

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, ya que gracias a su magnificencia nos iluminó en el camino con nuestra vida estudiantil y a nuestros profesores que con su enseñanza dejaron buenas expectativas para un futuro mejor; para de esta manera poder alcanzar objetivos y metas deseadas.

En especial para nuestro Director de Tesis el Ing. Qco. Ecuador Gómez Pazmiño

Por su ayuda, confianza y por aportar con su valioso tiempo en esta Tesis de Grado.

DEDICATORIA

A Dios que sin El nada se puede realizar en esta vida.

A mis padres, Maria Espinel Cedeño, Ángel Pazmiño Vélez, y a mi hermano Gabriel Pazmiño Espinel que siempre han estado colaborando día a día y poniendo todo su empeño y confianza para que yo alcance con éxito la culminación de mi carrera Universitaria.

JOSÉ DARWIN PAZMIÑO ESPINEL

DEDICATORIA

Este Presente Trabajo lo Dedico a:

Mis padres, Luís Toapanta M. y Dora Alarcón. Ya que con el apoyo y esmero de ellos hicieron posible que yo pudiera culminar mi carrera Universitaria y así ser un Profesional ejemplo de toda mi familia.

GABRIEL RAMÓN TOAPANTA ALARCÓN

DEDICATORIA

A Dios, a mi padre y aunque no había nacido cuando falleció esta siempre presente por haberme dado la vida muy especialmente a mi madre Inés Eloisa Rivera Moreira a quien admiro mucho por haber conseguido mucho sola por haberse sacrificado tanto para que yo pudiera alcanzar este objetivo mas, que se presenta en la vida, a toda mi familia y para todos aquellos que tuvieron una frase de apoyo que por insignificante que haya parecido me ayudó mucho para seguir adelante en el transcurso de mi carrera.

RIGOBERTO ALEXANDER ROJAS RIVERA

SUMARIO GENERAL

TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN CRISTALIZADOR DISCONTINUO ABIERTO

CAPITULO # I

- 1.1 JUSTIFICACIÓN
- 1.2 OBJETIVO GENERAL
- 1.3 OBJETIVO ESPECIFICO
- 1.4 PROPÓSITO

CAPITULO # II

GENERALIDADES

- 2.1 INTRODUCCIÓN
- 2.2 FUNDAMENTO DE LA CRISTALIZACIÓN
 - 2.2.1 FORMAS CRISTALINAS
 - 2.2.2 FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS
 - 2.2.3 MÉTODOS PARA LA FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS EN LA SOLUCIÓN
- 2.3 EQUILIBRIOS DE CRISTALIZACIÓN DE SISTEMAS BINARIOS
- 2.4 EQUILIBRIOS EN SISTEMAS DE TRES O MÁS COMPONENTES. (CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA)
- 2.5 EFECTO TÉRMICO EN EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN
- 2.6 CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES
- 2.7 MARCHA DEL CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES
- 2.8 PUREZA DEL PRODUCTO

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA OBTENER UNA BUENA CRISTALIZACIÓN

- 3.1 GENERALIDADES
- 3.2 TIPOS DE PRUEBAS PARA LA CRISTALIZACIÓN
 - 3.2.1 EFLORESCENCIA
 - 3.2.2 SOBRESATURACIÓN
 - 3.2.3 DELICUESCENCIA
- 3.3 MÉTODOS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS CRISTALES
 - 3.3.1 PROTECCIÓN DE LA ACCIÓN DEL AIRE
 - 3.3.2 PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN
 - 3.3.3 PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD
- 3.4 EFECTOS QUE INFLUYEN EN LA CRISTALIZACIÓN
 - 3.4.1 EFECTO DE ENFRIAMIENTO
 - 3.4.2 OTROS EFECTOS QUE INFLUYEN

CAPITULO # IV

FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE LOS CRISTALIZADORES

- 4.1 GENERALIDADES
- 4.2 APARATOS SIN CLASIFICACIÓN DE LOS CRISTALES
 - 4.2.1 CRISTALIZADOR WOLF-BOCK
 - 4.2.2 CRISTALIZADOR SWENSON-WALKER
- 4.3 CRISTALIZADORES POR EVAPORACIÓN
 - 4.3.1 CRISTALIZADORES AL VACÍO
 - 4.3.2 CRISTALIZADOR KRYSTAL
- 4.4 CRISTALIZADORES CON CLASIFICACIÓN DE CRISTALES
 - 4.4.1 CRISTALIZADOR HOWARD
 - 4.4.2 CRISTALIZADOR OSLO (SIN EVAPORACIÓN)
- 4.5 CRISTALIZADORES SIN SEPARACIÓN DE LA FASE LIQUIDA
 - 4.5.1 CRISTALIZADOR OSLO CON EVAPORACIÓN ADIABÁTICA
 - 4.5.2 CILINDROS ENFRIADOS.
 - 4.5.3 EL VOTADOR
- 4.6 CUBAS Y DEPÓSITOS DE CRISTALIZACIÓN
- 4.7 CRISTALIZADOR DISCONTINUO CON AGITACIÓN Y ENFRIAMIENTO
- 4.8 CRISTALIZADORES DE DOBLE TUBO
- 4.9 AGLOMERACIONES DE CRISTALES

CAPITULO # V

INGENIERÍA DEL ANTEPROYECTO

- 5.1 DIAGRAMA DE LA UNIDAD
- 5.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS
- 5.3 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL CRISTALIZADOR
 - 5.3.1 FONDO DE LA CÁMARA DEL CRISTALIZADOR
 - 5.3.2 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CAMISA DE VAPOR
 - 5.3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL FONDO DE LA CAMISA
 - 5.3.3 MECÁNICA DE AGITACIÓN
 - 5.3.3.1 INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO
 - 5.3.3.2 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL AGITADOR
 - 5.3.4 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LA LÍNEA DE VAPOR DE AGUA Y CONDENSADO
- 5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL CRISTALIZADOR
 - 5.4.1 CÁMARA DE EVAPORACIÓN
 - 5.4.2 CAMISA DE CALENTAMIENTO O ENFRIAMIENTO
 - 5.4.3 SERPENTINES DE ENFRIAMIENTO
 - 5.4.4 AGITADOR
 - 5.4.4.1 EJE IMPULSOR DEL AGITADOR
 - 5.4.5 VÁLVULAS
 - 5.4.6 OTRAS PARTES
 - 5.4.7 ACCESORIOS DE CONTROL
 - 5.4.8 SOPORTE DEL CRISTALIZADOR
- 5.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES
- 5.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD DE LA CAMISA DE VAPOR.
- 5.7 PUESTA EN MARCHA

CAPITULO # VI

CÁLCULOS Y RESULTADOS

- 6.1 ÁREA Y VOLUMEN DE LA CÁMARA DE EVAPORACIÓN
- 6.2 OBTENCIÓN DE VOLUMEN DISPONIBLE DE LA CÁMARA DE EVAPORACIÓN
 - 6.2.1 VOLUMEN DE LA MONTURA EN U QUE CENTRA AL EJE
 - 6.2.2 VOLUMEN DEL BOCIN QUE CENTRA AL EJE
 - 6.2.3 VOLUMEN DEL EJE
 - 6.2.4 VOLUMEN DEL BOCIN DE ASPAS
 - 6.2.5 VOLUMEN DE PALETA
 - 6.2.6 VOLUMEN DEL TUBO DEL SERPENTÍN
- 6.3 ÁREA Y VOLUMEN DE LA CAMISA DE VAPOR
- 6.4 CALCULO DE POTENCIA DE MOTOR
- 6.5 VELOCIDAD DE LOS CRISTALES
- 6.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

6.7 CALCULOS DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

CAPITULO # VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPITULO # VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO # IX

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

CAPITULO # I

1.1 JUSTIFICACIÓN

La presente tesis tiene como finalidad el diseño y construcción de un cristalizador para la implementación de equipos en el área de Operaciones Unitarias este será realizado con fines didácticos para que los estudiantes tengan un mejor aprendizaje, en este equipo de cristalización se va trabajar con sustancias no tóxicas para no perjudicar la salud humana y el hábitat natural del entorno.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Identificar las características técnicas en el estudio de un cristalizador piloto para la obtención de cristales de algunos productos.

1.3 OBJETIVO ESPECIFICO

Definir cual es la metodología y las variables a medir para desarrollar de una manera adecuada el proceso de cristalización y así lograr interpretar resultados.

1.4 PROPÓSITO

El equipo que se ha construido para el Laboratorio de Operaciones Unitarias es con fines didácticos para que en lo futuro los estudiantes tengan un mayor conocimiento del uso y funcionamiento del cristalizador en forma práctica

CAPITULO # II

GENERALIDADES

2.1 INTRODUCCIÓN

La operación de cristalización es aquella por medio de la cual se separa un componente de una solución líquida transfiriéndolo a la fase sólida en forma de cristales que precipitan. Es una operación necesaria para todo producto químico que se presenta comercialmente en forma de polvos o cristales, ya sea el azúcar o sacarosa, la sal común o cloruro de sodio.

En la cadena de operaciones unitarias de los procesos de fabricación se ubica después de la evaporación y antes de la operación de secado de los cristales y envasado.

Toda sal o compuesto químico disuelto en algún solvente en fase líquida puede ser precipitada por cristalización bajo ciertas condiciones de concentración y temperatura que el ingeniero químico debe establecer dependiendo de las características y propiedades de la solución, principalmente la solubilidad o concentración de saturación, la viscosidad de la solución, etc.

Para poder ser transferido a la fase sólida, es decir, cristalizar, un soluto cualquiera debe eliminar su calor latente o entalpía de fusión, por lo que el estado cristalino además de ser el más puro, es el de menor nivel energético de los tres estados físicos de la materia, en el que las moléculas permanecen inmóviles unas respecto a otras, formando estructuras en el espacio, con la misma geometría, sin importar la dimensión del cristal.

2.2 FUNDAMENTO DE LA CRISTALIZACIÓN

La cristalización es ampliamente empleada como proceso de separación en la industria química.

Puede ser, fácilmente, la más antigua operación básica en el campo de la ingeniería química. Así el cloruro sódico ha sido fabricado por esta técnica desde el inicio de la civilización y ya los incas utilizaban este mismo proceso, pero en sentido contrario, para obtener agua de bebida a partir del agua de mar. La cristalización presenta una enorme importancia económica dentro de la industria química. La producción mundial de productos cristalinos básicos como azúcar, sal, diversos fertilizantes y otros productos químicos excede la Mt/año y se encuentra actualmente en aumento. Además, en los últimos años, la importancia adquirida por la química fina y la producción de sustancias con alto valor añadido se ha elevado considerablemente, realzando el interés y la investigación en esta operación tratada tradicionalmente como "menos frecuente". Sus aplicaciones industriales van más allá de la producción

de sustancias sólidas puras. La operación puede ser empleada con diferentes finalidades entre las que cabe destacar las de separación, purificación, concentración, solidificación o incluso otras como el análisis.

La cristalización ofrece una serie de ventajas:

- El factor de separación es elevado, es posible recuperar el producto con una pureza mayor del 99% en una única etapa de cristalización, separación y lavado.
- El producto sólido formado, si se controlan las condiciones del proceso, estará constituido por partículas discretas del tamaño y forma adecuados para ser empaquetado directamente y vendido.
- Precisa menos energía para la separación que la destilación u otros métodos habitualmente empleados y puede realizarse a temperaturas relativamente bajas.

Sin embargo, sus principales desventajas son:

- No suele ser posible purificar más de un componente en una única etapa.
- No es posible recuperar todo el soluto en una única etapa. Es necesario equipo adicional para retirar el soluto restante de las aguas madres.

Conlleva el manejo de sólidos, con los inconvenientes tecnológicos que esto supone. En la práctica la cristalización es únicamente la etapa inicial de una secuencia de procesado de sólidos que incluye equipos de separación sólido-líquido y de secado

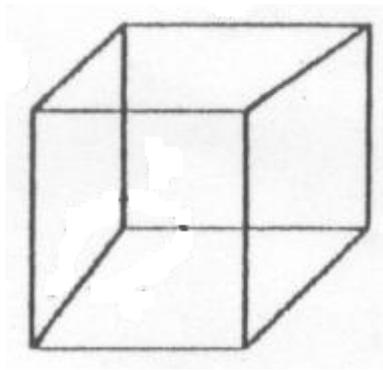
2.2.1 FORMAS CRISTALINAS

Un cristal puede ser definido como un sólido compuesto de átomos arreglados en orden, en un modelo de tipo repetitivo. La distancia interatómica en un cristal de cualquier material definido es constante y es una característica del material. Debido a que el patrón o arreglo de los átomos es repetido en todas direcciones, existen restricciones definidas en el tipo de simetría que el cristal posee.

La forma geométrica de los cristales es una de las características de cada sal pura o compuesto químico, por lo que la ciencia que estudia los cristales en general, la cristalografía, los ha clasificado en siete sistemas universales de cristalización:

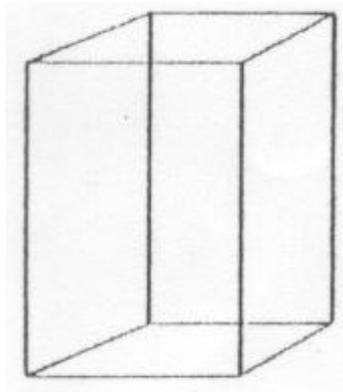
Sistema Cúbico

Las sustancias que cristalizan bajo este sistema forman cristales de forma cúbica, los cuales se pueden definir como cuerpos en el espacio que manifiestan tres ejes en ángulo recto, con “segmentos”, “látices”, ó aristas” de igual magnitud, que forman seis caras o lados del cubo. A esta familia pertenecen los cristales de oro, plata, diamante, cloruro de sodio, etc.



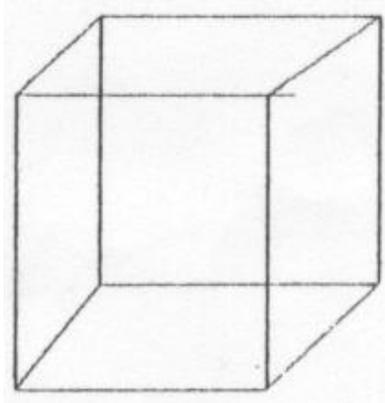
Sistema Tetragonal

Estos cristales forman cuerpos con tres ejes en el espacio en ángulo recto, con dos de sus segmentos de igual magnitud, hexaedros con cuatro caras iguales, representados por los cristales de óxido de estaño.



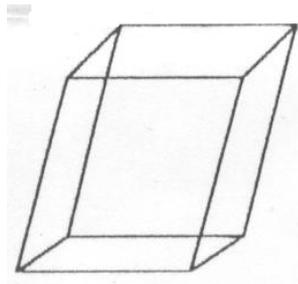
Sistema Ortorrómbico

Presentan tres ejes en ángulo recto pero ninguno de sus lados o segmentos son iguales, formando hexaedros con tres pares de caras iguales pero diferentes entre par y par, representados por los cristales de azufre, nitrato de potasio, sulfato de bario, etc.



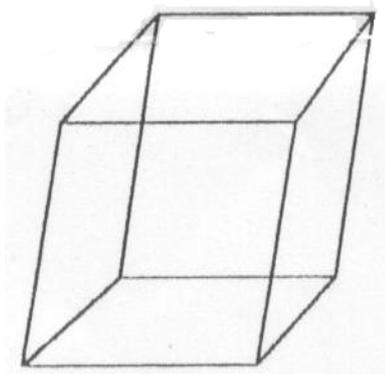
Sistema Monoclínico

Presentan tres ejes en el espacio, pero sólo dos en ángulo recto, con ningún segmento igual, como es el caso del bórax y de la sacarosa.



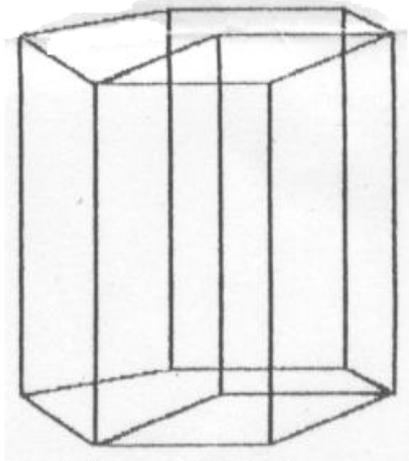
Sistema Triclínico

Presentan tres ejes en el espacio, ninguno en ángulo recto, con ningún segmento igual, formando cristales ahusados como agujas, como es el caso de la cafeína.



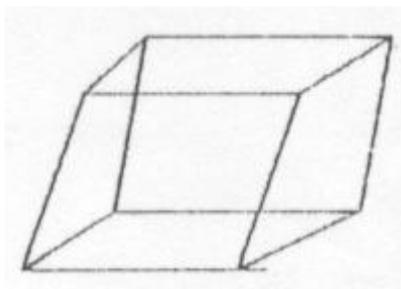
Sistema Hexagonal

Presentan cuatro ejes en el espacio, tres de los cuales son coplanares en ángulo de 60° , formando un hexágono bencénico y el cuarto en ángulo recto, como son los cristales de zinc, cuarzo, magnesio, cadmio, etc.



Sistema Romboédrico

Presentan tres ejes de similar ángulo entre si, pero ninguno es recto, y segmentos iguales, como son los cristales de arsénico, bismuto y carbonato de calcio y mármol.



2.2.2 FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS

Si la Morfología de Crecimiento o Disolución que presenta un Cristal es el resultado de la historia del mismo, su comprensión tiene también que venir ligada a la comprensión de esa historia. Es decir debemos recomponer cómo se produjeron los procesos de nucleación y crecimiento cristalino.

Un cristal se genera a partir de una solución que está sobresaturada. Sobresaturada significa que la solución contiene en su seno una concentración de soluto (sustancia a cristalizar) C mayor que la concentración C_0 que sería la concentración de equilibrio para la misma temperatura. Es decir:

$$\sigma = C - C_0$$

En esta ecuación σ expresa la sobresaturación o diferencia de concentración entre las dos soluciones (solución sobresaturada y solución en equilibrio).

Para que la nucleación del Cristal tenga lugar se debe vencer una barrera energética, por lo que σ debe tener un cierto valor determinado a partir del cual la nucleación puede producirse. El valor σ^* necesario para que la nucleación ocurra va a depender del tipo de nucleación que se genere y que podemos resumir en:

- A) **Nucleación homogénea:** se produce en el seno de la solución y se genera por la interacción entre las moléculas, átomos o iones que formaran el Cristal. Normalmente se necesita un valor σ^* muy alto. Este tipo de nucleación es característico de muchas venas y yacimientos minerales como Calcita, Pirita etc.
- B) **Nucleación heterogénea:** la nucleación de la fase sólida se produce sobre un sustrato presente en el medio de cristalización, lo que reduce la sobresaturación crítica σ^* necesaria para la nucleación. Se producirá una nucleación bidimensional o heterogénea. Es el tipo de nucleación más frecuente en la naturaleza. En un caso extremo si hay algún tipo de similitud entre la estructura de la superficie y la del cristal que nuclea, σ^* será todavía menor y se produce una epitaxia.

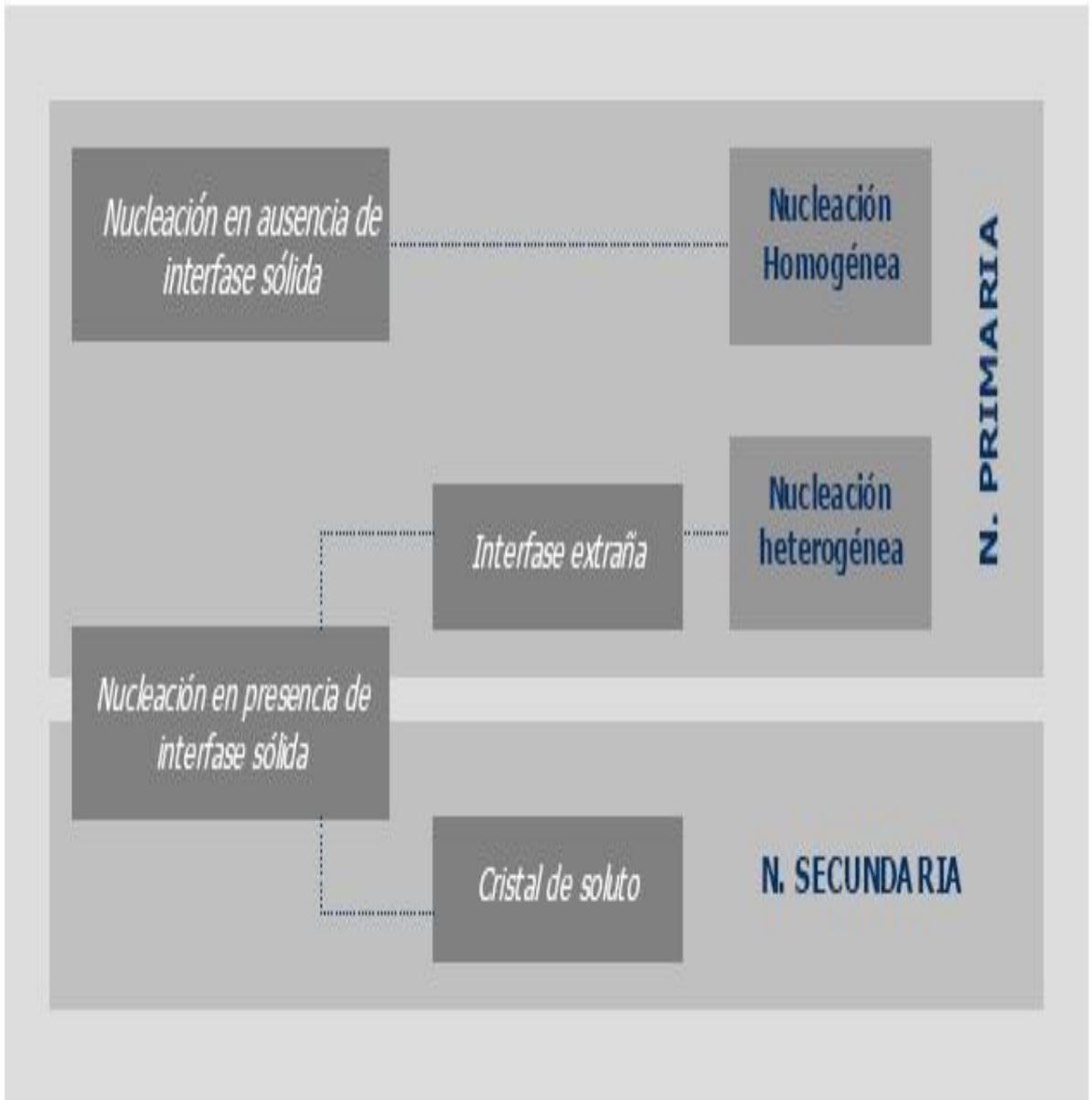


Figura : Clasificación de los mecanismos de nucleación (Garside, 1985).

2.2.3 MÉTODOS PARA LA FORMACIÓN DE NÚCLEOS CRISTALINOS EN LA SOLUCIÓN

La formación de núcleos puede determinarse por algunos de los caminos siguientes:

A) POR NUCLEACION ESPONTÁNEA.

(En soluciones no cebadas o sembradas); En este caso la solución no cebada debe colocarse en la región comprendida por encima de la curva "CD".(como se muestra en la curva de saturación y solubilidad).

Resulta totalmente controlable y en general es preferible.

B) POR FRAGMENTACIÓN DE LOS CRISTALES YA EXISTENTES

En este caso cuando los cristales se agitan vigorosamente, pueden desprenderse pequeños fragmentos de sus aristas. Tales fragmentos cristalinos tienen como se sabe la propiedad en el seno de la solución, de separar rápidamente sus mutilaciones, transformándose de esta suerte en nuevos núcleos cristalinos.

Este método deberá ser suprimido en lo posible, ya que tal formación tiene lugar a expensas de los cristales perfectos ya existentes y no puede de ningún modo someterse a un control conveniente.

C) POR UN CHOQUE MECÁNICO

Sobre una solución sobresaturada puede darse origen a la formación de núcleos; así una agitación vigorosa provoca la colisión de los cristales entre sí y las paredes del recipiente, causa de hecho la formación de nuevos núcleos secundarios.

El impacto mecánico de los agitadores o de los cristales uno sobre otro, interviene solamente una pequeña proporción en la nucleación total, dependiendo de la intensidad de la formación, del tamaño y número de los cristales existentes en el cristalizador en un momento dado.

Este método puede considerarse equivalente.

