

DISEÑO DE UN TACHO PILOTO TIPO BATCH

DAVID FERNANDO SALAZAR LÓPEZ



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2015

DISEÑO DE UN TACHO PILOTO TIPO BATCH

DAVID FERNANDO SALAZAR LÓPEZ

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Director: Adolfo León Gomez, M Sc.



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2015

Nota de Aceptación:

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme vivir el camino de la vida, un camino lleno de esperanzas e ilusiones. Agradezco a mi familia por caminar de la mano conmigo en este camino que Dios nos ha puesto para recorrer, gracias a su apoyo he podido culminar con éxito esta etapa de mi vida, sin ellos este logro hubiese sido imposible.

Agradezco a mi mamá Gloria Ines López por su amor y apoyo incondicional, por el sacrificio y dedicación que colocó mientras me enseñaba a crecer día a día como persona. Mamá, gracias a ti logré culminar esta etapa con éxito.

Gracias a mi papá Fernando Salazar por brindarme su amor y su apoyo a lo largo del camino, siempre a mi lado con sus palabras de aliento impulsándome a no rendirme y haciéndome crecer cada día como ser humano.

Infinitas gracias a mi hermana Jenny Joanna Salazar, su amor se transmite en sonrisas reflejadas en mi hermoso sobrino, vitales para continuar día a día.

Agradecimiento especial al ingeniero Jaime Peñaranda Dominguez por su apoyo en la ejecución del proyecto y por compartir su conocimiento conmigo. También a todo el equipo de trabajo de CENICANA, los cuales compartieron conmigo experiencias y conocimiento, en especial a Juan Gabriel y a Diego Cobo

Agradezco al profesor Adolfo León Gomez, por brindarme su apoyo y confianza desde mucho antes de iniciar el proyecto; gracias por generar en mí un pensamiento más profesional y crítico, además de abrirme el camino a esta industria que es de mi total agrado.

A mis amigos de la carrera, ha sido todo un placer compartir tantas experiencias en estos años de estudio.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Justificación	10
1.2	Obtención del azúcar	11
1.3	Funcionamiento del Tacho.....	14
1.4	Proceso de cristalización	14
1.5	Presión de vacío	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo General.....	16
2.2	Objetivos Especificos	16
3	DESARROLLO DEL DISEÑO.....	17
3.1	Capacidad del Tacho y dimensiones internas.....	17
3.3	Diseño Térmico.....	25
3.4	Prevención de arrastres.....	29
3.5	Selección del agitador.....	32
3.7	Diseño del condensador	47
3.8	Evaluación económica	53
4	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	54
4.1	Conclusiones	54
4.2	Recomendaciones	54
4.3	Trabajos futuros.....	54
5	BIBLIOGRAFÍA.....	55
6	ANEXOS.....	57
6.1	Propiedades y Geometría interna Tacho	57
6.2	Diseño térmico teórico	¡Error! Marcador no definido.
6.3	Diseño condensador	¡Error! Marcador no definido.
6.4	Agitador	57

Indice de figuras

Figura 1. 1 Preparación, molienda y generación de vapor [17]	12
Figura 1. 2 Evaporación del jugo [17]	13
Figura 1. 3 Esquema cristalización [17]	14
Figura 3. 1 Geometria y denominación de las dimensiones internas del Tacho... 16	16
Figura 3. 2 Vista interior del Tacho.....	19
Figura 3. 3. Funcionamiento del separador de arrastre.....	22
Figura 3. 5. Campos de velocidades en el depósito con agitación axial (A) y radial (B).....	27
Figura 3. 6. Motorreductor axial Lentax HR 750.....	32
Figura 3. 7. Acople de motorreductor y eje del agitador.....	33
Figura 3. 8. Apoyos del agitador.....	33
Figura 3. 9. Diagrama de flujo del condensador barométrico.....	37
Figura 3. 1 Geometria y denominación de las dimensiones internas del Tacho.	19
Figura 3. 2 Vista interior del Tacho.	24
Figura 3. 3. Funcionamiento del separador de arrastre.....	30
Figura 3. 5. Campos de velocidades en el depósito de agitación con agitación axial (A) y radial (B) [15]	35
Figura 3. 6. Motorreductor axial Lentax HR 750.....	40
Figura 3. 7. Acople de motorreductor y eje del agitador.	41
Figura 3. 8. Apoyos del agitador.	41
Figura 3. 9. Diagrama de flujo del condensador barométrico.	48

Indice de Tablas.

Tabla 3. 1 Medidas geométricas de tachos industriales.....	18
Tabla 3. 2 Contenedores de transporte más grandes.	18
Tabla 3. 3 Datos iniciales de dimensión del tacho.	19
Tabla 3. 4 Resultados de los Cálculos	21
Tabla 3. 5 Propiedades del material dentro de los tubos	26
Tabla 3. 6 Resistencia a la transferencia de calor de algunos materiales.	28
Tabla 3. 7 Coeficiente de transferencia de calor de algunos materiales.....	28
Tabla 3. 8. Coeficiente de Souders-Brown para el coeficiente C	31
Tabla 3. 9 Tipos de circulaciones empleadas en tachos al vacío	33
Tabla 3. 10 Datos básicos del tacho de cenicaña	34
Tabla 3. 11. Tipos de agitadores según el flujo.....	35
Tabla 3. 12. Tipos de impulsores o agitadores de tipo axial [15]	36
Tabla 3. 13 Propiedades Reológicas de la masa cocida	38
Tabla 3. 14 Parámetros de diseño para diferentes diámetros del impulsor	38
Tabla 3. 15. Vida del eje	42
Tabla 3. 16 Balance de masas del condensador	50
Tabla 3. 17 Gastos de partes que requieren Acero Inoxidable 304.....	53
Tabla 3. 18. Otros gastos.....	53
Tabla 6. 1 Propiedades de los materiales usados en el área de cocción.	57

Indice de Graficos.

Gráfica 3. 1 Funcionamiento del Tacho mediante la hipérbola de circulación.	23
Gráfica 3. 2 Circulación forzada vs circulación natural. [12]	32

RESUMEN

Las empresas actualmente deben estar en una búsqueda constante de mejoras en sus procesos productivos para poder estar bien posicionados en el mercado, ya que optimizando los procesos se logra una reducción de gastos o un mayor aprovechamiento de los recursos. En el presente documento, se evidencia la respuesta a una necesidad planteada por CENICAÑA de una herramienta con la cual apoyar a la industria azucarera, donde puedan experimentar procesos que no sería posible en la línea de producción. Por lo tanto, se presenta el diseño de un Tacho Piloto tipo Batch. Inicialmente se realiza el análisis de medidas geométricas, parámetros y variables de funcionamiento de los Tachos industriales, a partir del análisis anterior se realiza el dimensionamiento y diseño térmico, además del diseño del agitador, los componentes internos del Tacho y las medidas del condensador adjunto. Por último se expone un análisis de costos que conlleva la realización del proyecto.

Palabras clave: Diseño térmico, mejoramiento de proceso, componentes internos, condensador adjunto.

ABSTRACT

Companies currently should be on a constant quest to improve their productive processes to will be well positioned in the market, this is a achieved by optimizing thereby reducing cost and getting a better use of resources. In this document, CENICAÑA found the necessity of a tool where sugar industries support, in this tool they may experience processes that won't be possible on the production line. Therefore, in this document is presented the design of a Vacuum Pilot Pan Batch. It stars with the analysis of geometry and operating variables of the industrial Pan, from this, the thermal design is done so that the Pan has proper operation, besides the design of the impeller, the internal components and the attached condenser. Finally, the document presents the analysis of the cost involved in the project.

0. Glosario

Sacarosa: Representa el porcentaje (%) del compuesto químico conocido comercialmente como Azúcar. La fórmula condensada de la Sacarosa se representa como $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Brix: Porcentaje de Sólidos disueltos en una solución. El Brix incluye los Sólidos que son solubles y que pueden estar constituidos por Sacarosa y por otras sustancias no Sacarosa. Brix, además, es el nombre del químico que calculó las tablas de solubilidad inicialmente. El Brix también se define como:

$$\text{Brix} = \text{Sacarosa} + \text{No Sacarosa}$$

Y:

$$\text{Agua} = 100.0 - \text{Brix}$$

Pureza: Es el porcentaje que representa la fracción de los Sólidos o Brix de una solución constituidos por Sacarosa. En fórmula:

$$\text{Brix} * \text{Pureza} / 100 = \text{Sacarosa}$$

Templa: Se le denomina templa al material que se encuentra dentro del Tacho siendo procesado.

Masa: Cuando el trabajo del Tacho a finalizado y su material es descargado, a ese material final se le conoce como Masa, y varía dependiendo de qué Tacho es extraído, la Masa A, proviene del Tacho de A, La Masa B del Tacho de B y la Masa C del Tacho C. Es de apariencia viscosa.

Torta y Miel: Después de descargar el Tacho, la Masa se lleva a la centrifuga donde por energía cinética es separado el cristal de azúcar del líquido con el que se encuentra en contacto, dando como resultado dos elementos, la torta que consiste en los granos de azúcar todavía húmedos y la miel que va a un siguiente proceso.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de la producción del azúcar a base de caña, es el mismo desde hace muchos años, logrando siempre una buena calidad de ésta. Lo anterior se debe a la retroalimentación existente durante todo el proceso de producción, si ésta retroalimentación no se logra, la cadena de producción se ve afectada, disminuyendo la calidad del producto final.

La razón de un ingenio azucarero en Colombia, es la obtención de la sacarosa presente en la caña de azúcar, esta sacarosa se encuentra principalmente en el tallo de la misma, por tanto para obtenerla es necesario un proceso con el cual se separa la sacarosa de las fibras vegetales que componen el tallo.[6]

Es necesario que el jugo extraído de los tallos sea procesado, de tal manera que se aglutinan las impurezas presentes, el agua en el jugo se va evaporando por medio de la adición de calor y se inicia el proceso de cristalización de la sacarosa. Este es un proceso largo y complicado que requiere de mucho cuidado, aunque esta mediado por instrumentos automáticos, requiere de la intervención humana para garantizar la calidad del producto final.

Uno de los procesos en el cual la presencia del hombre es necesaria e indispensable, es en el proceso de cristalización, que consiste en el desarrollo del cristal del azúcar, es todavía muy artesanal y dependiente del ser humano, ya que es el último proceso en la línea de producción, en el que se puede modificar el tamaño del grano y otras características de calidad (color, turbiedad, ceniza) dependiendo de las especificaciones del cliente final. [4]

El proceso de cristalización ocurre en los tachos al vacío, mediante el manejo de distintas condiciones tales como entrada de vapor, alimentación de meladura y entrada de agua, se logra mantener la concentración deseada y una pureza esperada para el tipo de azúcar que se está produciendo. [10] [1]

1.1 Justificación

El entorno productivo de la industria azucarera ha cambiado en los últimos años, los mayores cambios se han dado en cuanto al tipo de cosecha (introducción de la mecanización) y en la calidad de la materia prima. Las características finales del azúcar dependen totalmente de los procesos que lo antecedieron, los atributos particulares de la meladura, concentración, tamaño de grano, jarabe varían en

gran forma. Para conocer cuáles de estos atributos es más determinante, se hace necesario tener una herramienta en la cual se pueda experimentar, ya que no es posible hacerlo en los tachos industriales sin que se vea afectada la producción [3].

En el tacho piloto se variarían condiciones tales como temperatura, presión, humedad, volumen de llenado, velocidad de operación, vapor entregado, etc., para saber en cuál de estas condiciones se debe operar el tacho, buscando que el resultado sea el más favorable. Para poder comparar una planta piloto con una planta real, en la planta piloto se deben introducir variables reales a una escala de producción menor, igualando cualidades como tiempo de Producción, coeficiente de variación, brix, pureza, tasa de transferencia de calor, entre otros. [4].

En este proyecto se realizó el diseño de un Tacho al vacío tipo batch, que es una herramienta confiable y portable, capaz de asistir a la industria que requiera de sus servicios. Con su posterior construcción permitirá la variación de los parámetros dentro del tacho determinando las variables operacionales óptimas para las especificaciones requeridas del producto final.

