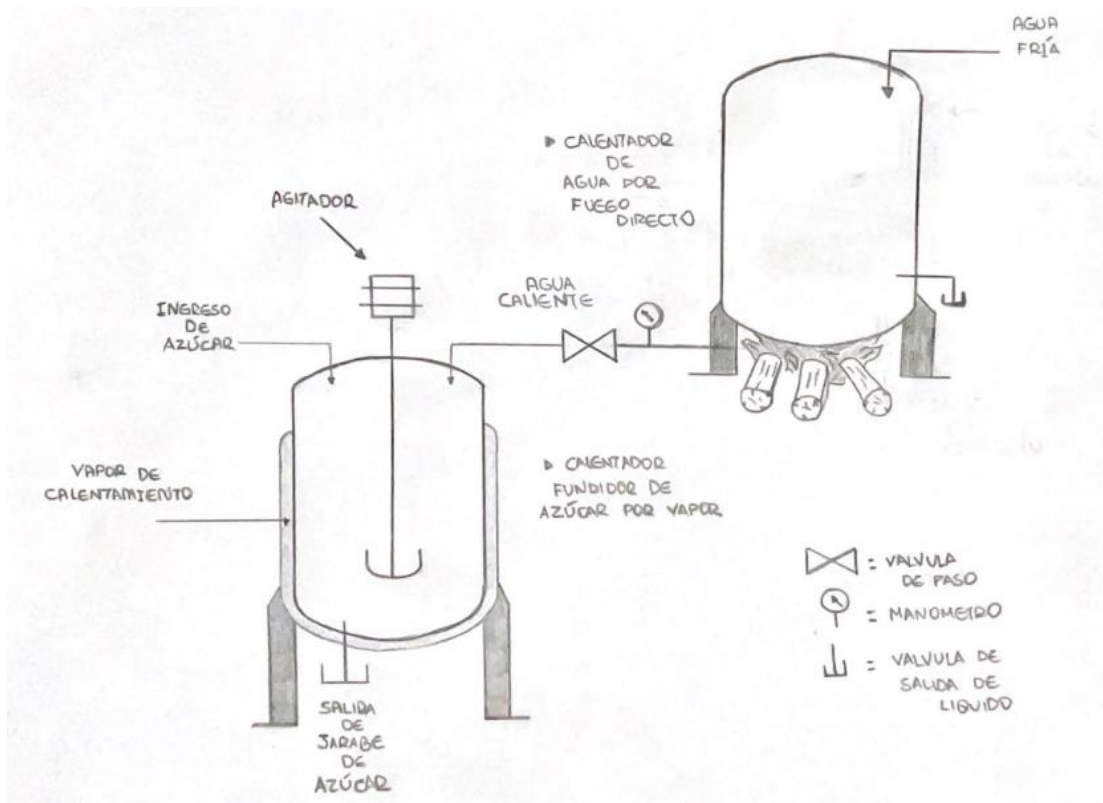
Configuración "C"

En esta configuración el diseño tenemos el recipiente y el calor que se ofrece es de manera directa con el fin de tener un contacto más directo con el recipiente así mismo con el agua para su calentamiento.

La ventaja es por la forma artesanal y directa que se ofrece calor implicaría un calentamiento eficaz.

La desventaja es que como el calor es de forma directa y depende del fuego no es constante esto demandaría mucho tiempo para el calentamiento del agua.

Figura 16
Configuración "C"



Nota: El dibujo muestra una configuración a fuego directo. Fuente propia.

En la tabla 8, se muestran los porcentajes que se le asignaron a cada criterio de selección. Se les proporcionaron una determinada puntuación, siendo estos: Poco satisfecho (1), Satisfecho (2), Muy satisfecho (3) y el valor ponderado lo obtenemos multiplicando la puntuación por el porcentaje (%) dado a cada criterio de selección, dividido por el porcentaje total. Finalmente, en la tabla 9, se muestra que la configuración "B", es la más adecuada para nuestro sistema de vapor.

Tabla 8

Puntuación de criterios ponderados

Fuente: Propia

INDICADORES	
CRITERIO	PONDERADO (%)
Instalación	20
Funcionalidad	35
Mantenimiento	20
Costo	25
TOTAL	100

Tabla 9: Matriz de selección

Fuente: propia

		CONFIGURACION "A"		CONFIGURACION "B"		CONFIGURACION "C"	
critério	importancia (%)	puntuación	puntuación ponderada	puntuación	puntuación ponderada	puntuación	puntuación ponderada
INSTALACION	20	2	0.4	3	0.6	1	0.2
FUNCIONALIDAD	35	2	0.7	3	1.05	2	0.7
MANTENIMIENTO	20	1	0.2	2	0.4	1	0.2
COSTO	25	2	0.5	2	0.5	1	0.25
TOTAL	100		1.8		2.55		1.35

4.5. SELECCIÓN DE MATERIALES Y DIMENSIONAMIENTO

4.5.1. SELECCION DE MATERIAL PARA EL TANQUE Y ACCESORIOS

El material cuando tenga contacto con el producto debe ser no reactivo, es decir, no producir ninguna reacción química con el jarabe de azúcar según la. El material estructural adecuado que cumple con este requisito es el acero inoxidable. Entre los más comunes tenemos el siguiente, la serie martensítica (AISI 420), la serie ferrítica (AISI 430) y la serie austenítica (AISI 304, AISI 316). La serie usada y recomendada para la aplicación con alimentos y por consideraciones constructivas es la austenítica, en la que tenemos las opciones 304 y 316.

El acero inoxidable 316 tiene excelentes propiedades contra productos ácidos como los jugos y productos neutros como la leche, a diferencia del 304 que se limita a los ácidos.

De lo mencionado anteriormente y de las características técnicas usadas por la empresa “TERMOAUTOMATICA SERVICIOS GENERALES E.I.R.L” finalmente, se eligió el acero inoxidable austenítico AISI 304L por razones económicas y debido a su innecesaria resistencia a los ácidos en el caso del jarabe de azúcar. Las propiedades de este acero pueden apreciarse en la tabla N°9:

Tabla 10: *Propiedades del acero Inoxidable.*

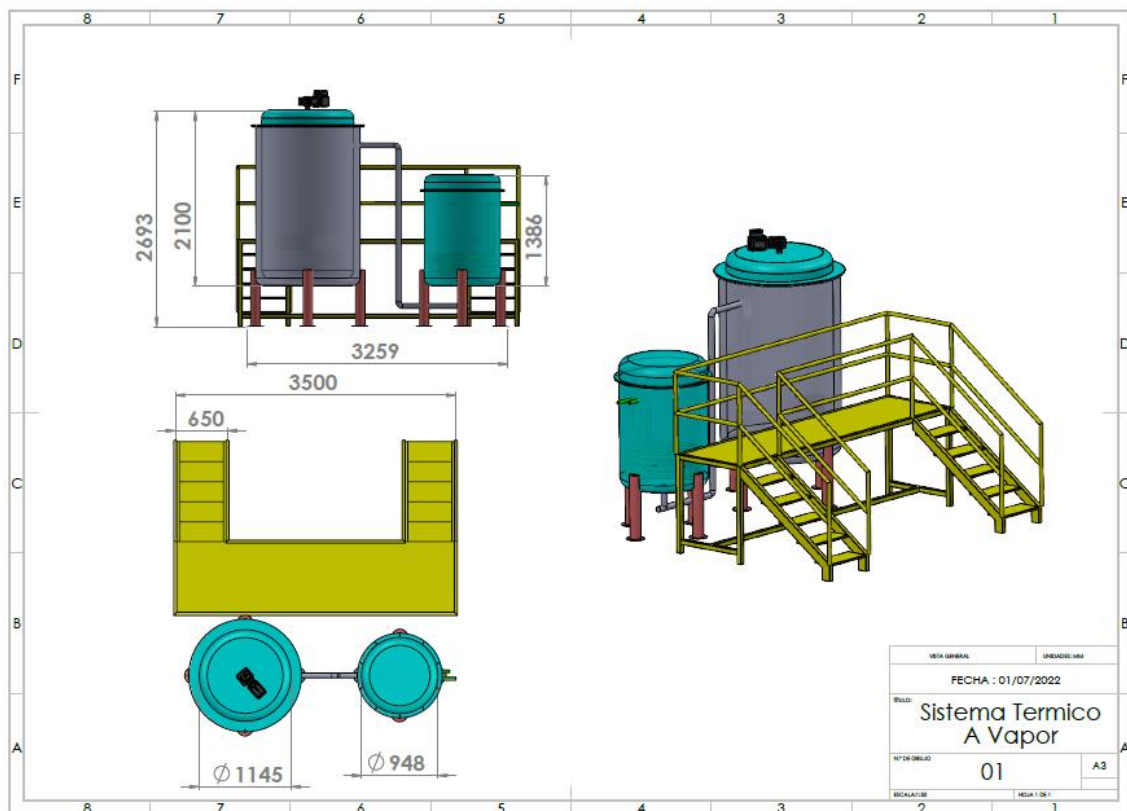
PROPIEDADES	MATERIAL AISI 304L
DENSIDAD	8,00 g/cc
RESISTENCIA A LA TRACCION MAXIMA	210 MPA
MODULO DE ELASTICIDAD	193-200 GPA
CAPACIDAD CALORIFICA	0.5 J/g °C
CONDUCTIVIDAD TERMICA	14.0 -16.3 W/m°K

4.5.2. DIMENSIONAMIENTO

Todo el proceso de elaboración de jarabe de azúcar toma 50 min en proceso de calentamiento y mezcla, la carga y descarga de materia prima (azúcar) toma 10 minutos en ese tiempo se tiene que elaborar 2500 Kg/h de jarabe de azúcar. Por ende, la cantidad de jarabe de azúcar por tanda de proceso será de 2500 KG.

Figura 17

Diseño de Sistema Térmico a Vapor



Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE TANQUE CALENTADOR DE AGUA

Al comienzo se tiene 1500 kg de jarabe de azúcar al 100°Brix y se quiere que llegue a 63°Brix según las recomendaciones de diseño de las entrevistas realizadas a la empresa Termoautomatica EIRL, y de la NORMA TECNICA SANITARIA APLICABLE A LOS AZUCARES Y JARABES DEATINADOS AL CONSUMO HUMANO. De la tabla de ANEXOS N03 la densidad del agua a 80 C es de 971 kg/m³

De la ecuación (1) se calcula la masa de mezcla de jarabe con agua:

$$m_1 \times \text{°Brix}_1 = m_2 \times \text{°Brix}_2$$

$$1500 \text{ kg} \times 100 = m_2 \times 63$$

$$m_2 = 2381 \text{ kg de mezcla de jarabe de azucar y agua}$$

Entonces:

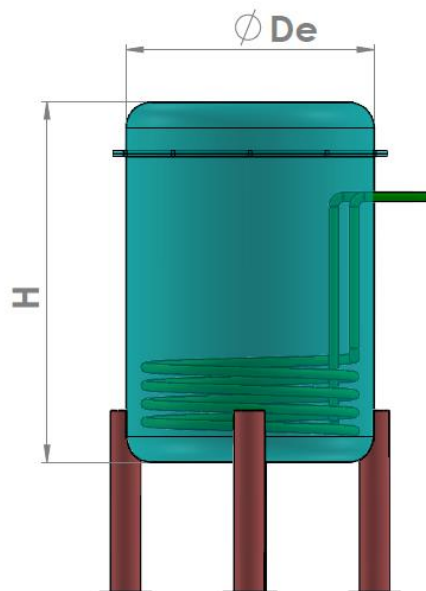
$$m_2 = m_1 \times m_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = m_2 - m_1$$

$$m_{\text{agua}} = 880 \text{ kg}$$

Figura 18

Diseño de Tanque Calentador de Agua



Fuente: Elaboración Propia

Entonces de la ecuación (4)

$$V_{agua} = \frac{880 \text{ kg}}{977 \text{ kg/m}^3} = 0.9007 \text{ m}^3$$

Para economizar y evitar demasiados cortes a las planchas de acero usara todo el largo del formato de plancha de acero inoxidable 304L 1.5m x 3m

Entonces el diámetro del tanque es:

$$P = \pi d$$

P: perímetro (una plancha)

$$d_{\text{tanque de agua}} = \frac{P}{\pi}$$

$$d_{\text{tanque de agua}} = \frac{3\text{m}}{\pi} = \mathbf{0.954 \text{ m}}$$

$$V_{\text{agua}} = \left(\frac{\pi * d_{\text{tanque de agua}}^2}{4} \right) * h_{\text{tanque de agua}}$$

$$h_{\text{tanque de agua}} = \frac{V_{\text{agua}}}{\left(\frac{\pi * d_{\text{tanque de agua}}^2}{4} \right)}$$

$$h_{\text{tanque de agua}} = \frac{0.9007 \text{ m}^3}{\left(\frac{\pi * 0.954^2}{4} \right) \text{ m}^2}$$

$$h_{\text{tanque de agua}} = \mathbf{1.26 \text{ m}}$$

Por reglas de buena manufactura se recomienda que la altura del tanque tiene que ser 10% mayor a la altura del líquido:

$$H_{\text{tanque de agua}} = 1.1h$$

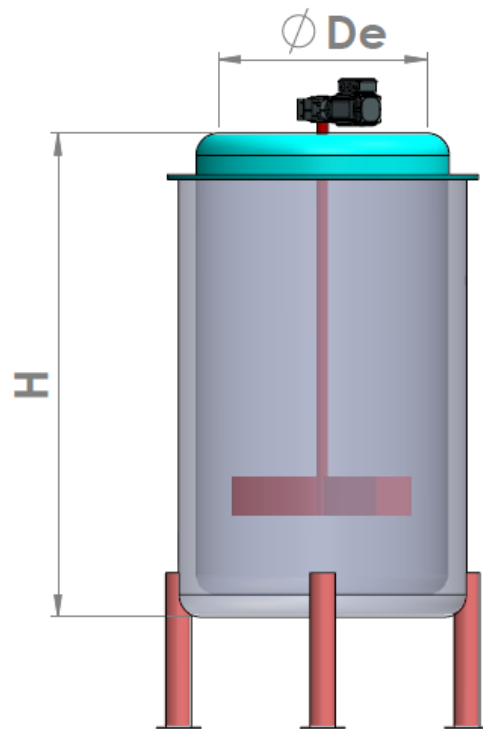
$$H_{\text{tanque de agua}} = 1.1 * (1.26) = \mathbf{1.386 \text{ m}}$$

4.5.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE TANQUE CALENTADOR DE AZUCAR

De los requerimientos de fabricación que son 2500 kg de jarabe de azúcar por tanda, se manufacturara un tanque con las siguientes dimensiones De la tabla de ANEXOS N04 la densidad del azúcar a 85 C es de 1280 kg/m³

Figura 19

Diseño de Tanque Fundidor de Azúcar



Fuente: Elaboración Propia

Utilizando la ecuación (4)

$$V_{\text{jarabe de azucar}} = \frac{2500 \text{ kg}}{1280 \text{ kg/m}^3} = 1.953 \text{ m}^3$$

Para economizar y evitar demasiados cortes a las planchas de acero usara plancha y media del formato de plancha de acero inoxidable 304L 1.2mx2.4m lo que daría una longitud de 3.6 m que se usara como perímetro del tanque calentador de azúcar.

