



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS

**REDISEÑO DEL PRE-EVAPORADOR DE JUGO
CLARIFICADO PARA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA
DIARIA EN AGRO PUCALÁ S.A.A**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELÉCTRICISTA:**

Autores:

Bach. Martinez Vilchez, Yadira del Carmen

<https://orcid.org/0000-0002-4865-9424>

Bach. Padilla Huamán, Edwin Duberli

<https://orcid.org/0000-0001-9188-681X>

Asesor:

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2020

**REDISEÑO DEL PRE-EVAPORADOR DE JUGO CLARIFICADO
PARA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA DIARIA EN AGRO
PUCALÁ S.A.A**

**Presentado a la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la
Universidad Señor de Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico
Electricista**

Aprobación de Tesis:

Autores:

**Bach. Martinez Vilchez, Yadira del
Carmen.**

**Bach. Padilla Huamán, Edwin
Duberli.**

**Mg. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS
Presidente del jurado de Tesis.**

**Mg. GASTIABURÚ MORALES SILVIA YVONE
Secretaria del jurado de Tesis.**

**Mg. ALVARADO SILVA CARLOS ALEXIS
Vocal de jurado de Tesis.**

DEDICATORIA

A Dios por darnos la fortaleza
para poder cumplir con
nuestras metas y terminar con
éxito esta investigación.

De igual manera, a nuestros
padres por su cariño, comprensión
y aliento para seguir nuestro
camino hasta llegar a la meta.

A nuestros queridos asesores
por su apoyo y por la sabiduría
que nos transmitieron
durante el proceso de desarrollo
de esta investigación.

A nuestros amigos ingenieros y
técnicos de la empresa Agro Pucalá
por transmitirnos su experiencia en campo
y por facilitarnos las guías para el
desarrollo del presente.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por guiarnos
en cada paso y por haber
puesto en nuestro camino
a personas que han sido
soporte y apoyo durante este
periodo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a nuestras
familias por el esfuerzo realizado
para darnos esta carrera, y su apoyo
incondicional para seguir adelante.

Un agradecimiento especial
al Dr. Jorge Olortegui y a la Mg. Ana
Guerrero por la colaboración, apoyo
y paciencia durante el desarrollo
de la presente.

Un reconocimiento grande a los
ingenieros y técnicos de la empresa
Agro Pucalá por todo el apoyo y
tiempo prestado para responder a
nuestras dudas y preguntas

REDISEÑO DEL PRE-EVAPORADOR DE JUGO CLARIFICADO PARA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA DIARIA EN AGRO PUCALÁ S.A.A.

Bach. Martinez Vilchez, Yadira del Carmen.

Bach. Padilla Huamán, Edwin Duberli.

Resumen

En el presente proyecto, se determinó el re-diseño de la máquina para mejorar la evaporización de jugo de caña, la cual requirió una mejora en los componente y ampliación en estos de esta manera mejorar la producción de 3500tn/día a 5000tn/día. Este requerimiento se basa en cubrir las necesidades que presenta la empresa demandante Agro Pucalá S.A.A, siendo la principal promotora del presente proyecto.

Uno de los criterios, que determinaron el re-diseño de la máquina, se presentó mediante visitas a la fábrica y entrevistas realizadas a ingenieros y operadores. Esto nos permitió observar que inicialmente la fábrica conto con 4 pre-evaporadores (SQUIER, MC NEIL, B&W, B.M.A) de los cuales (MC NEIL dejo de estar operativo. Tomando así este último como base para poder plantear el re-diseño, lo cual se basó en observar los materiales empleados así se determinó que el mejor material a usar fue el acero al carbono el cual fue elegido debido a que su conductividad es menor que la del cobre, aquí también determinamos la calandria y para su re-diseño tomamos en cuenta un diámetro similar al pre-evaporador dado de baja, cuya fabricación fue bajo tratamiento térmico y con un acero temperado a medio carbono, todo esto nos permitió evaluar un antes y un después al aplicar el re-diseño, observamos la cantidad de jugo claro obtenido, la cantidad de masa a evaporar, la cantidad de jarabe que se obtiene y la cantidad de vapor empleado, al finalizar todo esto se pudo determinar una comparación entre la capacidad de la fábrica que tuvo y la capacidad planteada.

Palabras Clave: Pre-Evaporador, Jugo Claro, Evaporador.

**Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado,
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: @crece.uss.edu.pe Código
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-9424>**

**Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado,
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: @crece.uss.edu.pe Código
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9188-681X>**

REDESIGN OF THE PRE-EVAPORATOR OF CLARIFIED JUICE FOR GRINDING 5000 MT OF DAILY CANE IN AGRO PUCALÁ S.A.A

Bach. Martinez Vilchez, Yadira del Carmen.

Bach. Padilla Huamán, Edwin Duberli.

Abstract

In the present project, the redesign of the machine was determined to improve the evaporation of cane juice, which required an improvement in the components and the expansion in these, thus improving production from 3500tn / day to 5000tn / day. This requirement is based on meeting the needs presented by the applicant company Agro Pucalá S.A.A, being the main promoter of this project. One of the criteria, which determined the redesign of the machine, was carried out through visits to the factory and interviews with engineers and operators. This allows us to observe that the factory has 4 pre-evaporators (SQUIER, MC NEIL, B&W, BMA) of which (MC NEIL ceased to be operational. Taking the latter as the basis to be able to propose the re-design, what which was based on observing the materials used thus determining the best material to use carbon steel which was chosen due to its conductivity is less than that of copper, here we also determine the calender and for its re-design we take into account a diameter similar to the low finger pre-evaporator, whose manufacture was under heat treatment and with a mild carbon steel, all this makes us evaluate an ante and an after applying the redesign, we observe the amount of clear juice obtained , the amount of mass to evaporate, the amount of syrup obtained and the amount of steam used. At the end of all this, a comparison could be determined between the capacity of the factory it had and the proposed capacity.

Key Words: Pre-Evaporator, Clear Juice, Evaporator.

**Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado,
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: @crece.uss.edu.pe Código
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-9424>**

**Adscrita a la Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica Pregrado,
Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: @crece.uss.edu.pe Código
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9188-681X>**

INDICE

Resumen	v
Palabras Clave: Pre-Evaporador, Jugo Claro, Evaporador.....	v
Abstract	vi
Key Words: Pre-Evaporator, Clear Juice, Evaporator.	vi
I. INTRODUCCIÓN.	11
1.1. Situación Problemática.	11
1.2. Antecedentes de la Investigación	13
A nivel internacional.....	13
2.1.1 A nivel Nacional	21
2.1.2 A nivel Local.....	22
1.3. Teorías relacionadas al tema	23
1.3.1. Pre-evaporadores	23
1.3.2. Tipos de evaporadores	25
2.1.3 Diseño de un Pre-evaporador.....	44
1.4. Formulación del problema	79
1.5. Justificación e importancia de la investigación	79
1.5.1. Justificación Social.	79
1.5.2. Justificación Económica.....	79
1.5.3. Ambiental.	80
1.5.4. Tecnológica.	80
1.6. Hipótesis	81
1.7. Objetivos.....	81
1.7.1. Objetivo general	81
1.7.2. Objetivos específicos	81
II. MATERIALES Y MÉTODOS	84
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	84
2.2. Población y muestra	84
2.2.1. Población.....	84
2.2.2. Muestra.....	84
2.3. Variables y Operacionalización.	85
2.3.1. Variables.....	85
2.3.2. Operacionalización de variables.....	85

2.3.2.1.	Sistema vapor y sistema clarificador.....	85
2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	89
2.4.1.	Abordaje metodológico.....	89
2.4.2.	Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	89
2.4.2.1.	Técnica.....	89
2.4.2.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	91
2.4.2.3.	Metodología y procedimiento para la recolección de datos, validez y confiabilidad.....	91
2.5.	Procedimientos para el análisis de datos	92
2.6.	Criterios éticos	94
2.7.	Criterios de Rigor Científico.....	95
III.	RESULTADOS	97
3.1.	Resultados en tablas y figuras.....	97
3.1.1.	Identificación y Recolección de parámetros de diseño.....	
3.1.2.	Diagnóstico del estado actual de los pre-evaporadores existentes.	97
3.1.3.	Modelamiento térmico de los pre - evaporadores	
3.1.4.	Diseño de la capacidad del Pre-evaporador	
3.1.4.1.	Dimensionamiento de los componentes del pre-evaporador.....	109
3.1.4.2.	Calandria.....	109
3.1.4.3.	Cuerpo:	98
3.1.4.4.	Tubo de Vapor Vegetal	100
3.1.4.5.	Tubo de Ingreso de Vapor	101
3.1.4.6.	Tubos de Vapor no Condensado	102
3.1.4.7.	Separador de Arrastres	102
3.1.4.8.	Tolerancias y Consideraciones	105
3.1.5.	Modelamiento y ensamblaje de los componentes del pre-evaporador.	
3.1.6.	Simulación de análisis de elementos finitos.....	
3.1.7.	Análisis de costos para la fabricación del pre-evaporador.....	
3.1.8.	Análisis económico (TIR) del pre-evaporador.....	97
3.2.	Discusión de resultados	100
IV.	REFERENCIAS	92
V.	ANEXOS	Error! Bookmark not defined.
	ANEXO 01 - Guía de Observación para los evaporadores	96
	ANEXO 02 - Entrevista para el Doc. William Villareal.....	103

ANEXO 03 - Entrevista para al Ing. Jorge Arica	108
ANEXO 04 – Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú	109
ANEXO 05 – Cronograma de Actividades	112
ANEXO 06 – DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y ESQUEMA DE COSTOS.....	114
4.2.1. Modelamiento Térmico (Esquema)	114
4.2.2. Cálculo de la Capacidad del Pre-evaporador	116
4.2.3. Dimensionamiento de los componentes del Pre-evaporador	116
4.2.4. Dibujo y Simulación en Solidworks	117
4.2.5. Dimensionamiento de estructura de soporte.	117
4.2.6. Dibujo y Simulación de la Estructura.	118
4.2.7. Comparación de resultados con la realidad.....	119
I.1. 4.3. Equipos, materiales e instrumentos	119
I.2. 4.4. Recursos humanos	120
I.3. 4.5. Formulas y Cálculo:.....	120
I.4. 4.6. Planos	120
I.5. 4.7. Diseño	121
I.6. 4.8. Pruebas de funcionamiento	121
I.7. 4.9. Mantenimiento.....	121
I.8. 4.10. Costos.....	121

Capítulo I:

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Situación Problemática.

El proyecto de tesis se basa en la necesidad productiva existente en la industria azucarera de Pucalá que requiere aumentar su productividad de azúcar en 2000 a 4000 bolsas/día y poder proyectarse como la empresa líder en exportación de azúcar, para esto, se ha analizado implementar un pre-evaporador con el doble de capacidad de los ya existentes. Es importante recapitular la realidad de las industrias azucareras a nivel internacional, nacional y local, con la finalidad de analizar y comparar las diferentes metodologías y tecnologías utilizadas para solucionar esta problemática.

La agroindustria AGRO PUCALA SAA se encuentra localizado en el distrito de Pucalá, situada en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, esta empresa trabaja con la elaboración de azúcar y alcohol. Actualmente, la planta tiene una capacidad promedio de producción de 6000 a 8000 bolsas/día, pero se pretende producir 10000 a 12000 bolsas/día, usándose la capacidad máxima de la fábrica de 5000 TM de caña diría. Para ello, nosotros realizamos un estudio e identificamos el problema en planta, siendo la propuesta el rediseño de un pre-evaporador de mayor capacidad a los existentes, en consecuencia, se obtendrá una mayor cantidad de miel para el proceso de obtención de azúcar.

Este trabajo es importante porque plantea el uso de la capacidad total de producción de la planta. Si bien es cierto, actualmente el área de trapiche puede moler 5000 TM de caña diaria, pero el área de evaporación no las puede procesar. Por tal motivo, rediseñamos un pre-evaporador en software CAD con mayor capacidad de procesamiento de miel, asegurándonos que sea de las dimensiones correctas para obtener un flujo continuo durante el proceso de producción diario, este equipo solo se desarrolló de manera virtual a través de un software de ingeniería.

Iniciamos el estudio comprendiendo la realidad actual de Agro Pucalá, para ello realizamos varias visitas a la planta, observándose que, en un día de trabajo normal la planta dejaba de procesar reiteradamente por el mal funcionamiento de

algunos equipos o por sobrepasar la capacidad de alguna área, generalmente el área de evaporación; esto representaba una limitación en el proceso de obtención de azúcar, manteniendo la capacidad de molienda de la fábrica en 2500 a 3500 TM de caña diaria, siendo su capacidad real de la fábrica de 5000 TM de caña diaria, por ello, nosotros planeamos el siguiente problema «¿Cómo se puede mejorar el proceso de evaporación del jugo clarificado para la obtención de miel, producidas de una molienda de 5000 Toneladas de caña diaria en la Agro Industria Azucarera Pucalá?».

Por las razones anteriormente mencionadas y teniendo claro el problema de la Agroindustrial Pucalá nos planteamos diversas alternativas de solución, llegando a la hipótesis siguiente «Con el rediseño de un pre-evaporador de jugo clarificado en software CAD y manteniendo los equipos existentes, se logrará teóricamente utilizar la capacidad máxima de molienda de la fábrica, ya que se ampliara la capacidad del área de evaporación y por ende la producción de miel, abasteciendo de manera continua los tachos de cristalización en la Agroindustria Azucarera Pucalá S.A.A».

La importancia tecnológica de este rediseño radica en que ayudará a producir mayor cantidad de miel dentro del proceso de fabricación de azúcar, esto permitirá tener un flujo de operación continuo. Además, permitirá minimizar el problema de salida del vapor con gotas de agua condensada al sistema de múltiple efecto, diseñándose un arrastre con más eficiencia de contención. En cuanto a la justificación ambiental se logrará reducir el consumo de combustible (bagazo) debido a que el calentamiento del jugo será más eficiente, por tanto, los gases emitidos a la atmosfera serán menores.

Por otro lado para realizarse esta tesis fue necesario hacer uso de todos los conocimientos adquiridos durante la vida universitaria para poder desarrollar los cálculos pertinentes en el diseño de las piezas que componen el pre-evaporador, para lo cual fue necesario contar con datos de entrada como la presión y la temperatura del vapor y del jugo clarificado sobre el equipo, así como también estos datos nos ayudaron a realizar el análisis dentro del pre-evaporador (balance de

energía) y por ultimo una vez diseñado el pre-evaporador se desarrolló el modelo 3D haciendo uso de software CAD.

1.2. Antecedentes de la Investigación

En la actualidad las tecnologías usadas en las empresas azucareras son diversas y van de la mano con el avance tecnológico y económico de cada país, en los siguientes párrafos podremos informarnos sobre la realidad de esta industria a nivel internacional, nacional y local con detalle.

A nivel internacional

Cuba

Utilizaron un modelo del proceso de cristalización de la sacarosa para el control predictivo.

En la presente investigación trabajan el control predictivo a través del modelo (MPC) al proceso químico de cristalización de la sacarosa que se genera en los evaporadores o recolectores de la industria azucarera. Las causas que genera el modelo, en general resulta no lineal e invariante con el tiempo, a través de dos variables como de entrada y salida, se genera por la simulación, un modelo lineal en variables de estado, donde se elabora un formato mod con el programa MATLAB. El análisis de la simulación verifica el desempeño de un sistema MISO a través de la variable de salida donde existe un grado de sobresaturación del alcohol y el crecimiento del diámetro del cristal.

La cristalización de la sacarosa comercial en la industria azucarera se lleva a cabo alimentando un flujo de líquido rico en sacarosa disuelta (meladura) y mediante el suministro de un flujo de vapor a baja presión a la calandria de un evaporador de simple efecto, comúnmente llamado tacho, donde el líquido bulle al vacío. Con ello se logra elevar el nivel de sobresaturación del licor madre en la masa cocida, variable esta que determina la velocidad de crecimiento de los cristales desde un diámetro inicial de unos 0,5 mm hasta alrededor de 0,8 a 0,9 mm que es el tamaño estándar del diámetro del cristal esférico promedio equivalente para el azúcar comercial. La razón de crecimiento del cristal depende directamente del grado de sobresaturación.

De ahí que constituya la variable fundamental a controlar en este proceso.

Se han desarrollado muchos esfuerzos en el modelado y control convencional /3/, /4/, /12/, /15/, /18/, /19/, etc. con resultados favorables; sin embargo, las potencialidades actuales del control predictivo auguran resultados mucho más exitosos en el control de este complejo proceso. El control predictivo centrado en el modelo (MPC) surgió a través de la industria en la década de los setenta con sus versiones originales de Control por Matriz Dinámica (DMC) /2/ y algoritmo de control basado en el modelo (MAC) /14/. Estas estrategias computacionales para el control de procesos han ido ganando cada vez más popularidad, como en el ámbito industrial y en el académico, reportándose miles de aplicaciones /7/ de MPC lineales y no lineales a nivel mundial. La mayor parte de tales aplicaciones han sido en torres de destilación, no obstante, prácticamente no existe un subproceso industrial químico, energético o combinaciones de ellos que no pueda recibir los beneficios de esta estrategia computacional moderna de control. En el caso de la cristalización de azúcar se reportan diversos trabajos con ese fin /15/, /4/, /16/, /5/, /17/, etc. pero la gran mayoría no están enfocados al proceso de fabricación de azúcar crudo. En el presente trabajo se pretende realizar el análisis y posibilidades de aplicar un algoritmo de MPC al caso del proceso periódico de fabricación de azúcar comercial en los tachos al vacío. El término MPC, más que designar una estrategia de control, representa una amplia gama de métodos de control /1/ basados en la predicción de la salida del sistema, a partir de algún modelo predictor del proceso. Existen, muchas variantes de estos métodos, tanto lineales como no lineales /7/. En la investigación, se detallan los primeros resultados de aplicación del MPC a este proceso, tomando como ejemplo el modelo desarrollado por el autor en su tesis doctoral, como elemento básico para la elaboración del predictor del mismo, linealizado en un punto de operación. Para ello se simula el proceso no lineal, variante con el tiempo sometándolo a excitaciones de alimentación del flujo de meladura y del flujo de vapor de calentamiento (variables de entrada) a través de señales binarias pseudo aleatorias con parámetros adecuados a las condiciones reales del caso estudio analizado. Se toman muestras simultáneas de las entradas y la salida (sobresaturación del licor madre) como punto de partida para la identificación experimental del proceso. El modelo así obtenido, sirve de base para el desarrollo

del diseño del MPC, aunque en la representación de la simulación se utilice el modelo no lineal /13/. (Borroto Rodriguez, 2007)

Brasil

a. Los diez puntos claves de la tecnología agrícola

Estar al tope del desarrollo de productos y equipos consolida al Brasil en el panorama internacional.

La importancia que está conquistando la caña de azúcar producto de la matriz energética brasileña - reflejo de una economía globalizada cada vez más sensible a las cuestiones ambientales que exigen alternativas energéticas sostenibles – ha fomentado nuevos desafíos en la tecnología del ciclo de alcohol y azúcar.

Desde la modernización de nuevas plantas hasta la sofisticación de los procesos industriales agrícolas, siguiendo por la formación de los profesionales, Brazil garantiza tecnología de punta en todos los sectores para abastecer la demanda, garantizando la remodelación de tecnología del sector de la caña de azúcar. A continuación, encontrara algunas aplicaciones de estos esfuerzos. [...]

LA TECNOLOGÍA EMBARCADA APORTA PRECISIÓN Y EFICIENCIA

La maquinaria agrícola ya está equipada con los más modernos recursos de informática y electrónica, lo que significa una gran diferencia por lo que respecta a la agilidad y eficiencia en todo el proceso agrícola de la caña de azúcar en los ingenios. Lo que hasta hace poco era un panorama futurista ya es una realidad en el campo, donde sistemas automatizados utilizan tecnologías por satélite para controlar el transporte e incluso operan máquinas para la siembra y la cosecha por control remoto, además de ayudar a mapear las condiciones del suelo.

La electrónica embarcada es una realidad en muchos ingenios que se ha transformado en una vía de evolución natural por las muchas ventajas que proporciona, tanto reduciendo los costos como aumentando la productividad. A la hora de sembrar los tractores equipados con dispositivos como GPS y PILOTO AUTOMATICO, por ejemplo, permiten que se operen con una alineación y un

espaciamiento uniforme. Esos mismos equipamientos también están presentes en la cosechadora que, utilizando los datos originados en la siembra, llevara a cabo la cosecha de una forma más eficiente y ágil. Los equipamientos han llegado a un nivel de automatización tal que el operador ha pasado a tener solo la función de monitorear el trasbordo, verificar el funcionamiento del motor y la velocidad de la máquina, y a tomar el control solo para comenzar una nueva sección.

“Además de una siembra y una cosecha más uniformes, la automatización minimiza el pisoteo y disminuye las perdidas”, afirma Gustavo Villa Gomes, de la Usina Guaíra. La tecnología embarcada también está presente en los camiones de transporte, dotados de computadoras de abordo que emplean tecnologías GPRS, la misma de los teléfonos celulares con este sistema se generan datos para controlar el consumo, la velocidad, la aceleración y las rutas, entre otros, que ayudaran en la toma de decisiones relativas al ahorro. (Lima, 2010)

b. Las mejores tecnologías en el área industrial

[...] Los productos y servicios hacen que, en todo el Brasil y el extranjero, los procesos productivos sean económicos, eficientes y ambientales para la sostenibilidad. Existe una solución para cada planta y para cada objetivo. Las capacitaciones de los profesionales de los proveedores de tecnologías brasileñas, que adaptan los elementos logísticos a cada necesidad, y el resultado de ello es una eficiente revolucionaria y moderna.

“Esta revolución tecnológica en la área industrial de producción de etanol y azúcar de Brasil se produce año tras año de forma rigurosa sin saltos tecnológico puntuales o espectaculares, a través de un sistema de mejora en el tiempo, en un proceso acelerado”, resume con precisión el joven Fabricio Bicalho de Andrade ejecutivo del Grupo Andrade. Veamos algunas de las tecnologías seleccionadas:

Islas de proceso con diseño modular

Las islas de procesos se usan en la construcción de las plantas modernas. Es un nuevo concepto de ingeniería que facilita la modernización y la operación de las plantas. Son una especie de manzanas, de forma de cada etapa o proceso se puede considerar que forma una manzana. El flujo de personas en la producción se reduce,

evitando los accidentes y mejorando el trabajo de los empleados. Según Fabricio Bicalho de Andrade, director de la compañía energética Vale do São Simão de Minas Gerais, que pertenece al Grupo Andrade y fue construida con este diseño, otra ventaja es que dentro de 30 años se podrá hacer el mantenimiento de la planta o ampliarla sin problemas, ya que se describieron y archivaron todas las etapas de su construcción. Por lo tanto, se sabe cuáles fueron todos los productos, los materiales eléctricos y de cableado que se utilizaron para ello.

Además, también se tiene en cuenta la estética del emprendimiento. “Esto es primordial para la calidad de trabajo que se desempeña”, añade Fabricio.



Figura 1: Tanque de dosificación de cal. equipamiento en bloques, como en una línea modular.

La optimización con integración energética al vacío

El objetivo de la integración energética al vacío es la integración energética o cascada térmica.

Básicamente consiste en utilizar el calor dentro del proceso para que otro necesite menor cantidad de calor. La tecnología puede llegar a costar el doble del valor de una planta entera. Lo que justifica su implementación es el ahorro de valor y megawatts consumidos.

La demanda, cada vez mayor por la sostenibilidad, aumentado la necesidad de productos como este. Una de las empresas productoras del sistema desde el 2007 es Dedini Industrias de base, con sede en Piracicaba/SP. La tecnología consiste en un proceso completo. Se toma una columna de destilación y se proyecta para que reciba calor al vacío. Después se aprovecha el calor de la destilación a vapor (generado

por otra columna) y se integra entre las dos columnas para que una utilice el calor de la otra en su proceso.

Companhia Energética Vale do São Simão tiene toda su tecnología aplicada en el intercambio térmico para ahorrar vapor, generando más energía y sobrando mas bagazo, por medio de uso de regeneradores, y aprovechando el intercambio térmico en todas las etapas.

La empresa TKS Equipamentos Industriais Ltda, de Sertãozinho, SP, cuenta con el know-how en instalaciones completas, lo que incluye equipamiento para el intercambio térmico en las columnas de destilacion al vacio.



Figura 2: Intercambiadores de calor en la compañía energética vale do sãosimão

Sistemas Ecovin

Sistema Ecovin una tecnología nacional para reducir la concentración de la vinaza

Los sistemas Ecovin, 100% fabricados en Brasil y desarrollados por Citrotec, están formados por un evaporado que reduce cerca de 10 veces el volumen de concentración de la vinaza. Gracias a ello, se amplía la utilización de la vinaza, que puede emplearse como fertilizante para la alimentación animal, solidificación, quema y biodigestión, entre otras aplicaciones. Además, los sistemas permiten aprovechar el vapor de baja presión (V1).

El principio que utilizan los Sistemas Ecovin para disminuir la concentración de la vinaza es la niebla turbulenta descendente y consumen poca energía eléctrica con una operación sencilla y automatizada. Están formados por torres de enfriamiento

y condensadores de evaporación autónomos que eliminan la necesidad de una fuente externa de agua.

Entre las plantas que utilizan esta tecnología están la Usina Cerradinho de Potirendaba/SP, la Usina Rio Pardo de Cerqueira Cesar/SP y la Usina Angélica de Angelica/MS.

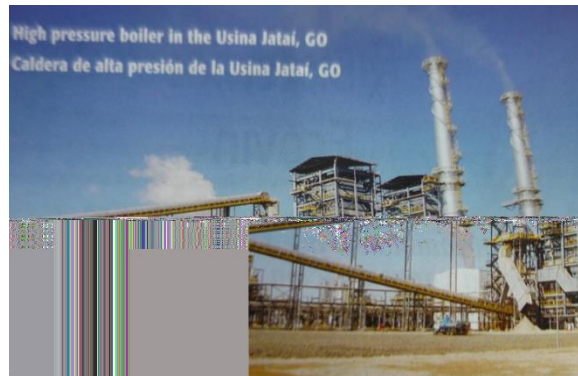


Figura 3: Calderas de alta presión de la usina jataí, go.

La tecnología de HPBS-Simisa es garantía de confiabilidad

HPBS-Simisa Sistemas de Energía Ltda. es un nuevo emprendimiento creado para suministrar calderas y termoelectricas que están constituidos por la participación accionaria de las empresas HPB Engenharia e Equipamentos Ltda., proveedora de equipamientos y tecnología para calderas, y Simisa- Simioni Metalúrgica Ltda., proveedora de sistemas de extracción de jugo y de equipamiento para la generación de alcohol y azúcar, ambas de Sertãozinho, SP. Cada una de ellas posee 50% de capital social y este año están invirtiendo R\$ 29 millones en las instalaciones de su nuevo parque fabril, que se está construyendo en un área de 130 mil metros cuadrados, también en el municipio de Sertãozinho. Tanto HPB como Simisa, considerándolas de forma aislada, siguen manteniendo sus operaciones de forma independiente.



Figura 4: Pre- evaporador multi- reb

HPB-Simisa fue concebida con la finalidad de suministrar equipamientos que tengan como característica principal una gran confiabilidad, diferencial que se logrará combinando un buen proyecto de ingeniería con un excelente proceso de fabricación, el cual se basará en usar máquinas operativas de última generación y en darle prioridad al mejoramiento productivo y sobre todo de calidad.



Figura 5: Evaporadores.

HPB-Simisa cuenta en exclusiva con la tecnología de su asociada HPB, que también tiene la licencia exclusiva para Latinoamérica de una de las más reconocidas empresas de tecnología de Calderas del mundo - Babcock&Wilcox, de EEUU.-, y tiene un equipo especializado de ingeniería con al menos de 80 profesionales, entre los que hay ingenieros y técnicos, que desarrolla y ejecuta los proyectos de ingeniería de las calderas adoptando los rígidos criterios del código ASME. (Fattobene, 2010)

2.1.1 A nivel Nacional

Las empresas del sector agroindustrial, dedicadas a la producción de la azúcar peruana. Provee invertir \$700 millones de dólares en un plazo medio, para la corrección y modificación de sus equipos principales encargados de la producción de la azúcar, además de implementar maquinarias capaces de producir etanol a partir de los residuos de las mismas, así como lo dijo el director ejecutivo del (APLA) Flavio Castelar.

Al término de la tercera reunión de las industrias, llevada a cabo en la ciudad de Chiclayo, reuniendo a más de 27 empresas productoras de equipos del mundo en el rubro azucarero, el director hizo un análisis de las mejoras agroindustriales peruanas para la instalación de nueva tecnología y sofisticados equipos para el proceso productivo.

La industria del Grupo Gloria, que contiene el mayor porcentaje de producción azucarera del Perú, que se organiza en las diferentes empresas como: San Jacinto, Cartavio y Casa Grande además de sus empresas extranjeras del Ecuador y Argentina, proyecta invertir US\$ 330 millones entre los años 2012 y 2015 para sembrar 9 mil Has de caña de azúcar de un total de 15 mil Has compradas a través del proyecto Olmos.

Un porcentaje menor de inversión las reparte en las empresas del sector como modernización de instalaciones y renovación de equipos.

El Grupo empresarial Oviedo tiene en mente la cogeneración de energía con la biomasa a través del bagazo, además de aumentar la capacidad de moler las toneladas de caña de azúcar, donde se utilizarán mayor cantidad de cultivos de hasta 3,000 nuevas Has.

El gerente general de Pomalca tiene en mente invertir cerca de US\$ 90 millones para calderos de alta presión y turbinas de energía, así como de ampliamiento de instalaciones.

2.1.2 A nivel Local

En Lambayeque, el sector de la industria azucarera no es uno de los más desarrollados en cuanto a tecnológica, esto es debido a que estas fábricas tienen más de 50 años en funcionamiento, pero si se han realizado algunas modificaciones con fines de mejorar la eficiencia de la fábrica en general, a continuación, se presentan algunos artículos emitidos por las mismas empresas:

2.1.2.1 Pomalca

Mejoras continuas Modernizamos campo y fábrica

En los primeros días del presente mes, Antonio Becerril gerente general de la empresa Pomalca, y Edwin Oviedo apoderado del Grupo Oviedo, y director de nuestra azucarera, conjuntamente con los demás consejeros, evaluaron los resultados productivos alcanzados en el 2012, así como los planes de la empresa para este 2013.

Mejoras ejecutadas en fábrica en 2012

Por la antigüedad de nuestra fábrica, se requiere de una maestranza eficiente y una reparación oportuna, que permite el funcionamiento adecuado del ingenio azucarero.

ÁREA DE PRODUCCIÓN

Se construyó e implemento un nuevo sistema de envasado que ya se encuentra con un avance de 80%, a un costo de 211 mil dólares.

Asimismo, se logró el montaje de las zarandas vibratorias por 80 mil 240 dólares, y los transportadores (de acero inoxidable) de azúcar valorizados en 54 mil 280 dólares.

Para esta área de producción, igualmente, se ejecutó el montaje de las centrifugas continuas por 529 mil 602 dólares, y la adquisición de la nueva centrifuga Bath a 695 mil 686 dólares.

ENERGÍA Y CALDEROS

Se reparó los turbogeneradores de 2.2 megawatts a un valor de 250 mil dólares. El montaje del turbogenerador N°04, de 7.5 megawatts por un monto de 759 mil 044 dólares, ya se invirtió 581 mil 044 dólares.

También se adquirieron tableros de control, excitación y protección del turbogenerador N°04 por 132 mil 836 dólares, así como un tablero de fuerza del turbogenerador N°04 Schneider por 77 mil 744 dólares.

De igual modo, se instaló el nuevo transformador de 4 MVA por un costo de 89 mil 444 dólares, y las celdas de salida y entrada valorizadas en 56 mil dólares, con una caseta de la sub estación Pomalca de 7 mil dólares. (Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., 2013).

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Pre- evaporadores

Estos elementos son considerados también evaporadores que se encuentran dedicados exclusivamente a generar succión de vapor vegetal.

Este equipo es alimentado con vapor saturado de 25-30 psi provenientes de la salida de las turbinas de generación.

El jugo que sale de los pre evaporadores alimenta a los primeros efectos de la batería de evaporización.

a. Evaporadores

Estos equipos trabajan a vapor latente a una temperatura superior a la de vaporización del agua o solución acuosa para concentrar.

Principio de Funcionamiento

El concepto de funcionamiento de los pre- evaporadores y evaporadores es la vaporización por intercambio de calor. Como mencionamos anteriormente la evaporización es el proceso donde se concentra una parte de solución consumiendo solo el solvente por el proceso de ebullición.

En el evaporador, el proceso de transmisión de calor por evaporación, obviamente, una combinación de convección en el líquido y la convección adicional generada por el aumento de burbujas de vapor está en diferencias de temperatura muy baja entre la pared del tubo y el líquido que cocinó la formación de burbujas. y la tasa de transferencia es esencialmente convección gratuita.

b. Mecanismos de vaporización

Estos mecanismos por el tubo fluyen vapor de agua y aquel se encuentra revestido por agua en un recipiente a través de presión, las transforma a burbujas de vapor, de forma incógnita en la superficie del líquido que pasa por el tubo. A través de la superficie de la tubería emana calor y conecta mediante convección al líquido restante. El calor generado se distribuye por la burbuja, provocando desde la superficie al interior de la burbuja evaporación.

Cuando el vapor de agua pasa a través de una tubería y se sumerge en un recipiente a presión con un líquido, las burbujas de vapor pequeñas se forman en una vía aleatoria completa en la superficie del buceo del tubo por el líquido. El calor que cruza la superficie del tubo se forma en las burbujas se produce en la convección en el líquido circundante. Un cierto calor del líquido luego fluye hacia la burbuja y causa la evaporación de su superficie hacia la burbuja

Ventajas y Desventajas

Las ventajas de los pre- evaporadores son:

- Se pueden instalar cerca a los usuarios de la extracción de vapor, ahorrando costos de instalación de tuberías.

- Las variaciones en la carga de los tachos, que fluctúan ampliamente durante los ciclos de cocimiento en tachos discontinuos, no afectan las temperaturas de ebullición ni las presiones en los cuerpos evaporadores.
- La presión del vapor calefactor para tachos se puede controlar automáticamente mediante el control de la presión en la calandria del pre evaporador, aunque esto es algo que generalmente no se encuentra en la práctica.
- Brindan mayor flexibilidad para controlar la tasa global de evaporación, dado que la presión del suministro de escape al primer efecto puede ser controlada sin afectar la presión de las extracciones de vapor.

Existen algunas desventajas:

- A no ser que la presión del vapor de escape sea controlada para lograr una presión de vapor uniforme, las variaciones en la presión del vapor para los tachos pueden ser mayores con un pre evaporador, dado que no existe una carga intrínseca de vapor en el siguiente efecto.
- Es necesario bombear el jugo desde el pre evaporador hasta el primer efecto.
- Debido a la carga fluctuante en los pre evaporadores (dependiendo de la demanda en los tachos), el brix del jugo presenta mayores variaciones, haciendo el control global del tren de evaporadores más difícil.
- El pre evaporador, o celdas de vapor, conducen a tener mayores fluctuaciones, con lo cual existe mayor riesgo de que se presenten problemas de arrastre.
- Si la demanda en los tachos es baja, la superficie de intercambio de calor resulta sub-utilizada.

Un tren de evaporación provisto con un pre evaporador puede lograr esencialmente la misma economía de vapor que un tren de evaporación sin pre evaporador, siempre que el tren sin pre evaporador cuente con un área de intercambio en el primer efecto, y que la carga del pre evaporador sea absorbida por el primer efecto.