1.2 Obtención del azúcar

El proceso de la obtención de azúcar a partir de la caña tiene como inicio la siembra, siendo Colombia un país privilegiado ya que se puede sembrar y cosechar caña todos los días del año no como Brasil y países de Centroamérica que cosechan por zafras, es decir, cada 6 meses. Después de la cosecha se encuentra el corte que consiste en separar el tallo de la caña, de su raíz y del cogollo los cuales contienen poca azúcar, que con su extracción no generaría ganancia, el cogollo es utilizado como materia prima para la obtención de biomasa. El tallo se lleva al siguiente proceso que es la molienda, en la cual agregándole agua y comprimiéndolo se le extrae el azúcar que se encuentra en forma de sacarosa, generando un líquido llamado jugo diluido y el bagazo, que consiste en las fibras del tallo con poca cantidad de sacarosa, es utilizado como parte del combustible en las calderas que dan el vapor para las turbinas multietapa que generan la energía eléctrica para el funcionamiento del Ingenio y para la adición de vapor a procesos que requieran calor (Ver

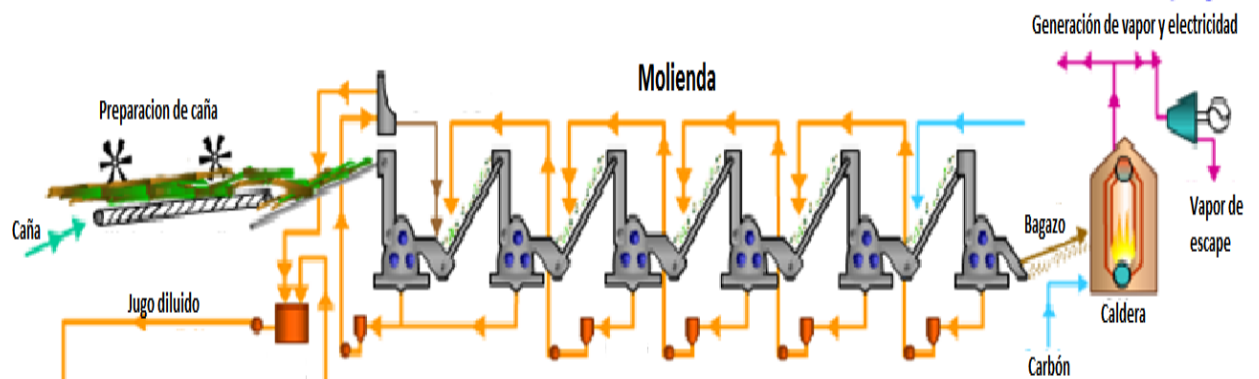


Figura 1. 1Preparación, molienda y generación de vapor). Posteriormente se encuentra el calentamiento del jugo absoluto, para eliminar las bacterias presentes en este, también para que al adicionar Cal y otros componentes, se adhieran a las impurezas presentes en el jugo, así es más fácil su extracción en el siguiente proceso que es la Clarificación. [6]

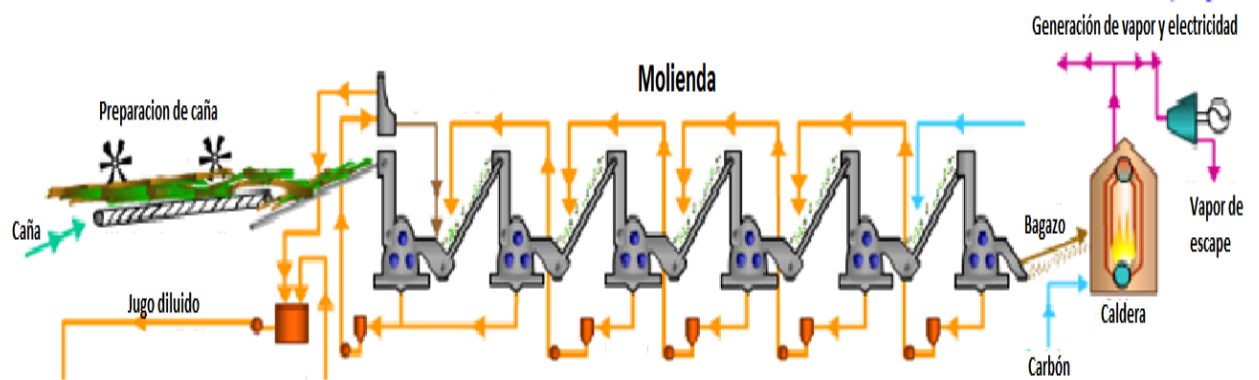


Figura 1. 1Preparación, molienda y generación de vapor [17]

En la clarificación lo que se quiere es separar la mayoría de impurezas que se encuentran en el jugo, induciendo una sedimentación para que los lodos sean extraídos por la parte inferior del clarificador, a estos lodos se les debe de hacer un proceso de filtración ya que contienen azúcar que no se puede perder, de esta filtración se obtiene el jugo filtrado que pasa de nuevo a la clarificación y la cachaza que es un subproducto del cual no se puede obtener más azúcar. [3]

A continuación, se encuentran los evaporadores que consisten en un multiefecto, es decir, no hay un solo evaporador, por lo general se encuentran varios conectados en serie entre sí, en los cuales, se desea remover el agua presente en el jugo clarificado, aumentando su densidad y el nivel de concentración de sacarosa, obteniendo la Meladura, materia prima del proceso de cocción o cristalización, que consiste en formación y desarrollo del cristal de azúcar (Ver Figura 1. 2 Evaporación del jugo).[8]

Este proceso se realiza en los tachos al vacío que es como un evaporador pero de simple efecto. Es decir, los vapores generados por la evaporación en el tacho no sirven para trabajar en ningún otro evaporador o a otro Tacho. Simplemente están conectados a un condensador que genera un vacío de aproximadamente 24" de Mercurio. Por consiguiente la temperatura de trabajo es menor que la correspondiente si el tacho estuviera a presión atmosférica. En el tacho lo que se desea es agotar la sacarosa presente en la miel y hacer que esta sacarosa se le adhiera a los cristales de azúcar presentes, los cuales tienen un tamaño pequeño (Ver Figura 1. 3 Esquema). [2]

El proceso de cristalización culmina cuando el tamaño del grano de azúcar es el deseado y esto es comprobado por el tachero encargado. El resultado de este proceso se denomina la Masa final. La tecnología de la fabricación de azúcar cristalizada implica la separación de los cristales del Licor Madre por medio de centrifugas. Estos equipos retienen la torta de cristales y dejan drenar la miel a través de los poros conformados por los cristales, por tomar ejemplo el tacho de A el cual es el último; de este tacho se obtiene la masa de A, y en estas centrifugas se separa el azúcar para refinar y la miel de A, que es la alimentación del tacho de B. Teniendo el azúcar para refinar se pasa al último proceso que consiste en el secado, se le disminuye al máximo la humedad presente en el azúcar para ya terminar el proceso con el empaque para su posterior distribución.[4]

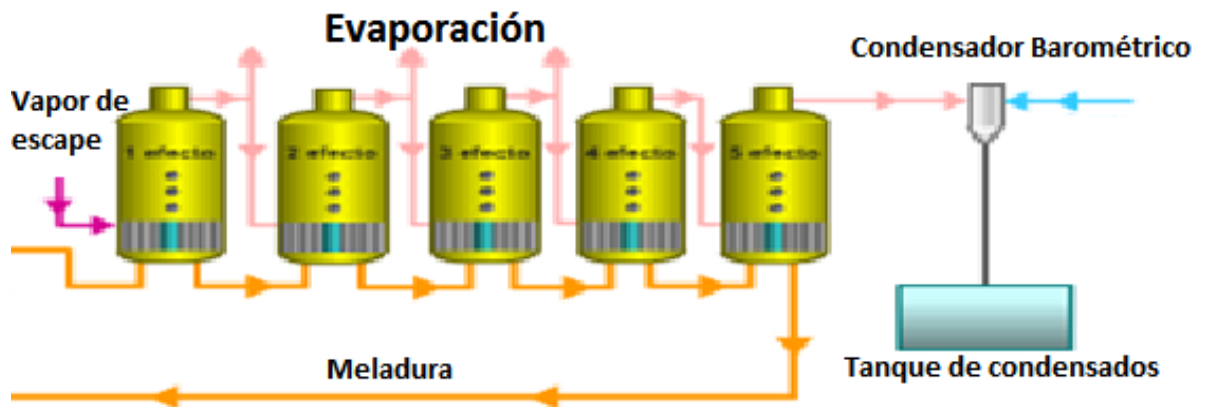


Figura 1. 2 Evaporación del jugo [17]

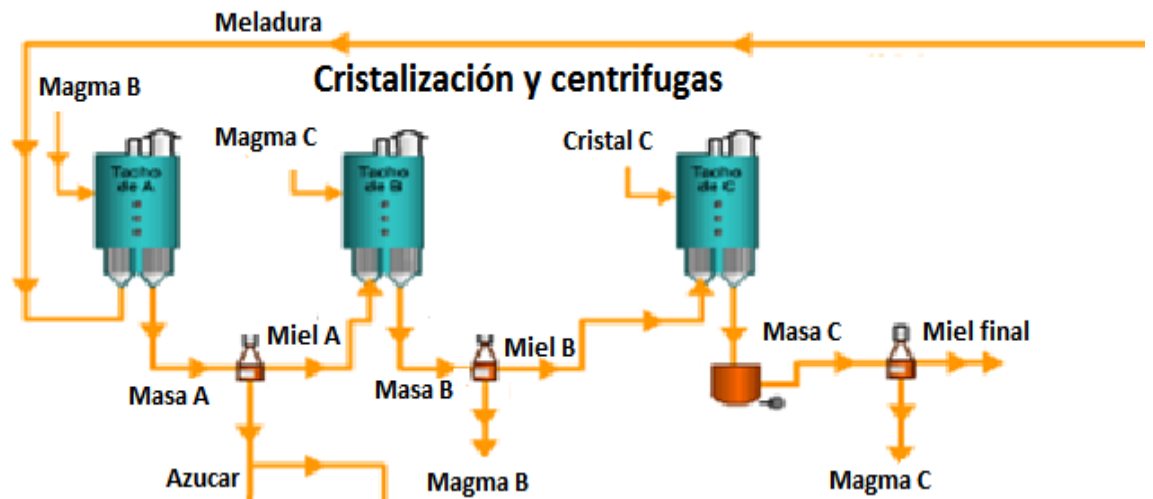


Figura 1. 3 Esquema cristalización [17]

1.3 Funcionamiento del Tacho

En el Tacho es donde se empieza a calentar la meladura, para que el solvente, que en este caso es el agua, se evapore y se vaya por la parte superior hacia el condensador que es parte importante de la cristalización ya que es quien mantiene la presión de vacío en el Tacho. Al evaporarse el solvente se empieza a concentrar el soluto (sacarosa), generando una mayor viscosidad, logrando que la sacarosa se deposite sobre los núcleos para que crezcan los cristales. Para que este proceso se logre se debe mantener en la zona metaestable o de saturación. El tacho trabaja de manera adecuada si se mantiene a una presión de vacío, ya que esto reduce la temperatura de ebullición del agua y al tener menor temperatura no cambia la composición de los productos alimenticios y hay un menor consumo de energía. Este proceso de cocción se realiza en 3 etapas principales, los cuales tienen las mismas condiciones en cuanto a temperatura y a presión se refiere. Se realiza en 3 etapas ya que si se realizara en una sola los cristales se concentrarían totalmente, no existiría espacio intercrystalino y por tanto no fluiría, se solidificarían y la sacarosa se convertiría en glucosa y en fructosa, formando panela. En estas 3 etapas lo que se desea es agotar la miel y con la sacarosa presente en ella, enriquecer los cristales de azúcar. [10]

1.4 Proceso de cristalización

Esta es una de las fases de mayor complejidad en el trabajo del Ingenio. Es compleja porque a pesar de los avances en sistemas de medición y control automatizado aún existen muchas operaciones que son artesanales. La tecnología dispone de todas las herramientas necesarias para lograr un buen trabajo de agotamiento de la Miel Final y se ha avanzado un gran trecho. Sin embargo se

encuentra con frecuencia que algunos Ingenios que poseen sofisticados equipos no alcanzan niveles satisfactorios de agotamiento.

La cristalización consiste en las 3 etapas de los tachos presentes en ellas. Están el tacho de A, el tacho de B y el tacho de C; del Tacho de A se obtiene la Masa A, fabricada con Meladura y Azúcar B como semilla, que se separa en las centrífugas en dos fracciones: azúcar A o Azúcar Comercial y Miel A. Se recurre entonces a una segunda etapa para un agotamiento adicional de la Miel A y esto permite la fabricación de la Masa B. El otro componente es el Azúcar C llamado comúnmente Magma C. La Masa B se separa al igual que la A en las centrífugas en dos efluentes: Azúcar B y Miel B. El azúcar B sube de grado pues entra al tacho de A como semilla, mientras que la Miel B baja hacia la Tacho de C a sufrir un agotamiento adicional. Finalmente hay una Templa C que es la Templa Final fabricada a partir de la Miel B y un material fabricado ex profeso que se conoce con el nombre de Cristal. De aquí se obtiene el Azúcar c o Magma C y la miel final, que no es utilizable para la obtención de azúcar, ya que para obtenerla serían más los costos que las ganancias. [6]

1.5 Condensador

Para que el tacho funcione en su máxima eficiencia es necesario que tenga la mínima presión posible en el lugar, en este caso se maneja una presión de vacío, que es generada gracias a la condensación del agua que ha evaporado el tacho de la masa en su interior. El Volumen Específico del vapor de agua a 24" de Mercurio o 2.89 psia es 122.8 pies cúbicos por libra. Esta masa de agua cuando se condensa y se transforma en agua líquida, tiene un volumen de 0.016 pies cúbicos. La relación entre los dos volúmenes es igual a $122.8/0.016 = 7.675$. Esto representa una contracción del volumen por efecto de la condensación. Esta contracción permite establecer un flujo de vapor pues ese volumen que se ha reducido puede ser ocupado por una nueva libra de vapor que se condensa igualmente y así se establece el flujo de vapor. En este caso se cumple una de las leyes de los gases que dice que: $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$, en donde la relación de las presiones es inversamente proporcional a los volúmenes, por lo cual la presión dentro del condensador se reduce de manera notable, generándose vacío. [5]

La transferencia de energía se hace con base en el Calor Latente del Vapor de Agua a las condiciones de Presión (Vacío) se entrega al Agua de Inyección que entonces elevará su temperatura hasta el valor de salida o descarga. La medida de la eficiencia del Condensador puede establecerse entonces calculando la diferencia entre el Vapor Vegetal que entra y la temperatura del agua caliente mezclada con el agua del vapor condensado. Esta diferencia se conoce con el nombre de Acercamiento o por su equivalente en inglés, *approach*. Este valor es clave para establecer la eficiencia. Existen en el Condensador tres corrientes: el Vapor Vegetal que entra al Condensador con una temperatura t_v , el agua de

inyección cuya temperatura es t_1 y el agua de descarga con una temperatura t_2 . El Acercamiento se define entonces como:

$$\text{Acercamiento (Approach)} = t_v - t_2$$

La función del Condensador, por si misma evidente, es condensar los vapores vegetales que se generan de la Meladura o de las Templas en un Evaporador o en un Tacho. Esta operación se realiza con el fin de crear vacío en el Tacho. Pero hay gases que se consideran incondensables que son generados gracias Inherentes en el jugo, ingreso de aire en el tacho o ingreso de aire en el condensador. Si estos incondensables no se extraen del condensador, se saturara y su eficiencia bajara instantáneamente, para eliminar estos gases es necesaria una bomba de vacío. [5]

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un Tacho piloto tipo batch para cristalización de azúcar capaz de producir 1 tonelada de azúcar.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las dimensiones externas del Tacho que garanticen la capacidad proyectada.
- Especificar los componentes interiores, teniendo en cuenta la transferencia de calor y las necesidades de circulación.
- Seleccionar el agitador que permita cristalizar una tonelada de azúcar en menos de 3 horas.
- Dimensionar el condensador adjunto al Tacho.
- Realizar planos del diseño.
- Efectuar la evaluación económica del diseño propuesto.