Entonces el diámetro del tanque es:

$$P = \pi d$$

P: perímetro (1 plancha y media)

$$d = \frac{P}{\pi}$$

$$d_{\text{tanque de azucar}} = \frac{3.6m}{\pi} = 1.145 m$$

$$V_{\text{jarabe de azucar}} = \left(\frac{\pi * d_{\text{tanque de azucar}}^2}{4} \right) * h_{\text{tanque de azucar}}$$

$$h_{\text{tanque de azucar}} = \frac{V_{\text{jarabe de azucar}}}{\left(\frac{\pi * d_{\text{tanque de azucar}}^2}{4} \right)}$$

$$h_{\text{tanque de azucar}} = \frac{1.953 m^3}{\left(\frac{\pi * 1.145^2}{4} \right) m^2}$$

$$h_{\text{tanque de azucar}} = 1.896 m$$

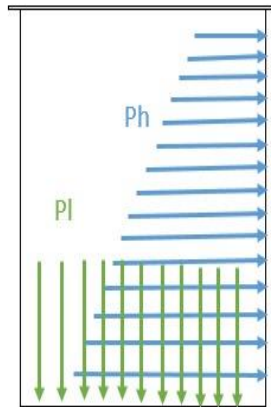
Por reglas de buena manufactura se recomienda que la altura del tanque tiene que ser 10% mayor a la altura del líquido:

$$H_{\text{tanque de azucar}} = 1.1h$$

$$H_{\text{tanque de azucar}} = 1.1 * (1.896) = 2.1 m$$

Cargas de Diseño:

Las cargas aplicadas para los componentes del sistema térmico, se basan en el peso del jarabe de azúcar y el agua, también la presión hidrostática que ejercen estos sobre la pared de sus recipientes respectivamente.



Las dimensiones de los tanques de fundición de azúcar y calentador de agua se calcularon previamente teniendo como resultados:

Tabla 11: Dimensionamiento de los recipientes.

Calentador de Agua		Fundidor de Azúcar	
$D_{\text{tanque de agua}}$	0.954 m	$D_{\text{tanque de azucar}}$	1.145 m
$H_{\text{tanque de agua}}$	1.386 m	$H_{\text{tanque de azucar}}$	2.1 m

Fuente: Propia

Cálculo de Cargas para el Recipiente calentador de Agua

Presión Hidrostática en el recipiente Calentador de Agua:

De cálculos previos se obtuvieron los siguientes datos para el cálculo de la presión hidrostática ejercida por el agua:

Datos:

$H_{\text{tanque de agua}}$: 1.386m

ρ_{agua} : 997 Kg/m³

g: 9.81m/s²

Entonces de la ecuación (5)

$$Ph_{\text{tanque de agua}} = (997) * (9.81) * (1.386)$$

$$Ph_{\text{tanque de agua}} = \mathbf{13555.87 Pa}$$

Presión por peso del agua en el recipiente Calentador de Agua:

Para el cálculo de la presión por el peso del agua se sabe queda la ecuación (6)

Se tiene:

$$m_{\text{agua}} : 880 \text{ kg,}$$

$$d_{\text{tanque de agua}} : 0.954\text{m}$$

$$g: 9.81\text{m/s}^2$$

Entonces de la ecuación (7)

$$A_{\text{tanque de agua}} = \frac{\pi * 0.954^2}{4}$$

$$A_{\text{tanque de agua}} = \mathbf{0.715 \text{ m}^2}$$

Por lo tanto:

$$Pl_{\text{agua}} = \frac{880 * 9.81}{0.715}$$

$$Pl_{\text{agua}} = \mathbf{12073.84 Pa}$$

Cálculo de Cargas para el Recipiente Fundidor de Azúcar

Presión Hidrostática en el recipiente Fundidor de Azúcar:

De cálculos previos se obtuvieron los siguientes datos para el cálculo de la presión hidrostática ejercida por el azúcar:

Datos:

$$H_{\text{tanque de azucar}} : 2.1 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{jarabe de azucar}} : 1280 \text{ Kg/m}^3$$

$$g : 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces de la ecuación (5)

$$Ph_{\text{tanque de azucar}} = (1280) * (9.81) * (2.1)$$

$$Ph_{\text{tanque de azucar}} = \mathbf{26369.28Pa}$$

Presión por peso del azúcar en el recipiente fundidor:

Para el cálculo de la presión por el peso del jarabe más el peso del líquido de mezcla se sabe que de la ecuación (6)

Se tiene:

$$m_{\text{jarabe de azucar}} : 2500 \text{ kg,}$$

$$d_{\text{tanque fundidor}} : 1.145 \text{ m}$$

$$g : 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces de la ecuación (7)

$$A_{\text{tanque de azucar}} = \frac{\pi * 1.145^2}{4}$$

$$A_{\text{tanque de azucar}} = \mathbf{1.0296 \text{ m}^2}$$

Por lo tanto:

$$Pl_{\text{jarabe de azucar}} = \frac{2500 * 9.81}{1.0296}$$

$$Pl_{\text{jarabe de azucar}} = \mathbf{23819.93}$$

$$P_{\text{mezcla}} = 12073.84 \text{ Pa} + 23819.93 = \mathbf{35893.77 \text{ Pa}}$$

Cálculo de espesores de tanques.

Para el cálculo de los espesores de los tanques se calcularán los esfuerzos angulares y longitudinales, también se buscará un factor de seguridad mayor a 3.5 según la norma: **ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN – VII DIVISIÓN 1 – REGLAS PARA LA CONTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN (EDICION 2019, 1 DE JULIO DE 2019).**

Cálculo de espesor para el calentador de Agua

Esfuerzo longitudinal:

De la ecuación (11) se tiene:

Donde:

D_m : Diámetro medio (m): $0.954 - 0.03 = 0.951\text{m}$

P_{l-agua} : Presión del peso del agua (Pa) = 12073.84 Pa

t: espesor de la pared (m): 3 mm

$$\sigma_{l-agua} = \frac{12073.84 * 0.951}{4 * 0.003} = \mathbf{956851.82 \text{ Pa}}$$

Esfuerzo anular:

De la ecuación (12) se tiene:

Donde:

D_m : Diámetro medio (m): $0.954 - 0.003 = 0.951$

P_{H-agua} : Presión hidráulica del agua (Pa): 13555.87 Pa

t: espesor de la pared (m): 3 mm

$$\sigma_{a-agua} = \frac{13555.87 \times 0.951}{2 \times 0.003} = 2148600.64 \text{ Pa}$$

De la ecuación (13) se tiene:

$$\sigma' = (0.956 \text{ Mpa}^2 - (0.956 \text{ Mpa} * 2.1486 \text{ Mpa}) + 2.1486^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 1.86 \text{ Mpa}$$

Para cálculo del factor de seguridad se utilizará la ecuación (16):

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{210 \text{ Mpa}}{1.86 \text{ Mpa}} = 112.90$$

Cálculo de espesor para el fundidor de azúcar

Esfuerzo longitudinal:

De la ecuación (11) se tiene:

Donde:

D_m : Diámetro medio (m): $1.145 - 0.003 = 1.142$

P_{mezcla} : Presión del peso del azúcar (Pa) = 35893.77 Pa

t: espesor de la pared (m): 6 mm

$$\sigma_{l-mezcla} = \frac{35893.33 * 1.142}{4 * 0.003} = 3.4158 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo anular:

De la ecuación (12) se tiene:

Donde:

D_m : Diámetro medio (m): $1.145 - 0.003 = 1.142$ m

$P_{H-jarabe de azucar}$: Presión hidráulica del jarabe azúcar (Pa): 26369.28 Pa

t: espesor de la pared (m): 3mm

$$\sigma_{a-azucar} = \frac{26369.28 \times 1.139}{2 \times 0.003} = \mathbf{5.019 \text{ Mpa}}$$

De la ecuación (14) se tiene:

$$\sigma' = (3.4158)^2 - (3.4158 * 5.019) + 5.019^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 4.44 \text{ Mpa}$$

Para cálculo del factor de seguridad se utilizará la ecuación (16):

$$n = \frac{s_y}{\sigma} = \frac{210 \text{ Mpa}}{4.44 \text{ Mpa}} = \mathbf{47.29}$$

Cálculo de diámetro equivalente del serpentín

De la ecuación (17) tenemos:

Donde:

D_H : Diámetro equivalente del serpentín (mm)

D: Diámetro del tanque (mm)

De: Diámetro exterior (mm)

Di: Diámetro Interior (mm)

W: ancho de punta de agitador tipo ancla (mm)

$$D_H = 954 - 2 * 33.4 - 2 * 100 = \mathbf{687.2 \text{ mm}}$$

Cálculo de diámetro interno del serpentín

$$D_{I-S} = D_H - De$$

$$D_{I-S} = 687.2 - 33.4 = \mathbf{653.8 \text{ mm}}$$

Cálculo de diámetro externo del serpentín

$$D_{E-S} = D_H + De$$

$$D_{E-S} = 687.2 + 33.4 = \mathbf{720.6 \text{ mm}}$$

Cálculo del paso del serpentín

$$P_s = 1.5 * De$$

$$P_s = 1.5 * 33.4 = \mathbf{50.1 \text{ mm}}$$

Cálculo de altura de serpentín

$$H_s = (N * P_s) + De$$

Donde:

N: número de espiras del serpentín

$$H_s = (4 * 50.1) + 33.4$$

$$H_s = \mathbf{233.8 \text{ mm}}$$

Cálculo de longitud del serpentín

$$L_s = N \sqrt{P_s^2 + (\pi * D_H)^2}$$

$$L_s = 4 \sqrt{50.1^2 + (\pi * 687.2)^2}$$

$$L_s = \mathbf{8637.93 \text{ mm}}$$

Cálculo de área del serpentín

$$A_s = \pi * L_s * De$$

$$A_s = \pi * 8.637 * 0.0334$$

$$A_s = \mathbf{0.9062 \text{ m}^2}$$

Cálculo de volumen del serpentín

$$V_s = \frac{\pi}{4} * D e^2 * L_s$$

$$V_s = \frac{\pi}{4} * 0.0334^2 * 8.637$$

$$V_s = \frac{\pi}{4} * D e^2 * L_s$$

$$V_s = 7.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de tapa plana para calentador de agua

Asumiendo:

Espesor: 4 mm

r: 25 mm

h1: 25 mm

$$h2 = r$$

$$h2 = 25 \text{ mm}$$

$$H = r + h1 + e$$

$$H = 25 + 25 + 4 = 54 \text{ mm}$$

$$V(h2) = 0.75 * D^2 * h2$$

$$V(h2) = 0.75 * 0.954^2 * 0.025 = 0.01706 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de tapa a baja presión

De: 954 mm = 0.954m

$$R = 2 * D e$$

$$R = 2 * 954 = 1908 \text{ mm}$$

$$h2 = R - \sqrt{(R - r)^2 - \left(\frac{D}{2} - r\right)^2}$$

$$h_2 = 1908 - \sqrt{(1908 - 25)^2 - \left(\frac{954}{2} - 25\right)^2} = 80.05 \text{ mm}$$

$$H = h_1 + h_2 + e$$

$$H = 25 + 80.05 + 4 = 109.05 \text{ mm}$$

$$V(h_2) = (De + r)^2 * 0.42 * h_2$$

$$V(h_2) = (0.954 + 0.025)^2 * 0.42 * 0.08005 = 0.032 \text{ m}^3$$

DISEÑO PARAMETRICO DE DIAMETRO DE CHAQUETA

Esta parte tuvo como fin determinar un diámetro de chaqueta que cumpla con tres características: Que permita el calentamiento de todo el lote de azúcar hasta el punto de fusión, mantener un coste bajo y usar un diámetro manipulable durante su manufactura. Los tres puntos mencionados poseen una dependencia con diferentes variables tales como la temperatura del ambiente, el tiempo de proceso, la temperatura del jarabe de azúcar, Grados Brix del jarabe de azúcar y el espesor del aislante mismo.

El sistema térmico diseñado cuenta con 4 etapas importantes para el proceso de elaboración de jarabe de azúcar a 63 Brix, tenemos las siguientes etapas: calentamiento hasta punto de fusión del azúcar (186°C), enfriado de jarabe de azúcar (80°C), jarabe de azúcar a 63 °Brix (60°C) y descarga de jarabe de azúcar; según los requerimientos de la empresa se necesita abastecer de 2500 kg/h de jarabe de azúcar, para cumplir con los requerimientos se tomará los tiempos de 40 minutos, 10 minutos, 7.5 minutos y 2.5 minutos respectivamente en cada etapa, estas variables definirán finalmente las revoluciones del agitador y el espesor de la chaqueta. Se hizo uso del software de cálculo numérico (MatLab®) para evaluar los parámetros que nos permitirán cumplir con los requerimientos especificados.