1.3.2. Tipos de evaporadores

Tenemos los siguientes:

a. Evaporadores Robert

Estos dispositivos del sistema operativo de calandria con tubos verticales se introdujeron por primera vez en 1850 por Robert, el director de una fábrica de azúcar en Seelowitz (República Checa), el diseño fue ampliamente utilizado y hoy en día los evaporadores más utilizados. Por lo general, tendemos a usar tubos más largos para tratar de aumentar la zona de cambio con cuerpos de determinado diámetro. La mayoría de los calandrias tienen un tubo bajante, generalmente en el medio del evaporador para mejorar la circulación y la transferencia de calor, y proporciona una posición favorable para la salida del líquido concentrado. Se debe tener cuidado de distribuir uniformemente el cuidado de los cuerpos bajo el calandria.

La evaporación inmediata de "flash" del fluido de entrada promueve la circulación y la transferencia de calor y se pueden usar para el proceso. En la imagen se muestra un diagrama de vaso típico.

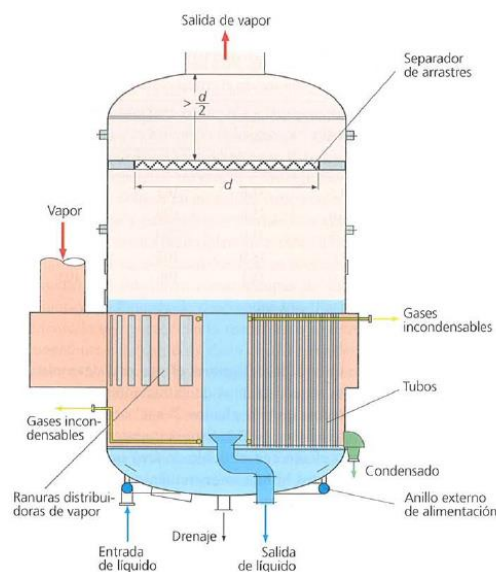


Figura 6: Evaporador Robert con cinturón de vapor y descarga central de líquido.

b. Kestner o evaporador de tubos largos con películas vertical ascendentes (TLPVA)

En forma particular, proporcionar Cuando se necesitan evaporadores de alto rendimiento, el evaporador de Kestner puede proporcionar instalaciones de evaporación compactas y menos costosas mediante el uso de tubos más largos entre 6 y 7,5 m. por ejemplo, un Kestner de 2000 m² tiene un diámetro de 3m, en comparación con 5.2 m para un evaporador Robert equivalente. Sin embargo, el Kestner requiere una conexión a un cuerpo de separador de transmisión adicional, pero es un pequeño diámetro. Kestner es normalmente como un primer o segundo efecto cuando se necesita una gran antena térmica para realizar grandes extracciones de vapor.

Los Kestner comparten con los evaporadores Robert las propiedades de simplicidad y de baja demanda de control por parte de operadores.

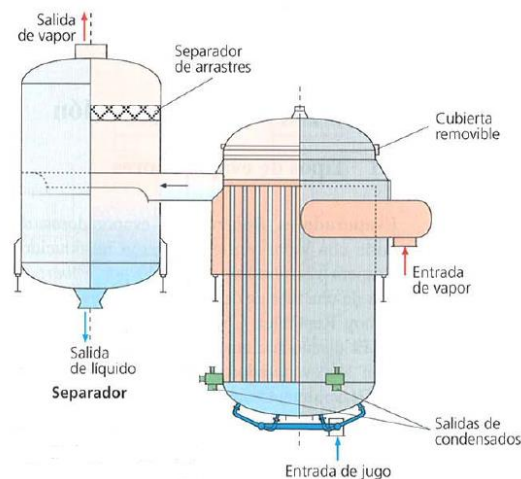


Figura 7: Evaporador Kestner y separador.

Se ha argumentado en ocasiones que la alimentación de los evaporadores Kestner necesita estar sobrecalentada para que la ebullición pueda ocurrir. Esto no es precisamente correcto; tanto los evaporadores Robert como Kestner se benefician de tener una alimentación de jugo sobrecalentado, pero esto no es un prerrequisito.

c. Evaporadores tubulares de película vertical descendente (TLPVD)

Estos evaporadores ofrecen algunas de las ventajas del evaporador Kestner, específicamente el uso de tubos largos y cuerpos más compactos. Sin embargo, estos demandan una distribución apropiada y uniforme del jugo en los tubos, y por

lo tanto tienen la complicación de requerir recirculación del jugo y un sistema de distribución que alimente igual cantidad de jugo a cada tubo. Adicionalmente se debe contar con un sistema de alimentación de agua de emergencia, en caso de que falle el suministro de jugo; la ausencia de alimentación adecuada, incluso durante un breve periodo, puede resultar en incrustaciones severa de los tubos. El sistema de bombeo y los controles de nivel constituyen complicaciones adicionales. Algunos arreglos típicos se muestran en la siguiente figura.

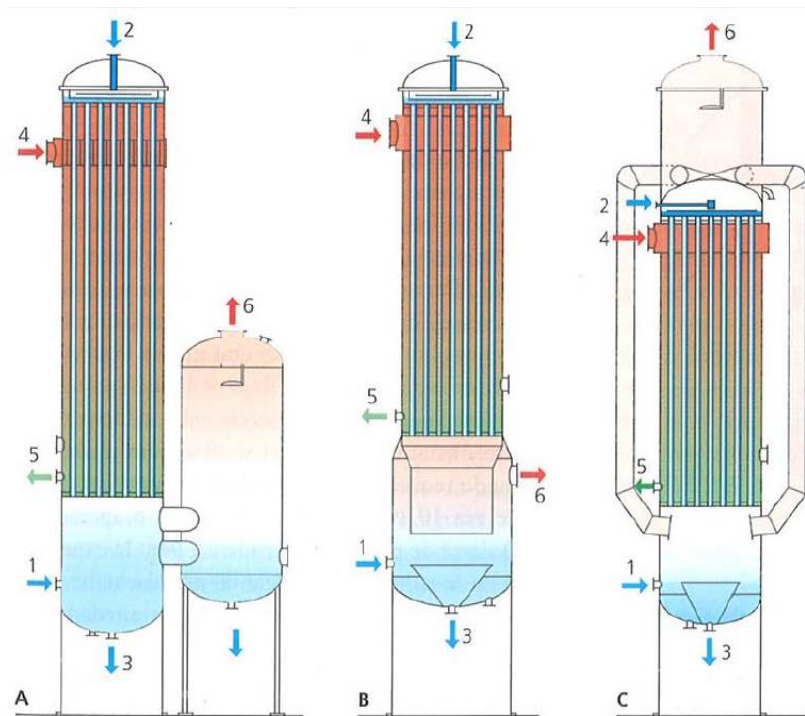


Figura 8: Arreglos típicos de evaporadores tubulares de película descendente. 1 entrada de jugo; 2 jugo al distribuidor; 3 salida del jugo; 4 entrada del jugo al calefactor; 5 salida de condensado; 6 salida de vapor, separador de arrastre. a en un cuerpo a.

d. Evaporadores de placas de películas ascendentes

Los dispositivos tienen una estructura similar al de los calentadores de placas, con una serie de placas en un marco. Los diseños más recientes consisten en dos placas adyacentes que están soldadas, los espacios del canal de vapor, mientras que los casos del jugo se forman entre las placas de vapor adyacentes separadas por un paquete. El jugo se duplica por la parte inferior y la cocción comienza en la serie de placas mientras aumenta. La mezcla líquido-vapor que sale del paquete de placas

a un cuerpo en el cual el líquido es separado del vapor y donde se cuenta con algún tipo de separador de arrastre.

Estos evaporadores se utilizan a menudo para agregar superficies de calefacción para los efectos de evaporadores existentes, pero en algunos casos se utilizan como el único evaporador de efectos (de Beer y Moulton 198).

Se debe tener precaución durante el diseño para asegurar proporciones de flujo del líquido adecuado a través de la unidad. El diseño de las placas y el sistema de distribución del jugo son importantes para lograr un flujo uniforme en el evaporador. De Beer y Moulton (1998) y otros han informado sobre serias incrustaciones de las placas cuando no se opera con suficiente circulación o cuando la distribución del jugo entre las placas no es uniforme.

Estos evaporadores ofrecen altas tasas de transferencia de calor, baja retención del jugo y permiten instalaciones bastante compactas. Otra versión de este tipo de evaporadores que incorpora paquetes de placas dentro de un cuerpo evaporador no ha logrado ser de mucha utilidad.

e. Evaporadores de placas de película descendente

Actualmente es el diseño más moderno que consiste en un conjunto de placas de acero inoxidable corrugado sin tener que usar las empaquetaduras. Están diseñados para acercarse a los pasajes para el paso del jugo a una serie de tubos verticales, generalmente un diámetro de 9 mm a través de los cuales fluye hacia abajo.

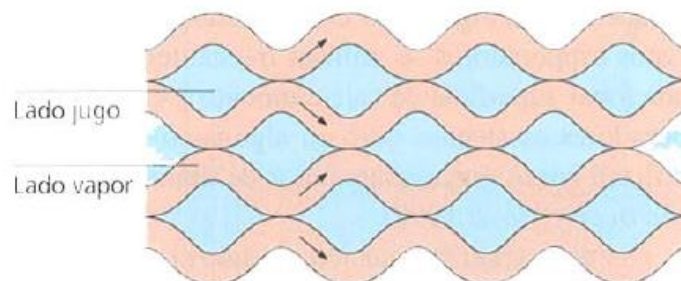


Figura 9: Patrones de flujo en evaporadores de placas de película descendente (flujo de jugo perpendicular)

Como en el caso del sistema de partículas ascendente, el vapor de escape se acciona entre las placas alternas y nuevamente, se obtiene un sistema de calefacción compacto. Este diseño requiere un sistema de repartición de jugo y con un flujo mínimo a través de cada "tubo", pero los requisitos no son fundamentales como los evaporadores tubulares de partícula descendente. En caso de una alimentación desigual localizada o taponamiento entre placas, el jugo puede en teoría fluir desde un "tubo" a otro, a través de pasajes inter conectadores horizontales. Las primeras instalaciones mostraron que en la práctica es crítico lograr una buena distribución del líquido en el paquete de placas. Los paquetes de placas son relativamente cortos, de alrededor de 300 mm de longitud.

Luego de lo cual se efectúan una redistribución del jugo. Aquí mostramos las características esenciales.

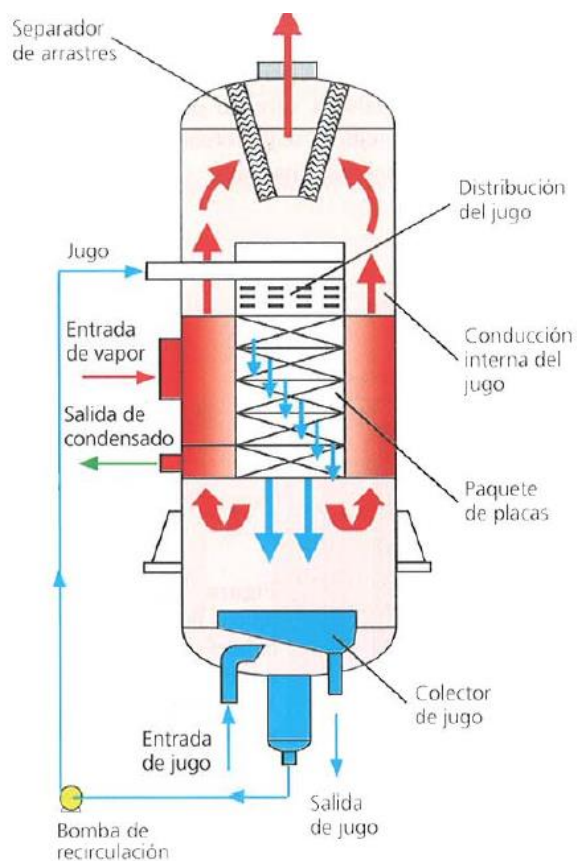


Figura 10: Esquema de un evaporador de placas de película descendente.

2.1.2.2 Comparación de los diferentes tipos de evaporadores

a. Flujo Líquido:

Los evaporadores tubulares de película descendente exigen monitoriar con un mínimo flujo de líquido a través de cada tubo, y requieren de un sistema de bombeo para recirculación de líquido. Para esto se requiere mantener un nivel de jugo en el foso al fondo del evaporador y un sistema de control que permita asegurar que se logre enviar al distribuidor de jugo el flujo de líquido requerido.

Los evaporadores de placas de películas descendentes requieren de un sistema similar, pero el flujo de líquido requerido es menor. Inicialmente se afirmó que era 10 veces menor que en los evaporadores tubulares de película descendente, pero la experiencia en la industria de azúcar de remolacha ha mostrado que en la práctica se requieren alrededor de 5 L/(cm.h), en comparación con 8-12 L/(cm.h) para los evaporadores tubulares de película descendente.

Para los evaporadores tubulares de película descendente en la industria del azúcar de caña se ha recomendado un flujo mucho mayor de 23 L/(cm.h) una buena distribución del jugo es clave para el buen desempeño de estos evaporadores.

Los evaporadores Kestner operan satisfactoriamente cuando el flujo de jugo por tubo (tubos de 51 mm) se mantiene por encima de 80 kg/h. Esto fue confirmado en una planta piloto de evaporación por Walthew y Whitelaw (1996), quienes mostraron que la tasa de incrustación también se reduce con este flujo pueden dar lugar a un “secado” parcial de la superficie de calentamiento.

Esto se puede comparar con un flujo requerido de aproximadamente 250 a 300 kg/h en tubos de 51 mm para los evaporadores de película descendente. En algunos casos se instalan una línea de recirculación en los Kestner para lograr alcanzar estas tasas de flujo, sin embargo, con los evaporadores Robert y Kestner no existen necesidad de utilizar ningún sistema de control para mantener "mojado" los tubos.

b. Tiempo de resistencia del líquido:

Una desventaja de los evaporadores Robert convencionalmente, es el prolongado tiempo de retención del jugo y las consecuentes pérdidas por inversión, particularmente a las elevadas temperaturas encontradas en los pocos primeros efectos. Los otros tipos de evaporadores, incluyendo a los Kestner, tienen tiempo de residencia muchos menores. En el caso de los evaporadores de película ascendente el tiempo de residencia está determinado en gran parte por la retención del líquido en el foso y por el sistema de bombeo circundante. La generación de color se reduce como resultado de un menor tiempo de residencia.

c. Efectos de los sólidos suspendidos:

Los evaporadores de placas son susceptibles a bloqueos producidos por partículas sólidas o fibras de bagazo, debido a que presentan pequeñas holguras. En consecuencia, generalmente se hace necesario contar con mallas coladoras en línea para remover estas partículas. Los distribuidores de jugo en evaporadores de película. Los distribuidores de jugo en evaporadores de película ascendente son también susceptibles al bloqueo con partículas sólidas, pero en la actualidad estos se diseñan cuidadosamente para distribuir el líquido en más de una etapa y estos problemas se han superado ampliamente. Debido a la tendencia a la formación de incrustaciones en las fábricas de azúcar de caña, en algunos diseños es posible remover todo el sistema de distribución y dar así acceso a los tubos, permitiendo la limpieza mecánica en caso de ser requerida.

d. Tamaño de densidad de la superficie de intercambio:

La tendencia a construir fábricas más grandes requiere tener la capacidad de instalar evaporadores de gran capacidad. Las unidades de placas de películas ascendentes están restringidas en general a áreas por debajo de 2000 m². Los evaporadores Robert generalmente 3000 m² cada uno, luego de lo cual el diámetro se torna demasiado grande. Sin embargo, Quinan al (1985) reportan la construcción de un evaporador de 5100 m², con un cuerpo de 6.9 m de diámetro. Unidades de película descendente y tipo Kestner de 6000 m² y aun más grandes han sido instaladas, exhibiendo diámetros considerablemente menores.

En términos de densidad de superficie de calentamiento, los evaporadores de placas de películas descendentes presentan el valor más elevado con 240 m^2 de superficie de calentamiento por m^3 de volumen. Los evaporadores de película ascendente tienen una densidad de $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$, y los evaporadores tubulares un valor de 40 a $50 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

e. Efecto de la altura hidrostática:

El líquido debe ser calentado hasta por encima del punto de ebullición cuando se encuentra sumergida bajo una cabeza de líquido. Esto tiene un efecto más significativo cuando la presión absoluta es baja, caso en el cual se reduce considerablemente las proporciones de temperaturas para la transferencia de calor. Una ventaja importante de los evaporadores de película ascendente es la ausencia de efectos hidrostáticos sobre la evaporación. Este fenómeno se hace más significativo a medida que se incrementa el número de efectos y que el RDS es mayor, y es particularmente importante cuando se requieren lograr elevadas eficiencias térmicas.

f. Opciones de limpieza:

Los evaporadores Robert y Kestner se pueden limpiar mecánicamente o químicamente. Todo los demás evaporadores requieren limpieza química. Con el mejoramiento del “mojado” en los evaporadores de placas y en las unidades de película descendente, la tendencia a que se presenten incrustaciones debería reducirse, pero no existe evidencia que permita soportar esta teoría.

La limpieza de los evaporadores de placas se puede efectuar fácilmente en el lugar de trabajo.

g. Costos

Los evaporadores de placas son generadores más compactos y deberían resultar en menores costos de instalación. Sin embargo, los evaporadores Robert y Kestner generalmente ofrecen una instalación más sencilla, con tuberías más simples, sin bombas y mínimos requerimientos de control.

En 2005 los nuevos tipos de evaporadores no parecían ofrecer menores costos de instalación.

En el caso de grandes evaporadores por encima de aproximadamente 2000 m², los evaporadores de tubos largos son significativamente más económicos que los evaporadores Robert.

h. Opciones de expansión:

Los evaporadores de placas de película ascendente son flexibles en el sentido de que normalmente es posible añadir placas adicionales al paquete sobre el marco existente y lograr así incrementar la capacidad. También han encontrado aplicaciones como área adicional para efectos evaporadores existentes que representan cuellos de botella.

Una opción de expansión interesante consiste en la remoción de la calandria tubular de un evaporador Robert y la instalación de un paquete de placas de película descendente dentro del cuerpo existente. La mayor densidad de área de calentamiento y los mayores coeficientes de transferencia de calor que es posible obtener permiten alcanzar un aumento de capacidad efectiva hasta 100 % con el mismo cuerpo. Los costos de tuberías y válvulas asociados con la expansión son así evitados.

En otros casos para las expansiones de fábrica es frecuente instalar un evaporador de tubos largos como primer efecto, mientras que los evaporadores Robert existentes se redistribuyen entre los efectos restantes, operando en paralelo en algunos casos.

Esto ofrece en particular la ventaja de reducir el tiempo de residencia en el primer efecto, donde se alcanzan las mayores temperaturas.

i. Coeficiente de transferencia de calor:

En términos generales los evaporadores de placas son los más eficientes, brindando los mejores coeficientes de transferencia de calor. Sin embargo, es necesario tomar algunas precauciones al momento de efectuar comparaciones.

En primer lugar, algunos coeficientes de transferencia de calor se dan a conocer sin incluir el efecto de la cabeza hidrostática sobre evaporadores de película ascendente.

En segundo lugar, existe una gran diferencia entre el desempeño de los evaporadores limpios e incrustados.

En tercer lugar, es frecuente encontrar referencias cifras de la industria de azúcar de remolacha, las cuales no son comparables con los evaporadores de las fábricas de azúcar de caña, debido que las características de las incrustaciones son muy diferentes (en particular bajos niveles de sílice), además de que los evaporadores remolacheros operan a temperaturas mucho más elevadas y por lo tanto con menores viscosidades.

Son escasos los datos a conocer por usuario de evaporadores en fábricas de azúcar de caña que pueden ser comparados; las cifras presentadas corresponden a evaporadores incrustados, obtenidas una semana después de la limpieza, pues el diseño de evaporadores debe efectuarse asumiendo cierto grado de incrustación.

Los resultados con tubos limpios pueden ser significativamente mayores; sugiere que los tubos limpios se obtienen coeficientes mayores en 20% en los primeros efectos, y mayores en 30% para el último efecto. En la práctica los coeficientes obtenidos con tubos limpios pueden alcanzar casi el doble de los valores logrados cuando los tubos se encuentren incrustados. Existen precedentes que sugieren que el evaporador de placas de película descendente brinda un mejor desempeño que los demás tipos.

Una ventaja potencial de los evaporadores de película descendente es el uso de múltiples pasos en lugar de recirculación para lograr las tasas de mojado requeridas. Esto ofrece beneficios en términos de una menor elevación del punto de ebullición y por lo tanto mayor, con lo cual se reduce además la viscosidad, resultando en mayores coeficientes de transferencia de calor en los primeros pasos.

Tabla 1: Valores promedios del coeficiente de transferencia de calor en $\text{kw}/(\text{m}^2.\text{k})$ para distintos tipos de evaporadores.

Tipo de evaporador	1 ^a efecto	2 ^o efecto	3 ^{er} efecto	Ultimo efecto
Robert		2.8	2.6	0.9
Robert (diseño)	2.5	2.2	1.7	0.7
Robert	2.8			
Robert		3.0		
Robert	2.8	1.8	1.4	0.9
Kestner	2.9	2.1		
Tubular PD	1.2			
Placas PA, planta piloto.				1.1/1.6
Placas PA		3.0		
Placas PA		2.5	1.5	
Placas PD, planta piloto	5.5	5.2		2.6
Placas PD, planta piloto		1.8/2.4		
Placas PD	30			
Placas PD	2.6			

Fuente: Propia.

2.1.2.3 Operación de Evaporadores

El mejor desempeño de un tren de evaporización se obtiene cuando es operado en la forma más estable posible. Esto generalmente se logra a través de uso de controles automáticos. El vapor de escape debe suministrar a una presión estable, lo cual debe ser un prerrequisito en los sistemas de control de suministro de vapor en toda fábrica de azúcar. Sin embargo, la operación de los tachos discontinuos

calentados con extracción de vapor tomada de los evaporadores constituye siempre una perturbación, lo cual se debe tomar en consideración para la operación de los evaporadores.

Existe bastante evidencia en la literatura que demuestra la existencia de un nivel óptimo de líquido en los tubos, el cual generalmente se asume que está a un nivel entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de la altura de los tubos medida desde el fondo de la calandria.

Niveles excesivamente bajos de líquidos llevan a insuficiente líquido disponible para evaporación dentro del tubo y a una incompleta utilización de la superficie de calentamiento; por otro lado, se cree que niveles excesivamente elevados reducen la evaporación debido al efecto hidrostático. Se ha establecido que este efecto es independiente del Brix.

En la práctica esta dependencia del nivel del líquido no es siempre tan evidente como se ha señalado algunas veces en la literatura. No obstante, el nivel en cada cuerpo (asumiendo evaporadores Robert) debe ser controlado para lograr un valor estable.

En teoría el nivel se debe mantener tan bajo como sea posible, en consistencia con una operación eficiente que minimice tanto la retención del jugo como el efecto de la cabeza hidrostática sobre la temperatura de ebullición del líquido. Esto es particularmente importante en el último efecto que opera a la menor presión absoluta. Se espera que el nivel óptimo en el primer efecto se encuentre alrededor del 33% de la longitud del tubo desde el fondo, sin embargo, algunas sugerencias de la literatura indican que este nivel debe caer a lo largo del tren de evaporadores hasta alrededor de 20% en el último cuerpo. Tal como ha sido dado a conocer por Guo et al (1983), la rápida caída en desempeño cuando el nivel baja por debajo del óptimo sugiere que es mejor errar en el lado de niveles de líquido ligeramente elevados.

2.1.2.4 Fallos Frecuentes en Evaporadores

El mal desempeño de los evaporadores puede deberse a fallas fundamentales en el diseño, o debido a que los cuerpos se utilizan en tareas diferentes a aquellas para

las cuales fueron originalmente diseñados, o también por algún deterioro del cuerpo. Algunos de los factores a tener en cuenta son:

- ✓ Condensados no evacuados adecuadamente de la calandria lo cual puede deberse a trampas de vapor bloqueadas o a tuberías sub dimensionadas.
- ✓ Los gases incondensables no se desfogan (ventean) adecuadamente desde toda el área de la calandria, o algunas de las descargas se encuentran bloqueadas o resultan ser inadecuadamente pequeñas.
- ✓ Fugas en la calandria, sea a la entrada de aire a la calandria, o el escape de condensado o vapor al espacio del jugo hirviente.
- ✓ Caída de presión excesiva entre el espacio de vapor de un cuerpo y la calandria del siguiente cuerpo. Esto puede ser causado por taponamientos del separador de arrastres, tuberías de vapor sub diseñadas o por la presencia de algún elemento en la línea que cause obstrucción del flujo.
- ✓ Deficiencias en la ubicación en las entradas y salidas de jugo que causen evaporación desigual e incrustaciones localizadas.
- ✓ El cuerpo sufre incrustaciones más severas de lo esperado debido a condiciones de proceso.
- ✓ El cuerpo no se ha limpiado adecuadamente y se encuentra parcialmente incrustado.
- ✓ Cortocircuito de líquido desde las entradas a las salidas de jugo debido a un diseño inadecuado.
- ✓ Mezclado del jugo con el vapor de entrada, debido al deterioro del tubo de la calandria por corrosión o tiempo de uso.

a. Incrustaciones

Con el transcurrir del tiempo de operación se presenta un fenómeno de incrustación sobre la superficie interna de los tubos, esto es debido a que los materiales inorgánicos que componen el jugo se saturan y precipitan. Una concentración elevada de precipitados se presenta en el fondo del tubo donde ocurre la evaporación, como consecuencia de las diferentes velocidades del líquido.

Las incrustaciones incrementan la resistencia a la transferencia de calor desde el vapor calefactor que se condensa hasta el jugo en ebullición. En consecuencia, la

tasa de transferencia de calor es mucho mayor cuando los tubos están limpios que cuando se encuentran incrustados. La velocidad de incrustación corresponde a la tasa neta de deposición y remoción, que es influenciada por múltiples factores, incluyendo la composición del jugo, la concentración de sacarosa, la temperatura y la velocidad del líquido a través de los tubos.

Los patrones de incrustaciones dentro de un cuerpo pueden ser en ocasiones mejorados mediante modificaciones de la geometría de la alimentación. Adicionalmente se ha demostrado en la práctica que las incrustaciones son más severas en sistemas de evaporadores sobredimensionados que en aquellos que operan continuamente a su capacidad nominal.

2.1.2.5 Mantenimiento de Evaporadores

El mantenimiento en los equipos de evaporización mayormente se da en la zona de vaporación, es decir en los tubos de la calandria, a continuación, detallaremos algunos de los métodos de limpieza usados para solucionar el problema de incrustaciones.



Figura 11: Técnico cambiando un tubo de la calandria dañada.

a. Limpieza con agentes anti incrustantes

Los suplementos de aditivos químicos en el jugo modifica las propiedades de la cristalización o precipitación para evitar la formación de incrustaciones en los

tubos. Ninguno de estos agentes químicos todavía ha logrado en la industria del azúcar. Se ha informado que algunos conducen a incrustaciones más generosas que son más fáciles de eliminar o extender el tiempo entre las conexiones de limpieza de tubos. Sin embargo, no se encontró nada que puede evitar la formación de desechos de sílice, lo que representa el componente insertado más difícil.

Los aditivos químicos modernos que han sido propuestos son generalmente de dos tipos, compuestos de ácido poli acrílico y polimaleica.

b. Limpieza química

La soda caustica es el agente químico utilizado más comúnmente para la limpieza, o también una mezcla de soda cáustica y carbonato de sodio purificado.

El consumo de solución caustica se encuentra en el rango de 10 a 30 kg/100 m² de superficie de calentamiento. Con frecuencia la limpieza con solución caustica necesita ser proseguida por una limpieza ácida. El sistema debe ser purgado tan escrupulosamente como sea posible, o de lo contrario una gran proporción del ácido será consumida en la neutralización de la materia alcalina residual.

Para el caso que se use tubos de acero inoxidable se debe hacer uso de ácido sulfámico, o también ácido fórmico, glicólico o fosfórico. La alúmina férrica, utilizada en Australia, es una solución acida amortiguada que consiste de una mezcla de sulfatos férrico y de aluminio.

En el caso de uso de tubos de cobre se usa ácido clorhídrico, usualmente con concentraciones entre 1 y 3 g/100g solución. En los casos más severos de incrustaciones se adiciona bifluoruro amoniacal para lograr obtener un agente químico de limpieza particularmente agresivo. Sin embargo, el daño a las paredes del cuerpo y placas de tubos resulta excesivo.

En todos los casos, la remoción de incrustaciones es favorecida por altas temperaturas, elevada concentración del agente químico de limpieza y la agitación del líquido en contacto con las incrustaciones.

Se ha encontrado que el Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA), conocido en algunas ocasiones como *verseno*, es un agente de limpieza efectivo, pero de mayor costo que los demás limpiadores químicos.

Es importante saber la capacidad para drenar los trozos de incrustaciones deprendidos luego del baño químico, pues de otra manera pueden causar bloqueos de tubos y orificios durante los arranques.

c. Limpieza Mecánica

En muchas regiones productoras de azúcar la limpieza mecánica de los tubos es aún más económica que la limpieza química, particularmente en países donde los costos laborales son bajos.

La desventaja de este sistema es la reducción de la vida útil de los tubos debido a progresivos daños mecánicos, pero por el contrario se evita la corrosión al interior del evaporador que ocurre con la limpieza química.

La limpieza mecánica no se puede utilizar con evaporadores de placas o de película descendente.

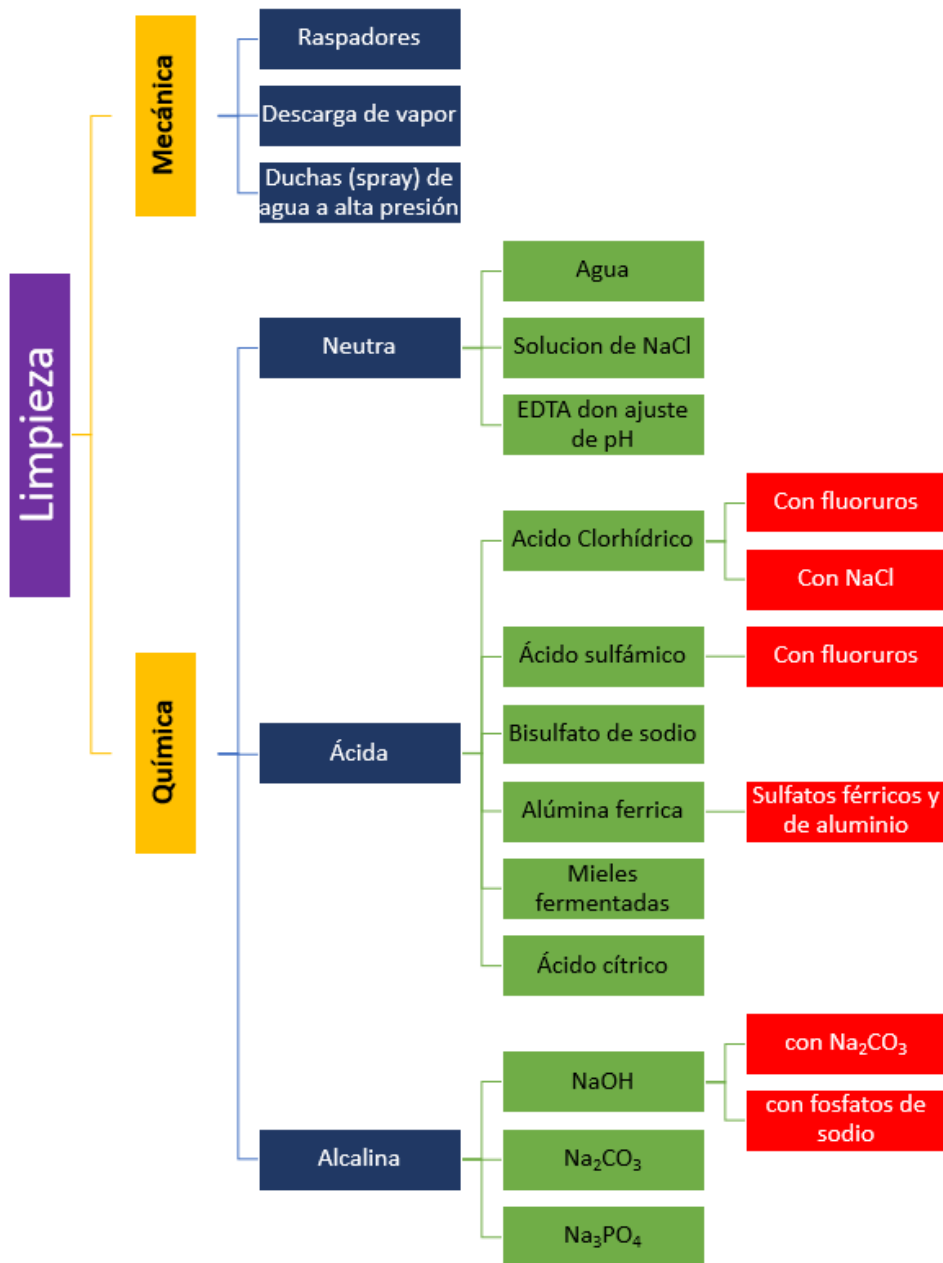
Antes de poder iniciar el trabajo de limpieza mecánica, debe usar el evaporador y permitir que se enfríe. Esto generalmente incluye llenar el cuerpo con agua. El nivel de agua generalmente se reduce a una altura de aproximadamente 0,5 m en la placa superior de la red antes de que comience a limpiar mientras se mantiene los fondos de inundación. La limpieza de un tren de evaporadores puede completarse aproximadamente en 8h luego de completarse el enfriamiento del cuerpo. Es esencial mantener la cabeza o fresas rotatorias y los cepillos en buen estado para lograr una limpieza eficiente. Se suelen utilizar elevadas frecuencias de rotación de 2800 a 4500 min^{-1} ; mayores velocidades conducen a una mejor limpieza, pero requieren de una operación más cuidadosa para evitar daños a los tubos.



Figura 12: Limpieza mecánica de tubos con rasquetes.

d. Limpieza de la superficie externa de los tubos de calandria

El ensuciamiento del área externa de los tubos generalmente no es motivo de preocupación. Pero en el caso de usar máquinas alternativas de vapor es posible encontrar agentes contaminantes en el vapor de escape. La limpieza debe ser con un ácido suave junto con un agente humectante es suficiente para remover cualquier incrustación.



Esquema 01: Limpieza de un Pre – evaporador.

2.1.3 Rediseño de un Pre-evaporador

Para poder lograr el rediseño de un pre-evaporador se tomarán en cuenta varias ramas de estudios, como son las propias fórmulas de la industria azucarera, bases teóricas de termodinámica y transferencias de calor que nos ayudaran a realizar el modelo térmico del pre-evaporador y en el balance masa dentro del equipo; también se usaran estándares establecidos por autores para el diseño de estos equipos y fórmulas ya establecidas que a continuación detallamos:

2.1.3.1 Fórmulas para cálculo de Capacidad del Pre

Para una molienda cual fuera que denominaremos M cuyas unidades sean TCD, es necesario transformarla a Tn/hr, mediante el uso de una ecuación que tiene en cuenta las horas útiles en fábrica.

→ Horas útiles= 24 hrs – Hras de parada promedio.

$$\mathbf{Molienda \left(\frac{Tn}{hr} \right) = \frac{M}{Horas \text{ útiles}}}$$

Luego para obtener la cantidad en Tn/hr de jugo clarificado se realizará lo siguiente:

→Cálculo del Jugo Mezclado (JM)

- Se necesitará el dato % de Jugo Mezclado (%JM) obtenido en laboratorio.

$$\mathbf{JM \left(\frac{Tn}{hr} \right) = \frac{Molienda \left(\frac{Tn}{hr} \right) \times \%JM}{100}}$$

→Cálculos del Jugo Encalado (JE)

- Primero se realiza un pequeño Balance con los datos de laboratorio. Consiste en:

$$\mathbf{\%JM + \%JF = \%JE}$$

Dónde: %JF es el porcentaje de Jugo Filtrado.