D) LA INFLUENCIA INOCULADORA DE LOS CRISTALES

(Presentes o añadidos para cebar la solución)

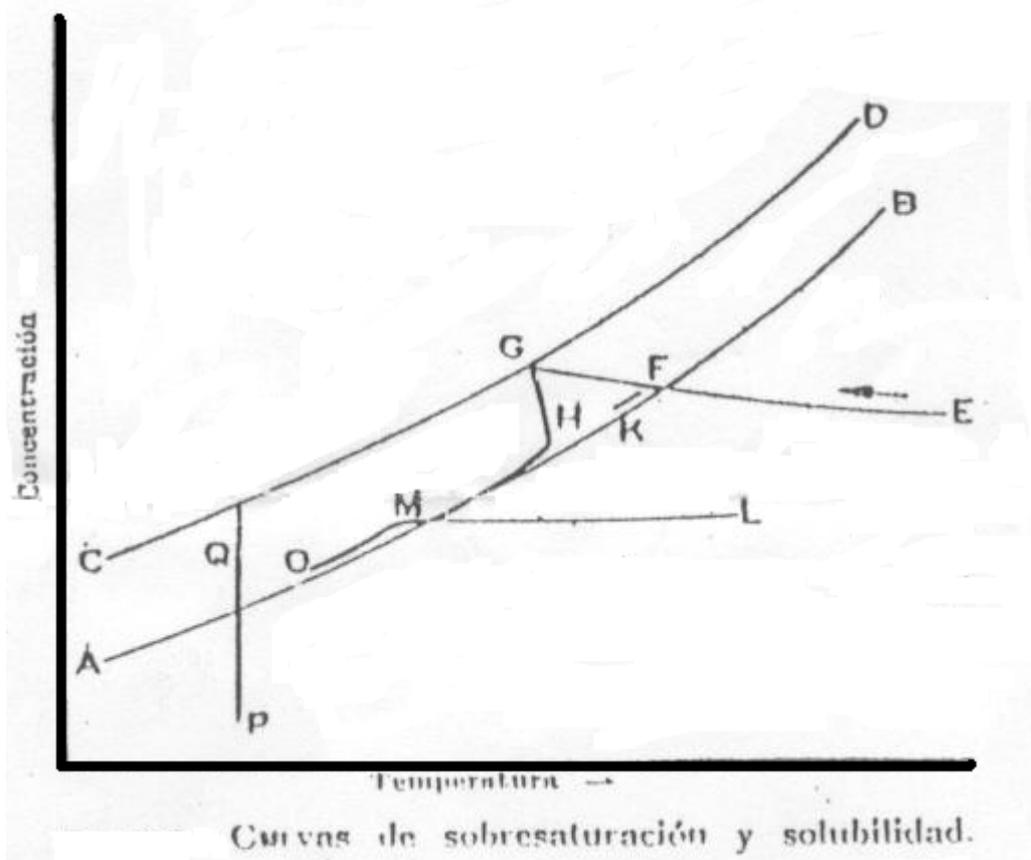
Es también causa de la formación de nuevos cristales; este procedimiento es probablemente el que se presta a un control más seguro en la práctica industrial, curva "LMO".(como se muestra en la curva de saturación y solubilidad).

Este método puede considerarse equivalente.

E) VARIACIONES LOCALES EN LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Pueden ser causa de nucleación en zonas limitadas; por ejemplo las pérdidas de color a través de las paredes de un cristalizador, pueden determinar gradientes de temperatura en regiones próximas a la pared que incrementan la sobresaturación, hasta un grado suficiente para provocar la cristalización a evaporación en la superficie líquida, puede dar lugar también a una sobresaturación local que acarree la nucleación.

La nucleación dependerá grandemente de la forma y construcción del cristalizador y de la velocidad con que se conduce la operación. Para obtener el mejor control del proceso, resulta aconsejable aportar en lo posible esta causa de nucleación, suprimiendo las variaciones locales de la temperatura o de la concentración de la solución que cristaliza.

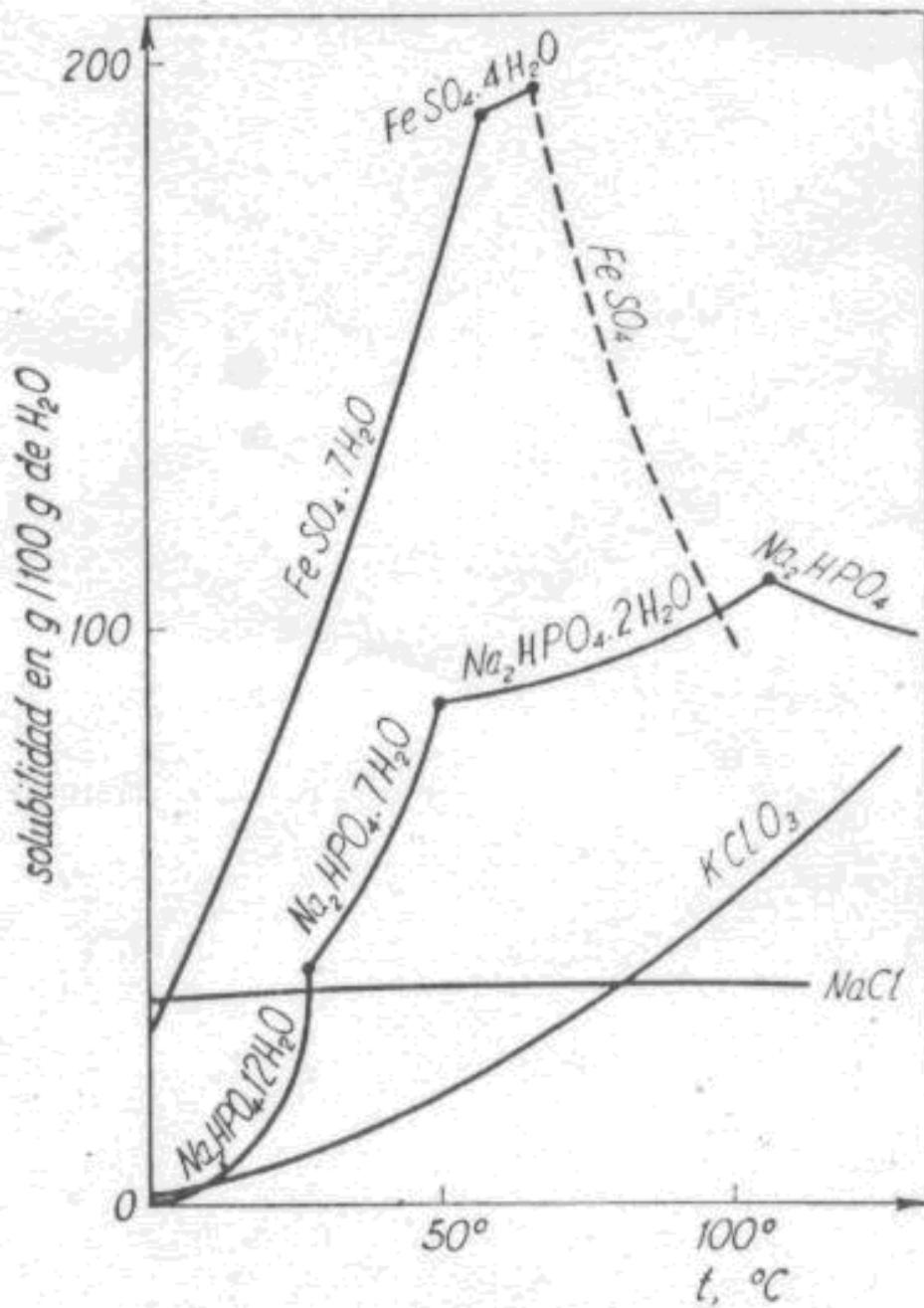


2.3 EQUILIBRIOS DE CRISTALIZACIÓN DE SISTEMAS BINARIOS

La figura representa la región de las fases sólida y líquida en el sistema benceno-naftaleno. La curva *DE* es la de solubilidad de naftaleno en benceno, y sus puntos indican disoluciones saturadas de naftaleno a diversas temperaturas. El punto *E*, o eutéctico, corresponde a una relación fija de benceno a naftaleno, para la cual el sistema se comporta de forma análoga a una sustancia pura y se solidifica sin cambio de composición a una temperatura fija, que es la mínima posible de existencia del sistema en fase líquida. Si una disolución cuya composición y temperatura están representadas por el punto *P* (véase figura) se enfría, el sistema permanecerá en fase líquida hasta que se alcanza la curva de saturación. A partir de ella deben aparecer en estado de equilibrio los primeros cristales de naftaleno; simultáneamente, la composición de la fase líquida se desplaza, siguiendo la curva *DE*, hasta la del Eutéctico. En este punto se separan ya cristales de benceno y de naftaleno en la proporción del eutéctico, y el posterior enfriamiento por debajo de la línea *FEG* conduce a la desaparición de la fase líquida, quedando el sistema formado por cristales de benceno y de naftaleno en la proporción original determinada por el punto *P* de partida. En cambio, si la composición original fuese la del punto *P*, el enfriamiento del sistema conduciría primeramente a la formación de cristales de benceno hasta alcanzar la composición del eutéctico.

Cada hidrato tiene sus límites de existencia y su propia curva de solubilidad, variable con la temperatura. En la figura se dan las curvas de solubilidad de diversas sales en agua, pudiéndose observar los vértices originados por la formación de hidratos en varias de ellas. Cuando se conocen los diagramas de solubilidad, es fácil calcular los rendimientos que se pueden esperar de una cristalización llevada a cabo dentro de ciertas condiciones en el sistema de que se trate.

Como estos cálculos se basan en admitir que se alcanza el equilibrio indicado por los diagramas, los valores obtenidos mediante ellos deben considerarse como rendimientos límite, dentro de las condiciones de cada enunciado y sin especificación en cuanto el tiempo requerido por la operación, ni al tamaño de los cristales producidos.



Solubilidad de algunas sales en agua.

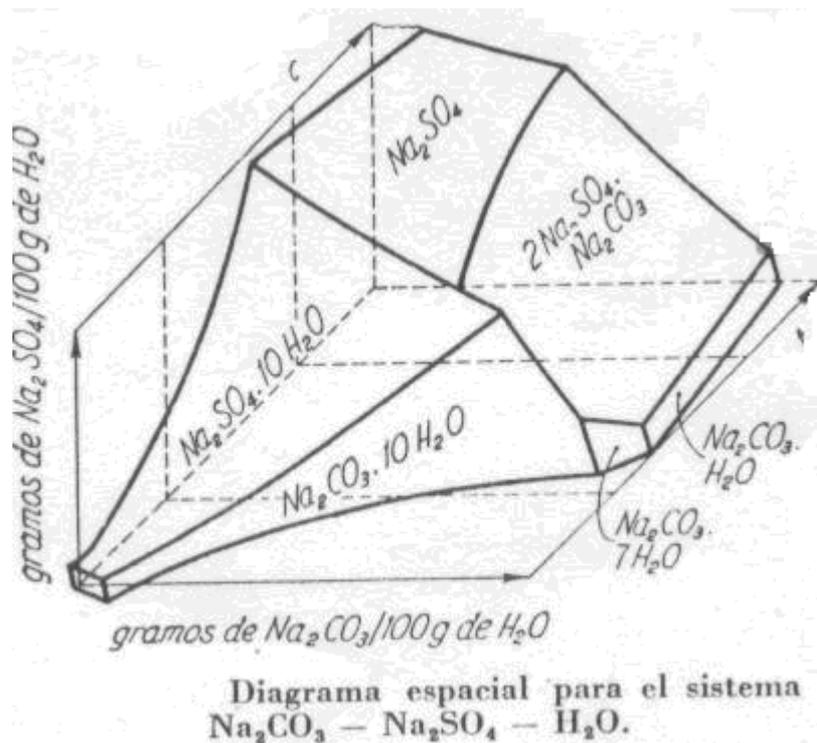
2.4 EQUILIBRIOS EN SISTEMAS DE TRES O MÁS COMPONENTES. (CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA)

Las relaciones solubilidad-temperatura en un sistema de tres componentes pueden ser bastante complicadas, sobre todo cuando hay posibilidad de formación de compuestos intermedios (hidratos, sales dobles, etc.) La figura 1 es una representación en el espacio de las relaciones de solubilidad en el sistema carbonato sódico-sulfato sódico-agua a temperaturas entre 0° y 50°. Los diagramas espaciales, como el de esta figura, son útiles para dar una idea de conjunto, pero no se prestan bien para la realización de los cálculos de cristalización.

Una amplia de este mismo sistema (la correspondiente al agua pura y a los hidratos

$Na_2SO_3 \cdot 10H_2O$ entre 5° y 25° C) está representada en forma puma en la figura 2, mediante una serie de isotermas trazadas en un diagrama triangular, cada una de las cuales representan las relaciones de solubilidad a la temperatura indicada. Los puntos de la curva AB representan disoluciones saturadas con ambos solutos. A la izquierda de esta curva las isotermas representan soluciones saturadas con carbonato sódico y que no han alcanzado la saturación respecto al sulfato. Los puntos C y D corresponden a los decahidratos de cada sal, que se pueden obtener por cristalización de estas disoluciones.

El punto P_1 , en la figura representa un sistema que, a 25° C, esta saturado respecto al carbonato sódico, pero no respecto al sulfato. Si este sistema se enfría por debajo de 25° C cristalizará el $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ y la composición de la disolución residual se desplazará a lo largo de la recta de trazos DP_1 , alejándose de D. Cuando se alcancen los 22,5° C, que corresponden a la intersección de esta recta con la curva AB, la disolución estará saturada de carbonato y de sulfato y cristalizarán juntos los dos decahidratos, disminuyendo la concentración de la disolución residual a lo largo de la curva AB. Si el enfriamiento de la disolución se interrumpe a una temperatura superior a 22,5° C la única sal que cristalizará será el carbonato, que por tanto podrá separarse exento de sulfato.



2.5 EFECTO TÉRMICO EN EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN

Recordemos que la solubilidad se define como la máxima cantidad de un soluto que se puede disolver en una determinada cantidad de un disolvente a una temperatura específica. La temperatura afecta la solubilidad de la mayoría de las sustancias.

En la mayoría de los compuestos iónicos, aunque no en todos, la solubilidad de la sustancia sólida aumenta con la temperatura. Sin embargo no hay una correlación clara entre el signo del $\Delta H_{\text{disolución}}$ y la variación de la solubilidad con la temperatura. Por ejemplo, el proceso de disolución del CaCl_2 es exotérmico y el del NH_4NO_3 es endotérmico. Pero la solubilidad de ambos compuestos aumenta con la temperatura. En general, el efecto de la temperatura sobre la solubilidad debe determinarse de forma experimental.

2.6 CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES

Un cristal es el tipo de materia no viva más altamente organizada. Se caracteriza por el hecho de que sus partículas constituyentes, que pueden ser átomos, moléculas o iones

En este proceso, una sustancia sólida con una cantidad muy pequeña de impurezas se disuelve en un volumen mínimo de disolvente (caliente si la solubilidad de la sustancia que se pretende purificar aumenta con la temperatura). A continuación la disolución se deja enfriar muy lentamente, de manera que los cristales que se separen sean de la sustancia pura, y se procede a su filtración. El filtrado, que contiene todas las impurezas, se suele desechar.

Para que la cristalización sea un método de separación apropiado, la sustancia que se va a purificar debe ser mucho más soluble que las impurezas en las condiciones de cristalización, y la cantidad de impurezas debe ser relativamente pequeña.

2.7 MARCHA DEL CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES

La velocidad de crecimiento de un cristal es conocida como velocidad de cristalización. La cristalización puede ocurrir solamente desde soluciones sobresaturadas. El crecimiento ocurre primero con la formación del núcleo, y luego con su crecimiento gradual. En concentraciones arriba de la sobresaturación, la nucleación es concebida como espontánea, y rápida. En la región meta estable, la nucleación es causada por un golpe mecánico, o por fricción y una nucleación secundaria puede resultar de el rompimiento de cristales ya formados. Ha sido observado que la velocidad de cristalización se ajusta a la siguiente ecuación:

$$C = R \frac{100w_0 - S(H_0 - E)}{100 - S(R - 1)}$$

Donde:

C = Velocidad de cristalización

W_o = peso del soluto

R = Peso de la solución inicial/peso del soluto

S = W de un miligramo de soluto/ volumen en litros de la solución final

H_o = Peso del solvente inicial

E = Peso evaporado durante el proceso

2.8 PUREZA DEL PRODUCTO

Un cristal en si es muy puro. Sin embargo, cuando se separa del magma final la cosecha de cristales, sobre todo si se trata de agregados cristalinos, la masa de sólidos retiene una cantidad considerable de aguas madres. Por consiguiente, si el producto se seca directamente, se produce una contaminación que depende de la cantidad y del grado de impureza de las aguas madres retenidas por los cristales.

EFEECTO DE LAS IMPUREZAS

El ambiente químico, la presencia de relativamente bajas concentraciones de sustancias ajenas a las especies a cristalizar, ya sea impurezas, etc., juega un importante papel en la optimización de los sistemas de cristalización. Su papel es muy importante por diversas razones.

La primera, todos los materiales son impuros o contienen trazas de impurezas añadidas durante su procesamiento. La variación aleatoria de las impurezas es un efecto indeseable. Su efecto en las especies a cristalizar debe ser bien conocido, si sobre el sistema de cristalización se desea establecer un control satisfactorio.

La segunda, y la más importante, es posible influenciar la salida y el control del sistema de cristalización, o cambiar las propiedades de los cristales mediante la adición de pequeñas cantidades de aditivos cuidadosamente elegidos. Esto, agregando ciertos tipos y cantidades de aditivos es posible controlar el tamaño de los cristales, la distribución de tamaño del cristal, el hábito del cristal y su pureza.

El ambiente químico puede ser utilizado apropiadamente para variar:

1. Alterando significativamente la cinética de cristalización y de aquí la distribución de tamaño del cristal.
2. Tener mejor control del cristalizador.
3. Mejorar la calidad del producto y/o el rendimiento, mediante la producción de un cierto tipo de cristal.
4. Producir cristales muy puros de ciertos materiales en los cuales las impurezas sean inaceptables.

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA OBTENER UNA BUENA CRISTALIZACIÓN

3.1 GENERALIDADES

Ordinariamente, no resulta difícil obtener cristales a partir de muchas soluciones salinas, sin otras precauciones que las anteriormente señaladas. Sin embargo, en algunos otros casos, la preparación de cristales en condiciones convenientes, evitando su alteración durante el proceso de secado, por eflorescencia, deliquesencia, oxidación o hidrólisis, requiere tomar ciertas precauciones durante su manipulación, de las que haremos una sucinta reseña.

3.2 TIPOS DE PRUEBAS PARA LA CRISTALIZACIÓN

3.2.1 EFLORESCENCIA

Se llama en general eflorescencia a la formación de un depósito polvoriento cristalino en la superficie de un cuerpo poroso como consecuencia de la cristalización de una sal disuelta. Esto lo podemos comprobar en paredes en cuya mampostería se uso agua salitrosa para las mezclas: aparecen manchas salitrosas que es un caso típico de fluorescencia.

3.2.2 SOBRESATURACIÓN

La cristalización a partir de una solución es un ejemplo de la creación de una nueva fase dentro de una mezcla homogénea. El proceso tiene lugar en dos etapas. La primera de ellas consiste en la formación del cristal y recibe el nombre de nucleación. La segunda corresponde al crecimiento del cristal. El potencial impulsor de ambas etapas es la sobresaturación, de forma que ni la nucleación en el crecimiento tendrán lugar en un solución saturada o insaturada.

Para generar la sobresaturación se pueden utilizar tres métodos distintos. Si la solubilidad del soluto aumenta fuertemente con la temperatura, como ocurre frecuentemente con muchas sales inorgánicas y sustancias orgánicas, una solución saturada se transforma en sobresaturada y simplemente disminuyendo la temperatura por enfriamiento. Si la solubilidad es relativamente independiente de la temperatura como en el caso de sal común, la sobresaturación se puede dar evaporando una parte del disolvente. Si tanto el enfriamiento como la evaporación no resultan adecuados, como en el caso de solubilidad elevada, la sobresaturación se puede generar añadiendo un tercer componente. El tercer componente puede actuar físicamente dando lugar a una mezcla con el disolvente original en la que la solubilidad del soluto disminuye bruscamente. También, si se desea una precipitación prácticamente completa, se puede crear químicamente un nuevo soluto añadiendo un tercer componente que reaccione con el soluto original para formar una sustancia insoluble. Este proceso recibe el nombre de precipitación, los métodos utilizados en análisis cuantitativo constituyen ejemplos típicos de precipitación. Mediante la adición de un tercer componente es posible crear rápidamente sobresaturaciones muy grandes.

Cuando los cristales son anhidros, el cálculo del rendimiento resulta sencillo, puesto que la fase sólida no contiene disolvente. Si los cristales contienen agua de cristalización es necesario tenerla en cuenta, ya que esta agua no está disponible para el soluto que permanece en la solución. Los datos de solubilidad si expresan generalmente en partes de masa de material anhidro por ciento partes de masa de disolvente total, o bien en tanto por ciento en masa de soluto anhidro. En estos datos no se tiene en cuenta el agua de cristalización. La clave para el cálculo de rendimientos de solutos hidratados consiste en expresar todas las masas y concentraciones en función de sal hidratada y agua libre.

Como esta última permanece en la fase líquida durante la cristalización, las concentraciones y cantidades basadas en el agua libre se pueden restar para obtener un resultado correcto.

3.2.3 DELICUESCENCIA

En algunos casos hay sales que poseen pequeños contenidos de agua y que al exponerse a una sal cristalizada al aire, para desecarla en vez de perder el agua lo que va ocurrir es que el producto va a adsorber más cantidad de agua precedente del aire del ambiente, hasta que toda la sal forme una disolución.

Este fenómeno que se da puede tener lugar tanto en sales anhidras como en hidratos y mas frecuentes se dan en los últimos.

Debemos recordar que este fenómeno de secado depende siempre del equilibrio existente entre la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera y el material. La tensión de vapor de una solución salina es siempre menor que la del disolvente puro y cuando la disolución es muy concentrada; la tensión de vapor de ella puede ser tan baja que esta es muy inferior que la tensión parcial de vapor en el aire cuando este expuesto a ella.

Para resolver este fenómeno lo mas aconsejable resulta proceder rápidamente a un escurrido de los cristales con auxilio de un filtro al vacío o una centrifuga y seguidamente introducir la masa de los cristales en un desecador en cuyo fondo se tenga como material para desecar la misma sal que se trate que ya haya sido flúorizada previamente por acción de calor valiéndose de una estufa u otro artificio.

3.3 MÉTODOS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS CRISTALES

3.3.1 PROTECCIÓN DE LA ACCIÓN DEL AIRE

Al cristalizar y desecar algunas sales, debe tenerse en cuenta que como de ordinario todas las operaciones se llevan a cabo en presencia del aire, puede darse la circunstancia de que ciertos constituyentes de este último (O₂, CO₂ y vapor de agua principalmente) sean capaces de ocasionar la alteración mas o menos profunda de la sustancia de que se trata.

3.3.2 PROTECCIÓN CONTRA LA OXIDACIÓN

El caso más común de alteración por oxidación entre compuestos inorgánicos, se da con las sales en las que el catión puede presentarse en dos estados de oxidación distintos teniendo a pasar desde el más bajo, al más alto de estos grados, como resultado de la oxidación atmosférica.

Las sales de hierro, cobre, estaño, mercurio cromo pueden servir de ejemplos. Otras veces el radical ácido el que tiende a la oxidación, como ocurre en los sulfuros, sulfatos, fosfitos, nitratos, etc.

En general el medio más eficaz para evitar la oxidación de los cristales durante su recogida y desecación, consiste en operar lo más rápidamente posible escurriendo por vacío y lavando con líquidos o soluciones especialmente preparados el efecto a los que se haya ajustado el ph, entre los límites favorables a emplear el alcohol y éter en lavados sucesivos para arrastrar las aguas madres adheridas muy rápidamente ya que muchas sustancias son estables al aire cuando secan, pero se alteran fácilmente en presencia del agua.

3.3.3 PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD

La humedad del aire puede causar la alteración de algunos productos por hidrólisis o dando lugar a la formación de compuestos nuevos. Para obtener en forma sólida una sal inalterada que presente el fenómeno de hidrólisis es necesario que estén presentes en la solución al cristalizar la sal, en exceso es considerable del ácido o el álcali, según sea la naturaleza de la sal manipulada, con lo cual el líquido madre no puede lavarse con el disolvente puro (agua) ya que tal tratamiento los dejaría recubiertos de una película de solución, de la sal normal en el agua en la cual tendría lugar la hidrólisis.

En el caso de que el ácido o la base fueran difícilmente solubles en el agua, se formaría un precipitado sobre los cristales al intentar lavarlos. Por otra parte si la sal es muy soluble los cristales podrían presentar la deliquesencia al estar expuestos al aire húmedo y fijando sobre ellas la humedad del aire sufrirían el fenómeno de la hidrólisis en la superficie.