Modelo matemático de transferencia de calor

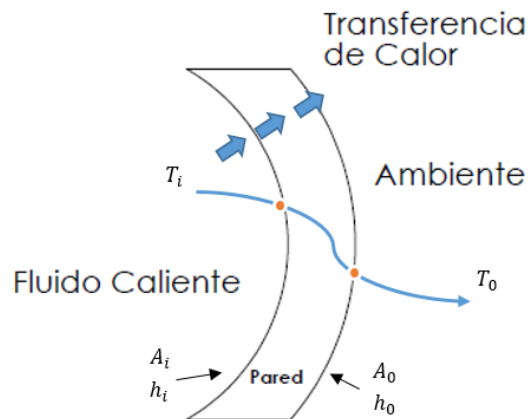
Para predecir el diámetro necesario para la chaqueta recurriremos al desarrollo de un modelo matemático que contenga los parámetros más importantes en la transferencia de calor a través de la pared del tanque.

Modelado del circuito térmico

La sección recta del tanque enchaquetado mostrada en la figura 20 está de acuerdo a la forma de manufactura estándar de los tanques enchaquetados y cuenta con el diámetro del tanque y diámetro de la chaqueta.

Figura 20

Transferencia de calor del recipiente



Fuente: propia

Calor necesario para punto de fusión del azúcar

Para estimar el espesor de chaqueta y las revoluciones del agitador óptimas tenemos que saber cuál es el flujo de calor que debe ganar el azúcar para llegar a la temperatura de fusión, dicho calor se calculara con la siguiente expresión:

$$Q = mc_p(T_f - T_i) \dots (47)$$

Donde:

m = masa de azúcar = 1500 kg

C_p = calor específico del azúcar =

T_f = temperatura de fusión del azúcar = 186°C

T_i = temperatura inicial del azúcar = 20°C

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del azúcar

En el fluido frío se usa el modelo de Chilton, Drew y Jebens que han usado el mismo número de Reynolds para la transferencia de calor en recipientes encaquetados; tomando temperaturas medias para el cálculo de los parámetros térmicos tales como viscosidad, calor específico, conductividad térmica y densidad. sus resultados nos dan el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección dentro del tanque.

$$\frac{h_i D_i}{k} = 0.36 \left(\frac{L^2 * N * \rho}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{Cp * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \dots (48)$$

Despejando en función del coeficiente de transferencia de calor

$$h_i = k * \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * \rho}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{Cp * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}{D_i} \right) \dots (49)$$

Donde:

k: conductividad térmica del acero inoxidable

D_i : diámetro interior del tanque (m)

L: largo de la paleta (m)

N: velocidad del eje (rpm)

ρ : densidad del líquido (kg/m³)

μ : viscosidad dinámica del azúcar

μ_w : viscosidad dinámica de la pared

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del vapor

Según Carpenter (1977) y Lehrer, (1970) el coeficiente de transferencia de calor para el flujo usado en una chaqueta está dado por:

$$Nu = \frac{0.03 Re^{3/4} Pr}{1 + 1.74 Re^{-1/8} (Pr - 1)} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \dots (50)$$

Donde:

$$Nu = \frac{h_0 d_e}{k} \dots (51)$$

$$Re = \frac{\rho d_e (\sqrt{v_i v_A} + v_B)}{\mu} \dots (52)$$

Donde:

$$d_e: 0.816(D_j - D_{vo})$$

$$v_i: \frac{4Q}{\pi D_{ENTRADA}^2}$$

$$v_B: 0.5\sqrt{2z\beta g\Delta T}$$

D_j : Diámetro de la chaqueta (m)

D_{VO} : Diámetro exterior del tanque (m)

$$D_{VO} : D_i + 2 * e$$

e : espesor del tanque (m)

Q : caudal de vapor m^3/s

$D_{ENTRADA}$: Diámetro interior de la boquilla de entrada (m)

h : altura de la chaqueta mojada (m)

β : coeficiente de expansión térmica de vapor

g : aceleración de la gravedad m/s^2

ΔT : aumento de la temperatura ($^{\circ}k$)

$$v_A: \frac{4Q}{\pi(D_j^2 - D_{VO}^2)}$$

Despejando h_o y reemplazando en la ecuación (51), tenemos:

$$h_o = \frac{\left(\frac{0.03 \left(\frac{A}{\mu}\right)^{3/4} Pr}{1 + 1.74 \left(\frac{A}{\mu}\right)^{-1/8} (Pr-1)} \right) k}{0.816 (D_j - (D_i + 2 * e))} \dots (53)$$

Donde:

$$A: \rho d_e \left(\sqrt{\left(\frac{4Q}{\pi D^2 ENTRADA} \right) \left(\frac{4Q}{\pi (D_j^2 - (D_i + 2 * e)^2)} \right)} + (0.5 \sqrt{2 h \beta g \Delta T}) \right)$$

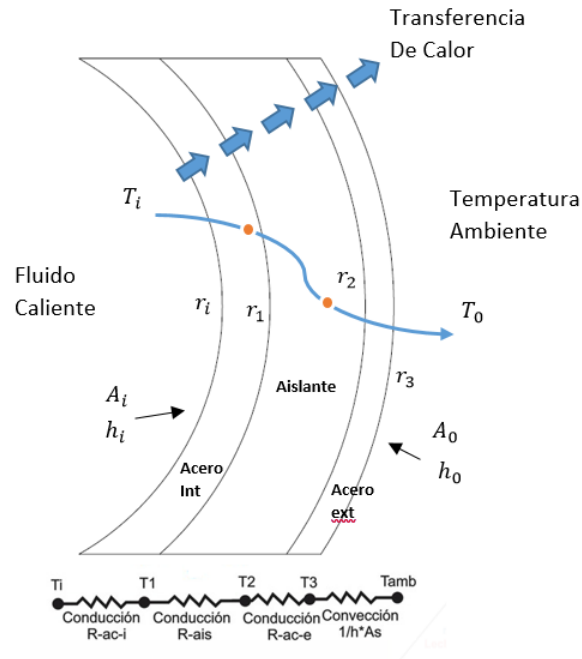
Flujo de calor en el circuito térmico

Debido a que el tanque enchaquetado se presenta múltiples capas, esto se puede calcular simplemente al sumar una resistencia adicional en serie por cada capa adicional. El flujo de calor en el cilindro compuesto por 2 capas, que se muestra en la figura 21, con convección en la interior del tanque y dentro de la chaqueta, se puede expresar como:

$$\dot{Q}_t = \frac{T_a - T_i}{R_c} \dots (54)$$

Figura 21

Transferencia de calor en el recipiente



Fuente: propia

Donde R_{eq} es la resistencia térmica total expresada como:

$$R_c = R_i + R_{pared} + R_0 \dots (55)$$

$$R_c = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_{v0}/D_i)}{2\pi k h} + \frac{1}{h_0 A_0} \dots (56)$$

Las áreas están dadas por:

$$A_i = 2 * \pi * h + \pi \frac{D_i^2}{4} \dots (57)$$

$$A_0 = 2 * \pi * h + \pi \frac{D_{v0}^2}{4} \dots (58)$$

Reemplazando (56) en (54)

$$\dot{Q}_t = \frac{T_a - T_i}{\frac{1}{B} + C + \frac{1}{(h_o) \left(2 * \pi * h + \pi \frac{(D_i + 2 * e)^2}{4} \right)}} \dots (59)$$

Donde:

$$B: \frac{1}{\left(k \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * p}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{Cp * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}{D_i} \right) \right) \left(2 * \pi * h + \pi \frac{D_i^2}{4} \right)}$$

$$C: \frac{\ln(D_i + 2 * e / D_i)}{2 \pi k h}$$

Iguando (47) y (54):

$$\dot{m} c_p (T_f - T_i) = \dot{Q}_t \dots (60)$$

$$\dot{m} = \frac{T_a - T_i}{\left(\frac{1}{B} + C + \frac{1}{(h_o) \left(2 * \pi * h + \pi \frac{(D_i + 2 * e)^2}{4} \right)} \right) c_p (T_f - T_i)} \dots (61)$$

Donde:

$$B: \frac{1}{\left(k \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * p}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{Cp * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}{D_i} \right) \right) \left(2 * \pi * h + \pi \frac{D_i^2}{4} \right)}$$

$$C: \frac{\ln(D_i + 2 * e / D_i)}{2 \pi k h}$$

ESTIMACIÓN DEL DIAMETRO DE LA CHAQUETA

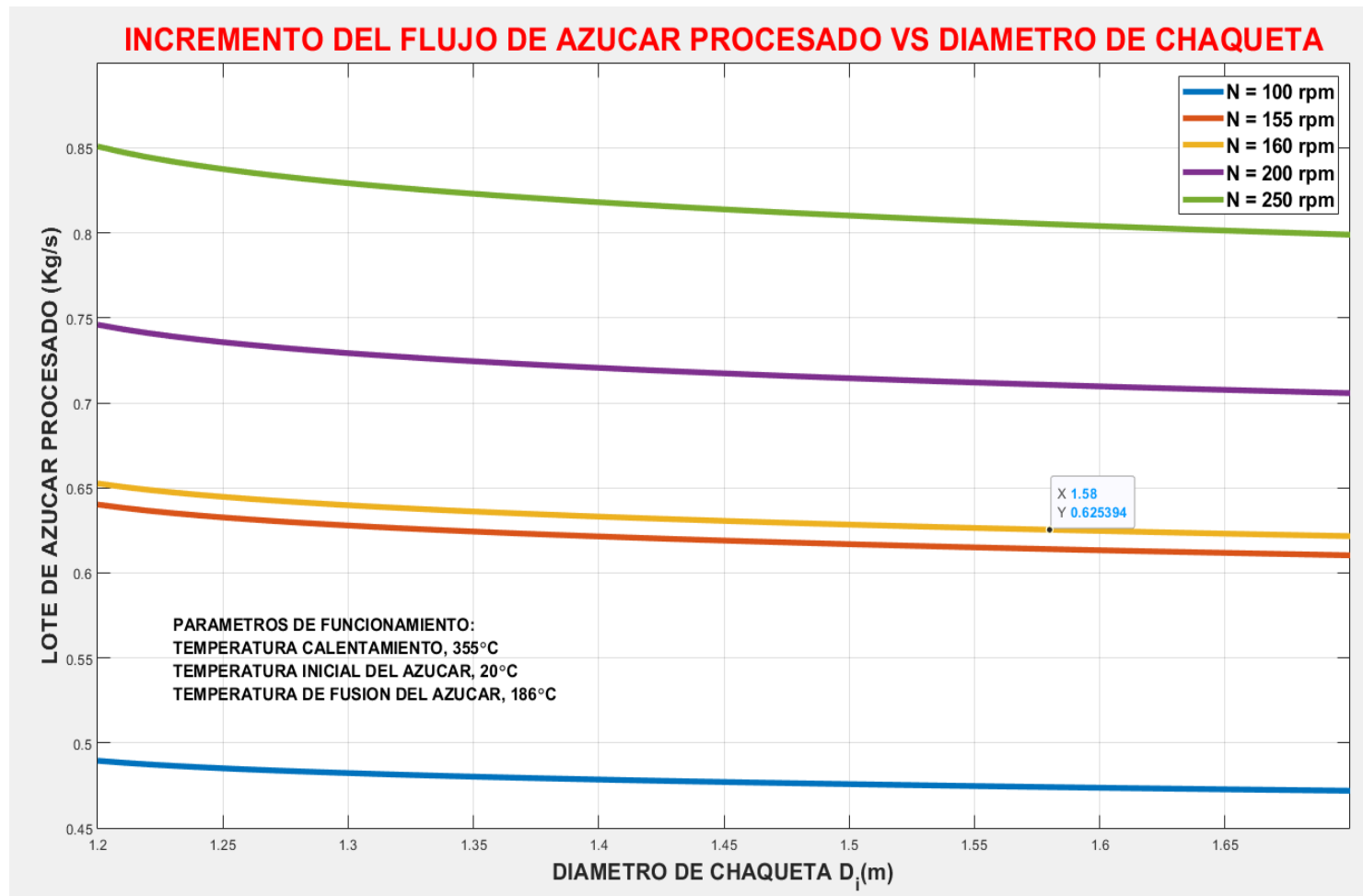
El cálculo del diámetro de la chaqueta se programó en MatLab®. El programa permite alcanzar la variación del flujo de azúcar a calentar y el diámetro de la chaqueta colocando como datos de entrada rpm del agitador, diámetro interno del tanque, temperatura de vapor de calentamiento, temperatura de inicial del azúcar, temperatura de fusión del azúcar, altura de fluido en el tanque, longitud de pala del agitador, conductividad térmica del acero, Entalpia del agua, gravedad, conductividad térmica del azúcar, densidad del azúcar, capacidad calorífica del azúcar, viscosidad dinámica del azúcar, densidad del vapor, viscosidad dinámica del vapor, numero de Prandtl del vapor, conductividad térmica del vapor y coeficiente de expansión volumétrica del vapor. En el dibujo No 24 se muestra los resultados con los parámetros finales optimizados.

El criterio de selección del diámetro de chaqueta óptimo fue el de calentar 1500 kg de azúcar refinada en 40 minutos lo que nos daría un flujo de:

$$\frac{1500 \text{ Kg}}{40 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = 0.625 \text{ Kg/s}$$

Y el diámetro de chaqueta (D_j) que recomiendan los fabricantes y de la bibliografía revisada está en el rango de $D_j \approx 1.2D_i$ a $1.4D_i$, reemplazando el diámetro del tanque (D_i), se tiene que D_j se encontrara en el rango entre 1.374 m a 1.603 m . Por último, se seleccionará una velocidad de giro (rpm) del agitador óptimo que cumplan con los requerimientos de flujo másico procesado y diámetro de chaqueta óptima en el tanque.

Figura N° 22. Grafica parametrica de Diametro de Chaqueta



Fuente Propia

De la gráfica anterior se puede apreciar que la cantidad de azúcar procesada disminuye a medida que se incrementa el diámetro de la chaqueta (D_j) como se esperaba del modelo. Esto indica la validez del modelo matemático desarrollado. De la misma manera, a medida que aumenta la velocidad de giro del agitador hay una mayor capacidad de procesar más masa de azúcar, debido al efecto de transferencia de calor por convección forzada que ocasiona el agitador al girar, comportamiento lógico que reitera la validez del modelo matemático.

