

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Comparación de Condiciones Operativas
de un Sistema de Cristalización Batch y Continuo

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

Por la Modalidad de Actualización
de Conocimientos

PRESENTADO POR:

Miguel Angel San Miguel Chuquimia

LIMA - PERÙ

2003

**Quiero dedicar este trabajo a las cinco
Mujeres más importantes de mi vida**

**A mi madre por haberme dado la
Oportunidad de ser alguien en la vida**

**A mi abuela y hermana por ser siempre
Muy consideradas.**

**A mi amada esposa por ser siempre mi
apoyo incondicional y**

**A mi adorada hija por ser siempre la luz
de Superación.**

INDICE

- 1. Introducción.**
- 2. Cristalización**
 - 2.1. Definiciones
 - 2.2. Tipos de Cristalización.
 - 2.3. Tipos de Cristalizadores.
 - 2.3.1. Cristalizadores Discontinuos.
 - 2.3.2. Cristalizadores al Vacío.
 - 2.3.3. Cristalizadores Continuos.
- 3. Operación de un Cristalizador Discontinuo**
 - 3.1 Diagrama de Flujo.
 - 3.2. Operación del Sistema de Cristalización Batch.
- 4. Selección de Equipos para el Sistema de Cristalización Continua.**
 - 4.1. Diagrama de Flujo.
 - 4.2 Selección de Equipos.
 - 4.2.1. Selección de un Intercambiador de Calor.
 - 4.2.2. Selección de Bomba de Reciclo.
 - 4.2.3. Selección de Bomba de Vacío.
 - 4.2.4. Selección de Bomba para la Descarga de Magma
 - 4.2.5. Selección de un Cristalizador.
- 5. Operación de un Cristalizador Continuo.**
 - 5.1. Diagrama de Flujo.
 - 5.2. Ejemplo de Balance de Masa para el Sistema propuesto.
 - 5.3. Manual de Operación.
 - 5.4. Manual de Lavado.
 - 5.5. Solución a problemas durante la Operación.
 - a. Problema de Vacío.
 - b. Problema de Vapor.
 - c. Problema de Alimentación.
 - d. Problema de Descarga.

- e. Problema de Bomba de Reciclo.
- f. Problema de corte de Energía Eléctrica Total.

6. Conclusiones y Recomendaciones.

7. Bibliografía.

8. Anexos.

- 8.1. Modelo de formato de Control para un Sistema de Cristalización Batch.
- 8.2. Modelo de formato de Control para un Sistema de Cristalización Continua.
- 8.3. Designación de Tipo TEMA para Intercambiadores de Calor de Coraza y Tubos.

RESUMEN

El presente trabajo trata de ser un aporte basado en la experiencia en los procesos de cristalización al vacío Batch y Continuo para aquellos nuevos ingenieros que incursionan en dicho campo.

El aporte consiste en la elaboración de manuales de operación que permiten mediante una secuencia lógica de operaciones para poder iniciar y controlar los procesos de cristalización Batch y Continuo, establecer las diferentes operaciones, la diferencia de los equipos empleados en ambos casos, y una guía para la solución de problemas que se pudieran presentar en el desarrollo del proceso, y así para poder garantizar la continuidad de las operaciones en la planta, la calidad del producto y minimizar las pérdidas para la empresa.

1 INTRODUCCIÓN

La Cristalización es una importante operación en la industria química, como método de purificación y obtención de materiales cristalinos de diferentes tamaños que permiten su comercialización.

La utilización se debe a la alta pureza obtenida a partir de soluciones impuras. Es una etapa simple de procesamiento donde los requisitos de energía son mucho menores que la destilación u otros métodos de purificación que se utilizan. Además, se pueden realizar a temperaturas relativamente bajas y a una escala de producción que puede variar de unos cuantos gramos hasta miles de toneladas al día.

2 CRISTALIZACION

2.1 Definiciones:

a.- Magma: En la cristalización industrial la mezcla bifásica formada por las aguas madres y los cristales de todos los tamaños, contenida en un cristizador y que se saca como producto, recibe el nombre de magma.

b.- Cristal : Se define a un sólido que se compone de átomos, moléculas o iones en una configuración ordenada y repetitiva.

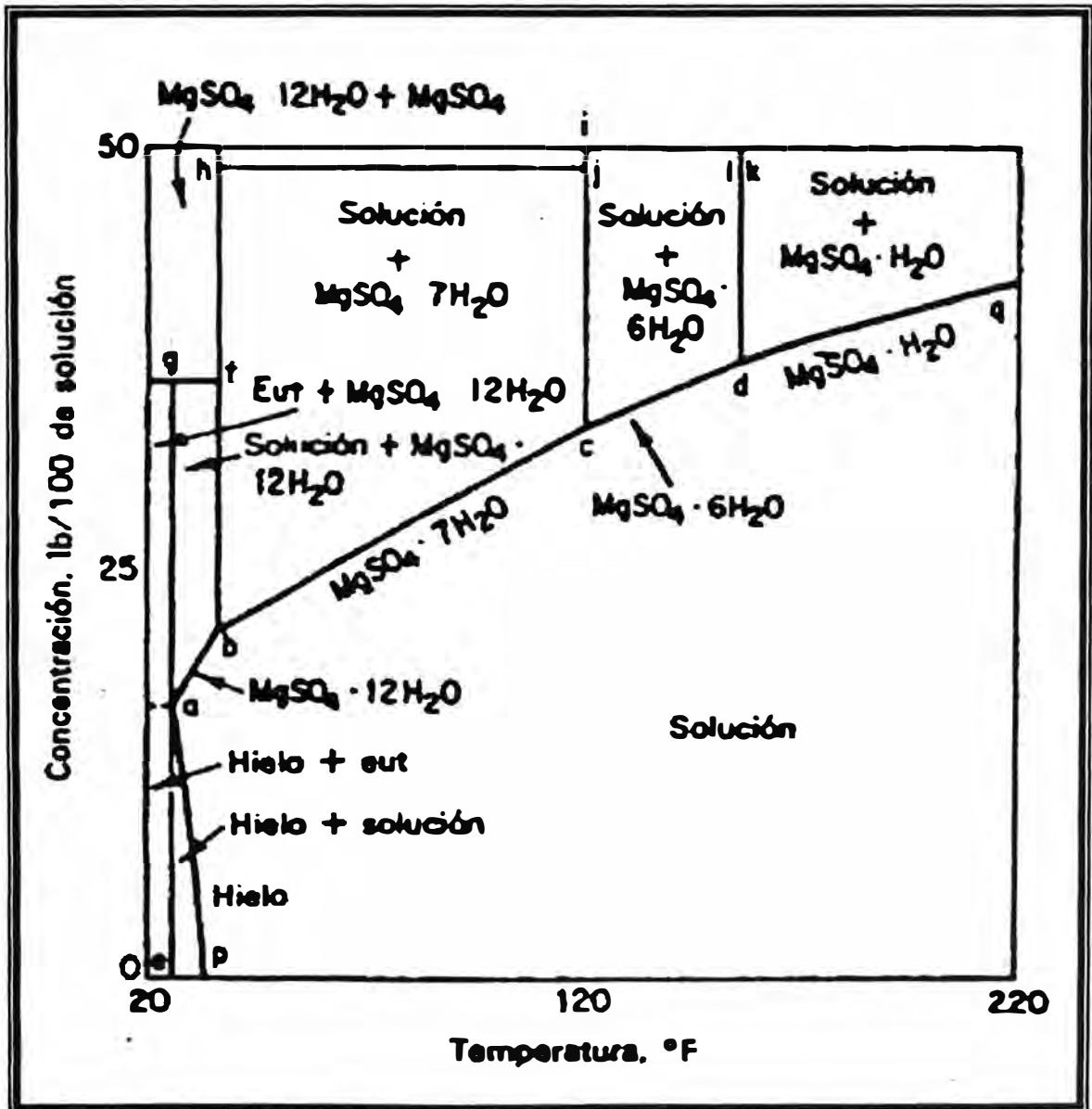
A consecuencia de esta disposición de las partículas, cuando los cristales se pueden formar sin la interferencia de otros cristales o cuerpos extraños, se presentan como poliedros con vértices agudos y caras planas donde los tamaños relativos de las caras y las distancias entre vértices de distintos cristales del mismo material pueden ser muy diferentes, los ángulos formados por las caras correspondientes de todos los cristales del mismo material son iguales y característicos del material.

En base a estos ángulos se pueden clasificar los cristales como: Cúbico, hexagonal, trigonal, tetragonal, ortorrómbico, monoclinico y triclinico.

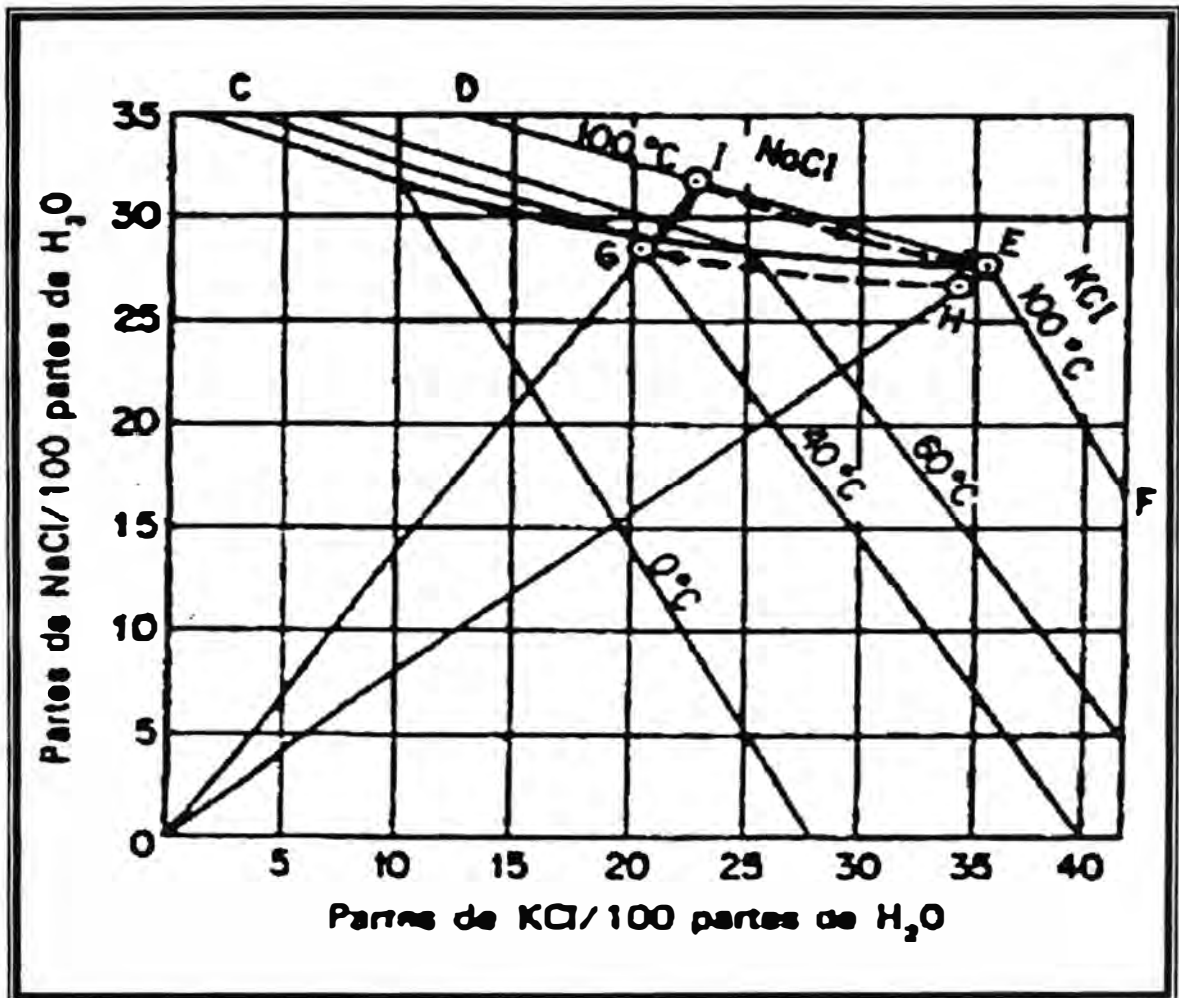
Un determinado material puede cristalizar en dos o más sistemas diferentes dependiendo de las condiciones de cristalización. El carbonato de calcio se presenta con mayor frecuencia en la naturaleza en la forma hexagonal (Calcita), pero también cristaliza en la forma ortorrómbica (Aragonito).