3 DESARROLLO DEL DISEÑO

3.1 Capacidad del Tacho y dimensiones internas.

Para la realización del diseño del Tacho piloto, fue necesario entender el funcionamiento de los tachos industriales; se realizaron medidas geométricas, además de una constante retroalimentación con los operarios y sus ayudantes, ya que son ellos los que tienen contacto directo con el tacho, y son los que deben garantizar las características del producto terminado. En la tabla 3.1 se pueden observar las medidas de los tachos industriales en un Ingenio, al que se tuvo el ingreso. De la siguiente tabla se tomaron las relaciones más importantes ya que con ellas se puede acotar el campo de acción, teniendo restricciones en cuanto a cálculos, además de punto de comparación de los tachos.

Tabla 1. Medidas geométricas de tachos industriales.

Parametros	Tacho Industrial 1	Tacho Industrial 2	Tacho Industrial 3
Diametro tacho	4,93 m	3,32 m	3,28 m
Down take	1,75 m	1,1811 m	1,24 m
Diametro tacho/Down take	0,35	36%	0,38
Diametro Tubos calandria	100 mm	76,2 mm	76,2 mm
Diametro Calandria	4,97 m	2,83 m	3,02 m
Longitud Calandria	86,36 cm	92,39 cm	91,44 cm
Numero de tubos	1410	464	508
Volumen ejercicio	54,37 m ³	16,99 m ³	21,24 m ³
Volmen granulacion			
Area transferencia de calor	392,42 m ²	96,98 m ²	105,02 m ²
Relación A/V	7,22	5,71 m ⁻¹	4,95 m ⁻¹
Relación de circulación	4,60	1,93	1,92
Indice de circulación a 100% nivel			
Velocidad de circulación entrada calandria			
Velocidad de circulación salida calandria			
Potencia Agitador			
Paso impulsor			
Diametro aspas impulsor	1,70 m		
Velocidad Angular impulsor	33 rpm		
Entrada vapor	10707,58 Kg/h	3346,12 Kg/h	4182,65
Presion de vapor			
Evaporación	38,52 Kg/(m ² h)	32,47 Kg/(m ² h)	33,56 Kg/(m ² h)
kg vapor/kg agua evaporada	0,71	1,063	1,187

Debido a que el diseño del Tacho se realizó de manera simultánea al diseño de la planta piloto, se llegó a la conclusión de que el tamaño del mismo debía ser regido por el máximo tamaño de los contenedores en los cuales se podría transportar, además, la entrada de caña de azúcar en los molinos sería de 700 kg. Sabiendo esto en la Tabla 3. 22 se muestran los tamaños de los contenedores.

Tabla 3. 2 Contenedores de transporte más grandes.

Tipo Contenedor	Largo	Ancho	Altura
Dry High Cube	12.030	2.352	2.697
Dry Standard	12.030	2.352	2.392
Reefer High Cube	11.560	2.285	2.410

Teniendo estos contenedores se elige el Dry High Cube ya que es el más alto y se procede a realizar los cálculos.

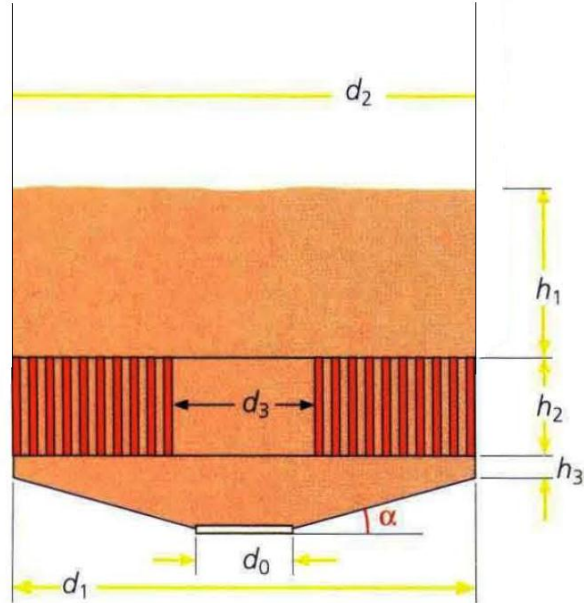


Figura 3. 1 Geometría y denominación de las dimensiones internas del Tacho. [18]

Los datos iniciales que se tienen son los de la Tabla 3. 33. En donde el diámetro de salida d_0 es debido al tiempo en el que es vaciado el tacho que es de menos de 2 minutos; el diámetro del tubo D_t es equivalente a 101,6 y se dejó de igual tamaño que los tachos industriales para simular el funcionamiento de los mismos; la longitud de la calandria y el número de tubos sale de la optimización de la altura del tacho y de la cantidad de material que se dispone, las relaciones Volumen de granulación/Volumen a calandria (R_{vv}) y Área/Volumen (A/V), fueron determinadas dentro del rango de los tachos industriales y de la literatura relacionada; el ángulo de fondo y la altura h_3 se definen por las recomendaciones existentes en la literatura.[18][17]

Tabla 3. 3 Datos iniciales de dimensión del tacho.

Diámetro de salida d_0:	150	mm
Diámetro del tubo D_t:	101,6	mm
Longitud Calandria h_2:	500,00	mm
Numero de tubos N_t	10	
Relación Volumen granulación/Volumen a Calandria R_{vv}	3	
Relacion Área /Volumen	7,5	
Angulo fondo α :	15	°
Altura h_3:	50	mm

A continuación procedemos a definir la altura del Tacho, se deja una holgura de un 15% de la altura total del contenedor dando como resultado que la altura del tacho es de 2.20 m.

Teniendo la altura se procede a encontrar las dimensión que desconocemos de el tacho, que son la altura de llenado (h_1), diámetro de calandria (d_1), diámetro del tubo central (d_3), Volumen de granulación (VG) y el área de transferencia de calor (AT) para esto. Se sabe que la altura total del tacho es la suma de las longitudes horizontales del mismo:

$$2.20m = \text{AlturaTotal} = \text{Cos}(\alpha) * (d_1 - d_0) + h_3 + h_2 + h_1 + 2 * h_1 \quad \text{Ecu. 3. 1}$$

Dónde se multiplica h_1 por 2, para evitar el arrastre de partículas por la salida de vapor vegetal que se verá más adelante. En la ecuación anterior se tienen como incógnitas d_1 , d_0 y h_1 .

Además, se sabe que el Volumen de granulación o de llenado depende de variables geométricas, y como se muestra en la figura 3.1 puede ser dividido en 3 volúmenes principales que son: V_{bc} (Volumen bajo Calandria), V_c (Volumen a la altura de la Calandria, incluyendo volumen dentro del tubo central) y V_s (Volumen sobre Calandria). A continuación se muestran las ecuaciones de estos volúmenes:

$$V_{bc} = \pi * \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 * h_3 + \pi * \left(\left(\frac{d_1}{2} - \frac{d_0}{2}\right) * \tan(\alpha)\right) * \left(\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 + 2 * \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 - \frac{d_0}{2} * \frac{d_1}{2}\right) \quad \text{Ecu. 3. 2}$$

$$V_c = \pi * \left(\frac{0.4d_1}{2}\right)^2 * h_2 + \pi * \left(\frac{D_t}{2}\right)^2 * h_2 * N_t \quad \text{Ecu. 3. 3}$$

$$V_s = \pi * \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 * h_1 \quad \text{Ecu. 3. 4}$$

Donde se encuentran las incógnitas antes mencionadas. Además se tiene la ecuación de R_{vv} que consiste en:

$$3 = R_{vv} = \frac{VG}{V_{bc} + V_c} \quad \text{Ecu. 3. 5}$$

La relación R_{vv} es un valor que se tiene en la tabla 3.3 y es igual a una división entre el volumen de granulación y el volumen a calandria, definidos en las ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4.

Para saber el área de transferencia de calor, se debe tener en cuenta que el área de contacto entre el vapor y el material a calentar está regida por la siguiente ecuación:

$$AT = Dt * \pi * h^2 * Nt \quad \text{Ecu. 3. 6}$$

Ecuación en la cual se tienen todos los datos para realizar el cálculo, pero que nos sirve para encontrar el VG teniendo en cuenta otra relación de la tabla 3.3 que es la relación A/V.

$$7.5 = \frac{A}{V} = \frac{AT}{VG} \quad \text{Ecu. 3. 7}$$

Para finalizar tenemos la última ecuación que nos relaciona el Volumen de Granulación (VG) con la entrada de caña de azúcar. Donde por cada kilogramo de caña, se obtienen como resultado final 11.5% de azúcar entregado por los tachos de A, se multiplica por la duración del cocimiento, se obtiene una cantidad de masa de azúcar, si el tacho tiene un rendimiento del 64% y por último se divide por la densidad del material obtenemos el VG.[18]

$$VG = \frac{(Entrada\ Caña\ azúcar * 0.115 * Tiempo\ de\ trabajo)}{0.63 * Densidad\ material} \quad \text{Ecu. 3. 8}$$

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones 3.1, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se obtienen los resultados mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Resultados de los Cálculos

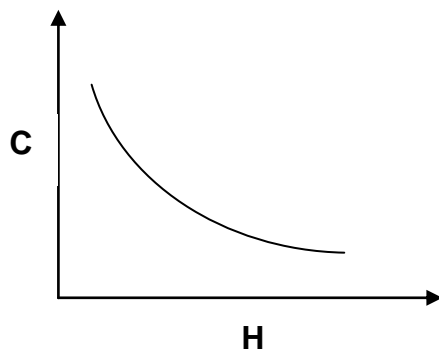
Altura Strike H1:	673,03	mm
Diámetro de Calandria D1:	518,17	mm
Diámetro de Downtake D3:	207,27	mm
Volumen Granulacion	0,21	m ³
Area Transferencia Calor	1,60	m ²

Teniendo ya los datos de geometría, y tomando las relaciones presentadas por los Ingenieros Dora Paz y Oscar Diez, de la Estación Experimental Obispo Colombres de Tucuman, Argentina, en las cuales se muestra el comportamiento del proceso con relación a la altura de llenado y a la evaporación, teniendo en cuenta que la circulación del material sería por convección, no se toma en cuenta si tiene o no agitador; si la circulación natural es buena, se puede seguir con la evaluación del uso de un impulsor en el tacho. Es posible establecer algunas conclusiones sobre el trabajo de un Tacho en relación a la constante C que representa la velocidad de circulación con respecto a la altura de llenado. Que sería:

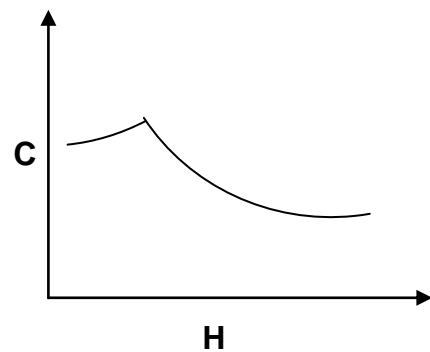
$$C = D^2 d^2 \frac{h}{H} \quad \text{Ecu. 3. 9}$$

Si aplicamos esta ecuación a un Tacho cuyo diámetro es D , con un tubo central de diámetro d , siendo h la altura de la calandria y H la altura de llenado a diferentes tiempos, el valor de C nos dará una información sobre la circulación. Los valores D , d y h son constantes en la parte cilíndrica después del cono de expansión en los tachos de baja cabeza. El valor de D cambia entre la placa superior y el cilindro recto y es necesario tener en cuenta este valor. El valor de H varía entre $H = h$ y H_t siendo este valor la altura total de la Templa contada desde el fondo del Tacho. Si se calcula el valor de C para diferentes alturas puede encontrarse que la curva es una parábola si el tacho es recto. Si el Tacho es de baja cabeza, la curva es doble, con valores de C que aumentan y luego adoptan la forma parabólica.

Ejemplo:



Tacho recto



Tacho de cabeza constante

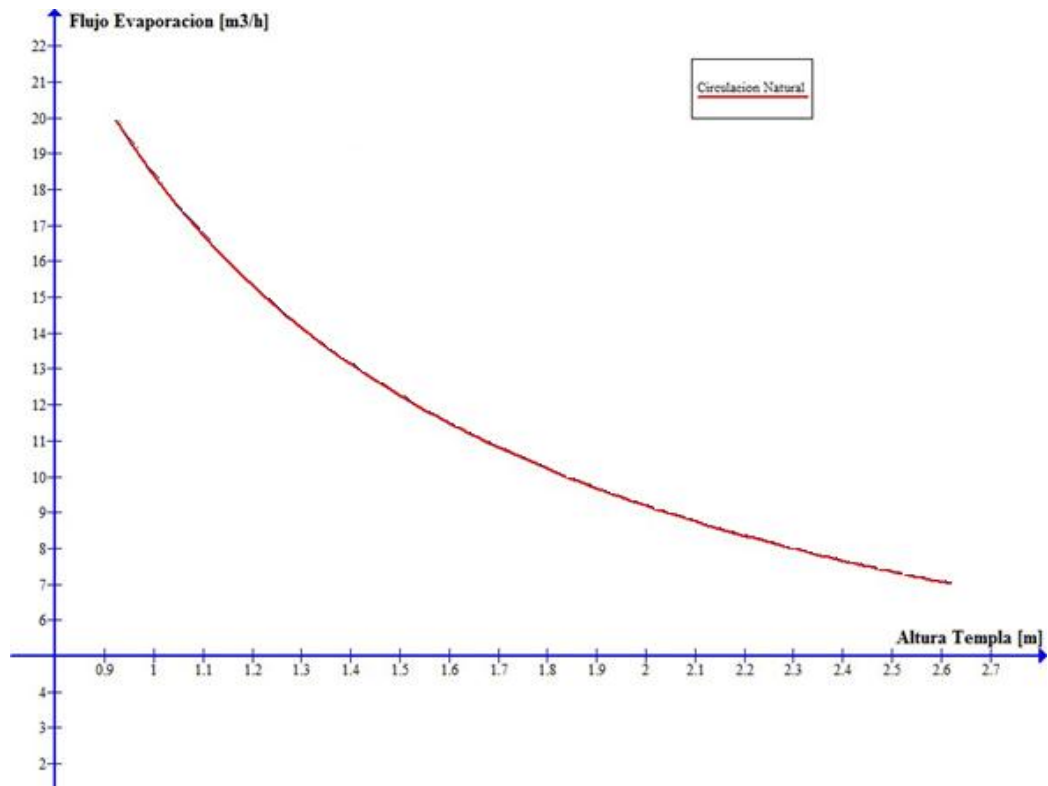
La ecuación de la curva es una hipérbola del tipo:

$$y = a^2 \frac{b}{x}$$

Tomado los mismo ejes de coordenadas y

Teniendo todos los datos de la tabla 3.3 y 3.4

$$C = D^2 d^2 \frac{h}{H}$$



Gráfica 3. 1 Funcionamiento del Tacho mediante la hipérbola de circulación.