Entonces:

$$JE \left(\frac{Tn}{hr} \right) = \frac{Molienda \left(\frac{Tn}{hr} \right) \times \%JE}{100}$$

→Cálculo de la Cachaza

Se aplica la siguiente Formula:

$$Cachaza \left(\frac{Tn}{hr} \right) = \left(\frac{^{\circ}Bx JE - ^{\circ}Bx JC}{^{\circ}Bx JE} \right) \times JE \left(\frac{Tn}{hr} \right)$$

Dónde: °Bx JE= Brix de Jugo Encalado

°Bx JC= Brix de Jugo Claro

Nota: Los datos anteriores se consiguen de laboratorio.

→Finalmente: Cálculo del Jugo Claro (JC)

Se obtiene con la siguiente Fórmula:

$$JC \left(\frac{Tn}{hr} \right) = JE \left(\frac{Tn}{hr} \right) - Cachaza \left(\frac{Tn}{hr} \right)$$

2.1.3.2 Cantidad de agua a evaporar

El jugo que llega al pre-evaporador proviene de los clarificadores y toma el nombre de jugo claro. Este jugo de caña de azúcar al que se le ha quitado ya la mayor cantidad de impurezas falta eliminarle el agua para que pueda ser entregado a los almacenes de miel para que sigan con el proceso de cristalización. Es por ello que es importante saber cuánta es la cantidad de agua a evaporar, que se calcula de la siguiente manera:

Sea:

E = peso del agua por evaporar por T.C.

J = peso del jugo claro/T.C.

S = peso del jarabe/T.C. a la salida de los evaporadores.

$B_j = \text{°Brix del jugo claro.}$

$B_s = \text{°Brix del jarabe.}$

Escríbase que el peso de los materiales disueltos es el mismo antes y después de la evaporación:

$$J * B_j = S * B_s$$

De donde:

$$S = J \cdot \frac{B_j}{B_s}$$

Y:

$$E = J - S = J \left(1 - \frac{B_j}{B_s} \right)$$

Si: $J=1000 \text{ kg/T.C.}$; $B_j=13$; $B_s=65$, se tendrá:

$$E = 100 \left(1 - \frac{13}{65} \right) = 800 \text{ kg/TC.}$$

Se ve en seguida la importancia de la evaporación en la fábrica de azúcar; es la operación que elimina, con mucho, el mayor peso del material: 80% del peso de la caña:

Por la gran cantidad de calor latente de vaporación del agua es también la operación que maneja el número más grande de calorías.

2.1.3.3 Coeficiente de transferencia de calor y de evaporización

a. *Coeficiente de Evaporación*

El uso principal de los coeficientes de evaporación es proporcionar una idea aproximada de la capacidad requerida en un evaporador para obtener una tarea específica. La capacidad instalada de la zona de intercambio para la evaporación se puede utilizar como punto de partida. Algunos valores observados en el sector se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2: Valores del coeficiente de evaporación en kg/(m².h)

Evaporador	Cifras para diseño (Hugot)	Valores calculados con datos operacionales (Birkett)
Quíntuple	21	29
Cuádruple	27	39
Triple	38	54

Fuente: *Transferencia de calor en un evaporador, Researchgate 2019.*

Los valores del coeficiente de evaporación se ven afectado por el número de efectos, su valor es mayor el número de efectos reducidos debido a una diferencia de temperatura mayor y, en consecuencia, se reduce al aumentar el número de efectos. Los números están influenciados por la presión del vapor de gases de escape y el flujo de deposición de vapor, y por lo tanto son más sensibles que los coeficientes de transferencia de calor.

La ecuación más famosa, que debe tener en cuenta tales efectos, es la fórmula Dessin que se usa ampliamente, que se propagó con un cierto grado exitoso de éxito. La fórmula propone valores del coeficiente de evaporación; La ecuación original es reconocida en unidades inglesas lb/(ft².h.°F) como:

$$Evaporación = \frac{(100 - w_{DS,o}) \cdot (t_{St}(\text{°F}) - 130)}{18000}$$

El RDS del líquido se toma como el valor a las salida del evaporador, $w_{DS,o}$. En unidades métricas, kg/(h.m².K), esto conduce a:

$$Evaporación = 0.00089 \cdot (100 - w_{DS,o}) \cdot (t_{St} - 54)$$

b. Coeficiente de transferencia de Calor

La fórmula de transferencia de calor es parecida a aquella utilizada para altas temperaturas de jugo, sin embargo, aún más simples, la relación de temperaturas de calandria y del líquido a través de ebullición se aplican con condiciones de operación estacionaria, donde existe un mínimo porcentaje de temperatura ya es necesaria. La tasa de transferencia de calor está dada por:

$$\dot{Q} = k * A * (t_v - t_1) \dots \dots \dots (1)$$

Donde \dot{Q} es la carga térmica, o la cantidad de calor en kJ/s ò kW, k es el coeficiente total de transferencia de calor en kW / (m².k), t_v es la temperatura del vapor condensado, t_1 la temperatura de temperatura de la Líquido en el último cuerpo, ambos en °C. Y A es el área m² especificada según el diámetro externo de las tuberías y la separación entre las placas del calendario. Esta es la misma definición de la zona de transferencia de calor utilizada para el calentador de jugo. Esta definición del área difiere del uso en Europa, utilizando el diámetro interno de los tubos y la longitud total de los tubos. El uso incorrecto de la definición de zona calculada puede completar la desalineación de hasta un 20% cuando los tubos son diámetros cortos y pequeños.

Las convenciones australianas utilizan la zona exterior de las tuberías y la longitud entre las placas, pero también el área expuesta de las placas de la tubería (superficie total de la placa de tubo menos tuberías ocupadas por tubos ocupados por tubos y canales de corriente posterior). El error introducido cuando las placas están excluidas es <1.5% sin mayor importancia. En los países donde se realiza la limpieza mecánica de los tubos, estas superficies se instalan seriamente y desempeñan un papel mínimo en el intercambio de calor.

También es importante expresar la temperatura de un líquido de ebullición. El nivel del punto de ebullición debido al Brix del jugo Δt_b y debido a la cabeza hidrostática Δt_h debe ser tomada en consideración. Debido a esto:

$$t_i = t_{VS,i} + \Delta t_b + \Delta t_h \dots \dots \dots (2)$$

Donde $t_{VS,i}$ en última instancia, la temperatura de saturación del vapor es. Por lo general, este es el método aceptado para el cálculo de la diferencia de temperatura. En Australia, sin embargo, se omite una encuesta debido a la altura hidrostática y la diferencia de temperatura puede ser, lo que influye en los cálculos. En este caso:

$$t_i = t_{VS,i} + \Delta t_b \dots \dots \dots (3)$$

Esto se debe tener presente cuando se examinan coeficientes de transferencia de calor australianos. El efecto es generalmente ligero. Con excepción del último

cuerpo, caso en el cual los coeficientes de calor australianos pueden ser menores en aproximadamente 20%.

En los evaporadores de película descendente no existe cabeza hidrostática y es correcto utilizar la ecuación 3.

La diferencia de temperatura entre el vapor condensado en una cuadrícula y el espacio del vapor con el siguiente efecto se conoce como una diferencia de temperatura aparente. Rara vez se usa para los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor en las fábricas de caña de azúcar. Los coeficientes de transferencia de calor calculados se denominan coeficientes aparentes de transferencia de calor.

También es importante utilizar el procedimiento de cálculo de puntos de ebullición debido a los sólidos disueltos. Para el evaporador de azúcar de caña tipo Robert, este efecto se evalúa de acuerdo con el Brix en la salida. Se puede suponer que el líquido se mezcla de manera uniforme en el cuerpo. Sin embargo, para los evaporadores río abajo de la película, esto sería claramente falso y la recopilación del punto de ebullición debe evaluarse utilizando un valor RDS, que representa los valores promedio en la entrada y salida (el valor RDS en este. Suministro de medios de efectos anteriores y líquido convertido). Este efecto no es importante cuando los jugos tienen un RDS bajo. Sin embargo, puede ser muy importante cuando la concentración del líquido es mayor.

Al comparar los valores del coeficiente de transferencia de calor, es importante entender cómo se calcularon. En este texto para el evaporador de modelo Robert y ascendente, el coeficiente de transferencia de calor se calcula utilizando los siguientes supuestos:

- La temperatura de ebullición del líquido es mayor que la temperatura de saturación del vapor en una magnitud determinada por las elevaciones del punto de ebullición debido a sólidos disueltos y a cabeza hidrostática.
- La elevación del punto de ebullición debida al contenido de sólidos disueltos se calcula con base en el brix a la salida.

- El área de transferencia de calor se calcula utilizando el diámetro exterior de los tubos y la longitud del tubo comprendida entre las placas de la calandria.

Para los evaporadores de película descendente la elevación del punto de ebullición se debe calcular con el brix promedio y no se requiere considerar el efecto de la cabeza hidrostática. El área se calcula de igual manera tanto para evaporadores de película ascendente como descendente.

b.1. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

El cálculo del coeficiente de transferencia de calor, k , se resuelve del coeficiente de evaporización.

$$\text{Evaporación} = 0.00089 \cdot (100 - w_{DS,o}) \cdot (t_{st} - 54)$$

Para convertir esta expresión en una ecuación de los coeficientes de transmisión, es necesario multiplicarlo a través del calor de la evaporación específica. En el campo de las presiones de presión y teniendo en cuenta la naturaleza aproximada de este informe, se puede tomar un promedio de 2300 kJ / kg con el que se convierte en la ecuación:

$$k = 0.000567 \cdot (100 - w_{DS,o}) \cdot (t_{st} - 54)$$

Donde k se expresa en kW/(m².K) y t_{st} es la temperatura del vapor en la calandria, no en el espacio de vapor, en °C.

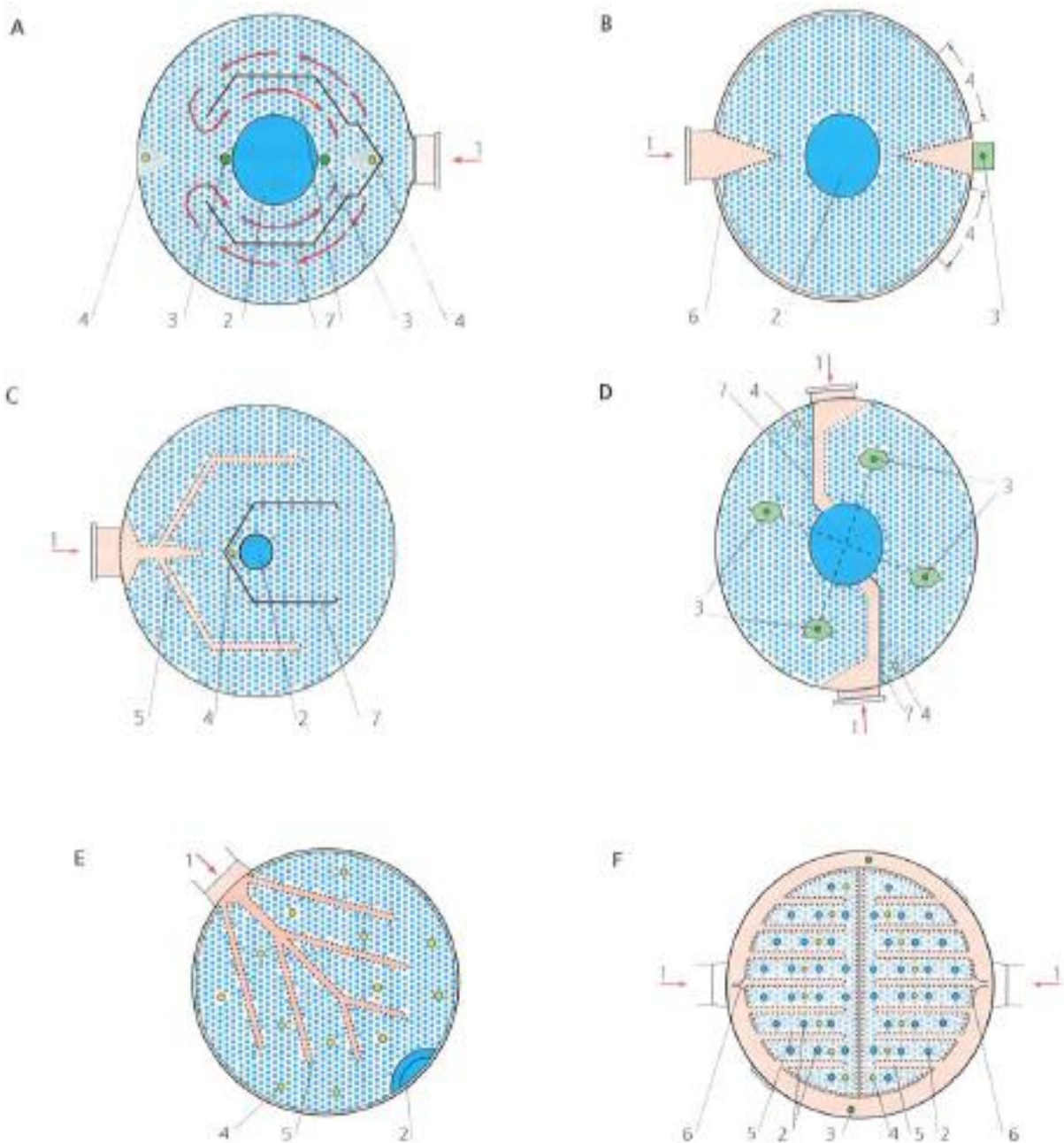
2.1.3.4 Diseño de la calandria

La calandria se debe diseñar para obtener un flujo uniforme de vapor a todos los tubos y un desfogue positivo de los gases incondensables al espacio del vapor. Se puede demostrar que, con el espaciamiento normalmente utilizado en los arreglos de los tubos, la caída de presión a través del banco de tubos es insignificante, lo que resulta en una presión más o menos uniforme en toda la calandria.

Algunos diseñadores han considerado que se deben mantener velocidades elevadas del vapor en el lado del escape sobre toda la calandria. En la práctica el coeficiente de transferencia de calor en el lado del vapor es mucho mayor que en el lado del

jugo, por, lo cual se puede considerar como de menor efecto. Por lo tanto, siempre que el condensado y los gases incondensables sean removidos adecuadamente, debe ser posible lograr ebullición uniforme en todos los tubos.

Buscando lograr los objetivos de distribuir uniformemente el vapor y desfogar positivamente los gases incondensables se han propuesto varios arreglos para la alimentación del vapor y la descarga de los gases incondensables. A través de muchos años un amplio rango de características de diseño han sido empleadas, incluyendo múltiples puntos para la entrada de vapor, canaletas de vapor bafles y distancias variables entre tubos. Algunos ejemplos son presentados en la Ilustración 29. Generalmente se considera que es necesario contar con descargas de incondensables, arriba y al fondo del calandria, dado que se cree que algunos gases incondensables son más ligeros que el vapor, y algunos más pesados.



- 1 ENTRADA DE VAPOR
- 2 TUBOS BAJANTES
- 3 SALIDA DE CONDENSADOS
- 4 DESCARGA DE GASES INCONDENSABLES
- 5 CANAL DE VAPOR
- 6 DISTRIBUIDOR DEL VAPOR
- 7 TABIQUES PARA DESVIACIÓN (BAFLES)

Figura 13: Ejemplos de arreglos para la alimentación de vapor, junto con descargas para gases incondensables y condensados.

Se recomienda tener precauciones para asegurar que las tuberías de vapor sean diseñadas buscando minimizar la caída de presión del vapor en la entrada a la calandria. Con frecuencia se instalan baffles provistos con ranuras para prevenir el impacto directo del vapor sobre los tubos y ayudar a distribuir el vapor alrededor de la calandria. Es recomendable utilizar un arreglo que incluye un cinturón de vapor alrededor de la calandria con flujo radial del vapor y descargas de incondensables alrededor del tubo bajante central.

a. Dimensionamiento y especificaciones de los tubos y las placas de calandria.

Los evaporadores *Robert* normalmente utilizan tubos de 38 a 51 mm de diámetro, con longitudes entre 1.5 y 3m. El uso de tubos de menores diámetros permite tener mayor densidad de área de almacenamiento, lo cual contribuye a reducir el diámetro del cuerpo evaporador. Sin embargo, los tubos pequeños son más difíciles de limpiar mecánicamente y más susceptibles a que se presenten bloqueos o taponamientos; la capa de incrustaciones que se forma conduce a una reducción de diámetro más significativa en los tubos diámetro pequeño.

Es común referirse al tamaño de un evaporador en términos de su superficie de calentamiento, que puede variar desde $1000m^2$ hasta $3000 m^2$.

En Australia se han instalado cuerpos que superan los 5000 m^2 , con calandrias de diámetro bastante grande. En comparación, los evaporadores *Kestnery* los evaporadores de películas descendentes, utilizan tubos con longitudes de hasta 7.5 m, haciendo posible instalar cuerpos de 6000 m^2 o más que cuentan con menores diámetros y menor tiempo de retención del jugo.

Los tubos usualmente son de acero inoxidable, dado que es un material resistente a la corrosión y duro, capaz de brindar una larga vida cuando se utiliza limpieza mecánica. Sin embargo, bajo ciertas condiciones los tubos de acero al carbono han dado prácticamente igual tiempo de servicio que el acero inoxidable cuando se utiliza en los primeros efectos evaporadores: en los efectos siguientes se puede presentar corrosión en la calandria cuando los condensados presentan acidez debido a la volatilización de los ácidos orgánicos del jugo. Para la limpieza química con ácidos se prefiere utilizar ácidos suaves tal como el sulfúrico o el fosfórico. En los casos donde se utiliza ácido clorhídrico, los tubos de acero inoxidable o al carbono son inadecuados y puede ser necesario recurrir al empleo de tubos de cobre. Esta situación no es común, pero aún se observa en Luisiana.

Cuando se emplean tubos largos es además importante tomar en consideración la expansión térmica de los tubos en relación con aquella del cuerpo evaporador. La expansión diferencial puede introducir enormes esfuerzos que pueden producir pandeo de los tubos. La tabla 9.4 muestra que el acero inoxidable grado AISI 304 tiene una expansión térmica mucho mayor que los aceros de bajo carbono, similar a las del cobre y el latón, y por lo tanto no se recomienda para evaporadores de tubos largos. El tipo 439 es la mejor opción, pero el tipo 430 y también el acero 3CR12 son también recomendables. En estos casos se requiere que los procedimientos de soldadura (automatizado con tungsteno en atmósfera inerte) y limpieza, decapado y pasivado, sean efectuados aproximadamente. El tipo 304L, (bajo carbono) es preferible al 304 para minimizar problemas en el área de la costura de la soldadura.

Los tubos son expandidos para ajustarlos sobre las placas de calandria, las cuales generalmente se fabrican de acero con un espesor de 25 mm. Los tubos usualmente se instalan con un arreglo triangular, el cual brinda mayor densidad de superficie de calentamiento que los arreglos de paso cuadrado. Generalmente la distancia entre

centros de tubos de evaporadores esta alrededor de 1.25 veces el metro externo. Los orificios en las placas de tubos deben tener una tolerancia de 0.25 mm antes de la instalación del tubo. La longitud de la junta expandida preferiblemente no debe exceder el espesor de la placa de tubos, dado que ocurrirá cierto ensanche del tubo por detrás de la placa de tubos, lo cual subsecuentemente dificulta la remoción del tubo.

Las especificaciones de los tubos, incluyendo tolerancias en términos de diámetro y ovalidad, son importantes. Las dimensiones estándares recomendadas para los tubos de acero inoxidable se presentan en la Tabla siguiente:

Tabla 3: Especificaciones de tubos de acero inoxidable.

Diámetro externo en mm	Espesor de pared en mm	Tolerancia de espesor de pared	Tolerancia de diámetro en mm	Ovalidad en mm
25-32	1.22	± 10 %	0.13	0.25
38-76	1.22	± 10 %	0.25	0.50
89-130	1.63	± 10 %	0.38	0.76

Fuente: Maccinox, 2019.

b. Tubería de descenso o tubo central

Usualmente se instala en la calandria un tubo grueso o tubo central cuyo objeto es llevar al fondo el jugo que se proyecta sobre la placa superior. Este tubo también se utiliza para recibir el jugo concentrado y evacuarlo del cuerpo hacia el siguiente.

Su diámetro es entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{8}$ del diámetro interior del cuerpo.

En los evaporadores tipo *Robert* los tubos de descenso constituyen una proporción mucho menor del área seccional de la calandria, por debajo del 25% del diámetro. Por lo tanto, es muy posible que parte del líquido que ha hervido y subido a través de los tubos logre bajar a través de un tubo intercambiador de calor en lugar de bajar por el tubo de descenso.

De hecho, por muchos años en Australia fue una práctica común operar evaporadores que no contaban con ningún tipo de tubo de descenso.

Trabajos posteriores en Australia han demostrado que el suministro de varios tubos de 150 mm que actúan como barras de soporte y como tubos bajantes distribuidos uniformemente en el cuerpo conducen a mayores tasas de evaporación, incrementada hasta en un 7.5% (Watson 1986). Esta parece ser actualmente una característica de los diseños Australianos. Los tubos bajantes en el evaporador Fairymead se muestran en la Ilustración 42F; en este evaporador los tubos bajantes se extienden por debajo de la placa de tubos hasta alrededor de 50 mm del fondo cónico.

Usualmente el tubo bajante se ubica en el centro de los cuerpos, pero no es raro encontrar conductos bajantes anulares instalados sobre la periferia de los cuerpos. Esto es asociado comúnmente a tubos bajantes sellados, lo que implica que cualquier líquido que entra en el tubo bajante deberá salir del cuerpo y pasar al siguiente efecto. Los tubos bajantes no sellados implican que el jugo que pasa por el tubo bajante es libre de fluir y mezclarse con el líquido por debajo de la calandria. Una opción intermedia la constituye el tubo bajante semi sellado. Este tiene una salida a manera de embudo que se localiza en el tubo central, a través del cual líquido abandona el cuerpo para pasar al siguiente efecto.

Con tubos bajantes no sellados, existen siempre un sello líquido entre cada cuerpo y el cuerpo siguiente. Con los tubos bajantes sellados, es fácil para el vapor de un efecto pasar en cortocircuito al siguiente y el control de nivel resulta más difícil. El tubo bajante semi sellado se utiliza como salida de los cuerpos y ofrece varias ventajas que le hacen recomendable:

- Mantiene un nivel mínimo en el cuerpo a nivel de la descarga.
- Asegura que el líquido circula por lo menos una vez a través de los tubos antes de su salida.
- Previene el paso en cortocircuito de alimentación hasta la descarga.

Para el área ocupada por una descarga central con un tubo bajante semisellado se toma con frecuencia alrededor de un tercio del área del tubo bajante. Esto implica un diámetro de 0.58 veces del diámetro del tubo bajante, pero puede ser de hasta 0.75 veces el diámetro de este.

c. *Tubos de calandria*

Los tubos de la calandria son de acero o de latón. Los tubos de latón tienen una duración más prolongada.

El mejor latón para tubos de múltiple efecto es el que tiene la siguiente aleación:

Cu = 70%; Zn = 30%

O bien:

Cu = 70%; Zn = 29%; Sn = 1%

IMPORTANTE: Actualmente se usan los tubos de acero inoxidable, debido a su mayor resistencia, pero la desventaja es que tiene menos conductividad que la del cobre.

c.1. Longitud de los tubos

La longitud de los tubos del múltiple efecto clásico varía habitualmente de 1.20 m a 1.50 m. Recientemente los constructores europeos se inclinan por un tubo de mayor longitud, hasta 4.50 m.

La longitud de los tubos debe ser 5 ó 6 mm mayor que la distancia exterior de las placas de la calandria. En esta forma sobresalen 2 a 3 mm sobre estas.

c.2. Diámetro de los tubos

Los tubos de múltiple efecto tienen un diámetro interior que varía de 27 a 46 mm. Su espesor varía de 1.5 a 2.5 mm en los tubos de acero, y de 1.5 a 2 mm en los tubos de latón.

Las dimensiones más frecuentes son:

Tabla 4: Dimensiones de tubo de calandria.

Tubos de acero	27 x 30	31 x 35	45 x 50 mm
Tubos de latón	27 x 30	32 x 35	46 x 50 mm

Fuente: Maccinox, 2019.

Los tubos de 27 x 30 solo se utilizan a la fecha, en las industrias de azúcar de remolacha. Los tubos de 32 x 35 se intercambian frecuentemente por tubos de 33 x 36 mm, dimensión estándar en América y en algunos países europeos.

En las industrias de azúcar de remolacha se utilizan frecuentemente por tubos de 27 x 30 mm del primer al último cuerpo. En las industrias de azúcar de caña se prohíben los diámetros muy pequeños en los finales cuerpos. Algunos técnicos no requieren bajar de 46 x 50 mm (que es el máximo) en los 2 últimos cuerpos. En otros tiempos estándar, no corresponde ya a las técnicas actuales y el autor recomienda adoptar, en tubos de latón, uno de los 3 diámetros siguientes:

32 x 35; 33 x 36 ó 36 x 40 mm

Los tubos más delgados teóricamente producen un mejor coeficiente de transmisión porque la distancia promedio de las moléculas de jugo en la superficie caliente es menor.

Por lo tanto, permite una superficie de calentamiento más grande en una cierta cubierta de diámetro.

Pero se debe considerar la dificultad de limpiar mecánicamente. Por el contrario, son más difíciles de limpiar mecánicamente por su complejidad de configuración de tubos. Cuando se usa, es preferible limpiarlo con ácidos y no mecánicamente porque es necesario consistir en un número mayor de tubos. Cuando se usa, es mejor limpiar con ácidos y no limpiar mecánicamente.

Claassen evalúa que los tubos de bajo diámetro funcionan mejor cuando la afinidad de evaporación es pequeña, sin embargo los tubos más gruesos ofrecen más espacio a las burbujas que suben y trabajan mejor con altas relaciones de evaporación.

c.3. Correlación entre el diámetro y la longitud de los tubos

El diámetro y la longitud de los tubos no son independientes entre sí. De hecho, los tubos permiten un mejor aumento del jugo cuando están más cerca, ya que depende de la relación entre la superficie de calentamiento del jugo y su sección interior.

Esta contraparte limita la longitud legítima para cada diámetro. Como resultado, la longitud del diámetro se le da una serie de tuberías.

Tabla 5: Longitud máxima de los tubos del múltiple efecto de acuerdo con su diámetro.

DIAMETRO (mm)	LONGITUD MAXIMA (m)
46 x 50	2.25
36 x 40	3
32 x 35	3.50
27 x 30	4.50

Fuente: Maccinox, 2019.

En un ingenio de caña es prudente mantenerse abajo de estos valores máximos y no sobrepasar las relaciones siguientes:

Tabla 6: Longitudes recomendables para los tubos del múltiple efecto.

DIAMETRO (mm)	LONGITUD MAXIMA (M)	LONGITUD OPTIMA (M)
46 X 50	1.70	1.50
36 X 40	2.50	2
32 X 35	3	2.50
27 X 30	4	3.25

Fuente: Maccinox, 2019.

Por longitud óptima se entiende la mejor solución entre el precio de un cuerpo y la relación de evaporación a la que puede llegarse con una buena marcha media regular.

La relación de evaporación tiende a reducir cuando la longitud de los tubos aumenta para un diámetro dado del tubo.

De hecho, esto se optimiza que la longitud disminuye con el cuerpo, con el cuerpo es un aumento más simple cuando el jugo es menos viscoso y el vapor más cálido. Por ejemplo, si se diferencia los diferentes cuerpos de un letrero de cuatro camas con tubos de 32 x 36 mm, la longitud óptima, como se muestra en la siguiente tabla, se fija:

Tabla 7: Variación de la longitud de tubos óptima según la colocación del cuerpo.

1er cuerpo	2º cuerpo	3er cuerpo	4º cuerpo
2.75m (9 pies)	2.50m (8 pies)	2.25m (7 pies)	2 m (6 pies)

Fuente: Maccinox, 2019.

c.4. Disposición de los tubos

Los tubos de disponen generalmente en rombos, sobre la placa de la calandria.

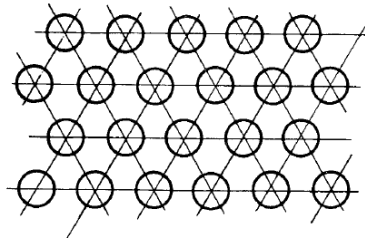


Figura 14: Disposición de tubos

En esta forma los tubos quedan alineados siguiendo 3 direcciones diferente a 120° los unos de los otros.

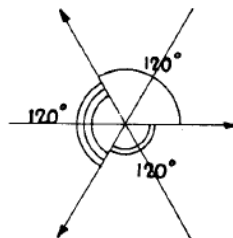


Figura 15: Alineamiento en una distribución "tresbolillo"

Siendo esta disposición la que permite la densidad máxima de tubos ¿Qué relación conviene respetar entre el diámetro exterior d_e de los tubos y la distancia p entre los tubos, de centro a centro?

La longitud p entre los centroides de los 2 tubos paralelos se llama “paso” de los tubos. También la S_e es la sección transversal exterior del tubo y σ la superficie correspondiente de la parte entubada de la placa, se ve que se tiene:

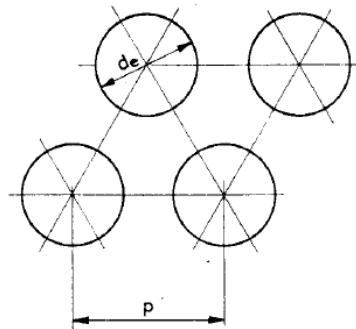


Figura 16: Tubos distribuidos en tresbolillo.

$$\frac{S_e}{\sigma} = \frac{\frac{\pi d_e^2}{4}}{\frac{\sqrt{3}}{2} * p^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} * \frac{d_e^2}{p^2}$$

Si se llama K_e la relación entre el área perforada y el área total de la placa, se tiene entonces.

$$\frac{p^2}{d_e^2} = \frac{\pi}{2K_e\sqrt{3}} = \frac{0.907}{K_e}$$

Por lo tanto:

$$p = 0.952 \frac{d_e}{\sqrt{k_e}}$$

El coeficiente K_e aumenta porcentualmente con el diámetro de los tubos. En los sólidos modernos se encuentra en la variación de 0.45 y 0.55. Si se aplica 0.5 se tendrá:

$$p = 1.35d_e$$

El ancho mínimo de la banda de metal que separa dos perforaciones próximas es entonces aproximadamente una tercera parte del diámetro de los tubos.

IMPORTANTE: Las perforaciones de las placas destinadas a recibir los tubos deben ser de aproximadamente 0,5 a 1 mm más que el diámetro en relación con el exterior de ellos.

c.5. Área del paso del jugo

El coeficiente K_e corresponde a la superficie exterior de las tuberías y luego a la superficie perforada de la placa. Si está interesado en el área de la etapa ofrecida al jugo que circula en los tubos, es necesario considerar la sección transversal interna de los tubos.

Se tiene entonces:

$$K_i = \frac{S_i}{\sigma} = K_e * \frac{S_i}{S_e}$$

K_i = Relación entre la sección transversal del paso del jugo en los tubos y el área correspondiente de la placa, en las partes enteramente ocupadas por los tubos.

S_i = sección transversal interior de un tubo.

La relación S_i/S_e tiene por valor:

Tabla 8: Relación s_i/s_e .

Relación en tuberías	S_i/S_e
Tubos de 27 x 30 mm	0.810
Tubos de 32 x 35 mm	0.836
Tubos de 33 x 36 mm	0.840
Tubos de 46 x 50 mm	0.846

Fuente: Castaño P., *Diseño de máquinas*, (2004).

Los coeficientes K_e y K_i sin embargo, se aplican solo a las partes de la placa que transportan los tubos. Si desea comparar todo el paso de todos los tubos, S_i al área total Σ del disco, debe cambiar el segundo número con un segundo coeficiente α que tenga en cuenta la parte perdida de BH-Faids y Steam. Los corredores y la habitación, que se pierden alrededor del borde de la cuadrícula y un tercer coeficiente β , que tiene en cuenta el tubo central. Así que tienes:

$$S_i = K_i \alpha \beta \Sigma$$

α Es del orden de 0.98

β depende enteramente del tubo central: $\beta = \frac{D^2}{\Delta^2}$

D= diámetro del tubo central.

Δ = diámetro interior del cuerpo.

El coeficiente total $k = K_i \alpha \beta$ que varia entre 0.4 y 0.5 mide la relación entre la sección transversal del paso ofrecido al jugo por los tubos pequeños y la sección transversal del cuerpo.

d. *Fijación de la calandria*

Las calandrias son la extensión de envolvente, generalmente se fija de acuerdo con el procedimiento, (a) el sistema tiene la desventaja de las pérdidas que ocurren muy a menudo en las articulaciones no se pueden conectar fácilmente.

Se prefiere la implementación (B), las pérdidas solo se pueden llevar a cabo hacia el exterior. Cuando el calendario y el sobre están bajo presión, se ve la pérdida de jugo o vapor.

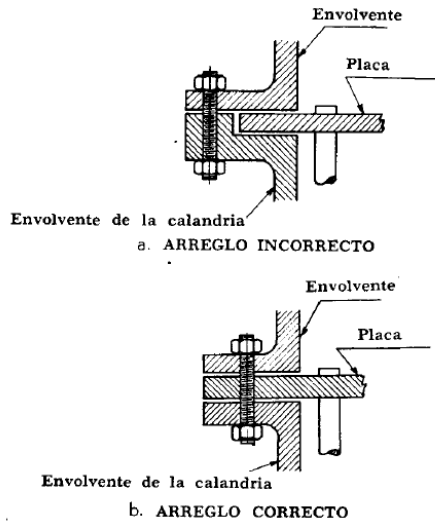


Figura 17: Fijación de la calandria

A menudo se colocan en las particiones verticales del calendario cuyo objetivo debe forzar el vapor de seguir un camino específico. Desafortunadamente, es imposible conservar o sustituir estas hojas cuando se oxida. Cuando el vapor se perfora o se destruye, no sigue la trayectoria esperada y la transmisión del gas inofensivo generalmente es defectuoso.

2.1.3.5 Diseño del cuerpo

El cuerpo clásico de un múltiple efecto está formado por un cilindro vertical montado sobre la calandria tubular a través de la cual se efectúa el cambio de temperatura.

Este cilindro termina en la parte superior por un separador cuyo objeto es detener las gotas del líquido que puede arrastrar el vapor del jugo.

En tiempos antiguos se construían con fundición todos los elementos. Desde hace algunos años se fabrica de lámina de acero. En esta forma los aparatos son menos frágiles, más ligeros y menos caros.

a. *Altura del cuerpo*

Este apartado representa el más grande del dispositivo. No tiene ningún beneficio para el jugo porque el nivel promedio no debe exceder la placa del calendario superior. Su tarea es reducir el riesgo de resistencia a las gotas proyectadas por el

jugo de ebullición. Es común decir el derecho: "El mejor separador es un cuerpo alto".

Los estadounidenses creen que la altura del cuerpo del calendario debe ser de 1,5 a 2 veces en la longitud de los tubos. En Europa, generalmente se asumen de 3,6 m a 4 m.

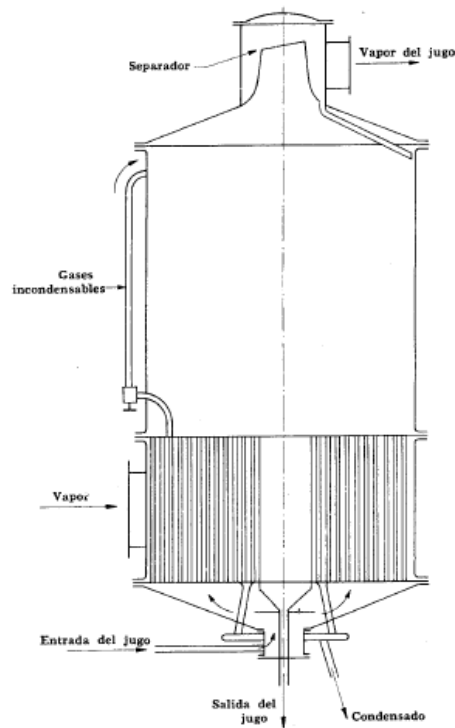


Figura 18: Cuerpo del evaporador

b. Diámetro del cuerpo

El diámetro del cuerpo también influye en los arrastres. Según las experiencias realizadas, la superficie de evaporación, es decir la sección horizontal del cuerpo, debe ser de 1 m^2 por cada $400 \text{ m}^3/\text{h}$ de vapor producido, si se requieren tener vapores secos. La velocidad de los vapores que se desprenden es en este caso de 0.1 m/segundo aproximadamente.