c.- Diagramas de Fase y Solubilidad: Las relaciones de equilibrio para los sistemas de cristalización se expresan como datos de solubilidad, que se trazan como diagramas de fase o curvas de solubilidad. Por lo común, la solubilidad se expresa como partes en peso de material anhidro por cada 100 partes en peso de disolvente total.

La concentración se traza en función de la temperatura. Se puede dar en función de la presión, pero para la mayoría de los materiales, el cambio de solubilidad al cambiar la presión es muy pequeño.



Si hay dos componentes en solución, es común trazar la concentración de los dos en los ejes X e Y y se representa la solubilidad por medio de diversas isotermas.



Los datos de solubilidad en las bibliografías deben usarse con cuidado, por que la solubilidad de los compuestos se ve afectada por el pH o por la presencia de

impurezas solubles que disminuyen la solubilidad de los constituyentes principales.

d.- Pureza del Producto : Un cristal perfectamente formado es puro, pero cuando es retirado del magma final retiene aguas madres por quedar ocluidas en el interior de la masa de sólidos. Cuando las aguas madres retenidas se secan sobre el producto, se produce una contaminación que depende de la cantidad y el grado de impurezas de las aguas madres retenidas por los cristales.

e.- Crecimiento y Propiedades de los Cristales

La cristalización se lleva a cabo normalmente a partir de una disolución o de una sustancia en estado de fusión, pero también algunas veces se forman cristales por condensación desde la fase vapor. Los cristales pueden también formarse a partir de disoluciones en reacción que produzcan y depositen material en forma simultánea, como la cristalización hidrotérmica del cuarzo. El proceso de Cristalización consta esencialmente de dos etapas, que generalmente tienen lugar simultáneamente pero que en parte pueden controlarse de forma independiente. La primera etapa consiste en la formación de pequeñas partículas o núcleos y la segunda etapa consiste en el crecimiento de dichos núcleos. Si el número de núcleos puede controlarse, puede regularse el tamaño de los cristales formados, siendo ésta una de las características más importantes del proceso de cristalización.

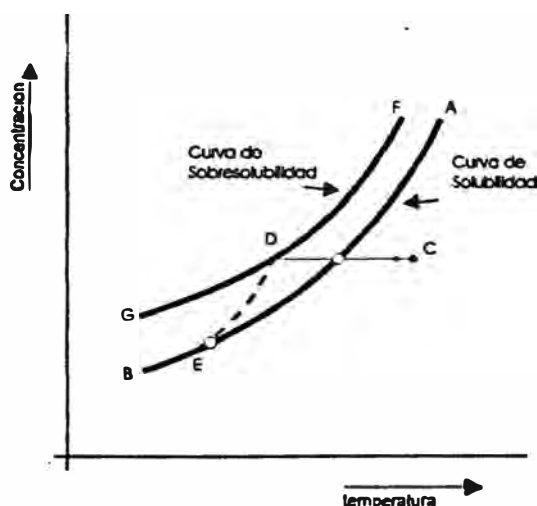
En un cristalizador la distribución de tamaño del cristal está determinada por la interacción de las velocidades de nucleación y crecimiento, y el proceso global es cinéticamente complicado.

El potencial impulsor para ambas velocidades es la sobresaturación, y en una disolución no saturada o saturada no puede ocurrir la nucleación o el crecimiento.

f.- Sobresaturación : La sobresaturación es la diferencia de concentración entre la disolución sobresaturada en la que el cristal está creciendo y la de la disolución en equilibrio con el cristal. La sobresaturación puede generarse por uno o más de tres métodos. Si la solubilidad del soluto aumenta fuertemente con la temperatura, como ocurre en el caso de muchas sales inorgánicas y de sustancias orgánicas, una disolución saturada se transforma en sobresaturada por simple enfriamiento y con reducción de la temperatura. Si la solubilidad es relativamente independiente de la temperatura, como en el caso de la sal común, una disolución sobresaturada se puede generar por evaporación de una parte del disolvente. Si no es deseable el enfriamiento y la evaporación,

como cuando la solubilidad es muy elevada, la sobresaturación se puede generar mediante la adición de un tercer componente. El tercer componente puede actuar físicamente mediante la formación, con el disolvente original, de una mezcla de disolventes en la que la solubilidad del soluto se reduce bruscamente. Si se requiere una precipitación prácticamente completa, se puede crear un nuevo soluto químicamente añadiendo un tercer componente que reacciona con el soluto original y forma una sustancia insoluble (este proceso se llama precipitación).

Se presenta una gráfica de la “Teoría de Miers de Sobresaturación” (cap. 11, referencia bibliográfica “a”):



La curva AB es la curva ordinaria de solubilidad (equilibrio) y representa la máxima concentración de las soluciones que pueden obtenerse poniendo soluto sólido en equilibrio con el disolvente. También representa el último límite hacia el que tiende la cristalización que procede de la solución sobresaturada. Si una muestra de material que tenga la composición y la temperatura del punto “C” se enfría en la dirección indicada por la flecha, cruza primeramente por la curva de solubilidad y podría suponerse que aquí empezaría a cristalizar. Si se comienza con soluciones puras, libres de toda partícula sólida, no solamente del cuerpo a cristalizar, sino de cualquier partícula extraña, la solución no empezará a cristalizar hasta que se haya subenfriado considerablemente hasta pasar la curva AB. Algún tiempo después

en la proximidades del punto “D” comienza la cristalización y la concentración de la sustancia sigue aproximadamente la curva DE.

En ausencia de cualquier partícula sólida, la curva FG (llamada de sobresaturación) representa el límite en el que la formación de núcleos comienza espontáneamente y en consecuencia es el punto en que la cristalización puede comenzar. El área entre las curvas AB y FG se conoce como la **región metastable**, donde originalmente MIERS y otros sugirieron que no existía nucleación, pero hoy en día se sabe que esto no es cierto. Prácticamente se ha encontrado que cuanto mayor es el grado de sobresaturación (en otras palabras cuanto más se desplaza la composición de la solución de C a D), tanto mayor es la probabilidad de formación de núcleos y tanto más rápido el crecimiento de cualquier núcleo. Si se piensa llevar a cabo un proceso de cristalización controlado, es necesario trabajar dentro del rango metastable.

g.- Nucleación: La velocidad de nucleación es el número de nuevas partículas formadas por unidad de tiempo y unidad de volumen de magma o de aguas madres exentas de sólidos. Esta magnitud es el primer parámetro cinético que controla la distribución de tamaño de cristales.

Los núcleos pueden formarse espontáneamente si las condiciones son adecuadas, pero en muchos casos pueden añadirse pequeños cristales de siembra, y las pequeñas cantidades de impurezas pueden también actuar como núcleos. El estudio de nucleación es en la mayoría de los casos difícil, debido que la nucleación y el crecimiento tienen lugar simultáneamente.

Se tiene la siguiente ecuación (cap. 28, referencia bibliográfica “g”).

$$B^{\circ} = 10^{25} \exp \left\{ \frac{16V_m^2 N_a \sigma^3}{3(RT)^3 v^2 S^2} \right\}$$

- B° = Velocidad de nucleación, número/cm³-s
 N_a = Constante de Avogadro, $6.0222 \cdot 10^{23}$ moléculas / mol-g
 R = Constante de gases, $8.3143 \cdot 10^7$ ergios / mol-g-° K
 V_m = Volumen molar del cristal, pie³ / lb-mol o cm³ / g-mol
 T = Temperatura en grados Kelvin
 v = Número de iones por molécula de soluto
 σ = Tensión interfacial aparente entre núcleo y catalizador, ergios/cm²
 S = Sobresaturación fraccional

h.- Crecimiento de los Cristales: El crecimiento de los cristales es un proceso difusional modificado por el efecto de las superficies sólidas sobre las que tiene lugar el crecimiento. Las moléculas o iones del soluto alcanzan las caras en crecimiento de un cristal por difusión a través de la fase líquida. Una vez que las moléculas o iones llegan a la superficie tienen que ser aceptadas por el cristal y organizarse dentro de la red. La reacción ocurre en la superficie con una velocidad finita y el proceso global consta de dos etapas en serie. Ninguna de las dos etapas, la difusional y la interfacial, tiene lugar si la disolución no está sobresaturada.

i.- Velocidad de Crecimiento de la cara de un Cristal: Es la distancia que se desplaza en una dirección perpendicular a la cara por unidad de tiempo. Las distintas caras pueden tener diferentes velocidades de crecimiento, que se pueden alternar selectivamente añadiendo o eliminando impurezas. En la práctica, la mayoría de materiales pueden crecer a velocidades medibles con niveles muchos más bajos de sobresaturación, y esto se puede explicar por la presencia de defectos (dislocaciones) que se encuentran presentes casi siempre en los cristales reales.

j.- Ley de Delta L: Mc Cabe demostró que todos los cristales geoméricamente similares, del mismo material, suspendidos en la misma solución, crecen con la misma velocidad, si se mide el crecimiento como

incremento de la longitud de distancias que corresponden geoméricamente en todos los cristales. Si ΔL es el aumento de la dimensión lineal de un cristal, será al mismo tiempo igual que el aumento dimensional correspondiente de cada uno de los otros cristales.