El procedimiento más eficaz para evitar estas desagradables consecuencias varía ampliamente según la característica de cada sal.

Cuando se guarden convenientemente secos los cristales del modo indicado, permanecen sin alterarse y perfectamente transparentes.

3.4 EFECTOS QUE INFLUYEN EN LA CRISTALIZACIÓN

1.1.1 EFECTO DE ENFRIAMIENTO

El enfriamiento para conseguir la cristalización debe de llevarse a cabo de manera adecuada al caso particular tratado, teniendo en cuenta que en ocasiones resulta perjudicial enfriar a muy bajas temperaturas sustancias difícilmente cristalizables ya que lejos de provocar de este modo la cristalización, puede dificultarse aún más debido al gran aumento de la viscosidad del medio que con frecuencia acarrea estas bajas temperaturas.

Algunos compuestos cristalizan rápidamente al enfriarse la solución que no da tiempo al líquido caliente a pasar a través del filtro en la filtración previa a la solución madre. En tales casos es preciso recurrir al empleo de un embudo calentado por paso de agua caliente, vapor u otro artificio similar.

Cuando se trata de cantidades de material relativamente grandes resulta a veces ventajoso después del enfriamiento calentar suavemente un lado del cristizador o recipiente, aplicando sobre la parte externa de la pared de aquel una corriente de aire caliente, el objeto de establecer un gradiente de temperatura a través del medio que nos proporcione una zona de temperatura óptima en algunos puntos de la masa.

En cualquier caso no debe de olvidarse nunca que la cristalización puede algunas veces ser un fenómeno muy lento en el cual ha de emplearse extrema paciencia.

1.1.2 OTROS EFECTOS QUE INFLUYEN

Al trabajar con materiales que son difícilmente cristalizables, es posible a veces sacar un provecho de este fenómeno buscando recipientes cuya forma favorezca la creación de grandes superficies de exposición y de esta suerte se obtienen con frecuencia pequeñas cantidades de cristales utilizados más tarde para sembrar otras soluciones por enfriamiento y exposición del aire de delgadas películas de la solución extendidas sobre las paredes .

Cuando se opera con las condiciones necesarias al crecimiento de los cristales en las soluciones, se verifica desde las superficies que limitan la solución hacia el interior de la masa de aquellas y del mismo modo también en las proximidades de estas superficies es donde resulta más abundante la formación de núcleos.

VISCOSIDAD

La viscosidad de una solución guarda en muchos casos una realidad lineal de proporcionalidad inversa, con la velocidad de la precipitación cristalina en las soluciones por lo que en ocasiones, la adición de un disolvente, rebajando la viscosidad del material tratado, puede favorecer la inecuación de la cristalización en ciertos casos difíciles.

FROTACIÓN

En algunos casos la frotación se extrema al máximo tomando unas gotas de la solución difícilmente cristalizables, poniéndolas en un mortero y frotando ininterrumpidamente con la mano del mismo hasta obtener cristales; con frecuencia este tratamiento debe prolongarse durante horas, antes de conseguir resultados positivos.

CAPITULO # IV

FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE LOS CRISTALIZADORES

4.1 GENERALIDADES

Los cristalizadores pueden clasificarse convenientemente en función del método que se emplea para obtener el depósito cristalino. Los grupos son los siguientes:

1. Cristalizadores que obtienen la precipitación mediante enfriamiento de una solución caliente y concentrada.
2. Cristalizadores en donde se obtiene la precipitación por evaporación de la solución.
3. Cristalizadores en donde se logra la precipitación por evaporación y enfriamiento adiabático.

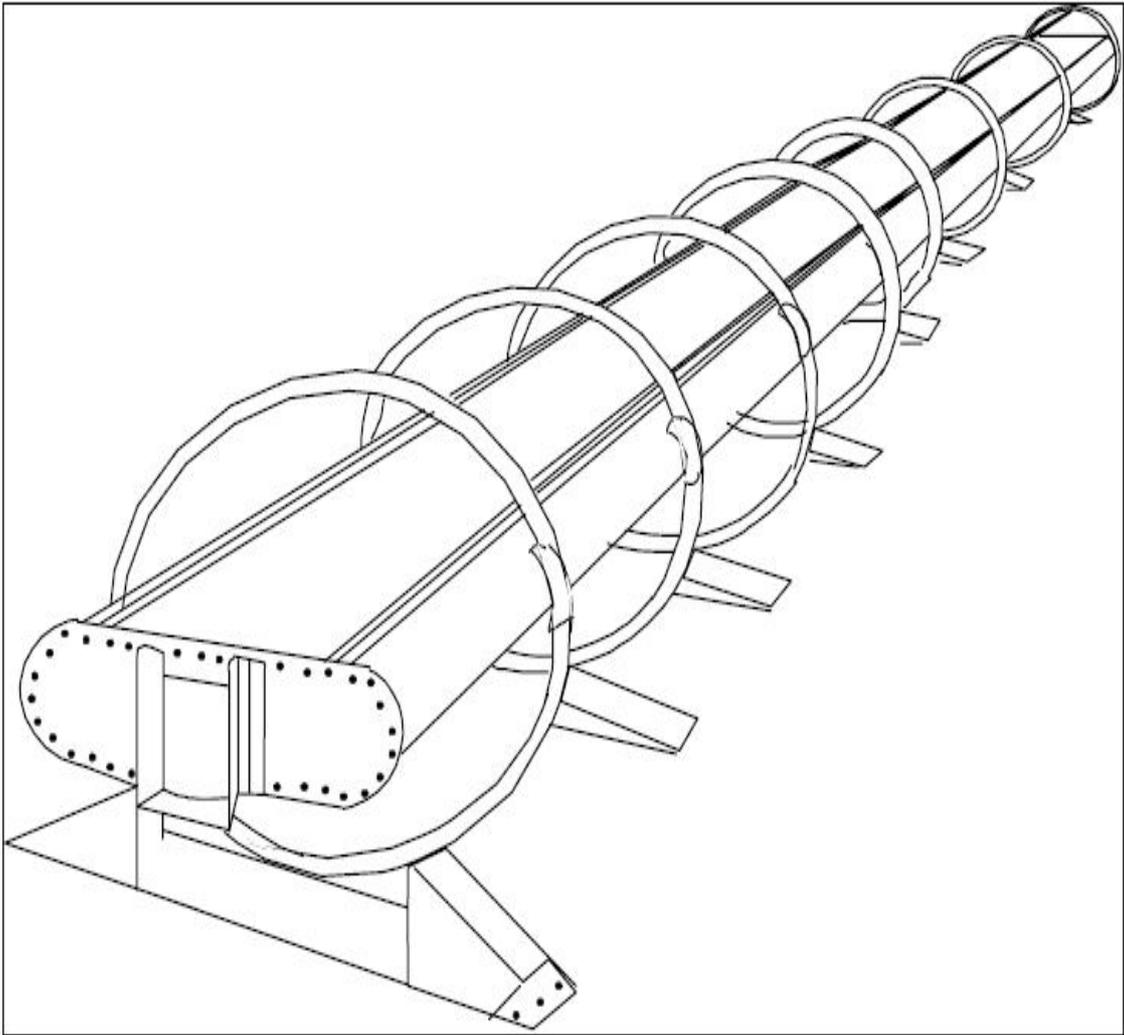
4.2 APARATOS SIN CLASIFICACIÓN DE LOS CRISTALES

4.2.1 CRISTALIZADOR WOLF-BOCK

Este tipo de cristizador oscilante se emplea mucho en Alemania e Inglaterra. Este equipo está compuesto de un recipiente alargado de mucha superficie y poco fondo, como una balsa, montado sobre arcos metálicos que pueden girar sobre unos rodillos para darle un movimiento oscilante. Las aguas madres entran por un extremo, saturadas previamente por evaporación, y la evaporación superficial y el enfriamiento provocan la cristalización.

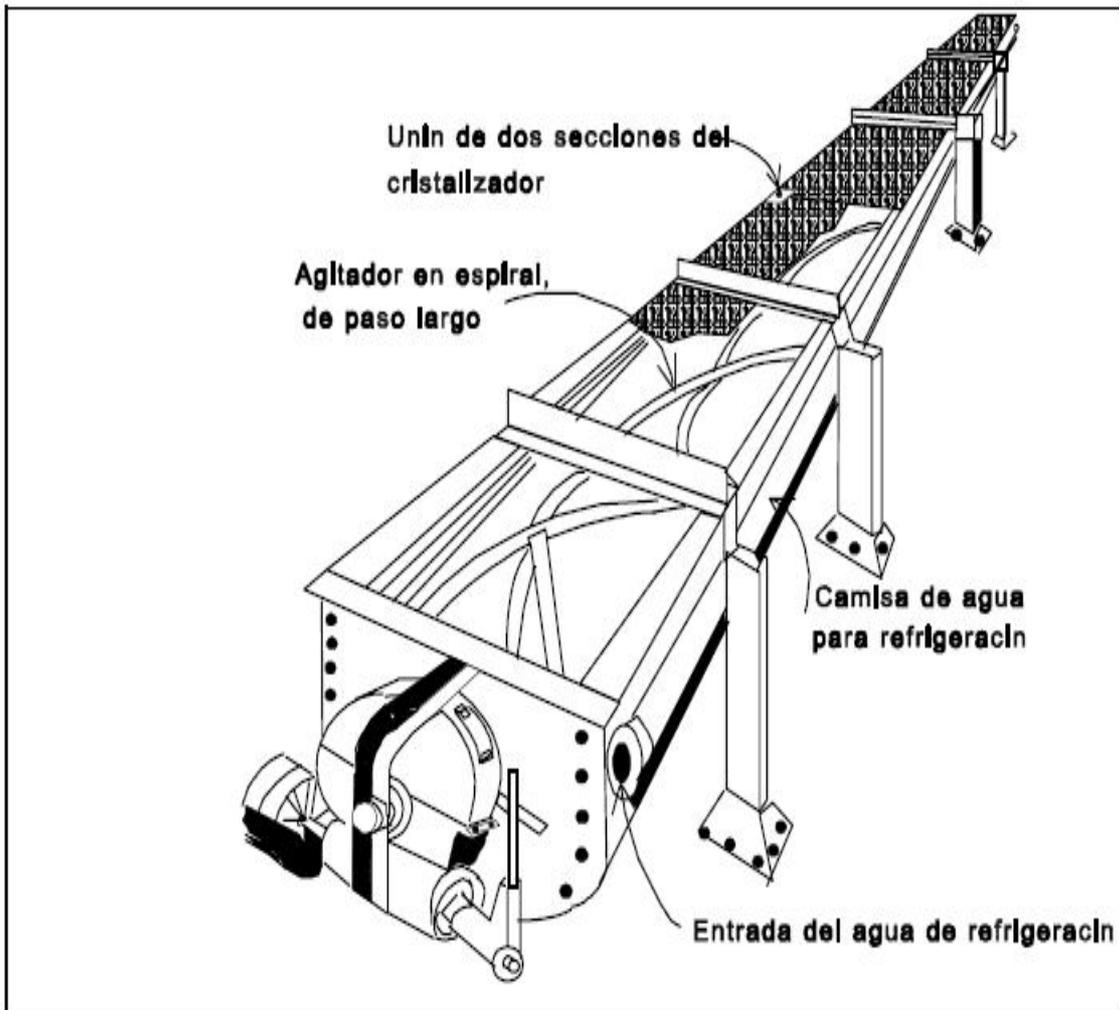
El movimiento impide que, en las paredes se depositen cristales, los cuales son arrastrados por las aguas madres y recogidos por un extremo. La circulación se consigue por inclinación de la cuna, y el funcionamiento es continuo.

La principal ventaja del sistema reside en su sencillez y poco costo, y en que las partes en contacto con las aguas madres pueden fácilmente construirse de materiales inatacables o revestirse con ellos, lo que permite tratar disoluciones de gran agresividad química.



4.2.2 CRISTALIZADOR SWENSON-WALKER

Es un tanque alargado de, fondo semicilíndrico, provisto de un eje longitudinal con paletas helicoidales que, al girar, cumplen la doble misión de evitar la aglomeración de cristales junto a las paredes y de ayudar al transporte de los cristales ya formados. Va provisto de una doble camisa para el enfriamiento se construye en unidades de unos tres metros de largo por sesenta centímetros de ancho, que se pueden empalmar unas a continuación de otras, hasta cuatro unidades, con un mismo eje de agitación, y todas las que se desee en cascada. Se emplea mucho este tipo de cristalizador en América.



4.3 CRISTALIZADORES POR EVAPORACIÓN

4.3.1 CRISTALIZADORES AL VACÍO

Estos cristalizadores constan de un cuerpo vertical cilíndrico, parecido al de los evaporadores, con un capitel en forma de cúpula y un fondo cónico. La solución concentrada y caliente penetra en el cuerpo del cristalizador, en cuyo interior se mantiene cierto grado de vacío. Si la temperatura de la solución a la entrada es superior al punto de ebullición correspondiente a ese vacío, la solución se enfría a esa temperatura por evaporación adiabática en la superficie. El resultado es la cristalización del producto a consecuencia del enfriamiento y también de la evaporación del disolvente.

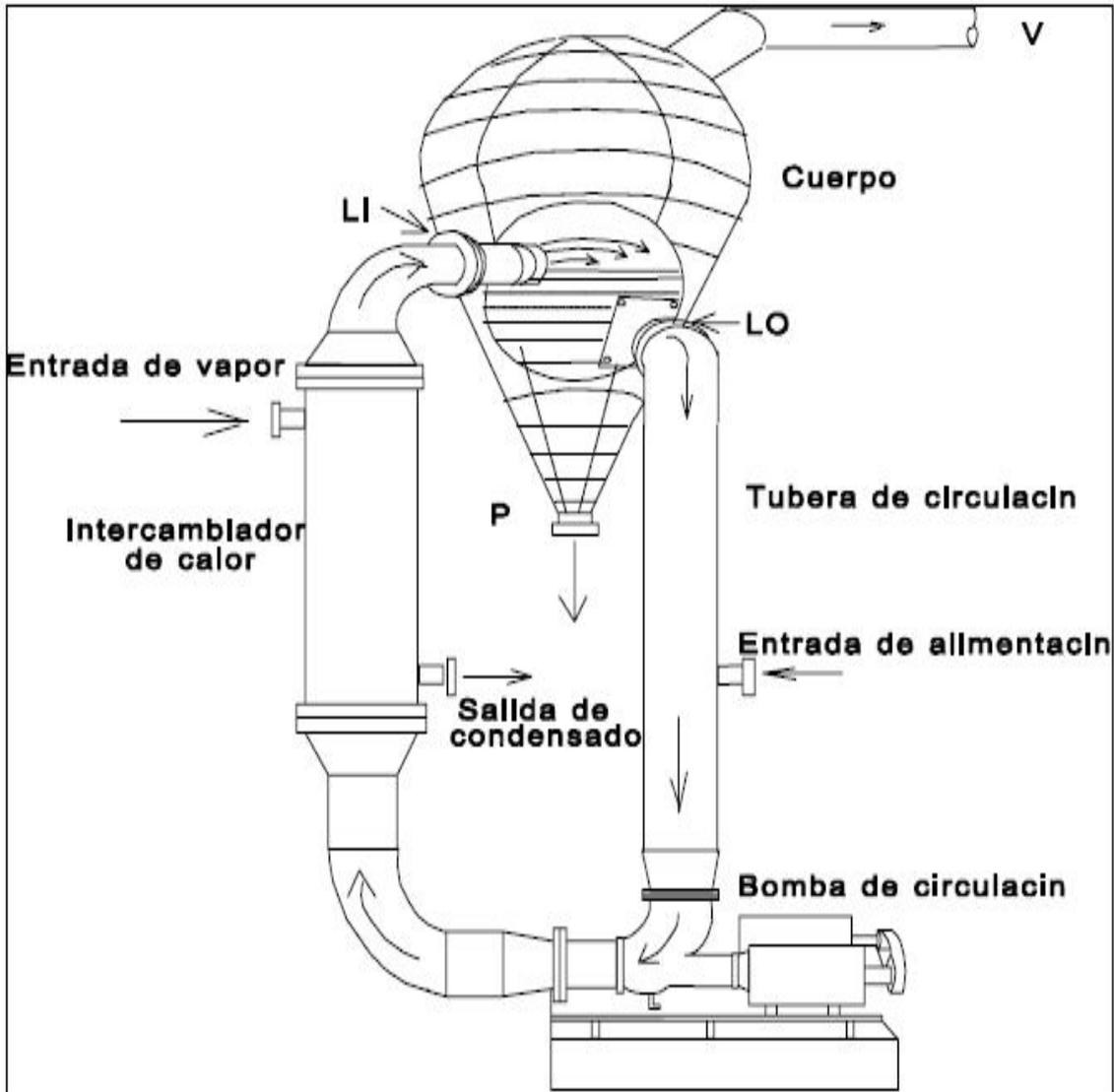
Un cristalizador de vacío para operación intermitente funciona como sigue: La carga de solución concentrada caliente se introduce en el cuerpo del cristalizador. En este es sometida a un vacío gradual creciente, que produce un enfriamiento y la cristalización. Cuando alcanza la temperatura final deseada, se quita el vacío y se vierte la carga para filtrarla o centrifugarla.

En los cristalizadores continuos de este tipo, se introduce la solución continuamente por el fondo y se mantiene por el fondo y se mantiene un vacío elevado y constante durante la operación.

La papilla enfriada de cristales se saca continuamente con una bomba. El cristalizador de trona es un aparato de esta clase provisto de un tubo vertical de tiro y un agitador de hélice para impedir los cortos circuitos en la solución que llega al aparato.

4.3.2 CRISTALIZADOR KRYSTAL

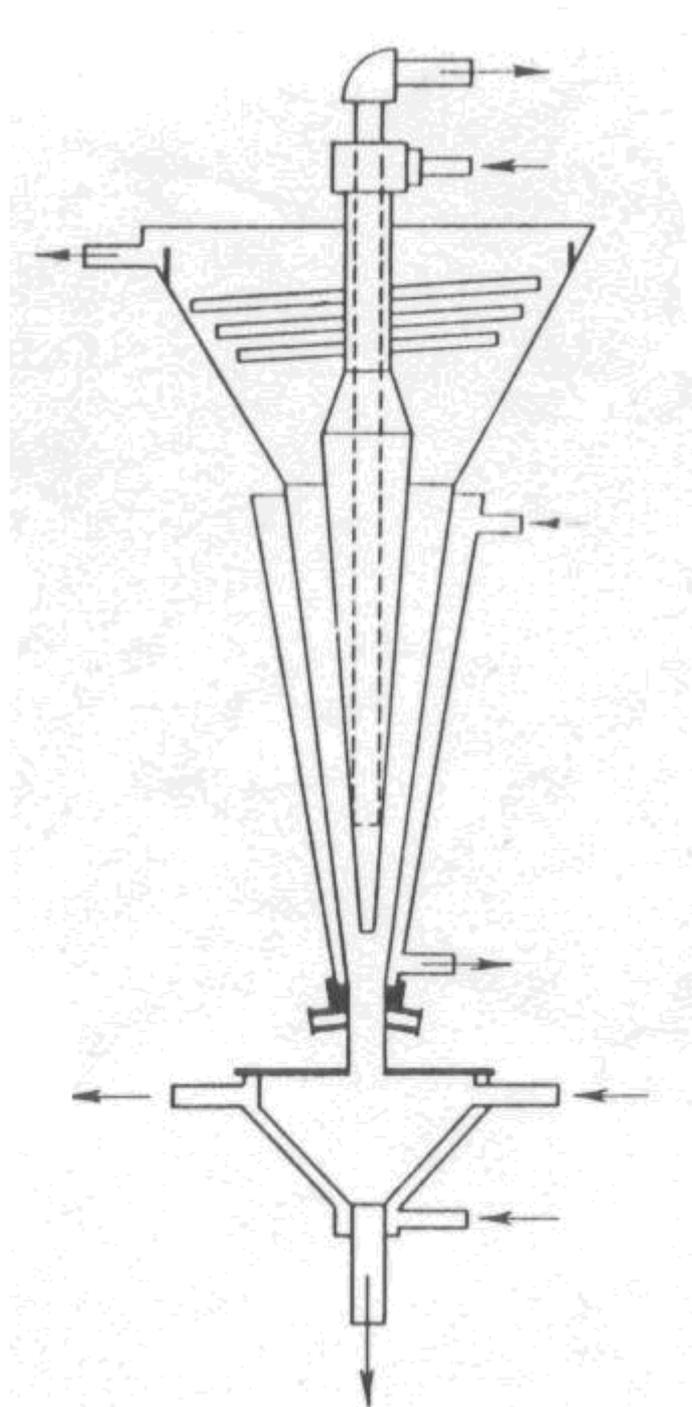
Trabajan con una mayor velocidad de circulación que provoca una recirculación de la suspensión de cristales a través de la zona generadora de sobresaturación en el cristalizador. Pueden operar en forma continua o batch e ir acompañados de clasificación de producto con y sin destrucción de finos. Son los más empleados hoy en día. El magma se circula empleando circulación forzada (FC) o un tubo draft de aspiración deflector (DTB) y agitador interno.



4.4 CRISTALIZADORES CON CLASIFICACIÓN DE CRISTALES

4.4.1 CRISTALIZADOR HOWARD

En este aparato se emplean en la calcificación hidráulica de partículas en suspensión, la cristalización se produce en el seno de una corriente de líquido que circula por el espacio anular entre dos superficies cónicas. La interior actúa al mismo tiempo como refrigerante para producir el enfriamiento necesario. Los cristales que se forman son arrastrados hacia arriba por el empuje, de la corriente hasta que la sección se hace mayor y este empuje decrece. Solamente los que alcanzan un tamaño suficiente pueden vencer al empuje hidráulico en la parte más estrecha y ser recogidos en la cámara inferior. El tamaño de los cristales puede regularse bajando o subiendo el cono interior para dar menor o mayor sección al espacio anular.



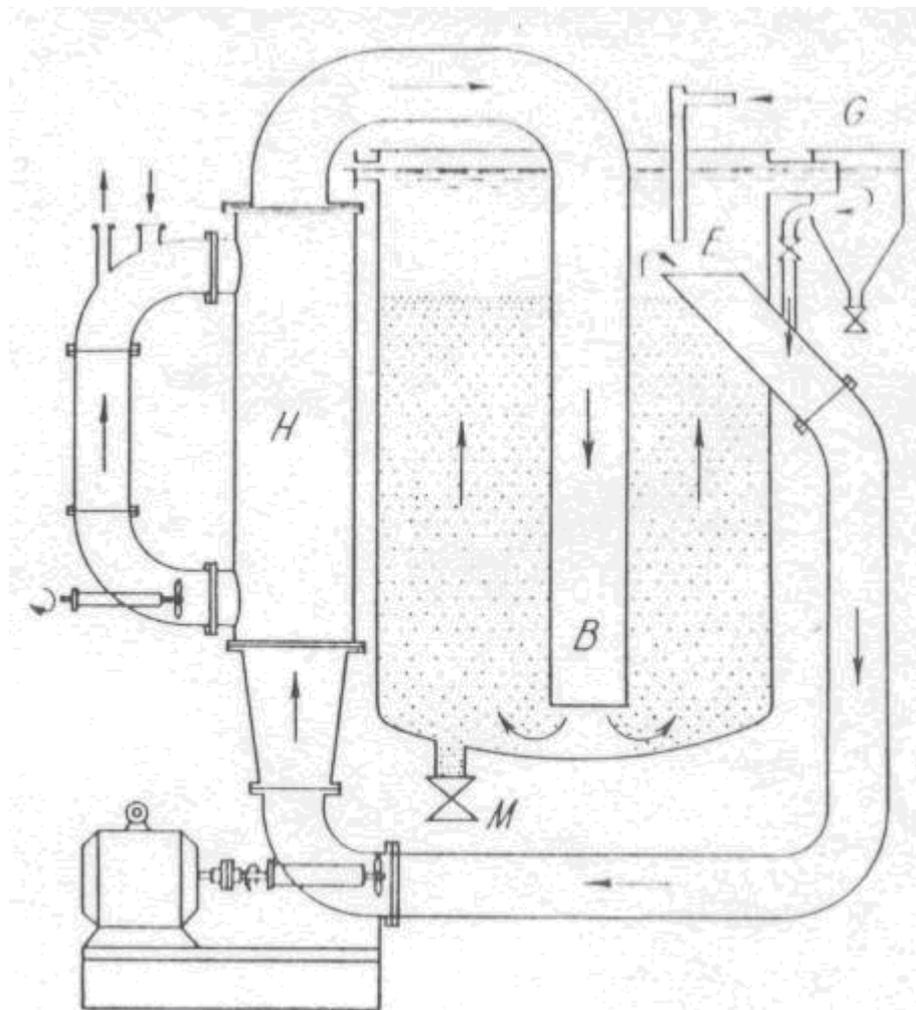
CRISTALIZADOR HOWARD

4.4.2 CRISTALIZADOR OSLO (SIN EVAPORACIÓN)

El nombre de estos cristalizadores proviene de Noruega, y son fabricados por la firma Cristal, por cuyo nombre se les conoce también. El principio de funcionamiento consiste en hacer pasar las aguas madres sobre-saturadas a través de un lecho de cristales en condiciones tales. Se produce así una clasificación, al mismo tiempo que

crecen los cristales del lecho, quedando ordenados por tamaños decrecientes, de más gruesos abajo, a más finos arriba.

