



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CRISTALIZADOR

Presentado por:

YOVANA MEDINA MUÑOA

Autor del Trabajo Monográfico del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 13% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 08 de setiembre del 2021

SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

Universidad Nacional “San Luis Gonzaga de Ica”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CRITSALIZADOR.

MONOGRAFÍA: PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

ALUMNA: MEDINA MUÑOA YOVANA

ICA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la oportunidad de llegar a cumplir una de mis metas y brindarme salud para realizarlo, asimismo de su infinita bondad y amor.

A mi madre Rufina.

Por el apoyo constante, por su consejo, sus valores, por su motivación que me brinda para ser una profesional de bien.

A mi padre Martires.

Por enseñarme a ser perseverante y constante en mis objetivos, por sembrar en mis valores firmes para salir adelante y por su amor.

A mis maestros.

Por la educación impartida y la motivación para la finalización de nuestros estudios profesionales y por sus tiempos distribuidos y por estimular el desarrollo de nuestra instrucción profesional.

INDICE

I. RESUMEN	5
II. INTRODUCCIÓN	6
III. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
IV. MARCO TEÓRICO	8
4.1 GENERALIDADES	8
4.1.1. FUNDAMENTO DE LA CRISTALIZACIÓN	8
4.1.2. FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS	8
4.1.3. MÉTODOS PARA LA FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS EN LA SOLUCIÓN	9
4.1.4. EFECTO TÉRMICO EN EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN	10
4.1.5. CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES	10
4.1.6. MARCHA DEL CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES	10
4.1.7. PUREZA DEL PRODUCTO	11
4.2 FUNDAMENTO TEÓRICO PARA OBTENER UNA BUENA CRISTALIZACIÓN	12
4.2.1. GENERALIDADES	12
4.2.2. TIPOS DE PRUEBAS PARA LA CRISTALIZACIÓN	12
4.2.3. MÉTODOS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS CRISTALES	13
4.2.4. EFECTOS QUE INFLUYEN EN LA CRISTALIZACIÓN	14
4.3 INGENIERÍA	15
4.4 ILUSTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	19
4.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS	24
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES	42
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN	43
VIII. ANEXOS	45

I. Resumen

El presente trabajo tiene como propósito presentar el diseño e ilustración de un cristalizador el cual será utilizado en condiciones normales de temperatura (ambiente) y presión (1 atm) para poner en marcha los equipos en las áreas de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica con finalidades didácticas. Para lo cual se terminó que existen limitaciones al momento de evaluar el tipo de sustancias que se pueden cristalizar en este equipo, por ser un cristalizador el cual trabaja en condiciones normales de temperatura y presión, debido a que existen diversas sustancias que logran la cristalización en el vacío y así realizar su conservación de sus diversas propiedades organolépticas pudiendo ser olores, sabores o texturas. Por otro lado, al comparar dos materias primas diferentes y evaluar el rendimiento del equipo la solubilidad juega un papel importante al momento de determinar las condiciones ideales de trabajo. También, es así que podemos observar su crecimiento y su concentración de los azúcares en gran medida, donde el lapso del período de trabajo y donde los consumos de las energías obteniéndose cristales monoclinicos de dimensión y representación uniforme. Por último, que la velocidad de agitación es importante ya que este tiene un papel primordial en los procesos de cristalización y obteniéndose mejores resultados cuando esta es lenta 1140 a 37 rpm esto permite mantener los productos homogéneos y temperaturas de cristalizaciones uniformes.

Palabras claves: Cristalización, Nucleación, Precipitación.

II. INTRODUCCIÓN

Cristalización “es la formación de partículas sólidas a partir de una base homogénea”(McCabe, Smith, & Harriott, 2013, 971). Por lo tanto y en función de lo enunciado por McCabe et al. (2013) las partículas se pueden formar a partir del vapor, un ejemplo visible de ello es la nieve, otra forma de obtener partículas sólidas es de un líquido fundido, que es la forma en que se obtienen monocristales, o bien como cristalización de una solución líquida. El tratamiento en esta monografía se restringe al último caso. Por ello, a nivel de la industria los procesos que involucran etapas de cristalización para la obtención de sólidos con un alto nivel de pureza son de suma importancia, ya que permite a su vez comercializar una gran variedad de productos y además altos volúmenes de los mismos.

La gran utilidad de los procesos de cristalización radica fundamentalmente por dos razones:

- a) Los cristales que se ha formado a partir de una solución impura pueden ser puros, siempre y cuando no exista la formación de cristales mixtos (McCabe et al., 2013).
- b) La cristalización abastece los métodos experimentados su obtención de las sustancias químicas puras bajo limitaciones proporcionadas de los envasados y almacenamientos. Por esta razón la cristalización ha sido ampliamente utilizada en procesos de separación en la industria química (McCabe et al., 2013).

Las empresas químicas y biofarmacéuticas están verdaderamente sometidas a fuertes imposiciones para desenvolverse rápido y mejores desarrollos de cristalización que sean estables, eficientes, a menor coste y con una alta calidad de los cristales. Por ejemplo, en las industrias azucareras con el proceso de cristalización de la sacarosa, en la industria farmacéutica al momento de investigar en la búsqueda de materiales se ha podido que dependiendo de la forma cristalina los medicamentos pueden tener aplicaciones completamente diferentes que pueden ir de ser beneficios hasta malignos para el ser humano, un caso muy estudiado es el de la simple aspirina (Prohens & Puigjaner, 2007). En los procesos petroquímicos en la separación de ceras las cuales son el producto de la refinación de aceites en la

refinación de subproductos del petróleo. Además, los Incas en la antigüedad obtenían su sal llamada sal de Maras o sal de los Incas, proveniente del Valle Sagrado de los Incas en Cusco Perú, por un proceso de cristalización (Millones, 2015). Del interior de la tierra sale una corriente de agua salada caliente que es depositada en 4500 pozas para su cristalización al evaporarse el agua por efecto de la temperatura y los vientos. Luego la sal es cosechada a mano y es una costumbre que pasa de generación en generación entre los habitantes de Maras. Esto debería indicar que esta es una de las actividades esenciales más antiguas en el campo de la ingeniería química.

Durante la última década, la cristalización ha experimentado un auge en la industria química. Su importancia radica en la química fina y existe una necesidad creciente de producir sustancias de mayor valor añadido. Estudios en esta área que tradicionalmente han sido poco o poco estudiados. Por lo tanto, sus aplicaciones industriales tienden a exceder la simple salida de sólidos puros, y su interferencia incluye implementaciones para una variedad de propósitos, incluyendo otros propósitos como separación, purificación, enriquecimiento, solidificación o análisis. Tiende a ir más allá.

En una secuencia única de operaciones en el proceso de fabricación, se coloca después de la evaporación y antes del secado y ajuste de los cristales. Las sales o compuestos disueltos en disolventes en fase líquida pueden precipitar durante el proceso de cristalización, pero bajo ciertas condiciones fisicoquímicas que los químicos deben establecer. Estas condiciones dependerán de las particularidades y propiedad de las soluciones, según la muestra: congregación de saturación, temperatura, densidad de la solución, etc. Todas estas propiedades se basan en estado más puro y cristalino, porque las moléculas se mantienen perenne unas a otras formando estructura dentro del espacio teniendo una igual semejanza en geometría entre ambas donde se tiene en cuenta la dimensión de los cristales.

En este marco, se plantea la investigación, con la finalidad la identificación de las propiedades técnicas en los estudios de los cristalizadores pilotos para la adquisición de cristales de ciertos productos y proponer procesos que generen mejores resultados para las industrias que utilicen estos métodos sobre procedimientos de las cristalizaciones.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

OG: Identificar las propiedades técnicas en el análisis de un cristizador piloto para la adquisición de cristales de algunos productos.

3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

OE1: Definir cuál es la técnica y las variables a medir para desarrollar de una manera adecuada el proceso de cristalización y así lograr interpretar resultados.

OE2: Determinar si existen limitaciones al momento escoger el tipo de materia prima que se desea cristalizar en el equipo previamente diseñado.

OE3: Comparar la eficiencia en el proceso de cristalización de dos materias primas diferentes en el equipo previamente diseñado.

OE4: Determinar la velocidad de agitación óptima que debe ser utilizada durante el proceso de cristalización en el equipo previamente diseñado.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. FUNDAMENTO DE LA CRISTALIZACIÓN

Cristalización “es la formación de partículas sólidas a partir de una base homogénea”(McCabe, Smith, & Harriott, 2013, 971). Donde uno de los sistemas puede ser el de vapor a partir del cual se pueden generar las partículas, como por ejemplo la nieve, otra forma de obtener partículas sólidas es de un líquido fundido, que es la forma en que se obtienen monocristales, o bien como cristalización de una solución líquida. De ahí que el tratamiento en esta monografía se restringe al último caso.

En función de lo expuesto antes podemos verificar que la cristalización promete una serie de ventajas las cuales son:

- ✓ Debido a que los factores son elevados según el desprendimiento, realizando una única etapa de cristalización, separado y lavado es posible rescatar los productos esperados con pureza que ronda el 99% (Foust, Wenzel, & Clump, 2010).
- ✓ Si son controladas las condiciones de operación los cristales obtenidos estarán formados por partículas discretas de forma y tamaño adecuado, lo que permitirá en las empresas poder empaquetar directamente disminuyendo las posibilidades de contaminación y rápida puesta en venta. Del producto (Foust et al., 2010).
- ✓ No requiere altas temperaturas. Dado que el proceso se puede desarrollar a baja temperatura, consume menos energía que otros procesos como la destilación y otros métodos de uso común (Foust et al., 2010).

Sin embargo, las técnicas de cristalización también presentan algunas desventajas como son:

- ✓ ES difícil purificar un a la vez más de un componente haciendo los procesos más largos y en algunos casos muy engorrosos(Foust et al., 2010).
- ✓ En casos muy especiales, es necesario utilizar equipo adicional para eliminar por completo el soluto residual en el licor de origen, lo que dificulta la realización del proceso en un solo paso (Foust et al., 2010).
- ✓ El resultado de la cristalización es un sólido y debe manipularse en determinadas condiciones de funcionamiento en función de las desventajas técnicas asociadas a él (Foust et al., 2010).