Usando los criterios de flujo de operación (0.625 Kg/s) y recomendaciones para diámetros de chaqueta se escogió un diámetro de 1.58 m que está dentro del rango de 1.374 m a 1.603 m y 160 rpm de velocidad óptima para el agitador. El diámetro escogido es de fácil fabricación y se encuentran planchas disponibles en el mercado con precios moderados.

Modelo matemático de Tiempo de Procesamiento - Etapa N°01

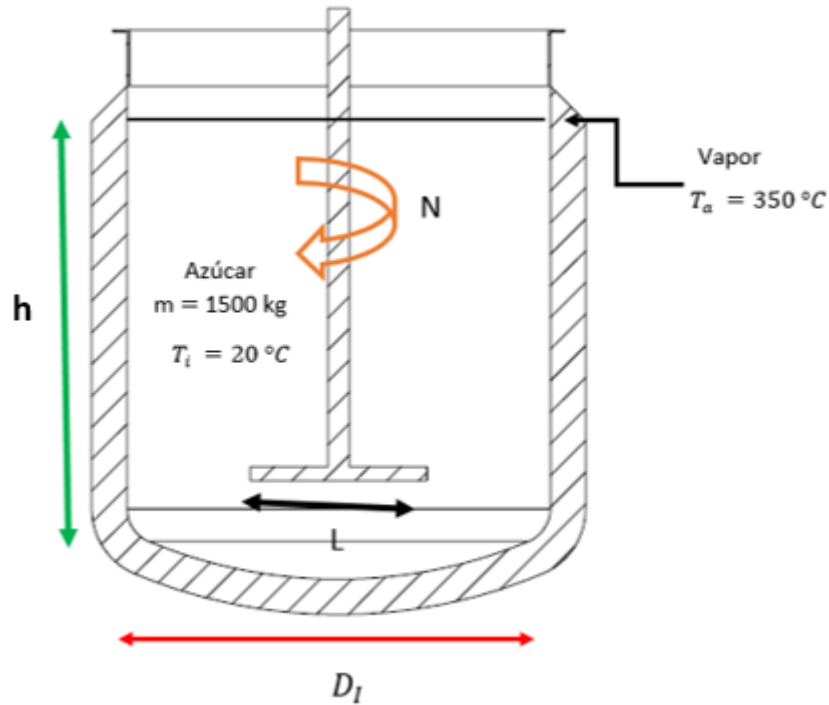
La primera etapa es una de las más importantes; el flujo de vapor sobrecalentado ($\dot{v} = 2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ a $T_v = 350 \text{ }^\circ\text{C}$) de la caldera dirigido al tanque enchaquetado debe hacer llegar al punto de fusión al azúcar (186°C) en 40 minutos. En la figura N°22 se muestra las variables más importantes para el modelo. Su nomenclatura es:

\dot{v} : Flujo volumétrico de vapor sobrecalentado (m/s)

T_v : Temperatura de vapor sobrecalentado

Figura 23

Primera fase del proceso



Fuente: propia

Flujo de calor en el circuito térmico

Para la primera etapa se emplea el modelo de Chilton, Drew y Jebens. Entonces para la etapa de calentamiento por vapor el flujo de coeficiente de transferencia de calor dentro del recipiente está determinado por la siguiente expresión matemática:

$$h_i = k * \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * \rho}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{Cp * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}{D_i} \right) \dots (62)$$

Tiempo de calentamiento

El recipiente enchaquetado con agitador que contiene los 1500 kg de azúcar se puede relacionar con el tiempo

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = e^{-\left(\frac{hA}{\rho C_p V} \right) t} \dots (63)$$

En la ecuación N° ada podemos reemplazar la $\rho * V$ por la masa a calentar (m) y el área del tanque es

$$A = 2 * \pi * h + \pi \frac{D_i^2}{4} \dots (64)$$

Despejando t en función de la masa y combinando las ecuaciones

se tiene:

$$t = \frac{m * C_p * \ln\left(\frac{T_a - T}{T_a - T_i}\right)}{-k * \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * p}{\mu}\right)^{2/3} * \left(\frac{C_p * \mu}{k}\right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}}{D_i} \right) * \left(2 * \pi * h + \pi * \frac{D_i^2}{4} \right)} \dots (65)$$

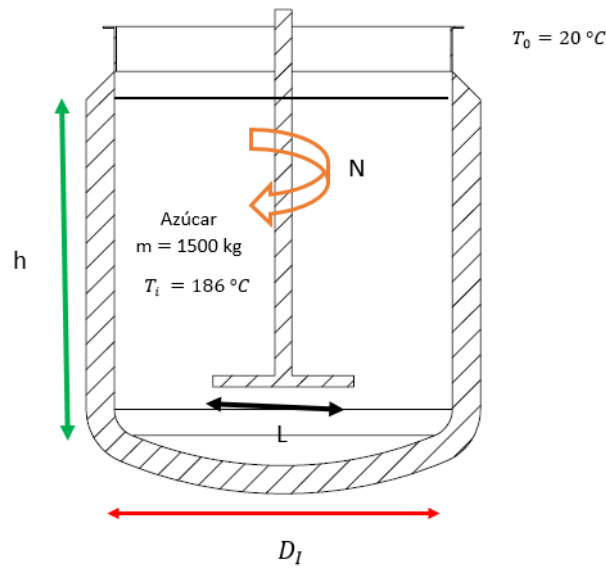
Modelo matemático de Tiempo de Procesamiento - Etapa N°02

En la segunda etapa del proceso de elaboración de jarabe de azúcar se necesita enfriar el jarabe desde su temperatura de fusión hasta 80 °C de tal manera que permita la fácil mezcla de la solución de azúcar y el agua para dar el número de Brix adecuado.

En esta etapa de enfriamiento se abrirá el tanque, el cambio de temperatura depende de los parámetros de temperatura ambiente y las revoluciones del agitador que nos ayudaran a que la convección de calor sea forzada lo que ayudara a que la transferencia de calor sea mucho más rápida y eficiente.

Figura 224

Segunda fase del proceso



Fuente: propia

Calor necesario para enfriar el azúcar

Para estimar el tiempo de enfriamiento y las revoluciones del agitador óptimas que nos permitan satisfacer los requerimientos, tenemos que saber cuál es el flujo de calor que debe perder el azúcar para llegar a la temperatura de mezcla (80 °C), dicho calor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_e = m * c_p * (T - T_e) \dots (66)$$

Perdida de calor por convección

La pérdida de calor del azúcar será por convección forzada debido a la velocidad del agitador y el aire circundante a temperatura ambiente (20 °C) y estará definida por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_e = h_i * A * (T - T_i) \dots (67)$$

El tiempo de enfriamiento estará dado por:

$$t_e = \frac{Q_e}{\dot{Q}_e} \dots (68)$$

Reemplazando las ecuaciones da:

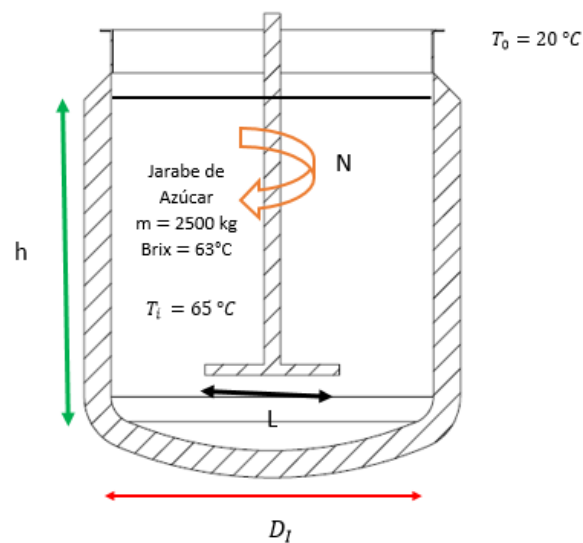
$$t_e = \frac{m * c_p * (T_e - T)}{-k * \left(\frac{0.36 \left(\frac{L^2 * N * \rho}{\mu} \right)^{2/3} * \left(\frac{c_p * \mu}{k} \right)^{1/2} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}{D_i} \right) \left(2 * \pi * h + \pi \frac{D_i^2}{4} \right) (T - T_i)}$$

Modelo matemático de Tiempo de Procesamiento - Etapa N°03

La tercera etapa es una de las más importantes, en esta etapa el azúcar fundido y enfriado se mezclará con agua a temperatura de 40 °C para obtener jarabe de azúcar a 65 °C.

Figura 25

Tercera fase del proceso



Fuente: propia

Balance de Energía

El balance de energía en el tanque viene expresado con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{W} = \Delta\dot{E}_C + \Delta\dot{E}_P + \Delta\dot{H} \dots (69)$$

Cuando se mezcla el recipiente este está cerrado y como cuenta con aislante la variación de calor es despreciable $\dot{Q} = 0$, la mezcla no va tener variaciones de energía cinética y potencial así que estos valores serán despreciables $\Delta\dot{E}_C = 0$ y $\Delta\dot{E}_P = 0$. Con esto la ecuación de balance quedaría como

$$\Delta\dot{H} = 0$$

Delta de entalpia es

$$\Delta\dot{H} = \dot{H}_{entrada} - \dot{H}_{salida}$$

$$\dot{H}_{entrada} = m_{az} * c_{p_{az}} * T_e + m_{ag} * c_{p_{ag}} * T_{ag}$$

$$\dot{H}_{salida} = m_j * c_{p_j} * T_j \dots (70)$$

El calor específico c_{p_j} de la mezcla está dado por la siguiente expresión:

$$c_{p_j} = X_{az} * c_{p_{az}} + X_{ag} * c_{p_{ag}}$$

$$X_{az} = \frac{m_{az}}{m_T}$$

$$X_{ag} = \frac{m_{ag}}{m_T} \dots (71)$$

Entonces:

$$c_{p_j} = \frac{m_{az}}{m_T} * c_{p_{az}} + \frac{m_{ag}}{m_T} * c_{p_{ag}} \dots (72)$$

Reemplazando todas las ecuaciones planteadas anterior mente (Ecuación N~sad,Nsd,asd) en N~ kasd tenemos:

$$0 = m_{az} * c_{p_{az}} * T_e + m_{ag} * c_{p_{ag}} * T_{ag} - m_j * \left(\frac{m_{az}}{m_T} * c_{p_{az}} + \frac{m_{ag}}{m_T} * c_{p_{ag}} \right) * T_j$$

Despejando T_j :

$$T_j = \frac{m_{az} * c_{p_{az}} * T_e + m_{ag} * c_{p_{ag}} * T_{ag}}{m_j * \left(\frac{m_{az}}{m_T} * c_{p_{az}} + \frac{m_{ag}}{m_T} * c_{p_{ag}} \right)} \dots (73)$$

Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla estará dado por la velocidad con que termine de descargar los 1000 kg de agua a 50~C en el tanque enchaquetado. Para cumplir con los requerimientos la bomba tiene que dar un caudal másico de agua de **2.2 kg/s**, Si operamos tendríamos que el tiempo de mezcla seria: $t = 1000 \text{ kg} / 2.2 \text{ kg/s} = 7.5 \text{ min}$

Modelo matemático de Tiempo de Procesamiento - Etapa N°04

La última etapa del proceso de elaboración de jarabe de azúcar a 2500 kg/h para modelar el tiempo de descarga, usamos la ecuación de Bernoulli:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} \dots (74)$$

Las presiones 1 y 2 son ambas presiones atmosféricas con el mismo valor, la altura 2 es cero y la velocidad 1 es la velocidad en la parte más alta del líquido que sería despreciable. Entonces la ecuación de Bernoulli quedaría de la siguiente forma:

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g} \dots (75)$$

Despejando la velocidad:

$$v_2 = \sqrt{2gh_1} \dots (76)$$

La variación de volumen en el tiempo se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{dV}{dt} = -v_2 a \dots (77)$$

El volumen está determinado por la altura y el área de la base del tanque y reemplazando la ecuación de la velocidad en la ecuación, entonces:

$$\frac{A dh}{dt} = -a \sqrt{2gh_1} \dots (78)$$

Despejando la derivada del tiempo e integrando la ecuación se tiene que:

$$\frac{A}{a\sqrt{2g}} \int \frac{dh}{\sqrt{h_1}} = - \int dt$$

$$\frac{A}{a\sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} \frac{dh}{\sqrt{h_1}} = - \int_{t_2}^{t_1} dt$$

$$\frac{A}{a\sqrt{2g}} [(2\sqrt{h_1}) - (2\sqrt{h_2})] = -(t_1 - t_2)$$

$$t_2 = \left(\frac{D_i}{D_a}\right)^2 \sqrt{\frac{2h_1}{g}} \dots (79)$$

Modelo matemático de Transferencia de calor de espesor de aislante

Esta parte tuvo como objetivo encontrar un espesor de aislante que cumpla con tres características: disminuir las pérdidas de calor del sistema, usar un espesor manipulable durante su instalación y brindar seguridad a los operadores evitando ocasionar quemaduras. Los tres puntos mencionados dependen de variables tales como la Temperatura en pared interna de la chaqueta, espesor de chaqueta, espesor de lámina protectora de aislante, el espesor del aislante mismo y temperatura de pared externa.

Por seguridad se sugiere que la temperatura de pared externa del tanque nunca debe superar los $T_p \leq 60^\circ C$, este parámetro definirá el espesor de aislante.