Ya que esta hipérbola depende de valores geométricos, se considera aceptable.

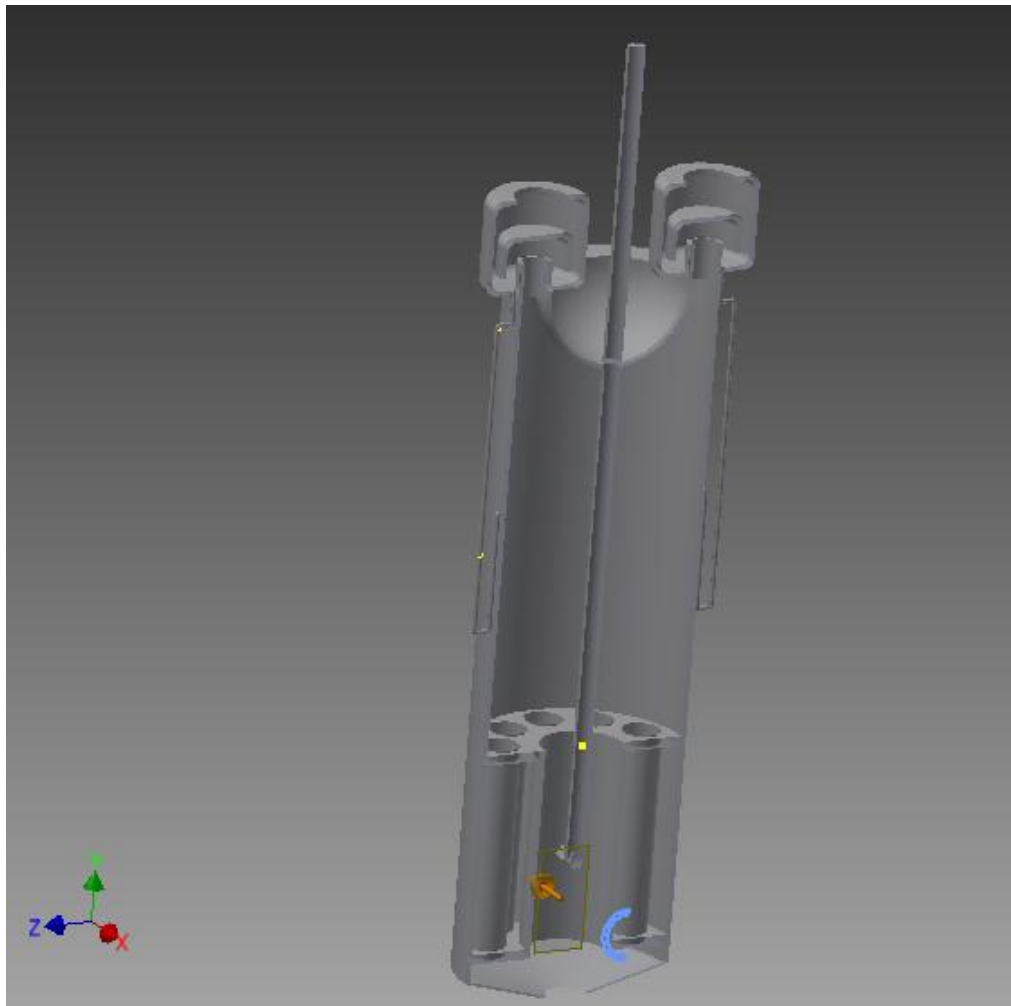


Figura 3. 2 Vista interior del Tacho.

3.3 Diseño Térmico

Teniendo los datos de geometría interna, se procede a encontrar los valores de transferencia de calor, se debe tener en cuenta que el correcto diseño térmico es esencial para el adecuado funcionamiento del tacho.

Debido al desarrollo matemático de la teoría se expresa el Coeficiente Total de transmisión de calor en la siguiente forma:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{\alpha_2} \quad \text{Ecu. 3. 10}$$

La ecuación que define el flujo de calor es la siguiente:

$$Q = U * A * (t' - t) \quad \text{Ecu. 3. 11}$$

En esta ecuación U está dado en Watt/m°K, A es el área de transferencia que para el caso de los tubos de un Tacho se toma como el área externa, t' es a temperatura final a la que se llega y t es la temperatura inicial. Esta es la cantidad de calor recibida por el Jugo o miel.

Los valores normales de las resistencias a la transferencia de calor del lado de la calandria y del lado interior del tacho son α_1 y α_2 respectivamente teniendo la siguiente magnitud, además se tiene la resistencia a la transferencia de calor del acero del que están hechos los tubos de la calandria:[13]

$$\alpha_1 = 15000 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$
$$\alpha_2 = 2000 \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$
$$k = 40 \frac{\text{Watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Debido a que el valor que rige el comportamiento del coeficiente total de transferencia de calor es el menor, es decir la resistencia a la transferencia del lado interior del tubo, este se halló también de manera experimental aplicando la ecuación 3.12. Tomando 3 momentos del cocimiento, al inicio, donde la concentración de la Masa es menor, a la mitad de la templa donde ya ha aumentado el brix, y al final de la templa que es cuando se está preparando la masa para ser descargada.

El coeficiente total de transferencia de calor (U) puede ser incrementado a medida que el coeficiente de transferencia de calor de los tubos (h_t) aumenta, el cual está dado por:

$$\frac{h_t \cdot d}{k_t} = 0.023(Re_t)^{0.8}(Pr_t)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{\mu_t}{\mu_{wt}}\right)^{0.14} \quad \text{Ecu. 3. 12}$$

Dónde:

d = Diámetro interior del tubo.

k_t = Conductividad térmica del fluido en el tubo.

μ_t = Viscosidad del fluido dentro del tubo a la temperatura de trabajo.

μ_{wt} = Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared del tubo.

C_p = Calor específico del material.

Además el número de Reynolds del fluido dentro del tubo y el Prandtl son definidos como:

$$Re_t = \rho_t v d / \mu_t$$

$$Pr_t = C_p \mu_t / k_t$$

Resolviendo la ecuación 3.12 da como resultado la siguiente tabla, en donde se muestra que el valor promedio de la resistencia de la transferencia de calor del lado tubo es muy cercana al valor encontrado en la literatura.

Tabla 3. 5 Propiedades de la Masa dentro de los tubos

Densidad	1427,6	1455,6	1488,84
Ut	2,64	27,77	227,18
CP	2,41	2,33	2,27
Utw	1,67	15,04	105,42
KT	0,36	0,35	0,343
ht	4197,022	1409,302	537,857
PROMEDIO ht =>		2048,061	

La anterior situación es la de un calentador limpio, a comienzos del período de molienda. La realidad es que existe una resistencia adicional conformada por las incrustaciones de las sales de Calcio, Sílice y los Sulfatos y Sulfitos.

Los valores que se han encontrado para las diferentes incrustaciones aparecen a continuación:[13]

Tabla 3. 6 Resistencia a la transferencia de calor de algunos materiales.

Incrustación	c: Watt/m °K	c: BTU in/ft ² Hr °F
Yeso	0.7 – 2.30	4.85 – 16.00
Sales Calcio	0.15 – 2.30	1.05 – 16.00
Sílice	0.08 – 0.23	0.55 – 1.60

Por consiguiente, el valor del Coeficiente Total de Transmisión de Calor se debe expresar ahora como:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{1}{\alpha_2}$$

En donde: L_1/k_1 representa la resistencia al paso del calor a través de la pared del cuerpo que tiene un grosor de una pulgada y L_2/k_2 corresponde a la incrustación.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{15000} + \frac{0.0254}{47} + \frac{0.0013}{2.3} + \frac{1}{2000}$$

Resolviendo las ecuaciones, el Coeficiente total de transferencia de calor da como resultado 611 Watt/m²°K, que es un valor que está dentro de los valores de las meladuras y mieles mostrado en la Tabla 3. 7 Coeficiente de transferencia de calor de algunos materiales.

Tabla 3. 7 Coeficiente de transferencia de calor de algunos materiales.

Material	Watt/m ² °K	BTU/Hr ft ² °F
Jugo Clarificado	930 – 1100	164 -194
Jugo Mixto	700 - 930	123 -164
Agua	1810 - 2210	319 - 389
Meladura Mieles	465 - 700	82-123

3.4 Prevención de arrastres

Cuando se habla de arrastre, se refiere a la inclusión de partículas de azúcar en la flujo de vapor que sale del Tacho, vapor que es resultado de la evaporación del agua que se encuentra en la meladura dentro del Tacho. El arrastre se puede generar por diferentes situaciones:

- Debido a la mala ubicación de puntos de alimentación, demasiado cercanos a la extracción de condensables.
- La creación de espuma dentro del Tacho, asociada con la puesta en marcha, parada repentina o un funcionamiento inestable.
- Cambios repentinos de presión, problemas en la condensación.
- Gotas de agua y sacarosa, cuya velocidad terminal es menor que la velocidad del vapor producido.

El punto en el que se debe tener más cuidado es en el último, ya que los otros problemas pueden ser solucionados con un correcto diseño o con una correcta operación.

De los separadores mencionados por Rein el escogido para el diseño del tacho es el de flujo contrario, que consiste en el cambio de dirección del vapor, haciendo que las gotas sean removidas por el impacto inercial contra las superficies sólidas. El área del flujo debe ser estimado por la velocidad máxima de flujo, la velocidad que las gotas no deben exceder. El separador consiste en dos entradas de vapor, cada una con su cambio de dirección y se unen para así llevar el vapor al condensador como se muestra en la siguiente figura. [18]

En la figura 3.3 se muestra el funcionamiento del separador de arrastre que consiste en el cambio de dirección del vapor para su posterior evacuación por la parte superior, donde las dos tuberías se juntan y se ingresan al condensador. Además el separador debe de tener un retorno de condensable hacia el material que se está cociendo dentro del tacho, esto se realiza con sellos líquidos con su respectiva válvula cheque, para así evitar que el vapor ingrese por el lugar de los condensables.

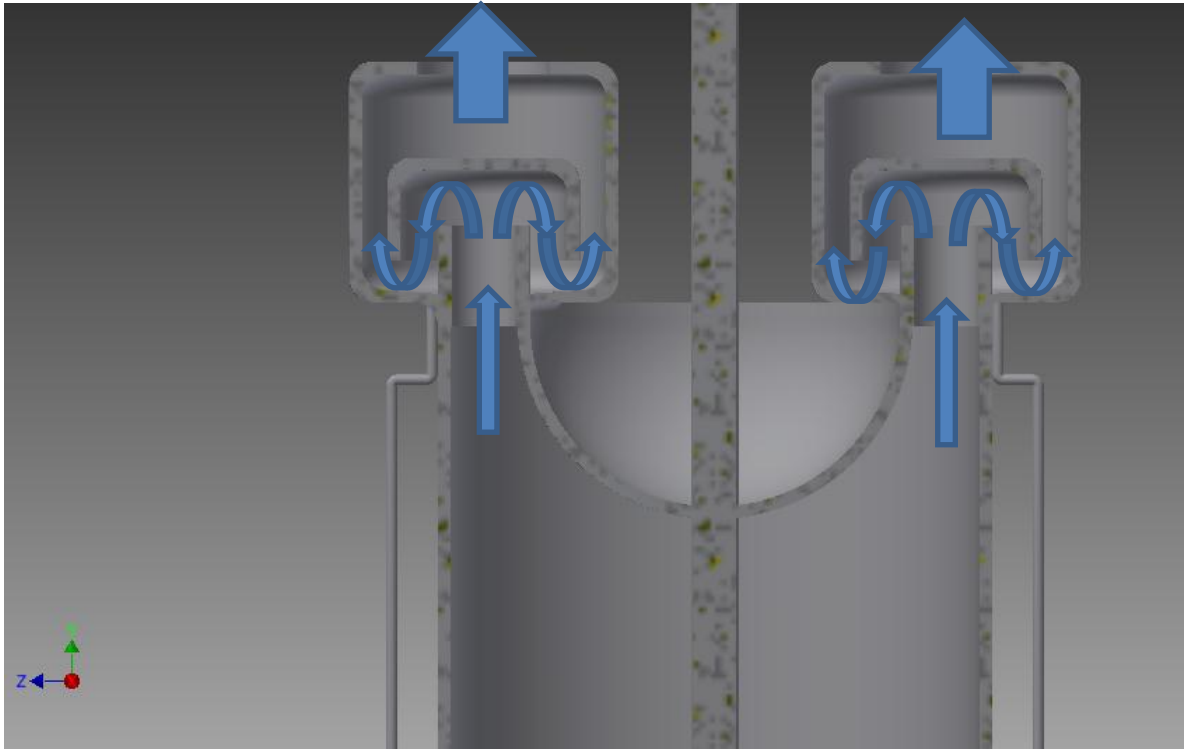


Figura 3. 3. Funcionamiento del separador de arrastre de reversión de flujo.