4.1.2. FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS

La formación de un cristal está determinada por dos etapas diferentes y determinantes; la primera es el tipo de nucleación y la segunda es el crecimiento del cristal. Por lo tanto, es importante comprender a través del cual se formó un determinado cristal, en pocas palabras, conocer su historial de formación. La formación de cristales comienza con una solución en fase líquida o una mezcla de moléculas, átomos o iones que interactúan para formar una red o patrón tridimensional fijo, sólido y repetitivo (Perry, 2000).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto se puede decir que un cristal es formado en una solución que se encuentra sobresaturada, lo que significa que existe en la solución en su seno tiene un exceso de soluto o sustancia que se va a cristalizar (C) superior a la concentración de equilibrio (C_0) que es necesaria a esa temperatura (Perry, 2000). Esto puede ser expresado matemáticamente según la siguiente ecuación:

$$\sigma = C - C_0 \text{ (ec. 1)}$$

Donde σ representa las sobresaturaciones o la diferencia de las concentraciones entre ambas soluciones en equilibrio, la saturada y la sobresaturada. Sin embargo, para que la primera etapa en la formación de los cristales, que es la nucleación, se ejecute se debe vencer la barrera energética, la cual estará determinada por el valor de σ^* y este valor dependerá de tipo de nucleación que se origine (Perry, 2000).

Existen dos tipos diferentes de nucleación que se pueden dar en un proceso de cristalización.

A) Nucleaciones homogéneas: se origina en el seno de las soluciones y se origina cuando se unen átomos, moléculas o iones formando un núcleo completamente rodeado de líquido. Por lo general es necesario un valor de σ^* muy alto (Perry, 2000).

B) Nucleación heterogénea: se produce en cuando se unen átomos, moléculas o iones formando un núcleo pero este a su vez se forma sobre impurezas o sobre las paredes del recipiente lo que impide que el núcleo este completamente rodeado solo de líquido, lo que disminuye las sobresaturaciones críticas σ^* , imprescindible para la nucleación, generando una nucleación bidimensionales o heterogéneas siendo al más frecuente en la naturaleza (Perry, 2000).

4.1.3. MÉTODO PARA LAS FORMACIONES DEL NÚCLEO CRISTALINO EN LAS SOLUCIONES

Podemos definir la nucleación como el proceso de nacimiento de cuerpos sólidos muy pequeños en el seno de la fase líquida homogénea y sobresaturada. En esta etapa se pueden distinguir dos tipos de nucleación, Nucleación Primaria la cual puede ser homogénea o heterogénea, y Nucleación Secundaria que se puede dar por contacto y/o por esfuerzo cortante (Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

a) Por Nucleación Primaria (homogéneas y heterogéneas)

Se desarrollan en el seno de los fluidos y si la misma es espontánea necesita de mayor sobresaturación. En el caso de ser heterogénea esta se verá favorecida por la representación de átomos sólidos u diferentes elementos de los cristalizadores, por lo tanto estos tipos de cristalización pueden ser cebada o sembrada agregando pedacitos de vidrio al seno de la solución resultando absolutamente controlable y usualmente es recomendable (Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

b) Nucleación Secundaria (por contacto y por esfuerzo cortante)

En este caso las mezclas que contienen los cristales son sometidas a fuerte agitación, lo que ocasiona que los cristales se rompan en dos o más pedazos al chocar fuertemente entre ellos o con las paredes del cristizador. Estos nuevos pedacitos funcionarían como nuevos núcleos dando como resultado la formación de nuevos cristales. Estos métodos deben rechazarse porque las formaciones se producen a expensas de un cristal perfecto que ya existen y no se pueden controlar adecuadamente.

(Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

4.1.4. EFECTOS TÉRMICOS EN LOS PROCESOS DE LAS CRISTALIZACIONES

Es necesario recordar el significado de solubilidad. Esto indica que es la cantidad máxima de soluto que se puede disolver en una cantidad particular de solvente. A continuación, se determina la solubilidad a partir de la temperatura de reacción. (Raymond, 1999).

Sin embargo, entre la temperatura y el signo del $\Delta H_{\text{disolución}}$ no hay ninguna correlación al momento de modificar la temperatura de reacción para ninguna reacción en la que estén involucrados compuestos iónicos. (Taboda, Graber, & Bastias, 1999).

4.1.5. CRECIMIENTO DEL CRISTAL

La unión de varios iones, moléculas o átomos conforman núcleos que se les conoce como embriones o unidades cinéticas y estos poseen movimientos rápidos. De acuerdo a la teoría cinética, un volumen pequeño de embriones en el orden de los 100 Å, pueden varían notablemente de posición, tiempo, velocidad, energía y concentración. Por lo tanto, debido a sus fluctuaciones un embrión puede penetrar en el espacio de otro, algo por su gran movilidad y energía sucede con mucha frecuencia, ocasionando que se unan algunos embriones por cortos períodos de tiempo, que en muchos casos simplemente se vuelven a separar, pero cuando ocurre el caso contrario y permanecen juntos ocasionan la unión de otras unidades cinéticas al embrión ya formado, la combinación de estas unidades se les llama agregados dando origen a reacciones en cadena, y mientras más unidades cinéticas forman agregados mayor será el tamaño de los cristales (Fernández, 2006).

4.1.6. MARCHA DEL CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES

La cristalización es la definida como celeridad de los crecimientos de los cristales, la cual únicamente ocurre en soluciones sobresaturadas. El primer paso para la procesión de los cristalinos es la formación de embriones o unidades cinéticas que pro unión con otras de su misma especie conforman los agregados generando una reacción en cadena con un crecimiento gradual de los cristales. Cuando la concentración está por arriba de la sobresaturación ocurre una nucleación pronta y automática. Sin embargo en la región meta establecen en el cual no se han comenzado a formar los embriones un pequeño golpe al cristalizador o generar fricción da inicio a la formación de núcleos o cristales (Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

De acuerdo a lo publicado por McCabe et al., (2013) según la ecuación para la obtención de la velocidad de la cristalización:

$$C = R * \frac{100W_o - S(H_o - E)}{100 - S(R - 1)} \text{ (ec. 2)}$$

Donde:

- C = Velocidad de la cristalización
- R = Peso de la solución inicial/peso del soluto
- W_o = Peso del soluto
- H_o = Peso del solvente inicial
- S = Peso en miligramos del soluto/volumen en litros de la solución final.
- E = Peso evaporado durante el proceso

4.1.7. PUREZAS DE LOS PRODUCTOS

Los cristales producen compuestos puros, pero cuando se descomponen por el magma final, la masa del sólido retiene una cantidad significativa de alcohol parental y puede transportar contaminantes a medida que se produce. Cuando el producto se seca, se contamina. Depende del agua contenida en el vaso para determinar el nivel de impurezas (Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

Para optimizar el proceso de cristalización, es necesario considerar la presencia de bajas concentraciones de sustancias extrañas a las especies de cristalización, ya sean impurezas o sustancias extrañas.

Estas impurezas pueden ser incorporadas por diferentes razones: la primera es que todos los materiales tienen impurezas, algunos en mayor proporción que otros las cuales pueden ser añadidas o incrementadas en cantidad durante su procesamiento. Si se desea mantener un control satisfactorio del proceso de cristalización su control debe ser exhaustivo. En segundo lugar, y lo más importante, es posible controlar el sistema de cristalización teniendo en cuenta las propiedades del cristal, que tiene el efecto de controlar el cristal y su correspondiente crecimiento ordenado. Reducir la cantidad de aditivos cuidadosamente seleccionados de Pureza. (Ingeniería de Procesos Industriales, 2018).

Por otro lado, el ambiente químico podría ser situado apropiadamente para variar:

- ✓ Al alterar las cinéticas de las cristalizaciones, para modificar su pureza y el tamaño de los cristales (Perry, 2000).
- ✓ Al tener un control más eficiente del cristalizador, se mejora notablemente la calidad de los cristales obtenidos (Perry, 2000).
- ✓ Con la producción de un tipo de cristal se puede mejorar y hacer más eficientemente en los procesos de la obtención, mejorando la calidad del proceso (Perry, 2000).
- ✓ En los procesos donde la cantidad de impurezas son inaceptables, a través de controles químicos del proceso se pueden cristales muy puros de cierto material (Perry, 2000).

4.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA OBTENCIÓN DE UNA CRISTALIZACIÓN BUENA.

4.2.1. Generalidades

En general es difícil en la mayoría de los casos lograr cristales a partir de diferentes soluciones salinas, sin tomar en cuenta algunas precauciones. Sin embargo, existen otros procesos más eficientes que permiten la obtención de cristales de mejor calidad como por ejemplo procesos de secados, por deliquesencia, eflorescencia, oxidación o hidrólisis.

4.2.2. Tipo de prueba para las cristalizaciones.

Eflorescencias

Se denomina así la eflorescencia a la propiedad que presenta algunas sustancias muy solubles en agua de absorber agua del aire ambiental. Ejemplo de ello, es el uso del yeso en la mampostería el cual luego de disolverlo en agua tiende a perder la humedad hasta el punto de endurecimiento (Raymond, 1999).

Sobresaturación

Los solutos o residuos en una solución que cristalizan por encima de la concentración de equilibrio requerida a esa temperatura se denominan sobresaturados. (Perry, 2000).

Cristalización

El proceso de cristalización se da en dos etapas bien definidas. En la primera etapa se forman los cristales y es la etapa de nucleación, la segunda corresponde al crecimiento de los núcleos o cristal. Lo que permite que se desarrollen ambas etapas es que la solución se encuentre sobresaturada (Perry, 2000).

Para generar una solución sobresaturada se pueden emplear tres métodos diferentes.