Modelado del circuito térmico

La sección recta de la chaqueta está de acuerdo a la forma de fabricación de tanques con chaquetas y cuenta con el espesor de la chaqueta seguido del aislante y finalmente cubierto con una lámina de acero para sostener el aislante, protegerlo y dar un acabado estético al tanque.

$$r_3 = r_2 + e_{lam} \dots (80)$$

$$r_2 = r_1 + e_{ais} \dots (81)$$

$$r_1 = r_i + e_{chaq} \dots (82)$$

Debido a que el tanque enchaquetado presenta múltiples capas como se muestra en la figura N° 2asda3, el calor perdido se puede expresar como:

$$Q_t = \frac{T_a - T_3}{R_{eq}} \dots (83)$$

Donde R_{eq} es la resistencia térmica total expresada como:

$$R_{eq} = R_{chaq} + R_{ais} + R_{lam} \dots (84)$$

$$R_{eq} = \frac{\ln(r_1/r_i)}{2 * \pi * h * k_{chaq}} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 * \pi * h * k_{ais}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 * \pi * h * k_{lam}} \dots (85)$$

Igualando el calor ganado para fundir el azúcar con el calor que escapa del tanque tenemos:

$$Q_t = Q \dots (86)$$

$$\dot{m}c_p(T_f - T_i) = \frac{T_a - T_3}{\frac{\ln\left(\frac{r_i + e_{chaq}}{r_i}\right)}{2 * \pi * h * k_{chaq}} + \frac{\ln\left(\frac{r_i + e_{chaq} + e_{ais}}{r_1}\right)}{2 * \pi * h * k_{ais}} + \frac{\ln\left(\frac{r_i + e_{chaq} + e_{ais} + e_{lam}}{r_i + e_{chaq} + e_{ais}}\right)}{2 * \pi * h * k_{lam}}}$$

Despejando la temperatura de pared externa tenemos que

$$T_3 = T_a - \dot{m}c_p(T_f - T_i) \left(\frac{\ln\left(\frac{(r_i + e_{chaq})}{(r_i)}\right)}{2 * \pi * h * k_{chaq}} + \frac{\ln\left(\frac{(r_i + e_{chaq} + e_{ais})}{(r_i + e_{chaq})}\right)}{2 * \pi * h * k_{ais}} + \frac{\ln\left(\frac{(r_i + e_{chaq} + e_{ais} + e_{iam})}{(r_i + e_{chaq} + e_{ais})}\right)}{2 * \pi * h * k_{iam}} \right)$$

Diseño paramétrico de los soportes del tanque de agua.

Este componente, parte del tanque de agua, denominado soporte, está unido por medio de un proceso de soldadura adecuado al cuerpo de dicho tanque. Este componente soporta todas las partes y componentes del tanque. Su geometría es un tubo circular, la cual se supone, será el encargado de dar la estabilidad y altura adecuada para su mejor funcionamiento, como podemos observar en la figura 25.

Figura 6

Modelo 3D de soportes de tanque de agua

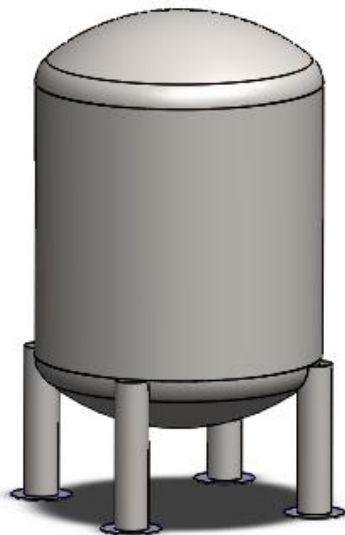
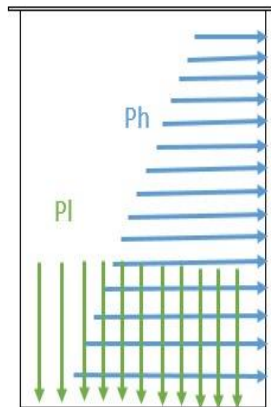


Figura 27

Diagrama de cuerpo libre en el plano x, z del soporte



Nota: Elaboración propia.

Se realizó comparaciones entre los espesores del tubo circular con la que será fabricada los soportes, para ello usaremos tubos de 4" C304L (por experiencia laboral, ha dado buenos resultados para esta aplicación), para los espesores trabajamos con 3.05mm (SH10), 6.00 (SH40) y 8.56 (SH80), respecto al material usaremos Acero Inoxidable 304L, usamos todos estos materiales porque son estándar y fácil de encontrar en el mercado, lo expuesto anteriormente lo vemos en la tabla 10.

Tabla 12

Comparaciones de simulaciones entre diferentes espesores de tubos para los soportes

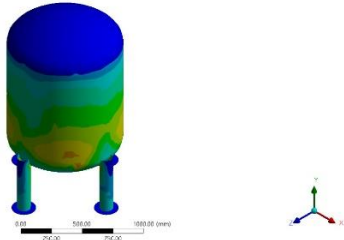
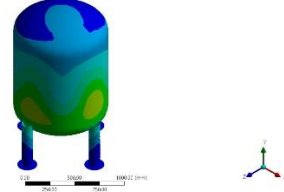
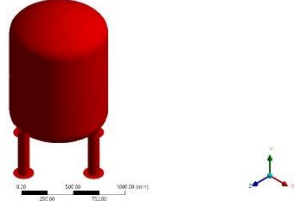

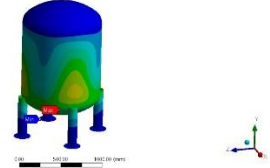
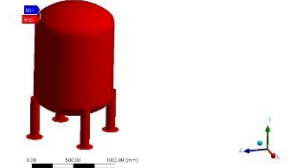
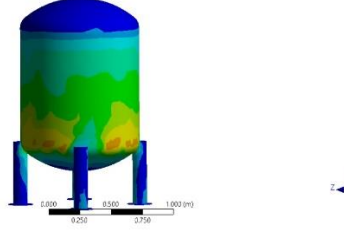
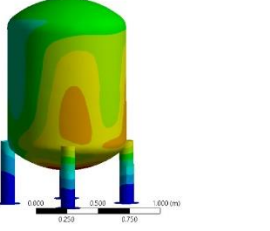
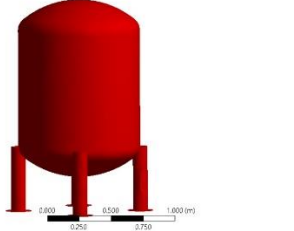
Resultados espesores	Tensión de Von Mises	Desplazamientos	Factor de Seguridad
<p>Tubo de 4" SH10</p>			
<p>Tubo de 4" Sh40</p>			
<p>Tubo de 4" Sh80</p>			

Tabla 13

Resumen de las simulaciones en diferentes espesores del tubo para los soportes

Resumen de las simulaciones en diferentes perfiles estructurales de la barra interna.			
	 tensión Von Mises (N/m^2)	Desplazamientos (mm)	Factor de seguridad
4 "Sh10	2.82×10^6	0.0099	15
4" Sh40	3.01×10^6	0.00928	15
4" Sh80	3.94×10^6	0.00001	15

Nota: Elaboración propia.

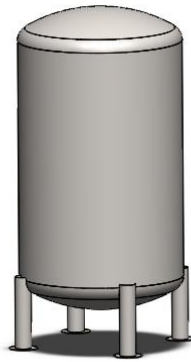
En la tabla 12 se muestran las imágenes de los resultados de simulación, donde todas están siendo evaluadas con las mismas fuerzas, el peso de la misma estructura, bajo el mismo mallado y sujeciones. Podemos ver los resultados de las simulaciones en la tabla 13, se observa que el tubo circular en sus diferentes espesores no presentaría ningún problema por lo tanto elegimos el de menor espesor.

Diseño paramétrico de los soportes del tanque Fundidor de azúcar.

Este componente, parte del tanque de fundidor de azúcar, llamado soporte, está unido por medio de un proceso de soldadura adecuado al cuerpo de dicho tanque. Este componente soporta todos las partes y componentes del tanque. Su geometría es un tubo circular, la cual se supone, será el encargado de dar la estabilidad y altura adecuada para su mejor funcionamiento, como podemos observar en la figura 27.

Figura 28

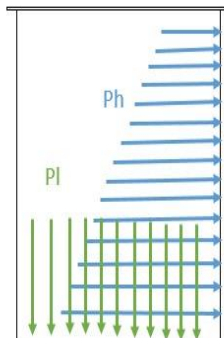
Modelo 3D de soportes de tanque fundidor de azúcar



Nota: Elaboración propia.

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre en el plano x, z del tanque de azúcar



Nota: Elaboración propia.

Se realizó comparaciones entre los espesores del tubo circular con la que será fabricada los soportes, para ello usaremos tubos de 4" C304L (por experiencia laboral, ha dado buenos resultados para esta aplicación), para los espesores trabajamos con 3.05mm (SH10), 6.00 (SH40) y 8.56 (SH80), respecto al material usaremos Acero Inoxidable 304L, usamos todos estos materiales porque son estándar y fácil de encontrar en el mercado, lo expuesto anteriormente lo vemos en la tabla 13

Tabla 14

Comparaciones de simulaciones entre diferentes espesores de tubos para los soportes

Resultados espesores	Tensión de Von Mises	Desplazamientos	Factor de Seguridad
Tubo de 4" SH10			
Tubo de 4" Sh40			
Tubo de 4" Sh80			

Nota: Elaboración propia. ANSYS Simulation.

Tabla 15

Resumen de las simulaciones en diferentes espesores del tubo para los soportes

Resumen de las simulaciones en diferentes perfiles estructurales de la barra interna.			
	 tensión Von Mises (N/m^2)	Desplazamientos (mm)	Factor de seguridad
4 "Sh10	11.4×10^6	1.93×10^{-5}	15
4" Sh40	6.37×10^6	1.0979×10^{-5}	15
4" Sh80	6.13×10^6	1.479×10^{-5}	15

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 14 se muestran las imágenes de los resultados de simulación, donde todas están siendo evaluadas con las mismas fuerzas, el peso de la misma estructura, bajo el mismo mallado y sujeciones. Podemos ver los resultados de las simulaciones en la tabla 15, se observa que el tubo circular en sus diferentes espesores no presentaría ningún problema por lo tanto elegimos el de menor espesor.

Análisis Económico

Costos De Inversión

Los costos para la fabricación de los componentes del sistema térmico a vapor para elaborar 2500 kg/h de jarabe de azúcar, fueron realizados de la base de datos de la empresa INVERSIONES Y SERVICIOS GENERALES GAMCER EIRL. Todos los datos de costos se muestran en las siguientes tablas.

Costos de fabricación tanque de calentamiento de agua.

Tabla 16

Costos estructurales: Fuente GAMCER EIRL

ESTRUCTURA TANQUE DE AGUA			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Plancha 3mm C304l F 4x8	3	380	1140
Plancha de 6 mm C304L	0.25	450	112.5
Tubo de 4" Sh40	0.5	450	225
Tubo de 1" Sh10	3	180	540
Válvula de bola de 1"	3	20	60
Universal de 1"	3	10	30
Bomba de 1 Hp	1	900	900
Pernos de 3/8 completos	15	5	75
TOTAL			3082.5

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 17

Costos consumibles

CONSUMIBLES			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Argón 10 m3	1.5	180	270
Aporte 3/32	3	100	300
Disco de corte de 4"	15	5	75
Disco flat g -80	5	7	35
Disco flat g-60	5	7	35

Disco flat - 40	5	7	35
Disco Clean	3	10	30
Tungsteno	3	4	12
Porta cerámica	2	3	6
Porta tungsteno	2	3.5	7
Exanol	0.25	35	8.75
Esponja	10	2	20
TOTAL			833.75

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 18

Costos de servicios

SERVICIOS			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Bombeada tapa superior	1	1000	1000
Bombeada tapa inferior	1	900	900
Rolado de serpentín	1	150	150
Rolado de plancha	1	100	100
Corte de brida	1	200	200
TOTAL			2350

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 19

Costos de habilitado y soldadura

HABILITADO Y MANO DE OBRA			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Habilitado	1	500	500
Mano de obra	1	1300	1300
TOTAL			1800

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 20

Costos totales

DESCRIPCION	TOTAL
Ingenia de Diseño	2500
Costos de Estructura	3082.5
Costos de Consumibles	833.75
Costos de Servicios	2350
Habilitado Y Mano De Obra	1800
TOTAL	10566.25
IGV	1901.925
TOTAL	12468.175

Fuente GAMCER EIRL

Costos de fabricación tanque de Fundido de Azúcar

Tabla 21

Costos estructurales

ESTRUCTURA TANQUE DE AGUA			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Plancha 3mm C304l F 4x8	4.5	380	1750
Plancha de 6 mm C304L	0.5	450	225
Plancha de 1 mm C304L	1	100	100
Tubo de 4" Sh40	0.5	450	225
Barra redonda de 2"	0.5	360	180
Válvula de bola de 1"	3	20	60
Universal de 1"	3	10	30
Motorreductor SEW	1	1500	1500
Pernos de 3/8 completos	15	5	75
Lana de vidrio	1	2500	2500
TOTAL			6645

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 22

Costos consumibles

CONSUMIBLES			
MATARIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Argón 10 m3	1.5	180	270
Aporte 3/32	3	100	300
Disco de corte de 4"	15	5	75

Disco flat g -80	5	7	35
Disco flat g-60	5	7	35
Disco flat – 40	5	7	35
Disco Clean	3	10	30
Tungsteno	3	4	12
Porta cerámica	2	3	6
Porta tungsteno	2	3.5	7
Exanol	0.25	35	8.75
Esponja	10	2	20
TOTAL			833.75

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 23

Costos de servicios

SERVICIOS			
MATARIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Bombeada tapa superior	1	1200	1200
Bombeada tapa inferior	1	1000	1000
Rolado de plancha chaqueta	1	70	70
Rolado de plancha	1	100	100
Corte de brida	1	200	200
TOTAL			2570

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 24

Costos de habilitado y soldadura

HABILITADO Y MANO DE OBRA			
MATARIALES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Habilitado	1	800	800
Mano de obra	1	1800	1800
TOTAL			2600

Fuente GAMCER EIRL

Tabla 25

Costos totales

DESCRIPCION	TOTAL
Ingenia de Diseño	2500
Costos de Estructura	6645
Costos de Consumibles	833.75
Costos de Servicios	2570
Habilitado Y Mano De Obra	2600
TOTAL	15148.75
IGV	2726.75
TOTAL	17875.525

Fuente GAMCER EIRL

Como resultado tenemos que el costo de inversión por todo el sistema térmico es de 30,343.70 dólares americanos. Con este costo se realizará el análisis económico calculando el VAN y TIR para saber si es viable económicamente el proyecto. En la tabla 26 muestra cómo será la recuperación de inversión al largo de los meses.