Matemáticamente esta ley se puede enunciar como sigue (cap. 17, referencia bibliográfica "c"):

$$\lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{dL}{dt} = G$$

En donde t = tiempo, h

L = diámetro del cristal, mm

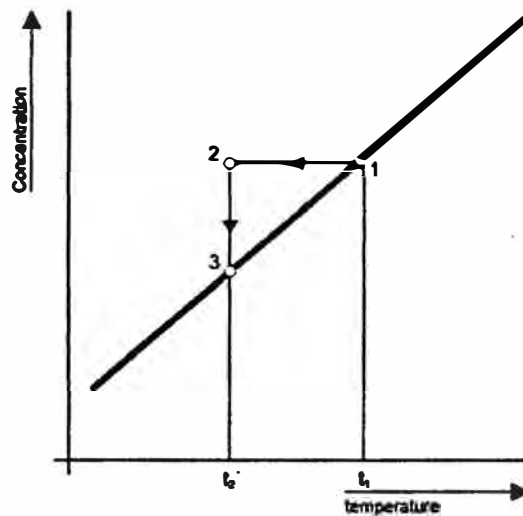
G = velocidad de crecimiento, mm/h

Esta ley es válida para muchos materiales, sobre todo cuando el tamaño de los cristales es inferior a la malla 50. Esta ley simplifica el cálculo en los procesos industriales.

2.2 Tipos de Cristalización

a.- Sobresaturación por enfriamiento: Este método puede utilizarse únicamente con aquellas sustancias que tienen una curva de solubilidad que desciende apreciablemente con la temperatura.

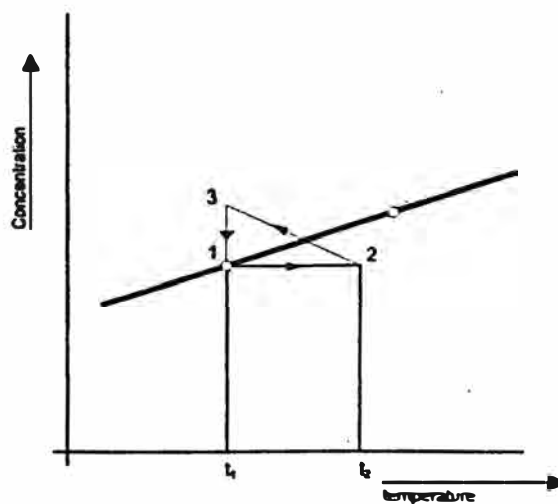
Este es el tipo normal de curva de solubilidad para la mayor parte de las sustancias y por lo tanto fue el primer método de cristalización que se empleó y que aún es muy usado.



Según el gráfico, la solución es enfriada de t_1 a t_2 . En el estado 2 la solución emitirá su supersaturación a través de la cristalización hasta que haya alcanzado en el punto 3 la concentración de saturación a t_2 .

b.- Sobresaturación por evaporación del disolvente: Encuentra su principal aplicación en la producción de la sal corriente, donde la curva de solubilidad es muy aplastada y el rendimiento en sólidos por enfriamiento sería despreciable.

Este procedimiento se utiliza también con sustancias diferentes del cloruro sódico, siempre que la curva de solubilidad de la sal no sea muy inclinada.



Según el gráfico, la solución sufre un incremento de temperatura de t_1 a t_2 . A lo largo de la línea 2-3 el solvente se evaporará y en la fase final la supersaturación se logra en el punto 3, donde a través de la cristalización se alcanza la concentración de saturación.

c.- Sobresaturación por evaporación adiabática (enfriamiento más evaporación)

Es el método más importante para la producción en gran escala.

Si una disolución caliente se introduce en un recinto que tenga una presión total menor que la presión de vapor del disolvente a la temperatura a que se introduce, el disolvente se evaporará (evaporación relámpago), y la rápida evaporación producirá un enfriamiento adiabático.

La combinación de la evaporación y el enfriamiento, produce la supersaturación deseada.

2.3. Tipos de Cristalizadores.

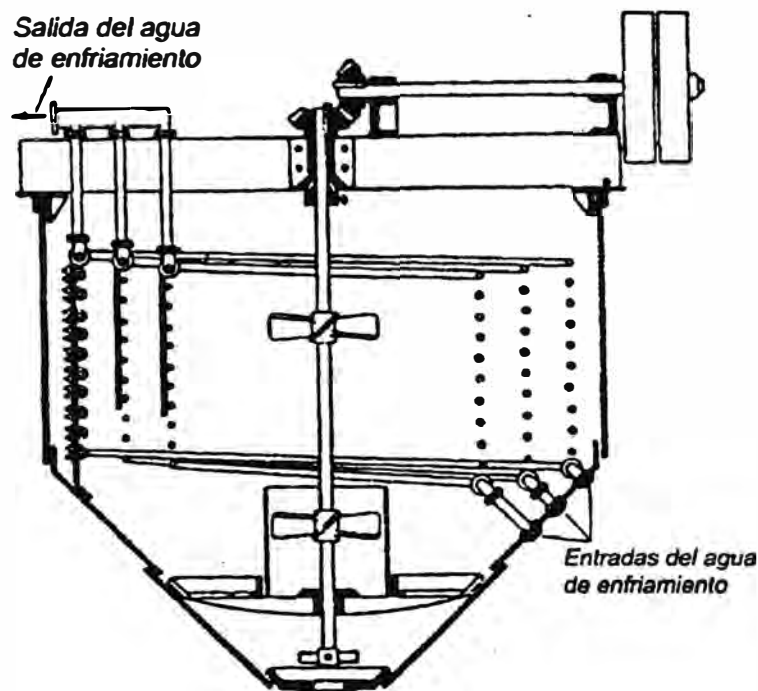
2.3.1. Cristalizadores Discontinuos.

- a. **Depósitos de Cristalización:** Durante muchos años, para producir cristales se preparaban en soluciones calientes casi saturadas, que luego eran depositadas en tanques abiertos de forma rectangular, donde la solución permanecía mientras se enfriaba y se depositaban los cristales.
- b. **Cristalizadores Discontinuos Agitados:** Consisten en tanques generalmente con el fondo cónico provistos de agitación y con serpentines de enfriamiento.

La agitación efectúa dos funciones: aumenta la cantidad de calor transmitido logrando que la temperatura de la solución sea casi uniforme, y permite poner los cristales en suspensión, donde tiene la oportunidad de crecer uniformemente.

Por ser la solubilidad menor sobre la superficie de los serpentines de enfriamiento, los cristales crecen más rápidamente sobre esa área, y pronto los serpentines se cubren rápidamente de una masa de cristales que disminuyen la velocidad de transmisión de calor.

A continuación, se presenta un gráfico de un cristalizador discontinuo con agitación (cap. 11, referencia bibliográfica "a"):



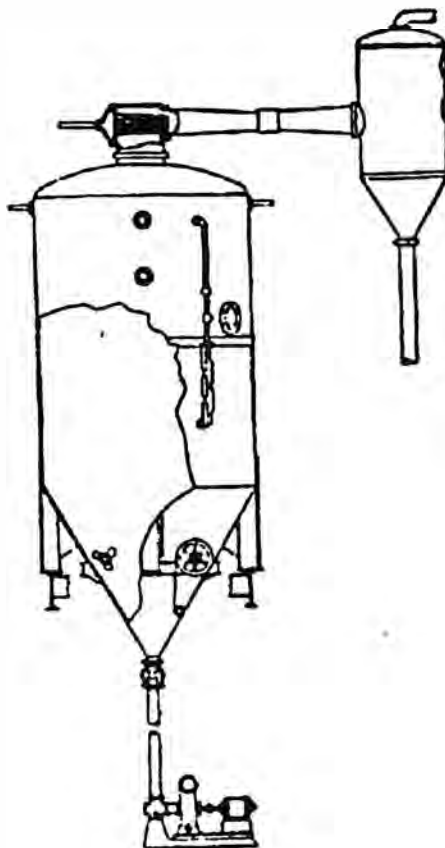
2.3.2. Cristalizadores al Vacío Continuos y Discontinuos:

En este tipo de cristalizadores la cristalización se logra por el método de sobresaturación adiabática.

No sólo el enfriamiento resultante origina la cristalización, sino que la evaporación que se produce al mismo tiempo aumenta la concentración.

La cristalización al vacío se usa ampliamente en la industria azucarera.

A continuación, se presenta un gráfico de un cristalizador al vacío (cap. 11, referencia bibliográfica "a"):



2.3.3. Cristalizadores Continuos.

a. **Cristalizador Swenson – Walker:** Es de tipo lineal y consiste en una larga artesa abierta, de 0,6 m de ancho, dividida en un cierto número de sesiones, cada una de las cuales puede refrigerarse independientemente, por medio del agua que se recircula por una chaqueta externa.

La solución caliente y concentrada se carga continuamente por un extremo del cristalizador y fluye lentamente hacia el otro extremo, mientras está enfriando.

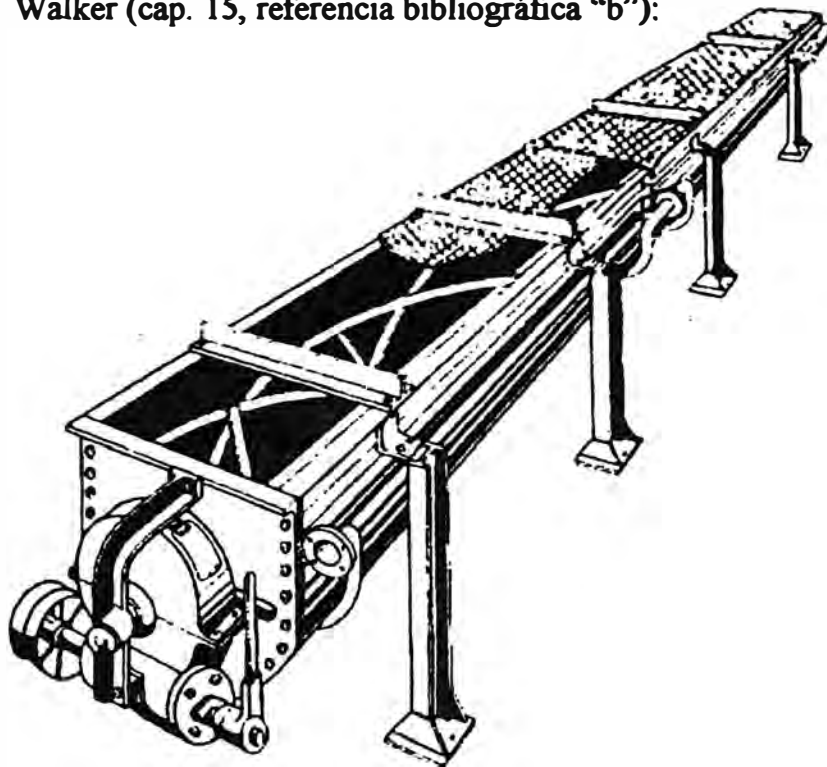
El agitador tiene como función el raspar los cristales que quedan sobre las superficies frías y vertirlos sobre la solución.