- a) Primero, si la solubilidad de un soluto aumenta bruscamente con la temperatura, la concentración aumenta hasta que la solución se vuelve sobresaturada y la solución se enfría lentamente, como suele ser el caso de muchas sales y sustancias inorgánicas.
- b) Por lo tanto, si la solubilidad es en grandes medidas independientes de las temperaturas, como en los casos de la sal, aumenten las temperaturas de las soluciones para que el solvente se sobresature y se evaporen.
- c) En segundo lugar, si la solubilidad es en gran medida independiente de la temperatura, como en el caso de la sal, aumente la temperatura de la solución para que el disolvente quede sobresaturado y se evapore.
- d) Cuando ni el primer ni el segundo caso aplican porque la solubilidad es muy alta y la solución se descompone al aumentar la temperatura. Cuando la solubilidad del soluto disminuye significativamente, cristaliza un tercer componente que se puede mezclar físicamente con el solvente original. Alternativamente, si se necesita un precipitado completamente básico, se puede agregar un tercer componente que reacciona con el primer soluto para formar un

nuevo soluto que forma el insoluble. Este proceso reconoce el nombre del precipitado. (Raymond, 1999).

Deliquesencia

Existen sales que su tendencia es absorber agua del medio ambiente al ser expuestas al aire, estas sales también se les define como sales higroscópicas por su tendencia a absorber agua hasta que la sal se componga una disolución. Hay que tener en cuenta que esto es igual para las sales en forma de sales anhidras y para los hidratos, por lo que este fenómeno afecta directamente al secado de los cristales y siempre hay que tener en cuenta el equilibrio presente durante la presión parcial del vapor de agua en el medio y materiales. Una posible solución a este fenómeno es deshumidificar rápidamente el vidrio usando un filtro de vacío o centrífuga y prefluorado por la acción del calor cuando se usa una estufa u otro dispositivo. Colocar inmediatamente los cristales en un secador de fondo que contenga material de secado medio que contenga sal. (Raymond, 1999).

4.2.3. MÉTODO PARA LAS PROTECCIONES DEL CRISTAL

Protecciones de las acciones del aire

Al cristalizar, es importante tener en cuenta que hay componentes en el aire que pueden reaccionar con los cristales, especialmente durante la fase de secado y afectar su pureza (principalmente O₂, CO₂ y vapor de agua). (Raymond, 1999).

Protecciones contra las oxidaciones

El caso más común de cambio oxidativo es cuando un catión puede tener dos estados oxidativos diferentes y debido a la presencia de un oxidante, tiende a pasar del estado de enmohecimiento de la atmósfera. Algunos compuestos pueden ser las sales de Fe, Sn, Hg, Cr, entre los más afectados (Raymond, 1999).

Protecciones contra la humedad

Siendo este un factor que interviene puede alterar algunos productos por hidrólisis o aún peor generar nuevos productos indeseados durante la cristalización. En función de las particularidades físico químicas de la sal los procedimientos pueden ser muy variados con la finalidad de evitar estas desagradables consecuencias (Raymond, 1999).

4.2.4. EFECTO QUE INFLUYE EN LAS CRISTALIZACIONES

Efectos de los enfriamientos

La técnica de enfriamiento como factor precursor de la cristalización debe llevarse a cabo con suma precaución y teniendo en cuenta que cada caso es diferente, debido a que el disminuir fuertemente la temperatura en soluciones poco cristalizables puede conllevar a un incremento en la viscosidad del medio. Otro caso particular es sustancias que cristalizan rápidamente al bajar la temperatura unos grados, en estos casos es recomendable utilizar un embudo térmico que son calentados por vapor caliente. Es importante recordar que la cristalización en muchos flujos turbulentos es un fenómeno lento y es necesario utilizar uno muy suave. (Raymond, 1999).

Efectos que influyen

Si el material es difícil de cristalizar debido a sus propiedades físicoquímicas, su amplia descripción da lugar a una solución utilizando matraces con apariencia que favorece la cristalización. Se obtiene una pequeña cantidad de cristales cíclicos del espacio, que se pueden usar para difundir otros resultados mediante el enfriamiento y la exposición al aire en una película delgada de la solución amplificadas (Raymond, 1999).

Viscosidad

La viscosidad de una solución hace que la cristalización sea muy complicada, por lo que a menudo es muy importante reducir la viscosidad,

que es inversamente proporcional a la linealidad. Esto indica que cuanto mayor es la viscosidad, más lenta es la velocidad de cristalización como resultado.

La adición del solvente para reducir la viscosidad del medio promueve una cristalización no uniforme en casos difíciles. (Raymond, 1999).

Frotación

En algunos sucesos la frotación de las paredes del recipiente de cristalización aumenta la velocidad de formación de los cristales, al momento de frotar ininterrumpidamente con la mano las paredes del recipiente se desprenden pedacitos muy pequeños que pueden funcionar como pequeños núcleos que incentivan el proceso de cristalización hasta obtener cristales. Lo incomodo es que con mucha frecuencia son tratamientos que se prolongan durante períodos, precedentemente para conseguirse los resultados auténticos (Raymond, 1999).

4.3. INGENIERÍA

Figura 1. Diagramas externos del cristizador.

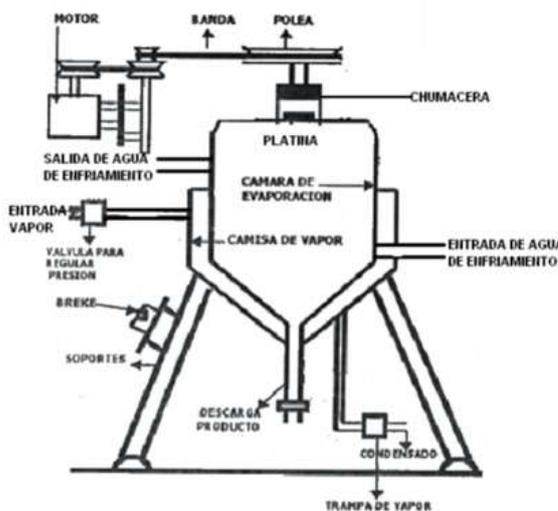


Figura 2. Diagramas internos del cristizador

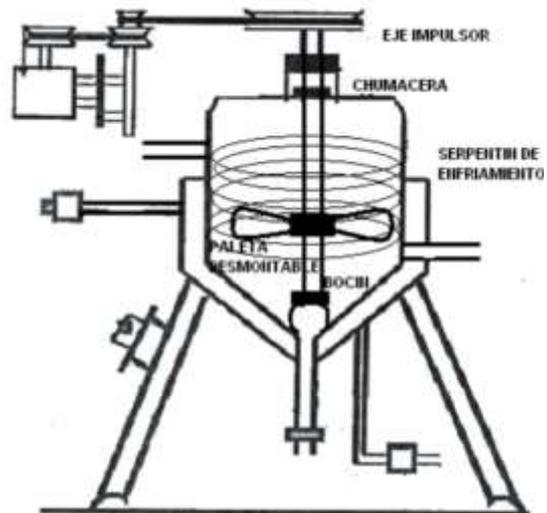
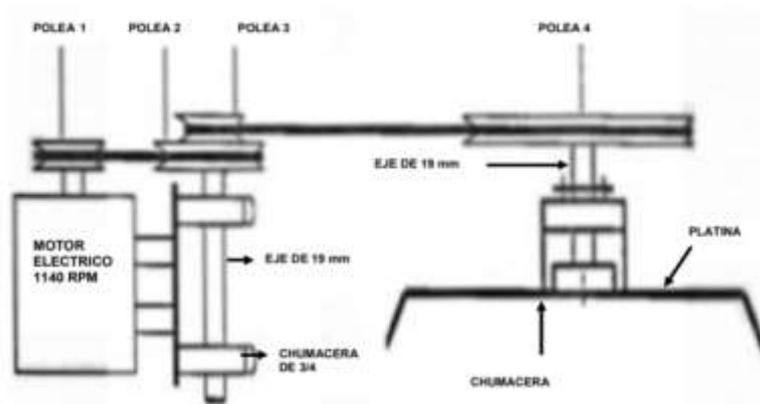


Figura 3. Diagramas del sistema de transmisión de la potencia (BANDA – POLEA)



Características mecánicas

Todo comienza por transformar una idea en una realidad de tipo industrial, de ahí que el trabajo del ingeniero químico en la fase de construcción debe como primer paso dimensionar, para en una segunda etapa poder armar la unidad. Para ello, previamente se ha escogido el lugar adecuado para su montaje y se procede a la escogencia de los materiales más adecuados para las diferentes partes que componen el cristalizador (Fernández Ros, 2005).

Para la construcción del cristalizador realizar el cálculo del espesor de la lámina.

El aparato de cristalización más simple consiste en un recipiente mantenido a presión constante, un sistema de calentamiento cuando la cristalización debe ser a una temperatura específica, movimiento y homogeneidad de la mezcla de sustancias y productos producto de reacción. Los sistemas de control de taludes suelen estar hechos de acero aleado, su diámetro no suele superar 1 m.

(Fernández Ros, 2005).

Para la obtención del cálculo del espesor con la utilización de herramientas para la cristalización utilizamos la ecuación siguiente:

$$E = \frac{(P * D * y)}{(2 * \delta)} \quad (Ec. 3)$$

En la que:

D = Diámetro

P = Presión

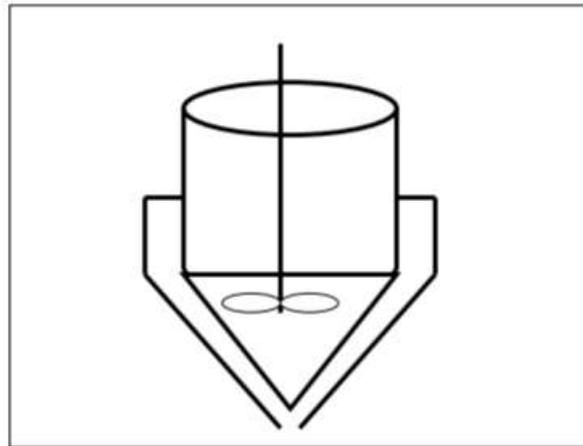
y = Factor de seguridad

δ = La carga de rotura por tracción

La fórmula que se plantea es la ampliamente utilizada para equipo se cristalización de pared delgada. En estos casos se basa el cálculo en un reactor para cristalización de pared delgada ya que los de paredes gruesas funcionan a alta presión siendo su cálculo mucho más complicado.