MES	INVERSION	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	BENEFICIO ANUAL BRUTO	FLUJO DE FONDOS
0	-119,049.45			-119,049.45
1		-2835	12096	-109,788.45
2		-2835	12096	-100,527.45
3		-2835	12096	-91,266.45
4		-2835	12096	-82,005.45
5		-2835	12096	-72,744.45
6		-2835	12096	-63,483.45
7		-2835	12096	-54,222.45
8		-2835	12096	-44,961.45
9		-2835	12096	-35,700.45
10		-2835	12096	-26,439.45
11		-2835	12096	-17,178.45
12		-2835	12096	-7,917.45
13		-2835	12096	1,343.55
14		-2835	12096	10,604.55
		0.83%	VAN	474.78
			TIR	1.16%

En la tabla se estimó el análisis financiero que estable que la recuperación de inversión será en 14 meses, que el VAN da 474.78 y el TIR de 1.16% mensual. Lo que demuestra la viabilidad económica del proyecto.

5. DISCUSION

Este trabajo está orientado a solucionar las diferentes fallas que se han presentado en el diseño empírico de elaboración de jarabe de azúcar. Como parte de la metodología empleada se realizó el proceso de recolección de los requerimientos de la empresa mediante entrevistas realizadas al personal que labora en la empresa y que conoce el sistema que se está analizando. La información que se obtiene de las entrevistas posteriormente fue procesada para obtener los valores que limitan el diseño según los requerimientos de la empresa. Esta información es de vital importancia pues es la base para los cálculos posteriores a lo largo del diseño. Adicional a ello se recopiló la normativa asociada al diseño de recipientes a presión y normas sanitarias de elaboración de jarabe de azúcar, estas normas solo abarcan temas de recomendaciones de diseño y sanitarias para el sistema. Finalmente, toda la información ha sido resumida en una tabla de especificaciones de ingeniería que limitan los valores que se toman en cuenta para el ajuste del diseño.

Para realizar un adecuado diseño se elaboraron 4 conceptos de posibles soluciones, para cada concepto de solución se describieron las ventajas y desventajas principales con las que cuentan y se realizó un bosquejo a mano alzada para visualizar dichos conceptos. Para el proceso de selección se empleó un matriz de criterios ponderados en la cual se emplearon 5 criterios de evaluación, se calificaron cada uno de los conceptos obteniéndose que el concepto que cumple de manera satisfactoria de los requerimientos de la empresa debe basarse en un sistema de calentamiento por chaqueta externa.

Para el caso de diseño de configuración se elaboraron 3 alternativas de configuración los cuales de igual manera que en el caso de los conceptos de solución fueron evaluados mediante una matriz de selección de criterios ponderados, para este caso se usaron 4 criterios de evaluación obteniéndose que la configuración óptima para el diseño del sistema es con serpentín interior. El emplear la matriz de selección de criterios ponderados facilitó el proceso de toma de decisiones tanto para el diseño conceptual como el diseño de configuración.

En el dimensionamiento de los recipientes se tomaron en cuenta los resultados de las entrevistas los cuales reflejan los requerimientos de la empresa. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros, para el calentador de agua 0.954 m de ancho x 1.386 m de alto y para el fundidor de azúcar 1.145 m de ancho por 2.1 m de alto. Esto se ha tomado conforme al formato de las planchas.

El diseño paramétrico nos dio el diámetro de chaqueta óptimo que más se ajusta a las condiciones térmicas a la que estará expuesta el tanque enchaquetado. Las condiciones de diseño que influyeron más en el diámetro de chaqueta fueron: la temperatura de vapor de alimentación, la temperatura de fusión del azúcar, la velocidad de giro del agitador y la cantidad de masa que se procesó en el sistema. El Diámetro óptimo fue de 1.22 m con 0.625 Kg/s de flujo másico de materia a procesar a 150 revoluciones por minuto.

La estructura del tanque enchaquetado y tanque de calentamiento de agua del sistema térmico, se simuló por método de elementos finitos donde se calcularon

los esfuerzo, deformaciones y factores de seguridad para cada una de las configuraciones elegidas. Este enfoque nos permitió optimizar el diseño y economizar a través de la reducción de espesores de paredes de los tanques.

El análisis económico nos muestra el costo total del equipo, el cual asciende a S/. 11,9049.45, que sería la inversión inicial del proyecto. El VAN calculado es de S/. 478.78 y el TIR de 1.16% mensual con estos parámetros aseguramos la viabilidad del proyecto.

6. CONCLUSIONES

Para poder realizar un diseño de acuerdo a todos los requerimientos de la empresa y como parte de la metodología empleada, fue de mayor importancia la recopilación de información mediante entrevistas y en base a la normativa ligada al diseño. Toda la información más relevante fue resumida en una tabla de especificaciones de ingeniería, con algunos valores límite para un adecuado diseño de un sistema de vapor.

El planteamiento de conceptos de solución y luego proceder a una evaluación con una matriz de selección, esto nos facilitó el proceso de toma de decisiones para obtener un concepto adecuado y conforme requiera la empresa.

Con el concepto que quedó seleccionado se elaboró varias alternativas de configuración, el cual también fue evaluado con una matriz de selección de criterios ponderados, que finalmente se obtuvo una configuración óptima.

Con los datos obtenidos de las entrevistas se pudo realizar el dimensionamiento de los recipientes tanto el calentador de agua como el fundidor de azúcar, los cuales será de 0.954 m de ancho x 1.386 m de alto y 1.145 m de ancho por 2.1 m de alto respectivamente.

El diseño paramétrico con el software ANSYS permitió seleccionar adecuadamente los soportes de los componentes del sistema térmico ASTM 314L de 4" con un espesor de 3.05mm para el recipiente de agua.

El diseño paramétrico fue realizado con el software de MatLab, este nos permitió dar con la mejor relación costo y funcionalidad permitiendo que con los parámetros del sistema y las variables de entrada lograr satisfacer los requerimientos de tiempo y calor en el proceso de elaboración de jarabe de azúcar a 63 °Brix.

La simulación de la estructura del tanque enchaquetado y tanque de calentamiento de agua del sistema térmico, permitió lograr economizar aún más y disminuir los precios en los costos al optimizar espesores de diseño en paredes y soportes del tanque, logrando así un diseño mucho más económico sin disminuir en la calidad estructural de las estructuras.

El presupuesto total que conlleva a diseñar y fabricar el sistema térmico está acorde a las necesidades de la empresa contratante como se especificaron en las entrevistas y los resultados del análisis económico nos indican que el proyecto es viable y rentable a corto plazo lo que asegura la viabilidad del proyecto.

7. RECOMENDACIONES

Para obtener un buen resultado en el funcionamiento y el rendimiento del sistema se recomienda trabajar en las condiciones que ha sido diseñada, esto también alargaría su tiempo de vida útil.

Con el fin de que el sistema tenga un funcionamiento continuo se le recomienda que en cada servicio de mantenimiento hacerle un registro del estado del sistema para evitar cualquier falla y se logre identificar con anticipación.

REFERENCIAS

Mott, Robert L. *Resistencia de Materiales*. University of Dayton, Quinta edición, México, 2009.

Richard G. Budyanas y J. Keith Nisbett. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Novena edición, México, 2008.

Moss, Dennis, (2003) "Manual de diseño de recipientes a presión: procedimientos ilustrados para resolver presiones mayores Dennis r. Moss.-3ª ed ". Datos de catalogación en publicación de la biblioteca británica

Henry H. Bednar "Libro de códigos de recipientes a presión" 2013.

John F. Harvey, "Teoría y diseño de recipientes a presión", Van Nostrand Reinhold Company, Edición-1987, reimpresión-2001

John F. Harvey, P.E., Van Nostrand Reinhold Company, Theory and Design of Pressure Vessels, 1985, pp. 1-2.

Mohan, P., A. Nicholas and T. Al-Hassan (1992). Heat transfer to Newtonian fluids in mechanically agitated vessels, *Experimental Thermal and Fluid Science* 5, 861-883.

Nagata, S. (1975). *Mixing, Principles and Applications*. Halsted, New York.
Oldshue, J.Y. (1993). *Fluid Mixing Technology*. McGraw-Hill, New York.

Reinhold, P., S. Artur and W. Paul-Michael (1990). Heat transfer in agitated vessels with single-phase liquids, *German Chemical Engineering Journal* 3, 163-174.

Strek, F. and S. Masiuk (1997). Heat transfer in liquid mixers, *International Chemical Engineering* 7(4), 693-702.

ANSYS, Inc. (2006). *Fluent 6.3 User's Guide*, ANSYS, Inc.

Aubin, J., Fletcher, D.F and Xuereb, C. (2014). Modeling turbulent flow in stirred tanks with CFD: The influence of the modelling approach, turbulence model and

numerical scheme. *Experimental, Thermal and Fluid Science*, v. 28, pp. 431-445.

José M. C. P., Juan J. M. M. Universidad Nacional del Callao. "Diseño de un Recipiente a presión de 5 m³ con Sistema de Enchaquetado y Agitación para aumentar capacidad del proceso de latencia de la Cepa Bacteriana", Tesis (2017), noviembre.

Jhonatan M. C. G. Universidad Nacional de San Agustín. "Diseño, Calculo y Construcción de un tanque agitado del laboratorio de diseño de Reactores de la escuela profesional de Ingeniería Química", Tesis (2014).

Rein, Peter. (2012) *Ingeniería de la caña de Azúcar*. Elbe Bartens

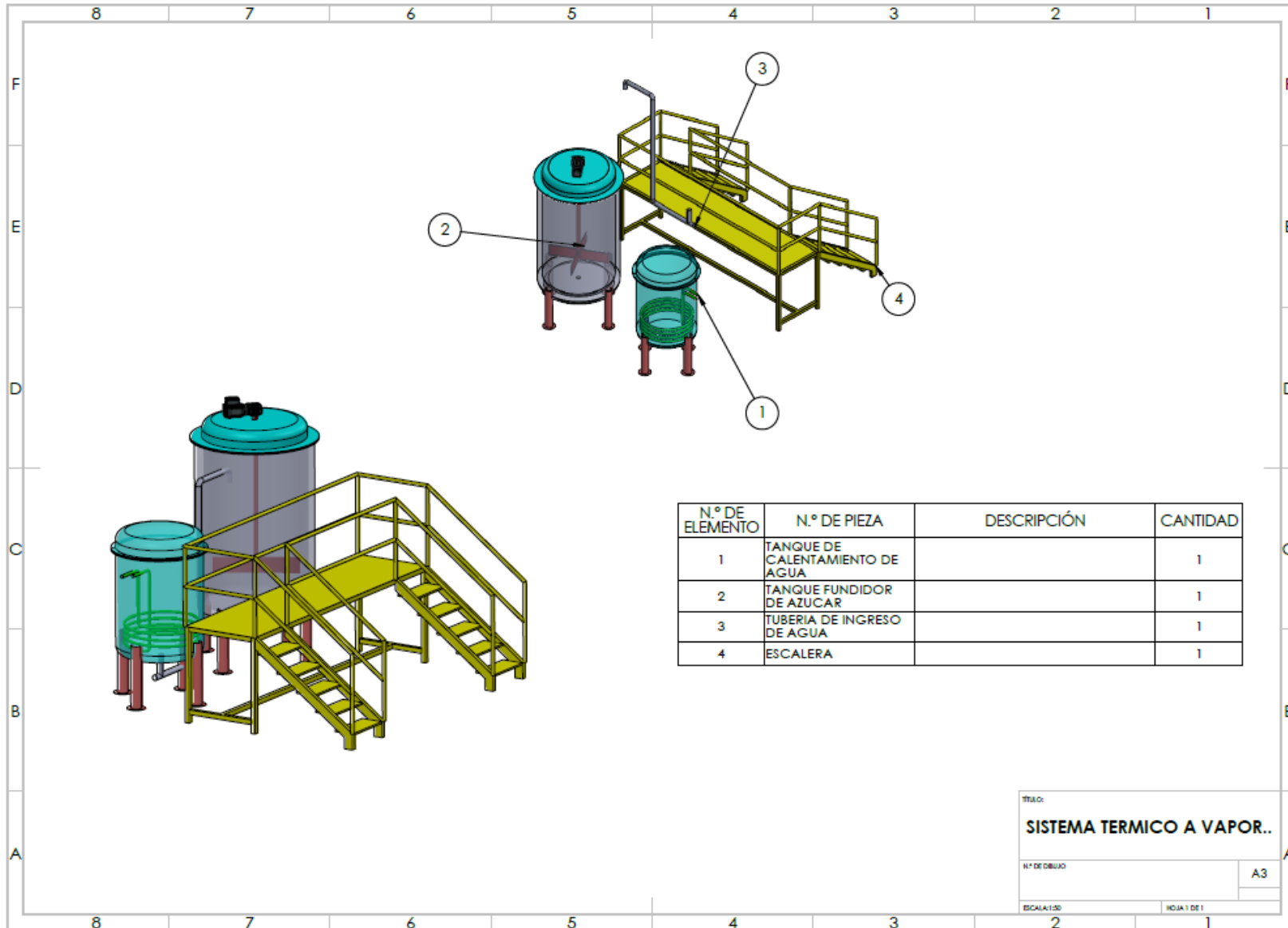
Ferenc Á. Mohos. (2017) *Confectionery and Chocolate Engineering, Principles and Applications*