El separador se ubica 2 veces la longitud de la calandria por encima de la altura de llenado, para así disminuir la cantidad de arrastre generado, pero además se debe de realizar un análisis que consiste en verificar las velocidades máximas permisibles por el separador de arrastre escogido, teniendo como ecuación:

$$u_{max} = C * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0.5} \quad \text{Ecu. 3. 13}$$

Dónde:

C= Coeficiente Souders-Brown que depende del tipo de Separador,

$\rho_l = \text{densidad de la masa cocida } 1457 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Promedio)}$

$\rho_G = \text{densidad del vapor vegetal} = 0.97 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Reemplazando estos datos en la ecuación 3.13 dá como resultado una velocidad terminal de las partículas de 9.2 m/s, si se aplica un factor de seguridad de 1.7, la velocidad terminal de las gotas sería de 15.64 m/s

Tabla 3. 8. Coeficiente de Souders-Brown para el coeficiente C

Tipo de separador	Coeficiente de <i>Souders-Brown</i> (m/s)
Malla de alambre	0.1
Reversión de flujo	0.19
Placas Chevron	0.19
Polybaffle	0.21
Centrífugo	0.19

Para encontrar el área de sección transversal, se aplica la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\dot{V}}{u_{max}} = \frac{70.76}{15.64} = 4.524m^2 \quad \text{Ecu. 3. 14}$$

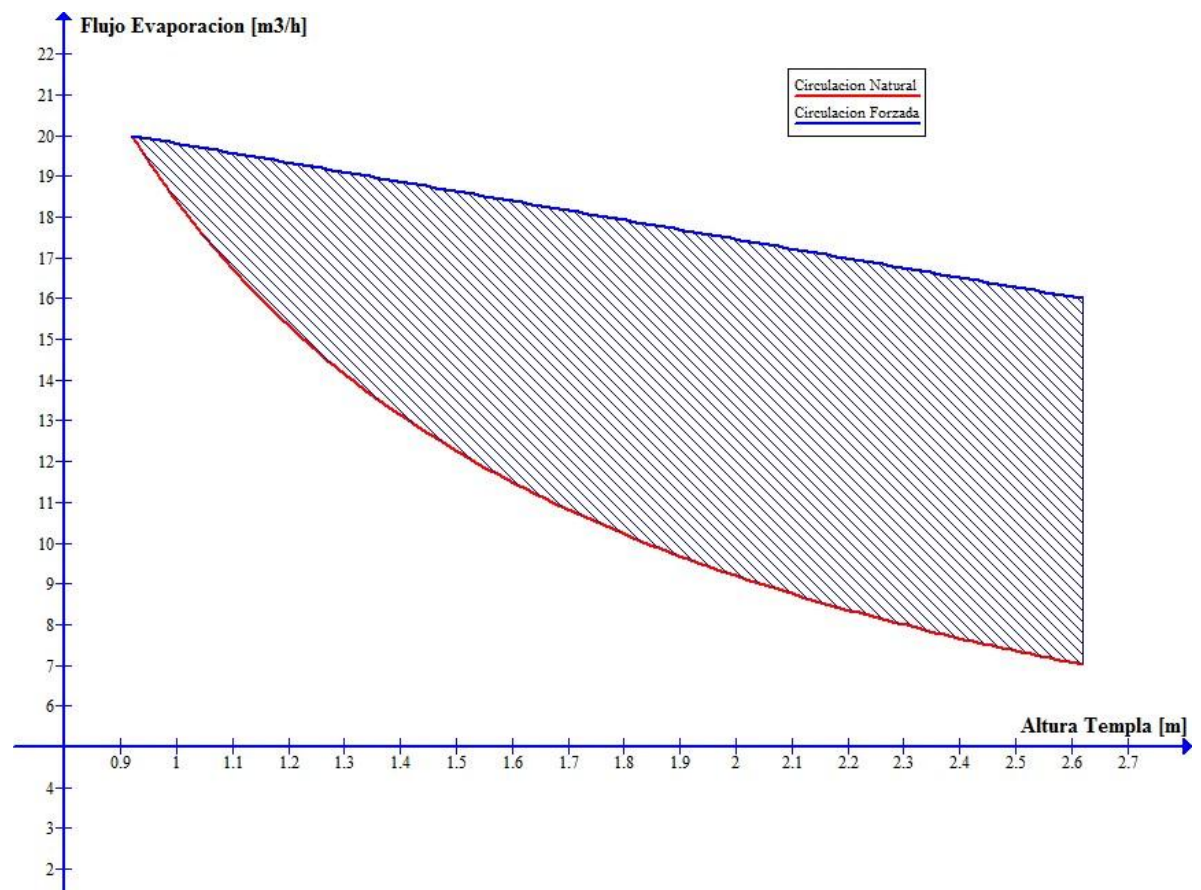
Dónde:

V= Flujo volumétrico, obtenido del flujo de entrada de los vapores a el condensador.

El resultado de la ecuación 3.14 es el área que se debe cubrir con el separador de arrastre seleccionado.

3.5 Selección del agitador

La circulación en un tacho está regida por valores geométricos que se ven resumidos en la hipérbola de circulación mostrada en la Gráfica 3. 1 Funcionamiento del Tacho mediante la hipérbola de circulación. Pero se debe tener en cuenta que esta circulación natural puede ser mejorada por medio de un circulador mecánico como se muestra en la siguiente gráfica donde se tomaron datos experimentales. [12]



Gráfica 3. 2 Circulación forzada vs circulación natural. [12]

El análisis de la gráfica permite afirmar que en el nivel superior de la templa, el agitador le aporta a la circulación natural del tacho un 240% de incremento, es decir que en el nivel final de la templa la evaporación es 2,4 veces más de la que se tendría con la agitación natural, lo cual aporta entre otros los siguientes beneficios:

1. La curva de evaporación del tacho con el agitador en mención tiende a ser más plana, lo cual asemeja el trabajo del tacho a baches al de un tacho continuo, en el sentido de que la demanda de vapor es más estable durante el desarrollo del cocimiento con el consecuente beneficio para el balance energético de la planta.
2. La mayor circulación a un nivel superior de la templa favorece un menor tiempo de permanencia del grano en el fondo del tacho, donde por efectos de la presión hidrostática se tiene una mayor presión y temperatura
3. La menor duración de la templa favorece el incremento de la capacidad total de la casa de cocimientos.

Por estas razones es necesario tener un circulador mecánico.

Para satisfacer los requerimientos del cliente primero que todo hay que seleccionar el tipo de circulación que se va a implementar. Hay tres opciones de mecanismos circuladores utilizados en tachos, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 3. 99:

Tabla 3. 9 Tipos de circulaciones empleadas en tachos al vacío

Tipos de circulación	Descripción	Ventajas	Desventajas
Agitadores	Es un método de circulación mecánica que se utiliza para mezclar la masa cocida al interior del tacho	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la presión hidrostática en la calandria - Altos coeficientes de transferencia de calor - Reducción en el gradiente de temperatura entre la masa cocida y el vapor de calefacción 	Consumo de energía relativamente alto por la utilización de un motor eléctrico, sin embargo es el método de circulación más utilizado en la industria.
Inyección de vapor	Se instala un tubo de aspersión bajo la calandria para soplar numerosas y pequeñas burbujas de	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la gravedad específica de masa cocida en la calandria - Reducir el efecto de la presión hidrostática - Mecanismo simple -Bajo coste 	Se agrega gases incondensables, teniendo como consecuencia el mal funcionamiento del condensador

	vapor incondensables a tasas controlables	- Producción de elegido. masas cocidas en alto brix
Inyección de aire	Es similar a la inyección de vapor con la diferencia que se inyecta es aire	-Un aumento de la circulación con un bajo consumo de energía - Bajos costes - Reducción en el tiempo de ebullición y sin rotura de cristales
		Requiere una bomba de vacío mucho más grande o eyector para eliminar el aire adicional. [7]

En vista de la información presente en la Tabla 3. 99 Se puede decir que el método de circulación más ventajoso sería la inyección de vapor o de aire frente a la agitación, pero ellos traen consigo otro problema con el cual lidiar y es el de los gases incondensables, para los cuales se tendría que adicionar un mecanismo eléctrico que los evacue como son los eyectores de vacío, lo cual equiparía un gasto energético similar al del agitador. Otra cuestión es que los inyectoros estarían ubicados en la parte inferior del tacho. En la interfaz del inyector y el tacho habría unos sellos para que no se fugue la masa cocida, si esto llegara a suceder se daría un derrame que resulta peligroso para el medio ambiente o la misma seguridad del operario. Por estas razones se decide utilizar circulación mecánica posicionando el agitador en la parte superior del tacho, el cual estará compuesto por un motor eléctrico, un reductor, el eje y un rotor.

Al ya tener claro el tipo de circulación que se va a utilizar es hora de empezar a desarrollar esa idea. Se debe tener una primera aproximación de las dimensiones que va a tener el tacho para así mismo dimensionar el agitador.

Tabla 3. 10 Geometría del Tacho

Masa final (Kg)	316.80
Densidad final (Ton/m³)	1,425
Altura Strike h₁ (mm)	673.03
Altura h₃ (mm)	150.00
Angulo fondo α (°)	15
Diámetro de Calandria d₁ (mm)	518.17
Diámetro del tubo (mm)	101,6
Longitud del tubo h₂ (mm)	500
# de tubos:	10
Altura total (mm)	2292.5
Volumen final (m³)	0.213

Diámetro de Downtake d_3 (mm)	207.27
Diámetro de salida d_0 (mm)	150

En la tabla anterior se muestran los datos principales del Tacho piloto, con los cuales se puede continuar con el diseño del agitador.

La clave de que se produzca una buena transferencia de calor y mezcla en el tacho es el tipo de agitador. Los agitadores según el tipo de flujo que manejan se dividen en dos clases, que se muestran la tabla 3.10 y en la figura 3.5.

Tabla 3. 11. Tipos de agitadores según el flujo

Tipos de agitadores	Descripción
Agitadores de flujo axial	Generan corrientes paralelas al eje del agitador. En la mayor parte de los casos, las fuerzas que tienden a separar los componentes mezclados o suspendidos son verticales ya que se deben a la gravedad. Las hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas son las más representativas de este tipo de agitadores.
Agitadores de flujo radial	Dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Las líneas de corriente de un rotor radial se distribuyen en dos partes al chocar con la pared del depósito, que no se mezclan bien. Proporcionan alta velocidad de tangencial aunque baja capacidad de impulsión. Los más representativos son los agitadores de palas planas [15]

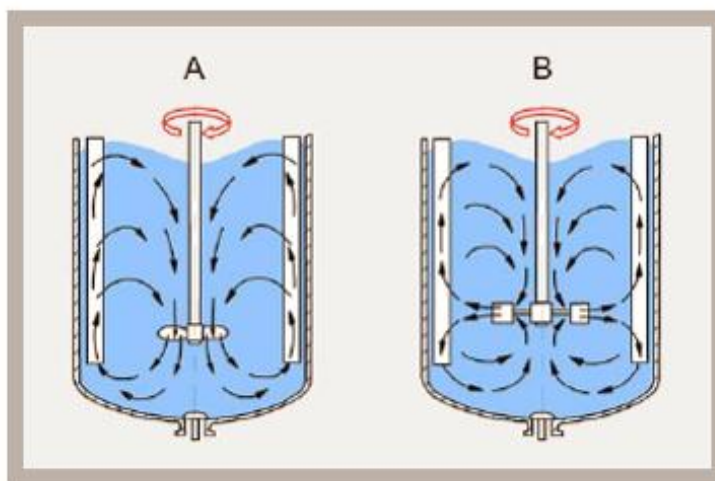




Figura 3. 4. Campos de velocidades en el depósito de agitación con agitación axial (A) y radial (B) [15]

El proyecto requiere de impulsión lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia. Por ello se opta por trabajar con un impulsor del tipo axial, siendo de los más utilizados en la industria, ya que maximizan el flujo y minimizan la velocidad tangencial, además de simular de excelente manera el funcionamiento de los tachos de convección natural.

Hay impulsores de tipo axial e impulsores que poseen efecto combinado axial - radial, en fin hay variedad de impulsores, pero los más utilizados a nivel industrial se pueden apreciar en la tabla 3.12.

Tabla 3. 12. Tipos de impulsores o agitadores de tipo axial [15]

Tipos de agitadores	de	Descripción	Foto
Agitador de hélice		<ul style="list-style-type: none"> -Generalmente se usan impulsores de barco con 3 álabes y con un ángulo de inclinación del aspa constante. -Genera un campo de flujo axial -Velocidad tangencial: 3 - 15 m/s -Viscosidad del medio < 8 Pa*s -Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Homogeneizar - Suspender - Favorecer el intercambio de calor 	
Agitador con planas inclinadas		<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente poseen de 4 a 6 palas rectas con un ángulo de inclinación de 45° - Campo de flujo generado axial / radial (componente radial mayor que con el mezclador de hélice) -Velocidad tangencial: 3 - 15 m/s -Viscosidad del medio hasta 20 Pa·s - Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Homogeneizar - Favorecer el intercambio de 	

calor

Agitador impulsor

- Poseen 3 palas inclinadas curvadas hacia atrás en dirección del flujo
- Campo de flujo generado radial / axial
- Velocidad tangencial: 3 – 8 m/s
- Viscosidad del medio hasta 100 Pa·s

Aplicaciones

- Homogeneizar
- Favorecer el intercambio de calor



Los tres agitadores de la tabla 3.12 poseen muy buenas características y de ciertas maneras muy similares, cumplen con las exigencias que requiere el proyecto. Se escoge el agitador de palas inclinadas porque genera un campo puramente axial, así como se mencionó anteriormente representaría una transferencia de calor superior a la de un campo combinado (axial/radial). [15]

La velocidad con que gira el agitador es supremamente importante, porque si es alta se puede correr el riesgo de que se dañe los cristales y no se pueda producir azúcar de calidad entonces es importante trabajar por debajo de una velocidad punta de 7m/s [7]. Como se puede ver en la ecuación 3.6:

$$V_{punta} < \pi D n = 7 \quad \text{Ecu. 3. 15}$$

Como ya sabemos que la velocidad punta tiene que ser menor de 7m/s el siguiente paso es suponer una serie de diámetros para hallar el valor de n, que son las rpm a las cuales debe girar el agitador para no dañar los cristales como lo muestra la ecuación 3.7:

$$n < \frac{7}{\pi D}$$

Ecu. 3. 16

En el diseño de agitadores hay unos parámetros adimensionales que son muy importantes a tener en cuenta, los cuales se muestran a continuación.