Ecuaciones de los diseños para un cristalizador discontinuos o por lote

Figura 3. Reactor de cristalización de paredes delgadas



En los casos los lotes (Fig. 3), se expresan mediante la ecuación para el balance principal de los materiales:

(1)	⁰	(2)	⁰	(3)		(4)
Disolvente Añadidos En el flujo De entrada	-	solución perdidos en el flujo de salida	-	solución convertidos en el cristalizador	=	velocidad cambio de la solución en el cristalizador

Asimismo, podemos expresar los términos del 3er y 4yo de las conversiones x' de la siguiente manera:

$$-rV_B = m_t \left(\frac{dx'}{d\theta} \right) \text{ (ec. 4)}$$

Donde:

m_t = masa total de material cargado al reactor

x' = conversión en cualquier tiempo θ , medida de la masa de un reactante particular convertido, dividido por la masa total de la carga m_t

En la experiencia, la decisión se puede explotar sin alboroto en la forma representada por la Ecuación. Cuando la alteración se considera como la masa producida por pelotón de amalgama de peso y la velocidad es el amasijo de la alternativa formada por el mecanismo de volumen en unidades de tiempo. Consideraciones prácticas para el benceno, la cantidad de benceno o nitrobenceno convertido que se produce no es la cantidad de ácido consumido, afortunadamente la carencia económica más notable.

Por lo tanto, es prudente ocasionar una ecuación de velocidad basada en la velocidad de consumo de benceno o la alteración de nitrobenceno. La masa m_t y volumen V_B ($\rho = m_t$): Por lo tanto la ecuación 4 se podrá sugerir y los procesos de la integración entenderse de la siguiente manera:

$$\theta = m_t \int_0^{x'1} dx' / rV_B = \rho \int_0^{x'1} dx' / rV_B \text{ (ec. 5)}$$

Normalmente, la conversión debe acaparar entender como la afinidad entre la masa de los reactivos convertidos y la masa del mismo reactivo no convertido.

Las dos definiciones de conversión están relacionadas por la conglomerado de reactivos presentes en la masa m , la masa general m_t , como sigue:

$$x' = x(m/m_t) \text{ (ec. 6)}$$

ó en las formas diferenciales:

$$dx' = \left(\frac{m}{m_t}\right) dx \text{ (ec. 7)}$$

En términos del cambio de
x la ecuación 7 se modifica:

$$\theta = (m/m_t) \int_0^{x'1} \rho \left(\frac{dx}{r}\right) = m \int_0^{x'1} \left(\frac{dx}{V_B r}\right) \text{ (ec. 8)}$$

Las ecuaciones 6, 7 y 8 son global. Pueden simplificarse cuando deban apropiarse supuestos simplificados respecto a la interpretación del sistema de respuesta. Por lo común, si la dimensión es interminable lo que es un supuesto prudente para muchos reactores en etapa líquida la densidad y el volumen V_B son perenne y la ecuación 8 puede escribirse:

$$\theta = (m\rho/m_t) \int_0^{x'1} \left(\frac{dx}{r}\right) = Co \int_0^{x'1} \left(\frac{dx}{r}\right) \text{ (ec. 9)}$$

Asís mismo Co viene hacer parecido a m/V_B que viene hacer la concentración principal de los reactantes donde x y r . donde la integral:

$$\int_0^{x'1} \rho \left(\frac{dx}{r}\right) \text{ (ec. 10)}$$

Dado que es esencialmente independiente de la dimensión del cristizador y se puede calcular en un dispositivo de planta piloto, utilice la Ecuación para diseñarse el dispositivo a escalas comerciales. Estos métodos de planificación de las derivaciones de la planta piloto requieren que todos los determinantes sean los mismos para la planta piloto y la planta cristalina. En otras palabras, las condiciones de intercambio de calor comprometen ser tales que se puedan obtener la misma temperatura y el mismo grado de oscilación. Las mismas circunstancias catalíticas deben ser las mismas, etc.

4.4. ILUSTACIÓN DE COMO REALIZAR LAS CONSTRUCCIONES:

Estructura y dimensiones del cristizador

Para la estructura y dimensiones, utilizando una capacidad de 85,22 litros como base para el cálculo, se distribuye de la siguiente manera:

Para ello se utilizó el espesor de chapa de acero inoxidable AISA 304 de 0,003 mm. El espesor se toma en las siguientes dimensiones:

Extenso: 0,5 m

Estirado: 1,413 m

Las dimensiones del cortado en guillotinas son las mismas que las laminadas para formar el cilindro, las dimensiones traseras:

Altura: 0,5 m

Diámetros externos: 0,456 m

Diámetros internos: 0,45 m

Los extremos de las cámaras tienen extremos de aceros inoxidables o un anillo de una cámara de la evaporación con un mismo material y un mismo espesor. Debe soldarse al plasma Doingit. Cortar acero inoxidable de varios espesores, en todos los casos el corte en este caso es circular con las siguientes dimensiones:

Diámetro externo: 0,51 m

Diámetro interno: 0,45 m

Los espacios en cada diámetro son de 0.06 m tanto externo como interno.

En el parte superior de los anillos o bridas. Se sueldan dos cuñas de aceros inoxidables como soportes de cojinetes entre las varillas del agitador, se cortan con una guillotina y se pasan por un laminador de dimensiones siguientes.

Largo: 0,0498 m

Ancho: 0,03 m x 0,03 m

Espesor: 0,002 m

Los anillos de tubos en el interior de la cámara son de 4 ½ teniendo forma de serpentines de $\frac{3}{4}$ los tubos con aceros inoxidables en las cedula 40.

Largo: 4,96 m

Espesor: 0,003 m

Diámetro externo: 0,435 m

Diámetro interno: 0,385 m

Fondo de la cámara del cristizador

Está hecho del mismo material que las cámaras del evaporador, tiene forma de conos truncados y tiene las siguientes dimensiones:

Altura: 0,1 m

Vista lateral: 0,25 m

Diámetro externo superior: 0,456 m

Diámetro interno superior: 0,45 m

Diámetro externo inferior: 0,03775 m

Diámetro interno inferior: 0,03175 m

El diámetro del fondo es por donde sale el producto terminado. La salida del producto terminado consta de un soporte en forma de U de acero inoxidable sobre el que se apoya el eje, y se toman las siguientes medidas:

Altura: 0,1 m

Ancho: 0,1 m x 0,1 m

Espesor: 0,003 m

Esta base en forma de U tiene una copa con las siguientes líneas: El punto se coloca en el centro de la soldadura.

Altura: 0,03 m

Diámetro externo: 0,042 m

Diámetro interno: 0,021 m

Espesor: 0,0105 m

Construcción y dimensionamiento de las camisas de vapores

Por este motivo, se fabrica en dos partes como el, similar a la cámara de evaporación. La primera parte es cilíndrica y está realizada de la siguiente manera, Utilizando acero inoxidable AISA 304 de 0,003 m de espesor, cortar de la siguiente manera:

Ancho: 0,35 m

Largo: 1,60222 m

Estas dimensiones se cortan con un cortador y se enrollan con una dobladora mecánica para producir cilindros del siguiente tamaño:

Diámetro externo: 0,516 m

Diámetro interno: 0,51 m

Alto: 0,35 m

Estas dimensiones se cortan con un cortador y se enrollan con una dobladora mecánica para producir cilindros del siguiente tamaño. Esta chaqueta de aire tiene dos orificios de 0,022 m de diámetro, cada uno distribuido de la siguiente manera: La altura del primer orificio circular en la parte inferior de la chaqueta es de aproximadamente 0,25 m y actúa como una puerta en el centro de la chaqueta. Esta es la misma altura que el escape, pero en el lado opuesto del primer orificio. Un segundo orificio que sirve de entrada para el agua de refrigeración.

Se suelda un anillo calefactor o una brida de 0,022 m de ancho a la parte superior de la camisa de vapor. Con un espesor de 0,003 m, el diámetro interior es igual al diámetro exterior de la cámara del evaporador y el diámetro exterior es igual al diámetro de la camisa de aire utilizada para combinar los dos.

Dimensionamiento del fondo de la camisa

Esta es la segunda parte de la camisa de vapor, en forma de cono truncado, hecha de la siguiente manera:

Con la máquina tendrá forma de cono truncado con las siguientes dimensiones:

Altura: 0,1 m

Vista lateral externa: 0,27 m

Diámetro externo superior: 0,516 m

Diámetro interno superior: 0,51 m

Diámetro interno inferior: 0,03175 m

Diámetro externo interior: 0,03475 m

Espesor: 0,003 m

La parte inferior de la camisa de aire consta de dos orificios dispuestos de la siguiente manera:

Utilice el orificio de 0,03475 m de diámetro en el centro para expulsar el producto. El otro agujero se encuentra a 0,25 m del agujero de drenaje con un diámetro de 0,022 m, de donde sale el condensado. Se adjunta un accesorio que es una trampa termodinámica.

Mecánica de agitación de fluidos

La turbulencia del líquido en una cavidad es una calculo basada en el comienzo de dinámica de fluidos, en otras palabras, un bidón equipado con un deflector y un instigador para nutrir un grado de fluido consecuento libremente de la velocidad de rotación del instigador. Sin embargo, si el tanque no tiene deflector y gira lo suficientemente rápido, se formará un remolino. Los vórtices se producen cuando el nivel del líquido se eleva por encima de un rango de velocidad de agitación alto. El estudio de vórtices es un portento que puede deber en superficies libres.

Descripción de las partes de los cristalizadores

El cristalizador incluye las siguientes partes:

1. Cámara de evaporación

El juego del cristalizador incluye las siguientes piezas:

1. La cámara del evaporador es un cilindro vertical cilíndrico con agitador en su interior, incluye las siguientes características:

Funciona a velocidades entre 37_28 rpm.

Incluye tres bancos planos inclinados móviles.

El agitador funciona cuando su eje está acoplado al eje del motor. El cigüeñal está conectados a los sistemas de poleas que son impulsadas por los motores. Los agitadores se encuentran en los fondos del tanquen dobles, uno en acero y otro en teflón, dentro del primer tanque. Esto ayuda a prevenir la fricción.