A. Cengel and J. Ghajar. (2011) *Transferencia de calor y masa* (Cuarta edición). Ana L.

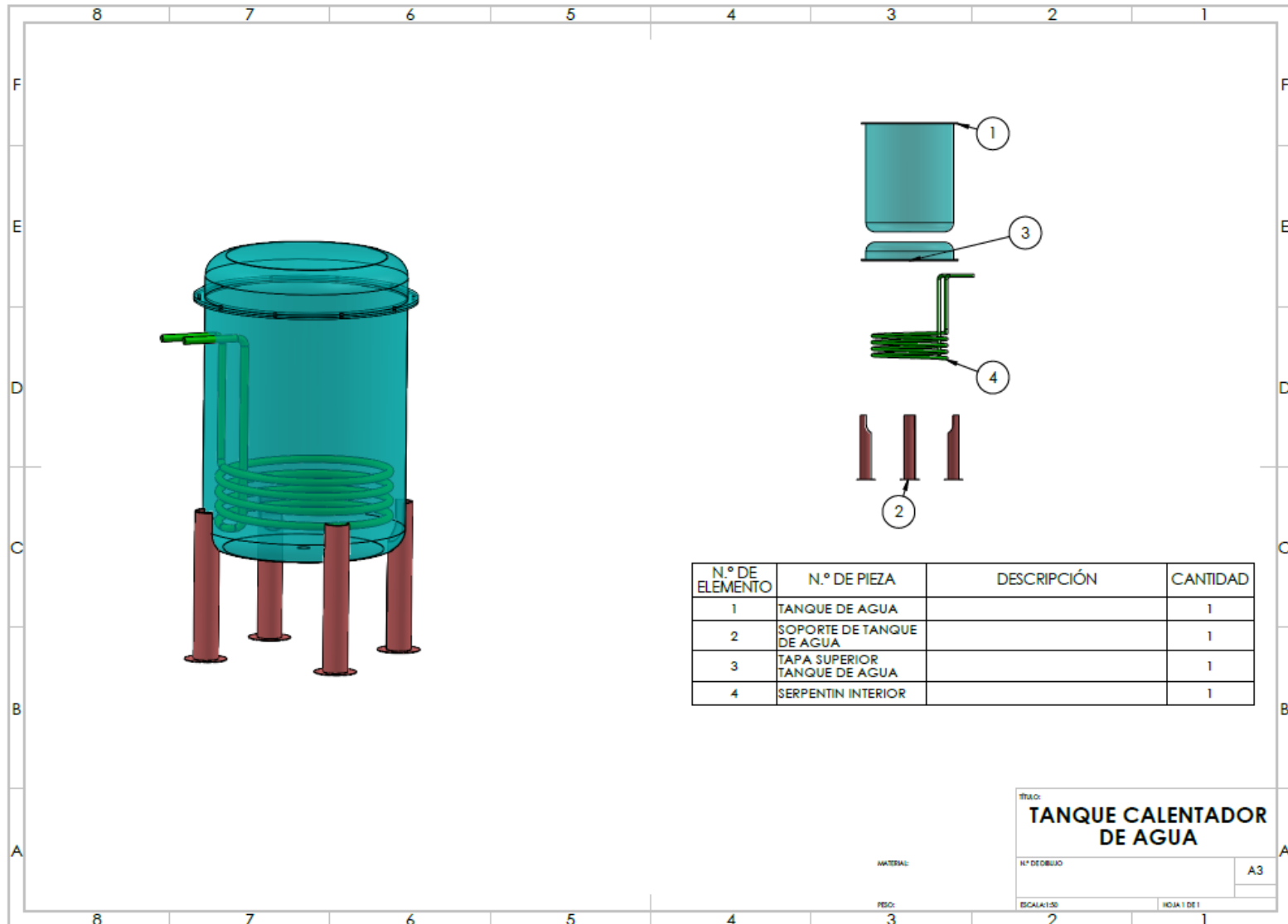
W. R. Penny. *Agitated vessels*

ANEXOS

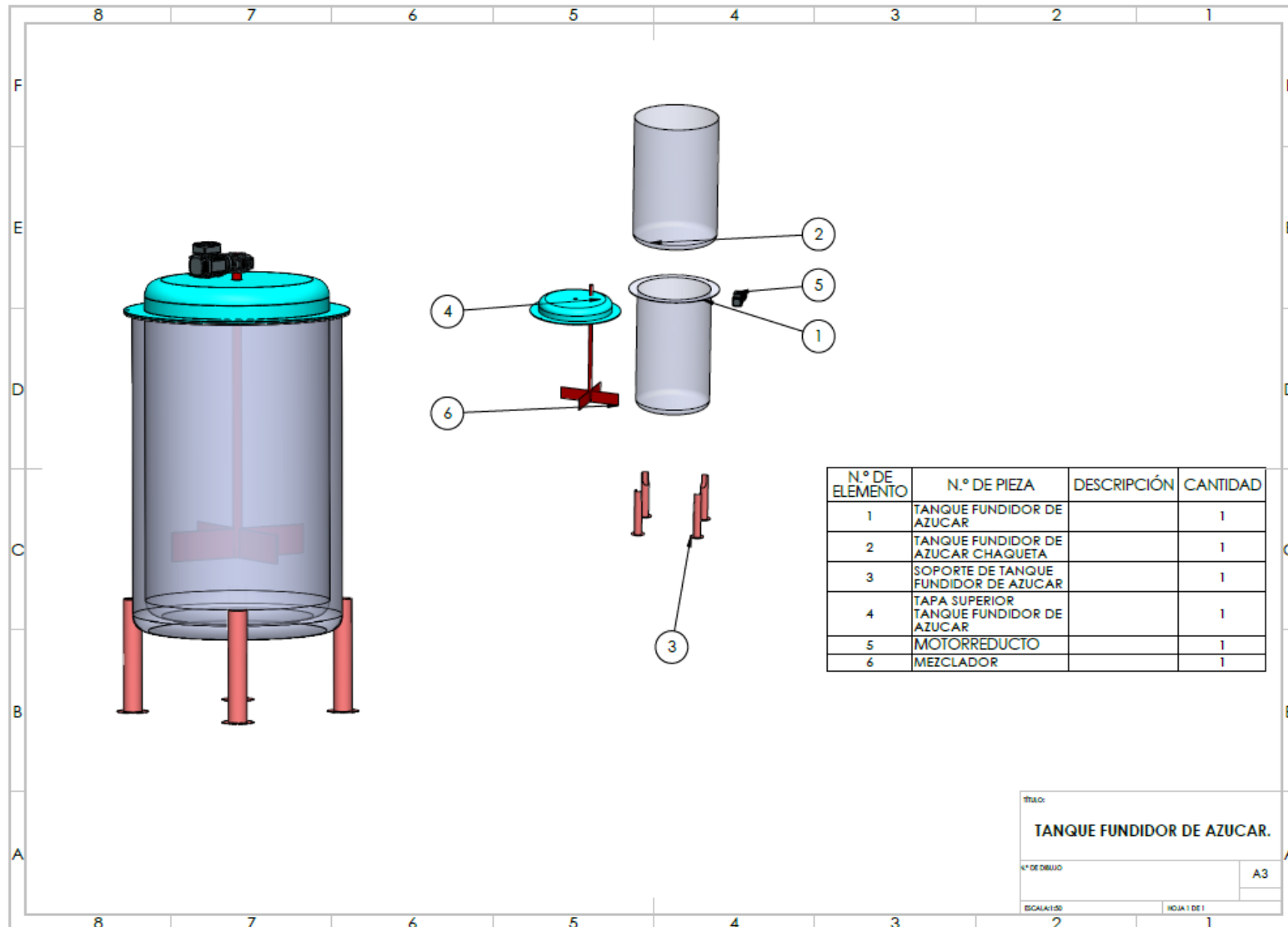
Anexo No. 1: ENSAMBLE GENERAL SISTEMA TERMICO



Anexo No. 2: TANQUE CALENTADOR DE AGUA



Anexo No. 3: MODELO VACIO DE ENTREVISTA



TÍTULO:
TANQUE FUNDIDOR DE AZUCAR.

N.º DE DIBUJO: _____ A3

ESCALA: 1:50 HOJA 1 DE 1

Anexo No. 4: MODELO VACIO DE ENTREVISTA

ENTREVISTA N°1

**DISEÑO DE UN SISTEMA TERMICO A VAPOR PARA ELABORAR 2500
KG/H DE JARABE DE AZUCAR PARA LA EMPRESA TERMOAUTOMATICA
E.I.R.L**

Apellidos y Nombres :

Cargo :

Empresa : TERMOAUTOMATICA E.I.R.L.

Ejecutado por : Jheysom Calderón Cruz, Willan Sánchez Arias

Universidad: Cesar Vallejo

Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Aspecto Técnico

- 1. En el proceso artesanal que se emplea actualmente, ¿Cuál es la capacidad de producción de jarabe de azúcar por hora, día o mes?**

.....
.....
.....
.....

- 2. Para el proceso ¿Cuál es la cantidad de leña que emplean por lote de producción de jarabe de azúcar?**

.....
.....
.....
.....

3. **¿Cuánto dura la jornada de trabajo del personal a cargo de la elaboración actual del jarabe de azúcar?**

.....
.....
.....
.....

4. **¿Cuál es la cantidad de personal que se emplea en la elaboración actual del jarabe de azúcar?**

.....
.....
.....
.....

5. **¿Cuáles son las características técnicas del recipiente que se encarga de procesar el jarabe de azúcar en la empresa? (dimensiones, material)**

.....
.....
.....
.....

6. **¿Cuáles es el principal problema que se genera en la elaboración de jarabe de azúcar actualmente?**

.....
.....
.....
.....

Aspecto Diseño

7. **¿Cuál es el tiempo que se emplea durante el proceso de elaboración de jarabe para su producción óptima? Detallar por cada subproceso**

.....
.....
.....
.....

8. **¿Cuál es la temperatura deseada o recomendada del jarabe de azúcar para su producción óptima? Detallar por cada subproceso**

.....
.....
.....
9. ¿Cuáles son los grados Brix deseados o recomendados para el jarabe de azúcar para su producción óptima?

.....
.....
.....

Aspecto Económico

10. ¿Cuánto es el costo por kilogramo de leña que emplean en proceso de elaboración de jarabe de azúcar?

.....
.....
.....
.....

11. ¿Cuánto es el pago del operario involucrado en el proceso de elaboración de jarabe azúcar por jornada de trabajo?

.....
.....
.....
.....

12. ¿Cuál cree usted que es el costo estimado para el sistema de vapor?

Diseño

- a) 1000 a 2000 soles
- b) 2000 a 4000 soles
- c) 4000 a mas

Fabricación

- a) 20 000 a 30 000 USA\$
- b) 30 000 a 40 000 USA\$
- c) 40 000 a mas

Anexo No. 5: ENTREVISTAS REALIZADAS

ENTREVISTA N° 1

DISEÑO DE UN SISTEMA TERMICO A VAPOR PARA ELABORAR 2500 KG/H DE JARABE DE AZÚCAR PARA LA EMPRESA TERMOAUTOMÁTICA E.I.R.L

Apellidos y Nombres : Haredis Rosario Acuña
Cargo : Gerente General.
Empresa : TERMOAUTOMÁTICA E.I.R.L
Ejecutado por : Jheysom Calderón Cruz, William Sánchez Arias
Universidad: Cesar Vallejo
Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Aspecto Técnico

1. En el proceso artesanal que se emplea actualmente, ¿Cuál es la capacidad de producción de jarabe de azúcar por hora, día o mes?

La capacidad de producción de jarabe de azúcar es de 700 Kg/día, 4200 kg/día y 109200 kg/mes (36 días de operación).

2. Para el proceso ¿Cuál es la cantidad de leña que emplean por lote de producción de jarabe de azúcar?

Se emplean 36 kg leña por vez, es decir de 36 Kg/día.

3. ¿Cuánto dura la jornada de trabajo del personal a cargo de la elaboración actual del jarabe de azúcar?

8 horas netas: 4.5 a 5 horas / día, debido a momentos de limpieza, retiro de cenizas del cbe cuando medicinas del personal de laboratorio.

4. ¿Cuál es la cantidad de personal que se emplea en la elaboración actual del jarabe de azúcar?

Se emplean 02 personas, para agitar manualmente y para la evacuación y lavado, que dura aprox 15 minutos, se recibe el apoyo de 2 personas más.

5. ¿Cuáles son las características técnicas del recipiente que se encarga de procesar el jarabe de azúcar en la empresa? (dimensiones, material)

El recipiente es un cilindro de acero inox 304 L, con diámetro interior = 0.90 m y altura total de 1.40 m. espesor = 1/4".

6. ¿Cuáles es el principal problema que se genera en la elaboración de jarabe de azúcar actualmente?

El control manual de temperatura, es muy difícil controlar el calor generado x acción, por la alta temperatura que mantienen el jarabe produciendo muchos por mala calidad.

Aspecto Diseño

7. ¿Cuál es el tiempo que se emplea durante el proceso de elaboración de jarabe para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

Para producir un lote de 700...750 kg de jarabe se emplea aprox 50 minutos, de los cuales aprox 40' son de calentamiento, 15' de lavado y 2.5' de evacuación del jarabe.

8. ¿Cuál es la temperatura deseada o recomendada del jarabe de azúcar para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

Según el Depto de Elaboración de azúcar, la temperatura debe mantenerse entre 25...35°C, por la que se mantiene durante la fase de fusión, luego se enfría x unos 15' hasta aprox 20° y se mezcla con agua tibia de 30...40°C, se obtiene jarabe a 60...65°C y 62...63°B.

9. ¿Cuáles son los grados Brix deseados o recomendados para el jarabe de azúcar para su producción óptima?

El contenido obtenido de la fundición de azúcar tiene entre 98-95 °B y el jarabe mezcla de cañavilla y azúcar tiene 62-63 °B

Aspecto Económico

10. ¿Cuánto es el costo por kilogramo de leña que emplean en proceso de elaboración de jarabe de azúcar?

A la forestal la leña se le vende a 16 S/ por kg, con humedad de 20%. Si la humedad es 10% el precio llega a 20 S/ por kg.

11. ¿Cuánto es el pago del operario involucrado en el proceso de elaboración de jarabe azúcar por jornada de trabajo?

Los operarios ganan el sueldo mínimo neto, tienen contratos anuales y trabajan por períodos de tiempo de hasta 3 meses. Es decir, por mes, el C.M.O. es 2835 S/.

12. ¿Cuál cree usted que es el costo estimado para el sistema de vapor?

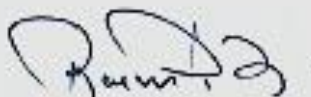
Diseño

- a) 1000 a 2000 soles
- b) 2000 a 4000 soles
- c) 4000 a mas ✓

Fabricación

- a) 20 000 a 30 000 USA\$
- b) 30 000 a 40 000 USA\$
- c) 40 000 a mas ✓

Instalación > 12,000 S/.