La precipitación tiene lugar por el crecimiento de los cristales ya formados mas bien que por la formación de nuevos núcleos.

Este cristalizador es adecuado únicamente cuando la sobresaturación puede conseguirse por medio del enfriamiento. Proporciona cristales

uniformes, pero el movimiento de agitador causa una cierta rotura de los mismos.

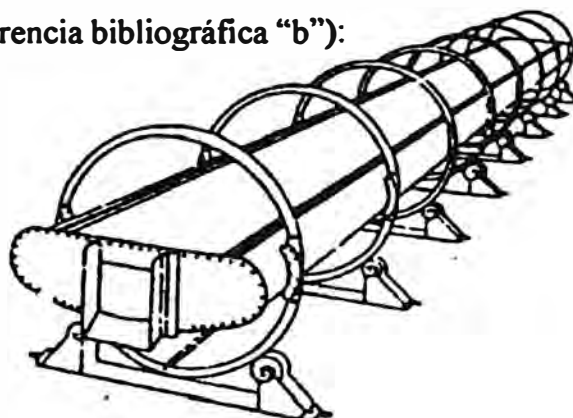
A continuación se presenta un gráfico de un cristizador Swenson – Walker (cap. 15, referencia bibliográfica “b”):



b. Cristizador Wullff – Bock: Presenta características similares al Swenson – Walker, pero está basado en el enfriamiento por aire y da cristales más uniformes.

Este cristizador consiste en una artesca que se balancea lentamente de un lado a otro; unos deflectores transversales, situados de forma alternada en lados opuestos, evita la formación de olas.

A continuación se presenta un gráfico de una cristizador Wullff – Bock (cap. 15, referencia bibliográfica “b”):



c. Cristalizador de Tubo Doble o Votador: Es un cristalizador por enfriamiento, donde el medio refrigerante fluye por un conducto anular y la solución que se quiere someter a cristalización pasa a través del pequeño espacio comprendido entre la superficie de transferencia de calor y un eje que transporta las palas de rascado.

Este equipo es adecuado para líquidos muy viscosos o sensibles al calor.

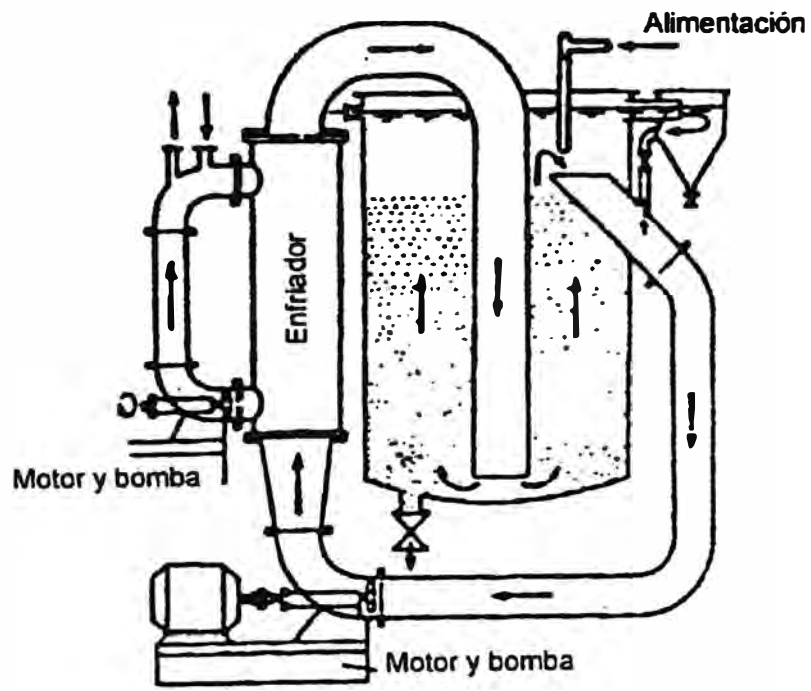
d. Cristalizador Kristal u Oslo: Se usa para obtener grandes cantidades de cristales de tamaño controlado.

El principio básico de este tipo de cristalizador es hacer circular una disolución sobresaturada hacia arriba a través de un lecho de cristales que son mantenidos en un estado de fluidización. De esta forma se consigue una temperatura uniforme y una clasificación de cristales por que los mayores se asientan contra la corriente, en tanto que los cristales finos y la solución saturada salen por la parte superior de la cama y se recirculan pasando por el enfriador donde se sobresaturan, introduciéndose de nuevo en el fono del cristalizador a través de una tubería central.

Algunos núcleos se forman espontáneamente en el lecho de cristales apareciendo algunos también como resultado de la rotura de cristales.

Estos núcleos recirculan con las aguas madres hasta que han crecido lo suficiente para ser retenidos en el lecho fluidizado. El producto final se retira por el fondo del cristalizador.

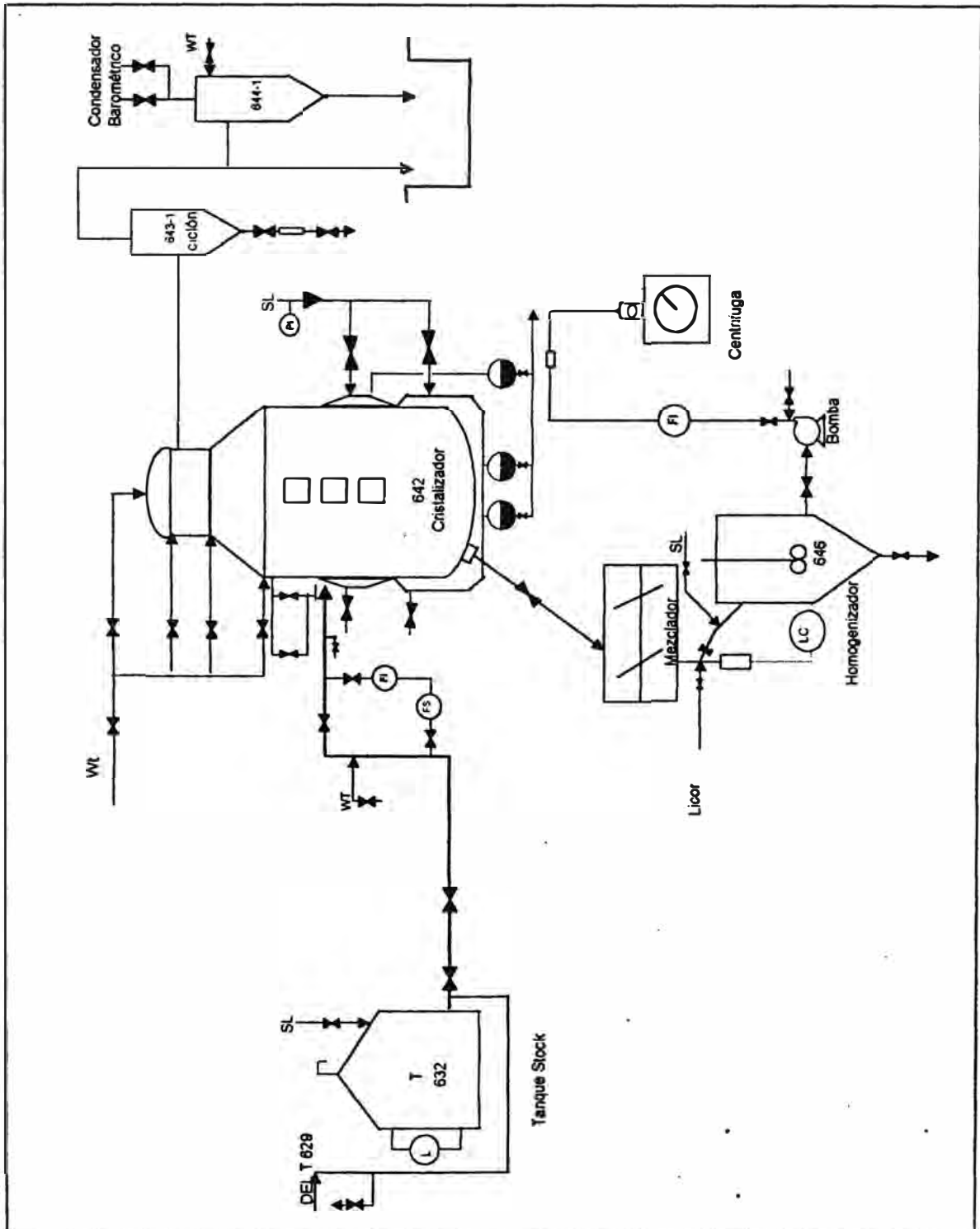
A continuación, se presenta un gráfico de un cristalizador Oslo, (cap. 15, referencia bibliográfica “b”).