2. Camisa de calentamiento o enfriamiento

Concéntrico y de acero inoxidable, utilizado para calentar con vapor u otras sustancias o para enfriar con otras sustancias según sea necesario.

3. Serpentes de enfriamiento

El serpentín de enfriamiento consiste en un tubo de acero inoxidable formado en 4½ vueltas, el cual se corta en cinco secciones con un tamaño de aproximadamente 1.20 m y se envía a un tubo de molino para formar un círculo y luego, además, cuatro partes fueron soldado en forma de bobina. Tiene las siguientes características:

Longitud = 4,96 m

Diámetros del tubo interior = 0,019 m

Diámetros del tubo exterior = 0,022 m

Espesores = 0,003 m

Diámetros exterior del serpentín = 0,435 m

Diámetros interior del serpentín = 0,385

4. Agitador

El agitador tiene las siguientes características.

- Opera a 37-228 RPM.
- Consta de tres hojas espirales móviles y extraíbles

El agitador se inicia con un sistema de poleas motorizadas. El agitador tiene una boquilla doble en las partes inferiores, una de acero y la otra de teflón, que encaja centralmente de primera boquilla para evitar fricciones.

La parte superior del agitador está equipada con cojinetes montados sobre placas de acero inoxidable soldadas a la parte superior de la cámara. El eje de agitación superior está equipado con un sistema de poleas que se mueve con el motor.

5. Ejes impulsores de los agitadores

Consiste en un eje de acero vertical con una polea en las partes superiores, que se mantiene en su lugar mediante una cuña a través de las ranuras de los ejes y una polea posterior. Tiene una base en forma de U soldada con doble perno fabricada en acero y teflón donde se ubicará el eje de las turbinas.

6. Válvulas

Son las siguientes:

- ✓ Válvula de suministro de producto.
- ✓ Válvula condensadora.
- ✓ Válvula de suministros de vapores.
- ✓ Válvulas de entradas de refrigerante

7. Otras partes

- ✓ Serpentín de aceros inoxidable
- ✓ Hay 03 patas de hierros galvanizados que sostienen el cristizador.
- ✓ Contacto eléctrico (encendido / apagado).
- ✓ Tuberías de aguas de refrigeración.
- ✓ Codorniz, troupe, nepro, tubo de vapor.

8. Sistema de bandas y poleas

Las poleas de las diversas dimensiones y 2 correas de tela de diferentes tamaños conectadas a la polea agitadora. Este grupo se utiliza para la disminución de velocidad de 11 40 a 37 rpm.

9. Accesorio de control

- ✓ Termómetros.
- ✓ Manómetros.

10. Soportes de los cristalizadores

Especificaciones técnicas de los materiales

- ✓ Plancha:

Aceros Inoxidables AISI 304

Espesor: 0,003 m

Tipo de Aleación: Cr 18,6 %, Ni 8%, C 0,1 %

Color de identificación: Blanco – negro (opaco)

✓ Estado de Suministro:

Apagado y decapado.

Aceros inoxidables característicos de los grupos austeníticos aleados al

Cr – Ni

✓ Cualidades:

Inoxidable,

Resistente a la corrosión químicas,

Antimagnéticos caracteres de los aceros Inoxidables.

✓ Aplicaciones.

Para piezas mecánicas, partes en general, tanques, equipos de cristalización, tuberías en la industria alimentaria y química. También para construcción naval y pesca.

✓ *Características mecánicas.*

Resistentes a las tracciones en modo apagados: 60 – 75 Kg/mm²

Durezas en estados apagados: 170 HB

Conductividad de calores: 350 cal / m°C

✓ *Motor eléctrico*

Volts: 110/220 V = 60 Hz

Cicles : 60

rpm : 1140

HP : 1/2 HP

Ampere : 9.50/4.75^a

Service factor : 1.25

Dimensiones del Cristalizador

Cámara de evaporación

Volumen	85.22 l
Ancho	0.5 m
Largo	1.413 m
Diámetro Externo	0.456 m
Diámetro Interno	0.45 m

Borde o anillo de acero inoxidable

Diámetro Externo	0.51 m
Diámetro Interno	0.45 m
Espacio entre D.Ext y D.Int	0.06 m

Ángulos de acero inoxidable

Ancho	0.03x0.03 m
Largo	0.0498 m
Espesor	0.002 m

Cámara en su interior

Largo	4.96 m
Espesor	0.003 m
Diámetro Externo	0.435 m
Diámetro Interno	0.385 m

Fondo de la cámara del cristalizador

Altura	0.1 m
Vista Lateral	0.25 m
Diámetro Externo Superior	0.456 m
Diámetro Interno Superior	0.45 m
Diámetro Externo Inferior	0.0378 m
Diámetro Interno Inferior	0.0318 m

Montura en U de acero inoxidable

Altura	0.1 m
Ancho	0.1x0.1 m
Espesor	0.003 m

Bocín

Altura	0.03 m
Diámetro Externo	0.042 m
Diámetro Interno	0.021 m
Espesor	0.0105 m

Camisa de Vapor

Ancho	0.35 m
Largo	1.6022 m
Diámetro Externo	0.516 m
Diámetro Interno	0.51 m
Alto	0.35 m

Dimensionamiento del fondo de la camisa

Altura	0.1 m
Vista Lateral Externa	0.27 m
Diámetro Externo Superior	0.516 m
Diámetro Interno Superior	0.51 m
Diámetro Externo Inferior	0.0348 m
Diámetro Interno Inferior	0.0318 m
Espesor	0.003 m

Serpentines de enfriamiento

Longitudes	4.96 m
Diámetros de los tubos interiores	0.019 m
Diámetros de los tubos exteriores	0.022 m
Espesores	0.003 m
Diámetros exteriores del serpentín	0.435 m

4.5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

1. Área y volumen de la cámara de evaporación área del cilindro.

$$AT = AL + 2 * \pi * r^2$$

$$AL = 2 * \pi * r * h$$

Datos

$$r = 22.5$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$\pi = 3.1416$$

Sustituyendo valores:

$$AL = 2 * 3,1416 * 22.5 \text{ cm} * 50 \text{ cm}$$

$$AT = (2 * 3,1416 * 22.5 \text{ cm} * 50 \text{ cm}) + 2 * 3,1416 * (22.5 \text{ cm})^2$$

$$AT = 1002483 \text{ cm}^2 = 100,2483 \text{ m}^2$$

2. Volúmenes de los cilindros formulas.

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3,1416 * (22.5 \text{ cm})^2 * 50 \text{ cm}$$

$$V = 79521,75 \text{ cm}^3 = 0,0795 \text{ m}^3$$

La 2da se calcula las áreas y volúmenes que tienen forma de cono truncado.

Formula

$$AT = \pi * G * (r_1 + r_2) + \pi(r_1^2 + r_2^2)$$

Datos:

$$r_1 = 22,5 \text{ cm.}$$

$$r_2 = 1,588 \text{ cm}$$

$$G = 25 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$\pi = 3,1416$$

$$AT = 3,1416 * 25 \text{ cm} * (22,5 + 1,588) + 3,1416((22,5)^2 + (1,588)^2)$$

$$AT = 3490,22 \text{ cm}^2 = 0,3490 \text{ m}^2$$

3. Volumen de cono formula

$$V = \frac{\pi}{12} * h(D^2 + (D * d) + d^2)$$
$$V = \frac{3,1416}{12} * 10(45^2 + (45 * 3,175) + (3,175)^2)$$
$$V = 5701,89 \text{ cm}^3 = 0,0057 \text{ m}^3$$

4. Áreas totales de las camisas de evaporaciones

$$A = AT_{cilindro} + AT_{cono}$$
$$A = 1002483 \text{ cm}^3 + 3490,228\text{cm}^3 = 1005973.2 \text{ cm}^3 = 1,0060 \text{ m}^3$$

5. Volumen general de las camisas de evaporaciones

$$VT = V_{cilindro} + V_{cono truncado}$$
$$VT = 79521,75\text{cm}^3 + 5701,89\text{cm}^3$$
$$VT = 85223,64 \text{ cm}^3 = 85,224 \text{ L}$$

6. Obtención de volúmenes disponibles de las cámaras de evaporación

$$V_{disponible} = V_{total} - (V_{serpentin} + V_{base del eje} + V_{bocin central del eje} + V_{eje} + 2V_{bocin paleta} + 4V_{paleta})$$

Donde:

$$V_{total} = 85223,64 \text{ cm}^3 = 0.0852 \text{ m}^3$$

7. Volumen de la montura en u que centra al eje

$$Volumen = a * b * c$$

Donde:

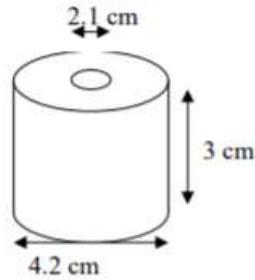
$$a = 10\text{cm}, b = 10 \text{ cm y } c = 0,3\text{cm}$$

$$Volumen = 10\text{cm} * 10\text{cm} * 0,3\text{cm} = 30 \text{ cm}^3$$

$$V_{total} = 30 \text{ cm}^3 * 3$$

$$V_{total} = 90 \text{ cm}^3 = 0,00009\text{m}^3$$

8. Volumen del bocín que centra al eje



$$V_{total} = \frac{\pi}{4} * h * (D^2 - d^2)$$

$$V_{total} = \frac{3,1416}{4} * 3cm * ((4,22)^2 - (2.1)^2)$$

$$V_{total} = 31,173cm^3 = 0,00003m^3$$

9. Volumen del eje

$$V = \pi * r^2 * h$$

Donde:

$$\emptyset = 1,9 \text{ cm}; r = 0,95 \text{ cm}; h = 47 \text{ cm}$$

$$V = 3,1416 * (0,95cm)^2 * 47cm$$

$$V = 133,26cm^3 = 1,3326m^3$$

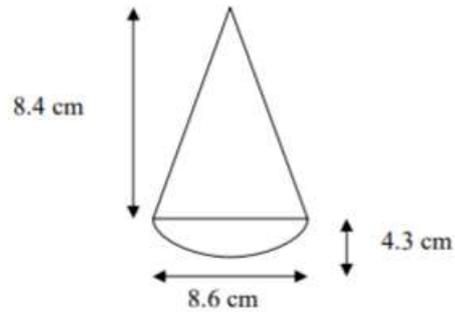
10. Volumen del bocin de aspas

$$V_{total} = \frac{\pi}{4} * h * (D^2 - d^2)$$

$$V_{total} = \frac{3,1416}{4} * 2,4cm * ((3,8cm)^2 - (1,9cm)^2)$$

$$V_{total} = 20,414 \text{ cm}^3 = 0,00002m^3$$

11. Volumen de paleta



$$V = \left[\frac{(b * h)}{2} \right] * e$$

$$V = \left[\frac{(8.6\text{cm} * 8.4\text{cm})}{2} \right] * 0.3\text{cm}$$

$$V = 10.836 \text{ cm}^3 = 0.1084 \text{ m}^3$$

Volumen del área triangular

$$V = \frac{(\pi * r^2 * h)}{2}$$

$$V = \frac{(3,1416 * (4,32\text{cm})^2 * 0,3\text{cm})}{2}$$

$$V = 8,713\text{cm}^3 = 8,713 + 10^{-6}\text{m}^3$$

Volumen del área circular

$$V_T = 10.836 + 8.713 = 19.55 \text{ cm}^3 = 1.955 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

12. Volúmenes de los tubos de los serpentines

Dato:

Diámetros exteriores 2,4 cm.