Para hallar la fuerza tangencial y torque que actúan en el rotor se tiene que hacer uso de los parámetros adimensionales vistos anteriormente, para lo cual se empieza calculando el número de Reynolds que es la base de los parámetros de diseño. Para calcular Reynolds se debe saber el valor de los coeficientes relacionados con las propiedades reológicas s y k , los cuales dependen a su vez de la temperatura en el tacho y del brix que son 60°C y 92.5 respectivamente, en vista de que no se encontraron los valores reológicos a esas condiciones se aproximan a una temperatura de 50°C y a un brix de 71,44% como se puede observar en la tabla 3.12 obteniéndose $s = 0,942$ y $k = 0,123$. [16]

Tabla 3. 13 Propiedades Reológicas de la masa cocida viscosidad

Muestra	Temperatura (°C)	Consistencia (Pa.s ⁿ)	Índice de flujo	E _a (kJ/mol)
M1 Brix: 59,54 % Pol: 48,26 %	20	0,177	0,933	32,654
	30	0,108	0,921	
	40	0,075	0,905	
	50	0,056	0,891	
M2 Brix: 64,04 % Pol: 52,80 %	20	0,226	0,929	33,456
	30	0,145	0,915	
	40	0,099	0,899	
	50	0,069	0,885	
M3 Brix: 67,44 % Pol: 55,60 %	20	0,341	0,950	46,509
	30	0,150	0,942	
	40	0,098	0,932	
	50	0,074	0,919	
M4 Brix: 71,44 % Pol: 59,60 %	20	0,732	0,974	49,025
	30	0,360	0,969	
	40	0,201	0,959	
	50	0,123	0,942	

Tabla 3. 14 Parámetros de diseño para diferentes diámetros del impulsor

D(diámetro impulsor, m)	D/d1	N(RPM)	P(hp)	T(J)	Ftangencial(N)
0,050	0,0770	1718,873	2,139	8,865	354,596
0,055	0,0847	1562,612	2,579	11,757	427,531
0,060	0,0924	1432,394	3,060	15,217	507,241
0,065	0,1002	1322,210	3,581	19,296	593,718
0,070	0,1079	1227,767	4,144	24,043	686,957
0,075	0,1156	1145,916	4,747	29,511	786,949
0,080	0,1233	1074,296	5,391	35,748	893,688

0,085	0,1310	1011,102	6,075	42,804	1007,164
0,090	0,1387	954,930	6,800	50,732	1127,368
0,095	0,1464	904,670	7,566	59,579	1254,290
0,100	0,1541	859,437	8,372	69,396	1387,919
0,105	0,1618	818,511	9,219	80,233	1528,245
0,110	0,1695	781,306	10,105	92,139	1675,255
0,115	0,1772	747,336	11,032	105,164	1828,937
0,120	0,1849	716,197	12,000	119,357	1989,277
0,125	0,1926	687,549	13,007	134,766	2156,263
0,130	0,2003	661,105	14,054	151,442	2329,879
0,135	0,2080	636,620	15,141	169,433	2510,112
0,140	0,2157	613,883	16,268	188,786	2696,945

El paso a seguir es indagar las propiedades que debe tener el rotor, el cual al igual que el eje van a estar contruidos de acero inoxidable AISI 304 que tiene excelente resistencia a la corrosión por lo que es muy utilizado en la industria alimenticia, química etc. Otra consideración es el diámetro que debe tener el rotor según Hulett para una propela y un producto con viscosidad alta debe tener una relación $D/d_1=0.20$, por tal motivo se observa en la tabla 3.14 y se escogió como diámetro 0.130m, pero como se debe trabajar a la misma velocidad Tangencial que la de los tachos industriales sus RPM serán de 661 rpm. [12]

El siguiente paso es encontrar un motor o motorreductor que cumpla con los requisitos, para ello se escogió un motorreductor axial Lentax HR 750.

Las principales características del reductor son las siguientes:

- Alto rendimiento y funcionamiento suave y silencioso.
- Elevada duración
- Producción económica debido a la posibilidad de fabricar componentes en serie y para stock.
- Diseño compacto con reducido peso y volumen; Facilita el proyecto del usuario al requerir menos espacio y costos estructurales
- Potencia de 1.50 HP
- Velocidad de entrada de 1300 rpm
- Velocidad de salida de 690 rpm
- Relación 1.88
- Torque de 61 Nm

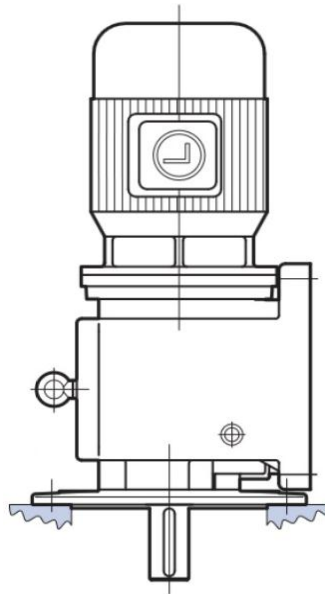


Figura 3. 5. Motorreductor axial Lentax HR 150

El motorreductor cumple los requisitos, a continuación se muestran los valores reales:

Torque = 61 Nm

Fuerza tangencial = 1284,21 N

Velocidad tangencial = 6.14 m/s

El eje de salida del motorreductor va estar ubicado fuera del tacho debido a que está hecho de acero SAE 1045 y si se coloca por dentro se corre el riesgo de que se corra.

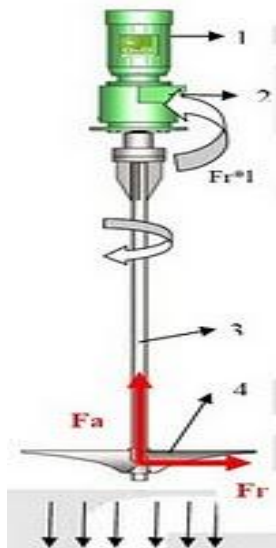


Figura 3. 6. Acople de motorreductor y eje del agitador.

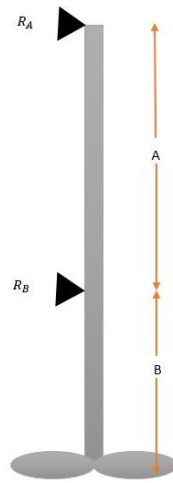


Figura 3. 7. Apoyos del agitador.

En la Figura 3. 7. Apoyos del agitador. Se muestran los apoyos que tendrá el agitador; el apoyo A sería en la entrada del cuerpo del Tacho y el apoyo B sería la salida del agitador por el separador de arrastre. Se tienen 2 incognitas en los cálculos, que son: el diametro del eje y el peso del rotor. A continuación se muestran cálculos que se realizaron en simultaneo para encontrar las dos incognitas dadas.

Para obtener el valor de los esfuerzos lo primero que se hizo fue calcular la fuerza radial Ecu. 3.17 y la fuerza axial Ecu. 3.18; para hallar la fuerza axial se debe tener la velocidad de flujo (Ecu. 3.19, con Factor de bombeo de 0,8 [15]) y el coeficiente de arrastre que para un perfil como el que se tiene es de aproximadamente 0,4 [11].

$$F_r = m N^2 r = 1284.1 N \quad \text{Ecu. 3. 17}$$

$$F_a = \frac{1}{2} \rho V_{flujos}^2 C_D A_t = 121.566 N \quad \text{Ecu. 3. 18}$$

$$V_{flujos} = \frac{4 N_Q D N}{\pi} = 7.37 m/s \quad \text{Ecu. 3. 19}$$

Luego de tener éstas fuerzas se procede a hacer sumatoria de fuerzas, momentos e incluso compatibilidad de deformaciones (Plano axial) en los planos para hallar las reacciones en los puntos A y B, para posteriormente hallar los esfuerzos reales.

$$\sigma_m = K_{f axial} \frac{4(mg+F_a)}{\pi d^2} = 130148.8185 Pa \quad \text{Ecu. 3. 20}$$

$$\sigma_a = K_{fflexión} \frac{32 M}{\pi d^3} = 102270557.6 Pa \quad \text{Ecu. 3. 21}$$

$$\tau_m = K_{ftorsión} \frac{16T}{\pi d^3} = 3268253.123 \text{ Pa} \quad \text{Ecu. 3. 22}$$

Luego se hallan los esfuerzos de Von Mises:

$$\sigma_a' = \sigma_a \quad \text{Ecu. 3. 23}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 \tau_m^2} = 5662276.409 \text{ Pa} \quad \text{Ecu. 3. 24}$$

El siguiente paso es calcular el limite de resistencia a la fatiga corregido del material del eje.

$$S_e = C_{carga} C_{tamaño} C_{superficie} C_{temperatura} C_{confiabilidad} 0,5 S_{ut} \quad \text{Ecu. 3. 25}$$

Al ya tener el valor de las variables mencionadas anteriormente se procede a hallar el factor de seguridad a fatiga Ecu. 3.26. El cual debe ser igual a 2 para que sea un diseño confiable, ya que con este valor se encuentra el peso del rotor.

$$N_f = \frac{S_e S_{ut}}{\sigma_a' S_{ut} + \sigma_m' S_e} = 2 \quad \text{Ecu. 3. 26}$$

Se requiere saber si el eje cuenta con vida infinita entonces primero se debe calcular p el esfuerzo medio a 10^3 ciclos para un eje a flexión sería:

$$S_m = 0.9 S_{ut} \quad \text{Ecu. 3. 27}$$

Luego se calcula el número de ciclos se hace uso de:

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ecu. 3. 28}$$

Donde las constantes a y b se calculan de la siguiente manera:

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{S_m}{S_e}\right) \quad \text{Ecu. 3. 29}$$

$$\log(a) = \log(S_m) - 3b \quad \text{Ecu. 3. 30}$$

Y se obtuvo

Tabla 3. 15. Vida del eje

Sm	558,000
b	-0,143
a	1497,594

N ciclos	1000000
----------	---------

Para asegurar que el eje tenga una vida infinita se supone un número de ciclos de 10^6 y con este valor se busca el diámetro del eje. Dando como resultado las 2 incógnitas buscadas:

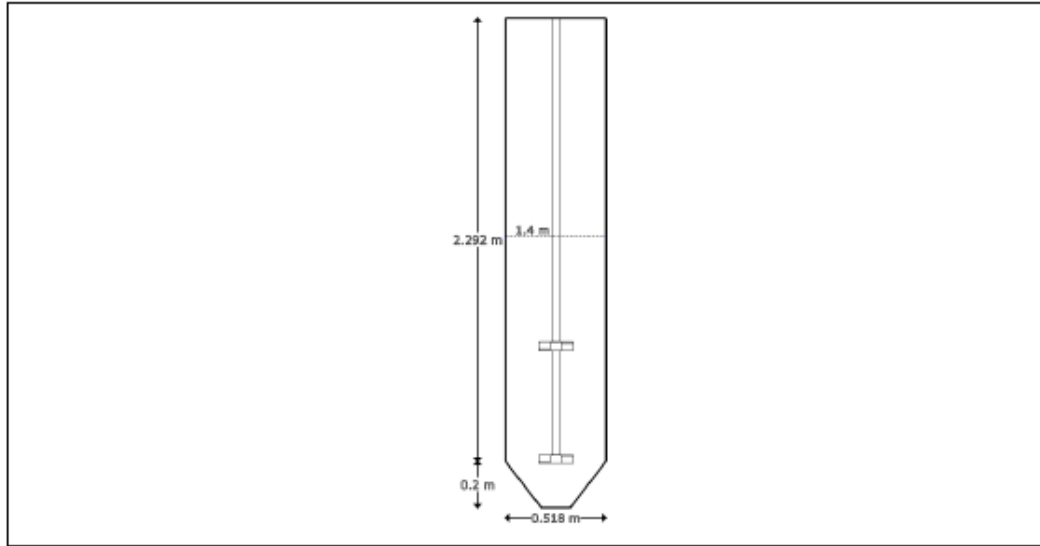
Diámetro del eje= 0.05 m.

Masa del rotor= 4kg.

A continuación se muestra la validación de los datos mediante una simulación realizada en un programa de diseño de agitadores, en donde se evidencia que la selección realizada es la correcta, con pequeñas diferencias en tamaño en el eje, además de que el programa aconseja realizar la agitación con 2 impulsores, también selecciona un motor de 0.5 HP, pero esto es debido a que el programa utilizo una velocidad de 114 rpm, menor que la velocidad requerida con el impulsor seleccionado que era de 616rpm, gracias a este cambio se ven las diferencias descritas.

Figura 3. 8 Propuesta de programa de diseño de agitadores.