En la figura se muestra un cristalizador de este tipo que funciona solamente por enfriamiento de la disolución. Las aguas son tomadas por una bomba, cerca del punto *E* donde se realiza la alimentación, y llevadas a una unidad *H* de enfriamiento para conseguir la sobresaturación. De allí pasan al fondo del cristalizador y ascienden a través del lecho de cristales. Las condiciones son adecuadas para que no formen núcleos en la unidad de enfriamiento. Los que pudieran formarse en el cristalizador, o los que resulten como consecuencia de rotura de cristales mayores, circulan en suspensión en las aguas madres hasta alcanzar tamaño suficiente para ser retenidos en el lecho de cristales. El volumen de líquido en circulación es muy grande, comparado con el de la alimentación. Los cristales suficientemente desarrollados, que se encuentran en el fondo del lecho, son retirados sin interrumpir el ciclo por la válvula *M* del fondo.



Cristalizador de Oslo sin evaporación

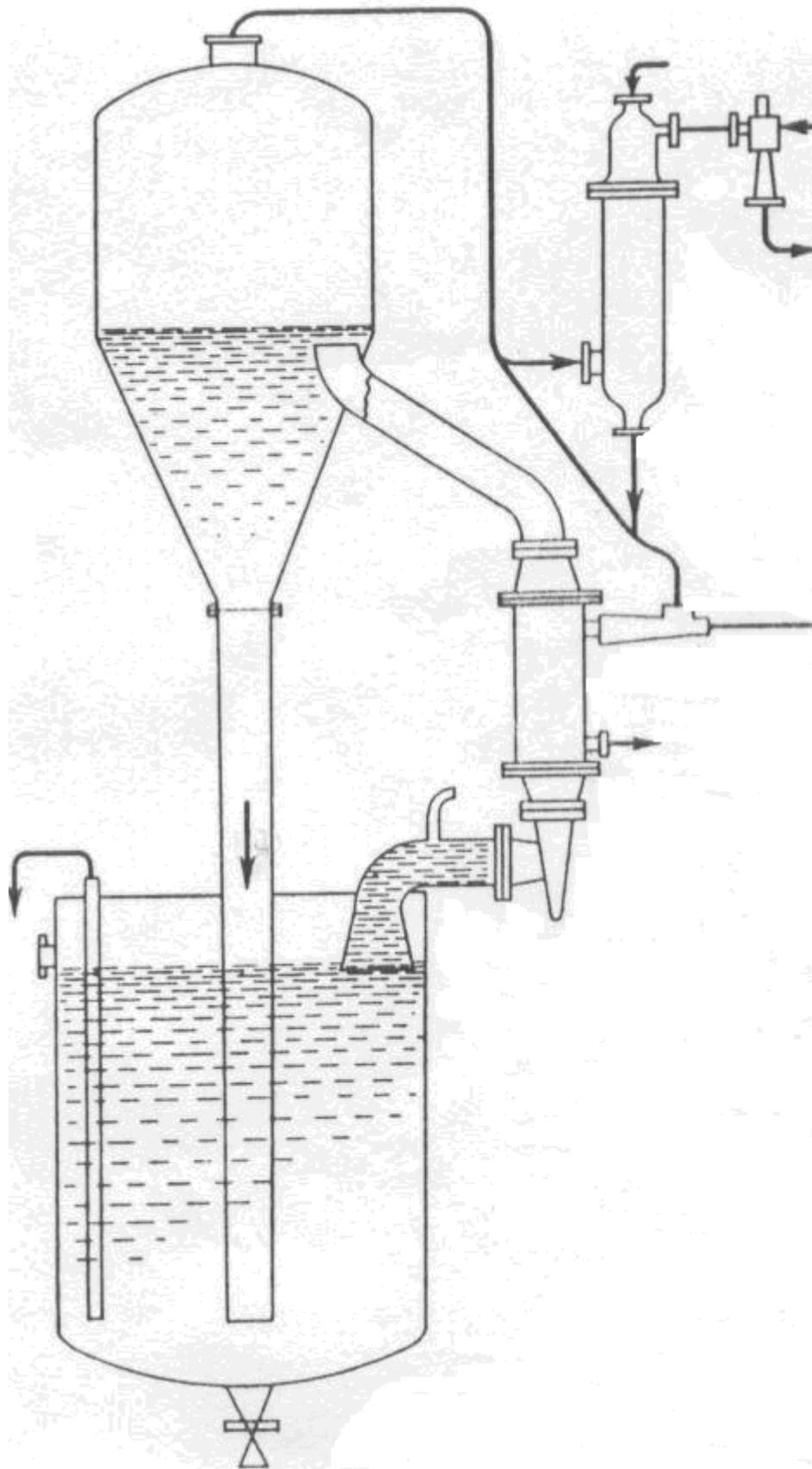
4.5 CRISTALIZADORES SIN SEPARACIÓN DE FASE LIQUIDA

4.5.1 CRISTALIZADOR OSLO CON EVAPORACIÓN ADIABÁTICA

La unidad esquematizada en la figura funciona por evaporación adiabática del disolvente.

Las aguas madres, son recogidas cerca del punto de alimentación y llevadas a un calentador, de donde pasan a una cámara de evaporación adiabática a presión reducida. El calor de evaporación lo suministra la propia masa del líquido, que se enfría la disolución sobre sal.

Estos tipos de cristalizadores se emplean generalmente para grandes producciones. El lecho de cristales alcanza en algunos un diámetro de cinco metros y una altura de seis, con circulación de líquido a razón de 30000 litros/h.



CRISTALIZADOR OSLO CON EVAPORACIÓN ADIABÁTICA

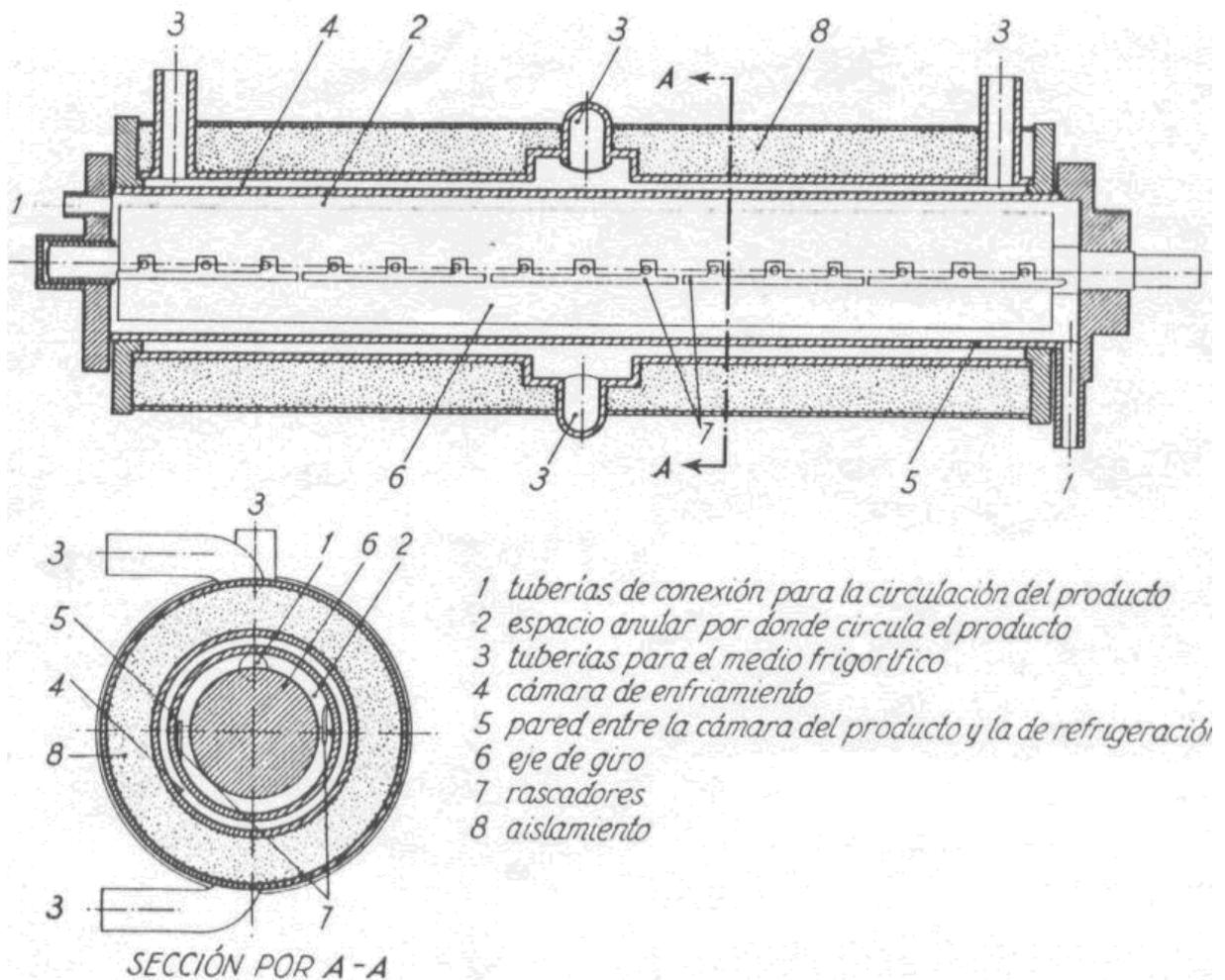
4.5.2 CILINDROS ENFRIADOS.

La sustancia a cristalizar se extiende en capa delgada sobre la superficie de un cilindro, enfriada por circulación de salmuera. La extensión sobre la superficie se consigue simplemente por giro del cilindro, inmerso parcialmente en una artesa que contiene el líquido a enfriar. La cristalización es casi instantánea y en forma macrocristalina. Los sólidos producidos son arrancados de la superficie del cilindro por un rascador y pasan a una serie de malaxadoras para su homogenización.

4.5.3 EL VOTATOR

Es un cristizador cuyo uso en las industrias de productos alimenticios se extiende cada vez más, sustituyendo a los antiguos sistemas de cristalización de cilindros enfriados. El producto a enfriar pasa por el espacio anular de los cilindros y es arrastrado y agitado fuertemente por unas paletas que giran y se apoyan sobre la superficie interior, impidiendo que se adhieran cristales a la misma. Por otro espacio anular que envuelve al anterior sistema el medio de enfriamiento, que puede ser salmuera o incluso amoníaco a presión u otro líquido frigorífico. El conjunto está perfectamente aislado para evitar las pérdidas de frigorías.

La sustancia líquida se introduce a presión en el espacio anular mediante una bomba que permite también la admisión y mezcla íntima con el líquido de una cierta cantidad de aire o de un gas inerte, el cual queda distribuido en la masa en forma de burbujas microscópicas, con el fin de disminuir su densidad y darle un aspecto opalescente. El votator se emplea mucho en la industria de margarinas y en la de grasas animales.



Votator.

4.6 CUBAS Y DEPÓSITOS DE CRISTALIZACIÓN

Durante muchos años, la práctica corriente para producir cristales fue la de preparar en caliente soluciones casi saturadas y llevar estas soluciones a un depósito rectangular abierto en el que la solución permanecía mientras se enfriaba y depositaba los cristales. Normalmente no se ha hecho intento algunos para sembrar estos depósitos, para proveerlos de agitación o para acelerar o controlar la cristalización. Algunas veces se cuelgan cuerdas o barras en los depósitos que penetran en la masa con lo que se proporciona a los cristales una superficie adicional sobre la que pueden crecer y se recoge por lo menos una parte libre del sedimento que puede acumularse en el fondo del cristizador.

En estas condiciones, los cristales crecen muy lentamente y los cristales formados serán de gran tamaño y considerable trabados entre si. Esta trabazón da, como resultado la oclusión del líquido madre con lo que se introduce impurezas. Cuando los depósitos se han enfriado lo suficiente, lo que es cuestión de varios días, se descarga por drenaje el líquido madre y los cristales se retiran a mano. Esto implica mucha mano de obra y con frecuencia la inclusión, con los cristales, de las impurezas que hayan podido sedimentar en el fondo del depósito. Este espacio horizontal que es necesario y la cantidad de materiales son muy grandes. El amplio uso que en el pasado se hizo de este método, lleva a muchos usuarios no críticos, a la demanda de grandes cristales, porque asociaban el tamaño con la pureza. Esto fue probablemente debido al hecho de que los grandes cristales producidos por los métodos anteriormente descritos fuesen menos aptos para ser contaminados con el sedimento que produce del fondo de los depósitos. Este método actualmente está casi abandonado.

4.7 CRISTALIZADOR DISCONTINUO CON AGITACIÓN Y ENFRIAMIENTO

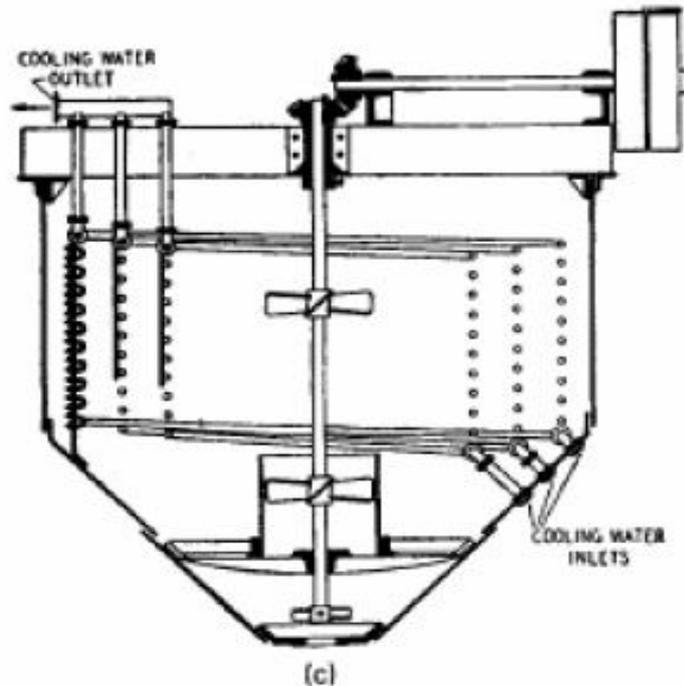
El cristalizador Discontinuo con agitación evita algunos de los efectos del cristalizador en forma de tanque, porque dispone de agitación y enfriamiento artificial. Por los serpentines refrigerantes se hace circular agua o salmuera, y la solución es agitada por paletas sobre el eje central. La agitación desempeña varias funciones:

- 1) Aumenta la rapidez con que se transmite el calor y mantiene más uniforme la temperatura de la solución.
- 2) El enfriamiento más rápido y la turbulencia dan como resultado un número mayor de núcleos nuevos, de modo que aumenta el número de cristales pequeños.
- 3) El mantenimiento de los cristales finos en suspensión les permite crecer hasta obtener un tamaño uniforme mayor en lugar de formar aglomerados.

El resultado neto es un producto cristalino relativamente fino y de tamaño bastante uniforme.

Los inconvenientes propios de este aparato son que, por su misma naturaleza, implica el uso de un método intermitente o discontinuo de cristalización y que el depósito de los cristales sobre los serpentines refrigerantes reduce rápidamente la velocidad de transmisión de calor. La limpieza frecuente vaciando el cristalizador y disolviendo los cristales adheridos hace que se introduzca en el sistema una cantidad excesiva de agua.

Una variante de este tipo general de cristizador es la representada en la figura. En ella se ha representado una vista desde arriba de un cristizador del tipo de U con un agitador doble, que consiste en un tanque en el cual cada juego de serpentines refrigerantes está flanqueado por un agitador.



4.8 CRISTALIZADORES DE DOBLE TUBO

Hay algunos cristalizadores de este tipo, simples cambiadores de calor de tubo doble, que no evitan el depósito de cristales sobre la superficie refrigerante. Casi todos los cristalizadores de este tipo están provistos de cintas interiores helicoidales que mantienen limpio un lado de la superficie refrigerante por medio de rascadores que hacen contacto con la pared interior dentro del tubo. Los enfriadores usados en la industria petrolera para separar la parafina del petróleo pertenecen a este tipo de cristizador. El líquido refrigerante circula por el espacio anular entre los tubos, y la solución que se quiere que cristalice circula por el tubo interior en sentido contrario al líquido refrigerante. Seavoy y Caldwell describe el funcionamiento de este cristizador como sigue: "Esta colocado en serie con un tanque grande de la solución que hay que enfriar; por medio de una bomba se hace circular por el la solución, que se devuelve al tanque en cantidad suficiente para mantener una velocidad razonablemente elevada y por consiguiente, una buena rapidez de transmisión del calor en el cambiador".

4.9 AGLOMERACION DE CRISTALES

La aglomeración de cristales se produce muchas veces como consecuencia del intercambio de agua con el aire que los rodea. Existe una *humedad relativa* crítica para la cual no hay intercambio, y que depende de la naturaleza de la sustancia cristalina. Pequeñas cantidades de sustancias extrañas pueden hacer variar en más o en menos el valor de la humedad crítica. De este hecho se saca a veces partido para conseguir cristales más sueltos mediante la adición de determinadas impurezas. En otros casos, en cambio, es preciso acudir a una purificación previa de las aguas madres para impedir la aglomeración.

Si la humedad relativa de la atmósfera que rodea al cristal es superior a la crítica, se depositará agua sobre la superficie; el agua puede llegar a llenar los intersticios entre los cristales, si éstos son suficientemente pequeños. Un cambio en las condiciones externas puede provocar el fenómeno contrario.

Las sustancias disueltas en el agua quedarán en forma sólida al evaporarse ésta, formando una especie de cemento que une los cristales entre sí. La desigualdad de tamaño entre los cristales favorece la aglomeración, puesto que los intersticios entre ellos se hacen menores al rellenarse los huecos entre cristales grandes con cristales más pequeños.

Otras causas frecuentes de aglomeración en los aparatos industriales son las sobre calefacciones y los sobre enfriamientos locales; bien por evaporación del disolvente o por descenso de la temperatura, aquéllos provocan un aumento brusco de la sobresaturación y el depósito de sustancia sólida en forma micro-cristalina o pulverulenta, formando el cemento que une a los cristales. El fenómeno se, observa con frecuencia en las paredes de los recipientes, en los serpentines de intercambio de calor.

La separación de los cristales del resto del sistema en que se producen puede ser, en ocasiones, un proceso complicado y exigir el concurso de operaciones tales como la filtración, prensado, centrifugación, etc.

CAPITULO # V

INGENIERÍA DEL ANTEPROYECTO

5.1 DIAGRAMA DE LA UNIDAD

DIAGRAMA EXTERNO DEL CRISTALIZADOR

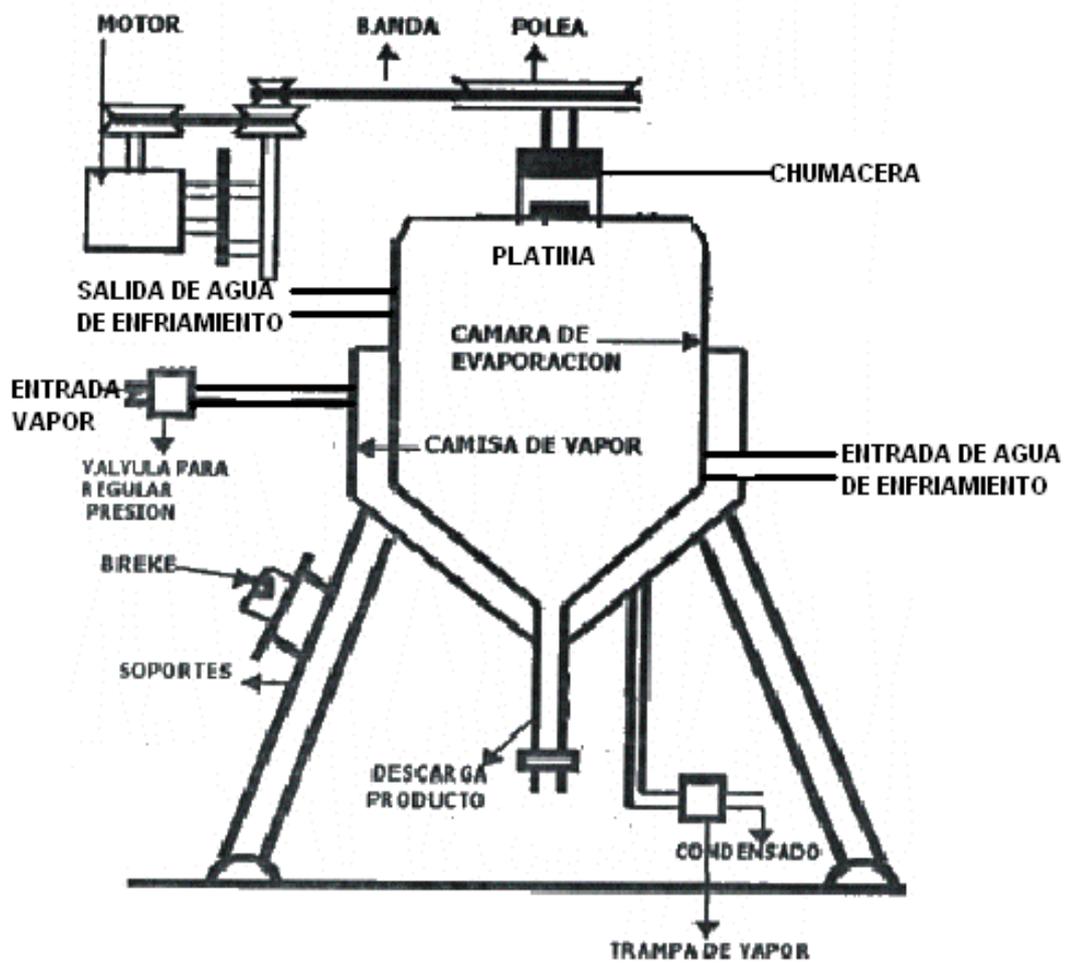
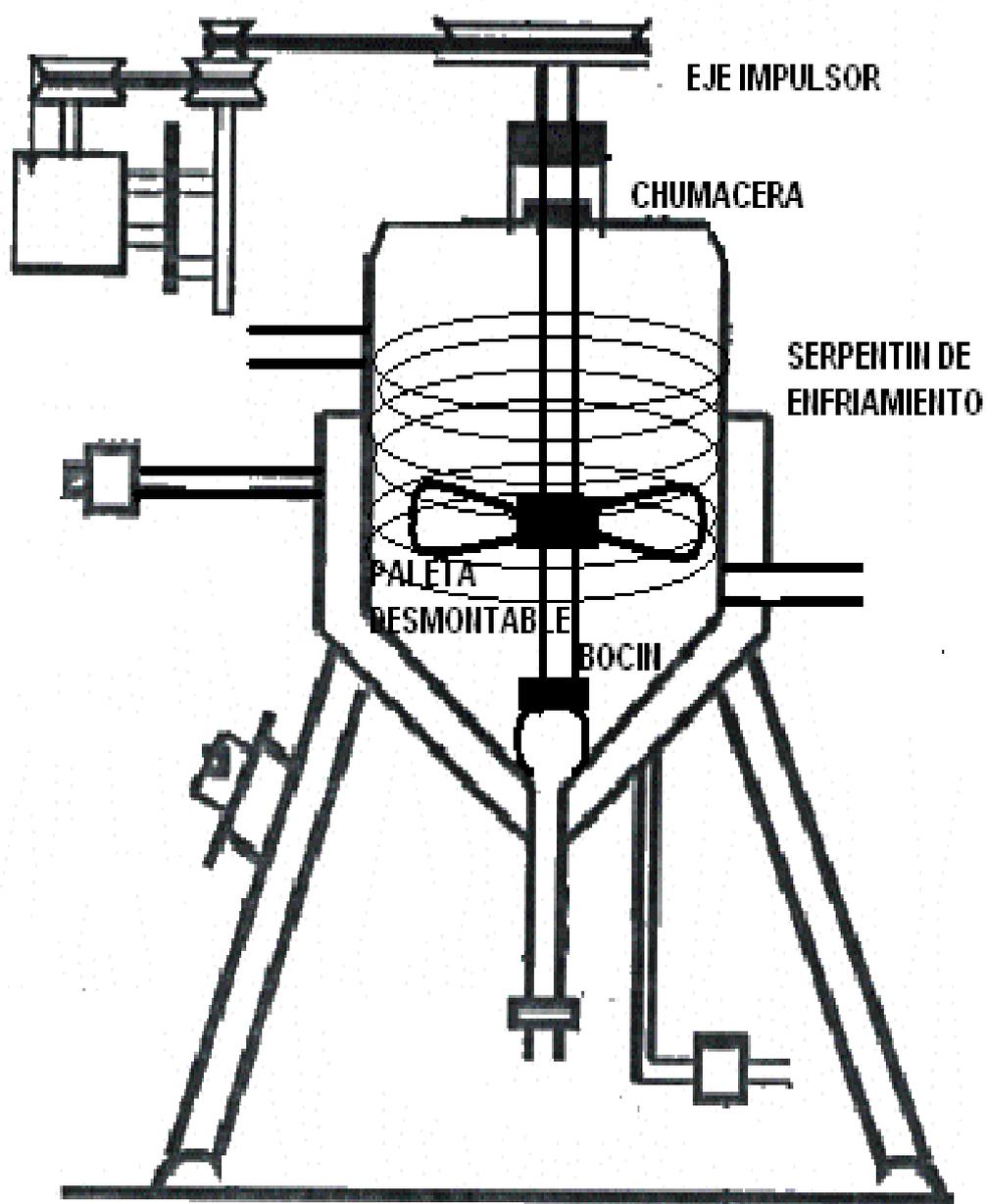
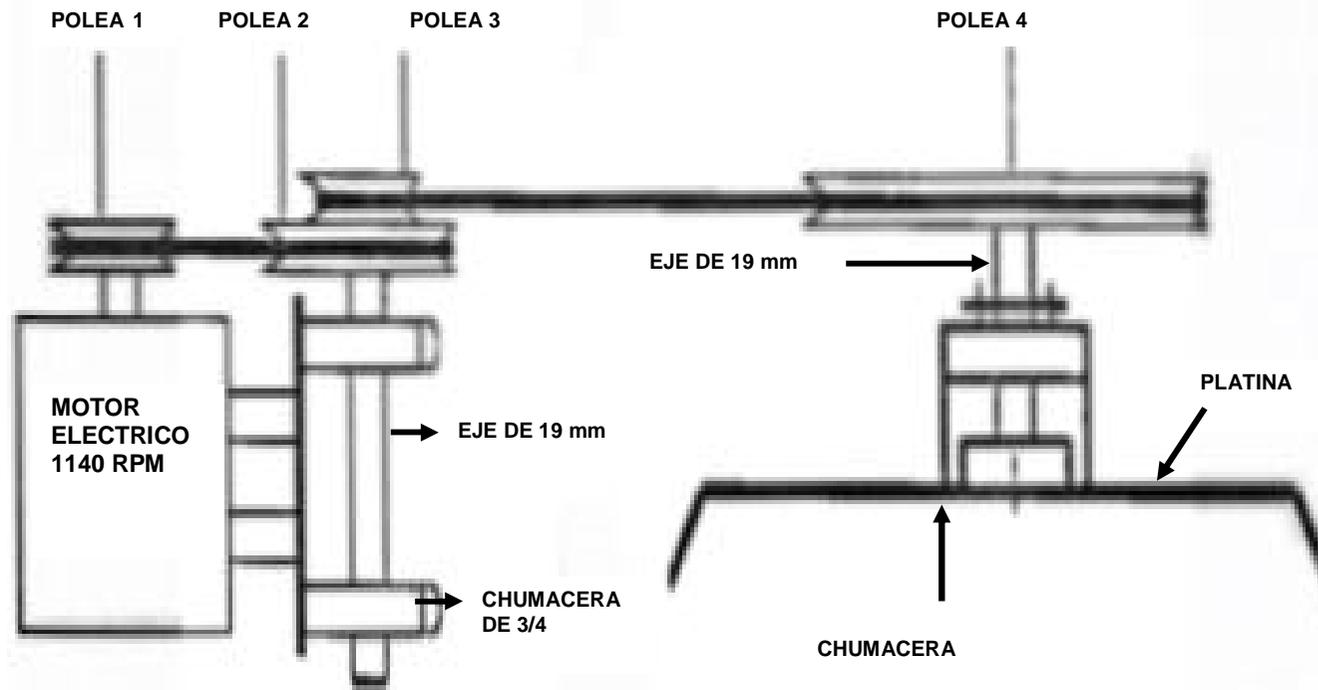