Quiere decir que necesario proveer un cuerpo-tanto más ancho cuando el volumen específico del vapor producido sea más elevado y su presión más baja.

En la construcción moderna no se respeta esta regla y las velocidades del vapor en el evaporador llegan a 0.5 y aun a 1 m/s .

Por esta razón es necesario instalar separadores a la salida del cuerpo.

c. Mirillas

Observe el trabajo del cuerpo y saber qué está pasando dentro, el cuerpo está equipado con pimientos de vidrio muy gruesos entre el casco y un marco de cobre atornillado y con juntas elásticas.

Los fabricantes franceses se utilizan para proporcionar al dispositivo pimientos rectangulares dispuestos en una línea vertical ubicada en el generador de envolvente.

Olvídate de que el hombre tiene ojos colocados después de una línea horizontal y no una línea vertical. Otros países prefieren, colegas circulares razonablemente más cómodos.

2.1.3.6 Circulación del Vapor

El vapor se admite a la calandria por una, dos o más entradas. Generalmente solo se usa una entrada en los vasos de menos de 3m de diámetro y algunas veces 4 para los vasos muy grandes, de manera que puedan proporcionarse el vapor a todos los tubos; de otra manera algunos quedarían muy lejos de la entrada única.

Los tubos de escape de incondensables se localizan en el punto más lejano de la entrada de vapor.

Para facilitar el acceso del vapor a las partes más lejanas de la calandria se dejan corredores de vapor entre los tubos que se obtienen simplemente dejando sin tubos una fila de estos sobre cierta parte de su longitud.

a. Cálculo de tubos de vapor

Para diversas consideraciones economías, por una parte, de pérdida de carga y de arrastre por otra, los tubos de vapor se calculan para dar aproximadamente las siguientes velocidades:

Velocidad del vapor en m/s	Triple	Cuádruple	Quíntuple
Vapor al primer efecto	20-25	20-25	20-25

Vapor del primer efecto	25-30	25-30	25-30
Vapor del segundo efecto	35-40	30-35	25-30
Vapor del tercer efecto	50	40-45	30-35
Vapor del cuarto efecto		50-60	40-45
Vapor del quinto efecto			50-60

Tabla 9: Velocidades en los diferentes efectos.

Fuente: Castaño P., *Diseño de máquinas*, (2004).

Sin embargo, los vapores del último cuerpo van al condensador pueden exceder los 60 m por segundo, según sea necesario para tomar toda la prevención contra los riesgos de arrastre.

Una vez que las velocidades se eligieron el cálculo se lleve a cabo como sigue:

- a) Se toma el gasto del vapor por peso, por ejemplo, P. Se aumenta de un 10 % para permitir cualquier variación posible, por ejemplo, P'.
- b) Se toma la tabla de vapor saturado de la tabla siguiente el peso específico d que corresponde a la temperatura del vapor. De este cálculo el volumen de vapor que se pasara por hora, por ejemplo Q. De aquí se obtiene el volumen por segundo, por ejemplo q.
- c) De la velocidad V que se fijó, se calcula la sección transversal S del tubo. Y, por lo tanto, su diámetro mínimo D que se aproxima a la siguiente medida mayor.

2.1.3.7 Distribución del área de calentamiento

La necesidad de mantener cierta presión requerida para el vapor 1 (y quizá también de vapor 2 cuando se efectúa una extracción significativa) generalmente determina el área del primer efecto (quizá también del segundo efecto). El área requerida en los siguientes efectos está determinada a obtener el grado de evaporación deseado. Las áreas a menudo se seleccionan en función del mismo cuerpo que el evaporador para simplificar su producción y reducir los costos. Sin embargo, esto no conduce al uso óptimo de la interfaz, siguiendo el hecho de que el valor de K hasta el último efecto es mucho más bajo que el de los cuerpos anteriores.

La elección óptima de las zonas para cada efecto de evaporación (dependiendo de las personas involucradas en las extracciones de vapor) fue discutido por Hoekstra (1981), que mostró que la relación entre el radio de calentamiento y la diferencia de temperatura debe mantenerse constante para un intercambio óptimo de la región de distribución. Cada efecto que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{A_i}{\Delta t_i} = \mathbf{constant}$$

Dado que el valor K está disminuyendo cada vez más eficazmente, lo que resulta en un aumento de las diferencias de temperatura, el área del efecto debe incrementarse gradualmente para optimizar la distribución.

2.1.3.8 Diseño de arrastres

a. *Posicionamiento de separadores de arrastre*

Existen dos requerimientos para determinar donde se debe instalar el separador de arrastre en el cuerpo del evaporador o tacho:

- Debe ser suficientemente elevado para no ser afectado por salpicaduras del líquido desde la superficie en ebullición.
- Debe ubicarse a suficiente distancia de la salida de vapor de manera que el patrón del flujo de vapor sea uniforme a través de la sección de corte del separador.

Es necesario proveer suficiente altura de separación por encima de la calandria, para lo cual a veces se ha utilizado una altura por encima de la placa superior de tubos a 2.5 veces la longitud de los escritos de los tubos.

Este valor es innecesariamente elevado en la práctica, y una altura de 4 m es adecuada. Una altura de 4 a 5 m es probablemente ideal.

También se requiere contar con suficiente espacio por encima del separador para permitir el re - enderezamiento del flujo. Si la salida se encuentra muy cerca del separador, causa flujo desigual a través de las diferentes secciones del separador. Regiones de mayor velocidad pueden causar re - arrastres.

Para el caso de descarga centrales (localizadas encima del centro del separador) es normal dejar una distancia entre el separador y la salida igual al menos a la mitad del diámetro (o el diámetro equivalente si no es circular) del separador como se muestra en la imagen.

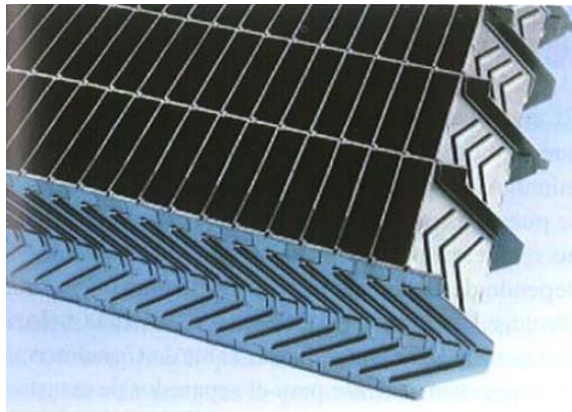


Figura 19: Separador de placas chevron.

Para el caso de salidas de vapor laterales se requiere dejar una mayor distancia, y puede ser justificable efectuar una proyección de la salida de vapor lateral hasta el centro del cuerpo.

b. Dimensionamiento de los separadores de arrastre.

Los separadores de arrastres generalmente tienden a operar con mayor eficiencia a elevadas velocidades. Sin embargo, existe un límite de máxima velocidad impuesto

por el comienzo del re arrastre de líquido en el separador. La velocidad máxima determina el área requerida y por lo tanto es necesario contar con algún método para estimar de esta velocidad máxima.

En el caso de flujos de vapor verticales ascendentes, existentes dos fuerzas opuestas actuando sobre las partículas: la fuerza gravitacional que actúa hacia abajo tratando de acelerar a las gotas en esta dirección y una fuerza opuesta de arrastre por fricción que trata de reducir la velocidad de descenso de las gotas. La fuerza de fricción del flujo F_D puede ser expresado en términos del área de la gota de líquido A_P y del coeficiente de fricción C_D como:

$$F_D = A_P * C_D * \rho_L * u^2 / 2$$

Para partículas esféricas de diámetro d_p , esto se puede expresar como:

$$F_D = \pi * d_p^2 * C_D * \rho_L * u^2 / 8$$

La fuerza gravitacional F_g , corregida por flotación para esferas en caída libre es:

$$F_g = \pi * d_p^3 * (\rho_L - \rho_G) * g / 6$$

Cuando una partícula cae a su velocidad terminal u_t , estas dos fuerzas son iguales. Por lo tanto, igualando estas dos fuerzas:

$$u_t = \left(\frac{4 * g * d_p}{3 * C_D} \right)^{0.5} * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5}$$

Si la velocidad ascendente del vapor es mayor que la velocidad terminal, la gota terminal, la gota será arrastrada con el vapor. La semejanza entre la ecuación u_t y la ecuación souders-brown para arrastre, presentada en la ecuación u_{max} es evidente:

$$u_{max} = C ** \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5}$$

El coeficiente C de Souders-Brown se selecciona para representar cierta fracción de la velocidad terminal. En la práctica el valor de C se determina experimentalmente para el separador de arrastre en particular. Esta ecuación es útil

para determinar la velocidad máxima con la cual un separador de arrastre puede operar.

Una vez que la velocidad se ha calculado a partir de la ecuación de Souders-Brown, el área de la sección transversal del separador, o los pasajes de flujo en caso de separadores, o los pasajes de flujo en caso de separadores de reversión de flujo o centrífugos, pueden ser determinados dividiendo el flujo volumétrico por la velocidad de diseño. En el caso de separadores de placas chevron, es necesario aplicar un factor de ajuste C' , debido a que la velocidad entre las placas es mayor que la velocidad superficial adelante del separador, por un factor igual a $\cos\alpha$, donde α es el ángulo de las placas respecto a la corriente. El ángulo α varía dependiendo del fabricante del separador entre 23° y 54° .

Al estimar la velocidad superficial o aproximación para el cálculo del área requerida, es importante dejar lugar para posibles fenómenos transitorios de flujo, los cuales ocurren cuando las condiciones de operación son inestables o durante periodos de picos transitorios.

Una velocidad de diseño 25% mayor que la velocidad promedio se puede considerar razonablemente. Por lo tanto, la velocidad superficial u_o se relaciona con la máxima velocidad en el separador mediante la ecuación:

$$u_o = \frac{C' * u_{max}}{1.25}$$

Y el área requerida se determina a partir de:

$$A = \dot{V}/u_o$$

Valores del coeficiente C de Souders-Brown y del factor de ajuste C' para el dimensionamiento de separadores de arrastre se presentan en la tabla mencionada.

Tabla 10: Valores de constantes en las ecuaciones mencionadas para el dimensionamiento de separadores de arrastradores.

Tipo de separador	Coefficiente de Souders-Brown C en m/s	Factor de aproximación C'	Velocidad superficial en 1er efecto en m/s a 150 kPa	Velocidad superficial en ultimo efecto en m/s a 16 kPa
Malla de alambre	0.10	1.00	3.4	9.7
Reversión de flujo	0.19	1.00	6.5	18.3
Placas chevron	0.19	0.71	4.6	13.0
Polybaffle	0.21	0.82	5.9	16.7
centrifugo	0.19	1.00	>6.5	18.3

Fuente: Castaño P., *Diseño de máquinas*, (2004).

Como estos valores lo indican, el área requerida para los separadores de placas chevron es menor que el caso de los separadores de malla de alambre. El área requerida para los separadores de placas Chevron es generalmente menor que el área de sección transversal del cuerpo; el resto del área se cubre con placas.

2.1.3.9 Condensados

El calor transmitido del vapor al jugo a través de la calandria corresponde al calor latente de evaporación del vapor. Por lo tanto, todo el vapor que se usa para calentar se transforma en condensados dentro de la calandria. Es entonces necesario evacuarlos o remover un peso de este condensado igual al peso del vapor que se recibió.

La sección transversal interna de estos tubos debe diseñarse para dar una velocidad de flujo de aproximadamente a.50 a 0.60 m/s. En el tubo T que está conectado al colector la velocidad puede aumentarse a 0.80 m/s.

El drenaje debe conectarse a la calandria en a por un pequeño cono cuyo objeto es aumentar el diámetro del tubo en el punto que termina el flujo a través del drenaje.

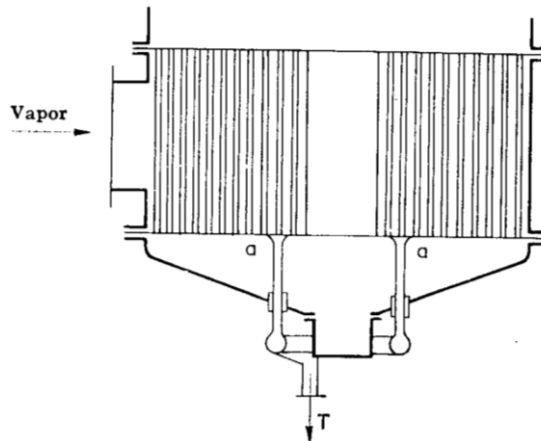


Figura 20: Salida de condensados

a. *Extracción de condensados*

La extracción de los condensados de la calandria puede hacerse de diversas maneras. De acuerdo con la presión dentro de esta pueden distinguirse:

Tabla 11: Método de extracción.

	METODO DE EXTRACCION
(a) Calandria de presión	Trampa de vapor
(b) Calandria al vacío	Bomba de aire húmedo
	Marais
(c) Calandria a presión o al vacío	Bomba monta jugos sifón.
	Tanque de expansión.

Fuente: Condorchem, (2013).

a.1. Trampa de vapor.

Cuando la calandria está a una presión superior a la atmosférica que es el caso general en el primer cuerpo, el condensado puede fluir por gravedad. Sin embargo, como es necesario que el tubo no se vacíe y permita que escape el vapor, debe colocarse un aparato de separación y control llamado “trampa de vapor”.

En otras palabras, es necesario prever un margen de seguridad mínimo del 100%.

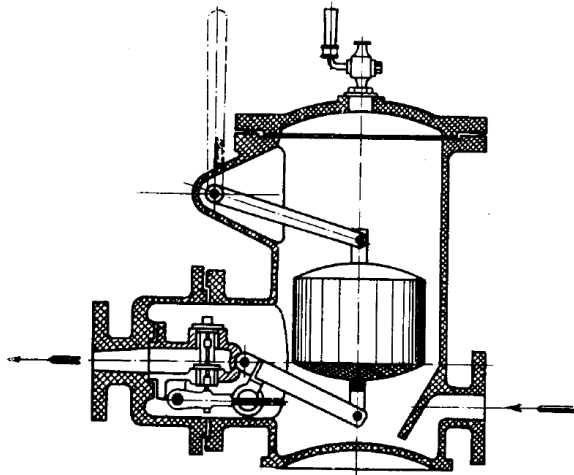


Figura 21: Trampa de vapor.

a.2. Bomba de aire húmedo

En las instalaciones antiguas el vacío se produce en el último cuerpo inyectando agua al vapor que lo abandona. Este se condensa y una bomba, conocida como bomba de aire húmedo, extrae simultáneamente el vapor condensado, el agua que sirvió para condensarlo y los gases incondensables arrastrados con el agua. Pueden entonces enviarse los condensados a la bomba de aire húmedo que los extrae junto con el agua que sirve para la condensación.

No se discutirá este sistema que a la fecha está casi abandonado. Las bombas de aire húmedo, de muy baja velocidad porque tienen que manejar agua, se hacen rápidamente excesivas a medida que la instalación aumenta.

a.3. Marais

La principal dificultad que debe vencerse cuando los condensados se extraen de calandrias al vacío es la diferencia de presión entre el cuerpo y la atmosfera.

A este dispositivo se le conoce en los países franceses con el nombre de “Marais” y el sistema puede describirse como un vaso con un tubo sellado. Si el tanque está a la presión atmosférica los condensados llenaran los tubos de drenaje a los niveles n_2 , n_3 , n_4 ,... correspondientemente a la diferencia de presión entre la calandria y la atmosfera.

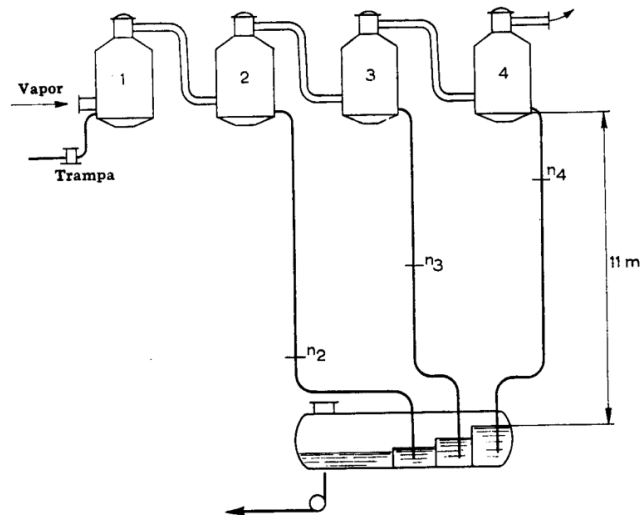


Figura 22: Comportamiento de marais.

a.4. Bomba de condensados

Con la ayuda de una bomba los condensados pueden extraerse de una calandria a cualquier vacío siempre y cuando se llenen las siguientes condiciones. Estas bombas pueden ser recíprocas o centrífugas. Las bombas recíprocas deben ser preferentemente del tipo biela y no del tipo dúplex.

Las bombas centrífuga deben ser diseñadas especialmente para trabajar en vacío, con prensaestopas en comunicación con el lado de descarga de las bombas. De esta manera se evita o se reduce la entrada de aire que de otra manera ocurrirá inevitablemente en estos puntos.

a.5. Monta jugos automáticos

La monta jugos automáticos que se emplea para la extracción de agua o de mieles, especialmente al vacío, se llama Michaelis, del nombre de su inventor.

Se llama también “trampa de alimentación automática”. Consisten en trampas de vapor en cuyo parte superior está localizada una válvula de admisión y una válvula para escape de vapor vivo. Cuando el recipiente se llena con líquido se levanta un flotador a cierto nivel que actúa un mecanismo muy simple, el que abre la válvula de entrada de vapor y cierra la válvula de escape. De esta manera la superficie del

líquido dentro del recipiente queda sujeta a la presión del vapor vivo que expulsa al líquido a través de la válvula de descarga. En este momento el flotador cae nuevamente cerrado la admisión del vapor y abriendo la válvula de escape. El condensado empieza otra vez a abrir la válvula de entrada que previamente se había cerrado contra su asiento por la presión del vapor y el recipiente vuelve a llenarse con agua.

b. Los gases incondensables

Al iniciar la marcha de un múltiple es necesario hacer un vacío conveniente en las diversas calandrias.

Por otro lado, en la marcha normal, el vapor que llega a la calandria lleva con el aire y gases extraños. Estos se originan: de los gases disueltos en el jugo; liberados en la ebullición; del aire arrastrado por el vapor de escape; del aire que entra por las fugas en las juntas de la calandria y de los cuerpos en las válvulas, en las mirillas, etc. Esta es la cantidad más importante (están formados únicamente de aire y en muy pequeña cantidad).

b.1. Dispositivos de Evacuación

En este caso de las calandrias calentadas con vapor de escape, primer cuerpo y tachos, la presión de vapor es superior a la presión atmosférica y en consecuencia la cantidad de gases incondensables es muy pequeña.

Es suficiente instalar un pequeño tubo que termine en la calandria, en el lugar más alejado de la entrada de vapor, con escape al aire libre.

Se le ajustara de manera que deje escapar constantemente una pequeña columna de vapor.

En el caso de las calandrias calentadas con vapor de jugo es necesario instalar varios tubos de evacuación en un cierto número de puntos cuidadosamente elegidos. Los tubos deben colocarse en los lugares en los que se comprueba o se supone que se forman bolsas de aire.

Para extraer el aire es necesario que exista una diferencia de presión. En los cuerpos al vacío los tubos se hacen terminar en el espacio de vapor del cuerpo, pasándolos al exterior de manera que se interponga una válvula que pueda manejarse a manos por el operador acumulen en la calandria.

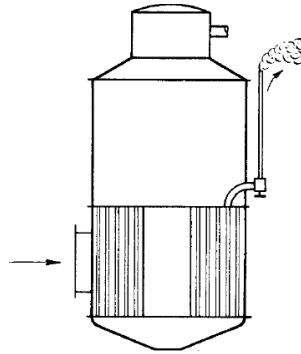


Figura 23: Tubería de gases incondensables.

2.1.3.10 Diseño del sistema de alimentación

El jugo que se alimenta desde un efecto al siguiente sufre evaporación por descompresión instantánea “flash” a medida que entra en el siguiente cuerpo debido a la menor presión de operación. Algunos diseños antiguos alimentan el jugo por encima de la calandria, ocurriendo todo el “flasheo” en un solo punto y haciendo posible que ocurran salpicaduras severas, lo cual es con frecuencia causa de incrustaciones considerables. La evaporación instantánea puede aprovecharse convenientemente en los evaporadores de película ascendente distribuyéndola uniformemente por debajo de la calandria. Esto aumenta la velocidad a través de los tubos e incrementa significativamente la tasa de transferencia de calor.

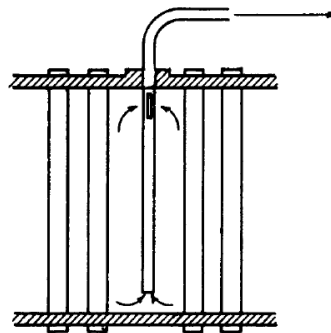


Figura 24: Toma de incondensables.

Puede ser beneficioso tratar de operar los cuerpos con variaciones de concentración a lo largo del evaporador. En los tachos se requiere mezclar la alimentación tan rápido como sea posible con el resto del material para mantener condiciones de cristalización uniforme en todo el cristizador. Por otro lado, en los evaporadores no existe el requerimiento de establecer una concentración uniforme de sólidos disueltos en el cuerpo.

En cualquier diseño es esencial configurar los sistemas de alimentación y descarga de manera que no ocurra cortocircuito de flujo. También es provechoso asegurar que la alimentación entre por debajo de la calandria para promover la evaporación y controlar la salpicadura debido a la evaporación flash.

El arreglo con tubo bajante semi sellado minimiza la posibilidad de cortocircuito de flujo desde una alimentación periférica y asegura que el nivel no caiga por debajo del nivel de salida del embudo de descarga.

El diseño de un sistema de alimentación para distribuir la evaporación “flash” uniformemente en el cuerpo no es fácil. El sistema se debe configurar de manera que una cantidad igual al vapor “flash” entre a cada punto de alimentación. Un sistema que ha sido utilizado con éxito en Sudáfrica y otros lugares incorpora un anillo de alimentación externo provisto con bridas, el cual es de fácil acceso para desmantelarlo y limpiarlo de ser necesario.

Las entradas de alimentación individuales se desprenden lateralmente del anillo de alimentación y no desde la parte superior, como se muestra en la imagen.



Figura 25: Anillo externo de alimentación para evaporadores.

En caso de tener entradas de alimentación sobre la parte superior, estas harían que todo el vapor flash ingresara a través de las entradas que se encuentran más cercanas al punto donde el tubo de alimentación suministra el jugo al anillo alimentador.

Para lograr una correcta caída de presión se deben seleccionar la cantidad y el tamaño de los agujeros requeridos. Los orificios deben ser preferiblemente no menores a 25 mm para minimizar bloqueos con materia insoluble, tal como desprendimientos de incrustaciones.

En la práctica se ha encontrado que una caída de presión calculada de 5 kPa para la fase líquida ofrece resultados aceptables. En realidad, la caída de presión es mayor debido a la evaporación instantánea y a la presencia de flujo de dos fases. La caída de presión se calcula a partir de:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot (N \cdot k \cdot A)^2}$$

Donde k es el coeficiente de descarga, que se toma como 0.6, y A es el área de cada una de las N aperturas de entrada.

Un requerimiento importante de este diseño es lograr iguales proporciones (tasas) de flujo a través de cada una de las entradas. Esto es posible cuando la caída de presión a lo largo del anillo de alimentación es despreciable en comparación con la caída de presión a través de cada orificio de entrada. Para flujo turbulento, que es generalmente el caso, el criterio de Knaebel puede ser utilizado para asegurar que esta condición se cumpla. La relación entre el diámetro de la tubería de alimentación y el diámetro y número de toberas requeridas para lograr igual flujo a través de cada tobera está dado por:

$$d_{pipe} \geq 1.43 \cdot d_o \cdot N^{0.5}$$

Esto indica que el diámetro del tubo de alimentación d_{pipe} debe ser mayor que una cantidad dependiente del diámetro de los orificios de salida toberas d_o que alimentan el cuerpo y el número de orificios o toberas N alimentadas por el sistema. A diferencia del caso de un tubo para el caso de un anillo alimentador N

corresponde a la mitad del número de agujeros de alimentación, dado que la entrada se alimenta desde ambos lados del anillo.

Alternativamente el tamaño o número de agujero de alimentación pueden ser determinados reacomodando la ecuación anterior. Por ejemplo, el tamaño de los orificios de alimentación cuando el tamaño de los orificios de alimentación cuando se utilizan 2N orificios está dado por:

$$d_0 \leq 0.7d_{pipe}/N^{0.5}$$

El diámetro de las tuberías que transporta el jugo entre efectos debe ser suficientemente grande como para prevenir el arrastré del vapor con el líquido. Para esto se requiere que las velocidades del líquido sean suficientemente bajas. En la práctica velocidad por debajo de 1 m/s son apropiadas.

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles son las configuraciones geométricas y de rediseño que mejorarán el proceso de evaporación del jugo clarificado para la obtención de miel, producidas de una molienda de 5000 TM de caña diaria en Agropucala S. A. A.?

1.5. Justificación e importancia de la investigación

1.5.1. Justificación Social.

Este proyecto de tesis pretende solucionar el problema de desabastecimiento de miel durante el proceso de fabricación de azúcar en la industria azucarera de Pucalá para que logren moler 5000 TM de caña diaria, proporcionándoles el rediseño de un equipo con mayor capacidad de intercambio de calor y que puede procesar mayor volumen de jugo claro. Esto permitirá que la empresa pueda mejorar su producción de llevarse a cabo la instalación de este equipo.

1.5.2. Justificación Económica.

El rediseño de un Pre-evaporador en software CAD permite analizar las cualidades y bondades del equipo sin tener que invertir una cuantiosa cantidad de

dinero y arriesgarse a tener un resultado desfavorable por llevar a cabo técnicas artesanales de rediseño. Los beneficios económicos de realizarse en este rediseño es incrementar la producción de azúcar diaria, lo que afectaría de forma positiva los tiempos de entrega en los pedidos (cortos plazos de entrega), mayores capacidades de abastecimiento de mercado, mejores precios, etc.

1.5.3. Ambiental.

Con el desarrollo de este proyecto de tesis se quiere procesar mayor cantidad de jugo claro, pero manteniendo el consumo de vapor, lo cual es un aspecto positivo porque minimiza las emisiones de gases contaminantes provenientes de las calderas.

Tenemos la norma ISO 14000

ISO 14062 Gestión ambiental - Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de los productos.

ISO 14001:2004 Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.

1.5.4. Tecnológica.

Con el rediseño del pre-evaporador se logró contribuir con lo siguiente:

Tener un rediseño confiable en software CAD, con el cual se podría producir una mayor cantidad de miel, de tal manera que los tachos o vacumpanes puedan abastecerse de manera continua durante el proceso de cristalización y así la producción de azúcar aumente.

El separador de arrastre que usa nuestro diseño, es mucha más eficiente comparado con los equipos actuales y minimiza el problema de arrastre en el pre-evaporador, evitando los daños en la calandria de los evaporadores de múltiple efecto.

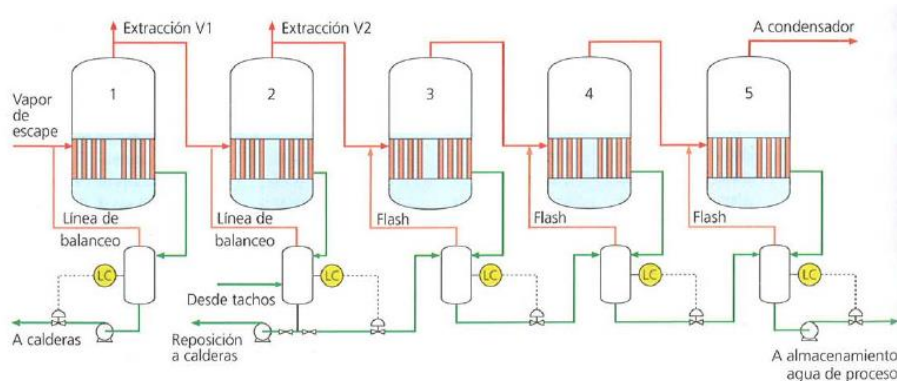


Figura 26: Sistema de evaporadores de múltiple efecto

□ Mediante el análisis de elementos finitos en el cuerpo del pre-evaporador y en la calandria, mediante software CAD-CAE, logramos simular la presión y los esfuerzos dentro del pre-evaporador para garantizar un factor de seguridad adecuado, de tal manera que las dimensiones y espesores sean los más adecuados.

1.6. Hipótesis

Para el presente proyecto de investigación no se aplica.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Rediseñar un Pre-Evaporador para una capacidad de molienda de 5000 TM de caña diaria en Agropucalá S.A.A. mediante el uso de software CAD-CAE para incrementar la capacidad de producción de miel dentro del proceso de evaporación.

1.7.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales parámetros de re-diseño en el área de evaporación en Agropucalá, mediante entrevistas, observaciones y consultas bibliográficas, para el cálculo de los componentes del pre-evaporador.
- Realizar un diagnóstico del estado actual de los pre-evaporadores existentes en Agropucalá S.A.A: eficiencia, problemas, bondades, etc. para poder realizar el balance térmico del sistema (equipo actual).

- Modelar matemáticamente el sistema propuesto para determinar las necesidades térmicas del pre-evaporador a rediseñar en la industria azucarera de Pucalá
- Calcular la capacidad del pre-evaporador bajo parámetros térmicos y mecánicos determinándose las dimensiones del equipo y seleccionándose los materiales.
- Modelar y ensamblar los componentes del pre-evaporador en software CAD-CAE para asegurar la confiabilidad del equipo a la empresa Agro Pucalá SAA.
- Realizar el análisis de costo beneficio, para la fabricación del pre-evaporador.

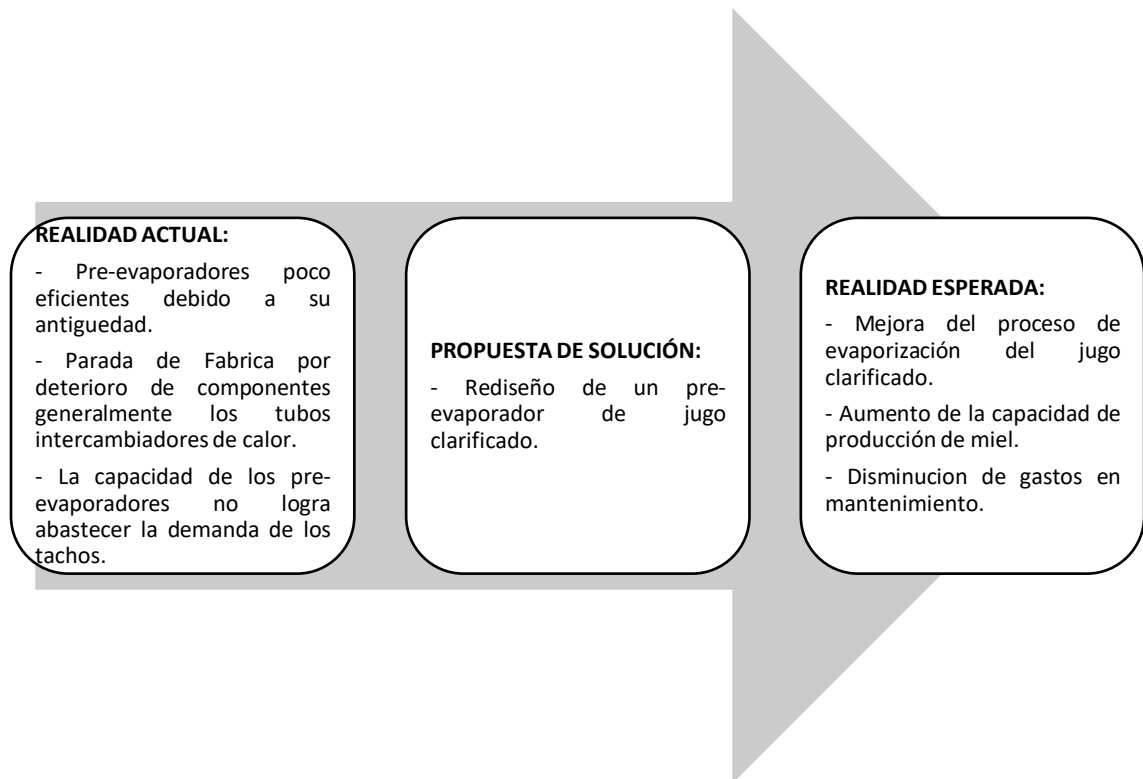
Capitulo II:

MATERIALES Y MÉTODOS

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación es de tipo cuasi-experimental y se desarrolló dentro del área de diseño de máquinas térmicas. Se logró con éxito esta investigación mediante el uso de métodos analíticos, sintéticos, deductivos e inductivos durante el proceso de recolección, definición, sintetización, cálculo y simulación para el diseño un pre-evaporador de jugo clarificado.



2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población está constituida por todas las empresas agroindustriales de la región Lambayeque, que cuenten dentro de sus instalaciones con el sector de elaboración y el área de evaporización cualquiera sea el tipo de equipo (evaporador) utilizado.

2.2.2. Muestra

La muestra de estudio es la industria azucarera de Pucalá y más específicamente el área de evaporización de jugo claro. Esta área está compuesta por 12 equipos de evaporización, pero solo estudiaremos el sistema de pre-evaporización de jugo claro a 16°brix que está implementado con 4 equipos.

2.3. Variables y Operacionalización.

2.3.1. Variables.

En el presente proyecto se hará uso de la metodología formal de diseño basado en las propuestas de Rudolf Eggert (Eggert, 2010), y, George Dieter y Linda Schmidt (Dieter y Schmidt, 2012) donde se plantean: Variables de Diseño, Variables de Solución, Parámetros de Definición de Problema y Variables intervinientes.

Los sistemas principales de nuestro proyecto son: Sistema de Vapor y Sistema Clarificado. Los sistemas serán realizados bajo las propuestas de Rudolf, George y Schmidt.

2.3.2. Operacionalización de variables.

2.3.2.1. Sistema vapor y sistema clarificador.

Tabla 12:

Cuadro de Variables de Diseño y Solución

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicador	Sub-indicador	Índice	Técnicas de Recolección de información	Instrumentos de recolección de información	
Dimensionamiento del Pre-evaporador	Calandria	Placa de distribución	Diámetro, espesor, material.	m	Entrevista y Análisis de documentos	Cuestionario y Guía de análisis de documentos	
		Tubos de Calandria	Diámetro, longitud, material	m			
		Tubo Central	Diámetro, altura, material	m			
	Cuerpo	Dimensiones del cuerpo	Altura, diámetro, material	m	Entrevista y Análisis de documentos	Cuestionario y Guía de análisis de documentos	
		Mirillas	Ubicación, tamaño	m			
	Tuberías	Entrada de Vapor		diámetro	m	Entrevista y Análisis de documentos	Cuestionario y Guía de análisis de documentos
		Alimentación		diámetro	m		
		Condensados		Diámetro	m		
	Arrastres			Tipo de arrastre, dimensiones	m	Entrevista y Análisis de documentos	Cuestionario y Guía de análisis de documentos

Fuente: Propia

Tabla 13:*Cuadro de Variables de Diseño y Solución.*

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	SUB-INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
JUGO CLARIFICADO	Temperatura	Temperatura al ingreso del pre-evaporador	°C	Observación	Guía de Observación	Termómetro
	Presión	Presión a la entrada del pre-evaporador	Psi	Observación	Guía de Observación	Transmisores de Presión
	Densidad	Densidad con la que entra el jugo claro al pre-evaporador	gr/cm ³	Entrevista y Observación	Cuestionario y Guía de Observación	Medición Indirecta (Material de Laboratorio)
	Viscosidad	Viscosidad de entrada al pre-evaporador del jugo claro	kg/m.s	Entrevista y Observación	Cuestionario y Guía de Observación	Laboratorio
	Brix	es la cantidad de sacarosa en la sustancia a la entrada del pre-evaporador	Brix	Entrevista y Observación	Cuestionario y Guía de Observación	Refractómetros
	Cantidad	Cantidad de jugo claro en una hora	tn/hr	Entrevista y Análisis de documentos	Cuestionario y Guía de análisis de documentos	Balanza Mecánica

Fuente: Propia.