Diámetros internos 2,1 cm.

Largo = 496 cm.

Formulas:

$$V = \frac{\pi}{4h} (D^2 - d^2)$$

$$V = \frac{3,1416}{4 * 496\text{cm}} (2,4^2 - 2,1^2)$$

$$V = 525.904 \text{ cm} = 5.2590 \text{ m}$$

Remplazando:

$$V_{\text{disponible}} = 85223,64 - (525,904 + 90 + 31,173 + 133,26 + (2)(20,414) + 4(19,55))$$

$$V_{\text{disponible}} = 84324,276 \text{ cm}^3 \approx 84,32 \text{ lt} \approx 22,27 \text{ gal}$$

2. ÁREA Y VOLUMEN DE LA CAMISA DE VAPOR

La camisa de aire se divide en dos partes.

La 1era parte es cilíndrica con las mismas fórmulas de volúmenes y áreas que las camisas de los evaporadores.

Áreas de los cilindros

Dato:

$$V = 25,5 \text{ cm.}$$

$$h = 35 \text{ cm.}$$

$$\pi = 3,1416$$

Sustituyendo valores

$$AT = (2 * \pi * V * h) + 2\pi V^2$$

$$AT = (2 * 3,1416 * 25,5 \text{ cm} * 35 \text{ cm}) + 2 * 3,1416(25,5 \text{ cm})^2$$

$$AT = 9693.407 \text{ cm}^2$$

Volumen del cilindro

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 3,1416 * (15,5 \text{ cm})^2 * 35 \text{ cm}$$

$$V = 71498.89 \text{ cm}^3 = 0.07150 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del área y del volumen en la cámara de evaporación cuya forma es de cono truncado en su segunda parte:

Área del cono

Dato:

$$r_1 = 25,5 \text{ cm.}$$

$$r_2 = 1,59 \text{ cm.}$$

$$g = 27 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$\pi = 3,1416$$

Sustituyendo

$$AT = \pi * g(r_1 + r_2) + \pi(r_1^2 + r_2^2)$$

$$AT = 3,1416 * 27\text{cm}(25,5\text{cm} + 1,59\text{cm}) + 3,1416((25,5\text{cm})^2 + (1,59\text{cm})^2)$$

$$AT = 4348.628 \text{ cm}^2 = 0.4349 \text{ m}^2$$

Volumen del cono

$$V = \frac{1}{2} * \pi * 10\text{cm}(512 + (51 * 3,1752)) = 7259,729\text{cm}^3$$

$$V = 7259,729\text{cm}^3$$

Áreas totales de las camisas de vapores

A = A total del cilindros + A total conos

$$A = 9693,407\text{cm}^2 + 4348,628\text{cm}^2$$

$$A = 14042,035 \text{ cm}^2 = 1,4042 \text{ m}^2$$

Volúmenes totales de las camisas de vapores

$$V = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{cono}}$$

$$V = 71498,89\text{cm}^3 + 7259,729\text{cm}^3$$

$$V = 78750,619 \text{ cm}^3 \sim 78,751 \text{ lt} \sim 20,806 \text{ gal}$$

3. CALCULOS DE POTENCIAS DE MOTORES

Cálculos de las transmisiones de las potencias

Para reducción de las velocidades de 1140 a 37 rpm se usa los sistemas bandas poleas.

Formulas:

$$D_i/D_o = W_o/W_i$$

Polea 1 a polea 2

Dato:

$$D_o = 5 \text{ pulg.}$$

$$W_o = ?$$

$$D_i = 0.88 \text{ pulg.}$$

$$W_i = 1140 \text{ rpm}$$

$$W_o = 201.07 \text{ rpm}$$

Polea 2 a polea 3

$$W_{i_2} = W_{o_3} = 201.07 \text{ rpm}$$

Polea 3 a polea 4

Datos

$$D_{o_4} = 11 \text{ pulg.}$$

$$W_o = ?$$

$$D_{i_3} = 2 \text{ pulg.}$$

$$W_i = 201.07 \text{ rpm}$$

$$W_{o_4} = 37 \text{ rpm}$$

Calculo de la potencia del motor para realizar la mezcla

Calculo del número de Reynolds

Formula:

$$D'N\rho/\mu$$

Datos:

$$N = 37 \text{ rpm}$$

$$D' = 37 \text{ cm o } 1.2139 \text{ pies}$$

$$P = 0.842 \text{ gr/cc o } 52.56 \text{ lb /pie}^3$$

$$\mu = 77.57 \text{ poise}$$

$$gc = 32 \text{ pie /seg}^2$$

$$\# \text{ Re} = 9.164$$

Calculo de la potencia del motor

Para leer la firmeza se debe poseer en cuenta el tipo de tanque que se ha traído, en este casualidad con serpentines deflectores:

$$N_{po} = 7.1$$

$$N_{po} = P \text{ gc}/N^3\rho D'^5$$

de esta forma despejamos la potencia (P).

$$P = N_{po} N^3\rho D'^5/\text{gc}$$

$$P = (7.1)(37/60)^3(52.57)(1.2139)^5/32P =$$

$$P = 0.013 \text{ HP}$$

4. Velocidad de los cristales

$$C = \frac{R100W_0 - s(H_0 - E)}{100 - S(R - 1)}$$

Donde:

C = Velocidad de cristalización

W₀ = Peso de soluto o peso de sustancia anhidra disuelta en la carga al comienzo del proceso.

S = Solubilidad (partes en peso de sustancia disuelta anhidra x 100 partes en peso del disolvente total) del material a la temperatura final.

$$R = \frac{\text{Sustancias disueltas hidratadas}}{\text{Peso de sustancias disueltas anhidras}}$$

PRUEBA # (1)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

W_{sol} = 44 Kg

C₁₂H₂₂O₁₁ = 22 Kg (50%)

H₂O = 22 Kg (50%)

ℓ_{solución} = 1.134 Kg/lt

V = 18 Kg = E

W_{solución final} = 26 kg

$$C = \frac{R 100W_0 - s(H_0 - E)}{100 - S(R - 1)}$$

$$S = \frac{W \text{ de 1 mg de soluto} * 100\text{ppm}}{V \text{ de lt de solución final}}$$

$$R = \frac{W \text{ la solución inicial}}{W \text{ del soluto}}$$

E = W evaporación durante el proceso

W₀ = Peso de soluto

C = velocidad de cristalización

H₀ = peso del solvente inicial

$$\ell = W/V$$

Despejando

$$V = W/\ell$$

V = 26 kg / 1.134 kg/lt

$$V = 22,928 \text{ lt}$$

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11} * 100\text{ppm}}{22,928 \text{ lt}}$$

$$S = 4.36 \text{ ppm}$$

Entonces:

$$R = 44 \text{ kg} / 22 \text{ kg}$$

$$R = 2$$

$$W_o = 22 \text{ kg}$$

$$E = 18 \text{ kg}$$

$$H_o = 22 \text{ kg}$$

$$C = 45.64 \text{ kg/h}$$

PRUEBA # (2)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

$$W_{\text{sol}} = 50 \text{ Kg}$$

$$C_{12}H_{22}O_{11} = 30 \text{ Kg (60\%)}$$

$$H_2O = 20 \text{ Kg (40\%)}$$

$$\ell_{\text{solución}} = 1.247 \text{ Kg/lt}$$

$$V = 16,5 \text{ Kg} = E$$

$$W \text{ solución final} = 33.5 \text{ kg}$$

$$\ell = W/V$$

Despejando

$$V = W/\ell$$

$$V = 33.5 \text{ kg} / 1.247 \text{ kg/lt}$$

$$V = 26.865 \text{ lt}$$

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11} * 100\text{ppm}}{26,865 \text{ lt}}$$

$$S = 3.723 \text{ ppm}$$

Entonces:

$$R = 50 \text{ kg} / 30 \text{ kg}$$

$$R = 1.667$$

$$W_o = 30 \text{ kg}$$

$$E = 16.5 \text{ kg}$$

$$H_o = 20 \text{ kg}$$

$$C = \frac{2 * 100(30) - 3,723(20 - 16.5)}{100 - 3,723(1,667 - 1)}$$

$$C = 45.653 \text{ kg/h}$$

PRUEBA # (3)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

$$W_{sol} = 45 \text{ Kg}$$

$$C_{12}H_{22}O_{11} = 36 \text{ Kg (80\%)}$$

$$H_2O = 9 \text{ Kg (20\%)}$$

$$\ell_{solución} = 1,417 \text{ Kg/lt}$$

$$V = 6 \text{ Kg} = E$$

$$W \text{ solución final} = 39 \text{ kg}$$

$$\ell = W/V$$

Despejando

$$V = W/\ell$$

$$V = 39 \text{ kg} / 1.417 \text{ kg/lt}$$

$$V = 27.523 \text{ lt}$$

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11} * 100\text{ppm}}{27,523 \text{ lt}}$$