DIAGRAMA INTERNO DEL CRISTALIZADOR



**DIAGRAMA DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE POTENCIA
(BANDA – POLEA)**



5.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

El trabajo específico del Ingeniero Químico en la fase de construcción, es primeramente dimensionar para luego proceder a armar la unidad en el lugar estratégicamente escogido para su montaje observando una secuencia lógica, esto es comenzar desde la base y sobre esta todos sus componentes: también se escogió muy bien el material a utilizar en las diferentes partes del CRISTALIZADOR.

CALCULO DEL ESPESOR DE LA LÁMINA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CRISTALIZADOR.

Estos aparatos se originaron con la industria química y representaron un importante factor en la evolución de la misma. En su forma mas simple son recipientes que se mantienen a una presión determinada, provistos de un sistema de calefacción, un agitador para asegurar el movimiento y las mezclas de las sustancias y de los productos de reacción, así como conexiones para el acoplamiento de sistemas de control.

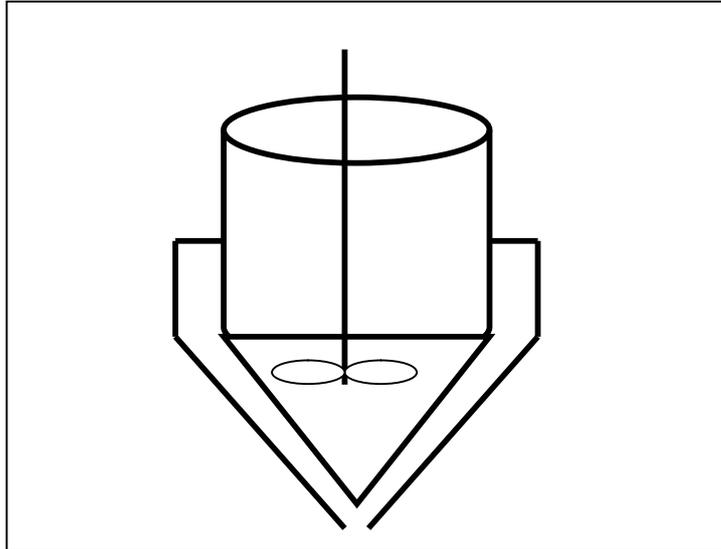
El calentamiento se efectúa con vapor que circula por la camisa envolvente, aunque también puede conseguirse mediante resistencias eléctricas, agua caliente o, a menudo, productos de la reacción que se hacen circular por la camisa envolvente después de un calentamiento adecuado.

Modificado convenientemente los cristalizadores pueden emplearse para funcionar a presión y temperaturas elevadas. Generalmente se construyen con aleación de acero y su diámetro no suele rebasar 1 m. en un cristalizador el calculo del espesor del cuerpo del cristalizador se obtiene de la expresión.

$$E = (P \cdot D \cdot \gamma) / (2 \cdot \delta)$$

En la que P es la presión interna, D el diámetro del reactor, δ la carga de rotura por tracción y por ultimo el factor (γ) de seguridad. La formula anterior valida en la practica para todos cristalizadores de paredes relativamente delgadas. Por lo que se refiere a los reactores que funcionan a presiones elevadas (y por ello de paredes gruesas), el cálculo es complicado.

ECUACION DE DISEÑO PARA UN CRISTALIZADOR DISCONTINUO O POR LOTES



En el caso de lotes (figura. a), la ecuación de diseño según el balance general de materiales tiene por expresión:

(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

La igualdad del tercero y cuarto término puede expresarse en términos de la conversión x' de la siguiente manera.

$$-r V_B = m_t (dx' / d\theta)$$

En 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 .

idealmente cualquier producto reactante puede tomarse como medio para medir la conversión x' , siempre y cuando la velocidad r este también expresada por el mismo componente. De hecho un producto puede usarse aunque no cambie en la forma expresada por la ecuación $-rVB = (dx'/d\theta)$. Si la conversión se considera como la

masa formada por unidad de masa de la carga y la velocidad como la masa de producto formada por unidad de volumen por unidad de tiempo. Las consideraciones practicas por el benceno la cantidad de benceno convertido o nitrobenceno producido son las cantidades mas importantes desde el punto de vista económico mas bien que cuanto acido se consume.

Por lo tanto es lógico basar la ecuación de velocidad ya sea en la velocidad de consumo del benceno o la deformación de nitrobenceno. La masa m_t y el volumen V_B $\rho = m_t$ por lo tanto la ecuación $-rV_B = m_t (dx'/d\theta)$ se puede recomendar y el proceso de integración indicarse como sigue:

$$\theta = m_t \int_0^{x'} dx' / r V_B = \rho \int_0^{x'} (dx' / r) \quad \text{Ec. 4.2}$$

la importancia de acomodar la expresión en esta forma es que la variable independiente de diseño el tiempo, esta separada de las variables dependientes características de la reacción química. Si las condiciones que determinan a r y la densidad de reacción son conocidas, el valor de la integral para cualquier conversión deseada puede conocerse sin hacer referencia al equipo. Pueden luego evaluarse por separado, las diversas combinaciones de tiempo y la carga que darán la producción requerida. Para obtener un concepto claro del significado de este punto la ecuación anterior puede considerarse como una expresión que relaciona el tiempo θ a una integral dependiente de una serie de estados intensivos experimentados por la mezcla de reacción depende frecuentemente de agitación puede afectar significativamente a la velocidad; así como el mismo efecto puede retener el área por unidad de masa del catalizador usado en la reacción.

Frecuentemente es mas conveniente expresar la conversión como la relación de la masa del reactante convertido a la masa del mismo reactante sin convertir. A este último término se le dará el símbolo x , sin prima. Las dos definiciones de conversión se relacionan a través de la masa del reactante originalmente presente m , la masa total m_t de la manera siguiente:

$$x' = x (m/m_t) \quad \text{Ec. 4.3}$$

o en la forma diferencial:

$$dx' = (m/m_t) dx \quad \text{Ec. 4.4}$$

en términos de la conversión x la ecuación 4.3 se transforma:

$$\theta = (m/m_t) \int_0^{x'} \rho (dx/r) = m \int_0^{x'} (dx/V_B r) \quad \text{Ec. 4.5}$$

Las ecuaciones 4.2; 4.3 y 4.5 son enteramente generales.

Pueden simplificarse cuando deban hacerse suposiciones simplificadoras respecto a la conducta del sistema de reacción. Por ejemplo si el volumen es constante lo que es una suposición razonable para muchos reactores en fase líquida la densidad y el volumen V_B son constante y la ecuación 4.5 puede escribirse

$$\theta = (m \rho / m_t) \int_0^{x'1} (dx/r) = C_o \int_0^{x'1} (dx/r) \quad \text{Ec. 4.6}$$

En donde C_o es igual a m / V_B es la concentración original del reactante en donde se basan x y r .

Ya que la integral

$$\int_0^{x'1} \rho (dx/r)$$

No depende básicamente del tamaño del cristizador, puede evaluarse en equipo de planta piloto y entonces usarse la ecuación 4.3 para diseñarse el equipo en escala comercial. Este método de proyectar los resultados de planta piloto requiere de todos los factores que determinan a r sean los mismos en la planta piloto y en el cristizador comercial es decir las condiciones de transferencia de calor deben ser tales que se obtengan la misma temperatura el grado de agitación debe ser el mismo las condiciones catalíticas iguales etc.

5.3 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL CRISTALIZADOR

Para la construcción y dimensionamiento trabajamos con un volumen de 85.22 litros como base de calculo de los cuales se los repartió de la siguiente manera:

Para esto se utilizo una plancha de acero inoxidable AISA 304 de 3 mm de espesor la cual se tomo las siguientes dimensiones:

Ancho: 500 mm

Largo: 1413 mm

Cuyas dimensiones se cortaron en la guillotina las mismas que se rolaron para formar un cilindro dando como resultado las siguientes dimensiones:

Altura: 500 mm

Diámetro externo: 456 mm

Diámetro interno: 450 mm

Sobre el filo de la cámara va un borde o anillo de acero inoxidable del mismo material y espesor de la cámara de evaporación el cual para hacerlo se necesito de soldadura de plasma que corta acero inoxidable de diferentes espesores y de cualquier forma el corte en este caso circular de acuerdo a estas dimensiones:

Diámetro externo: 510 mm

Diámetro interno: 450 mm

Espacio entre diámetro externo y el diámetro interno es de 60 mm

En la parte superior sobre el anillo o Brida. Se soldó dos ángulos de acero inoxidable que sirven de soporte para colocar la chumacera que centra al eje de agitación, se lo cortó en la guillotina y se lo paso por la roladora de acuerdo a las siguientes dimensiones.

Largo: 49,8 mm

Ancho: 30 mm x 30 mm

Espesor: 2 mm

La cámara en su interior esta provista de 4 $\frac{1}{2}$ anillos de tubos de $\frac{3}{4}$ en forma de serpentines de enfriamiento de acero inoxidable de cedula 40.

Largo: 4960 mm

Espesor: 3 mm

Diámetro externo: 435 mm

Diámetro interno: 385 mm

5.3.1 FONDO DE LA CÁMARA DEL CRISTALIZADOR

Se la construyó del mismo material de la cámara de evaporación, ha esta se le dio forma de un cono truncado quedando las siguientes dimensiones:

Altura: 100 mm

Vista lateral: 250 mm

Diámetro externo superior: 456 mm

Diámetro interno superior: 450 mm

Diámetro externo inferior: 37,75 mm

Diámetro interno inferior: 31,75 mm

En el diámetro inferior es donde va a salir el producto terminado.

Sobre el orificio de descarga del producto terminado consta de una montura en U de acero inoxidable donde va a descansar el eje provisto de las siguientes medidas

Altura: 100 mm

Ancho: 100 mm x100 mm

Espesor: 3mm

Sobre esta base en U esta soldado centralmente un bocin de las siguientes características.

Altura: 30mm

Diámetro externo: 42mm

Diámetro interno: 21mm

Espesor: 10,5mm

5.3.2 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CAMISA DE VAPOR

Para esto al igual que la cámara de evaporación se la realiza en dos partes que son:

La primera que tiene forma de cilindro la cual se la construyó de la siguiente manera: Se utilizo acero inoxidable AISA 304 de 3mm de espesor de los cuales se cortaron las siguientes dimensiones:

Ancho: 350mm

Largo: 1602,22mm

Estas dimensiones se las cortaron con guillotina y luego se la rolaron con una roladora mecánica dando un cilindro con las siguientes dimensiones

Diámetro externo: 516 mm

Diámetro interno: 510mm

Alto: 350mm

Ha esta camisa de vapor se le hicieron dos orificios de 22 mm de diámetro cada uno distribuidos de la siguiente manera:

El primer orificio circular situado en la parte lateral inferior de la camisa a unos 250 mm de altura y a la mitad de la circunferencia de la camisa que sirve como entrada de vapor y a la misma altura pero en posición opuesta al primer orificio esta ubicado el segundo que sirve como entrada del agua de enfriamiento.

A la camisa de vapor se le soldó en la parte superior un anillo o brida de calefacción de 22 mm de ancho, 3 mm de espesor y de diámetro interno igual al diámetro externo de la cámara de evaporación y el diámetro externo el mismo que el de la camisa de vapor que sirve para unir ha ambos.

5.3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL FONDO DE LA CAMISA

Esta es la segunda parte de la camisa de vapor se le dio forma de un cono truncado y se la hizo de la siguiente manera:

Con una maquina se le dio forma de un cono truncado dando las siguientes dimensiones:

Altura: 100mm

Vista lateral externa: 270mm

Diámetro externo superior: 516mm

Diámetro interno superior: 510mm

Diámetro interno inferior: 31.75 mm

Diámetro externo interior: 34.75 mm

Espesor: 3mm

El fondo de la camisa de vapor consta de dos orificios que van distribuidos de la siguiente manera:

Un orificio de 34.75 mm de diámetro ubicado en el centro que sirve para la salida del producto. Y el otro orificio que queda a 250 mm de distancia desde el orificio de descarga cuyo diámetro es de 22 mm de diámetro y es por donde va a salir el condensado el mismo que va unido a un accesorio que es la trampa de vapor termodinámica.

5.3.3 MECÁNICA DE AGITACIÓN

MECANICA DE AGITACION DE FLUIDOS

La agitación de fluidos en recipientes es una operación basada en los principios de la mecánica de fluido, es un tanque con deflectores y agitadores el cual mantiene un nivel de fluido uniforme independientemente de la velocidad rotación del agitador. No obstante si el tanque no esta provisto de deflectores y a una velocidad suficiente mente alta de rotación se forma un vortice. El vortice se presenta cuando el nivel de

fluido aumenta a lo largo del radio de velocidad de agitación alta. La formación de vórtices es un fenómeno que puede presentarse en una superficie libre.

Se relaciona con el movimiento ondulatorio en un cuerpo de agua, el cual puede ocurrir solamente en una superficie libre. El análisis de la agitación puede darse en términos de la ecuación de la energía. Para la masa unitaria del fluido.

$$\Delta (v/2gc\alpha) + \Delta z (g/gc) + \Delta(PV) - \int_{V1}^{V2} PdV - \Sigma F = - W'f$$

(Ec. A)

En sentido usual la ecuación de la energía relaciona cambios entre puntos en un sistema de fluidos. En sentido general al agitador no constituye un sistema de flujo por consiguiente todos los términos dependientes de la posición se hacen cero y la ecuación se convierte:

$$\Sigma F = - W'f \quad \text{Ec. B}$$

Y por consiguiente solo necesitamos conocer la fricción o el trabajo. El análisis de un tanque con serpentines, el movimiento del fluido sobre la paleta del agitador y el consiguiente movimiento del fluido al pasar los serpentines estacionarios deberán estar asociados tanto con la fricción del material y a su forma, depende de la velocidad y el diseño. Por consiguiente un sistema geométrico similar de agitador, tanque, y serpentines la reacción entre el coeficiente de resistencia al movimiento y el número de Reynolds pueden escribirse

$$C_D = \Phi N_{Re} \quad \text{Ec. C}$$

Donde C_D = coeficiente de resistencia
 ΦN_{Re} = número de Reynolds

Estos términos pueden ser ampliados en grupos de variables para consideraciones posteriores.

$$2Fgc / Sv^2 \rho = \Phi (L'v \rho / \mu) \quad \text{Ec. d}$$

Donde F = fuerza aplicada a la superficie sólida por el movimiento del fluido
 S = área proyectada del sólido, normal al movimiento del fluido
 L' = dimensión característica
 V = velocidad característica del fluido
 ρ = densidad del fluido
 μ = viscosidad absoluta del fluido

Las variables en la ecuación d con excepción de la propiedades del fluido no se encuentran en una forma que sean fácilmente medibles para la agitación; por consiguiente antes de que pueda ser aplicada la ecuación d se requiere cierta modificación en un sistema geométrico similar a todas las dimensiones de longitud tiene una relación constante a si pues cualquier dimensión puede ser usado para remplazar L' . el diámetro del agitador D' deberá usarse en cualquier caso en que se requiera una longitud característica el termino F/S , la fuerza aplicada al fluido por unidad de superficie puede ser usado mas convenientemente si el termino se convierte en potencia introducida recordemos que la potencia es el producto de la fuerza por la velocidad de aplicación.

$$vF/S = P/S \quad \text{Ec. e}$$

Donde P = potencia, pie-lb/seg. El término de superficie puede ser escrito en términos de la longitud característica; esto es el área proporcional a D''

$$F/S \propto P/v D'' \quad \text{Ec. f}$$

La velocidad (v) es una velocidad lineal en este sistema la velocidad tangencial del agitador es proporcional a la velocidad lineal por lo que

$$v \propto \pi N D' \propto N D' \quad \text{Ec. g}$$

Donde N = velocidad rpm. Las ecuaciones (f) y (g) pueden sustituirse en (d)

$$P \text{ gc}/N^3 \rho D'^5 = \Phi (D'' N \rho / \mu) \quad \text{Ec. h}$$

O bien

$$N_{po} = \Phi N_{Re} \quad \text{Ec. i}$$

Donde:

$N_{po} = P \text{ gc}/N^3 \rho D'^5$, coeficiente de resistencia para el sistema de agitación referido con un numero de potencia.

$N_{Re} = D'' N \rho / \mu$, el numero de Reynolds expresado en variables convenientes para la agitación.

Esta ecuación se escribe para el sistema de tanque geoméricamente similar, en donde los tanques se encuentran provistos de serpentines que actúan en forma de deflectores, en la figura 20.26 que esta en anexo de la curva N_{po} como función de N_{Re} .

Notemos que para tanques deflectores los límites de la curva tienen características universales para todas las curvas CD- N_{Re} , al número de Reynolds bajos.

$$N_{po} = \text{constante} / N_{Re} \quad \text{Ec. j}$$

Y a números de Reynolds altos

$$N_{po} = \text{constante} \qquad \text{Ec. } k$$

La región entre aquella definida por la ecuaciones (j) y (k) representa la transición de la capa fronteriza y el desarrollo de la significación de los efectos de la aceleración asociados con la resistencia de forma

5.3.3.1 INSTALACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Para la instalación del motor eléctrico se procedió a soldar una plancha en U ubicado en las paredes del cristalizador, el espesor de la plancha es de 3 mm. Constituyéndose por medio de una bisagra a una placa de acero inoxidable de las siguientes dimensiones:

Ancho: 10 cm.

Largo: 20 cm.

Espesor: 3 mm

Esta placa esta unida a la bisagra y al motor por medio de cuatro pernos. El objetivo de la bisagra para desplazar para adelante o hacia tras según se necesite, de acuerdo a lo largo de la banda. Fijamos esta distancia por medio de un perno de

16,7 mm de diámetro roscado en un extremo y de largo tiene 140 mm, soldado a la pared del cristalizador. La distancia del motor se la fija moviendo la tuerca.

Para el sistema de agitación esta conformado por diversas partes como es el eje central, las paletas, poleas, bandas y el motor eléctrico que mueve todo el sistema de lo cual se va detallando en los siguientes puntos.

TRANSMISIÓN DE POTENCIA

En un sistema de transmisión por banda, las velocidades tangenciales de las poleas son iguales, si no hay un deslizamiento de la correa y si $V_i = r_i \times \omega_i = r_o \times \omega_o = V_o$, donde las r son los radios de las poleas. Así, pues cuando ω_i y ω_o corresponde a d_i y d_o , respectivamente, se tiene:

$$VMI = \omega_i / \omega_o \qquad \qquad \qquad \text{VMI} \qquad \qquad \qquad = r_o / r_i = D_o / D_i$$

IMPULSO POR
BANDA

Donde las D son los diámetros de las poleas y son dimensiones comúnmente expresadas, las poleas de entrada se llama polea transmisora y la polea de salida se llama polea transmitida. La ventaja de velocidad de una reducción en un sistema de transmisión de potencia suele expresarse en función de la razón de la velocidad.

$$RV = \omega_o / \omega_i = D_i / D_o = 1 / VMI$$

(IMPULSO POR BANDA)

La razón de velocidad, es el recíproco de la VMI, es el factor de multiplicación de rapidez. Un sistema de transmisión por banda puede emplearse para disminuir la rapidez angular, que da un incremento en el momento de torsión, y $D_o > D_i$ en este caso. Por ejemplo en muchos casos la polea de transmisión esta acoplada a un eje de motor de rotación rápida, y entonces hay que reducir la rapidez.

VMI (Ventaja mecánica ideal) = Ventaja mecánica en que se ignoran los perfiles por fricción u otro tipo de pérdida y por lo mismo la ventaja optima o máxima que puede alcanzar. Este tipo de velocidad mecánica puede determinar en forma geométrica.

RV = Razón de las velocidades angulares de entrada y de salida de un sistema de transmisión de potencia.

5.3.3.2 CONSTRUCCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL AGITADOR

El agitador es de acero inoxidable el mismo que esta formado por un eje de la siguiente característica.

Diámetro = 19 mm

Altura total del eje = 60 mm

El eje esta fijo en el centro mediante una plancha horizontal que esta soldada en la parte superior de la cámara, en la cual esta sujeta la chumacera desmontable, en la parte inferior del eje esta soldada una plancha en forma de U en la que va a ir soldada un bocín de acero inoxidable de las siguientes dimensiones.