Tabla 14:

Cuadro de Variables de Diseño y Solución

DIMENSIÓN	INDICADOR	SUB-INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VAPOR DE ESCAPE	TEMPERATURA	TEMPERATURA A LA SALIDA DE LA TURBINA	°C	OBSERVACIÓN	GUÍA DE OBSERVACIÓN	TRANSMISORES DE TEMPERATURA
	PRESIÓN	PRESIÓN A LA SALIDA DE LA TURBINA	PSI	OBSERVACIÓN	GUÍA DE OBSERVACIÓN	TRANSMISORES DE PRESIÓN
	FLUJO	FLUJO QUE INGRESA EN EL PRE-EVAPORADOR	M3/S	ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	GUÍA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS	

Fuente: Propia.

2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Son los procedimientos y actividades que hemos empleado con el fin de obtener datos relevantes para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos en esta investigación.

2.4.1. Abordaje metodológico

Se empleó, la investigación **Analítica**, porque hemos descompuesto el objeto de estudio en sus partes para conocer sus riesgos y propiedades. Siendo que, al familiarizarnos con el proceso de evaporación del jugo clarificado para la obtención de miel en la producción de azúcar, se logró determinar los parámetros de diseño. Asimismo, hemos usado la investigación **sintética**, puesto que al haber analizado la situación actual en la industria de Pucalá planteamos una solución, el re-diseño del Pre-evaporador de jugo clarificado.

También, se usó la investigación **deductiva**, porque nosotros después de haber definido las variables de la investigación y sus parámetros, y al haber investigado exhaustivamente los diseño de pre-evaporadores actuales, hemos inferido y seleccionado el mejor diseño a nuestro criterio y hemos hecho uso de las formulas térmicas correspondientes para lograr el re-diseño del pre-evaporador.

Finalmente, hemos empleado la investigación inductiva, después de haber logrado con éxito el dimensionamiento del pre-evaporador y haber realizado los estudios pertinentes al equipo mediante el software de diseño hemos podido determinar el correcto rediseño para el pre-evaporador.

2.4.2. Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.2.1. Técnicas de investigación

Se utilizarán las siguientes técnicas de investigación:

- Observación: porque el uso de esta técnica nos permitió describir, conocer y registrar datos en estudios de campo.
- Entrevista: usada para la obtención de información mediante el diálogo con los ingenieros y operarios a cargo del área de elaboración en un encuentro formal y planeado.
- Análisis de documentos: empleamos esta técnica para obtener los datos necesarios para el re-diseño del pre-evaporador, revisándose las siguientes normas:

Marco Legal

Recipiente Bajo Presión

El principal Código utilizado en los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, es el “CÓDIGO A.S.M.E. SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1”. Este Código es publicado por la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, su edición es trianual con la finalidad de mantenerlos siempre actualizados. A continuación, se enlistan los principales Códigos existentes en el mundo para diseño y fabricación de recipientes a presión.

Tabla 15:

Código ASME.

PAÍSES	CÓDIGOS
Alemania	A. D. Merkblatt Code
Estados Unidos de Norteamérica	A.S.M.E. Code. Section VIII División 1 y 2
Japón	- Japanesse Pressure Vessel Code -JapanesseStd. PressureVesselConstruction
Inglaterra	British Code BS 5500
Italia	ItalianPressureVesselCode

Fuente: Propia.

Estructuras Metálicas

Nos apoyamos en las normas ASTM, a continuación, mencionaremos algunas:

- ✓ B-254 (ASTM A36) Acero estructural.
- ✓ (ASTM A992) Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios
- ✓ H-124 (ASTM A325) Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [Fu= 830 MPa (8 440 kg/cm²) para diámetros de 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulg.), Fu= 725 MPa (7 380 kg/cm²) para diámetros de 29 y 38 mm (11/8 y 11/2 pulg.)]

Ambientales

Nos basamos en la la norma ISO 14000

2.4.2.2. Instrumentos de recolección de datos.

Tabla 16:

Cuadro de Instrumentos de Recolección de Datos.

TECNICAS	INSTRUMENTO	VALIDEZ
Entrevista	Ficha de preguntas	El especialista
Análisis computacional	Software CAD-CAE	El especialista

Fuente: Propia

2.4.2.3. Metodología y procedimiento para la recolección de datos, validez y confiabilidad.

La metodología de diseño empleada, en el desarrollo del rediseño del pre-evaporador para una capacidad de molienda de 5000 TM de caña diaria en la empresa AGROPUCALA, resulta ser una variante de los diseños propuestos por los diseñadores Eggert, Dieter y Shmielt.

Para el procedimiento de recolección de datos, validez y confiabilidad, estará descrito por etapas.

Etapas 1: Identificación y recolección de Datos.

En el inicio de nuestro proyecto nos basamos en seleccionar un tema que sea de interés para la solución de los problemas en el sector agroindustrial de nuestro país, el presente proyecto nos brinda una solución eficiente en el área de evaporación de jugo claro para una capacidad de molienda de 5000 TM de caña para la empresa AgroPucala, obteniendo como resultado un rediseño que permitirá un incremento de producción, reduciendo el tiempo empleador para la evaporación del jugo claro.

Etapas 2: Cuestionario aprobado por especialistas.

Trabajamos con una técnica de recolección de datos, el cual se utilizará con el fin de diagnosticar el tipo y la frecuencia de fallas que viene ocurriendo en el transcurso del tiempo basándonos en la rapidez en la que asisten a la solución de la falla.

Etapa 3: Identificación de los factores intervinientes.

En esta etapa se analizó los datos obtenidos por medio de los instrumentos de recolección de datos, ayudándonos a delimitar la necesidad del presente proyecto, que es mejorar el tiempo que se tarda en evaporar el agua (H₂O) en la etapa de pre-evaporación para posteriormente darle solución en el re-diseño del equipo.

Etapa 4: Búsqueda de solución.

Plantear el dimensionamiento de los componentes, la capacidad del pre-evaporador, modelamiento térmico, dimensionamiento de la estructura de soporte, obteniendo así una solución segura, confiable, económica y baja en mantenimiento.

Etapa 5: Ventajas y desventajas del pre-evaporador.

Luego de haber realizado el dimensionamiento de los componentes, la capacidad del pre-evaporador, modelamiento térmico, dimensionamiento de la estructura de soporte, este va a reducir el tiempo en evaporar el H₂O contenida en el jugo claro y posteriormente incrementa las ganancias.

Etapa 6: Análisis del modelamiento térmico.

Se procederá a realizar un análisis de modelamiento térmico, y de esta manera poder definir la complejidad, eficiencia y costo con el que contará la presente investigación.

Etapa 7: Desarrollo de la capacidad del pre-evaporador.

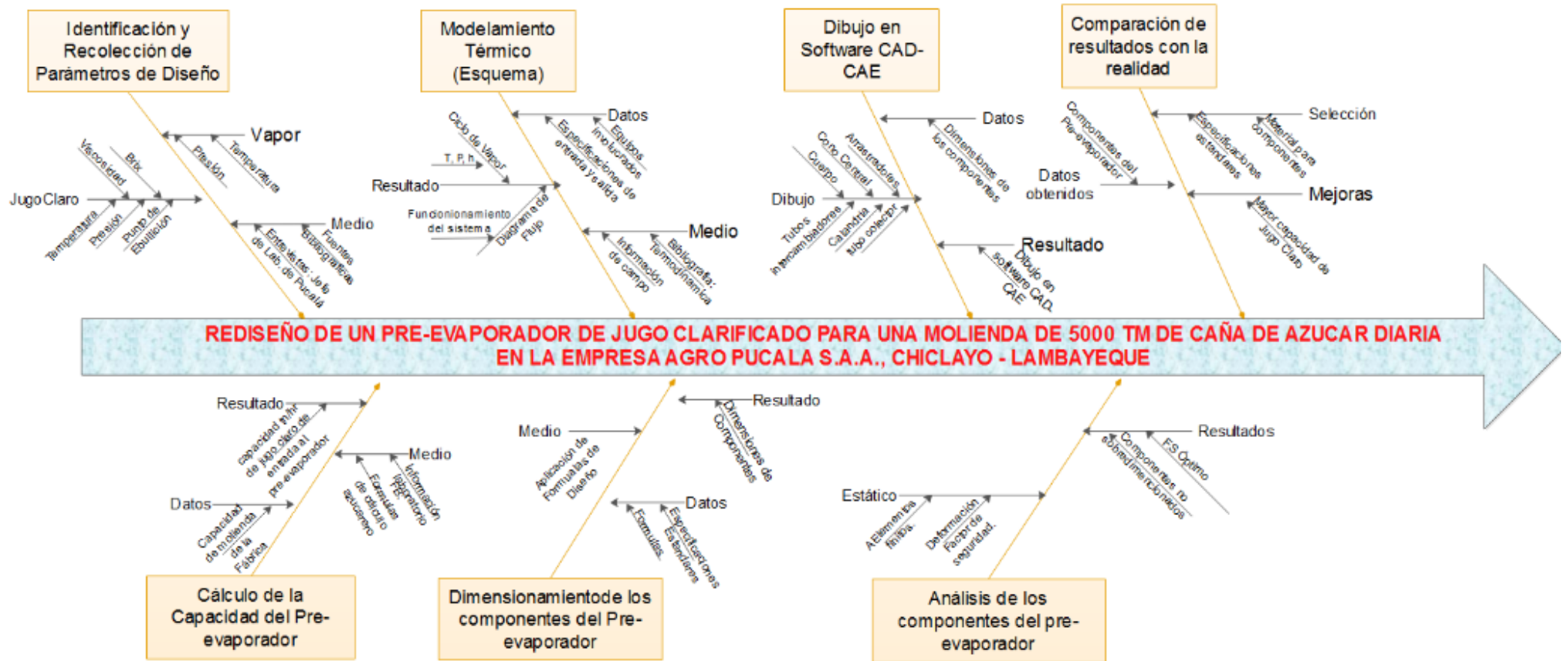
Realizaremos los cálculos matemáticos por medio de las teorías existentes, teniendo como resultado una aproximación de la rapidez de evaporación de H₂O del jugo claro. Siendo esto en cuestión de minutos.

Etapa 8: Evaluación técnica, económica del pre-evaporador.

En resumen, una vez concluido todo el estudio, se continuará a realizar la evaluación técnica – económica y determinar la viabilidad del proyecto.

2.5. Procedimientos para el análisis de datos

La observación estadística a realizar son elementos básicos de la estadística descriptiva, la cual está representada por medio de un esquema que contienen tablas de distribución de frecuencias, promedios aritméticos simples y otras estadísticas generales.



(Esquema N°2, Procedimientos para la recolección de datos)

Fuente: Propia

2.6. Criterios éticos

Los criterios que se han tenido en cuenta se basan los valores personales como la responsabilidad, dedicación y respetando la ética profesional del colegio de ingeniero del Perú.

CIP, código de Ética aprobado en la sección III Ordinaria del Congreso Nacional de Consejeros Departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 de abril de 1999.

Art. 4.- Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la Vida, la salud y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país depende de los juicios, decisiones incorporados en ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón podrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud. (CIP, 1999)

2.7. Criterios de Rigor Científico

Tabla 17:

Cuadro de Criterios de Principios de Rigor Científico.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
VALIDEZ	<p>El proyecto debemos tener en cuenta que un argumento puede ser deductivamente válido, aunque su conclusión no sea verdadera de tal forma que, al estudiar las pruebas realizadas durante las etapas, estas darán lugar a la estimación de probabilidad de una serie de argumentos.</p> <p>En nuestro caso la validación será llevada a cabo por técnicas de recolección de datos (entrevista), además de contar con el respaldoado por un profesional experto y reconocido como investigador.</p>
FIABILIDAD	<p>El Proyecto es fiable debido a maximiza la repetitividad o consistencia inherente del mismo (Las mediciones cuando se obtengan corresponderán a una metodología meticulosa y científica), así que acredita un óptimo funcionamiento de acuerdos a los parámetros ya definidos.</p> <p>Aseguramos la fiabilidad debido a que el proyecto ya ha sido sustentado por varios investigadores.</p>

Fuente: Propia

Capitulo III:

DESAROLLO

III. RESULTADOS

3.1. Resultados en tablas y figuras.

3.1.1. Identificación de los principales parámetros de diseño en el área de evaporación en Agropucalá, mediante entrevistas, observaciones y consultas bibliográficas, para el cálculo de los componentes del pre-evaporador.

En esta fase recolectamos la información necesaria para el desarrollo de las fórmulas y diseño del equipo, mediante visitas a la fábrica y entrevistas realizadas a ingenieros y operadores, a continuación, presentamos cuadros resumen:

Tabla 18: Parámetros de diseño.

CONCEPTOS VARIABLES	JUGO CLARO	
	ENTRADA	SALIDA
Brix	14-16	21-24
Temperatura (°C)	90	115
Presión (Psi)	10-20	10-20
Coefficiente de calor específico a presión constante (Cp)	0.91 Kcal/Tg °C	
Densidad (ρ)	1.03 Tn/cm ³	

CONCEPTOS VARIABLES	VAPOR SATURADO	
	ENTRADA	SALIDA
Temperatura (°C)	135	Vapor Vegetal, Agua condensada y vapor no condensable.
Presión (Psi)	30	
Entalpía específica de evaporación (λ)	2.16098x10 ⁶ = 516.14 kcal/kg	

MOLIENDA DE DISEÑO	5000 Tn caña/día
MOLIENDA ACTUAL	3500 Tn caña/día

Fuente: Propia.

Para Mayor Información revisar anexo 01, 02 y 03 correspondiente a las entrevistas y guías de observación.

3.1.2. Diagnóstico del estado actual de los pre-evaporadores existentes en Agropucalá S.A.A: eficiencia, problemas, bondades, etc. para poder realizar el balance térmico del sistema (equipo actual).

Tabla 19: Diagnóstico del estado actual.

	COMPARACIÓN EQUIPOS AGROPUCALA	
	NUEVOS	ACTUAL
Cantidad de Equipos	Inicialmente la fábrica contaba con 4 pre-evaporadores: - SQUIER - MC NEIL - B&W - B.M.A.	Ahora, solo cuenta con 3 equipos operativos: - SQUIER - B&W - B.M.A. Y, un equipo inoperativo: - MC NEIL
Detalle Pre-evaporador SQUIER	Ø Interior de Calandria = 11'0"	Ø Interior de Calandria = 11'0"
	Material de tubos= Bronce	Material de tubos= Acero al carbono (ASTM A36) Observación: Los tubos de bronce se cambiaron, ya que su vida útil era muy corta debido a que el jugo claro tiene un pH ácido (5.7-5.8) y por un tema de minimizar gastos de mantenimiento.
	Nº de Tubos = 2341	Nº de Tubos= 2255
	Ø exterior del tubo = 1 ¾" (39 x 42)	Ø exterior del tubo = 1 ¾"
	Superficie de Calentamiento = 7507.5 ft ²	Superficie de Calentamiento = 7231.7 ft ²
	Coeficiente de conductividad térmica del bronce (K_{bronce}) = 116-186 W/ (m.K) Valor usador para el análisis: 151 W/(m.K)	Coeficiente de conductividad térmica del acero (K_{acero}) = 47-58 W/ (m.K) Valor usador para el análisis: 52.5 W/(m.K) Observación: Si bien es cierto, el bronce conduce el calor 2.87 veces más rápido que el acero, sus propiedades físicas se ven superadas por el acero en cuanto a resistencia al ataque químico y dureza.
	Calor específico del bronce ($C_{p,\text{bronce}}$) = 360 J/(kg.K)	Calor específico del acero ($C_{p,\text{acero}}$) = 460 J/(kg.K) Observación: Este parámetro nos indica que el acero puede almacenar 1.27 veces más energía que el bronce.
		Difusividad Térmica del acero = $14.54 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

	<p>Difusividad Térmica del bronce = $52.42 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ Es calculado en base a la fórmula: $\alpha = K/(\rho.C_p)$. Donde la densidad del bronce es 8000 kg/m^3</p>	<p>Se consideró Densidad del acero, 7850 kg/m^3 Observación: Se tiene que tomar en cuenta que entre mayor sea la difusividad térmica, Más rápida es la propagación del calor por el medio. Un valor pequeño de la difusividad térmica significa que, en su mayor parte, el calor es absorbido por el material y una pequeña cantidad de ese calor será conducida a través de él. Por tanto, llegamos a la conclusión que el Bronce es un conductor de calor más eficiente que el acero al carbono.</p>
Detalle Pre-evaporador B&W	<p>Ø Interior de Calandria = 2.9m Material de tubos= Bronce</p>	<p>Ø Interior de Calandria = 2.9m Material de tubos= Acero al carbono (ASTM A36) Observación: Los tubos de bronce se cambiaron, ya que su vida útil era muy corta debido a que el jugo claro tiene un pH ácido (5.7-5.8) y por un tema de minimizar gastos de mantenimiento.</p>
	<p>N° de Tubos = 2238</p>	<p>N° de Tubos= 2167</p>
	<p>Ø exterior del tubo = 36mm</p>	<p>Ø exterior del tubo = 36mm</p>
	<p>Superficie de Calentamiento = 6233.4 ft^2</p>	<p>Superficie de Calentamiento = 6035.6 ft^2</p>
	<p>Coficiente de conductividad térmica del bronce(K_{bronce}) = 116-186 W/ (m.K) Valor usador para el análisis: 151 W/(m.K)</p>	<p>Coficiente de conductividad térmica del acero (K_{acero}) = 47-58 W/ (m.K) Valor usador para el análisis: 52.5 W/(m.K) Observación: Si bien es cierto, el bronce conduce el calor 2.87 veces más rápido que el acero, sus propiedades físicas se ven superadas por el acero en cuanto a resistencia al ataque químico y dureza.</p>

	<p>Calor específico del bronce ($C_{p,bronce}$) = 360 J/(kg.K)</p>	<p>Calor específico del acero ($C_{p,acero}$) = 460 J/(kg.K) Observación: Este parámetro nos indica que el acero puede almacenar 1.27 veces más energía que el bronce.</p>
	<p>Difusividad Térmica del bronce = $52.42 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ Es calculado en base a la fórmula: $\alpha = K/(\rho.C_p)$. Donde la densidad del bronce es 8000 kg/m^3</p>	<p>Difusividad Térmica del acero = $14.54 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ Se consideró Densidad del acero, 7850 kg/m^3 Observación: Se tiene que tomar en cuenta que entre mayor sea la difusividad térmica, Más rápida es la propagación del calor por el medio. Un valor pequeño de la difusividad térmica significa que, en su mayor parte, el calor es absorbido por el material y una pequeña cantidad de ese calor será conducida a través de él. Por tanto, llegamos a la conclusión que el Bronce es un conductor de calor más eficiente que el acero al carbono.</p>
Detalle Pre-evaporador B.M.A.	<p>Ø Interior de Calandria = 3.5m</p>	<p>Ø Interior de Calandria = 3.5m</p>
	<p>Material de tubos= Bronce</p>	<p>Material de tubos= Acero al carbono (ASTM A36) Observación: Los tubos de bronce se cambiaron, ya que su vida útil era muy corta debido a que el jugo claro tiene un pH ácido (5.7-5.8) y por un tema de minimizar gastos de mantenimiento.</p>
	<p>N° de Tubos = 4952</p>	<p>N° de Tubos= 4829</p>
	<p>Ø exterior del tubo = 32mm</p>	<p>Ø exterior del tubo = 32mm</p>
	<p>Superficie de Calentamiento = 15003.611 ft^2</p>	<p>Superficie de Calentamiento = 14630.94 ft^2</p>
	<p>Coefficiente de conductividad térmica del bronce(K_{bronce}) = 116-186 W/ (m.K)</p> <p>Valor usador para el análisis: 151 W/(m.K)</p>	<p>Coefficiente de conductividad térmica del acero (K_{acero}) = 47-58 W/ (m.K)</p> <p>Valor usador para el análisis: 52.5 W/(m.K)</p>

		<p>Observación: Si bien es cierto, el bronce conduce el calor 2.87 veces más rápido que el acero, sus propiedades físicas se ven superadas por el acero en cuanto a resistencia al ataque químico y dureza.</p>
	<p>Calor específico del bronce ($C_{p,bronce}$) = 360 J/(kg.K)</p>	<p>Calor específico del acero ($C_{p,acero}$) = 460 J/(kg.K) Observación: Este parámetro nos indica que el acero puede almacenar 1.27 veces más energía que el bronce.</p>
	<p>Difusividad Térmica del bronce = $52.42 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ Es calculado en base a la fórmula: $\alpha = K/(\rho \cdot C_p)$. Donde la densidad del bronce es 8000 kg/m^3</p>	<p>Difusividad Térmica del acero = $14.54 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ Se consideró Densidad del acero, 7850 kg/m^3 Observación: Se tiene que tomar en cuenta que entre mayor sea la difusividad térmica, Más rápida es la propagación del calor por el medio. Un valor pequeño de la difusividad térmica significa que, en su mayor parte, el calor es absorbido por el material y una pequeña cantidad de ese calor será conducida a través de él. Por tanto, llegamos a la conclusión que el Bronce es un conductor de calor más eficiente que el acero al carbono.</p>

Fuente: Propia.

Para Mayor Información revisar anexo 04 correspondiente a un diagrama de ubicación de los pre-evaporadores (nuevos).

3.1.3. Modelamiento matemático del sistema propuesto para determinar las necesidades térmicas del pre-evaporador a diseñar en la industria azucarera de Pucalá.

Se logró realizar tras varias visitas a la fábrica un esquema del proceso de evaporación, donde se observa la ruta que sigue el vapor y el jugo claro. También se realizó un análisis del consumo de vapor por los equipos existentes y a la

capacidad actual de producción de la fábrica. A continuación, se presentan los esquemas y los cálculos.

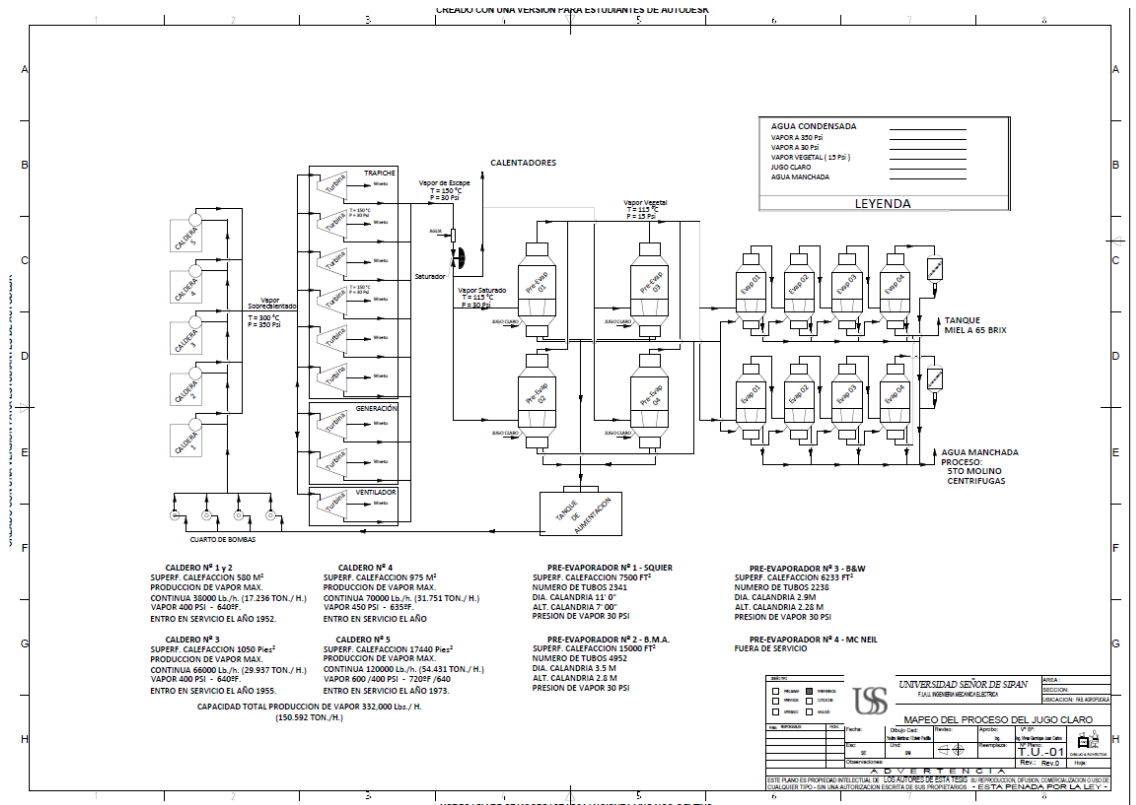


Figura 27: Esquema general de la ruta del vapor y jugo claro.

Para poder observar el esquema con mayor facilidad, véase el Plano N° 01.

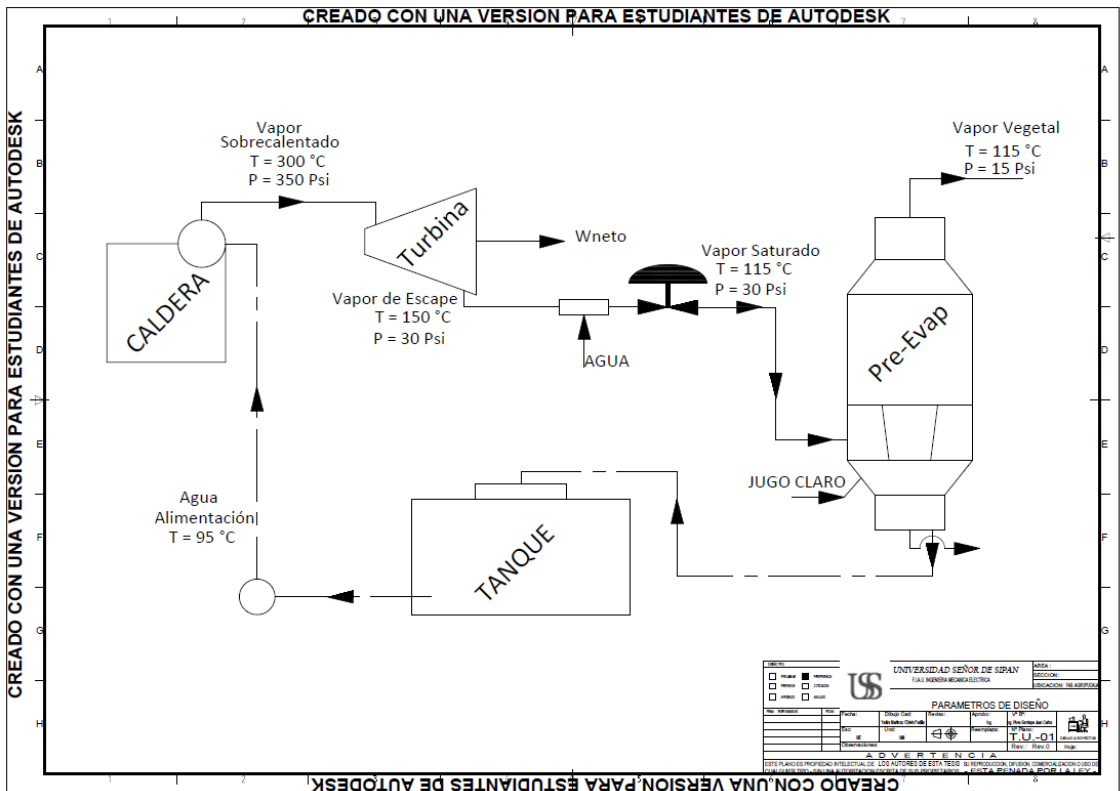


Figura 28: Esquema termodinámico del ciclo de evaporación.

Para poder observar el esquema con mayor facilidad, véase el Plano N° 02

Ahora conociendo estos datos y sabiendo la cantidad a procesar de tn caña/día, podemos conocer la cantidad de jugo claro obtenido, la cantidad de masa a evaporar, la cantidad de jarabe que se obtiene y la cantidad de vapor empleado.

➔ Resultados con los equipos existentes y una capacidad de 3500 tn caña/día
Primero se calcula la capacidad de molienda por hora, asumiendo que:

- Horas de molienda = 24 - 2 horas por mantenimiento = 22 horas

$$\frac{\text{Molienda}}{\text{Horas}} = \frac{3600}{22} = 163.6 \text{ Tn/h}$$

Del laboratorio se obtienen los siguientes datos

- Jugo mezclado % caña: 92.10%
- Jugo filtrado % caña: 13.5 %. (Datos de laboratorio)

Entonces,

$$\text{Jugo mezclado} = 163.6 \frac{\text{tn}}{\text{h}} \times 0.9210 = 150.71 \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

jugo mezclado + jugo filtrado = Jugo encalado

$$92.10 \% + 13.5 \% = 105.6 \%$$

$$\text{Jugo encalado} = 163.6 \frac{\text{tn}}{\text{h}} \times 1.056 = 172.76 \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

Calculando Tn/h de cachaza:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Tn}}{\text{h}} \text{ cachaza} &= \left(\frac{^{\circ}\text{BxJE} - ^{\circ}\text{BxJC}}{^{\circ}\text{BxJE}} \right) \times \frac{\text{Tn}}{\text{h}} \text{ JE} \\ &= \left(\frac{15 - 14}{15} \right) \times 172.76 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} \\ &= 11.52 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} \text{ de cachaza} \end{aligned}$$

Finalmente, la cantidad en Tn/h de jugo claro (J) es:

$$J = \text{JE} - \text{cachaza}$$

$$J = 172.76 \frac{\text{Tn}}{\text{h}} - 11.52 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

$$J = 161.24 \text{ Tn/h}$$

Una vez obtenido el tonelaje por hora de Jugo Claro, podemos calcular el tn/h de jarabe y masa a evaporar, según la formula descrita en el ítem 2.3.3.5:

Tn/h de Jarabe (S):

$$S = J \left(\frac{^{\circ}\text{Bx JC}}{^{\circ}\text{Bx Jarabe}} \right)$$

$$S = 161.24 \times \left(\frac{14}{65} \right) = 34.73 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

Tn/h de Masa a Evaporar (E):

$$E = J - S$$

$$E \text{ (TOTAL)} = 161.24 - 34.73 = 126.51 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

Por último, se calculó el agua evaporada solo en el pre-evaporador, el jugo neto y el vapor requerido.

Jugo neto a obtener:

$$S_{\text{neto}} = 161.24 \times \left(\frac{14}{21} \right) = 107.49 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

Masa a Evaporar en el pre-evaporador ($E_{\text{pre-evap}}$):

$$E_{\text{pre-evap}} = 161.24 - 107.49 = 53.75 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

Cálculo del vapor requerido (W):

$$W \times \lambda_v = (\omega \times \lambda_{\text{agua}}) + \frac{\text{Tn}}{\text{h}} \text{JC} \times C_p \times \Delta T$$

$$W \times 516.14 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$= \left(53.75 \times 525 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) + [161.24 \times 0.91 \times (115 - 90)^{\circ}\text{C}]$$

$$W = 61.78 \frac{Tn}{h} \times 1.10 \text{ (perdidas)}$$

$$W = 67.96 \frac{Tn}{h}$$

Es importante saber que este vapor requerido es el que consume los 3 pre-
evaporadores en funcionamiento.

→ Resultados empleando el equipo a rediseñar y equipos existentes funcionales
y una capacidad de 5000 tn caña/día.

Primero se calcula la capacidad de molienda por hora, asumiendo que:

- Horas de molienda = 24 - 2 horas por mantenimiento = 22 horas

$$\frac{\text{Molienda}}{\text{Horas}} = \frac{5000}{22} = 227.27 \frac{Tn}{h}$$

Del laboratorio se obtienen los siguientes datos

- Jugo mezclado % caña: 92.10%
- Jugo filtrado % caña: 13.5 % (Datos de laboratorio)

Entonces,

$$\text{Jugo mezclado} = 227.27 \frac{Tn}{h} \times 0.9210 = 209.32 \frac{Tn}{h}$$

jugo mezclado + jugo filtrado = Jugo encalado

$$92.10 \% + 13.5 \% = 105.6 \%$$

$$\text{Jugo encalado} = 227.27 \frac{Tn}{h} \times 1.056 = 240 \frac{Tn}{h}$$

Calculando Tn/h de cachaza:

$$\begin{aligned} \frac{Tn}{h} \text{ cachaza} &= \left(\frac{^{\circ}BxJE - ^{\circ}BxJC}{^{\circ}BxJE} \right) \times TnJE \\ &= \left(\frac{15 - 14}{15} \right) \times 240 \frac{Tn}{h} \\ &= 16 \frac{Tn}{h} \text{ de cachaza} \end{aligned}$$

Finalmente, la cantidad en Tn/h de jugo claro(JC) es:

$$\begin{aligned}
 J &= JE - \text{cachaza} \\
 J &= 240 \frac{Tn}{h} - 16 \frac{Tn}{h} \\
 J &= 224 \frac{Tn}{h}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenido el tonelaje por hora de Jugo Claro, podemos calcular el tn/h de jarabe y masa a evaporar, según la formula descrita en el ítem 2.3.3.5:

Tn/h de Jarabe (S):

$$\begin{aligned}
 \text{Masa a Evaporar} &= Tn JC \left(\frac{^{\circ}Bx \text{ Jarabe} - ^{\circ}Bx \text{ Jugo claro}}{^{\circ}Bx \text{ Jarabe}} \right) \\
 &= 223.72 \frac{Tn}{h} \left(\frac{65 - 14}{65} \right) \\
 \text{Masa a evaporar (TOTAL)} &= 175.5 \frac{Tn}{h}
 \end{aligned}$$

Por tanto, la diferencia entre el jugo claro y el agua a evaporar nos permitirá conocer la cantidad de jarabe a obtener.

$$\begin{aligned}
 \frac{Tn}{h} \text{ Jarabe} &= Tn JC - \text{Agua evaporada} \\
 &= 223.72 - 175.5 \\
 &= 48.22 \frac{Tn}{h}
 \end{aligned}$$

Por último, se calculó el agua evaporada solo en el pre-evaporador, el jugo neto y el vapor requerido.

Agua evaporada en el Pre evaporador:

$$\begin{aligned}
 \omega &= 223.72 \frac{Tn}{h} \left(\frac{21 - 14}{21} \right) \\
 \omega &= 74.57 Tn/h
 \end{aligned}$$

Jugo neto:

$$223.72 - 74.57 = 149.15 \text{ Tn/h}$$

Cálculo del vapor requerido (W):

$$W \times \lambda_v = (\omega \times \lambda_{agua}) + \frac{Tn}{h} JC \times C_p \times \Delta T$$

$$W \times 516 \frac{Kcal}{Kg} = \left(74.57 \times 252 \frac{Kcal}{Kg} \right) + [223.72 \times 0.91 \times (115 - 90)^\circ C]$$

$$W = 85.73 \frac{Tn}{h} \times 1.10 \text{ (perdidas)}$$

$$W = 94.31 \text{ Tn/h}$$

Es importante saber que este vapor requerido es para el caso de que funcione el equipo diseñado (suple a un pre en funcionamiento más el equipo en desuso) más dos pre-evaporadores en funcionamiento.