3 OPERACIÓN DE UN CRISTALIZADOR DISCONTINUO

3.1. Diagrama de Flujo.

Se muestra el diagrama de flujo para un Sistema de Cristalización Batch:



3.2.- OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CRISTALIZACION BATCH

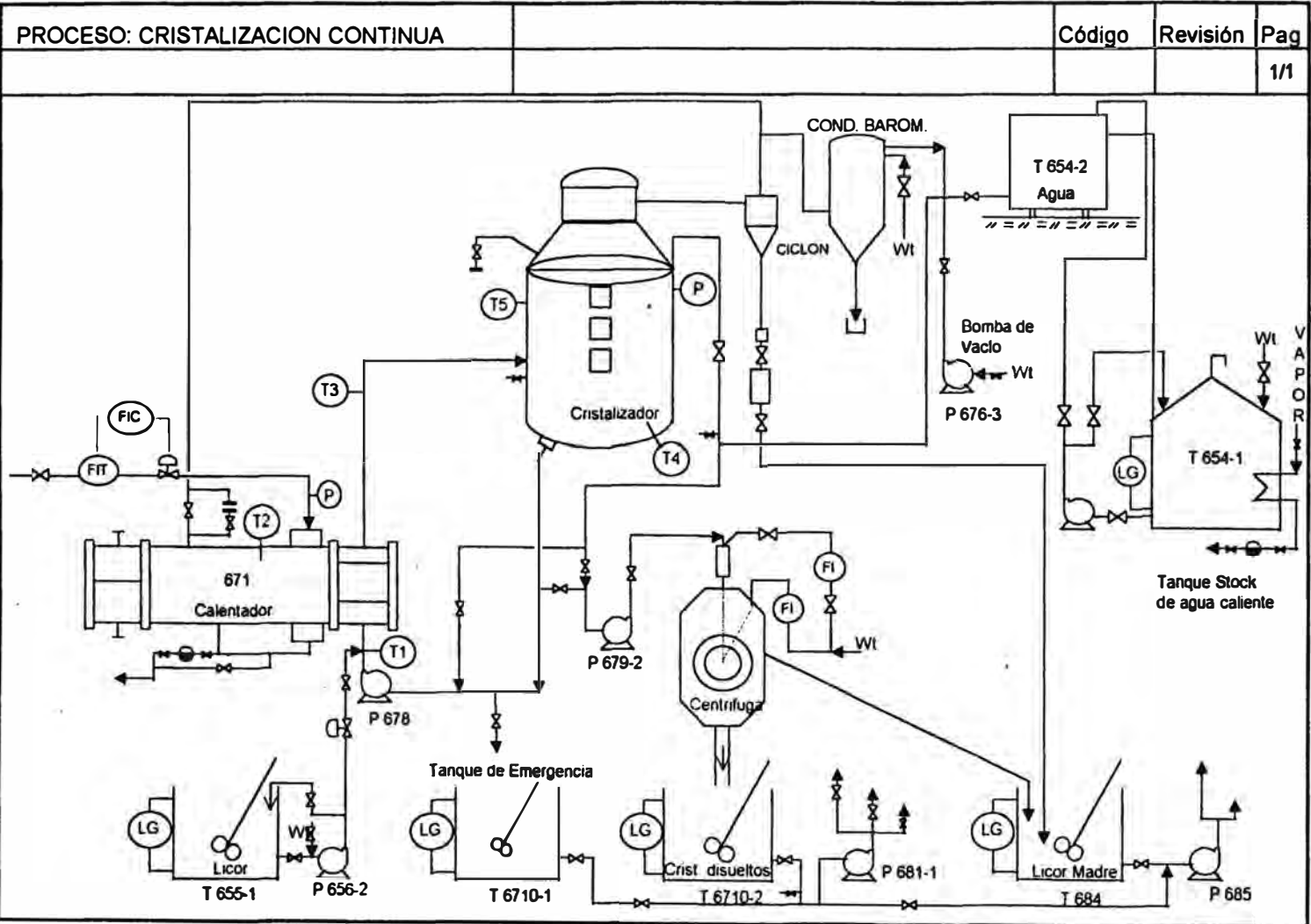
PROCESO: CRISTALIZACION BATCH	OPERACIÓN: Cristalización	Código	Revisión	Pág
				1-2
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD	
1.-PREPARACION	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Verificar que el Man Hole esté bien cerrado. 2.-Verificar la presión de agua tratada. 3.-Verificar que las válvulas de las duchas, válvulas de ingreso de vapor, válvulas de purga de vapor y válvulas de la trampa de vapor estén cerradas. 4.-Cerrar la válvula del rompedor de vacío. 5.-Cerrar la válvula generadora de vacío de los cristalizadores que estén cristalizando en ese instante. 6.-Cerrar la válvula del rompedor de vacío de los cristalizadores que estén cristalizando en ese instante. 7.-Abrir lentamente la válvula generadora de vacío del cristalizador. 8.-Esperar que suba el vacío. 9.-Subir el vacío del cristalizador. 11.-Verificar el volumen del T- 632. 12.-Verificar el Baumé del licor de alimentación. 13.-Verificar el color del licor. 	<p>2,0 kg / cm²</p> <p>600 mmHg 640 mmHg 10 kl 25 ± 0,5 °Be 0,19</p>	
2.-PRIMERA ALIMENTACION.	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Abrir la válvula que da pase al licor n°1 del T- 632 hacia el cristalizador. 2.-Alimentar al cristalizador con licor abriendo totalmente la válvula que permite el ingreso del licor al cristalizador 	8,5 kl	
3.-APERTURA DE LA PRIMERA CHAQUETA	Tercer piso Segundo piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Comunicar al área de suministros el uso de vapor para la primera chaqueta del cristalizador. 2.-Abrir lentamente la válvula que da pase al vapor para la primera chaqueta. 3.-Abrir las válvulas de las dos trampas de vapor de la primera chaqueta. 		
4.-SIEMBRA	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Llenar los cilindros de siembra con semilla. 2.-Esperar el punto de siembra. 3.-Verificar que el tubo de siembra no este obstruido. 4.-Proceder a la siembra. 	3 h de evaporación. 120 kg	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACIÓN BATCH	OPERACIÓN: Cristalización	Código	Revisión	Pág
				2-2
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD	
5.-SEGUNDA ALIMENTACION.	Tercer piso	<p>5.-Terminada la siembra cerrar el ducto de siembra.</p> <p>6.-Prender el agitador del cristizador.</p> <p>7.-En el panel de Separación activar la alarma del agitador.</p>	620 mmHg.	
	Segundo piso	<p>1.-Regular el vacío con el rompedor de vacío.</p> <p>2.-Regular la alimentación según lo indica la gráfica de cristalización.</p> <p>3.-Cuando el nivel del cristizador alcance un nivel de 11 kd abrir la válvula que da pase al vapor para la segunda chaqueta. Con cinco minutos de anticipación comunicar al área de suministros.</p> <p>4.-Abrir la válvula de la trampa de vapor de la segunda chaqueta lentamente.</p> <p>5.-Continuar la alimentación según lo indica la gráfica de cristalización.</p> <p>6.-Una vez concluida la alimentación total del licor cerrar la válvula que da pase al licor.</p> <p>7.-Concentrar el magma del cristizador para poder descargar.</p>		
6.-DESCARGA.	Segundo piso	<p>1.-Verificar el nivel del Tanque de Recepción de Magma.</p> <p>2.-Comunicar con 5 minutos de Anticipación al supervisor del área de suministros que se va a descargar el cristizador.</p> <p>3.-Cerrar las válvulas que dan pase al vapor a la primera y segunda chaqueta.</p> <p>4.-Cerrar la válvula generadora de vacío del cristizador.</p> <p>5.-Abrir las válvulas de purga de vapor de cada chaqueta.</p> <p>6.-Abrir la válvula rompedora de vacío para bajar el vacío.</p> <p>7.-Abrir la válvula de descarga del Cristizador.</p> <p>8.-Cerrar las válvulas de las trampas de vapor de las dos chaquetas.</p> <p>9.-Verificar la descarga.</p>	8 kl. Máximo	
	Tercer piso			
	Segundo piso		200 mmHg.	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION BATCH		OPERACIÓN: Lavado del Cristalizador Batch	Codigo	Revisión	Pag
					1/1
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO			STD
1.-PREPARACION	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Tener el cristalizador vacío. 2.-Verificar que las válvulas de las duchas interiores estén cerradas. 3.-Tener la válvula de descarga abierta. 4.-Desconectar la alarma del agitador. 			
2.-LAVADO	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Abrir el Man Hole. 2.-Revisar que no haya residuos de magma en el Man hole (parte interna). Si lo hubiera lavar con manguera y pitón. 3.-Apagar el agitador. 4.-Lavar con manguera y pitón la base de la válvula de descarga. 5.-Cerrar la válvula de descarga. 6.-Lavar con manguera y pitón la campana del cristalizador. 7.-Lavar con manguera y pitón todo el interior del cristalizador. 8.-Cerrar el Man Hole. 			



Continuo:

Se muestra el diagrama de flujo para un Sistema de Cristalización

4.1. Diagrama de Flujo

4 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE CRISTALIZACION CONTNUO.

4.2 Selección de Equipos.

4.2.1. Selección de un Intercambiador de Calor

Dimensiones.

- Las dimensiones de un intercambiador de calor vienen definidas por números que representan el diámetro del casco, en pulgadas, redondeando al número entero más cercano, y la longitud del tubo también en pulgadas.

Tipos.

- La designación del tipo de un intercambiador se hace mediante tres letras, que describe el tipo de cabezal estacionario, Extremo Frontal, Tipos de Casco y Tipos de Cabezales Extremo Posterior.

Consideraciones Generales de Diseño.

- El fluido del lado del tubo debe ser el más corrosivo, el más sucio o el de más alta presión. El fluido del lado del casco debe ser el de mayor viscosidad o bien un gas.

Tipo de Haz Tubular

a. Placa Tubular Fija: Se utiliza con mayor frecuencia. El interior de los tubos puede limpiarse mecánicamente y químicamente. La superficie exterior de los tubos sólo puede limpiarse mediante limpieza química

b. Tubos en “U”: La limpieza mecánica del interior de los tubos no es muy efectiva por lo que se utiliza cuando el fluido interior es limpio, representa mucha más dificultad reemplazar un tubo en caso de ruptura y para llegar a los tubos centrales se debe desmontar todo el haz tubular.

c. Cabezal Flotante o Extraíble: Se utiliza en servicios asociados a altas temperaturas y presiones. El haz tubular consiste en tubos rectos asegurados en cada extremo con una placa tubular. El haz tubular se puede extraer con facilidad para limpieza y mantenimiento y los tubos pueden ser limpiados mecánicamente tanto por la parte exterior como interior.

Tipos de Cascos.

- La más empleada es la tipo “E” con varias disposiciones de deflectores se usan ocasionalmente los tipo “F” (cascos de los pozos con un deflector longitudinal) cuando se requiere una contracorriente pura con los pasos por los tubos; tienen mayor pérdida de carga que los tipos “E”.
- Las disposiciones con flujos partidos y divididos (tipos G, H, y J) se emplean fundamentalmente para servicios de condensación, evaporación y enfriamiento de gases.

Dimensiones Recomendables.

Diámetro de Tubos: Mientras menor sea el diámetro del tubo, menor es el costo del intercambiador, que a menor diámetro de tubos, mayor número de ellos pueden ser acomodados en un diámetro determinado de Carcasa. Los más comunes en el diseño son los de $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada de diámetro exterior.

Espesor del Tubo: El espesor de pared del tubo, debe ser suficiente para soportar las presiones interior y exterior en servicio, así como la corrosión. Dicho espesor se mide en unidades de calibre de alambre Birmingham (B.W.G).

Longitud de los Tubos: Las longitudes recomendadas son 8, 10, 12, 16 y 20 pies.

Espaciado de los Tubos: La distancia más corta entre dos orificios adyacentes es el claro o ligadura. Los tubos se colocan en arreglos triangulares o cuadrados.

La ventaja del espaciado cuadrado es que los tubos son accesibles para limpieza externa y tienen pequeña caída de presión. Los espaciados más comunes para arreglos cuadrados son de $\frac{3}{4}$ pulgada DE en un espaciado

cuadrado de 1 pulgada, y de 1 pulgada DE en un espaciado en cuadrado de 1 $\frac{1}{4}$ pulgada.