Altura = 30 mm

Diámetro exterior = 42 mm

Diámetro interior = 21 mm

Para que no se produzca una fricción directa con el acero va dentro del bocín otro bocín de teflón el mismo que tiene los siguientes diámetros

Diámetro interior = 19.5 mm

Diámetro exterior = 20.5 mm

Luego se le construyó dos aspas desmontables y graduales de acero que van soldada a un bocín de acero inoxidable. El bocin tiene las siguientes dimensiones

Altura = 24 mm

Diámetro exterior = 38 mm

Diámetro interior = 19.5 mm

Y a cada lado del bocín un orificio con rosca de 9.5 mm de diámetro situado en el centro de los mismos que sirve para ajustar las paletas en el eje con los respectivos tornillos de acero inoxidable.

Luego a cada bocín se le soldó las aspas puesta con una inclinación colocada en sentido opuesto estas aspas tienen las siguientes dimensiones

Espesor de las aspas = 3 mm

Largo total = 127 mm

Los cortes se los hizo con plasma.

El eje esta conectado con una polea y esta es movida por el motor de ½ hp

5.3.4 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LA LÍNEA DE VAPOR DE AGUA Y CONDENSADO

En la construcción de la línea de vapor de agua utilizamos tubería para vapor de hierro de media pulgada de diámetro, sin costura. Para realizar la conexión de la línea de flujo de vapor, primero se tuvo que elegir la fuente mas cercana esta, esta es la línea que viene del evaporador de doble efecto desde el caldero, la misma que tiene un BY PASS con una válvula reguladora de presión y un manómetro que marca de 0 hasta 60 PSI.

Una vez localizada la fuente de vapor de agua se procedió a realizar los trabajos respectivos utilizando tuberías de vapor de hierro sin costura, neplos, codos,

universales, t, válvulas, trampas de vapor, que sirven para el ensamble de la línea de vapor de agua a nuestro cristizador.

De la misma manera se procedió a realizar los trabajos para la conexión de salida de los condensados de la camisa del cristizador, utilizando neoprenos, codos, tubería de hierro y una trampa termodinámica de media pulgada.

5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL CRISTALIZADOR

El cristizador consta de las siguientes partes:

5.4.1 CÁMARA DE EVAPORACIÓN

Que tiene la forma de un cilindro vertical circular el mismo que tiene en su interior y estos son:

Agitador posee las siguientes características.

Trabaja a velocidad dentro de este rango 37 _ 284 rpm.

Consta de tres paletas planas inclinadas movibles desmontables.

El agitador entra en funcionamiento cuando el eje de este se une al eje potencia que a su vez está conectado a un sistema de poleas movidas por el motor. El agitador se apoya en la parte inferior en un doble bocin el uno de acero y el otro de teflón el cual va dentro del primero el mismo que sirve para evitar la fricción.

En la parte superior el agitador se apoya en un bocín de acero y en su interior uno de teflón encontrando se el bocín de acero inoxidable en posición horizontal en la dirección del diámetro del recipiente.

5.4.2 CAMISA DE CALENTAMIENTO O ENFRIAMIENTO

Es de forma concéntrica esta construida con acero inoxidable esta sirve para calentar utilizando vapor de agua (steam) o cualquier otra sustancia o enfriamiento por medio de otra sustancia según el requerimiento.

5.4.3 SERPENTINES DE ENFRIAMIENTO

El serpentín de enfriamiento consta de un tubo de acero inoxidable formado por 4 ½ anillo en espiral, el tubo de acero inoxidable se lo corto en 5 partes de 1.20 mt aproximadamente para luego pasarla por la roladora de tubos de ¾ así le dimos una

forma sumí circular para luego en lo posterior soldar las 4 secciones para darle la forma de un serpiente, que esta tiene la siguientes característica.

Longitud = 4.96 mt

Diámetro del tubo interior = 19 mm

Diámetro del tubo exterior = 22 mm

Espesor = 3 mm

Diámetro exterior del serpiente = 435 mm

Diámetro interior del serpiente = 385 mm

5.4.4 AGITADOR

El agitador posee las siguientes características

- Trabaja a velocidad dentro de un rango de 37 – 228 rpm.
- Consta de tres paletas helicoidales móviles y desmontables.

El agitador entra en funcionamiento junto el sistema de poleas que van a hacer movidas por el motor. El agitador se apoya en la parte inferior con un doble bocín el uno de acero y el otro de teflón el cual va dentro del primero para evitar la fricción con este.

En la parte superior el agitador se ajusta con una chumacera la cual va montada en una platina de acero inoxidable que va soldada en el borde superior de la cámara. El eje del agitador en su parte superior esta provista del sistema banda- polea que junto con el motor le van a dar el movimiento a la misma.

5.4.4.1 EJE IMPULSOR DEL AGITADOR

Consta de un eje vertical de acero, que tiene una polea en su parte superior la misma que esta fijada por medio de una cuña que entra en la ranura del eje y la polea siguiendo hacia abajo nos encontramos con una base en forma de U en la cual esta soldado un doble bocin que esta formado de acero y de teflón donde va a ir asentado el eje impulsor.

5.4.5 VÁLVULAS

Son las siguientes:

Válvula de descarga del producto

Válvula de condensado

Válvula de entrada de vapor de agua

Válvula de entrada de agua de enfriamiento

5.4.6 OTRAS PARTES

Un serpentín de acero inoxidable

Tiene tres patas de hierro galvanizado que sirven de soporte del cristizador

Un contacto eléctrico (on off)

Tubería de agua de enfriamiento

Codos, uniones, neoplos, tubería de vapor

SISTEMA DE BANDAS Y POLEAS

Cuatro poleas de diferentes diámetros y de dos bandas de lona de diferentes medidas, las cuales unen la polea del impulsor del agitador y todo este conjunto sirven para reducir la velocidad de este de 1140 a 37 RPM.

5.4.7 ACCESORIO DE CONTROL

Termómetro

Manómetro

5.4.8 SOPORTE DEL CRISTALIZADOR

Consta de tres soportes de acero 800 mm de largo en la parte inferior cada una va soldada, el diámetro de cada pata es de 50,8 mm, lo que facilita la descarga directa del producto a otro recipiente.

5.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS MATERIALES

PLANCHA: ACERO INOXIDABLE AISI 304

ESPESOR: 3 mm

TIPO DE ALEACIÓN: Cr 18,6 %, Ni 8%, C 0,1 %

COLOR DE IDENTIFICACIÓN: Blanco – negro (opaco)

ESTADO DE SUMINISTRO: Apagado y decapado.

Acero inoxidable característico del grupo austenítico aleado al Cr – Ni

CUALIDADES:

Inoxidable, resistente a la corrosión química, antimagnético cualidades de los aceros inoxidables.

APLICACIONES.

Para partes de maquinarias, piezas en general, tanques, cristalizadores y tubos en la industria alimenticia y química. También para la industria de la construcción naval y pesquera.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

Resistente a la tracción en estado apagado:
60 – 75 Kg/mm²

Dureza en estado apagado: 170 HB

Conductividad de calor: 0.035 cal / cm⁰C

MOTOR ELÉCTRICO

MARCA : WEG
VOLTS : 110/220 VOL.=60 Hz
Cicles : 60
RPM : 1140
HP : 1/2 HP
PHASE : 3
SERIAL : 1 UMOIC4NXX1/2040
AMPERE : 9.50/4.75A
CODE : K
SERVICE FACTOR : 1.25
TIME RATING : CONT.
PROCEDENCIA : MADE IN BRAZIL

BREAKE

MARCA: BLACK-STONE

PHASE: 3

AC 120/240V 10KA

MADE IN TAIWAN

SOLDADURA

Para la construcción se utilizo soldadura eléctrica con palillo de 1/8 de acero inoxidable del tipo OK 61.30 308 L-10 o E 309 L-16 807325.

5.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD DE LA CAMISA DE VAPOR.

Para realizar la prueba de hermeticidad de la camisa de vapor se procedió a cerrar la salida de condensado, la entrada de agua de enfriamiento, la salida de agua de enfriamiento con los respectivos tapones y a la entrada de vapor se le conectó a la tubería de vapor para proceder a ingresar vapor de agua hasta 80 PSI. Hecho esto, la presión fue mantenida, y al mismo tiempo nos dimos cuenta que no había ninguna fuga, y debido a la presión con que vamos a trabajar que es de 10 a 20 PSI máximo en la camisa de vapor, consideramos un alto porcentaje de seguridad del equipo.

5.7 PUESTA EN MARCHA

TÉCNICA OPERATIVA

1. Asegurarse que todas las válvulas estén completamente cerradas tanto del equipo como en el caldero.
2. Procedemos a encender el caldero para así poder obtener el vapor de agua requerido para la práctica.
3. Se procede a realizar la solución previa para la práctica.
4. Se coloca las aspas al nivel requerido de la solución.
5. Ponemos la solución en la cámara del cristizador.
6. Instalamos las poleas y regulamos la velocidad que se necesite de acuerdo a la concentración de la solución que se va a trabajar.
7. Se abre la válvula del caldero para dar paso al vapor y luego procedemos a regular la cantidad de steam requerido en el cristizador para la práctica.
8. Controlamos las variables de operación:
 - Temperatura de solución
 - Presión de vapor
 - Tiempo
 - Tiempo de condensado
 - Velocidad de agitación
9. Observando que aparecen los primeros cristales cerramos las válvulas de suministro de vapor.
10. Procedemos a abrir las válvulas de enfriamiento que pasa por los serpentines que por el choque térmico se va van a obtener la cristalización.
11. Luego que se ha enfriado los cristales:
 - Cerramos la válvula de agua de enfriamiento
 - Apagamos el motor del agitador
 - Abrimos la válvula de descarga
 - Pesamos el producto

CAPITULO # VI

CÁLCULOS Y RESULTADOS

6.1 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

$$AT = 2*3,1416*22,5*50+2*3,1416*22,5^2 = 1002483 \text{ cm}^2$$

VOLUMEN DEL CILINDRO

FORMULA

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

$$V = \pi*(22,5)^2*50 = 79521,75 \text{ cm}^3$$

La segunda parte tiene forma de un cono truncado igualmente se calcula área y volumen

FORMULA

$$AT = \pi*G*(r1 + r2) + \pi (r_1^2 + r_2^2)$$

DATOS

$$r1 = 22,5 \text{ cm.}$$

$$r2 = 1,588 \text{ cm}$$

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

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

$$\pi = 3,1416$$

$$AT = 3,1416 \cdot 25 \cdot (22,5 + 1,588) + \pi(22,5^2 + 1,588^2)$$

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

VOLUMEN DE CONO

$$V = \pi/12 \cdot h (D^2 + D \cdot d + d^2)$$

$$V = \pi/12 \cdot 10(45^2 + 45 \cdot 3,175 + 3,175^2) = 5701,89 \text{ cm}^3$$

ÁREA TOTAL DE LA CAMISA DE EVAPORACIÓN

$$AT_{\text{cilindro}} + AT_{\text{cono}}$$

$$A = 1002483 \text{ cm}^3 + 3490,228 \text{ cm}^3 = 1005973,2 \text{ cm}^3$$

VOLUMEN TOTAL DE LA CAMISA DE EVAPORACIÓN

$$VT = V (\text{cilindro}) + V (\text{cono truncado})$$

$$VT = 79521,75 + 5701,89$$

$$VT = 85223,64 \text{ cm}^3 = 85,224 \text{ lts}$$

6.2 OBTENCIÓN DE VOLUMEN DISPONIBLE DE LA CÁMARA DE EVAPORACIÓN

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

Donde :

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

Nota: Los volúmenes de la formula se los obtiene de los siguientes enunciados y replazando estos se puede obtener el volumen disponible.

6.2.1 VOLUMEN DE LA MONTURA EN U QUE CENTRA AL EJE

$$\text{Volumen} = a \times b \times c$$

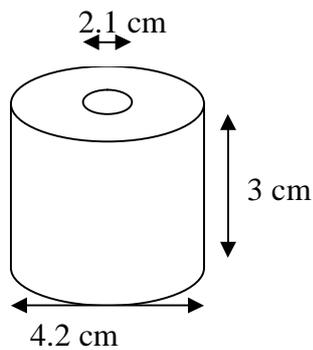
$$\text{Volumen} = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 30 \text{ cm}^3$$

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

$$V_{\text{total}} = 90 \text{ cm}^3$$

6.2.2 VOLUMEN DEL BOCIN QUE CENTRA AL EJE



$$V_{\text{total}} = \pi/4 \times h \times (D^2 - d^2)$$

$$V_{\text{total}} = \pi/4 \times 3 \text{ cm} \times (4.2^2 - 2.1^2)$$

$$V_{\text{total}} = 31.173 \text{ cm}^3$$

6.2.3 VOLUMEN DEL EJE

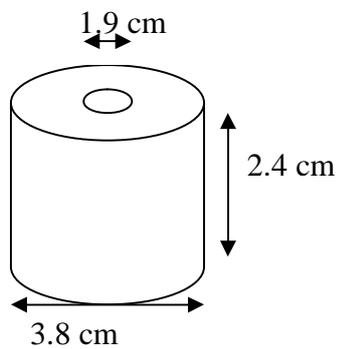
$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$\emptyset = 1.9 \text{ cm} \quad r = 0.95 \text{ cm}$$

$$V = \pi \times (0.95 \text{ cm})^2 \times 47 \text{ cm}$$

$$V = 133.26 \text{ cm}^3$$

6.2.4 VOLUMEN DEL BOCIN DE ASPAS

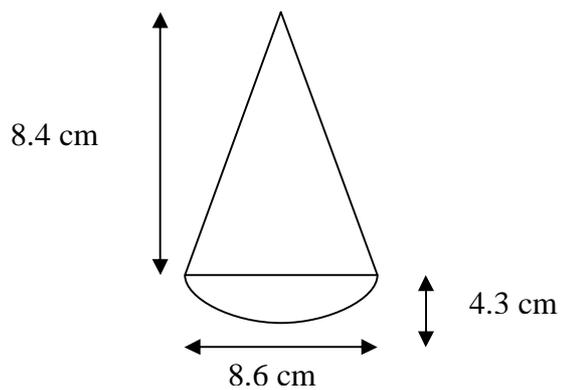


$$V_{\text{total}} = \pi/4 \times h \times (D^2 - d^2)$$

$$V_{\text{total}} = \pi/4 \times 2.4 \times (3.8^2 - 1.9^2)$$

$$V_{\text{total}} = 20.414 \text{ cm}^3$$

6.2.5 VOLUMEN DE PALETA



$$V = ((b \times h)/2) \times e$$

$$V = ((8.6 \times 8.4)/2) \times 0.3$$

$$V = 10.836 \text{ cm.}$$

Volumen del área triangular

$$V = (\pi r^2 h)/2$$

$$V = (\pi \times 4.32 \times 0.3)/2$$

$$V = 8.713 \text{ cm}^3$$

Volumen del área circular

$$V_T = 10.836 + 8.713 = 19.55 \text{ cm}^3$$

6.2.6 VOLUMEN DEL TUBO DEL SERPENTÍN

DATOS

Diámetro exterior 2,4 cm.

Diámetro interno 2,1 cm.

Largo=496 cm.

Formula

$$V = \pi/4h(D^2-d^2)$$

$$V = \pi/4*496(2,4^2-2,1^2)$$

$$V = 525.904 \text{ cm}^3$$

Remplazando

$$V_{\text{disponible}} = 85223.64 - (525.904 + 90 + 31.173 + 133.26 + (2)(20.414) + 4(19.55))$$

$$V_{\text{disponible}} = 84324.276 \text{ cm}^3 \approx 84.32 \text{ lt} \approx 22.27 \text{ gal}$$

6.3 ÁREA Y VOLUMEN DE LA CAMISA DE VAPOR

La camisa de vapor se divide en dos partes:

La primera es cilíndrica cuya formula para el volumen y el área son las mismas que la de la camisa de evaporación

Área del cilindro

Datos

$$V = 25.5 \text{ cm.}$$

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

$$\pi = 3.1416$$

Sustituyendo valores

$$AT = 2\pi r \times 25.5 + 2\pi(25.5)^2$$

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

Volumen del cilindro

$$V = \pi r^2 \times 35 = 71498.89 \text{ cm}^3$$

La segunda parte tiene la forma de un cono truncado cuya formula son la misma de la cámara de evaporación para calcular el área y volumen

Área del cono

Datos

$$r1 = 25.5 \text{ cm.}$$

$$r2 = 1.59 \text{ cm}$$

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

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

$$\pi = 3.1416$$

Sustituyendo

$$AT = \pi \times 27(25.5 + 1.59) + \pi(25.5^2 + 1.59^2)$$

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

Volumen del cono

$$V = 1/12 \pi r^2 h (5r^2 + 5r \times 3.1752) = 7259.729$$

Área total de la camisa de vapor

$$A = A_{\text{total del cilindro}} + A_{\text{total cono}}$$

$$A = 9693.407 + 4348.628$$

$$A = 14042.035 \text{ cm}^2$$

Volumen total de la camisa de vapor

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

$$V = 71498.89 + 7259.729$$

$$V = 78750.619 \text{ cm}^3 \sim 78.751 \text{ lt} \sim 20.806 \text{ gal}$$

6.4 CALCULO DE POTENCIA DE MOTOR

CALCULO DE TRANSMISION DE POTENCIA

Para reducir la velocidad de 1140 a 37 rpm se utiliza el sistema banda polea

Formula:

$$D_i/D_o = W_o/W_i$$

Polea 1 a polea 2

Datos

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

$$W_o = ?$$

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

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

$$0.88 \text{ pulg}/5 \text{ pulg} = W_o/1140 \text{ rpm}$$

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

Polea 2 a polea 3

$$W_{i2} = W_{o3} = 201.07 \text{ rpm}$$

Polea 3 a polea 4

Datos

$D_{o4} = 11$ pulg.

$W_o = ?$

$D_{i3} = 2$ pulg.

$W_i = 201.07$ rpm

$2 \text{ pulg}/11 \text{ pulg} = W_o/201.07 \text{ rpm}$

$W_{o4} = 37$ rpm

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR PARA REALIZAR LA MEZCLA

CALCULO DE EL NUMERO DE REYNOLDS

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

DATOS:

$N = 37$ rpm

$D' = 37$ cm o 1.2139 pies

$P = 0.842$ gr/cc o 52.56 lb /pie³

$\mu = 77.57$ poise

$g_c = 32$ pie /seg²

$Re = (37/60)(0.842)(37)^2/77.57$

$Re = 9.164$

CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Para leer la potencia se debe tener en cuenta el tipo de tanque que se a ha utilizado en este caso con serpentines deflectores, con el valor de Re nos vamos a ver a la figura 20.26 que se encuentra en anexos y nos da:

$$N_{po} = 7.1$$

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

de esta forma despejamos la potencia (P).

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

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

$$P = (7.2 \text{ lb-pie/seg})(1 \text{ HP}/550 \text{ lb-pie/seg})$$

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

6.5 VELOCIDAD DE LOS CRISTALES

$$C = \frac{R \ 100 \ W_o - s(H_o - E)}{100 - S(R - 1)} \quad (1)$$

Donde :

C = Velocidad de cristalización

R = $\frac{\text{Sustancia disuelta hidratada}}{\text{Peso de sustancia disuelta anhidra}}$

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

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

PRUEBA # (1)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

$$W_{sol} = 44 \text{ Kg}$$

$$C_{12}H_{22}O_{11} = 22 \text{ Kg (50\%)}$$

$$H_2O = 22 \text{ Kg (50\%)}$$

$$\rho_{solucion} = 1.134 \text{ Kg/lt}$$

$$V = 18 \text{ Kg} = E$$

W solución final = 26 kg

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

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

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

E = W evaporación durante el proceso

W₀ = Peso de soluto

C = velocidad de cristalización

H₀ = peso del solvente inicial

$$\rho = W/V$$

Despejando

$$V = W/\rho$$

$$V = 26 \text{ kg} / 1.134 \text{ kg/lt}$$

$$V = 22.928 \text{ lt}$$

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11}}{22.928 \text{ lt}} \times 100\text{ppm}$$

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

Entonces :

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

$$R = 2$$

$$W_0 = 22 \text{ kg}$$

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

$$H_0 = 22 \text{ kg}$$

$$C = 2 \times \frac{100(22) - 4.36(22 - 18)}{100 - 4.36(2 - 1)}$$

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

PRUEBA # (2)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

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

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

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

$$\rho_{\text{solucion}} = 1.247 \text{ Kg/lt}$$

$$V = 16.5 \text{ Kg} = E$$

$$W_{\text{solucion final}} = 33.5 \text{ kg}$$

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

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

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

E = W evaporación durante el proceso

W_o = Peso de soluto

C = velocidad de cristalización

H_o = peso del solvente inicial

$$\rho = W/V$$

Despejando

$$V = W/\rho$$

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

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

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11}}{26.865 \text{ lit}} \times 100 \text{ ppm}$$

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

Entonces :

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

$$R = 1.667$$

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

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

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

$$C = 2 \times \frac{100(30) - 3.723(20 - 16.5)}{100 - 3.723(1.667 - 1)}$$

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

PRUEBA # (3)

Base de cálculo: 1 hora

Datos

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

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

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

$$\rho_{\text{solucion}} = 1.417 \text{ Kg/lit}$$

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

$$W_{\text{solucion final}} = 39 \text{ kg}$$

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

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

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

E = W evaporación durante el proceso

W_o = Peso de soluto

C = velocidad de cristalización

H_o = peso del solvente inicial

$$\ell = W/V$$

Despejando

$$V = W/\ell$$

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

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

$$S = \frac{1 \text{ mg } C_{12}H_{22}O_{11}}{27.523 \text{ lt}} \times 100\text{ppm}$$

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

Entonces :

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

$$\mathbf{R = 1.25}$$

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

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

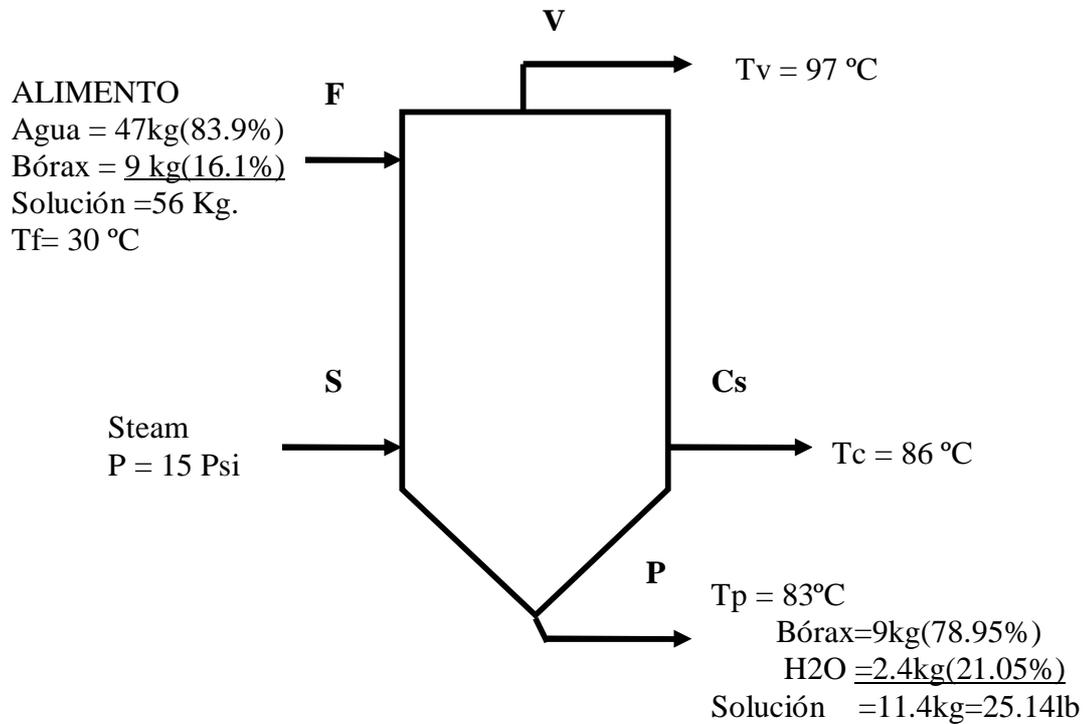
$$H_o = 9 \text{ kg}$$

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

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

6.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

PRIMERA PRUEBA CON BÓRAX



BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO: 1 HORA

$$E = S$$

$$F = P + V$$

REEMPLAZANDO

$$56 \text{ kg} = 11.4 \text{ kg} + V$$

$$V = 44.6 \text{ kg} = 98.343 \text{ lb}$$

BALANCE DE ENERGIA

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

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

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

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

DATOS PARA CÁLCULO

$$T_f = 30 \text{ }^\circ\text{C} \sim 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_p = 83 \text{ }^\circ\text{C} \sim 181.4 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_v = 97 \text{ }^\circ\text{C} \sim 206.6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_c = 86 \text{ }^\circ\text{C} \sim 186.8 \text{ }^\circ\text{F}$$