Finalmente haciendo una comparación entre la capacidad de la fábrica actual y con la capacidad planteada:

Tabla 20: Comparativo de capacidades.

	CAPACIDAD DE 3500 TN CAÑA/DIA	CAPACIDAD DE 5000 TN CAÑA/DIA
Jugo Claro	161.24 Tn/hr	223.72 Tn/h
Masa a Evaporar	126.51 Tn/hr	175.5 Tn/hr
Miel	34.73 Tn/hr	48.22 Tn/hr
Agua evaporada en el pre	53.75 Tn/hr	74.57 Tn/hr
Jugo a la salida del pre	107.49	149.15
Vapor Requerido	68.22 Tn/hr	94.31 Tn/hr

Fuente: Propia.

3.1.4. Diseño de la capacidad del pre-evaporador bajo parámetros térmicos y mecánicos determinándose las dimensiones del equipo y los materiales.

Para obtener la capacidad del equipo a diseñar primero se determinó la capacidad de las maquinas existentes a una molienda de 3600tn de caña diaria, debido a que estos equipos trabajan a su capacidad máxima o a sobreesfuerzo, a continuación, el cálculo:

- Se utilizó como punto de comparación la superficie calorífica en los equipos existentes.

Tabla 21: Superficie calorífica

	ft ²	%
B.M.A.	15000	53.86
SQUIER	7500	26.93
B&W	5350	19.21%
Mc NEIL	4500	No Operativo
TOTAL	27850	100%

Fuente: Propia.

Entonces, si sabemos que estos equipos en conjunto evaporan 53.75 tn/hr de agua, cada uno.

Tabla 22: Evaporación de equipos existentes.

	JC a la entrada	Ω	J.N. salida	Vapor Requerido
B.M.A.	86.84	28.95	57.89	36.74
SQUIER	43.42	14.47	28.95	18.37
B&W	30.97	10.33	20.65	13.11
Total	161.24	53.75	107.49	68.22

Fuente: Propia.

Ahora sabiendo la capacidad por equipo, se escogió el de menor capacidad para que esté en STAND BY y se reemplazó el equipo no operativo por nuestro diseño. A continuación, se presenta la cantidad de jugo a procesar del equipo nuevo:

Tabla 23: Evaporación de equipo nuevo.

	JC a la entrada	ω	J.N. salida	Vapor Requerido
B.M.A.	86.84	28.95	57.89	36.74
SQUIER	43.42	14.47	28.95	18.37
NUEVO	93.45	31.15	62.31	39.20
	223.72	74.57	149.15	94.31

Fuente: Propia.

3.1.4.1. Dimensionamiento de los componentes del pre-evaporador.

Se seleccionó dentro de los tipos de pre-evaporadores al modelo Roberts, debido a que en su diseño se puede hacer uso de tubos con mayor altura que en otro tipo de manera que se aumente el área de calefacción. Otro beneficio de este tipo de equipo es que en su calandria cuenta con un tubo bajante central que proporciona una conveniente ubicación para el descenso del jugo concentrado.

A continuación, detallaremos el diseño de cada componente:

3.1.4.2. Calandria

Tubos de Calandria:

- **SELECCIÓN DE MATERIAL:** el material normalizado para este tipo de equipo es el cobre, latón o acero. Nosotros seleccionamos tubos de acero al carbono, si bien es cierto que su conductividad es menor que la del cobre en cuanto a su tiempo de vida es mayor por su dureza.

Tabla 24: Propiedades físicas de materiales.

	COBRE	LATON (al 70%Cu 39%Zn 1%Sn)	Acero Inoxidable AISI 304
Conductividad (K)	401 W/m·K	110 W/m·K	17,2 W/m·K
Densidad (ρ)	8933 Kg/m ³	8530 Kg/m ³	8000 Kg/m ³
Calor Específico (c_p)	385 J/kg·K	380 J/kg·K	500 J/kg·K
Dureza, Rockwell			B92 max

Fuente: Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de transferencia de calor, realizado por la Universidad de Sevilla en septiembre del 2013, publicado en Url: http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf

○ **DIAMETRO DE LOS TUBOS:**

Las dimensiones más frecuentes en tubos de acero son las siguientes:

27x30	31x35	45x50
-------	-------	-------

De estos valores se seleccionó el valor **32x35**, el cual es un valor comercial en la industria manufacturera. Además, se consideró este valor apoyándonos en que se tomó como referencia al pre-evaporador B.M.A. existente en la agroindustria de Pucalá

○ **LONGITUD DE LOS TUBOS:**

En ingenios de la caña es prudente mantenerse debajo de estos valores máximo, a continuación, se detallan:

Tabla 25: Longitudes máximas en tuberías.

DIAMETRO (mm)	LONGITUD (m)	LONGITUD OPTIMA (M)
46 X 50	1.70	1.50
36 X 40	2.50	2
32 X 35	3	2.50
27 X 30	4	3.25

Fuente: Propia.

Por tanto, se seleccionó una altura de 2.75 mts. Tomando como referencia un promedio entre los dos valores.

○ **DISPOSICION DE LOS TUBOS:**

Los tubos se disponen generalmente en rombos sobre la placa de la calandria, como a continuación se ilustra

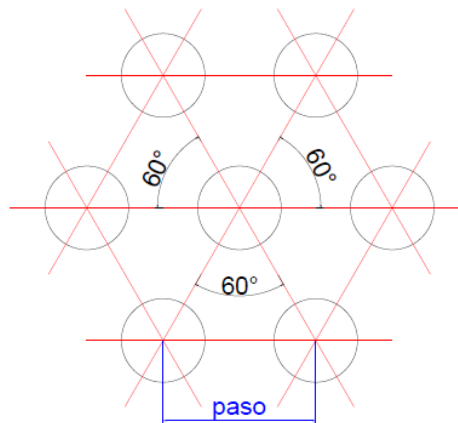


Figura 29: Geometría de tubos alineados.

Con esta geometría los tubos quedan alineados formando triángulos equiláteros (lados iguales) y a su vez permite la densidad máxima de tubos.

La distancia entre los centros de dos tubos se conoce como paso y se calcula mediante la ecuación:

$$p = 1.35d_e$$

Reemplazando en la ecuación los datos anteriormente seleccionados, se obtiene que el paso es:

$$p = 1.35(35)$$

$$p = 47.25$$

NOTA: Las perforaciones de las placas de la calandria que se destinan a recibir los tubos, deben tener aproximadamente 0.5 a 1mm más de diámetro que el exterior de estos.

○ **DETERMINACION DEL NUMERO DE TUBOS:**

Primero se realizó el cálculo de la superficie calorífica, mediante la siguiente formula:

$$S_c = A_c \times L \times N^{\circ} \text{de tubos} = \left(\frac{\pi \cdot d_e \cdot L}{4} \right) \cdot N^{\circ} \text{de tubos}$$

Dónde: L = Longitud, en pies.

d_e = Diámetro exterior, en pies.

Haciendo uso de los equipos existentes y teniendo en cuenta que sea de características similares.

Tabla 26: Pre- evaporador B.M.A.

BMA				
# DE TUBOS=	5000		5000.00	
DIAM- EXTERI=	0.032	mm	1.26 0.33	pulg ft
ALTURA DE TUBOS	2.8	m	9.186	ft
Sup. De calentamiento=			15149.52	ft ²
JC a la entrada=	86.84		86.84	Tn/h

Fuente: Propia.

Luego se realizó una interpolación simple entre la superficie de calentamiento y la cantidad de vapor.

Tabla 27: Superficie de interpolación.

	B.M.A.	NUEVO
Superficie calorífica	15000	X
JC a la entrada	86.84	93.45

Fuente: Propia.

De donde la superficie de calefacción para el nuevo pre es:

Superficie calorífica=	16302.66	PIES ²
---------------------------	----------	-------------------

Finalmente, se utilizó una, S_c=16500 ft² con la finalidad de trabajar con un valor entero.

Ahora para calcular número de tubos:

$$N^{\circ} \text{ de tubos} = \frac{S_c}{A_c \times L}$$

Tabla 28: Número de tubos.

DIAMETRO exterior	0.035	mm	1.38	pulg
			0.36	ft
ALTURA DE TUBOS	2.75	m	9.022	ft

Fuente: Propia.

$$N^{\circ} \text{ de tubos} = \frac{16500}{0.36 \times 8.202} = 5576.41 \cong 5600$$

Diámetro de Calandria

Apoyándonos del pre-evaporador similar dentro del ingeniero azucarero, se partió de un diámetro igual a:

Tabla 29: Diámetro de calandria.

	B.M.A.	NUEVO
S_c (ft ²)	15000	16500
N° de tubos	5000	5600
Diámetro de Calandria (m)	3.5	3.92 \cong 4

Fuente: Propia.

Fijación de la Calandria

La placa de calandria será sujeta al tubo cobertor mediante unión por perno. Los pernos serán de alta resistencia bajo especificaciones ASTM A325, cuya fabricación es bajo tratamiento térmico y con un acero temperado a medio carbono. En cuanto a la resistencia mínima a la tensión:

Para \varnothing ½ a 1 pulg.	120 Ksi
Para \varnothing 1 ¼ a 1 ½ pulg.	105 Ksi

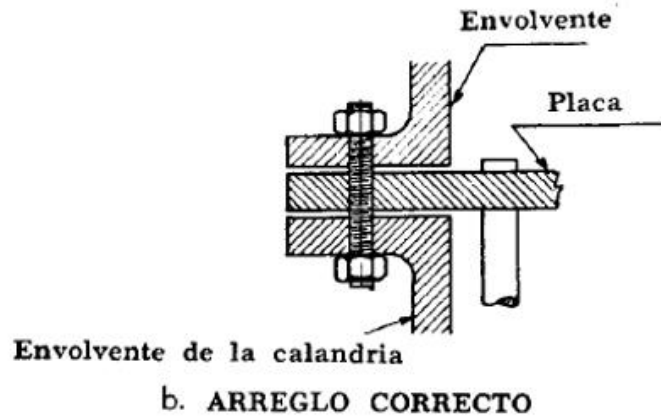


Figura 30: Fijación de la calandria, arreglo correcto.

Entonces, al diámetro calculado se le agrega el espacio para la sujeción, que serían 10 cm. Por tanto, el diámetro de calandria sería 4.2 mts.

Tubo Central de descenso de la Calandria

Esta pieza fundamental del pre-evaporador es donde el jugo claro ya procesado dentro de la calandria desciende para ir a la batería de evaporación. Según Rein en su libro Ingeniería de la Caña de azúcar, el tubo central tiene que tener un diámetro entre 1/4 y 1/8 del diámetro de la calandria.

Hugot en su manual para ingenieros azucareros, que es la base de esta industria, nos menciona que el diámetro del tubo central debe estar entre 32" y 40".

Nosotros con fines justificativos, haremos una comparación entre el pre-evaporador más grande de la agroindustria Pucalá y el equipo a diseñar para generar una medida referencial:

Tabla 30: Interpolación.

	B.M.A.	NUEVO
Diámetro de Calandria (m)	3.5	4.2
Diámetro tubo central(mm)	800	x

Fuente: Propia.

Entonces $\rightarrow X=960$ mm; que

$32''=812.8 < 960 < 40''=1016 \leftarrow$ Esta dentro del rango teorico.

Relación Calandria-tubo central: $\frac{1}{4.375}$

Como una mejora para nuestro diseño se considerará el uso de varios tubos de 150 mm de diámetro que actuaran como barras de soporte y como tubos bajantes distribuidos uniformemente en el cuerpo, lo cual según estudios australianos conducen a mayores tasas de evaporación, incrementando hasta en un 7.5% (Watson 1986).

Nota: Los tubos bajantes se extienden por debajo de la placa de tubos hasta alrededor de 50 mm del fondo cónico.

Analizando;

- **Punto de Referencia B.M.A.**

Tabla 31: Punto de referencia (MBA)

	B.M.A.
Diámetro de Calandria (m)	3.5
Diámetro tubo central(mm)	800 (e=5/8 y h=3.3m)
N° de Tubos de Calandria	5000
Dimensiones de los Tubos de Calandria	29.5x32 (h=2.8)

Fuente: Propia.

Determinaremos el volumen de JC que llevan los tubos intercambiadores con la capacidad del tubo central, recordemos que es un proceso continuo y que el JC no se quedara depositado.

Tabla 32: Volumen del jugo en la calandria.

NOMBRE DE PIEZAS	CANTIDAD	FORMULAS	PARAMETROS				Volumen (mm ³)	Volumen (m ³)	VOLUMEN TOTAL
			H	D	D	espesor			
Volumen de Jugo en los Tubos de Calandria	5000	$V = [\pi \cdot h \cdot d^2] / 4$	2800	28.5	32	1.75	1786231.04	0.0018	8.93
Recordemos que trabajan a 1/3 de su altura									
2.98									

Tubo Central	1	$V = [\pi \cdot h \cdot d^2] / 4$	3300	800.000	1231.75	5/8	1658760921.10	1.6588	1.6588
			mm	mm	mm	pulg			

En Porcentaje el Cono puede albergar solo el	56%
--	------------

Fuente: Propia.

Como podemos observar en el resultado un pre-evaporador puede funcionar correctamente utilizando un cono central que solo puede albergar 50% del jugo que se está procesando, debido a las velocidades internas del mismo proceso.

- **Análisis de las dimensiones asignadas al tubo central y soportes del equipo a diseñar.**

Tabla 33: Análisis de las dimensiones asignadas.

	B.M.A.
Diámetro de Calandria (m)	4.2
Diámetro tubo central(mm)	960 (e= 5/8" y h= 3.45m)
Soportes (mm)	150 (e=1/2' y h=3.25)'
Nº de Tubos de Calandria	5600
Dimensiones de los Tubos de Calandria	32 x 35 (h=2.75)

Fuente: Propia.

Tabla 34: Volumen de jugo en la calandria 5600.

NOMBRE DE PIEZAS	CANTIDAD	FORMULAS	PARAMETROS				Volumen (mm ³)	Volumen (m ³)	VOLUMEN TOTAL
			h	D	D	espesor			
Volumen de Jugo en los Tubos de Calandria	5600	$V = [\pi \cdot h \cdot d^2] / 4$	2750	32	35	1.5	2211681.23	0.0022	12.39
Recordemos que trabajan a 1/3 de su altura									
									4.13
Tubo central	1	$V = [\pi \cdot h \cdot d^2] / 4$	3450	960.000	991.75	5/8"	2497189168.5	2.4972	2.4972
Tubos	20	$V = [\pi \cdot h \cdot d^2] / 5$	3250	150	175.4	1/2"	57432240.7	1.1486	1.1486
TOTAL									3.6458

En Porcentaje el Tubo central puede albergar solo el 88%

Fuente: Propia.

Como podemos observar en el resultado el pre-evaporador a diseñar trabajará utilizando un cono central que puede albergar el 88% del jugo que se está procesando, pero nosotros con fines de reducir precios y material utilizaremos un tubo central de 800 mm de diámetro interno que nos permitirá albergar hasta un 70% del JC, a continuación, se presenta la tabla de dicho calculo:

Tabla 35: Volumen de jugo en la calandria con el 70%.

NOMBRE DE PIEZAS	CANTIDAD	FORMULAS	PARAMETROS				Volumen (mm ³)	Volumen (m ³)	VOLUMEN TOTAL
			h	D	D	espesor			
Volumen de Jugo en los Tubos de Calandria	5600	$V = [\pi.h.d^2]/4$	2750	32	35	1.5	2211681.23	0.0022	12.39
Recordemos que trabajan a 1/3 de su altura									4.13
Tubo central	1	$V = [\pi.h.d^2]/4$	3450	800.000	831.75	5/8"	1734159144.8	1.7342	1.7342
Tubos	20	$V = [\pi.h.d^2]/5$	3250	150	175.4	½"	57432240.7	1.1486	1.1486
TOTAL									2.8828
En Porcentaje el tubo central puede albergar solo el									70%

Fuente: Propia.

Resumen de las dimensiones de calandria:

Tabla 36: Resumen de las dimensiones de la calandria.

Calandria	
Diámetro	4.2 (m)
Espesor	1 ¼ (pulg)
Material	Acero Inoxidable AISI 304 (Plancha)
Cantidad	2 und.
Tubos de Calandria	
Diámetro exterior	35 (mm)
Diámetro interior	32 (mm)
Longitud	2.75 (m)
Paso	47.25 (mm)
N° de tubos	5600
Material	Acero Inoxidable AISI 304
Tubo Central de Descenso	
Diámetro	800 (mm)
Espesor	5/8 (pulg)
Longitud	3.45 (m)
Cantidad	1 und.
Material	Acero Inoxidable AISI 304 (Plancha)
Tubos Bajantes y de Soporte	
Diámetro interior	150 (mm)
Espesor	1/2 (pulg)
Longitud	3.25 (m)
Cantidad	20 und.
Material	Acero Inoxidable AISI 304 (Plancha)

Fuente: Propia.

3.1.4.3. Cuerpo:

➤ **ALTURA DEL CUERPO:**

Este espacio representa el mayor volumen del aparato, no tiene utilidad para el jugo, puesto que su objeto es disminuir los riesgos de arrastre de gotas de líquido que se proyecta por la ebullición del jugo.

Generalmente la altura del cuerpo debe ser 1.5 a 2 veces la longitud de los tubos de calandria.

Por tanto:

$$H_c = 1.75(L_{\text{tubo de calandria}})$$

$$H_c = 1.75(2.75)$$

$$H_c = 4.8125 \equiv 5\text{m}$$

➤ **DIAMETRO DEL CUERPO:**

La sección horizontal del cuerpo, debe ser de 1 m² por cada 400 m³/h de vapor producido.

Si sabemos que el pre-evaporador evaporará 53tn/h de vapor y que la densidad del vapor a 115°C es

Interpolamos

110	1.21
115	x
120	0.8919

$$\frac{120 - 110}{120 - 115} = \frac{0.8919 - 1.21}{0.8919 - x} \Rightarrow x = 1.05095 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Entonces:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

$$\text{Volumen} = \left(\frac{53000}{1.05095} \right) \left(\frac{\frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 50430.562 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Si: 1m² → 400m³/h

$$\text{Area} = \frac{50430.562}{400} = 126.0764\text{m}^2$$

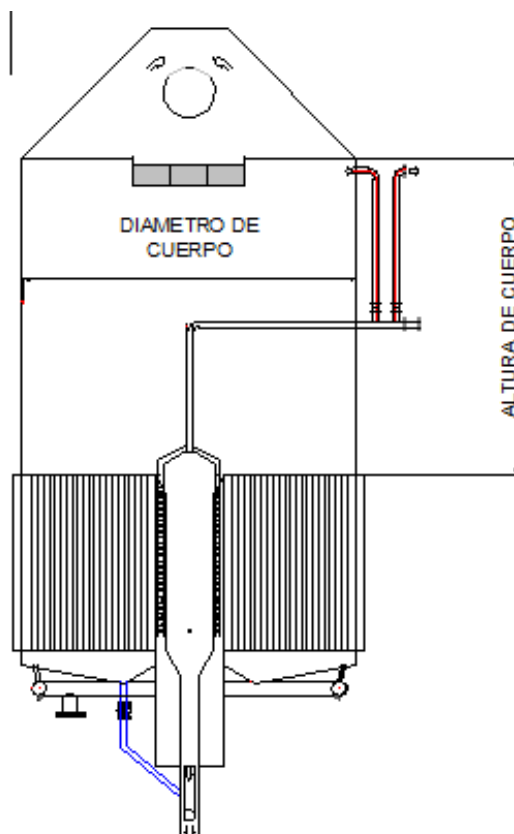
Finalmente: $\text{Area} = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$

$$d = \sqrt{\text{Area} \left(\frac{4}{\pi} \right)} = 12.6698\text{m}$$

Como podemos observar el resultado es un diámetro sobredimensionado, casi 3 veces más del que se seleccionó.

El diámetro seleccionado partiendo de la realidad y examinando los equipos existentes en la fábrica y en otras empresas será de dimensiones similares al diámetro primitivo de calandria sin los espacios de sujeción.

Entonces el Diámetro del cuerpo sería:



$$D_{\text{cuerpo}} = D_{\text{calandria}} - 0.2$$

$$D_{\text{cuerpo}} = 4.2 - 0.2 = 4 \text{ m}$$

Resumen de las dimensiones del cuerpo:

Altura	5 m
Diámetro	4 m
Material	Planchas A36 de e=5/8

Figura 31: Geometría del Pre-evaporador.

3.1.4.4. Tubo de Vapor Vegetal

- Peso del vapor que debe proporcionarse por segundo $\rightarrow P=31.15 \text{ Tn/h (31150 Kg/Hr)}$.
- Temperatura de este vapor $\rightarrow 115^\circ\text{C}$.
- Velocidad del vapor elegida $\rightarrow V=25 \text{ m/s}$.

Primero se calcula el peso del vapor con un 10% más:

$$P' = 1.1 P = 1.1(31150) = 34650 \text{ Kg/h}$$

Usando la tabla siguiente obtendremos el peso específico a 115°C , que es 0.9650 Kg/m^3 .

Tabla 37: Volumen de vapor.

t	p	p'	q	r	λ	$\bar{\omega}$	v
101	1.0707	0.0375	101	538.3	639.3	0.6179	1.618
102	1.1092	0.0760	102	537.6	639.6	0.6387	1.565
103	1.1489	0.1157	103.1	536.9	640	0.6601	1.515
104	1.1898	0.1566	104.1	536.2	640.3	0.6820	1.466
105	1.2318	0.1986	105.1	535.6	640.7	0.7045	1.419
106	1.2751	0.2419	106.1	535	641.1	0.7276	1.374
107	1.3196	0.2864	107.1	534.3	641.4	0.7514	1.331
108	1.3654	0.3322	108.1	533.6	641.7	0.7758	1.289
109	1.4125	0.3793	109.1	533	642.1	0.8008	1.249
110	1.4609	0.4277	110.1	532.4	642.5	0.8265	1.210
111	1.5106	0.4774	111.1	531.8	642.9	0.8528	1.173
112	1.5618	0.5286	112.1	531.1	643.2	0.8798	1.137
113	1.6144	0.5812	113.2	530.4	643.6	0.9075	1.102
114	1.6684	0.6352	114.2	529.7	643.9	0.9359	1.068
115	1.7239	0.6907	115.2	529.1	644.3	0.9650	1.036

Fuente: Transferencia de calor, 2012.

El volumen de vapor que debe manejarse es entonces:

$$Q = \frac{34650}{0.9650} = 35906.7358 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

En, m^3/s :

$$q = \frac{35906.7358}{3600} = 9.9741 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; 9974.09 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Entonces, convertimos la velocidad en dm/s , que es igual a 250 dm/s . La sección transversal necesaria será:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{9974.09}{250}$$

$$D = \sqrt{\frac{9974.09}{250} \times \frac{4}{\pi}} = 7.1272 = 712.72 \text{ mm}$$

Finalmente se tomará $D=720 \text{ mm}$

3.1.4.5. Tubo de Ingreso de Vapor

- **Peso del vapor que debe proporcionarse por segundo** → P=39.20 Tn/h (39200 Kg/Hr).
- **Temperatura de este vapor** → 115°C.
- **Velocidad del vapor elegida** → V=25 m/s.

Primero se calcula el peso del vapor con un 10% más:

$$P' = 1.1 P = 1.1(39200) = 43120 \text{ Kg/h}$$

Usando la tabla siguiente obtendremos el peso específico a 115°C, que es 0.9650Kg/m³.

Tabla 38: Volumen de vapor.

<i>t</i>	<i>p</i>	<i>p'</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>λ</i>	$\bar{\omega}$	<i>v</i>
101	1.0707	0.0375	101	538.3	639.3	0.6179	1.618
102	1.1092	0.0760	102	537.6	639.6	0.6387	1.565
103	1.1489	0.1157	103.1	536.9	640	0.6601	1.515
104	1.1898	0.1566	104.1	536.2	640.3	0.6820	1.466
105	1.2318	0.1986	105.1	535.6	640.7	0.7045	1.419
106	1.2751	0.2419	106.1	535	641.1	0.7276	1.374
107	1.3196	0.2864	107.1	534.3	641.4	0.7514	1.331
108	1.3654	0.3322	108.1	533.6	641.7	0.7758	1.289
109	1.4125	0.3793	109.1	533	642.1	0.8008	1.249
110	1.4609	0.4277	110.1	532.4	642.5	0.8265	1.210
111	1.5106	0.4774	111.1	531.8	642.9	0.8528	1.173
112	1.5618	0.5286	112.1	531.1	643.2	0.8798	1.137
113	1.6144	0.5812	113.2	530.4	643.6	0.9075	1.102
114	1.6684	0.6352	114.2	529.7	643.9	0.9359	1.068
115	1.7239	0.6907	115.2	529.1	644.3	0.9650	1.036

Fuente: Propia.

El volumen de vapor que debe manejarse es entonces:

$$Q = \frac{43120}{0.9650} = 44683.9378 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

En, m³/s:

$$q = \frac{44683.9378}{3600} = 12.4122 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; 12412.2 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$$

Entonces, convertimos la velocidad en dm/s, que es igual a 250dm/s. La sección transversal necesaria será:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{12412.2}{250}$$

$$D = \sqrt{\frac{12412.2}{250} \times \frac{4}{\pi}} = 7.9508 = 795.08 \text{ mm}$$

Finalmente se tomará D=800 mm

Pero con fines de mejorar la entrada del vapor se usarán 2 tubos de vapor de diámetro 400 c/u.

Tabla 39: Resumen de las dimensiones de las Tuberías de Vapor.

Tubería de Vapor Vegetal	
Altura	6.4m (comercial)
Diámetro	720 (mm) [Comercial 30"]
Material	Tubo de Acero ASTM A53 SCH20
Tubería de Ingreso de Vapor	
Altura	6.4m (comercial)
Diámetro	400 (mm) [Comercial 16"]
Material	Tubo de Acero ASTM A53 SCH80

Fuente: Propia.

3.1.4.6. Tubos de Vapor no Condensado

Este tipo de tubería suele ser de diámetros muy pequeños con relación a las dimensiones del equipo, generalmente están ubicados en un punto alejado de la entrada de vapor y a 10 cm de la placa inferior de la calandria.

Nosotros utilizaremos tubos de 2 pulgadas de diámetro exterior y material acero inoxidable. Nuestro punto de referencia han sido los equipos de evaporación de Agro Pucalá, cuyos equipos utilizan el mismo diámetro para los gases no condensables.

3.1.4.7. Separador de Arrastres

Posicionamiento del arrastre:

Existen dos requerimientos para determinar donde se debe instalar el separador de arrastre del evaporador.

- Debe ser suficientemente elevado para no ser afectado por salpicaduras de líquidos desde la superficie de ebullición.
- Debe ubicarse a suficiente distancia de la salida de vapor de manera que el patrón del flujo de vapor sea uniforme a través de la sección de corte del separador.

Altura a partir de encima de la calandria es de 4 m a 5m, seleccionamos el promedio 4.5m.

Dimensionamiento de los separadores:

Los arrastradores operan con mayor eficiencia elevadas velocidades, se calculó las velocidades.

- **Velocidad ascendente:**

$$u_{max} = C \cdot \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5}$$

Se calcula la densidad del vapor seco saturado (G) y la densidad del agua saturada (L).

C, es el coeficiente de Souders – Brown.

Densidad del Vapor seco saturado (G)

Presión = 30 PSI = 2.109 kg/cm²

Interpolamos:

Tabla 40: Densidad de vapor seco.

2.00	→	1.109
2.109	→	X
2.5	→	1.367

Fuente: Propia.

$$\frac{2.00 - 2.5}{2.109 - 2.5} = \frac{1.109 - 1.367}{X - 1.367}$$

$$X = \rho_G = 1.165 \frac{kg}{m^3} \text{ (igual valor de tabla spirax sarco)}$$

Densidad del agua saturada (L):

$$\rho_L = 931.044 \frac{Kg}{m^3} \text{ (de tabla spirax sarco)}$$

Valores constantes que se hallan en las ecuaciones.

$$u_{max} = 0.19 \cdot \left(\frac{931.044 - 1.165}{1.165} \right)^{0.5} = 5.368 \frac{m}{s}$$

- **Velocidad superficial:**

$$u_o = \left(\frac{C' \cdot u_{max}}{1.25} \right)$$

$$u_o = \left(\frac{1 \times 5.368}{1.25} \right) = 4.294 \frac{m}{s}$$

- **Área requerida:**

$$A = \frac{\dot{V}}{u_o}$$

Vapor requerido para el nuevo evaporador= 39.6342 Tn/h

$$\dot{V} = \frac{V_{requerido \text{ para el nuevo evaporador}}}{\rho_V}$$

$$\dot{V} = \frac{39.6342 \frac{Tn}{h}}{1.165 \frac{Tn}{m^3}} = 34.021 \frac{m^3}{h} \times \frac{1 h}{3600 s} = 0.00945 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{0.00945 \frac{m^3}{s}}{4.294 \frac{m}{s}} = 0.0022 m^2 \times \frac{10000 cm^2}{1 m^2} = 22 cm^2$$

- **Caída de presión a través del separador:**

La caída de presión en los separadores está dada en el orden de 100-250 Pa.

$$\Delta p = K \cdot \left(\frac{u_o^2 \cdot \rho_v}{2} \right)$$

K=15 (para estimación preliminar-según Rein)

$$\begin{aligned} \Delta p &= 15 \left(\frac{4.294^2 \times 1.165}{2} \right) = 161.11 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 161.11 Pa \\ &= 0.16111 KPa = 0.0234 PSI \end{aligned}$$

3.1.4.8. Tolerancias y Consideraciones

Para el diseño de la calandria se tendrá en cuenta la tolerancia de 15 mm al contorno del tubo central y 10 mm a los tubos bajantes de soporte.

3.1.5. Análisis de costo beneficio, para la fabricación del pre-evaporador.

Tabla 41:

Cuadro de Cronograma de Presupuesto.

Ítems	Detalle	Servicio	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
		Elaboración del Proyecto				S/.320,00
1	Generalidades					
1.1	Introducción					
1.2	Marco teórico					
1.3	Marco metodológico	Internet	Mes	4	S/. 80	S/.320,00
1.4	Marco administrativo					
1.5	Referencias y anexos					
1.6						
2		Presentación del Proyecto				S/. 3048,00
	Asesoramiento					S/. 3000,00
2.1	Revisión	impresiones	Unid	80	S/. 0,30	S/. 24,00
2.2	Levantamiento de observaciones	impresiones	Unid	80	S/. 0,30	S/. 24,00
2.3						
3		Aprobación del Proyecto				S/. 423,00
	Solicitud	Tramites	unid	3	S/. 5,00	S/. 15,00
3.1	Anillado	Hojas	unid	60	S/. 0,30	S/. 18,00
3.2	Grabación de disco	Servicio	unid	2	S/. 6,00	S/. 12,00
3.3	Pasajes	Pasaje	mes	18	S/. 15,00	S/. 270,00
3.4	Refrigerio	Almuerzo	unid	18	S/. 6,00	S/. 108,00
3.5						
4		Costo General				S/. 3791,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42:

Cuadro de Cronograma de Presupuesto.

COMPONENTE		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ()	PRECIO TOTAL
Calandria	Planchas de 60''x120'' e=1 ¼''	16	1064.29	17 028.64
	Tubos de Acero Inoxidable Ø 1 ¾'' L= 6m	5000	46.64	233 200
	Tubos de Soporte Ø 6 ¾'' L=6m	24	70	1680
	Por agujero en placa	10000	5	50000
Cuerpo, cilindro distribuidor, cilindro central y cobertor de calandria Cono Superior y Cono Inferior	Planchas de e=¾'' 72''x240''	28	527.61	14773.08
Tubo de Vapor	Planchas de e=½'' 60''x120''	4	341.72	1366.88
TOTAL				318048.6

Fuente: *Elaboración Propia*

3.1.6. Análisis económico (TIR) del pre-evaporador.

Tasa Interna de Retorno

Es la tasa de rendimiento que hace el valor presente neto igual a 0.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FT_t}{(1+r)^t} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad I_0 = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

Dónde: $r = \text{TIR}$

El criterio de aceptación utilizando este método es aceptar aquellas inversiones independientes cuya TIR sea igual o mayor al costo de los recursos asignados a la inversión.

Obtención del TIR:

La TIR no puede obtenerse de manera directa, se acostumbra determinar el valor por medio de la construcción de la gráfica.

Restricciones en el cálculo de la TIR:

El cálculo de una TIR equivale a obtener la raíz de la ecuación de grado n, es posible que, para una misma inversión.

- **No existe TIR.**
- **Solo hay una TIR positiva en el dominio de los números reales o**
- **Que se presente más de TIR positiva.**

Interpretación de la TIR:

La TIR tiene diversas interpretaciones, entre las que destacan:

- **Es la rentabilidad que se obtendrá por la inversión.**
- **Es la tasa de crecimiento de una inversión.**
- **La TIR es la máxima tasa de interés que se pagara a un banco.**

- **Cuando se conoce el pago de un crédito por el total de interés y capital, la TIR del pago totales una tasa de interés.**

Valor Actual Neto

Es la cantidad que un inversionista podría pagar por una inversión en exceso de su costo.

También se conoce como valor presente neto VPN.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=0} \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

I_0 = inversión inicial.

r = tasa de descuento

FE_t = flujo de efectivo en el periodo t .

t = índice de tiempo

Σ = suma de los flujos descontados

$1/(1+r)$ = factor de valor presente

Para desarrollar el siguiente análisis económico, hay que cuantificar el gasto total para la ejecución del presente proyecto. Siendo este un costo total de S/. 321, 839.60. Asumiendo que la empresa Agro – Pucalá realice un préstamo a alguna entidad bancaria con un interés mensual del 2%. Este tendrá que calcular los ingresos que este nuevo proyecto generaría siendo mayor o igual 8 000 bolsas diarias a un costo de S/. 90.00, Trabajando 20 días durante el mes viene a producir un valor actual neto de 14, 400 000.00, siendo solo destinado para inversión de proyectos el 1% siendo un total de 144 000.00 Por lo tanto apreciaremos el TIR respecto a la producción.

Tabla 43: Evaluación económica VAN y TIR.

PERÍODO / TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN DESCONTADO					
Inversión Inicial (\$)		321839.6		Interés Mensual	2.0%
Ganancia Mensual (\$)		176000			
N° Mes	Flujo de Caja (\$)	CFj (\$)	(P/F, 2%, n)	CFj(P/F, 2%, n) (\$)	Sum (\$)
0	-321839.60	-321839.60	1.00000	-321839.60	-321839.60
1	176000.00	176000.00	0.98039	172549.02	-149290.58
2	176000.00	176000.00	0.96117	169165.71	19875.13
3	176000.00	176000.00	0.94232	165848.73	185723.86
4	176000.00	176000.00	0.92385	162596.79	348320.65
5	176000.00	176000.00	0.90573	159408.62	507729.27
6	176000.00	176000.00	0.88797	156282.96	664012.24
7	176000.00	176000.00	0.87056	153218.59	817230.83
8	176000.00	176000.00	0.85349	150214.31	967445.13
9	176000.00	176000.00	0.83676	147268.93	1114714.06
10	176000.00	176000.00	0.82035	144381.30	1259095.36
11	176000.00	176000.00	0.80426	141550.29	1400645.66
12	176000.00	176000.00	0.78849	138774.80	1539420.45
13	176000.00	176000.00	0.77303	136053.72	1675474.18
14	176000.00	176000.00	0.75788	133386.00	1808860.18
15	176000.00	176000.00	0.74301	130770.59	1939630.78
16	176000.00	176000.00	0.72845	128206.46	2067837.24
17	176000.00	176000.00	0.71416	125692.61	2193529.85
18	176000.00	176000.00	0.70016	123228.05	2316757.90
19	176000.00	176000.00	0.68643	120811.81	2437569.71
20	176000.00	176000.00	0.67297	118442.95	2556012.67
21	176000.00	176000.00	0.65978	116120.54	2672133.21
22	176000.00	176000.00	0.64684	113843.67	2785976.88
23	176000.00	176000.00	0.63416	111611.44	2897588.32
24	176000.00	176000.00	0.62172	109422.98	3007011.31

Momento de Cambio	
1	-149290.58
2	19875.13

PRI / TIR (meses)	1.8825
Meses	1
Días	27

Fuente: Propia.