Tank Sketch



Tank Volume:	134 gal	Shaft Material:	316SS
Diameter:	0.518 m	Diameter:	1.5 in
S Side:	2.292 m	Extension:	90.6 in
Flat Top:	0.0 m		
Conical Bot:	0.2 m	Impeller 2:	7.00 in P-4@67.6 in - 316SS
Mtg Ht:	0.0 m	1:	7.00 in P-4@90.6 in - 316SS
Total Ht:	2.5 m		

Stage	RPM	Rev	CS	Blend Time	NRe	Flow
[1] Process	114.8		0.4	99% 05:58:55	12	Laminar

Motor

Vendor:	Chemineer's Choice	Mounted By:	Chemineer	Motor Paint:	To Match
Supplied By:	Chemineer	Power:	0.5 HP	RPM(Nom):	1200
Supply:	AC 230/460V 60 Hz 3-Ph	Mounting:	C-Face	Efficiency:	Premium
Frame Size:	56C	Duty:	Severe	Enclosure:	TEFC
Serv. Factor:	1.00+	Temp. Rise:	176.0 °F	Max Ambient:	104.0 °F
Insulation:	Class F	CT Ratio:	10:1	VT Ratio:	20:1
Inverter Duty:	Yes				
Drip Cover:	Yes (Recommended)				
ACVF Control:	Customer-supplied				
RPM Actual:	1170	Weight:	67.0 lb	Shaft Dia:	0.670 in
Torque:	21 ft-lb	Bearing Span:	7.000 in		

Además de recomendar un diámetro del eje menor que el encontrado por los cálculos, recomienda la utilización de un sello mecánico para así mantener el vacío dentro del recipiente, los planos del eje y del sello son agregados en los anexos.

Si la velocidad con que se realizó la selección en el programa hubiera sido la indicada (616 rpm) los resultados estarían más cercanos a los datos obtenidos.

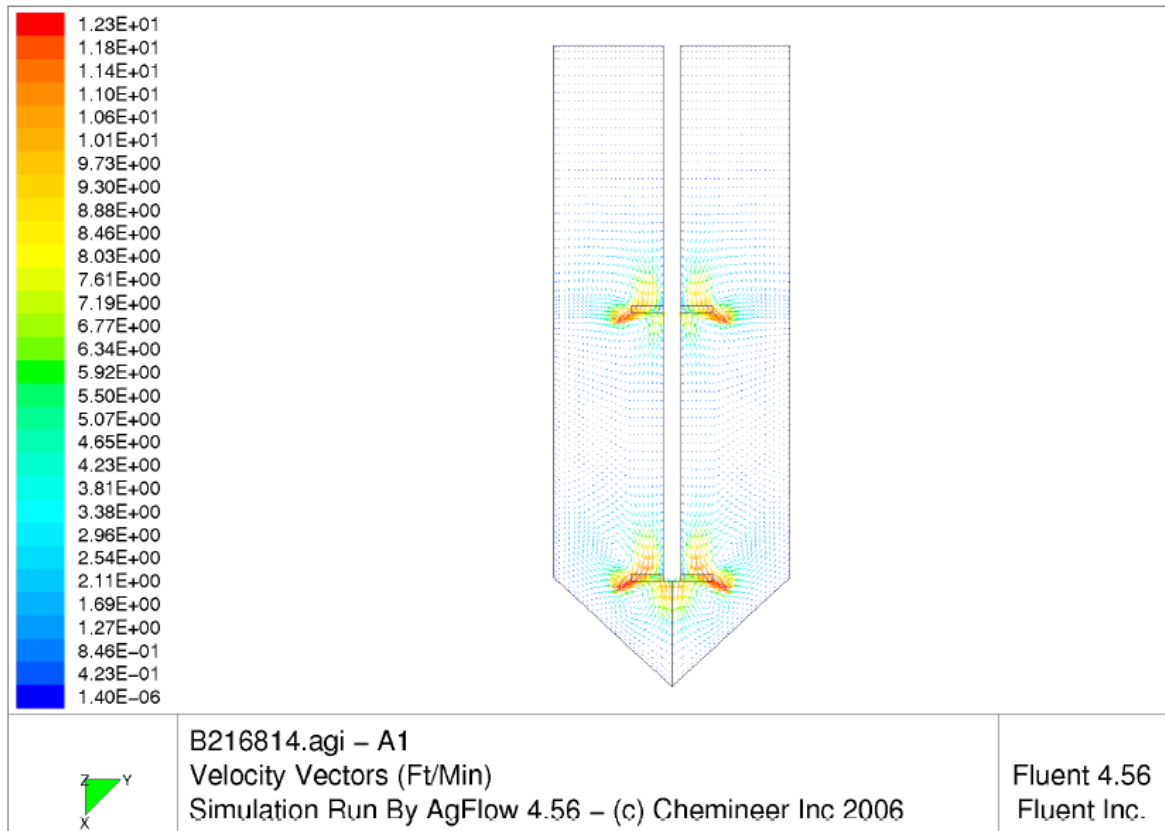
En la siguiente figura se muestran las especificaciones técnicas de los impulsores y del sello mecánico.

Figura 3. 9 Especificaciones técnicas de los impulsores y del sello mecánico.

Gearbox									
Model:	50DTNS	Rotation:	Clockwise	RPM (nom):	115				
Reduction:	Single	Lubricant:	Grease						
Paint:	Sherwin-Williams Polane HS Plus								
Ratio:	10.19:1								
Weight:	55.0 lb								
Mounting/Seal									
Style:	NS (Single Mechanical)								
Seal:	Flowserve MCRO	Balanced:	No	Hsng/Glnd:					
Sta. Face(L):	Carbon	Rot. Face(L):	Peramic	Elastomers(L):	Viton				
Sta. Face(U):		Rot. Face(U):		Elastomers(U):					
Lube:		Pedestal:	DTNS						
Flange:	6-150# ANSI	Material:	316SS	Face:	Raised				
Construction:	Solid								
Pedestal:	50DTNS	Height:	7.88 in	Weight:	40.0 lb				
Type:	DT								
Shaft									
Diameter:	1.5 in	Extension:	90.6 in	Material:	316SS				
Coupling:	Straight Bore Removable								
Weight:	46.5 lb								
Impellers									
	Diameter	Type	Pumping	Attachment	Location From Mtg	Off Bottom	Adjustability		
Upper #2	7.00 in	P-4	Down	Set-screw	67.6 in	32.0 in	Up	Down	Incr
Lower #1	7.00 in	P-4	Down	Set-screw	90.6 in	9.0 in			
	Hub Matl		Blade Matl		Blade Attachment		Balancing		
Upper #2			316SS		Integral:		Standard		
Lower #1			316SS		Integral:		Standard		
Impeller: #2 - Details									
Impeller: #2	7.00 in P-4	Shaft Dia:	1.5 in	Weight:	4.8 lb				
Hydr Factor:	1.00								
Blade Matl:	316SS	Thickness:	0.094 in	Pitch/Height:	45.00/1.20 in				
Blade Width:	1.69 in	Section Mod:	0.002						
Eff Width:	1.69 in								
Impeller: #1 - Details									
Impeller: #1	7.00 in P-4	Shaft Dia:	1.5 in	Weight:	4.8 lb				
Hydr Factor:	1.00								
Blade Matl:	316SS	Thickness:	0.094 in	Pitch/Height:	45.00/1.20 in				
Blade Width:	1.69 in	Section Mod:	0.002						
Eff Width:	1.69 in								

Por último se muestran los vectores de velocidades encontrados en el programa, que están dados en Pies por minuto, siendo unas velocidades bajas para lo esperado en el diseño, esto ocurrió porque en el programa se utilizó una velocidad menor comparada con la de diseño, si se llegara a aumentar la velocidad, los resultados serían más acordes a lo esperado.

Figura 3. 10. Vectores de velocidad dentro del tacho.



3.7 Diseño del condensador

En los condensadores barométricos en contracorriente, el vapor del jugo entra al condensador cerca de la parte inferior, se eleva a través de la corriente de agua que cae y se condensa conforme se aproxima a la salida inferior. Los gases no condensables se acumulan en la parte superior. El condensador cuenta con dispositivos para la remoción de estos gases no condensables que entran con el vapor o con el agua. La rápida reducción del volumen del vapor que se transforma en agua produce vacío, y bombeando el agua de la parte baja del condensador, tan pronto como se va formando, se podría mantener el vacío así creado.

En un condensador barométrico de flujo contracorriente, el vapor de jugo entra al condensador por la parte inferior, fluye hacia arriba y se condensa a medida que cede su calor latente al agua de condensación. El agua de condensación fluye hacia abajo a una velocidad controlada mientras que los gases no condensables con extraídos en la parte superior del equipo.

En la pierna barométrica entra la mezcla resultante de la condensación a vacío líquida y se descarga al pozo de agua caliente. Esto hará que la columna del líquido en la pierna barométrica descienda automáticamente manteniendo la diferencia hidrostática entre el vacío de operación y la presión atmosférica. Por lo tanto el condensador necesita una pierna barométrica para remover el agua sin perder el vacío, manteniendo una carga hidrostática.

Si no hay aire o gases no condensables presentes en el vapor que llega al condensador, solamente sería necesario condensar el vapor y extraer el condensado, con el objeto de crear y mantener el vacío. Sin embargo, como es prácticamente imposible evitar la entrada de aire y otros gases no condensables al interior del condensador, fue necesario hacer uso de una bomba de vacío o un eyector para mantener el vacío en el interior del condensador.

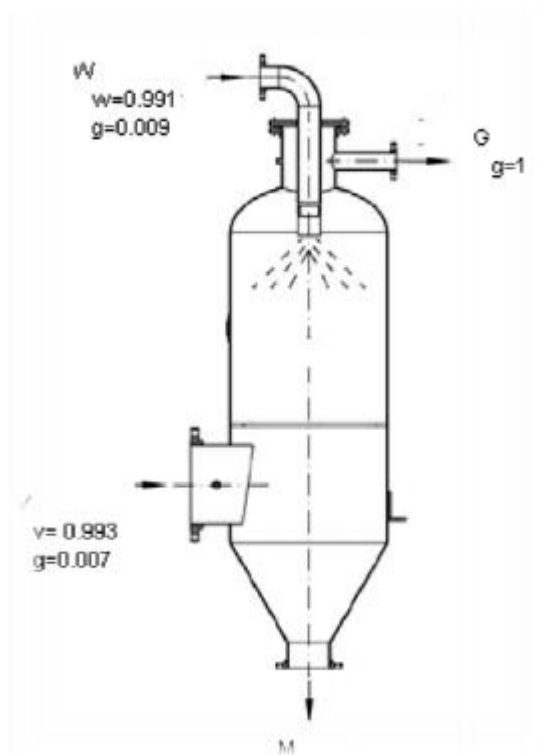


Figura 3. 11. Diagrama de flujo del condensador barométrico.

La figura anterior muestra el balance de masas del condensador barométrico, en el cual se puede observar las diferentes entradas, W que es la entrada de agua, que según los estudios de Hunget, de 1000 partes, 9 son incondensados; V que indica la entrada de vapor que por cada 1000 partes tiene 7 de incondensables y por último G que son los gases incondensables sacados del condensador. Por medio de la Figura 3. 1111 se puede realizar el balance de masa del condensador barométrico:

$$\mathbf{V + W = G + M} \qquad \mathbf{Ecu. 3. 31}$$

Donde:

$$\begin{aligned} 0.993V &= xM \\ 0.991W &= (1 - x)M \\ 0.007V + 0.009W &= G \end{aligned}$$

En las cuales M denota la mezcla de vapor condensado y agua que entro al condensador y x representa el porcentaje de agua que agrega cada entrada.

De la primera ley de la termodinámica; balance entálpico

$$\text{Entalpía entra} = \Sigma H_{in} = \Sigma H_{out} = \text{Entalpía sale.}$$

en donde H = entalpia [kJ] o (BTU/lb)

Despreciando la entalpia de los gases no condensables se obtiene:

$$\dot{m}_w h_w + \dot{m}_v h_v = \dot{m}_m h_m \quad \text{Ecu. 3. 32}$$

Donde:

H_m = entalpia masica de la mezcla

H_w = entalpia masica del agua

H_v = entalpia masica del vapor

\dot{m}_w = flujo masico total del agua

\dot{m}_m = flujo masico de la mezcla

\dot{m}_v = flujo masico del vapor

Planteando la mezcla como la suma del flujo másico del agua y del condensado se obiene que:

$$\dot{m}_w h_w + \dot{m}_v h_v = \dot{m}_v h_m + \dot{m}_w h_m \quad \text{Ecu. 3. 33}$$

$$\dot{m}_w (h_m - h_w) = \dot{m}_v (h_v - h_m) \quad \text{Ecu. 3. 34}$$

Planteando el cambio de entalpia en términos el cambio de temperatura de la capacidad alorífica del agua:

$$\dot{m}_w C_p T_m - \dot{m}_w C_p T_w = \dot{m}_v (h_m - h_v) \quad \text{Ecu. 3. 35}$$

$$\dot{m}_w C_p (T_m - T_w) = \dot{m}_v (h_m - h_v) \quad \text{Ecu. 3. 36}$$

Planteando el cambio de entalpia del vapor en términos del calor latente de vaporización.

$$\dot{m}_w C_p (T_m - T_w) = \dot{m}_v \lambda \quad \text{Ecu. 3. 37}$$

En esta ecuación se puede fijar 0°C como la temperatura de referencia para la entalpía y asumiendo la capacidad calorífica como constante. Despejando el flujo másico del agua:

$$\dot{m}_w = \frac{\dot{m}_v \lambda}{500(T_v + T_w - T_m)}$$

Ecu. 3. 38

En donde:

Mv= flujo masico del vapor

Mw= flujo masico del agua

Tv= temperatura del vapor de alimentación

Tw= temperatura del agua de refirgeracion

Tm= temperatura de la mezcla

Cp= capacidad calorífica

Landa= calor latente de vaporización del agua.