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

TABLAS DE VAPOR

$T_f = 86^\circ\text{F}$	$h_f =$	54 Btu/lb
$T_p = 181.4^\circ\text{F}$	$h_p =$	149.42 Btu/lb
$T_v = 206.6^\circ\text{F}$	$h_v =$	1148.55 Btu/lb
$T_c = 186.8^\circ\text{F}$	$h_c =$	154.94 Btu/lb
$P. \text{ abs.} = 29.7 \text{ Psia}$	$H =$	1164.1 Btu/lb

Entonces reemplazando

$$S = \frac{98.343 \text{ lb}(1148.55 \text{ Btu/lb}) + 25.137 \text{ lb}(149.42 \text{ Btu/lb}) - 123.48 \text{ lb}(54 \text{ Btu/lb})}{1164.1 \text{ Btu/lb} - 154.94 \text{ Btu/lb}}$$

$$S = \frac{110039.9}{1009.16} = 109.041 \text{ lb}$$

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

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{98.343}{109.041} \times 100 = 90.19\%$$

$$\lambda_{29.7\text{Psia}} = 945.3 \text{ Btu/lb}$$

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

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

$$m = 123.48 \text{ lb}$$

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 109.041 \text{ lb} \times 945.3 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 103076.46 \text{ Btu}$$

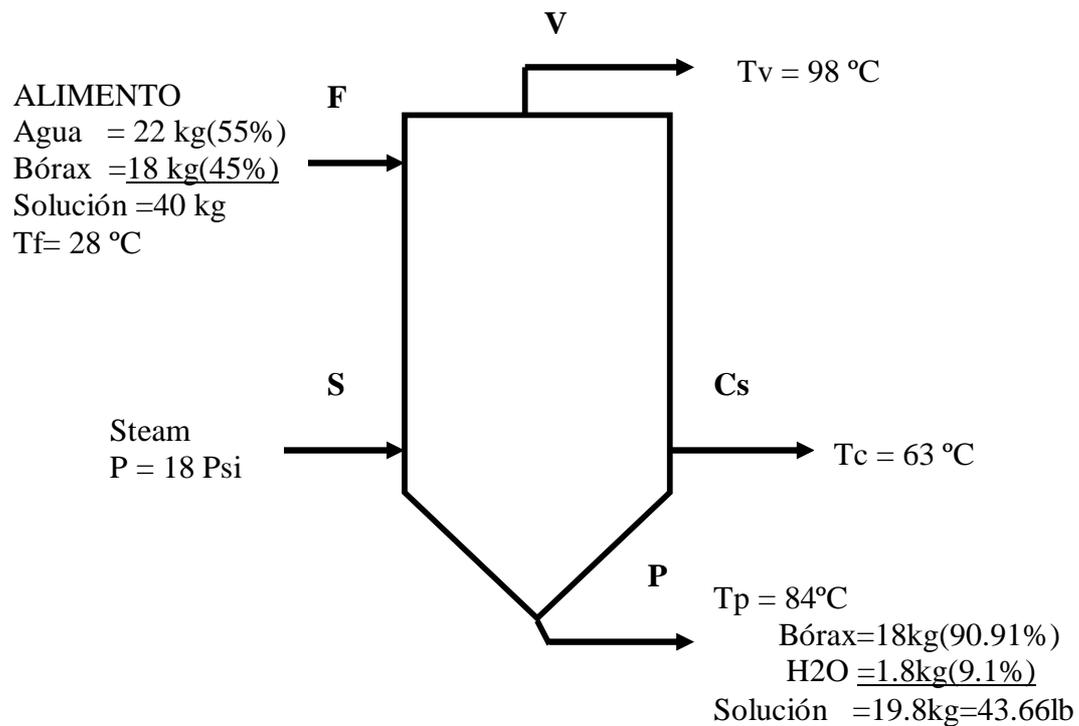
Cantidad de calor ganado por la solución

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

$$Q = 123.48 \text{ lb} \times 1 \text{ Btu/lb} \times (181.4 - 86)^\circ\text{F}$$

$$Q = 11779.99 \text{ Btu}$$

SEGUNDA PRUEBA CON BÓRAX



BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO: 1 HORA

$$E = S$$

$$F = P + V$$

REEMPLAZANDO

$$40 \text{ kg} = 19.8 \text{ kg} + V$$

$$V = 20.2 \text{ kg} = 44.54 \text{ lb}$$

BALANCE DE ENERGÍA

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

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

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

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

DATOS PARA CALCULO

$$T_f = 28 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 82.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_p = 84 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 183.2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_v = 98 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 208.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 63 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 145.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

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

TABLA DE VAPOR

$T_f = 82.4^\circ\text{F}$	$h_f =$	52.1 Btu/lb
$T_p = 183.2^\circ\text{F}$	$h_p =$	149.92 Btu/lb
$T_v = 208.2^\circ\text{F}$	$h_v =$	1148.9 Btu/lb
$T_c = 145.4^\circ\text{F}$	$h_c =$	113.39 Btu/lb
$P. \text{ abs. } = 32.7 \text{ Psia}$	$H =$	1165.70 Btu/lb

Entonces reemplazando

$$S = \frac{54.541 \text{ lb}(1148.9 \text{ Btu/lb}) + 43.659 \text{ lb}(149.92 \text{ Btu/lb}) - 88.2 \text{ lb}(52.51 \text{ Btu/lb})}{1165.7 \text{ Btu/lb} - 113.39 \text{ Btu/lb}}$$

$$S = \frac{53087.13}{1052.31} = 50.45 \text{ lb}$$

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

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{44.541}{50.45} \times 100 = 88.29\%$$

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

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

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

$$m = 88.2 \text{ lb}$$

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 50.45 \text{ lb} \times 941.6 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 47503.72 \text{ Btu}$$

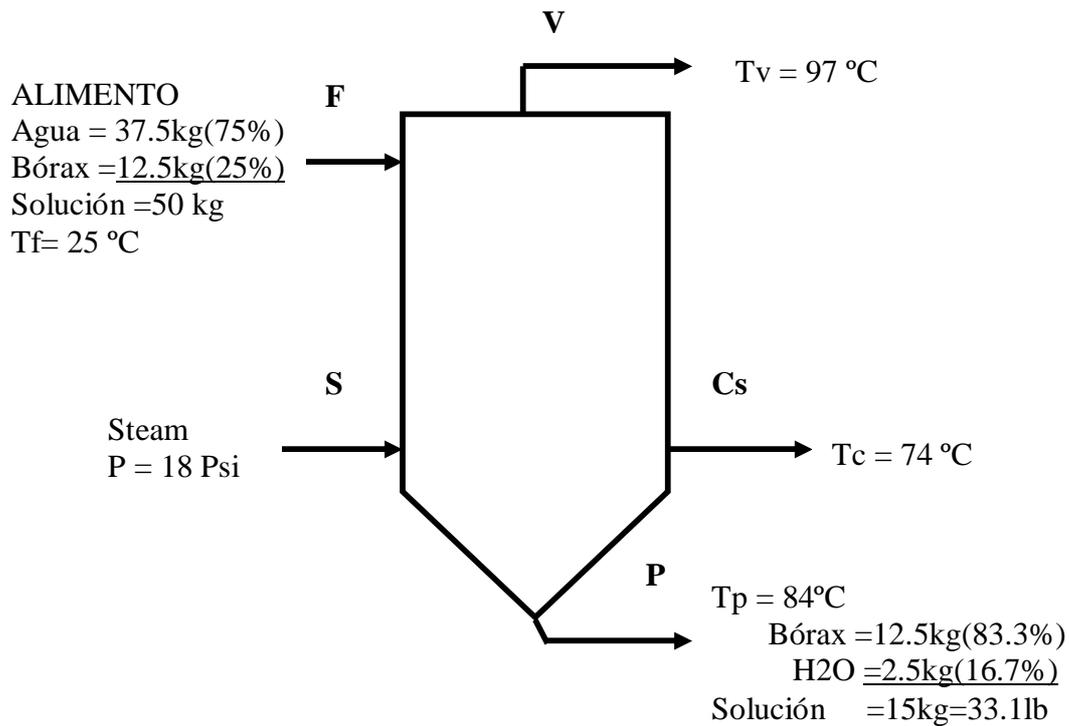
Cantidad de calor ganado por la solución

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

$$Q = 88.2 \text{ lb} \times 1 \text{ Btu/lb} \times (183.2 - 82.4) ^\circ\text{F}$$

$$Q = 8850.56 \text{ Btu}$$

TERCERA PRUEBA DE BÓRAX



BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO : 1 HORA

$$E = S$$

$$F = P + V$$

REEMPLAZANDO

$$110.25\text{ lb} = 33.075\text{ lb} + V$$

$$V = 77.175\text{ lb}$$

BALANCE DE ENERGÍA

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

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

$$F_{hf}+S_H = V_{hv}+P_{hp}+S_{hc}$$

$$S = \frac{V_{hv}+P_{hp}-F_{hf}}{H-hc}$$

DATOS PARA CÁLCULO

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

$$T_p = 84 \text{ }^\circ\text{C} \sim 183.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_v = 97 \text{ }^\circ\text{C} \sim 206.6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_c = 74 \text{ }^\circ\text{C} \sim 165.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

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

TABLA DE VAPOR

$T_f = 77 \text{ }^\circ\text{F}$	$h_f =$	45.02 Btu/lb
$T_p = 183.2^\circ\text{F}$	$h_p =$	150.43 Btu/lb
$T_v = 206.6^\circ\text{F}$	$h_v =$	1148.5 Btu/lb
$T_c = 165.2^\circ\text{F}$	$h_c =$	132.89 Btu/lb
$P. \text{ abs. } = 32.7 \text{ Psia}$	$H =$	1165.7 Btu/lb

Entonces reemplazando

$$S = \frac{77.175 \text{ lb}(1148.5 \text{ Btu/lb}) + 33.075 \text{ lb}(150.93 \text{ Btu/lb}) - 110.25 \text{ lb}(45.02 \text{ Btu/lb})}{1165.7 \text{ Btu/lb} - 132.89 \text{ Btu/lb}}$$

$$S = \frac{88664.042}{1052.31} = 85.85 \text{ lb}$$

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

$$\text{EFICIENCIA} = \frac{77.175}{85.85} \times 100 = 89.55\%$$

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

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

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

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

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

$$Q = 85.85 \text{ lb} \times 941.6 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 80836.36 \text{ Btu}$$

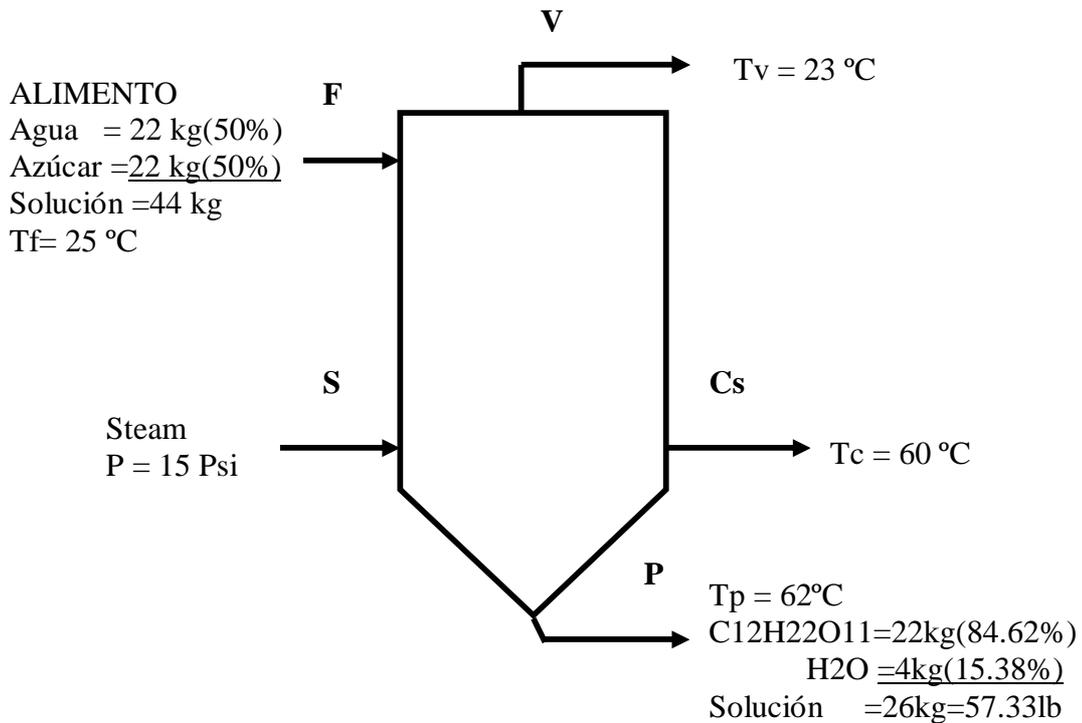
Cantidad de calor ganado por la solución

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

$$Q = 110.25 \text{ lb} \times 1 \text{ Btu/lb} \times (183.2 - 77)^\circ\text{F}$$

$$Q = 11708.55 \text{ Btu}$$

PRIMERA PRUEBA CON AZÚCAR



BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO: 1 HORA

$$E = S$$

$$F = P + V$$

REEMPLAZANDO

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

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

BALANCE DE ENERGÍA

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

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

$$F_{hf}+SH=V_{hv}+P_{hp}+S_{hc}$$

$$S = \frac{V_{hv}+P_{hp}-F_{hf}}{H-hc}$$

DATOS PARA CÁLCULO

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

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

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

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

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

TABLA DE VAPOR

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

Entonces reemplazando

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

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

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

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

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

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

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

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

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

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

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

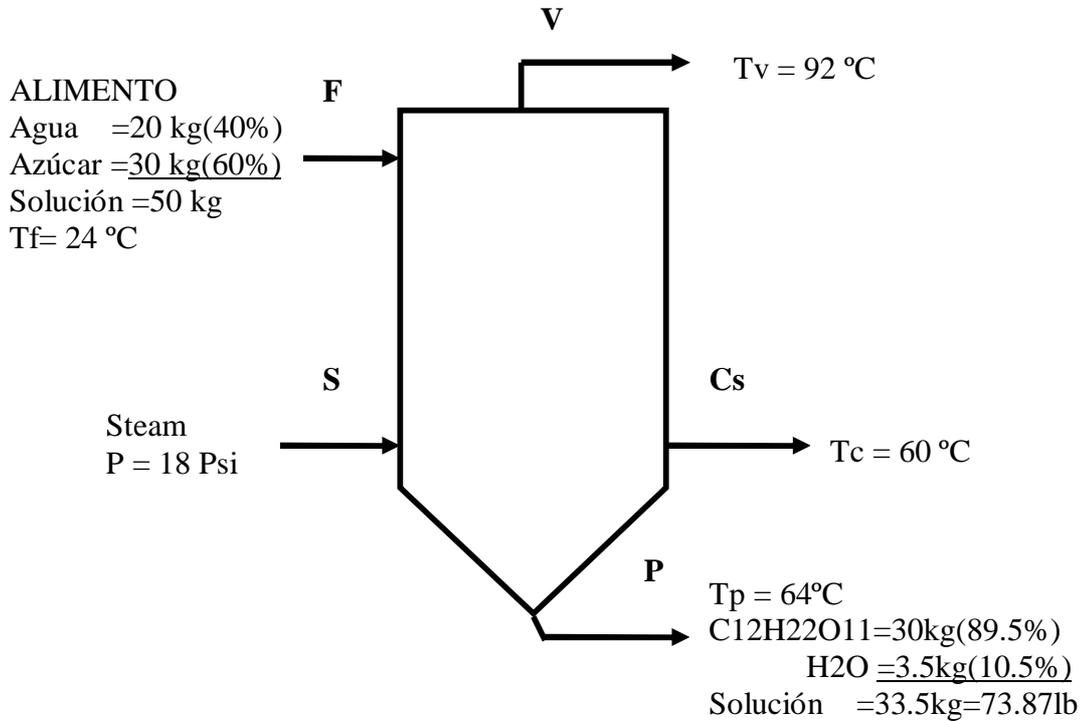
Cantidad de calor ganado por la solución

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

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

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

SEGUNDA PRUEBA CON AZÚCAR



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

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

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

$$F_h + S_h = V_h + P_h + S_{hc}$$

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

DATOS PARA CÁLCULO

$$\begin{aligned} T_f &= 24 \text{ }^\circ\text{C} \sim 75.2 \text{ }^\circ\text{F} \\ T_p &= 64 \text{ }^\circ\text{C} \sim 147.2 \text{ }^\circ\text{F} \\ T_v &= 92 \text{ }^\circ\text{C} \sim 197.6 \text{ }^\circ\text{F} \\ T_c &= 60 \text{ }^\circ\text{C} \sim 140 \text{ }^\circ\text{F} \\ P. \text{ abs.} &= 18 \text{ Psi} + 14.7 = 32.7 \text{ Psia} \end{aligned}$$

TABLA DE VAPOR

$T_f = 75.2^\circ\text{F}$	$h_f =$	43.03 Btu/lb
$T_p = 147.2^\circ\text{F}$	$h_p =$	114.89 Btu/lb
$T_v = 197.6^\circ\text{F}$	$h_v =$	1444.9 Btu/lb
$T_c = 140^\circ\text{F}$	$h_c =$	107.89 Btu/lb
$P. \text{ abs.} = 32.7 \text{ Psia}$	$H =$	1165.7 Btu/lb

Entonces reemplazando

$$S = \frac{36.382 \text{ lb}(1444.9 \text{ Btu/lb}) + 73.868 \text{ lb}(114.89 \text{ Btu/lb}) - 110.25 \text{ lb}(43.03 \text{ Btu/lb})}{1165.7 \text{ Btu/lb} - 107.89 \text{ Btu/lb}}$$

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

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

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

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

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

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

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

Cantidad de calor cedido por el Steam

$$Q = S\lambda$$

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

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

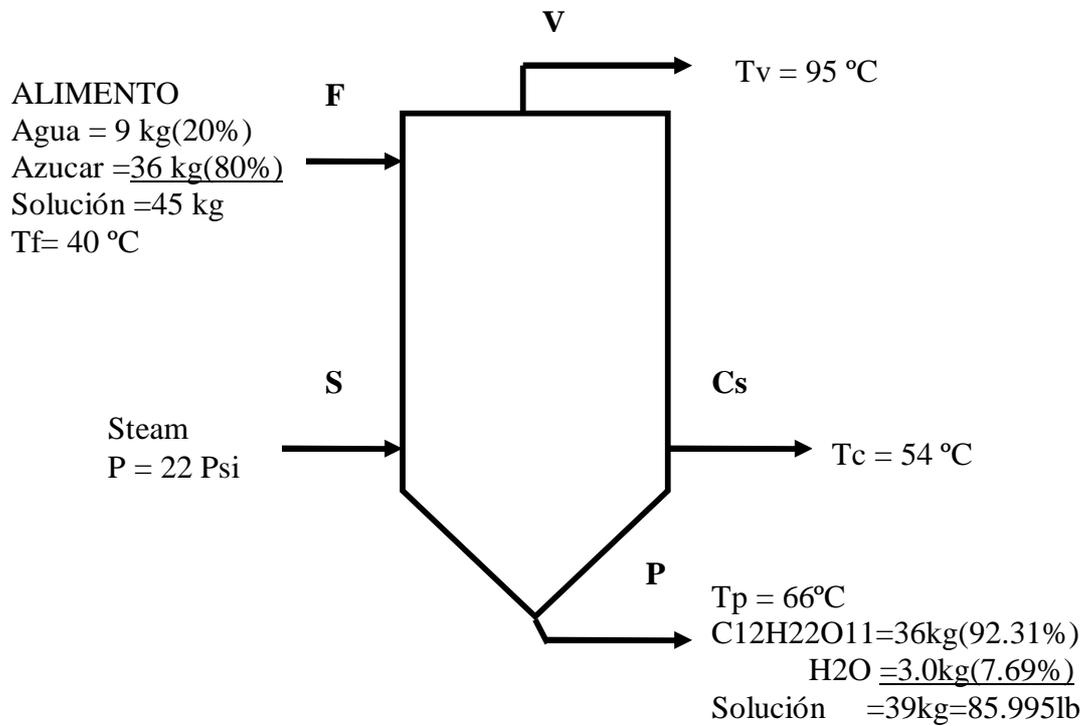
Cantidad de calor ganado por la solución

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

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

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

TERCERA PRUEBA CON AZÚCAR



BALANCE DE MATERIA

BASE DE CALCULO : 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

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

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

$$F_{hf}+SH=V_{hv}+P_{hp}+S_{hc}$$

$$S = \frac{V_{hv}+P_{hp}-F_{hf}}{H-hc}$$

DATOS PARA CÁLCULO

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

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

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

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

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

TABLA DE VAPOR

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

Entonces reemplazando

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.7 CALCULOS DE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL TABLAS DE RESULTADOS

PRACTICA DE BÓRAX

INFORME TECNICO	PRACTICA #1	PRACTICA # 2	PRACTICA # 3
SOLUCION INICIAL	56 kg	50 kg	50 kg
CONCENTRACION INICIAL	16.1 %	40 %	25 %
PRODUCTO	11.4 kg	21.8 kg	15 kg
CONCENTRACION FINAL	78.95 %	91.74 %	83.33 %
CANTIDAD DE VAPOR	44.6 kg	28.2 kg	35 kg
CANTIDAD DE STEAM	49.45 kg	31.4 kg	38.93 kg
CALOR GANADO	11779.99BTU	11113.2BTU	11708.55BTU
CALOR CEDIDO	103076.96BTU	65186.97BTU	80836.76BTU
EFICIENCIA	90.19 %	89.81 %	89.55 %

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

CAPITULO # VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADO

Analizando la información recopilada procedente del diseño y construcción de la unidad batch, éste equipo tiene una resistencia de presión hasta de 80 Psi como tope máximo, también se fijó que en los cálculos se obtuvo un volumen disponible de 84.32 lt.

La velocidad de agitación debe ser lenta, por lo cual se tuvo que reducir la velocidad máxima del motor que es de 1140 rpm a un rango de (37 – 228) rpm calculada por intermedio del sistema de transmisión de potencia (banda- polea). Este rango de revolución es lo aconsejable para trabajar con las características de las sustancias a emplear.

Luego de examinar la materia prima que se empleó para la práctica se pudo realizar los cálculos de balance de materia y energía tomando en cuenta que en las tres prácticas se trabajó con diversos volúmenes y concentraciones como en el caso del bórax, la primera fue de 56 Kg. de solución al 16.1 % y en la segunda 50 Kg. de solución al 40 % y en la última 50 Kg. con un 25 % de concentración, se obtuvo un rendimiento del producto cristalizado como son del 78.95 %; 91.74 % y de 83.33 % de concentración de bórax respectivamente de este modo observamos que lo mejor es trabajar con una concentración del 25-40 %, para así obtener una alta eficiencia.

Analizando la cantidad de vapor consumido y tomando en consideración el tiempo de trabajo se pudo observar que en la primera práctica se trabajó 110 min. con un consumo de 49.45 Kg. de vapor y una eficiencia de 90.19 %, en el segundo con un tiempo de trabajo de 90 min. y se obtuvo 28.2 Kg. de consumo de vapor, eficiencia 89.81 % y por consiguiente el último se trabajó a 90 min. obteniendo un consumo 38.93 Kg. con una eficiencia del 89.85 %; esto nos da a conocer que en la primera prueba tiene una mejor eficiencia; pero el tiempo de trabajo y el consumo de energía es mayor que las otras.

Para la tabla de resultado de las pruebas de azúcar analizamos que al trabajar con una concentración inicial del 50 % - 60 % - 80 % de solución se puede observar que se llega a obtener un grado de pureza del 84.62 % - 89.55 % - 92.31 %, y un consumo de energía de 18 Kg. con 86.22 % de eficiencia, en la otra 16.49 Kg. de consumo con una eficiencia 84.78 % y la última 7.33 Kg. de consumo con una eficiencia del 81.85 %. Entonces lo mejor es trabajar con una solución del 80 % por que tiene un mayor rendimiento en la cristalización, pero se debe considerar que el punto de solubilidad del azúcar es del 60 al 80 %.

Por otro lado se observó que **no se puede calcular la velocidad de cristalización del bórax por que presenta variación en el tamaño de sus cristales**, en cambio el azúcar posee cristales finos y uniformes lo que hace más fácil calcular la velocidad de cristalización, calculadas éstas se observó que la velocidad de cristalización fluctúan entre 45.27 a 45.65 Kg./hr.

CAPITULO # VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El equipo de cristalización se lo pudo utilizar con diferentes tipos de materia prima, como por ejemplo en nuestro caso utilizamos azúcar y bórax a diferentes concentraciones teniendo en cuenta las propiedades físico químicas de las sustancias con que se trabajaron; ya que conociendo estas propiedades podemos determinar una base en la concentración, con la que se va a realizar las pruebas.

Se pudo observar que en la práctica se obtuvo diversos tamaños y formas de cristales de bórax como son: monocíclicos, tricíclicos, rómbicos entre otros. Mientras que en la práctica de azúcar obtuvimos cristales de tamaño y forma uniforme monoclinico.