3.2. Discusión de resultados

1. Habiendo determinado la descripción del proceso, se recolectó información fundamental para el desarrollo de las fórmulas y diseño del equipo, mediante visitas a la fábrica y entrevistas realizadas a ingenieros y operadores. En esta información se recolectó conceptos variables en referencia al jugo claro y su vapor saturado, así como también la molienda actual. Tal como, es el caso del autor Gregorio Ortelano (2012), quien planteó los métodos de análisis de observación para su proyecto de investigación obteniendo los resultados más favorables.
2. El Diagnóstico en el que se encontró los pre-evaporadores, se compararon los equipos de Agropucala. Donde, se analizó que inicialmente la fábrica cuenta con 4 pre-evaporadores (SQUIER, MC NEIL, B&W, B.M.A) de los cuales (MC NEIL dejó de estar operativo. Se observó también el modelamiento térmico en cual fue analizado mediante visitas a la fábrica en donde se verificó un proceso de evaporación, cuya ruta sigue el vapor y el jugo claro. También se realizó un análisis del consumo de vapor por los equipos existentes y a la capacidad actual de producción de la fábrica. Todo esto permitió conocer la cantidad de jugo claro obtenido, la cantidad de masa a evaporar, la cantidad de jarabe que se obtiene y la cantidad de vapor empleado, al finalizar todo esto se pudo determinar una comparación entre la capacidad de la fábrica que tuvo y la capacidad planteada.
3. Para el establecimiento del diseño de la capacidad del pre-evaporador, se planteó con la finalidad de obtener la capacidad del equipo a diseñar, para esto se determinó la capacidad de las máquinas existentes a una molienda de 3600tn de caña diaria, debido a que estos equipos trabajan a su capacidad máxima o a sobre esfuerzo. Aquí se analizó el punto de comparación de la superficie calorífica en los equipos existentes, una vez determinado lo anterior y sabiendo la capacidad por equipo, se escogió el de menor capacidad para que esté en STAND BY y se reemplazó el equipo no operativo mencionado anteriormente por nuestro nuevo diseño. Aquí se seleccionó dentro de los tipos de pre-evaporadores al modelo Roberts, debido a que en su diseño se puede hacer uso de tubos con mayor altura que en otro tipo de manera

que se aumente el área de calefacción. Otro beneficio de este tipo de equipo es que en su calandria cuenta con un tubo bajante central que proporciona una conveniente ubicación para el descenso del jugo concentrado.

4. La determinación de materiales del pre-evaporador de modelo Roberts se basó en el diseño de cada componente, de esto se obtuvo un material normalizado para este tipo de equipos, siendo el cobre, latón o acero. Para el componente de los tubos se seleccionó tubos de acero al carbono debido a que su conductividad es menor que la del cobre y su tiempo de vida es mayor por su dureza, con respecto al diámetro de esto se seleccionó el valor 32x35, el cual es un valor comercial en la industria manufacturera y por último su longitud la cual estuvo basada para obtener lo valores máximos dentro del diámetro y la longitud tomando esto en cuenta se seleccionó una altura de 2.75 mts. Tomando como referencia un promedio entre los dos valores.
5. Para la calandria se partió de un diámetro similar al pre-evaporador dado de baja, cuya fabricación es bajo tratamiento térmico y con un acero temperado a medio carbono, vimos también el Tubo Central de descenso de la Calandria, pieza fundamental del pre-evaporador es donde el jugo claro ya procesado dentro de la calandria desciende para ir a la batería de evaporación. Según Rein en su libro Ingeniería de la Caña de azúcar, el tubo central tiene que tener un diámetro entre $1/4$ y $1/8$ del diámetro de la calandria, Como una mejora para el diseño se considerará importante el uso de varios tubos de 150 mm de diámetro los cuales actuaran como barras de soporte y como tubos bajantes distribuidos uniformemente en el cuerpo.

Capítulo IV:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

IV. Conclusiones y recomendaciones.

4.1 Conclusiones.

1. Al término, de la descripción del proceso, se concluyó mediante visitas a la fábrica y entrevistas realizadas a ingenieros y operadores. Lo cual nos permitió determinar mediante la guía de observación y entrevista a los ingenieros que laboran en las instalaciones que la molienda que trabajaron las maquinas ascendían a 3500 tn/día. Siendo un término favorable para la presente investigación, el re diseño de la maquina la cual aportaría como molienda actual 5000 tn/día, esto supone un incremento el 30% de la producción datos 100% confiables y seguros. Aportando datos importantes para el re diseño de la máquina.
2. El análisis del estado actual, determinaron las parametrizaciones que se emplearon en la máquina, por lo que fueron basadas en la selección de varios tipos de pre-evaporadores. En la cual, se tomó en cuenta al modelo Roberts, debido a que en su diseño se puede hacer uso de tubos con mayor altura que en otro tipo de manera que se aumente el área de calefacción. Esto también permitió aplicar los requerimientos de la empresa y las normas técnicas intervinientes. Donde, se concluyó con datos favorables por medio de las encuestas aplicadas. Dando paso al desarrollo fiable de los cálculos intervinientes.
3. El modelamiento matemático permitió determinar que el sistema propuesto “Modelo Roberts”. Cumple los estándares de requerimiento exigidos por la empresa Agro – industrial Pucalá S.A.A.
4. El rediseño y selección de componentes, presentaron resultados favorables tomando en cuenta una máquina que se encontraba detenida se mejo el re diseño en donde se concluyó que los dentro de las mejoras de materiales de selecciono tubos de acero al carbono debido a que su conductividad es menor que la del cobre y su tiempo de vida es mayor por su dureza, también observamos que para la calandria se tomó en cuenta un diámetro similar al pre-evaporador dedo de baja, , cuya fabricación es bajo tratamiento térmico y con un acero temperado a medio carbono y debido a la fiabilidad que presento el autor Rein en su libro Ingeniería de la Caña de azúcar, se tomó en cuenta el tubo central, el cual debe tener un diámetro entre 1/4 y 1/8 del diámetro de la calandria. Todo esto permitió brindar la seguridad que amerita el presente proyecto de investigación.

5. La determinación del análisis económico costo beneficio permitió verificar que la ejecución del presente proyecto es viable técnica y económicamente. Lo cual determina que el tiempo de recuperación de la inversión se genera en el lapso del 1er y 2do mes. Con un TIR de 1.8% y una VAN de S/. 1, 539, 420.45

4.2 Recomendaciones.

1. Elaborar un plan de mantenimiento para conservar la vida útil, del pre evaporador. Donde se recomienda que se realice cada parada mensual, para la verificación de que los elementos que conforman el equipo, se encuentren trabajando en óptimas condiciones.
2. Plantear un estudio, para la extracción de las pequeñas cutículas de agua. Cuya finalidad es incrementar la eficiencia del Pre – evaporador. Teniendo como objetivo secundario evitar el incremento del costo del equipo extractor.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Bicalho de Andrade, F. (Septiembre de 2010). El grupo hindú planta 10 mil hectareas de caña de azucar en Paraná. (G. S. Francisco, Ed.) Bio & Sugar, energy fuel mass(3), 75.

Borroto Rodriguez, M. (2007). Model Predictive Control of Sucrose Crystallization process. Articulo, Centro Azucar, Santa Clara.

C., H. G. (16 de SEPTIEMBRE de 2009). Casa Grande. Semana Económica.

Calderón, J. (18 de diciembre de 2012). Perú planea inversiones de unos \$700 millones para industria azucarera. Agro Negocios Perú. Recuperado el 6 de Mayo de 2013, de http://www.agronegociosperu.org/noticias/181212_n1.htm

Castaño P., A., & Moreno R., H. D. (2004). Diseño de Maquinas. Investigacion, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingenieria Mecanica, Medellín.

Condorchem Envitech. (s.f.). Condorchem Envitech. (C. ©. Envitech, Productor) Recuperado el 16 de Mayo de 2013, de <http://condorchem.com/es/Tecnologias/Tratamiento-de-efluentes/50-Evaporadores-al-vacio>

Condorchem Envitech. (s.f.). Condorchem Envitech. (Copyright © 2013 Condorchem Envitech) Recuperado el 16 de Mayo de 2013, de <http://condorchem.com/es/Tecnologias/Tratamiento-de-efluentes/Evaporadores-al-vacio/51-Evaporadores-al-vacio-multiple-efecto>

Diccionario de la lengua española. (2005). wordreference.com. Recuperado el 09 de Mayo de 2013, de <http://www.wordreference.com/definicion/analisis>

Diccionario de la lengua Española. (2005). WordReference.com. (D. d. 2005, Editor) Recuperado el 09 de Mayo de 2013, de <http://www.wordreference.com/definicion/montaje>

Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A. (2013). INFORME ECONOMICO. Economico, Organo Informativo de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., Chiclayo.

Empresa Agroindustrial Tuman S.A.A. (2012). VENTA DE LAS ACCIONES DEL ESTADO A LOS TRABAJADORES DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL TUMAN SAA. Folleto, CHICLAYO.

Fattobene, A. (Agosto/Septiembre de 2010). LAS MEJORES TECNOLOGIAS EN EL AREA INDUSTRIAL. (G. S. Francisco, Ed.) BIO&SUGAR Magazine(3), 75.

Jimenez, J. C. (2007). Lineamientos para la estrategia de control del Sistema de Combustión y Control de Niveles en los domos de las calderas del Ingenio San Ramón. Investigacion, Cartago.

JOSIAS MESSIAS. (4 de ABRIL/MAYO de 2012). África tiene potencial como productor de azúcar, sin embargo, tiene que superar las barreras. (J. M. BADUR, Ed.) BIO & SUGAR, 11, 44.

Larousse Editorial, S.L. (2009). Diccionario Enciclopédico Larousse (Vol. 1). Francia: Larousse S.L.

Lima, W. (Agosto/septiembre de 2010). LOS DIEZ PUNTOS CLAVES DE LA TECNOLOGIA AGRICOLA. (G. S. Francisco, Ed.) BIO&SUGAR Magazine(3), 75.

Manual de operaciones para la producción de crudos. (s.f.). Cuba.

NELSON MARTINEZ, M. M. (2000). El mezclador de vapor-soluciones azucaradas. Tesina, UCLV, FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA, CAMAGUEY.

Rein, P. (2012). Ingeniería de la Caña de Azúcar. (V. D. KG, Trad.) Berlin, Alemania: Elbe Druckerei Wittenberg.

REUTERS. (2011). Brasil baja estimación de producción de azúcar en 9% para temporada 2011/2012. America Economia. Recuperado el 07 de mayo de 2013, de

<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/brasil-baja-estimacion-de-produccion-de-azucar-en-9-para-temporada-20112012>

SALAZAR, H. G. (11 de OCTUBRE de 2009). Agro Industrial Paramonga. Semana Económica.

Suárez Peralta, L. M. (2008). Nonlinear Dynamic Models and Control of sugar evaporators in the sugar industry. Investigación, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Química y Farmacia, Ecuador.

ANEXOS:

ANEXO 01 – Resultados de la Guía de Observación para los evaporadores

ARRANQUE DE FABRICA: 12:30 am

Hora	Temperatura Calentador (°C)	Niveles			Σ C	P.V.: Entrada al Pre-evaporador	P.V. Vegatal: Salida al Evap.	Lectura de la Balanza	Tancada x hora	Brix del Jarabe	Temp. De Columna	Tn/hr (miel)
		C-1	C-2	C-3								
01:00:00 a.m.	92	-	20%	-	20%	20	5	20	20	48.3	40	179.1
02:00:00 a.m.	92	-	50%	-	50%	13	3	31	11	48.3	45	146.85
03:00:00 a.m.	98	-	40%	-	40%	17	5	41	10	48.3	45	90.13
04:00:00 a.m.	92	-	50%	-	50%	28	5	54	13	48.3	45	201.17
05:00:00 a.m.	100	20%	75%	-	95%	10	0	71	17	48.3	45	168.92
06:00:00 a.m.	105	25%	80%	-	105%	25	12	94	23	55.35	45	211.33
07:00:00 a.m.	102	25%	75%	-	100%	12	4	134	40	55.35	45	214.61
08:00:00 a.m.	100	30%	75%	-	105%	25	14	162	28	55.35	45	

Psi

Psi

NOTAS IMPORTANTES:

TANCADA : Cada tancada pesa 6 tn de jugo, se le dice asi porque es la cantidad que pesa la balanza antes de entrar a los clarificados.

C-1; C-2; C-3 =Calentador-1; Calentador-2;
Calentador-3
P.V =Presión de Vapor

ANEXO 02 – Resultador de la Entrevista para el Doc. William Villareal

Entrevista para el Doc. William Villareal



ENTREVISTA

OBJETIVO: Recopilar información general sobre el Área de evaporación en la Agroindustria Pucalá.

NOMBRE DEL ENTREVISTADO: Dr. Ing° WILLIAM VILLAREAL...

Cuestionario:

Se realizó el saludo de bienvenida a la empresa directamente por parte del Dr. Ing. WILLIAM VILLARREAL, nos presentamos hacia él presentando el motivo de nuestra visita, y que le haríamos unas preguntas, acerca de los funciones del Ing y los procesos de la fabrica azucarera.

1. ¿Cuál es el cargo que ocupa en la empresa Agroindustrial Pucalá?

Esta pregunta, no se logro, porque seria redundar, desde que se llegó a la fabrica se nos dió a conocer que el Dr.Ing. WILLIAM VILLAREAL ocupaba el cargo de Gerente de Fábrica.

2. ¿Qué labores desempeña en dicho cargo?

Nos menciona que como gerente su función general es:

Planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar las actividades de las supervisiones de fábrica, así como controlar las operaciones de molienda de caña, elaboración de Azúcar y Alcohol, logrando y dando cumplimiento a los objetivos trazados por la empresa.

Y que sus Funciones específicas son:

- Planear y programar, en coordinación con los supervisores de Fábrica, la molienda y la producción de Azúcar y de Alcohol, conforme a los programas de cosecha de caña elaborados por la Gerencia de Campo.
- Organizar programas de capacitación y entrenamiento de personal dirigidos a mejorar la productividad.
- Ejecutar las normas, políticas, planes y estrategias dadas por la Alta Dirección.
- Controlar las operaciones de producción de Azúcar y Alcohol con los Supervisores de Fabrica, con la finalidad de mantener adecuados estándares de costos, producción, eficiencia y calidad.
- Revisar y visar los programas de mantenimiento preventivo elaborados por los supervisores de fábrica, para paradas periódicas.
- Revisar y visar el Presupuestos y Planes de Trabajos de Mantenimiento de los equipos y máquinas de las diferentes unidades orgánicas del Área de Fábrica.
- Supervisar el mantenimiento, reparación y rendimiento de fábrica, así como adoptar las medidas correctivas del caso en coordinación con los supervisores de fábrica.
- Desarrollar los sistemas, procedimientos y métodos de trabajo que deben emplearse en Fábrica para un mejor y mayor rendimiento de la misma. Coordinar con los Supervisores de Fábrica y Jefes de Sección a fin de informarse e informar a la Gerencia General sobre los planes objetivos y políticas a seguir de acuerdo a las necesidades de la empresa.
- Elaborar planes estratégicos de costos, a mediano y largo plazo, para el desarrollo y mejoramiento de las instalaciones y equipos de fábrica, supervisando la adecuada ejecución de estos en el momento de su implantación.
- Cuantificar las inversiones necesarias a efectuar en el área de fábrica que permitan cumplir con los objetivos trazados por la Gerencia General.
- Controlar periódicamente la ejecución de los programas aprobados, evaluando los resultados y dictaminando las medidas correctivas necesarias oportunamente.
- Revisar y analizar los cuadros estadísticos de molienda y producción de azúcar, elaborados por Laboratorio de Fabrica, para establecer proyecciones futuras.
- Disponer la elaboración y aprobar el calendario de necesidades de materiales e insumos requeridos para cumplir con los planes de producción.
- Aprobar los proyectos de presupuestos de inversiones y operaciones del área de fábrica, elevarlos a Gerencia General para su aprobación.
- Aprobar proyectos de innovación y mejora presentados por los supervisores de las distintas dependencias del área de Fábrica.
- Revisar y analizar los indicadores de gestión.

- Solicitar y aprobar la contratación de personal especializado para fábrica.
- Informar a la Gerencia General el avance de las actividades de Fábrica así como los inconvenientes que ocasionan su retraso.
- Convocar reuniones periódicas con los Supervisores de Fábrica, a fin de coordinar e informar sobre las actividades realizadas en la gestión, teniendo en cuenta sugerencias para el normal funcionamiento de la fábrica.
- Autorizar las solicitudes de compras y requerimientos de bienes y servicios de las diversas Supervisiones de Fábrica.
- Aprobar el Rol de Vacaciones presentado por los Supervisores de Fábrica, elevarlos al Departamento de Personal para su aplicación respectiva.
- Participar en programas de capacitación, tendientes a elevar su nivel intelectual, con el fin de mejorar el desempeño de sus funciones.
- Cumplir y hacer cumplir el RIT, Estatuto, Manuales y Reglamento de Organización y Funciones y demás normas establecidas por la empresa.

(solo nos menciona algunas, esta recopilación la obtuvimos por su secretaria la señora Liliana Monteza a pedido del Ing Gerente de Fábrica)

3. ¿Cómo sabemos el proceso de elaboración de azúcar tiene varios procesos, es posible saber ¿Qué áreas están involucradas en el proceso de elaboración de azúcar?

Existen diferentes áreas que trabajan en secuencia de manera sincronizada, como se dice se trabaja en coordinación entre ellas tenemos la balanza, el trapiche, el área de elaboración, área de evaporación, ... , para que se entienda se realizara el recorrido de toda la planta comenzando desde la balanza hasta el envasado de azúcar, estarán guiados por la señora Mary Vitón.



Aquí iniciando el recorrido.



Aquí en área de evaporación con el Sr operador Santisteban y la Señora Guía Mary Vitón.

4. Como nos mencionó anteriormente en el área de elaboración es donde se procesa el jugo crudo extraído de la caña de azúcar, nos podría decir ¿Cuál es la importancia del área de evaporación dentro del proceso de elaboración de azúcar en la industria de Pucalá? y ¿Qué equipos intervienen en esta área?

Aquí los evaporadores realizan la función de separar el agua de la melaza, es mucha importancia porque de esto depende la granulación del azúcar, a mejor cantidad de brix mejor producción.

5. ¿Se están realizando proyectos o se ha proyectado realizar mejoras en el área de elaboración?

Se esta realizando proyectos de renovación de equipos de las diferentes áreas, en estos momentos se esta realizando la instalación del conductor Donelly del molino número 2 y próximamente se esta realizando del conductor Donelly número 5 y muchos otras cambios como la compra de una nueva balanza.

6. Actualmente en la región existen 4 empresas productoras de azúcar, la agroindustria de Pomalca, Tuman, Ferreñafe y la que usted dignamente dirige, tenemos entendido que Pomalca tiene una planta que puede procesar 4000 TM de caña de azúcar diaria. Entonces la pregunta es ¿Cuánto procesa la planta de Pucalá en un día de caña de azúcar?

Actualmente estamos procesando de 2000 a 3000 TM de caña, se puede superar la de Pomalca, con la renovación de algunos equipos se lograra superar esa cantidad, hay que notar que la antigüedad de los equipos son

muy antiguos, se podría decir que son casi obsoletas y esa es una desventaja no solo para nosotros sino para todas las agroindustrias de la región Lambayeque, donde es lo contrario en la región la libertad, ahí ya se esta utilizando tecnología moderna ya es el caso de Cartavio, Laredo, Casa Grande.

Tendrán la autorización de visitar cada área y entrevistar al jefe de turno para mayor información.

Muchas Gracias por su tiempo cedido.

ANEXO 03 – Resultados de la Entrevista para al Ing. Jorge Arica

ENTREVISTA

OBJETIVO: Recopilar información general sobre el Área de evaporación en la Agroindustria Pucalá.

NOMBRE DEL ENTREVISTADO: ...ING. JORGE ARICA....

Cuestionario:

1. ¿Cuál es el cargo que ocupa en la empresa Agroindustrial Pucalá?
Actualmente soy el Jefe del Área de Elaboración pero anteriormente estaba encargado del Área de Calderos. Es aquí donde se vigila todos los procesos que tienen que ver con la transformación del jugo crudo hasta el producto final que es el azúcar.
2. ¿Qué labores desempeña en dicho cargo?
Como les estaba diciendo mi labor es supervisar y atender cualquier dificultad que se presente en el área de elaboración, también realizo un seguimiento de la producción de azúcar según la cantidad de caña molida en el día y durante el mes.

Pregunta Intermedia: ¿Cuándo dice supervisar a que se refiere?

Bueno a realizar inspecciones periódicas durante el día en los diferentes procesos, tanto los que se llevan a cabo en evaporación, los tachos y las centrifugas, pues depende de esta área la calidad y terminado del producto. Gracias a estas inspecciones también se realizan los requerimientos de materiales para el mantenimiento de los equipos.

3. Como sabes dentro del proceso de elaboración de azúcar tenemos el área de evaporación, podría decirnos ¿Cuál es la importancia y la finalidad de esta área en el proceso de elaboración de azúcar en la industria de Pucalá? y ¿Qué equipos intervienen?
Esta área es tan importante como el área de trapiche, si bien es cierto dentro de las industrias azucareras el área de trapiche necesita de un mayor control debido a que es aquí donde se prepara y extrae el jugo de la caña de azúcar, además también por esta compuesto por motores y equipos de gran tamaño. Pero el área de evaporación es donde se va a concentrar el jugo extraído en el trapiche, esto consiste en aumentar los grados brix de la sustancia. El jugo clarificado luego de pasar por la batería de evaporación sale con un brix de hasta 65, no mayor debido a que se encala y las bombas no alimentarían los tachos debido a que no están seleccionadas para esas condiciones.
El sector de evaporación consta con 2 baterías de evaporados cada uno de 4 equipos, también se cuenta con 4 pre-evaporadores.
4. Al visitar la fábrica hemos observado que en el área de evaporación se tiene antes de las baterías de evaporadores unos equipos llamados pre-evaporadores. ¿Cuál es la función que tienen estos equipos y en ayuda durante el proceso de elaboración?
La función del pre-evaporador es pre-calentar el jugo clarificado logrando una primera evaporación, que en comparación con la batería de evaporación es mayor, puesto que el jugo clarificado aquí entra con mayor cantidad de agua y con brix de 14-16.

5. Como le mencionamos al iniciar esta entrevista el motivo de nuestra visita es que somos alumnos tesisistas del 9no ciclo de la carrera de ingeniería Mecánica Eléctrica y estamos desarrollando como tema de investigación el Diseño de un Pre-evaporador, por ello necesitamos algunos datos que esperamos nos pueda facilitar:

Brix del jugo claro a la entrada del pre-evaporador: 14-16

Brix del jugo claro a la salida del pre-evaporador: 21-24

Temperatura del jugo claro a la entrada del pre-evaporador: 90 °C

Temperatura del jugo claro a la salida del pre-evaporador: 110 °C

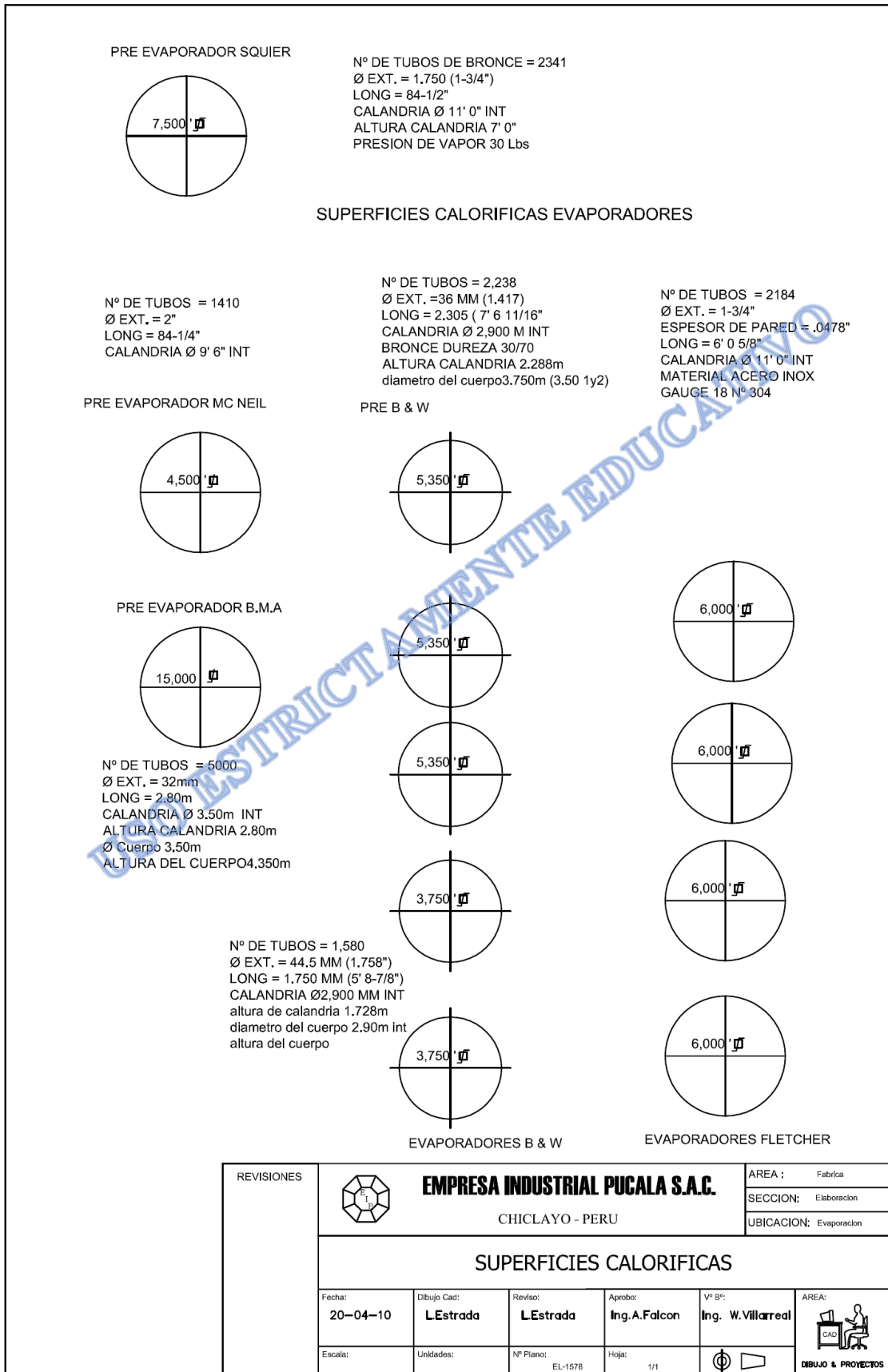
Presión del jugo claro a la entrada del pre-evaporador: 10 – 20 Psi

Presión del jugo claro a la salida del pre-evaporador: 10-20 Psi

Presión del Vapor Saturado a la entrada del Pre-evaporador: 30 Psi

Muchas Gracias por su tiempo cedido

ANEXO 04 – Plano de Superficies Calorificas



ANEXO 05 – Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú



CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

ANEXO 06 – Cronograma de Actividades

Actividades	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9	SEM 10	SEM 11	SEM 12	SEM 13	SEM 14	SEM 15	SEM 16
1. Reunión de coordinación																
2. Presentación del esquema de proyecto de investigación																
3. Asignación de los temas de investigación																
4. Pautas para la búsqueda de información																
5. Planteamiento del problema y fundamentación teórica																
6. Justificación, Hipótesis y objetivos de la investigación																
7. Diseño, tipo y nivel de investigación																
8. Variables, Operacionalización.																
9. Presenta el diseño metodológico																
10. Jornada de investigación n°1 Presentación del primer avance																
11. Población y muestra																

<p>12. Técnicas e instrumentos de obtención de datos, métodos de análisis y aspectos administrativos. Designación de jurado: un metodólogo y dos especialistas</p>																	
<p>13. Presenta el proyecto de investigación para su revisión y aprobación</p>																	

ANEXO 07 – DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y ESQUEMA DE COSTOS

Fuente de Consulta:

- Operarios del área de evaporación de la empresa Agro Pucalá.
- Informes de Laboratorio.

Datos a Conseguir:

Jugo claro:

- Brix del jugo clarificado.
- La viscosidad y el punto de ebullición del jugo clarificado que lo obtenemos del laboratorio.
- La densidad del jugo claro.
- Temperatura y Presión con la que entra al pre-evaporador.

Vapor proveniente de las turbinas:

- Presión del vapor.
- Temperatura del Vapor

Materiales y Herramientas:

- **Materiales de Oficina**
 - Cuaderno de Apuntes
 - Lapiceros
- **Cámara fotográfica**

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

- ✓ Entrevista a: Ing. Jorge Arica encargado del Área de Elaboración.
- ✓ Entrevista a: Sr. Lucio Salazar Davila.

Observación → Proceso de elaboración de Azúcar

4.2.1. Modelamiento Térmico (Esquema)

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Libros de Termodinámica – Procesos y Ciclos termodinámicos.
- Operarios del Área de Evaporación, Área de Calderas y de la Casa de Fuerzas.

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **Realización de un diagrama térmico del ciclo del vapor, donde se tomará en cuenta los equipos involucrados (calderas, evaporador, enfriadores y bomba). A continuación se muestra un bosquejo del esquema a presentar:**

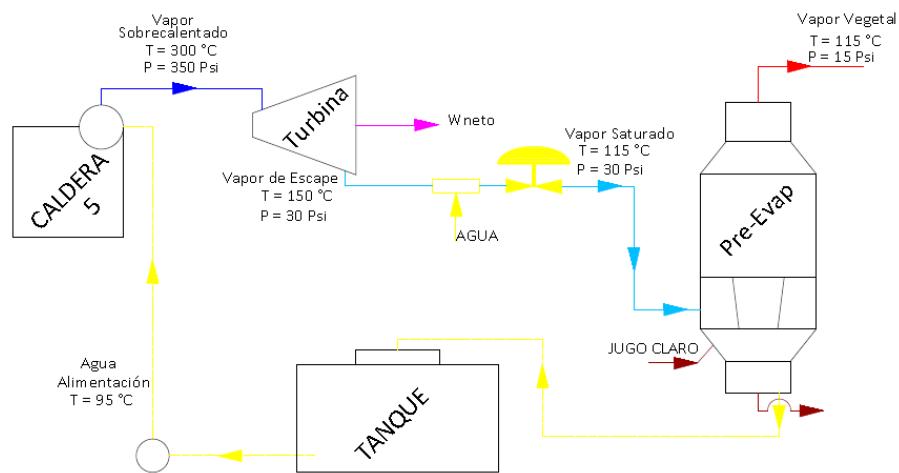


ILUSTRACIÓN 1: ESQUEMA TERMODINÁMICO DEL CICLO DE EVAPORACIÓN
FUENTE: LOS INVESTIGADORES

Materiales y Herramientas:

- **Materiales de Oficina**
 - Cuaderno de Apuntes
 - Lapiceros
- **Una Computadora Personal – Autocad**

Técnica de Recolección de Información

Observación

- ✚ **Visita al Área de Calderas para recolectar datos reales del proceso de producción de vapor.**
- ✚ **Visita a la Casa de Fuerza para recolección de datos sobre el vapor de escape de las turbinas.**

Entrevista

- ✓ **Entrevista a: Ing. Manuel Magi encargado del Área de Calderas.**

- ✓ Entrevista a : Ing. Roberto Nuñez responsable de la Energía –Casa de Fuerza
- ✓ Entrevista a: Ing. German Chavez responsable del Área de Proyectos.

4.2.2. Cálculo de la Capacidad del Pre-evaporador

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Manuales de Azúcar de Caña

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **La capacidad del pre-evaporador partiendo de que se quiere moler 5000 TM de caña de azúcar en la empresa agroindustrial de Pucalá.**

Materiales y Herramientas:

- **Una computadora Personal**
- **Calculadora Científica.**
- **Formulario**
- **Utensilios de Oficina**
 - **Cuaderno de Apuntes**
 - **Lapicero – Lápiz**

Capacidades:

- ✚ **Razonamiento y Análisis para el desarrollo correcto de fórmulas.**
- ✚ **Interpretación de Resultados.**

Técnica de Recolección de Información

- ❖ **Entrevistas con el Asesor especialista de Tesis: Doc. Jorge Olortegui**
- ❖ **Entrevista a: Ing. Jorge Arica Jefe del Área de Elaboración.**

4.2.3. Dimensionamiento de los componentes del Pre-evaporador

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Manuales del Ingeniero Azucarero (Rein y Hugot)

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **Dimensiones de los componentes del Pre-evaporador para una molienda de 5000 TCD, para ello se hará uso de fórmulas y estándares ya establecidos para el diseño de los componentes que se mencionaron anteriormente en la base teórica.**
- ✓ **Se obtendrán las siguientes dimensiones: Diámetro de la calandria, Altura del cuerpo del pre-evaporador, diámetro del cilindro central,**

tubo de vapor no condensable, tuberías de alimentación de jugo, entre otros componentes.

Materiales y Herramientas:

- **Una computadora Personal**
- **Calculadora Científica.**
- **Formulario**
- **Utensilios de Oficina**
 - **Cuaderno de Apuntes**
 - **Lapicero – Lápiz**

Capacidades:

- ✚ **Razonamiento y Análisis para el desarrollo correcto de fórmulas.**
- ✚ **Capacidades deductivas.**
- ✚ **Interpretación de Resultados.**

4.2.4. Dibujo en software de ingeniería

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Manuales de diseño CAD

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **Una vez obtenidas las dimensiones de los componentes se procederá a realizar el dibujo en 3D haciendo uso del programa de ingeniería.**
- ✓ **Se realizará el ensamble de los componentes del pre-evaporador.**

Materiales y Herramientas:

- **Una computadora Personal**
- **Paquete de software de ingeniería**
- **Utensilios de Oficina**
 - **Cuaderno de Apuntes**
 - **Lapicero – Lápiz**

Capacidades:

- ✚ **Dibujo en software de ingeniería.**
- ✚ **Capacidades deductivas.**
- ✚ **Interpretación de Resultados.**

4.2.5. Dimensionamiento de estructura de soporte.

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Libros de diseño estructural, catálogos, revistas, etc.

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **Determinación de cargas y esfuerzos.**
- ✓ **Rediseño de la estructura que soportara el pre-evaporador, aquí se seleccionara el tamaño de vigas y bosquejo de la geometría de la estructura.**

Materiales y Herramientas:

- **Una computadora Personal**
- **Calculadora Científica.**
- **Formulario**
- **Utensilios de Oficina**
 - **Cuaderno de Apuntes**
 - **Lapicero – Lápiz**

Capacidades:

- ✚ **Razonamiento y Análisis para el desarrollo correcto de fórmulas.**
- ✚ **Capacidades deductivas.**
- ✚ **Interpretación de Resultados.**

4.2.6. Dibujo y Simulación de la Estructura.

Fuente de Consulta:

- Fuentes escritas: Manuales de diseño con software de ingeniería

Datos y Resultados a conseguir:

- ✓ **Una vez obtenidas las dimensiones de los componentes se procederá a realizar el dibujo en 3D haciendo uso del programa de software de ingeniería**
- ✓ **Se realizará el ensamble de los componentes del pre-evaporador.**
- ✓ **Se analizarán los resultados.**

Materiales y Herramientas:

- **Una computadora Personal**
- **Paquete de software de ingeniería.**
- **Utensilios de Oficina**
 - **Cuaderno de Apuntes**
 - **Lapicero – Lápiz**

Capacidades:

- ✚ **Dibujo en software de ingeniería.**

- ✚ Capacidades deductivas.
- ✚ Interpretación de Resultados.