$$S = 3.633 \text{ ppm}$$

Entonces:

$$R = 45 \text{ kg} / 36 \text{ kg}$$

$$R = 1.25$$

$$W_o = 36 \text{ kg}$$

$$E = 6 \text{ kg}$$

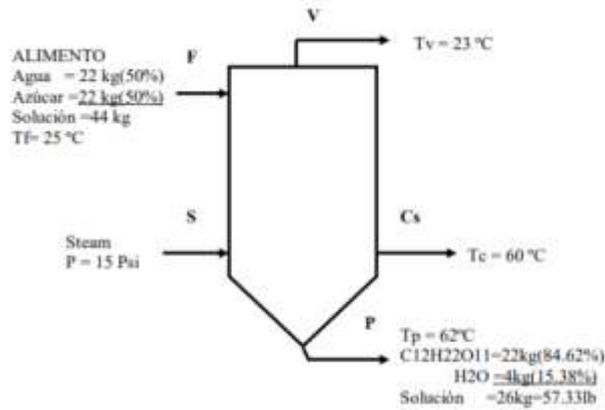
$$H_o = 9 \text{ kg}$$

$$C = \frac{2 * 100(36) - 3.633(9 - 6)}{100 - 3.633(1.25 - 1)}$$

$$C = 45.27 \text{ kg/h}$$

1. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Primera prueba con azúcar



Fuente: propia

PRIMERA PRUEBA CON AZÚCAR

Balance de materia

Base de cálculo: 1 hora

$$E = S$$

$$F = P + V$$

Remplazando

$$97.02 \text{ lb} = 57.33 \text{ lb} + V$$

$$V = 39.69 \text{ lb}$$

Balance de energía

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$F + S = V + P + Sc$$

$$Fh_f + SH = Vh_v + Ph_p + Sch_c$$

$$S = \frac{Vh_v + Ph_p - Fh_f}{H - hc}$$

Datos para cálculo

$$T_f = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 77 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_p = 62 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 143.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_v = 93 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 199.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 60 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 161.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$P. abs. 15 \text{ Psi} + 14.7 = 29.7 \text{ Psia}$$

Tabla de vapor

$T_f = 77^\circ F$	$h_f = 45.02 \text{ Btu/lb}$
$T_p = 143.6^\circ F$	$h_p = 111.89 \text{ Btu/lb}$
$T_v = 199.4^\circ F$	$h_v = 1145.7 \text{ Btu/lb}$
$T_c = 161.6^\circ F$	$h_c = 129.89 \text{ Btu/lb}$
$P. abs. = 29.7 \text{ Psia}$	$H = 1163.75 \text{ Btu/lb}$

Entonces reemplazando

$$S = \frac{39.69 \text{ lb}(1145.7 \text{ Btu/lb}) + 57.33 \text{ lb}(111.89 \text{ Btu/lb}) - 97.02 \text{ lb}(45.02 \text{ Btu/lb})}{1163.75 \text{ Btu/lb} - 129.89 \text{ Btu/lb}}$$

$$S = \frac{47519.646}{1033.86} = 45.96 \text{ lb}$$

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{\text{vapor que se desaloja} \times 100}{\text{Vapor total}}$$

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{39.69 \times 100\%}{45.96} = 86.22 \%$$

$$\lambda 29.7 \text{ Psia} = 945.9 \text{ Btu/lb}$$

$$C_p H_2O = 1 \text{ Btu/lb}^\circ F$$

$$\Delta T = (T_p - T_f)$$

$$m = 97.02 \text{ lb}$$

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 45.96 \text{ lb} \times 945.9 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 43476.4 \text{ Btu}$$

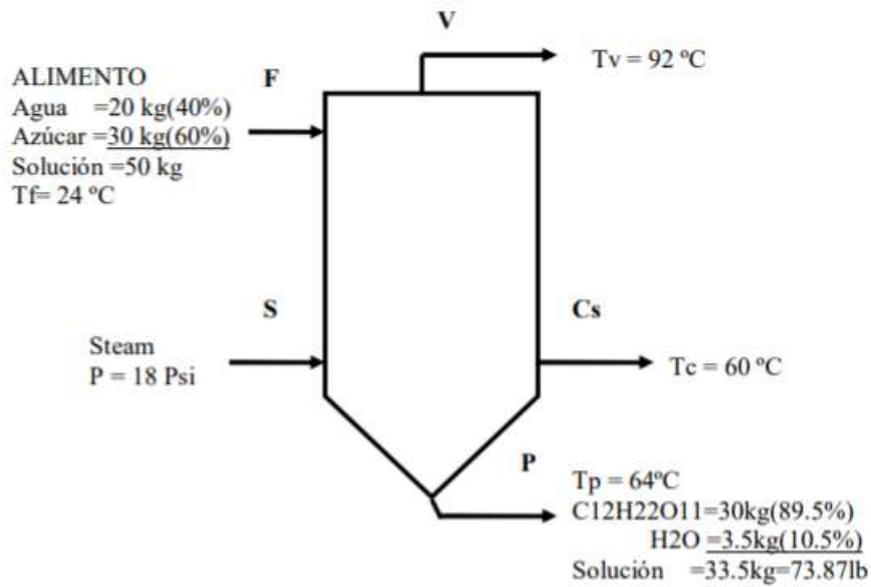
Cantidad de calor ganado por la solución

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

$$Q = 97.02 \text{ lb} \times 1 \text{ Btu/lb} \times (143.6 - 77)^\circ F$$

$$Q = 6461.53 \text{ Btu}$$

SEGUNDA PRUEBA CON AZÚCAR



Fuente: propia

BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO: 1 HORA

$$E = S$$

$$F = P + V$$

REEMPLAZANDO

$$110.25 \text{ lb} = 73.868 \text{ lb} + V$$

$$V = 36.38 \text{ lb}$$

BALANCE DE ENERGÍA

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$F + S = V + P + Sc$$

$$Fh_f + SH = Vh_v + Ph_p + Sch_c$$

$$S = \frac{Vh_v + Ph_p + Fh_f}{H - hc}$$

DATOS PARA CÁLCULO

$$T_f = 24 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 75.2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_p = 64 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 147.2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_v = 92 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 197.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 60\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 140\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$P.\text{abs.} = 18\text{ Psi} + 14.7 = 32.7\text{ Psia}$$

Tabla de vapor

$$T_f = 75.2\text{ }^{\circ}\text{F} \quad h_f = 43.03\text{ Btu/lb}$$

$$T_p = 147.2\text{ }^{\circ}\text{F} \quad h_p = 114.89\text{ Btu/lb}$$

$$T_v = 197.6\text{ }^{\circ}\text{F} \quad h_v = 1444.9\text{ Btu/lb}$$

$$T_c = 140\text{ }^{\circ}\text{F} \quad h_c = 107.89\text{ Btu/lb}$$

$$P.\text{abs.} = 32.7\text{ Psia} \quad H = 1165.7\text{ Btu/lb}$$

Entonces reemplazando

$$S = \frac{36.382\text{lb}(1144.9\text{ Btu/lb}) + 73.868\text{lb}(114.89\text{Btu/lb}) - 110.25\text{lb}(43.03\text{Btu/lb})}{1165.7\text{Btu/lb} - 107.89\text{Btu/lb}}$$

$$S = \frac{45396.389}{1057.81} = 42.915\text{ lb}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{36.382 \times 100\%}{42.915} = 84.78\%$$

$$\lambda\text{ } 32.7\text{Psia} = 941.6\text{ Btu/lb}$$

$$C_p\text{ H}_2\text{O} = 1\text{ Btu/lb}^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = (T_p - T_f)$$

$$m = 110.25\text{ lb}$$

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 42.91\text{ lb} \times 941.6\text{ Btu/lb}$$

$$Q = 40918.84\text{ Btu}$$

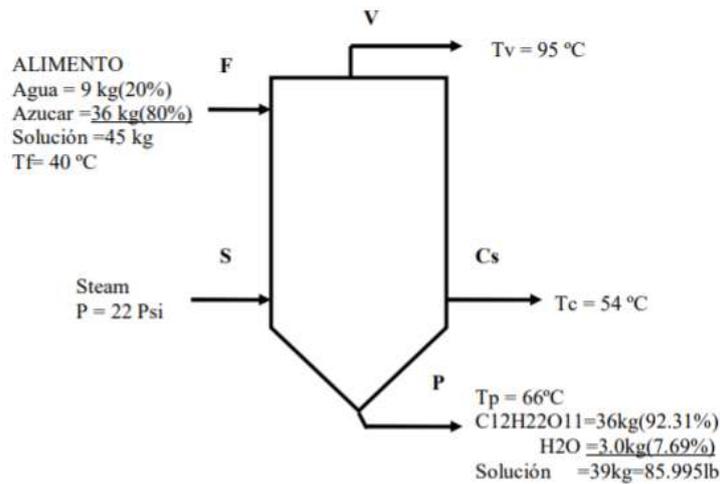
Cantidad de calor ganado por la solución

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

$$Q = 110.25\text{ lb} \times 1\text{ Btu/lb} \times (147.2 - 75.2)\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$Q = 7938\text{ Btu}$$

Tercera prueba con azúcar



Balance de materia

Base de cálculo: 1 hora

$$E = S$$

$$F = P + V$$

Reemplazando

$$99.225 \text{ lb} = 85.995 \text{ lb} + V$$

$$V = 13.23 \text{ lb}$$

Balance de energía

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$F + S = V + P + S_c$$

$$Fh_f + S h_s = Vh_v + Ph_p + S_c h_c$$

$$S = \frac{Vh_v + Ph_p - Fh_f}{H - h_c}$$

Datos para cálculo

$$T_f = 40 \text{ °C} \sim 104 \text{ °F}$$

$$T_p = 66 \text{ °C} \sim 150.8 \text{ °F}$$

$$T_v = 95 \text{ °C} \sim 203 \text{ °F}$$

$$T_c = 54 \text{ °C} \sim 129.2 \text{ °F}$$

$$P. \text{ abs. } 22 \text{ Psi} + 14.7 = 36.7 \text{ Psia}$$

Tabla de vapor

$T_f = 104^\circ\text{F}$	$h_f = 71.96 \text{ Btu/lb}$
$T_p = 150.8^\circ\text{F}$	$h_p = 118.89 \text{ Btu/lb}$
$T_v = 203^\circ\text{F}$	$h_v = 1147 \text{ Btu/lb}$
$T_c = 129.2^\circ\text{F}$	$h_c = 96.9 \text{ Btu/lb}$
$P. \text{ abs.} = 36.7 \text{ Psia}$	$H = 1167.9 \text{ Btu/lb}$