Raimundo
Calle 12, Av. 100, Cuzco
20000

ENTREVISTA N°1

DISEÑO DE UN SISTEMA TERMICO A VAPOR PARA ELABORAR 2500 KG/H
DE JARABE DE AZUCAR PARA LA EMPRESA TERMOAUTOMATICA E.I.R.L

Apellidos y Nombres : Paredes Mercado Traian
Cargo : Coordinador del Depto. de Proyectos y Mantenimiento
Empresa : TERMOAUTOMATICA E.I.R.L.
Ejecutado por : Jheysom Calderón Cruz, Willan Sánchez Arias
Universidad: Cesar Vallejo
Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Aspecto Técnico

1. En el proceso artesanal que se emplea actualmente, ¿Cuál es la capacidad de producción de jarabe de azúcar por hora, día o mes?
la capacidad de producción de jarabe de azúcar es
de 600 Kg/h, 4000 Kg/Día y 100.000 Kg/Mes con
26 días de producción
2. Para el proceso ¿Cuál es la cantidad de leña que emplean por lote de producción de jarabe de azúcar?
Aproximadamente 50 Kg de leña por vez (hoja)
3. ¿Cuánto dura la jornada de trabajo del personal a cargo de la elaboración actual del jarabe de azúcar?
5 horas por día, luego hacen labores de limpieza, etc

4. ¿Cuál es la cantidad de personal que se emplea en la elaboración actual del jarabe de azúcar?

3 o 4 personas. Pero que agite manualmente, avoacarian, llavada y vaciado del jarabe de azúcar. Dura. 20 a 25 minutos.

5. ¿Cuáles son las características técnicas del recipiente que se encarga de procesar el jarabe de azúcar en la empresa? (dimensiones, material)

El recipiente que se utiliza es de acero inox 304, diámetro de 1 m. x 1.70 de alto y va operado a 4°.

6. ¿Cuáles es el principal problema que se genera en la elaboración de jarabe de azúcar actualmente?

En la parte de mezcla, por ser manual y en la temperatura que se le puede controlar.

Aspecto Diseño

7. ¿Cuál es el tiempo que se emplea durante el proceso de elaboración de jarabe para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

Producción = 550 a 600 kg de jarabe de azúcar
Tiempo = 50 minutos a 1 h. ya es solamente ~~30~~
30. Constantemente y se trabaja.

8. ¿Cuál es la temperatura deseada o recomendada del jarabe de azúcar para su producción óptima? Detallar por cada subproceso

De acuerdo a la empresa la temperatura que debe tener es 130 aproximadamente que es la parte de fundición y cuando se refina a 20 a 20°C en 20 minutos, luego lo mezclan con agua a 30 a 40°C por lo que al final queda a una temperatura de 60 a 65°C.

9. ¿Cuáles son los grados Brix deseados o recomendados para el jarabe de azúcar para su producción óptima?

...Durante de la fundición tiene un aproximado de 98 o 96 °Brix
...y finalmente en jarabe de azúcar que está mezclada
...con agua tiene 60 a 63 °Brix

Aspecto Económico

10. ¿Cuánto es el costo por kilogramo de leña que emplean en proceso de elaboración de jarabe de azúcar?

Aproximado de 15 a 20% por Kg.

11. ¿Cuánto es el pago del operario involucrado en el proceso de elaboración de jarabe azúcar por jornada de trabajo?

De 2000 a 3000 S/. por día

12. ¿Cuál cree usted que es el costo estimado para el sistema de vapor?

Diseño

- a) 1000 a 2000 soles
- b) 2000 a 4000 soles
- c) 4000 a mas

Fabricación

- a) 20 000 a 30 000 USA\$
- b) 30 000 a 40 000 USA\$
- c) 40 000 a mas

ENTREVISTA N°1

DISEÑO DE UN SISTEMA TERMICO A VAPOR PARA ELABORAR 2500 KG/H
DE JARABE DE AZUCAR PARA LA EMPRESA TERMOAUTOMATICA E.I.R.L

Apellidos y Nombres : ARTEAGA VERDE GIMEL
Cargo : INGENIERO DE DISEÑO
Empresa : TERMOAUTOMATICA E.I.R.L.
Ejecutado por : Jheysom Calderón Cruz, Willan Sánchez Arias
Universidad: Cesar Vallejo
Escuela: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Aspecto Técnico

1. En el proceso artesanal que se emplea actualmente, ¿Cuál es la capacidad de producción de jarabe de azúcar por hora, día o mes?

LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE JARABE DE AZÚCAR ES DE 400 Kg/h, 4100 Kg/día y 10900 Kg/mes con 26 días de operación.

2. Para el proceso ¿Cuál es la cantidad de leña que emplean por lote de producción de jarabe de azúcar?

APROXIMADAMENTE 36 Kg/h POR VEZ (36 Kg/h)

3. ¿Cuánto dura la jornada de trabajo del personal a cargo de la elaboración actual del jarabe de azúcar?

5 HORAS Y LAS DEMÁS HORAS SE OCUPAN EN OTRAS ACTIVIDADES LIGADAS AL PROCESO COMPLETO, COMO POR EJEMPLO (LABORATORIO, LIMPIEZA, TOMA DE MUESTRAS, ETC)

9. ¿Cuáles son los grados Brix deseados o recomendados para el jarabe de azúcar para su producción óptima?

AL INICIO CUANDO SE FUNDE POR COMPLETO LLEGA HASTA
LOS 95-98 °Brix Y AL MEZCLARIO CON AGUA BAJA
HASTA LOS 63-67 °Brix

Aspecto Económico

10. ¿Cuánto es el costo por kilogramo de leña que emplean en proceso de elaboración de jarabe de azúcar?

APROXIMADO DE 20 S/ POR KG
.....
.....
.....

11. ¿Cuánto es el pago del operario involucrado en el proceso de elaboración de jarabe azúcar por jornada de trabajo?

2400 POR MES
.....
.....
.....

12. ¿Cuál cree usted que es el costo estimado para el sistema de vapor?

Diseño

- a) 1000 a 2000 soles
- b) 2000 a 4000 soles
- c) 4000 a mas

Fabricación

- a) 20 000 a 30 000 USAS
- b) 30 000 a 40 000 USAS
- c) 40 000 a mas

ANEXO 6: TABLA DE PROPIEDADES DE AGUA SATURADA

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0286	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—


Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Fuente: Cengel

ANEXO 7: ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL JARABE DE AZUCAR

 Alimentos Bacigalupo S. A	PRODUCCIÓN	Revisión N°:	Código:
		01	E-PRO-03
	Especificaciones Técnicas De Producto Terminado	Fecha de Revisión:	Página:
		Dic- 2013	1 de 3

Caramelo ABPP D2

1) Definición

Se trata de un jarabe de sacarosa. Obtenido por cocimiento a partir de azúcar de primera calidad a 120° C. Estabilizado con Goma Xántica.

2) Características sensoriales

ASPECTO: Líquido, viscoso
 COLOR: A caramelo. En Pantone 4975 C mínimo
 OLOR: A caramelo
 SABOR: A caramelo.

3) Características fisicoquímicas

Característica	Unidad	MIN	MAX	Método	Frecuencia de análisis
pH		3.10	3.70		
Viscosidad	cp	30000	43000	Aguja LV2 – Velocidad 0.6 rpm a 45°C	
° Brix	Brix	71	79		
Baumé		53.4	54.4	23° C	
Densidad	g / cm ³	1.280	1.380	23° C	

De los que se realizan:

Característica	Unidad	MIN	MAX	Método	Frecuencia de análisis
pH		3.10	3.70	pHmetro membrana de vidrio a 20° C	Por elaboración
Viscosidad 2	cp	30000	43000	FUNGILAB Spin R2 1 rpm, 45°C	Por elaboración
° Brix	Brix	71	79	Refractómetro A 60° C	Por elaboración

Fuente: Termoautomatica

ANEXO 8: TABLA PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN CALDERA

Item	Flujo Aire para Combustión	Flujo Vapor sobrecalentado	Temperatura Vapor sobrecalentado	Presión Vapor Sobrecalentado	2 en Gases Residuales
	m ³ /h	Ton/h	°C	Bar	% en volumen
1	52,373.00	35.2	344	24.4	8.9
2	51,867.00	34.7	343	24.2	8.4
3	51,770.00	33.9	346	24.3	8.6
4	51,618.00	33.7	348	24.2	8.8
5	51,768.00	35.1	351	23.9	8
6	51,875.00	35.9	353	23.9	7.1
7	52,171.00	35.3	359	24.5	6.2
8	51,974.00	37.5	370	24.9	6.2
9	52,243.00	35.6	365	25.3	6.8
10	51,643.00	36.9	352	23.8	7.8
11	51,275.00	32.1	366	24.6	7.6
12	55,409.00	36.8	343	24	9.1
13	55,338.00	35.3	341	24	9.2
14	55,275.00	32.9	347	24	8.1
15	55,415.00	33.9	351	23.9	8.7
16	55,826.00	35.4	354	23.8	8.1
17	55,253.00	35.4	344	23	7.3
18	57,930.00	38	367	25.4	5.7
19	43,915.00	35.5	339	23.9	8.7
20	42,522.00	36	337	23.6	8.6
21	43,649.00	35.1	363	22	4.3
22	59,871.00	37	374	23.4	1.9
23	61,150.00	37.7	355	24.9	8
24	60,943.00	37.5	350	24.7	8.5
25	59,745.00	35	343	24.3	9.5
26	55,565.00	29.2	345	24.8	9.9
27	54,863.00	28.5	349	25	9.7
28	51,119.00	25.6	351	24.2	8.1
29	57,507.00	39.5	346	24.6	8
30	57,781.00	37.9	334	23.7	8
31	57,577.00	34.7	360	24.6	7.4
32	57,802.00	33.9	363	24.9	6.8
33	55,620.00	36.6	356	24.1	7.4
34	54,755.00	37.6	355	23.9	7.5
35	53,759.00	37.9	353	23.8	7.6
36	53,297.00	37.6	350	23.7	7.4
37	53,530.00	37.9	348	23.5	7.2
38	53,417.00	36.3	346	23.9	6.8
39	52,941.00	35.7	354	23.9	6.9
40	52,956.00	33.9	357	24.3	6.9
41	52,732.00	34.9	367	24.9	7.2
42	52,024.00	34.9	367	25	7.1
43	50,948.00	34.5	365	25.1	7
44	83,223.00	36.9	354	24.5	7.7
45	47,662.00	36.8	350	24.3	7.4
46	46,778.00	38.1	343	23.7	7.2
47	48,366.00	35.1	340	23.3	7.2
48	47,990.00	33.6	352	23.7	7.3
49	47,181.00	31.7	366	24.6	6.5
50	48,356.00	35	371	24.8	6.4
51	46,731.00	33.5	360	23.9	5.3
52	46,618.00	34.5	375	25.1	3.6
53	46,882.00	37.5	375	25.4	5.1
54	45,504.00	36.3	367	25.7	6
55	45,277.00	29.4	362	24.8	7.4
56	46,137.00	31.1	365	24.8	7.4
57	45,115.00	34	368	25	7
58	43,182.00	36.8	363	24.6	6.5
59	46,505.00	37.1	344	23.3	5.7
60	45,494.00	37.3	345	23.3	5.2
Promedio	51,833.07	35.1	355.4	24.3	7.0

FUENTE: TERMOAUTOMATICA

ANEXO 9: PUNTO DE FUNSIÓN DE LOS AZÚCARES.

Table A1.4 Melting point of sugars.

Sugar	Melting point (°C)
Dextrose	146
Maltose	108
Sucrose	170-188
Raw sugar	170-188
Powdered sugar	170-188
Fructose	104

Source: Data from Antokolskaja (1964).

Fuente: Libro de Ingeniería de Confitería y Chocolatería, “Principios y aplicaciones”, Frenc A. mohos, Segunda edición. 2017

ANEXO 10: CAPACIDAD CALORÍFICA ESPECÍFICA Y MOLAR DE LOS AZÚCARES.

Table A1.3 Specific and molar heat capacity of crystalline sugars.

<i>T</i> (°C)	<i>c</i> (Ws/kg degree)	<i>C</i> (Ws/mol degree)
0	1 088.57	385 604
20	1 214.17	415 749
30	1 256.04	435 427
40	1 323.03	452 174
50	1 356.52	464 734
60	1 419.32	485 668
70	1 469.57	502 416
80	1 532.37	523 350
90	1 578.42	540 097

Source: Antokolskaja (1964).

Fuente: Libro de Ingeniería de Confitería y Chocolatería, “Principios y aplicaciones”, Frenco A. mohos, Segunda edición. 2017

ANEXO 11: CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS AZÚCARES

Table A1.2 Thermal conductivity of crystalline sugars.

Type	λ (W/m degree)
Powder	0.069
Raffinated	0.081
Light pressed	0.093
Castor	0.58
Raw	0.17

Source: Antokolskaja (1964).

Fuente: Libro de Ingeniería de Confitería y Chocolatería, “Principios y aplicaciones”, Frenc A. mohos, Segunda edición. 2017

ANEXO 12: DENSIDADES

32.4.2 Densidades aparentes a granel

Hugot (1986) encontró un valor de 1000 kg/m^3 a una profundidad de 6 m y, por razones de diseño, recomienda un valor de densidad aparente en una pila de 900 kg/m^3 .

Bubnik et al. (1995) dieron a conocer los siguientes valores para densidad aparente en kg/m^3 :

Azúcar crudo a granel	820– 870
Azúcar crudo después de almacenamiento	950–1000
Azúcar crudo envasado en sacos	680– 690
Azúcar blanco a granel	850– 900
Azúcar blanco envasado en sacos	700
Azúcar blanco en polvo	600– 700

Fuente: Libro de Ingeniería de Confitería y Chocolatería, “Principios y aplicaciones”, Frenc A. mohos, Segunda edición. 2017



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de un Sistema Térmico a Vapor para elaborar 2500 Kg/h de Jarabe de Azúcar para la empresa Termoautomatica Servicios Generales E.I.R.L.", cuyos autores son CALDERON CRUZ JHEYSOM ALFONSO, SANCHEZ ARIAS WILLAN ROBINSON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 01 de Agosto del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO DNI: 18072601 ORCID: 0000-0001-5734-040X	Firmado electrónicamente por: JOLORTEGUIY el 02- 08-2022 07:42:51

Código documento Trilce: TRI - 0384375