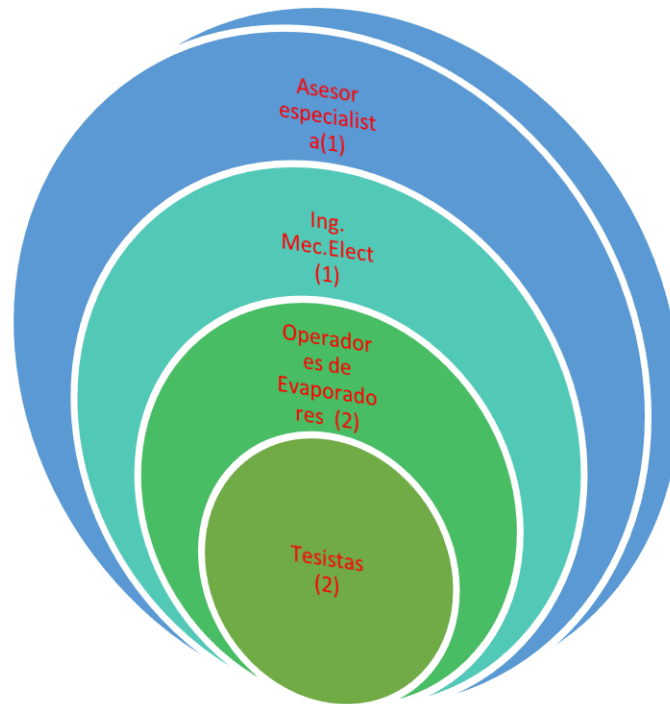
4.2.7. Comparación de resultados con la realidad.

- ❖ Se realizara un análisis comparativo del diseño elaborado, con los pre-evaporadores existentes en planta de Pucalá.
- ❖ Aquí se evaluara la viabilidad de un supuesto caso de llevarse a cabo, se calculara el TIR y el VAN.

I.1. 4.3. Equipos, materiales e instrumentos

ITEM	DESCRIPCION	
Equipos	Computadora personal. Cámara fotográfica Calculadora científica.	
Materiales	Planos. Hoja de nota Bolígrafo. Fuentes bibliográficas. Manuales. Guías informativas de cálculo. Catálogos (tuberías, planchas)	
Herramientas	Software	CAD-CAE
		Excel

- I.2. 4.4. Recursos humanos
- I.3. 4.5. Formulas y Cálculo:



Las formulas a utilizar para el diseño del pre-evaporador se encuentran especificadas el marco teórico en la sección 2.3.4. Diseño de un Pre-evaporador, donde detallamos como calcular la capacidad del equipo, el dimensionamiento de los componentes y las fórmulas para el análisis de este. A continuación presentaremos un listado de las formulas expuestas en el marco teórico:

- **Fórmulas para el cálculo de capacidad del pre-evaporador**
- **Fórmulas para análisis térmico.**
- **Fórmulas para el análisis de Transferencia de Calor**
- **Fórmulas para análisis de Mecánica de Fluidos**
- **Fórmulas para el rediseño de Calandria**
- **Fórmulas para el rediseño del cuerpo**
- **Fórmulas para el tubo de vapor.**
- **Fórmulas para los tubos de distribución de jugo claro.**

I.4. 4.6. Planos

Se realizaron los siguientes planos utilizando software CAD/CAE y Diseño Estructural:

- **Plano de rediseño de pre-evaporador.**
- **Plano de rediseño de estructura de soporte.**
- **Diagrama de distribución de vapor.**
- **Esquema de modelamiento térmico.**

I.5. 4.7. Rediseño

Se realizó el rediseño de un pre-evaporador utilizando software CAD , el cual permite analizar los componentes mediante cortes en 3D.

I.6. 4.8. Pruebas de funcionamiento

Una vez realizado el rediseño de preevaporador, se llevara a cabo la simulación:

SOFTWARE CAD
Análisis térmico
Deformación
Factor de seguridad

I.7. 4.9. Mantenimiento

Generalmente a un pre-evaporador se le da mantenimiento preventivo cada 15 días, el cual consiste en la limpieza de los tubos de calandria, puesto que se forman capas delgadas de incrustaciones que reducen la eficiencia de conducción de calor del equipo.

Para más información sobre *Incrustaciones* véase el apartado 2.3.3.8. del Marco Teórico.

Los tipos de limpieza más comunes son con agentes anti incrustantes, con agentes químicos y por acción mecánica. Para más detalle véase la sección 2.3.3.9. Mantenimiento de Evaporadores del Marco Teórico.

El mantenimiento correctivo de estos equipos comienza pasado los primeros 5 años de uso del equipo, puesto que comienzan a ver fugas en los tubos de calandria por rajaduras o agrietamientos que provocan que el jugo y el vapor saturado se mezclen produciéndose daños en los tubos adyacentes. Pero estos no fallan todos al mismo tiempo por ello durante el mantenimiento preventivo se les realiza pruebas de fugas para que estos puedan ser sustituidos.

I.8. 4.10. Costos

En este proyecto no se realizara ningún gasto por ser un proyecto cuasiexperimental, No obstante se realizara un planteamiento de viabilidad haciéndose el cálculo del TIR y del VAN.

Para este proyecto se asume una inversión de \$ 500 000 dólares, a continuación una tabla con datos referenciales de costos de los materiales partiendo de un equipo similar:

COMPONENTE		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ()	PRECIO TOTAL
Calandria	Planchas de 60''x120'' e=1 ¼''	16	1064.29	17 028.64
	Tubos de Acero Inoxidable Ø 1 ¾'' L= 6m	5000	46.64	233 200
	Tubos de Soporte Ø 6 ¾'' L=6m	24	70	1680
	Por agujero en placa	10000	5	50000
Cuerpo, cilindro distribuidor, cilindro central y cobertor de calandria Cono Superior y Cono Inferior	Planchas de e=¾'' 72''x240''	28	527.61	14773.08
Tubo de Vapor	Planchas de e=½'' 60''x120''	4	341.72	1366.88
TOTAL				318048.6

ANEXO 08 – AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE INFORMACIÓN



Pucallá Chiclayo
Perú
RUC 20437281645

"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

LA GERENCIA DE RECURSOS HUMANOS DE LA EMPRESA INDUSTRIAL PUCALA S.A.C. QUE SUSCRIBE EMITE LA PRESENTE:

AUTORIZACIÓN PARA EL USO DE INFORMACIÓN

Por el presente, el que suscribe Gerente de Recursos Humanos de la empresa azucarera Industrial Pucallá S.A.C. autoriza para que el Practicante Sr. **EDWIN DUBERLI PADILLA HUAMÁN**, identificado con DNI N° 43712711, a solicitud formal de la Universidad "Señor de Sipán" – Pimentel, estudiante de la Escuela Académico Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, y autor del trabajo de investigación denominado "DISEÑO DE PRE-EVAPORADOR DE JUGO CLARIFICADO MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE DE SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO 16500 FT² PARA EL PROCESAMIENTO DE UNA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA DE AZÚCAR DIARIA EN INDUSTRIAL PUCALA S.A.C al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, cálculos, planos entre otros para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis de "DISEÑO DE PRE-EVAPORADOR DE JUGO CLARIFICADO MEDIANTE SOFTWARE CAD/CAE DE SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO 16500 FT² PARA EL PROCESAMIENTO DE UNA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA DE AZÚCAR DIARIA EN INDUSTRIAL PUCALA S.A.C" enunciada líneas arriba.

Se expide la presente **AUTORIZACIÓN**, a solicitud del interesado a fin de que se garantice la absoluta confidencialidad de la información obtenida para los fines consiguientes.

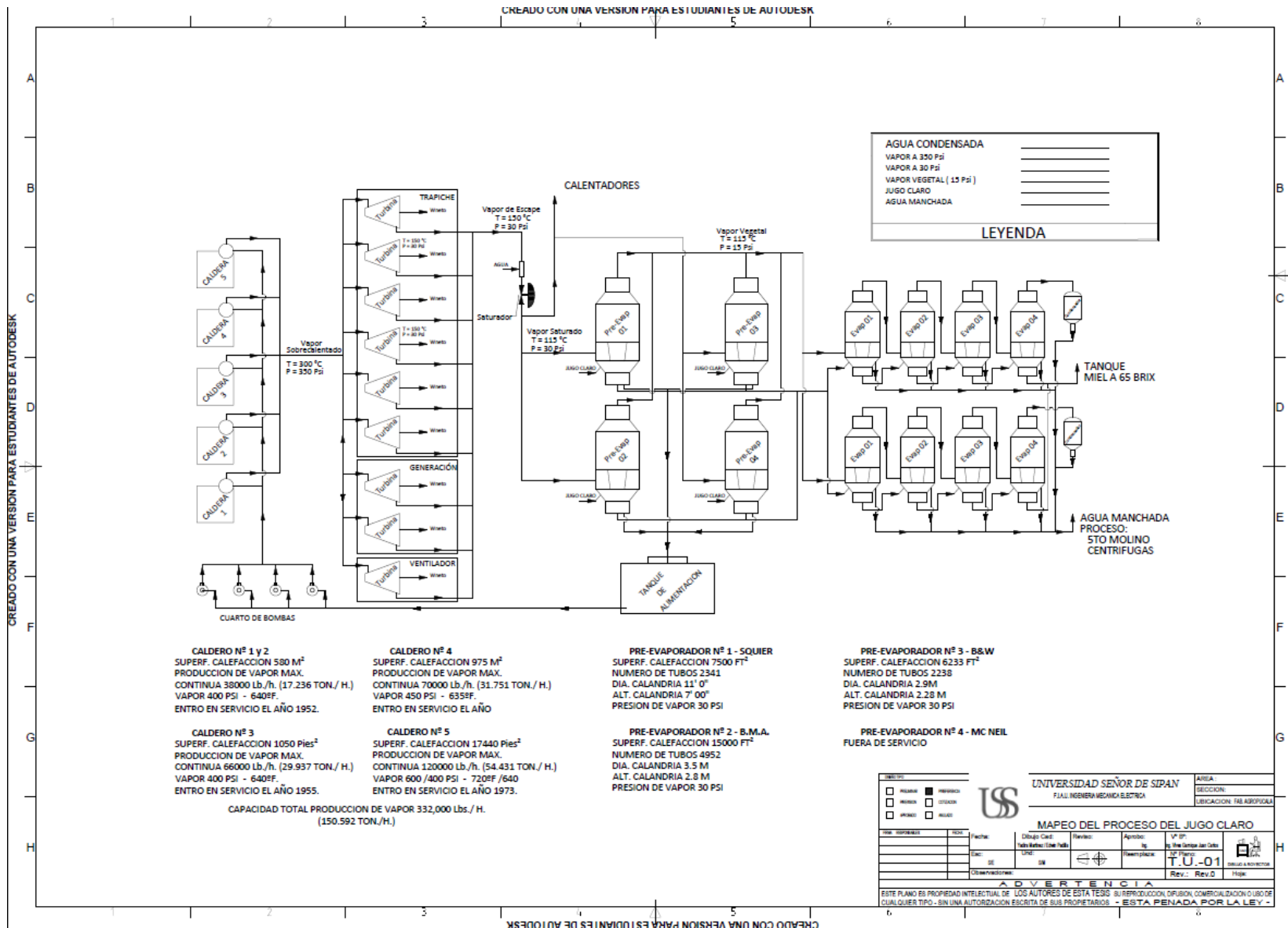
Pucallá, 21 de Mayo del 2021


INDUSTRIAL PUCALÁ S.A.C.
REESTRUCTURACIÓN
Alberto Vidanes Cortés
Gerente de RR.HH.

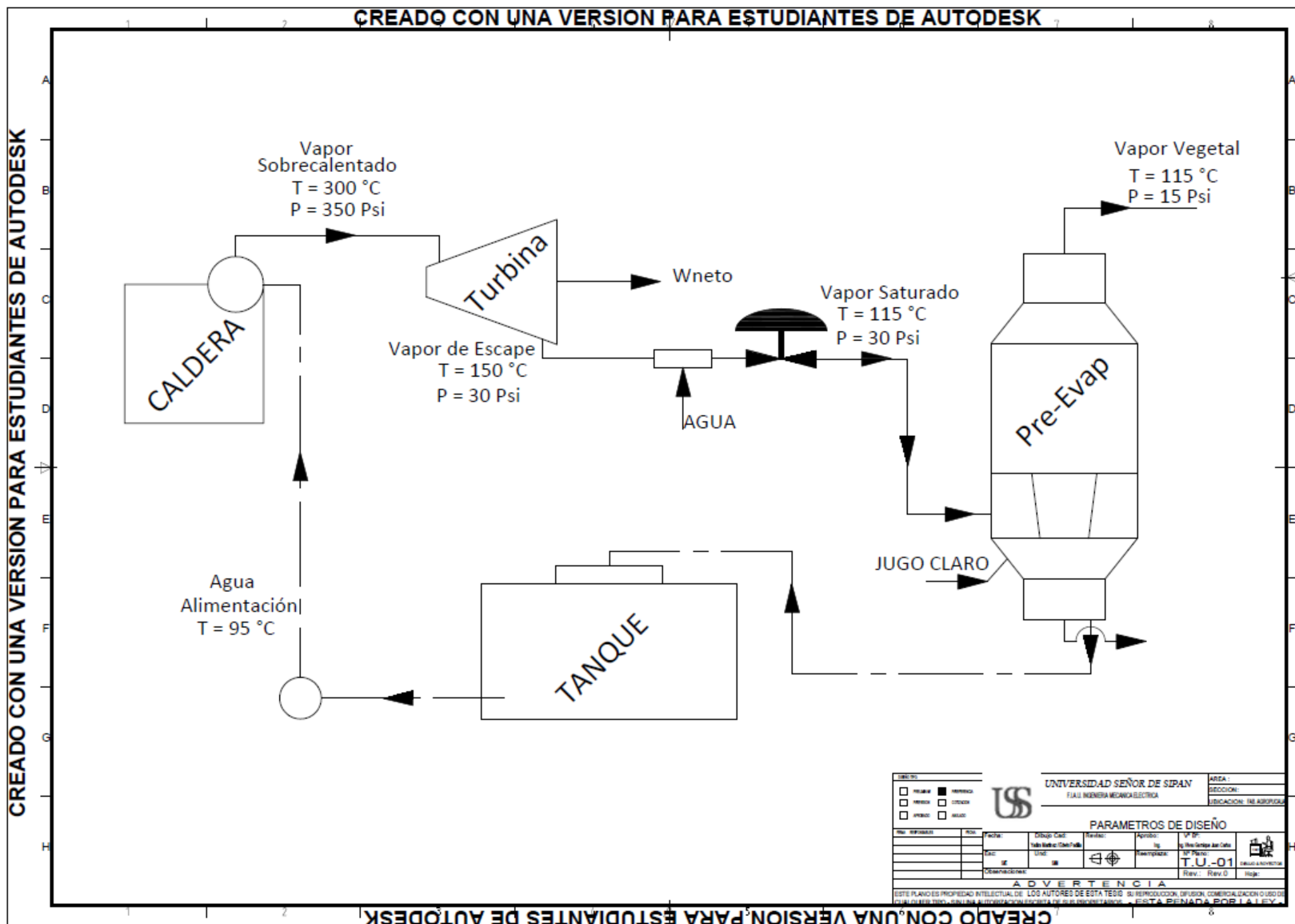


PLANOS

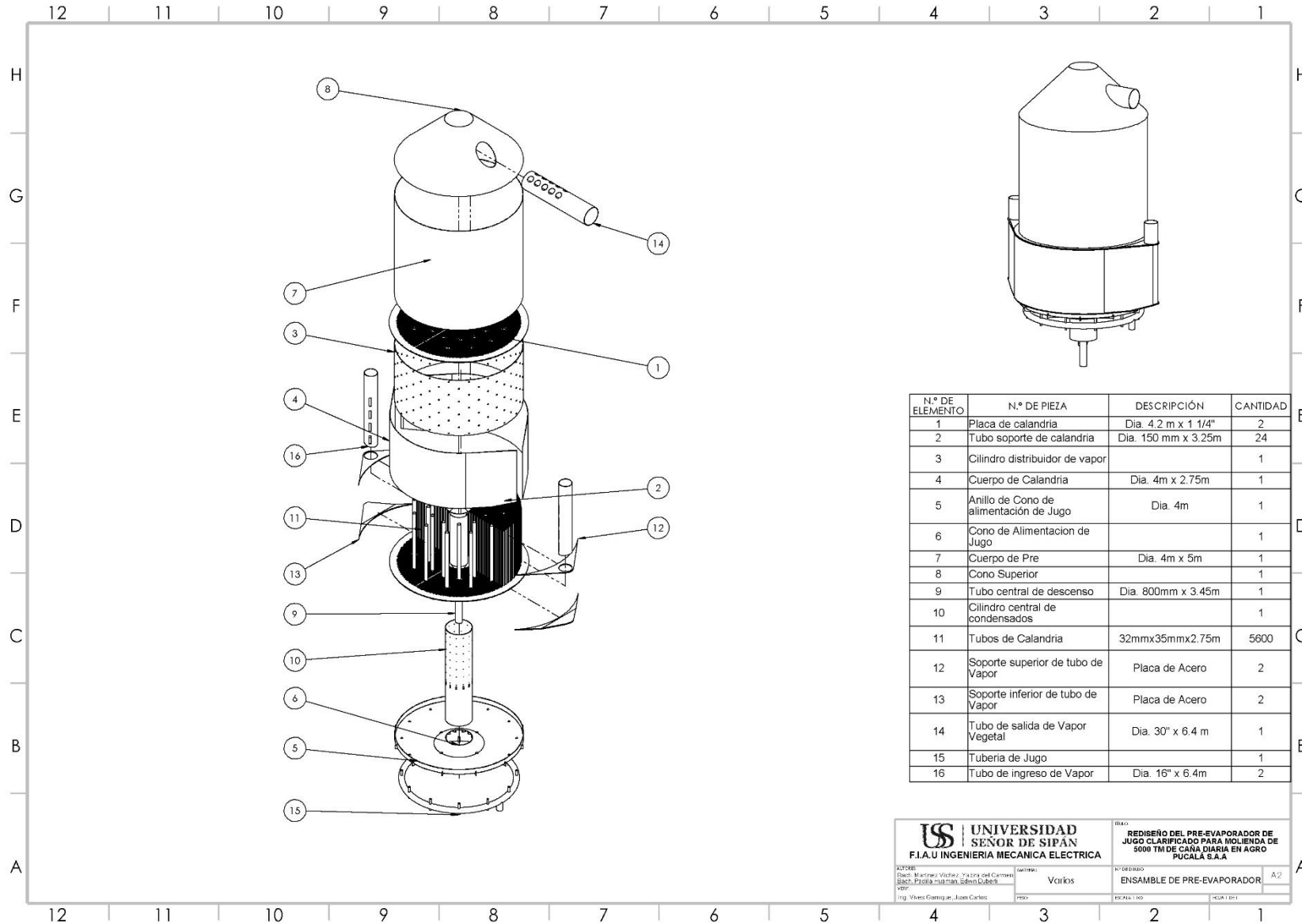
PLANO 01 – MAPEO DEL PROCESO TERMICO DEL JUGO CLARO



PLANO 02 – PARAMETRO DE DISEÑO TERMICO

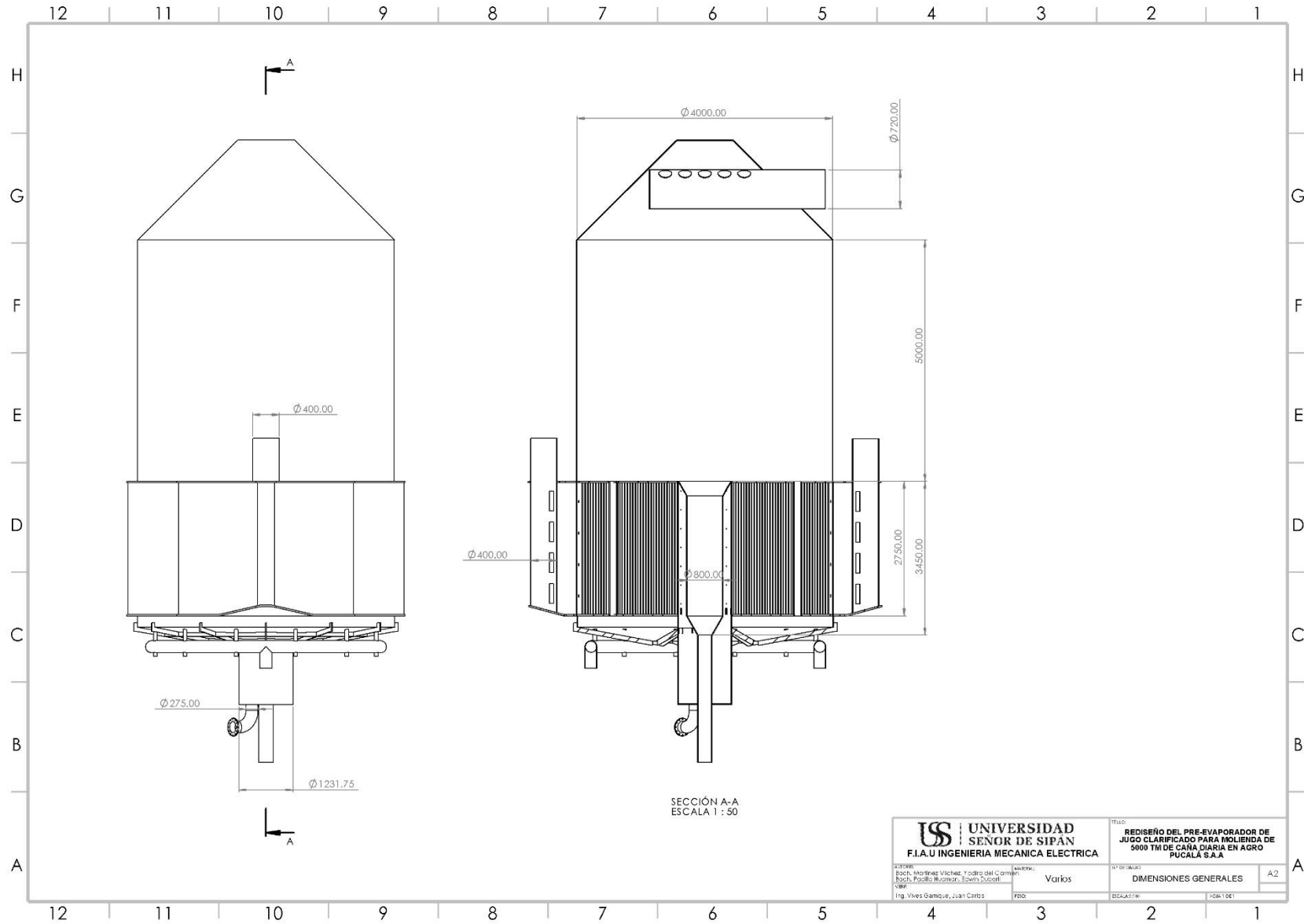


PLANO 03 – ENSAMBLE EN SOFTWARE CAD-CAE DE PRE-EVAPORADOR

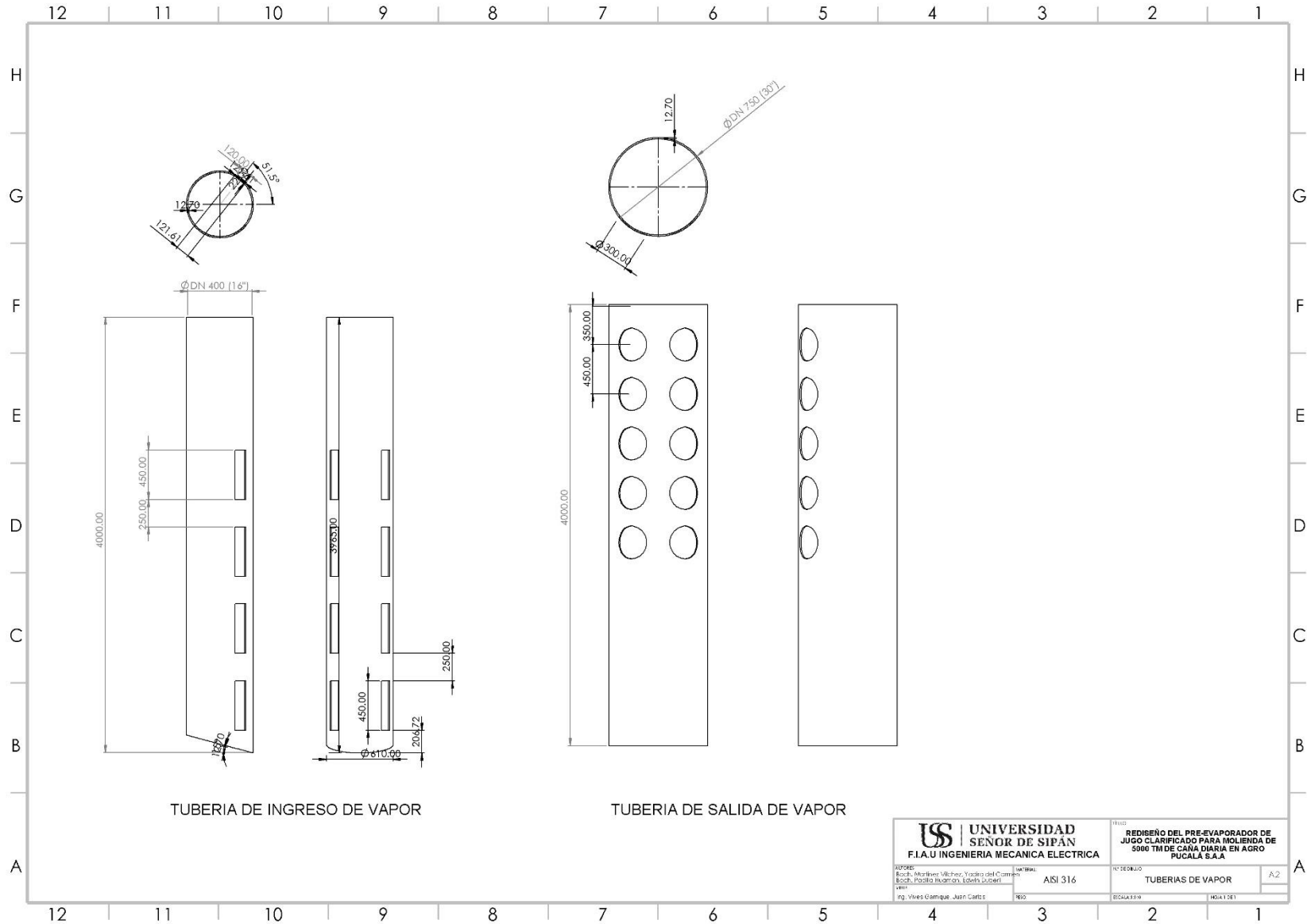


	DISEÑO: (Diseñador: Vicarios)	N.º DE DISEÑO: ENSAMBLE DE PRE-EVAPORADOR	A2
	DISEÑADO POR: (Diseñador: Vicarios)	N.º DE PIEZA: 03	HOJA: 03

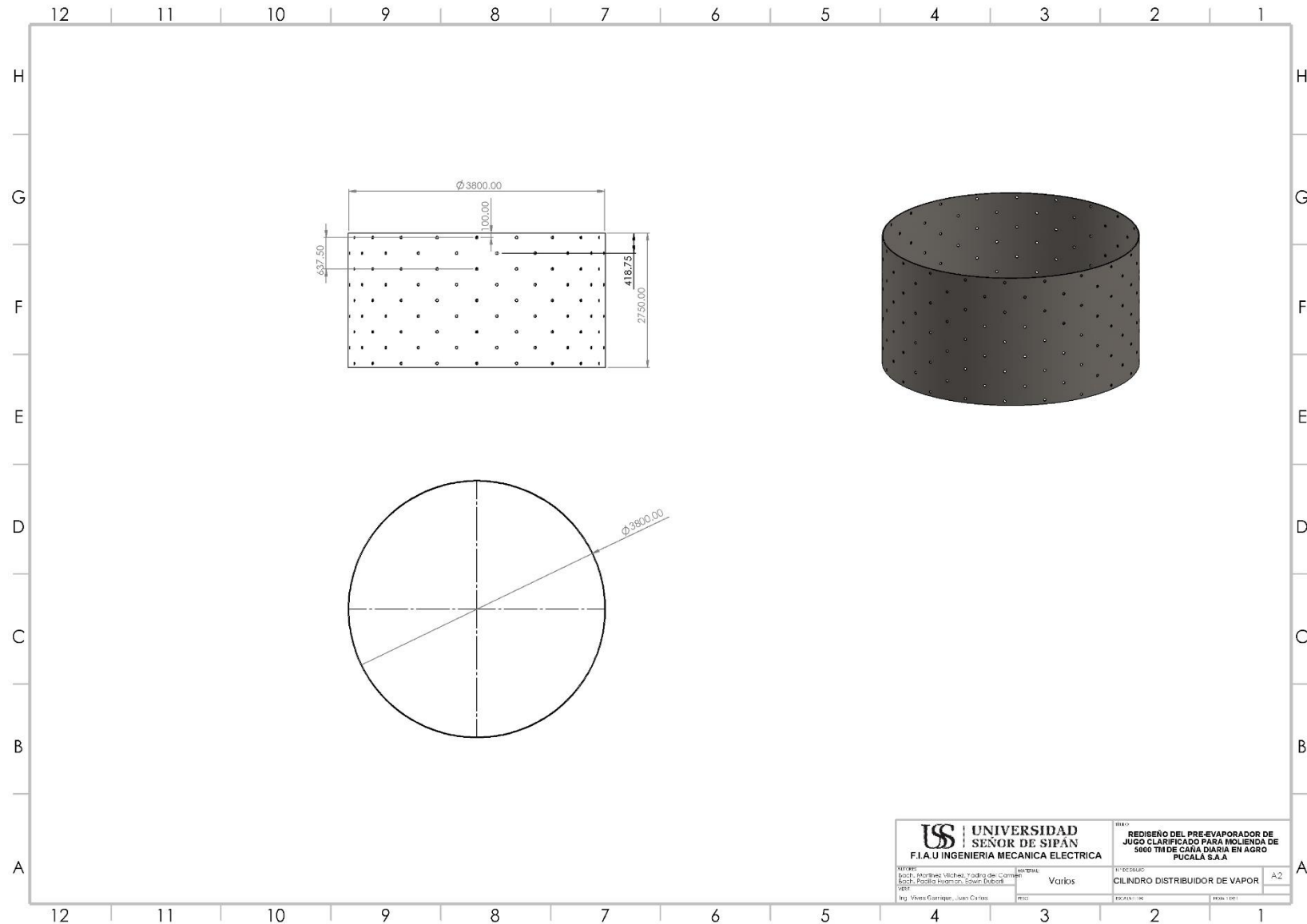
PLANO 04 – DIMENSIONES GENERALES EN SOFTWARE CAD-CAE DE PRE-EVAPORADOR



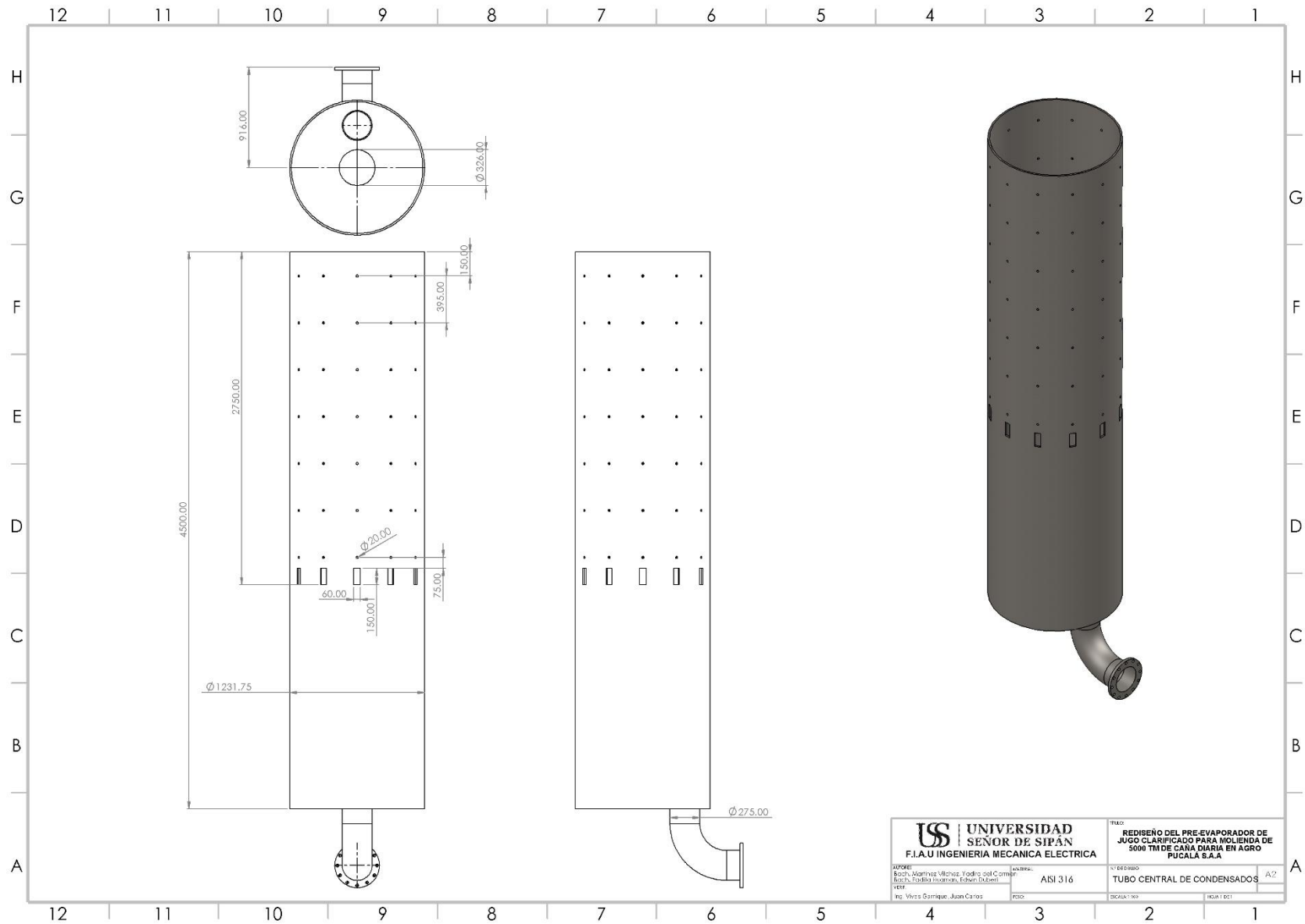
PLANO 05 – TUBOS DE VAPOR EN SOFTWARE CAD-CAE DE PRE-EVAPORADOR



PLANO 06 – CILINDRO DISTRIBUIDOR DE VAPOR EN SOFTWARE CAD-CAE DE PRE-EVAPORADOR



PLANO 06 – TUBO CENTRAL DE CONDENSADOS



US UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN F.I.A.U INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		TÍTULO: REDISEÑO DEL PRE-EVAPORADOR DE JUGO CLARIFICADO PARA MOLIENDA DE 5000 TM DE CAÑA DIARIA EN AGRO PUCALLA S.A.A	
AUTOR: Bach. Marvin Viteri Yodanis C. Camacho Ing. Vivian Gormique Juan Carlos		MATERIAL: AISI 316	
FECHA:		N° DE DISEÑO: TUBO CENTRAL DE CONDENSADOS	
ESCALA: 1:100		HOJA 1 DE 1	