No todas las sustancias se pueden trabajar en este equipo (cristalizador atmosférico); ya que se debe tener en cuenta que hay sustancias que se cristalizan al vacío, por que necesita conservar sus propiedades organolépticas, (como son color, olor, sabor, textura).

El azúcar tiene un alto grado de solubilidad, mientras que el bórax tiene poca solubilidad en el agua, debido a que si no hay una continua agitación precipita, esto nos puede ocasionar taponamiento en la tubería de descarga del producto; por lo tanto concluimos que lo mejor es trabajar con azúcar, por que no se forman incrustaciones como sucede con el bórax.

La velocidad de agitación debe ser lenta para lo cual se redujo la velocidad por intermedio de un sistema de transmisión de potencia (banda – polea) de 1140 a 37 rpm. para que el producto se mantenga homogéneo y para mantener la temperatura uniforme en el cristalizador.

Con el bórax trabajamos a diferentes concentraciones y nos dimos cuenta que lo ideal es trabajar con una concentración que esté entre 25 a 40 % ya que el punto máximo de solubilidad del bórax es del 40 % y se puede llegar a un mayor rendimiento, en cambio con el 16% e concentración observamos que tiene un menor rendimiento y mayor tiempo de trabajo y consumo de energía.

Cuando se trabajo con azúcar mientras mayor fue la concentración, menor fue el tiempo de trabajo y el consumo de energía; no se presentaron problemas de incrustaciones, ni con la descarga del producto.

RECOMENDACIONES

Para el buen funcionamiento del cristizador se recomienda lo siguiente:

- Escoger el material para la construcción del cristizador con las características de la solución.
-
- Se debe de hacer la prueba de hermeticidad en la camisa de vapor pasando aire comprimido o vapor lentamente, para detectar posibles fugas.
- Se recomienda que al término de cada prueba se limpie bien la cámara del cristizador, para no dejar ninguna sustancia que vaya a afectar la prueba siguiente; evitando así pérdidas de transferencia de calor y contaminación.
- Para evitar posibles derrames por una agitación violenta y para una mejor transferencia de calor se tiene que regular la velocidad de agitación de (37-228) rpm
- Se aconseja que en las prácticas de bórax se trabaje con concentraciones que no pasen del 40%, porque ocasionarían fallas durante el proceso de cristalización como es la obtención de cristales de diferentes tamaños formando incrustaciones, ocasionando taponamientos en la tubería de descarga, lo que provoca que la mezcla no sea homogénea y no se realice una buena transferencia de calor por lo tanto no se obtendría una buena cristalización.
- Antes de preparar la solución debemos conocer el punto máximo de saturación de cada sustancia que se va a preparar, por lo cual tenemos que recurrir a las tablas de solubilidad, para no tener problemas con ningún tipo de sustancia que no se pueda trabajar.

CAPITULO # IX

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS
ALAN S. FOUST

ELEMENTOS DE INGENIERÍA QUÍMICA
ANGEL VIAN Y JOAQUÍN OC

EVAPORACIÓN Y CRISTALIZACIÓN
DR. JOSÉ GONZÁLES DE TANAGO
EDITORIAL DOSSAT S.A.
MADRID 1954

MANUAL DE OPERACIONES DEL INGENIERO QUÍMICO
JHON PERRY TOMO I Y II
EDICION 1978

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA
WALTER L. BADGER
JULIO BANCHERO
AÑO 1981

OPERACIONES BÁSICAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA
GORGE BROW
AÑO 1955

ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGÍA QUÍMICA
RAYMOD E. KIRK
DONALD F. OTHMER
TOMO IX
EDICIÓN 1962

PRINCIPIO DE LOS PROCESOS QUÍMICOS
K.M. WATSON – R.A. RAGATZ
ESPAÑA
AÑO 1980

CALCULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
HIMENBLAW

CALCULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
FELDER

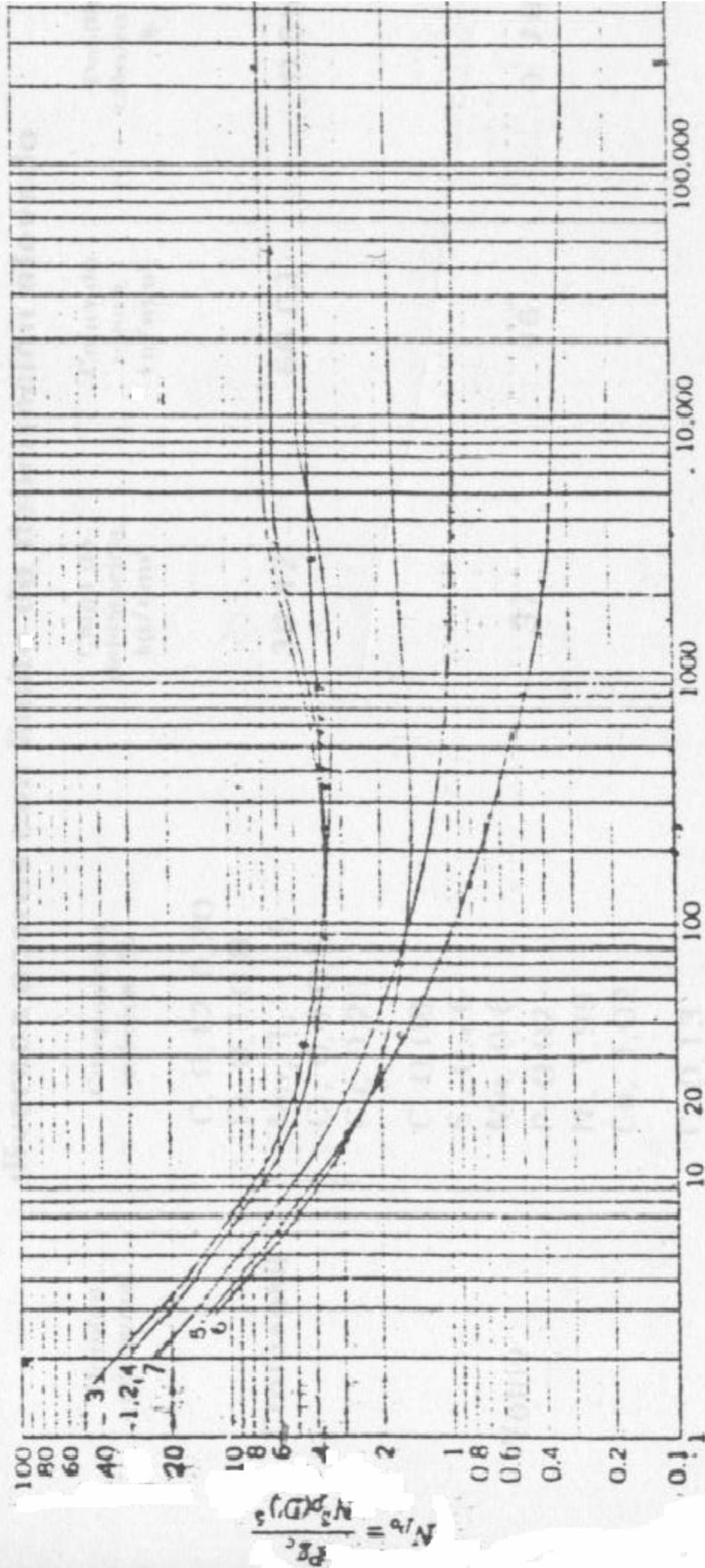
ELEMENTOS DE INGENIERÍA QUÍMICA
AGUILAR

MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN
E. PAÚL DE GARMO
EDITORIAL REVERTE – ARGENTINA
AÑO 1971

SOLDADURA Y METALURGIA
GUILLERMO FERNÁNDEZ F.
PRIMERA EDICIÓN MÉXICO D.F.
AÑO 1968

ANEXO 1

ANEXO 2



$$N_{Re} = \frac{N(D_1)^2}{\mu}$$

- D' = Diámetro del impulsor
- D_1 = Diámetro del tanque.
- w = Ancho del desviador
- z_1 = Elevación del impulsor.
- z_2 = Altura del líquido.

Paso = la distancia axial a la cual se podrá mover a través de un líquido que no es blando o dúctil, durante una revolución.

FIG. 20.26. Curvas de N_{p0} como una función del N_{Re} para varios sistemas tanque agitadores, flectores

ANEXO 3

ANEXOS

FOTO #1

CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CRISTALIZADOR FORMACIÓN DEL PRIMER ANILLO



CÁMARA DEL CRISTALIZADOR

FOTO # 2

FORMACIÓN DEL SEGUNDO ANILLO CAMISA DEL CRISTALIZADOR



EN LA MAQUINA ROLADORA

FOTO # 3

**UNIÓN DEL ANILLO CON EL CONO
(CAMISA DEL CRISTALIZADOR)**



FOTO # 4

VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DE ANCHO DE CAMISA DE VAPOR



FOTO # 5

**VISTA EXTERIOR
(DE LA CÁMARA Y LA CAMISA DEL CRISTALIZADOR)**



FOTO # 6

UNIÓN DE SOPORTES DEL EQUIPO



AQUÍ SE SOLDÓ LAS TRES BASES QUE NOS SIRVEN COMO SOPORTE PARA EL CRISTALIZADOR

FOTO #7
VISTA DEL SISTEMA BANDA- POLEA PARA LA
TRANSMISIÓN DE POTENCIA Y VELOCIDAD DEL MOTOR
ELÉCTRICO AL AGITADOR



FOTO # 8

VISTA SUPERIOR DEL DESMULTIPLICADOR DE VELOCIDADES

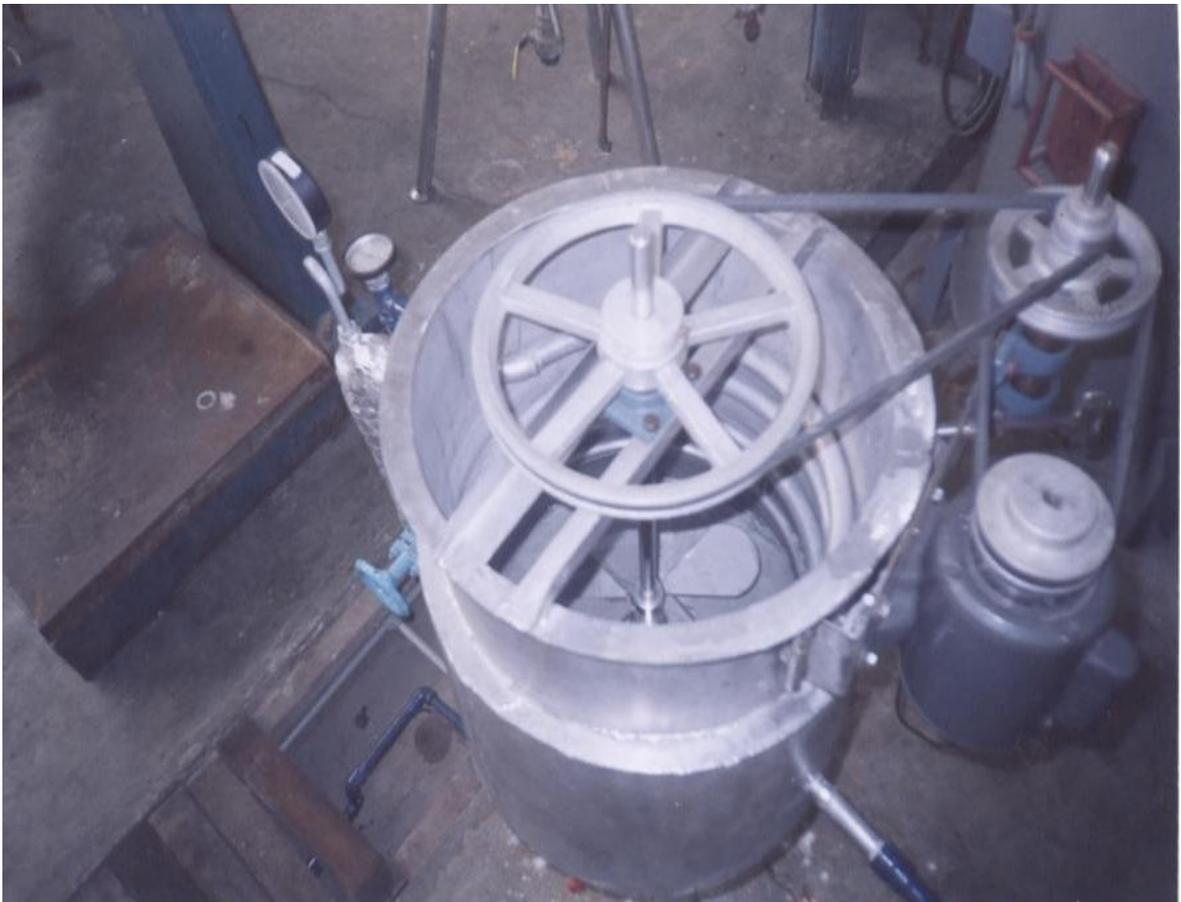


FOTO # 9
VISTA DE TUBERÍA ACCESORIOS Y SOPORTES PARA LA
LÍNEA DE VAPOR



FOTO # 10

**VISTA SUPERIOR DE LA AGITACIÓN EN LA PRIMERA
PRACTICA CON BÓRAX**

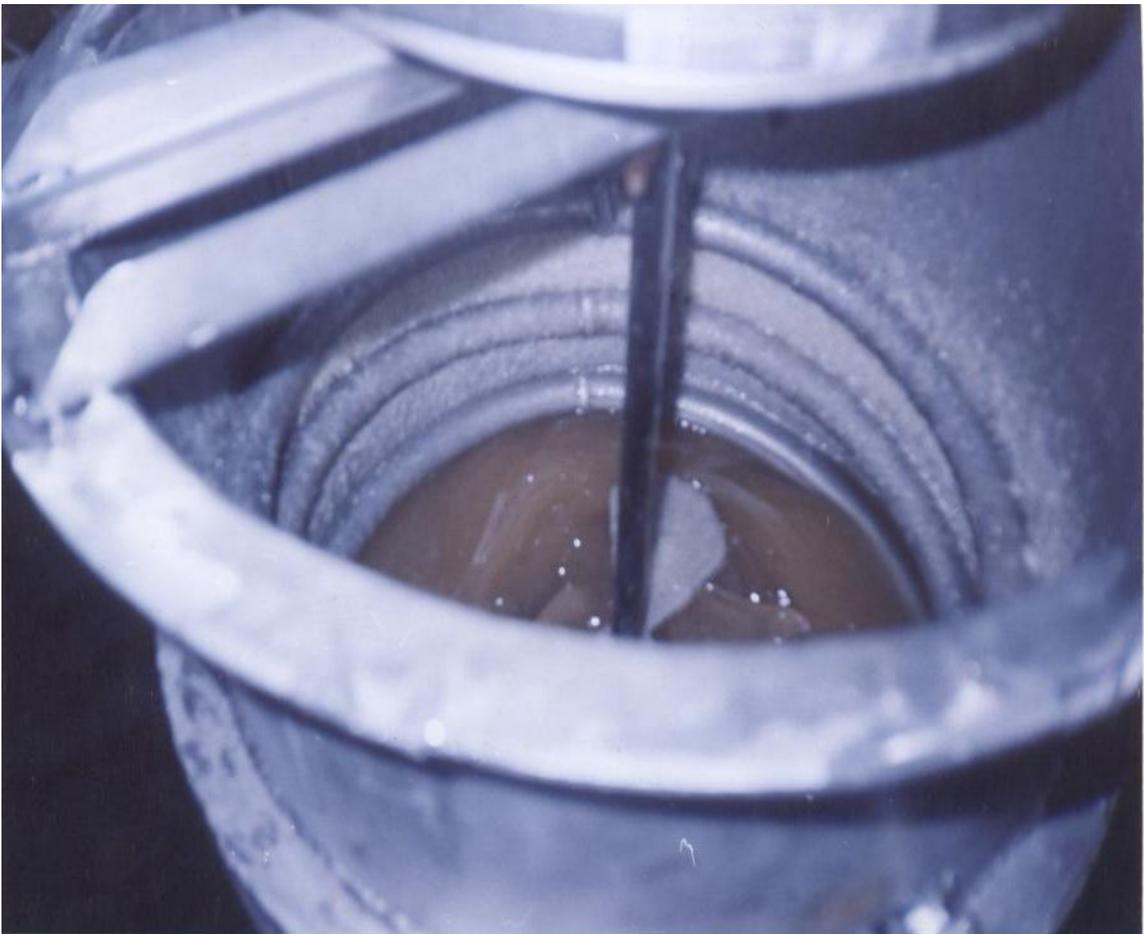


FOTO #11

**VISTA SUPERIOR DE LA PRIMERA PRACTICA CON
AZÚCAR**

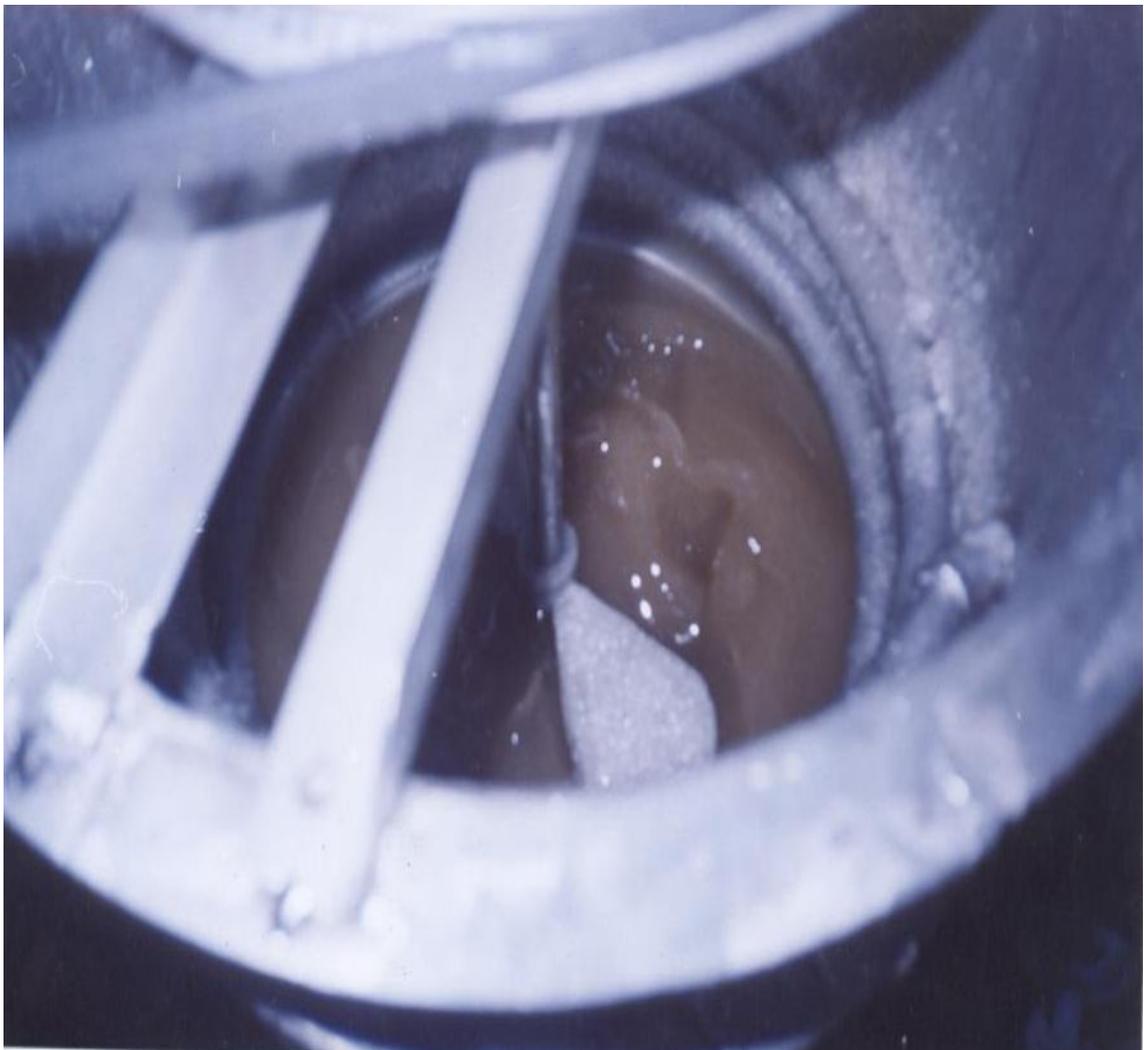
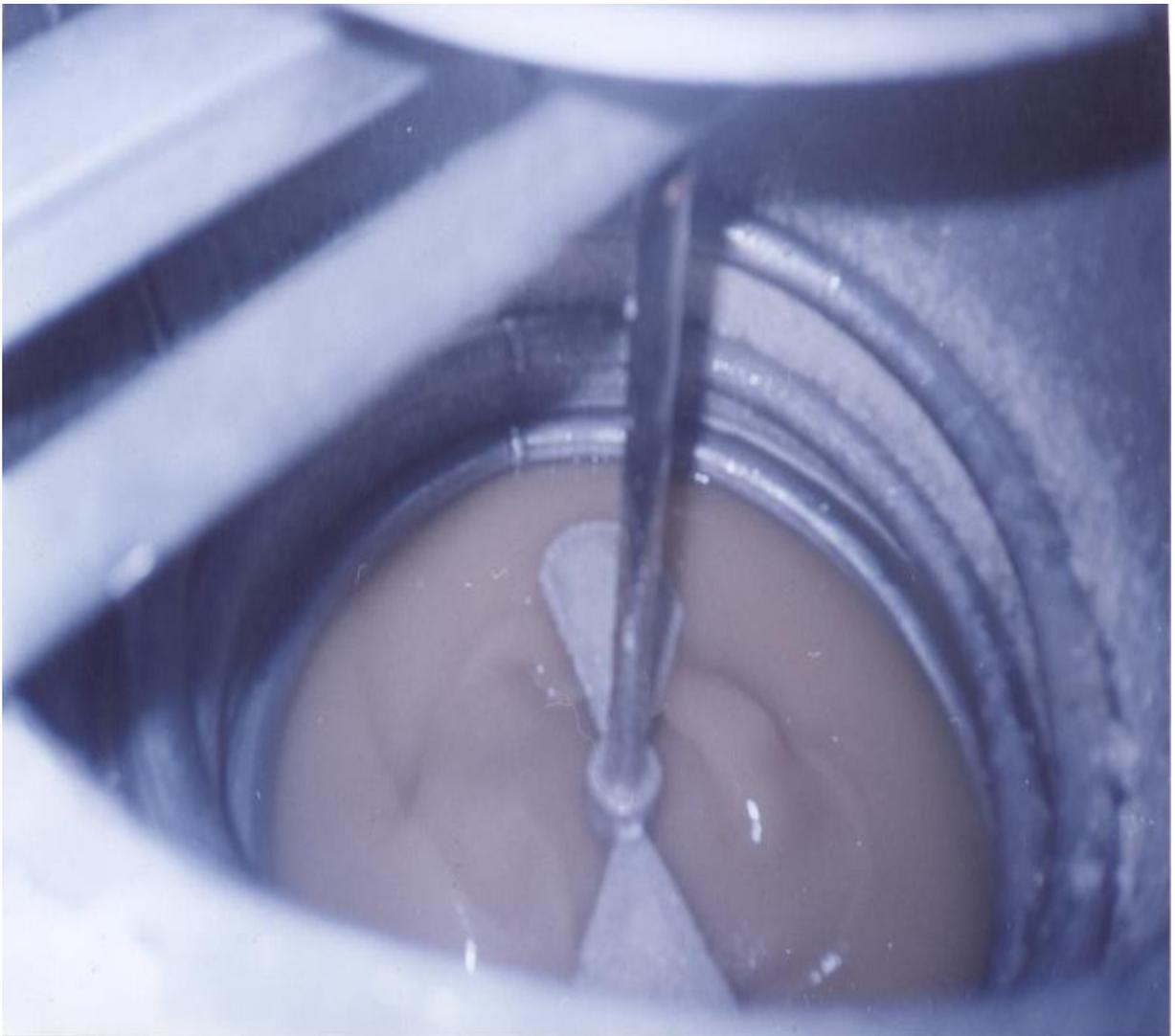


FOTO #12

**VISTA SUPERIOR DEL EQUIPO EN PRACTICA CUANDO
ENFRIAMOS LOS CRISTALES DE AZÚCAR**



ENFRIAMIENTO POR LOS SERPENTINES CRISTALIZACIÓN POR CHOQUE
TÉRMICO

FOTO #13

MUESTRA DEL PRODUCTO CRISTALIZADO



PRIMERA PRACTICA DE BORAX

FOTO #14

CULMINACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE TESIS