Si se reemplazan los valores

Aplicando la Ecuacion 3.38 da como resultado un flujo másico de agua de enfriamiento de:

$$\dot{m}_w = 494 \text{ Kg/h}$$

Según el balance de masa realizado se tiene que:

$$0.007*(68.6\text{kg/h}) + 0.009*(494\text{kg/h}) = 4.92 \text{ kg/h}$$

Dado esto, es necesario evacuar del condensador 4.92 kg/h de gases incondensables.

Despejando M de la ecuación 3.22 obtenemos:

$$494 + 68.6 = 4.92 + M$$

$$M = 557.71 \text{ kg/h}$$

Tabla 3. 16 Balance de masas del condensador

Nombre	Flujo másico (kg/h)
Vapor Entrante	68,641
Agua al Condensador	494
Gases Incondensables	4,926
Agua total salida	557,715

A continuación sigue el dimensionamiento del cuerpo del condensador, empezando por la bandeja perforada que es donde se realiza el efecto de lluvia.

Hugot propone una ecuación para el cálculo del flujo de agua a través de los agujeros.

$$Q_p = \frac{\pi}{4} d^2 C_D \sqrt{(2gh)} \quad \text{Ecu. 3. 39}$$

Donde:

Q_p = Flujo volumétrico a través de cada orificio.

D = diámetro de orificio, que por motivos de diseño se pone como 1.5 cm.

H = Altura del líquido sobre la bandeja que es de 5 cm.

G = Aceleración de la gravedad.

C_D = Coeficiente de descarga, sugerido de 0.65.

Reemplazando los valores en la ecuación 3.23 se tiene como resultado que:

$$Q_p = 113.77 \frac{cm^3}{s} = 0.00011377 \frac{m^3}{s}$$

Debido a que el 20% del agua es rebosada por el borde del platón, por los orificios de la bandeja pasa el 80% del agua, dando como resultado:

$$N = 0.80 * \frac{Q_w}{Q_p} \quad \text{Ecu. 3. 40}$$

Dando como resultado que el número de orificios debe ser de 21.

Para poder determinar el diámetro de la bandeja se tienen las ecuaciones de las áreas superficiales del tazón, tales como el Área abierta A_a , el área de los orificios A_o y el área de la bandeja como tal A_b que se definen a continuación:

$$A_a = \frac{\pi}{(2\sqrt{3})} * \frac{d^2}{p^2} \quad \text{Ecu. 3. 41}$$

$$A_o = N * d^2 * \frac{\pi}{4} \quad \text{Ecu. 3. 42}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad \text{Ecu. 3. 43}$$

Teniendo en cuenta la relación nombrada por Hugot, que dice:

$$A_a * A_b = N * A_o \quad \text{Ecu. 3. 44}$$

Resolviendo la Ecu. 3.28 y despejando D que es el diámetro de la bandeja se tiene como resultado que:

Diámetro de bandeja = 0.214 m, pero en este cálculo solo se tuvo en cuenta el 80% del flujo, para saber su totalidad se le aumenta el 20% a este valor y obtenemos el valor real que es de 0.2567m de diámetro. Con este valor podemos

encontrar el Área de la bandeja, utilizando la Ecu. 3.27. que da como resultado 0.05177 m².

Para tener el Área total de la coraza (Ac) se le aumenta un 10% al Área de la bandeja para asegurar que el agua que desborda fluya uniformemente y se le aplica un factor de seguridad que en este caso será de 2.

$$A_c = (A_b + 0.10A_b) * f = 0.0655 \text{ m}^2 \quad \text{Ecu. 3. 45}$$

Del resultado anterior podemos despejar el diámetro de la Coraza (Dc) con la ecuación del área de una circunferencia. Dando como resultado:

$$A_c = \frac{\pi}{4} * D_c^2 \quad \text{Ecu. 3. 46}$$

Despejando D_c de la Ecu. 3.30 se obtiene que el diámetro de la coraza es de 0.3258 m.

Según Hugot la altura del cuerpo del condensador (Hs) debe ser:

$$H_s = 3 * D_c = 1.5m \quad \text{Ecu. 3. 47}$$

Y la bandeja estará ubicada a 2/3 de la altura Hs, es decir a 1m de la entrada del vapor.

3.8 Evaluación económica

Como todo proyecto, implica de una inversión inicial, la cual en este caso consiste en materiales, mano de obra y personal. A continuación se muestra los gastos en los que se incurrirá para la correcta ejecución del proyecto.

Tabla 3. 17 Gastos de partes que requieren Acero Inoxidable 304.

Parte que requiere el material	USD/ TON	Cantidad(TON)	Total
Coraza del tacho	\$ 1.000,00	0,273	\$ 273,25
Coraza de Calandria	\$ 1.000,00	0,151	\$ 151,21
Entrada vapor y salida de vapor al condensador	\$ 1.000,00	0,033	\$ 32,67
Separador de arrastre	\$ 1.000,00	0,080	\$ 80,06
Total USD=>			\$ 537,19
Total COP >			\$ 1.342.969,00

El material usado es acero inoxidable con grosor variable, dependiendo de la parte la cual lo necesita.

Tabla 3. 18. Otros gastos.

Otros gastos	COP	Cantidad	Total
Tubería de alimentación y condensados(Mtr)	\$ 230.000,00	6	\$ 1.380.000,00
Mano de obra	-	-	\$ 2.000.000,00
Diseño del Tacho	-	-	\$ 6.000.000,00
Aislamiento	-	-	\$ 430.000,00

Realizando la suma del total de los gastos da un valor de 11'152.696,00 COP. Además de los gastos ya mostrados, se debe de tener un presupuesto adicional llamado los imprevistos que se considera como un 5% dando como resultado final de gastos 11'710.617,45 COP.

4 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

4.1 Conclusiones

- ✓ Se determinaron las dimensiones internas, necesarias para alcanzar la capacidad proyectada, además, asegurando su fácil transporte.
- ✓ Se realizó satisfactoriamente el diseño térmico del Tacho Piloto, entrando en el rango de valores esperados para instrumentos de este tipo.
- ✓ Se seleccionó el agitador necesario para el correcto funcionamiento del tacho al mejorar la transferencia de calor y la circulación dentro del mismo.
- ✓ Se espera que con el diseño del Tacho se pueda realizar la construcción del mismo y así facilitar la experimentación en la industria azucarera.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Tener en cuenta que es una herramienta de uso investigativo, que se debe manejar con la mayor responsabilidad posible y está sujeta a mejoramiento continuo.

4.3 Trabajos futuros

- ✓ El diseño de la instrumentación del Tacho para facilitar la operación del mismo.
- ✓ Definir un plan de trabajo para la correcta construcción del Tacho.
- ✓ Después de la construcción realizar las pruebas necesarias para así garantizar su correcto funcionamiento.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL OBISPO COLOMBRES. (4 de Abril de 2007). Recuperado el 03 de Mayo de 2013, de Caña de azúcar. Tucumá - Argentina: <http://www.eeaoc.org.ar/tematica/3/cana-de-azucar.html>
- [2] Hicks, N., & Clarke, M. (2012). Refinery vacuum pan energy efficiency optimization. Harwood Island, Australia.
- [3] Love, D. J., & Walthew D.C. (2002). A pilot scale batch pan. Durban, South Africa.
- [4] López Osorio, U. (30 de Julio de 2013). Tecnología Tachos. (D. F. Salazar López, Entrevistador)
- [5] Moul, J. (1979). Single tray rain type condensers. *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association*, 98-102.
- [6] Peñaranda Dominguez, J. (30 de Julio de 2013). Proceso del azúcar. (D. F. Salazar López, Entrevistador)
- [7] Rackemann, D., & Broadfoot, R. (2008). A new design of jigger system to improve vacuum pan performance. *INTERNATIONAL SUGAR JOURNAL*, 740-749.
- [8] Rein, P., Echeverri, L., & Archarya, S. (2004). CIRCULATION IN VACUUM PANS. Louisiana, Estados Unidos.
- [9] Schorn, P., Smirh, L., Peacock, S., Love, D., & Muzzell, D. (2009). Coming soon to a factory near you- the new Tongaat-Hulett continuous pan. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, 258-268.
- [10] Ziegler, J. (1974). Sugar boiling some useful strategies. Australia.
- [11] http://zeth.ciencias.uchile.cl/~amartinez/informe_final/arrastre2.pdf, COEFICIENTES DE ARRASTRE Y SUSTENTACION, (consultado el 4 de Mayo del 2015)

[12] Peñaranda Dominguez, J. Evaluación de agitador de doble hélice, 2012.

[13] Peñaranda Doinguez, J. Seminario sobre uso racional de la energía. Agosto 1995.

[14] DESIGN AND EVALUATION OF A REFINED PAN STIRRER AT HULETT REFINERY By M. G. S. COX Tongaat-Hulett Sugar Ltd.and P. R. PURDHAM.

[15] <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/puntoDos.htm>,_(consultado el 28 de Mayo del 2015)

[16] Propiedades Reológicas de Melados de Caña de Azúcar, Mechetti. M, Gómez. A, 2011.

[17] Galvis Elmer, Diseño mecánico de un Tacho al vacío. 1994.

[18] Rein, Peter, Cane Sugar Engineering. Lousiana, Estados Unidos.

6 ANEXOS

6.1 Propiedades

Tabla 6. 1 Propiedades de los materiales usados en el área de cocción.

Material	Brix	Densidad (kg/m ³)
Semilla Masa A	88,00%	1465,05
Semilla Masa B	89,60%	1476,20
Semilla Masa C	91,99%	1493,08
Miel A	74,71%	1375,39
Miel B	81,56%	1421,39
Miel final	86,00%	1451,25
Meladura	60,00%	1285,44
Masacocida A	92,50%	1488,84
Masacocida B	94,14%	1507,31
Masacocida C	96,45%	1524,56

6.2 Agitador

1) Número de Potencia, N_P :

$$N_P = \frac{P}{\rho n^3 D^5} \quad (\text{ec. 3})$$

2) Número de bombeo, N_Q :

$$N_Q = \frac{Q}{n D^3} \quad (\text{ec. 4})$$

3) Número de Reynolds, N_{Re} :

$$N_{Re} = \frac{\rho n^{2-s} D^2}{k} \quad (\text{ec. 5})$$

Donde s es el índice de comportamiento del flujo y k es el índice de consistencia

4) Número de Froude, N_{Fr} :

$$N_{Fr} = \frac{n^2 D}{g} \quad (\text{ec. 6})$$

5) Número de Prandtl, N_{Pr} : [5]

$$N_{Pr} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (\text{ec. 7})$$

6) Número de Nusselt, N_{Nu} :

$$N_{Nu} = k (N_{Re})^{2/3} (N_{Pr})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \left(\frac{d_1}{z}\right)^{0,15} \quad (\text{ec. 8})$$

Donde k depende del tipo de impulsor, μ_w es la viscosidad del fluido en la pared y z es la altura de llenado que tiene la masa cocida. De la misma manera en la ecuación 9 se presenta el número de nusselt hacia el fondo del tacho.

$$N_{Nu} = k (N_{Re})^{2/3} (N_{Pr})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_b}\right)^{0,14} \quad (\text{ec. 9})$$

Donde μ_b es la viscosidad del fluido en el fondo de la cacerola.

6.3 Planos

Figura 6. 1. Plano de agitador escogido en el programa de diseño.

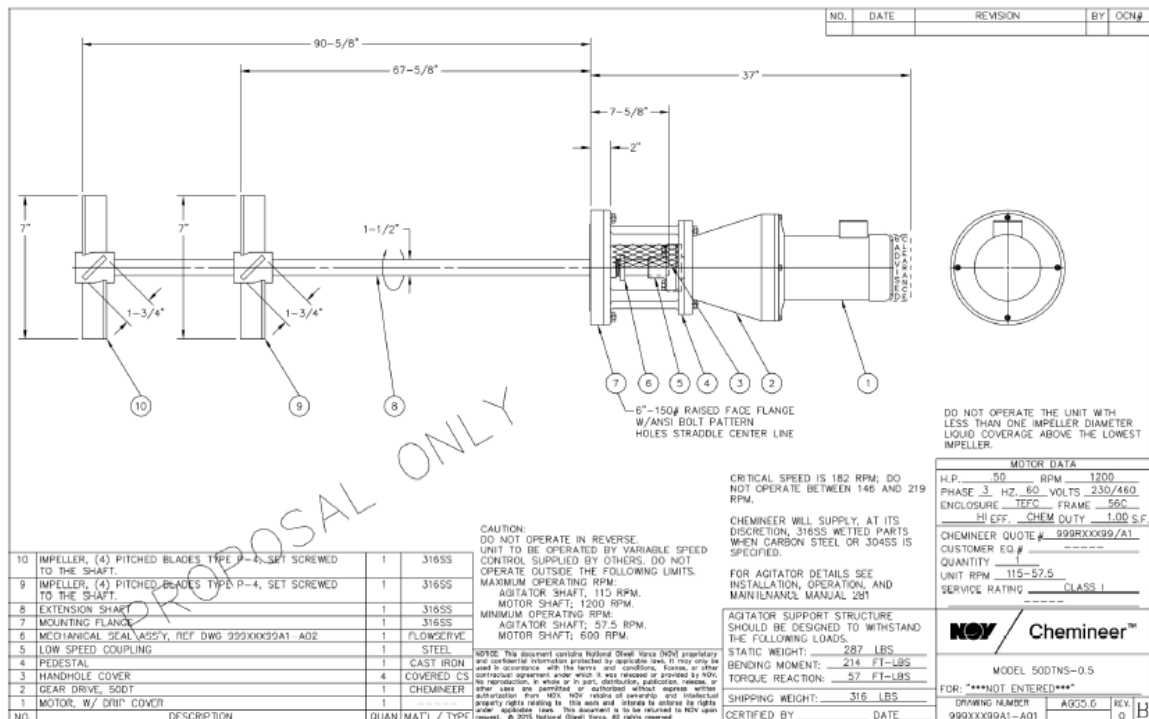


Figura 6. 2. Plano del sello mecánico.