Entonces reemplazando

$$S = \frac{13.23\text{lb}(1147 \text{ Btu/lb}) + 85.995\text{lb}(107.89\text{Btu/lb}) - 99.225\text{lb}(71.96\text{Btu/lb})}{1167.9\text{Btu/lb} - 96.90\text{Btu/lb}}$$

$$S = \frac{17312.58}{1071} = 16.165 \text{ lb}$$

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{13.23 * 100}{16.165} = 81.85\%$$

$$\lambda \text{ 36.7 Psia} = 937.45 \text{ Btu/lb}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (T_p - T_f)$$

$$m = 99.225 \text{ lb}$$

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 16.165 \text{ lb} \times 937.45 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 15153.88 \text{ Btu}$$

Cantidad de calor ganado por la solución

$$Q = m \times C_p \times \Delta t$$

$$Q = 99.225 \text{ lb} \times 1 \text{ Btu/lb} \times (150.8 - 104)^\circ\text{F}$$

$$Q = 4643.73 \text{ Btu}$$

CALCULOS DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL TABLA DE RESULTADO

PRACTICA DE AZÚCAR

INFORME TECNICO	PRACTICA #1	PRACTICA # 2	PRACTICA # 3
SOLUCION INICIAL	44 kg	50 kg	45 kg
CONCENTRACION INICIAL	50 %	60 %	80 %
PRODUCTO	26 kg	33.5 kg	39 kg
CONCENTRACION FINAL	84.62 %	89.55 %	92.31 %
CANTIDAD DE VAPOR	18 kg	16.49 kg	6 kg
CANTIDAD DE STEAM	20.8 kg	19.47 kg	7.33 kg
CALOR GANADO	6461.53BTU	7938.BTU	4643.73BTU
CALOR CEDIDO	43476.4BTU	40918.8BTU	12402.46BTU
EFICIENCIA	86.22 %	84.78 %	81.85 %
VELOCIDAD DE CRISTALIZACION	45.64 kg/h	45.65 kg/h	45.27 kg/h

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó un equipo de cristalización el cual será utilizado en condiciones normales de temperatura (ambiente) y presión (1 atm).
- ✓ Se pudo determinar que existen limitaciones al momento de establecer qué tipo de sustancias se pueden cristalizar en este equipo, por ser un cristizador el cual trabaja en condiciones normales de temperatura y presión, debido a que existen sustancias que cristaliza al vacío y las propiedades organolépticas olores, sabores, texturas que se conservan sus características.
- ✓ Al combinar dos materias primas diferentes, como el bórax y la glucosa, en términos de duración de actividad de la variedad, la combinación de solubilidad en elixir permite medir la cantidad de glucosa que representa el estado de actividad. El bórax, que es poco soluble en alcohol, causa problemas adicionales como el apoyo a las decisiones generales con agitación constante para evitar frenadas precipitadas en la tubería de carga y descarga de mercancías.
- ✓ Se pudo observar que a medida que se incrementaba la concentración de azúcar, menores serán los tiempos de los trabajos y los consumos de las energías, además de que no se pudieran presentar problema en la incrustación, ni hubo problemas al momento de la descarga del producto. Además, en presencia de azúcar como materia prima se obtuvieron cristales monoclinicos de tamaño y forma uniforme.
- ✓ La velocidad de agitación tiene un rol primordial en los procesos de la cristalización y se determinó que las velocidades de las agitaciones deben ser lentas, por ello se redujo la velocidad con la ayuda de los sistemas de transmisiones de las potencias (bandas – poleas) son de 1140 a 37 rpm esto permitirá mantener los productos homogéneos y una temperatura de cristalización equivalente.

VI. RECOMENDACIÓN

Para que el cristalizador funcione correctamente, recomendamos lo siguiente:

- Seleccionar el material de composición del cristalizador con las propiedades de la solución.
- La prueba de hermeticidad de una camisa de aire debe realizarse pasando lentamente aire comprimido o vapor para detectar fugas.
- Al final de cada prueba, la cámara de cristalización debe limpiarse cuidadosamente para no dejar ningún material que pueda ser peligroso para la siguiente prueba.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliografía

- Fernández, M. (2006). CRECIMIENTO Y PROPIEDADES DE LOS CRISTALES. Recuperado de <https://www.textoscientificos.com/quimica/cristales/crecimiento-cristales>
- Fernández Ros, J. (2005). *Metodología de diseño de proyectos de Ingeniería Química* (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3133/41710-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Foust, Wenzel, & Clump. (2010). "*Principios de Operaciones Unitarias*" (8va ed.). CECSA.
- Ingeniería de Procesos Industriales. (2018). Nucleación y crecimiento del cristal. Recuperado de <https://cursolusegil.blogs.upv.es/2018/05/07/nucleacion-y-crecimiento-del-cristal/>
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2013). *Operaciones Unitarias en Ingeniería* (7ma ed.; S. A. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Millones, L. (2015). La sal del Perú. Recuperado de <https://elcomercio.pe/opinion/columnistas/sal-peru-luis-millones-195487-noticia/>
- Perry, R. (2000). *Manual del Ingeniero Químico*. México: McGrawHill.
- Prohens, R., & Puigjaner, C. (2007). Polimorfismo en la industria farmacéutica. *El farmacéutico*, 3(1).
- Raymond, C. (1999). *Química* (6ta ed.). México: McGrawHill.
- Taboda, M., Graber, T., & Bastias, Y. (1999). UN NUEVO METODO DE OBTENCION DE DATOS CINETICOS PARA CRISTALIZACIÓN BATCH DESDE SOLUCIONES ACUOSAS. *Bol. Soc. Chil. Quím*, 4(3). Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-16441999000300005

VIII. ANEXOS

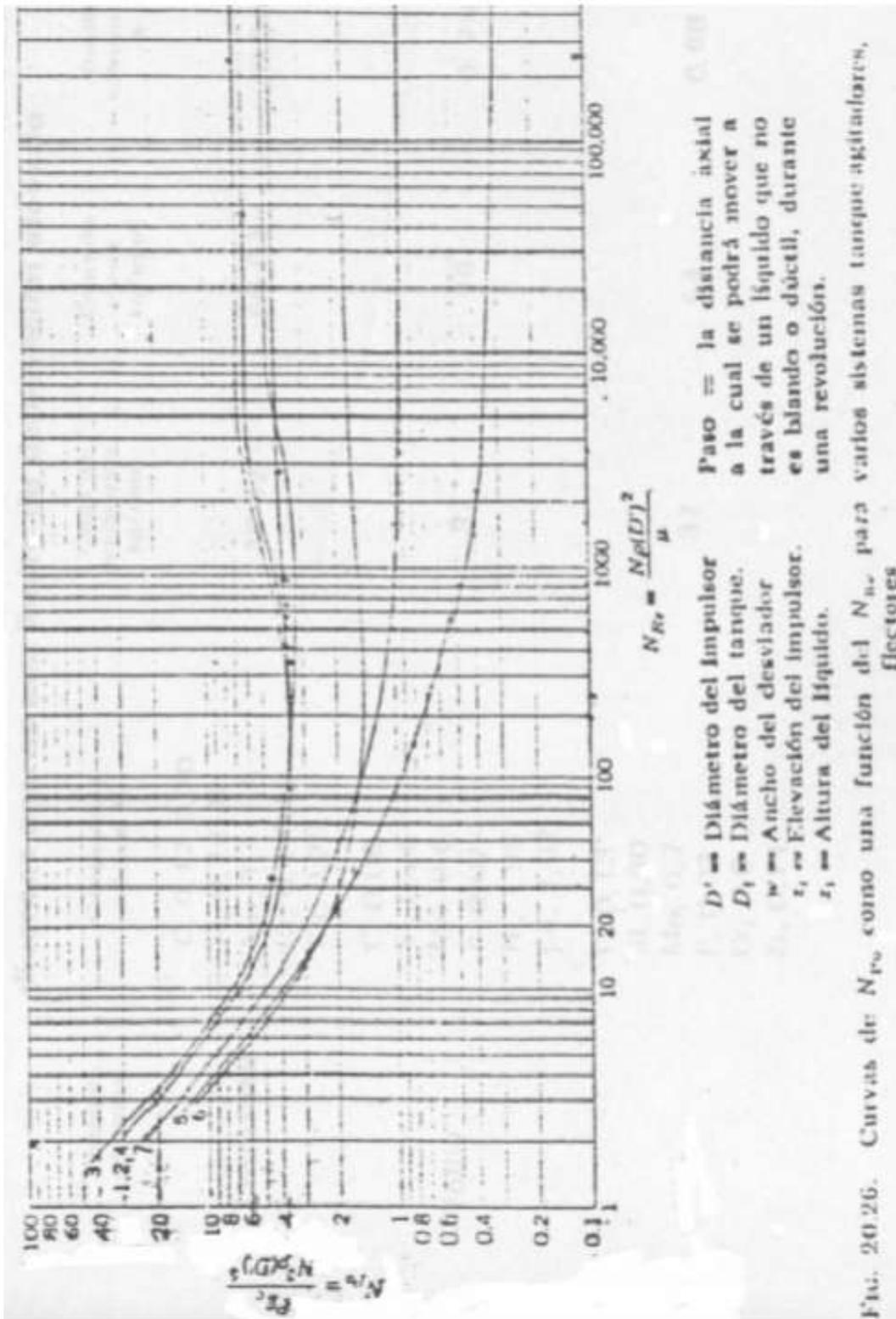


Fig. 20.26. Curvas de N_{Fr} como una función del N_{Re} para varios sistemas tanque agitadores, flectores