Para arreglos triangulares estos son de $\frac{3}{4}$ pulgada DE en espacio triangular de $\frac{15}{16}$, $\frac{3}{4}$ pulgada DE en un arreglo triangular de 1 pulgada, y 1 pulgada DE en un arreglo triangular de 1 $\frac{1}{4}$ pulgada.

Corazas: El grueso estándar para corazas con diámetro interiores de 12 a 24 pulgadas es de $\frac{3}{8}$ pulgada, lo que es satisfactorio para presiones de operación por el lado de la coraza hasta de 300 lb/plg²; se pueden obtener mayores gruesos para presiones superiores.

Las corazas mayores de 24 pulgadas de diámetro se fabrican rolando planchas de acero.

Deflectores: Se logran coeficientes de transferencia de calor más altos cuando el líquido se mantiene en estado de turbulencia.

Para inducir turbulencia fuera de los tubos, se acostumbra emplear deflectores que causan turbulencia. La distancia centro a centro entre los deflectores se llama espaciado de deflectores.

Usualmente el espaciado de los deflectores no es mayor que una distancia igual al diámetro interior de la coraza o menor que una distancia igual a un quinto del diámetro interior de la coraza.

Los deflectores segmentados son hojas de metal perforados cuyas alturas son generalmente un 75% del diámetro interior de la coraza. Estos se conocen como deflectores con 25% de corte.

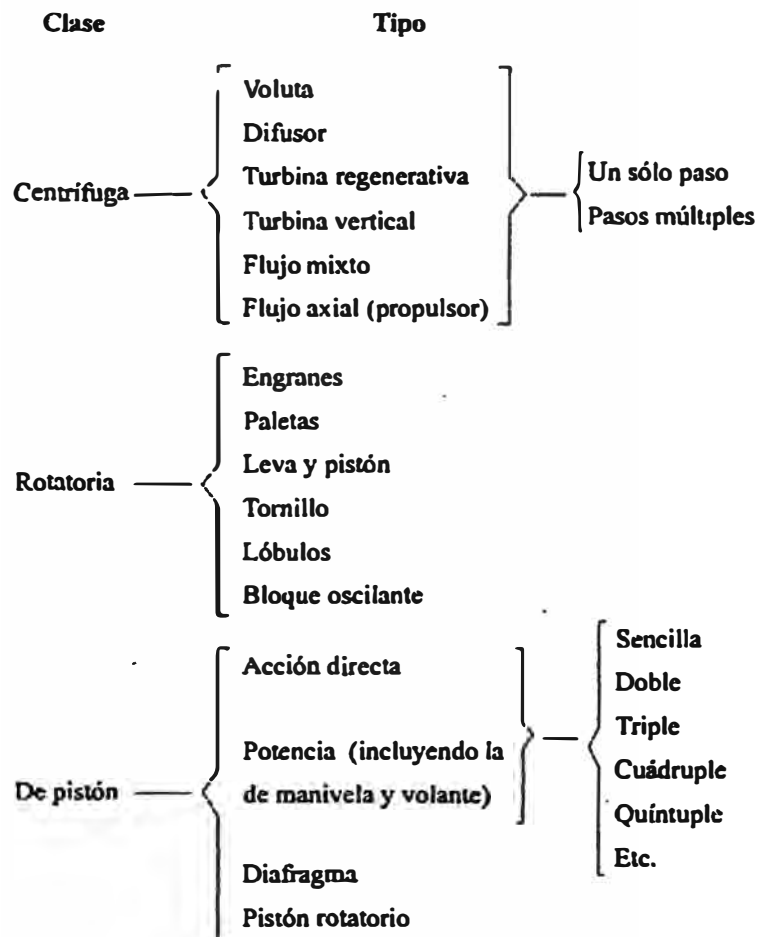
4.2.2. Selección de Bomba de Reciclo.

Procedimiento:

- Hacer un diagrama del sistema de tubería basado en las condiciones reales de trabajo, donde se debe esquematizar tuberías, conexiones, válvulas

donde se pueda mostrar las longitudes y longitudes equivalentes asegurando de incluir todas las elevaciones verticales, agrandamientos, etc.

- Determinar la capacidad requerida de la bomba con base a consideraciones de proceso, al cual debe aplicarse un factor de seguridad que pueda variar de un 5% a un 50% del flujo requerido dependiendo de la aplicación.
- Determinar la carga total sobre la bomba.
- Analizar las condiciones del líquido obteniendo todos los datos del líquido bombeado, que debe incluir: temperatura máxima y mínima de bombeo, presión de vapor correspondiente a esas temperaturas, gravedad específica, viscosidad a la temperatura de bombeo, pH, contenido de sólidos y tipo de sólidos.
- Seleccionar la clase y tipo de bomba. En la actualidad se utilizan tres tipos de bombas: centrífugas, rotatorias y de pistón. Cada clase de bomba se subdivide a su vez en varios tipos:



A continuación, se muestra un cuadro donde aparece las características usuales de las diferentes clases y tipos de bombas utilizadas en los procesos industriales. Al seleccionar la clase y tipo de bomba se debe considerar las propiedades del líquido, porque así se puede descartar desde un principio una u otra clase de bomba.

	Centrífuga		Rotatoria	De pistón		
	Voluta Y Difusor	Flujo axial	Tornillo y engranes	Vapor de acción directa	Potencia de acción doble	Triple
Flujo de descarga	Continuo	Continuo	Continuo	Intermitente	Intermitente	Intermitente
Elevación máxima de succión, ft (m)	15 (4.6)	15 (4.6)	22 (6.7)	22 (6.7)	22 (6.7)	22 (6.7)
Líquidos manejados	Limpios, claros, sucios, abrasivos con alto contenido de sólidos.		Viscosos No abrasivos	Limpios y claros		
Intervalo de la presión de descarga	Baja hasta alta		Media	Baja hasta la más alta obtenida		
Intervalo usual de capacidad	Baja hasta la más grande disponible		Baja a media	Relativamente baja		
Efecto de un incremento de carga sobre: La capacidad. La potencia de entrada.	Disminuye Depende de la velocidad específica		Ninguno Se incrementa	Disminuye Se incrementa	Ninguno Se incrementa	Ninguno Se incrementa
Efecto de una disminución de carga sobre: La capacidad La potencia de entrada.	Se incrementa Depende de la velocidad específica		Ninguno Disminuye	Pequeño Incremento, Disminuye	Ninguno Disminuye	Ninguno Disminuye

Por ejemplo, las rotatorias de tipo tornillo o engranaje son adecuadas para manejar líquidos viscosos no abrasivos.

Se debe considerar todos los factores relacionados con la bomba, que son: el tipo de servicio (continuo o intermitente), las preferencias relacionadas con la velocidad de operación, la carga futura esperada y su efecto sobre la carga y capacidad de la bomba, las instalaciones de mantenimiento disponibles, la posibilidad de conexiones en serie o paralelo y otras condiciones especiales para un trabajo adecuado.

Una vez seleccionada la clase y tipo de bomba se debe consultar una tabla de capacidades o una gráfica de capacidades, para determinar si la bomba está disponible en el comercio. Cuando los requerimientos hidráulicos se encuentran entre los modelos estándares de bomba. Por lo general, se selecciona el siguiente tamaño más grande salvo que exista una razón por la cual la unidad requiera carga y capacidad exactos.

Cuando un fabricante no tenga la unidad deseada consultar los datos de ingeniería de otro fabricante.

4.2.3. Selección de Bomba de Vacío

Procedimiento

- Realizar una selección tentativa del tipo de Bomba. Las bombas mecánicas de vacío del tipo pistón son adecuadas para presiones del sistema que varían entre 0,0001 a 760 torr. Por consiguiente, en primer lugar se considerará este tipo de bomba para verificar el tiempo muerto deseado de la bomba.
- Obtener las curvas características de la bomba. Muchos fabricantes publican las curvas del factor de tiempo muerto de la bomba, que por lo general forman parte de los datos de Ingeniería de una línea determinada de bombas.

Para utilizar el factor de tiempo muerto de la bomba se emplea la siguiente fórmula (cap. 6, referencia bibliográfica "P"):

$$t = V * F / d$$

donde: t = Tiempo muerto de la bomba (min)
 V = Volumen del sistema (pie³)
 F = Factor del tiempo muerto
 d = Desplazamiento de la bomba (pie³/min)

- La experiencia indica que el tiempo muerto calculado de la bomba para un sistema del vacío debe corregirse por medio de un factor adecuado del sistema, mediante este factor se considera la salida de gas en las superficies expuestas a la atmósfera.

Para utilizar el factor del sistema en cualquier tipo de bomba se emplea la siguiente relación:

$$t_c = t * s$$

donde: t_c = Tiempo muerto real de la bomba.
 t = Tiempo muerto calculado
 s = Factor del sistema para el tipo de bomba considerado.

Factores recomendados para el sistema:

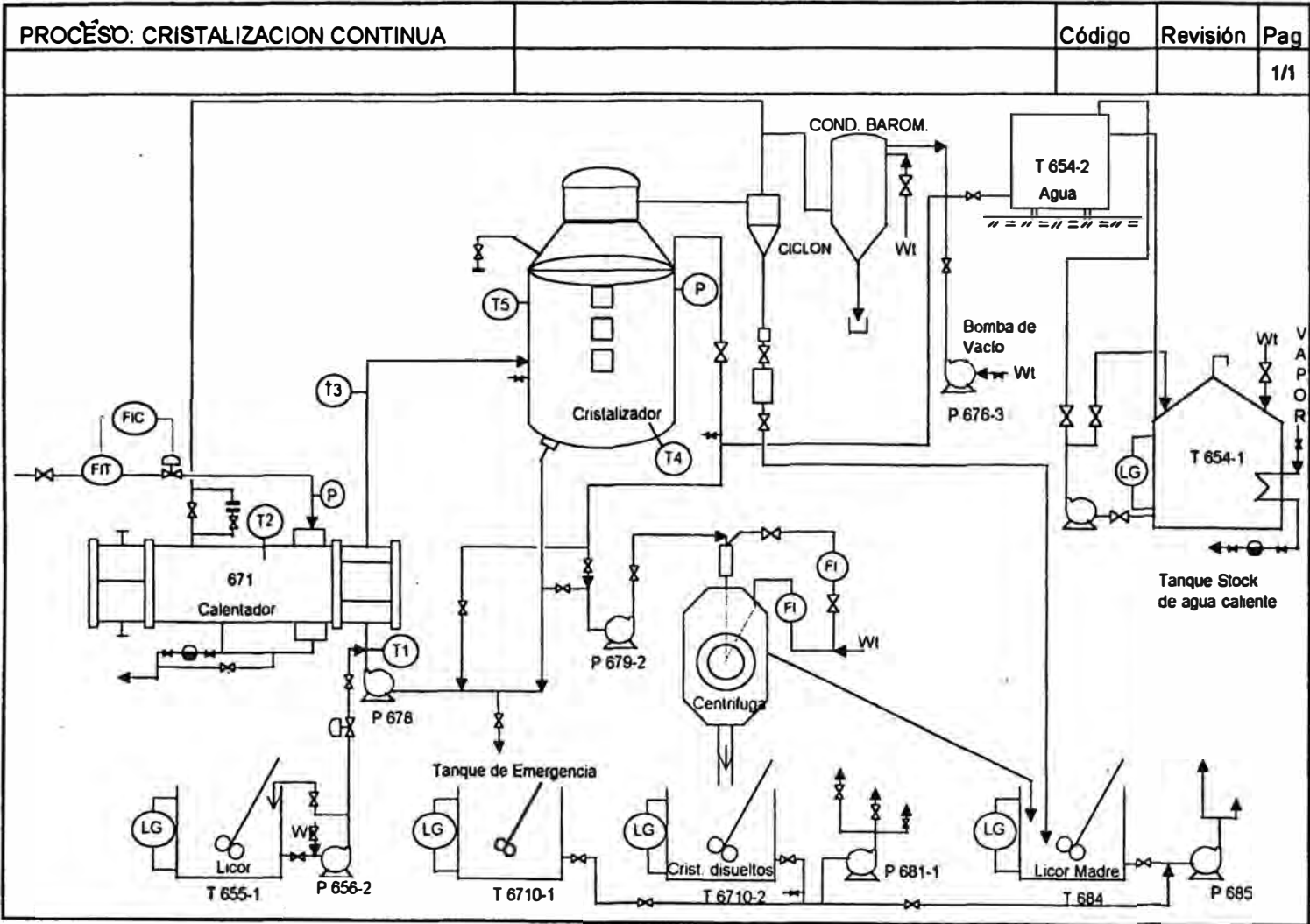
Intervalo de Presión		Factores del Sistema (s)		
<i>Torr</i>	<i>Pa</i>	<i>Bomba mec. de un solo paso</i>	<i>Bomba mec. compuesta</i>	<i>Bomba mec. elevadora</i>
760 – 20	115.6 kPa-3000	1.0	1.0	—
20 – 1	3000 – 150	1.1	1.1	1.15
1 - 0.5	150 - 76	1.25	1.25	1.15
0.5 – 0.1	76 - 15	1.5	1.25	1.35
0.1 – 0.02	15 - 3	—	1.25	1.35
0.02 – 0.001	3 – 0.15	—	—	2.0

Características de Bombas de Vacío.

Intervalo de presión, torr	Selección característica de la bomba
Hasta 50 (7.6 kPa)	Rotatoria de una solo paso con sello de aceite; las cargas grandes de agua o vapor pueden requerir el empleo de trampas refrigeradas.
0.05 a 0.01 (7.6 a 1.5 Pa)	Bomba de una solo paso o compuesta, con sello de aceite y trampas refrigeradas, especialmente en el límite inferior de presión.
0.01 a 0.005 (1.5 a 0.76 Pa)	Bomba compuesta con sello de aceite y trampas refrigeradas, o bomba de un solo paso, ambas en apoyo de la bomba de difusión, si se espera una evolución grande y continua del gas.
1 a 0.0001 (152.1 a 0.015 Pa)	Combinación de elevador mecánico y bomba de apoyo, con condensador refrigerado entre etapas y trampa de vapor enfriada en la entrada de alto vacío, para evitar la contaminación por vapor.
0.0005 o menos (0.076 Pa o menos)	Bombas de una sola etapa, en apoyo de las bombas de difusión, con trampas refrigeradas en el lado de alto vacío de las bombas de difusión, y posiblemente, entre las bombas de una sola etapa y las de difusión, si se espera la evolución de vapor condensable.

4.2.4. Selección de bomba para la descarga de Magma.

El procedimiento es idéntico al empleado en el punto 4.2.2.



5 OPERACIÓN DE UN CRISTALIZADOR CONTINUO.
5.1. Diagrama de Flujo.

Se muestra el diagrama de flujo para un Sistema de Cristalización Continuo:

5.2.- EJEMPLO DE BALANCE DE MASA PARA EL SISTEMA PROPUESTO

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Balance de Masa	pág. 1/2
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
1.- ALIMENTACION INICIAL.	Tercer piso	<p>Base :</p> <p>Volumen de operación del cristalizador = 4,8 kl.</p> <p>Capacidad de evaporación = 0,97 kl de agua / t vapor alimentado.</p> <p>Concentración de licor = 35,5 g / dl</p> <p>Concentración en la siembra = 54,25 g / dl</p> <p>Concentración en la descarga = 80,0 g / dl</p> <p>1.- Alimentación inicial :</p> <p>4,8 kl de licor X 35,5 g / dl = 1,70 t</p>	
2.- EVAPORACION.		<p>1.- La evaporación se realiza manteniendo el volumen del cristalizador constante en 4,8 kl y llevando la concentración de 35,5 g / dl a 54,25 g / dl.</p> <p>2.- Peso de producto en el punto de siembra = 4,8 kl X 54,25 g / dl</p> <p>3.- Peso de producto que requiere alimentarse = 2,60 t - 1,70 t</p> <p>4.- Volumen que requiere alimentarse = 0,9 t / 35,5 g / dl</p> <p>5.- Flujo de alimentación de licor = 2,54 kl / 3 h</p> <p>6.- Cantidad de vapor = 2,54 kl / 0,97 kl / t</p> <p>Flujo de vapor = 2,62 t / 3 h</p>	<p>± 3,0 h</p> <p>2,6 t</p> <p>0,9 t</p> <p>2,54 kl licor</p> <p>0,85 kl / h</p> <p>2,62 t</p> <p>0,87 t / h</p>
3.- SIEMBRA		<p>1.- Más o menos el 5% del peso alimentado = 170 kg de cristales.</p>	
4.- CRECIMIENTO		<p>1.- Crecimiento</p> <p>2.- Concentración en la descarga.</p> <p>3.- Peso en el punto de descarga = 4,8 kl X 80,0 g / dl</p> <p>4.- Peso que requiere alimentarse = 3,84 t - 2,60 t</p> <p>5.- Volumen que requiere alimentarse = 1,24 t / 35,5 g / dl</p> <p>6.- Flujo de alimentación de licor = 3,49 kl / 7 h</p> <p>7.- Cantidad de vapor = 3,49 kl / 0,97 kl / t</p> <p>8.- Flujo de vapor = 3,60 t / 7 h</p>	<p>± 7,0 h</p> <p>80 g / dl</p> <p>3,84 t</p> <p>1,24 t</p> <p>3,49 kl</p> <p>0,5 kl / h</p> <p>3,6 t</p> <p>0,51 t / h</p>

MANUAL DE OPERACIONES

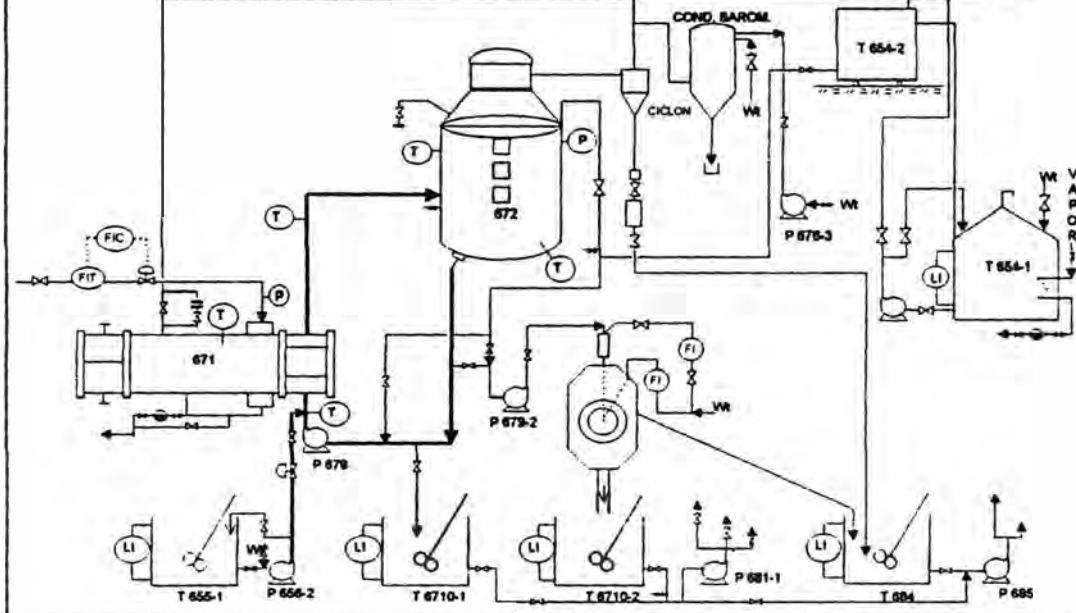
PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Balance de Masa	pág. 2/2
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
5.- DESCARGA CONTINUA		1.- Flujo de alimentación licor 2.- Peso alimentado = 1,3 kl / h X 35,5 g / dl 3.- Peso alimentado = Peso descargado 4.- Flujo de descarga = 0,46 t / h / 80 g / dl 5.- Flujo de vapor = (1,3 - 0,58) kl / hr / 0,97 kl / t	1,3 kl / h 0,46 t / h 0,58 kl / h 0,74 t / h

5.3 MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Alimentación Inicial.		pág.	1/6
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO		STD	
1.- ADICION DE LICOR	Primer piso	1.- Abrir válvula de succión del T 655-1 2.- Abrir válvula de Vt para lavar línea de salida del T 655-1 3.- Cerrar válvula de succión del T 655-1 4.- Abrir válvula de ingreso manual a la línea de reciclo, pasar agua por un minuto. 5.- Cerrar válvula de agua. 6.- Abrir válvula de succión de T 655-1 7.- Prender la P 656-2 8.- Abrir válvula de salida de la P 656-2			
	Tercer piso	9.- En el panel de control, abrir ingreso de licor, luego programar la alimentación.			
	Panel de control	10. Alimentar 5,0 kl de licor al cristizador en automático. 11.- Cuando haya llegado los 5,0 kl de alimentación : a) Poner en manual. b) Cerrar la válvula automática en el FIC. c) No apagar la P 656-2 12.-Prender el agitador.			
2.- HACER VACIO EN EL CRISTALIZADOR 672	Tercer piso	1.- Verificar la presión del agua de sello mecánico. 2.- Durante la alimentación prender la bomba de reciclo cuando el nivel de licor en el cristizador, esté en 3,0 kl. 3.- Verificar el sentido de giro . 4.- Hacer vacío en el cristizador abriendo la válvula de ingreso de Vt del Condensador Barométrico 674-1.		2,5 kg/cm ²	
3.- HACER VACIO EN EL CRISTALIZADOR 672	Primer piso	1.- Regular el Vt del sello de la bomba de vacío 676-3 2.- Prender la P-676-3 3.- Verificar la presión en el Vacuómetro. 4.- Abrir válvula de salida de la bomba, lentamente hasta regular el vacío a 620 mm Hg.		620 mmHg	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA	OPERACION: Alimentación Inicial.	pág. 2/6
----------------------------------	----------------------------------	----------



OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
	Tercer piso	5. Abrir la válvula generadora de vacío del cristalizador 672, lentamente hasta una vuelta completa. 6.- Regular el vacío y evitar que se produzca el arrastre del licor 7.- Regular el flujo de Wt en el Condensador Barométrico para establecer con el vacío. 8.- Regular la presión del Wt.	1,7 kg/cm ²

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Evaporación		pág.	3/6
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO		STD	
4.- ADICION DE VAPOR	Segundo piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Abrir la válvula manual que da pase al vapor para el Calentador. 2.- Abrir las válvulas de la trampa de vapor para la salida del condensado del calentador 671. 3.- Revisar que la válvula del by pass esté cerrada. 4.- Abrir la válvula de purga del calentador 671 para eliminar el aire y otros gases no condensables que hay en el vapor. 			
	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 5.- Luego cerrar dicha válvula de purga. 6.- En el panel de control, ajustar el FIC de vapor en el valor deseado según el balance de masa. 7.- Abrir en posición manual la válvula automática (que regula el flujo de vapor) hasta que el valor real esté cerca al valor deseado. 8.- Luego colocar la apertura de la válvula en posición automática. 			
5.- ADICION DE LICOR		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Ajustar el FIC de licor en el valor deseado según el balance de masa. 2.- Abrir en posición manual la válvula automática (que regula el flujo de licor) hasta que el valor real esté cerca al valor deseado. 2.- Colocar en posición automática la válvula que regula el flujo de licor. 3.- Verificar si alcanza el valor deseado. 			

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN : Siembra	pág. 4/6
OPÉRAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACIÓN DE TRABAJO	STD
6.- CONTROL DEL PUNTO DE SIEMBRA	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Después de 2 horas de la evaporación inicial, cada 30 minutos sacar muestra de licor que está concentrándose en el cristizador, para esto abrir la válvula que se encuentra en la línea de descarga de la Bomba de Reciclo. 2.- Recepcionar la muestra en una jarra, tener cuidado ya que la temperatura alcanza a 65 °C. 3.- Medir el °Bé de la muestra para la siembra, el licor debe estar en 29,5 °Bé. 4.- Si el licor ya está en 28,0 °Bé muestrear cada 10 minutos más o menos para encontrar el punto exacto de siembra. 	
7.- SIEMBRA	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Cuando el licor llega a 29,5 °Bé, aproximadamente después de 3 horas, sembrar 3 cilindros de cristales, para lo cual : <ol style="list-style-type: none"> a) Abrir la válvula del tubo de siembra. b) Utilizar una manguera especial. 2.- Verificar a través del visor la condición de los cristales. 	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Crecimiento		pág.	5/6
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD		
8.- MODIFICACION DE LOS FLUJOS DE VAPOR Y LICOR	Tercer piso	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Modificar el flujo de vapor según el balance de masa en el panel de control. 2.- Modificar el flujo de licor en el Panel de Control según Balance de masa. 	0,5 t / h 0,5 kl / h		
9.- CONTROL DURANTE EL CRECIMIENTO		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Controlar el $\Delta T = T_3 - T_1$ entre 6 y 8 °C. 2.- Controlar la temperatura del cristalizador $T_4 > 60$ °C. 3.- Lavar con ducha las paredes del cristalizador cada 2 horas para evitar la formación de costras. 4.- Controlar en el multiregistro las temperaturas T_1, T_3 y T_4, deben estar paralelas. 5.- Controlar la concentración del magma, por el visor y teniendo como referencia el amperímetro del agitador y la bomba de reciclo. 			

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Descarga Continua.		pág.	6/6
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO		STD	
10. DESCARGA CONTINUA	Tercer piso	1.- Después de 7 h de crecimiento, el magma debe tener la concentración y amperaje adecuado proceder a la descarga.		0,65 kl / h	
	Tercer piso Segundo piso	2.- Modificar en el panel de control el flujo de licor a 1,3 kl / h según el balance de masa. 3.- Modificar también el flujo de vapor a 0,68 t / h, según balance de masa. 4.- La descarga continua , viene a ser la separación del magma.			
<p>Abreviaturas</p> <ul style="list-style-type: none"> * Bé = Grados Baumé Wt = Agua Tratada P = Bomba T = Tanque 					

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Separación	pág. 1/1
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
1.- PREPARACION	Primer piso Primer piso Tercer piso	1.- Revisar las válvulas de Wt. Deben estar cerradas. 2.- Revisar la válvula de succión de la línea de reciclo que esté cerrada. 3.- Verificar el volumen del cristizador, debe estar en 5,0 kl.	
2.- PRENDER LA CENTRIFUGA	Primer piso	1.- Verificar que el agua de refrigeración del aceite esté circulando. 2.- Verificar el nivel de aceite. 3.- Verificar tensión de las fajas. 4.- Prender la centrifuga	
3.- INICIO DE LA SEPARACION		1.- Coordinar con el operario para el inicio de la separación. 3.- Verificar presión del agua del sello mecánico. 4.- Abrir válvula de Wt para lavar línea de la P 679-2 a la centrifuga por 30 segundos.	2,5 kg / cm ²
4.- PRENDER P 679-2.		1.- Cerrar válvula de salida de la P 679-2 2.- Abrir la válvula de succión de la línea de recirculación para desatorar cualquier posible obstrucción. 3.- Cerrar válvula de Wt. 4.- Prender la P 679 -2 5.- Comprobar el flujo de separación. 6.- Verificar la caída cnstal al T 6710-2 7.- Verificar la calda de Licor Madre al T 684 8.- Verificar el flujo de agua de lavado de masa de magma. 9.- Verificar el flujo de agua de lavado del tacho.	40 lt / h 60 lt / h

5.4.- MANUAL DE LAVADO

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Lavado	pág. 1/2
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
1.- LAVADO	Segundo y Tercer piso.	<p>Para realizar el lavado del sistema seguir los siguientes pasos :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Cerrar vapor. 2.- Cerrar Alimentación. 3.- Regular el vacío: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Cerrar la válvula generadora de vacío. 3.2 Controlar la temperatura T4 del cristalizador regulando el vacío con la válvula rompedora de vacío de 300 a 400 mmHg. 3.3 Apagar la Bomba de Vacío. 4.- Continuar con la separación hasta que el nivel del cristalizador sea de 2,5 kl. 5.- Cerrar Descarga. <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Lavar la línea de succión de la P 679-2 por 2 minutos y cerrar la válvula que da pase al magma en la succión de la Bomba 679-2 5.2 Cerrar la válvula de salida de la Bomba 679-2 5.3 Apagar la Bomba. 5.4 Cerrar la válvula de agua. 5.5 Apagar la centrifuga. 5.6 Cortar el agua a la Canastilla de la centrifuga. 6.- Disolver todo el magma del cristalizador <ol style="list-style-type: none"> 6.1 Adicionar Wt al cristalizador abriendo la válvula de ingreso de Wt a la succión de la Bomba de Reciclo y la ducha del cristalizador hasta que el nivel llegue hasta 5,0 kl. 6.2 Cerrar las válvulas de ingreso de Wt. 6.3 Normalizar vapor en un flujo de 0,5 t / h. 6.4 Verificar que todo el magma se haya disuelto y no se vea 	66 °C
	Tercer piso		
	Primer piso		
	Tercer piso		

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA	OPERACIÓN: Lavado	pág. 2/2	
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
		<p>presencia de cristales.</p> <p>6.5 Cerrar vapor.</p> <p>7.- Verificar que el T 6710-1 esté vacío.</p> <p>8.- Apagar la Bomba de Reciclo y bajar el vacío a cero con la válvula rompedora de vacío.</p> <p>9.- Descargar todo el magma disuelto al T 6710-1, abriendo la válvula de descarga de dicho tanque.</p> <p>10.- Terminada la descarga, cerrar la válvula abierta para el T 6710-1.</p> <p>11.- Lavar el cristalizador con Wt caliente a 70 °C :</p> <p>11.1 Adicionar Wt al cristalizador. Abrir la válvula de Wt en la línea de succión de la bomba de reciclo 678 y la válvula de la ducha de la pared interna del Cristalizador 672 hasta un volumen de 3.0 kl.</p> <p>11.2 Revisar que la válvula rompedora de vacío esté completamente abierta.</p> <p>11.3 Prender la Bomba de Reciclo.</p> <p>11.4 Establecer el flujo de vapor a 0.5 t / h.</p> <p>11.5 Calentar el Wt dentro del cristalizador hasta 70 °C (Ver T4)</p> <p>12.8 Cerrar el suministro de vapor.</p> <p>12.9 Mantener la recirculación por media hora y luego apagar la bomba de reciclo.</p> <p>13.- Con ayuda de una manguera conectada al ducto de toma de muestras, botar el agua al desagüe.</p>	

5.5.- SOLUCION A PROBLEMAS DURANTE LA OPERACIÓN

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Acciones en caso de Problemas	pág. 1/4
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
a.- Problema de Vacío.		<p>1.- Falla Bomba de Vacío.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Cerrar válvula de generación de vacío del cristalizador 672. 1.2 Mantener abierta la válvula de ingreso de Wt al Condensador Barométrico. 1.3 Cerrar ingreso de vapor en el panel de cristalización continua, cerrando la válvula neumática en posición manual. 1.4 Cerrar la válvula manual de vapor al calentador 671. 1.5 Cerrar la válvula de vacío de gases no condensables del 671. 1.6 Cerrar las válvulas de la trampa de vapor. <p>* Cerrar Alimentación :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.7 Abrir la válvula de ingreso de Wt en la línea de succión de la P 656-2 hasta que toda la línea después de la bomba enfríe. 1.8 Cerrar la válvula de succión del T 655-1 inmediatamente después de abrir la válvula Wt. 1.9 Cerrar la válvula manual de ingreso de licor a la línea de descarga de la bomba de reciclo 678. 1.10 Cerrar la válvula de salida P 656-1 1.11 Apagar la P 656-1 1.12 Cerrar en posición manual la válvula neumática de ingreso de licor. <p>* Cerrar descarga</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.13 Abrir la válvula de ingreso de Wt a la succión de la P 679-2 por espacio de 2 minutos. 1.14 Cerrar la válvula de salida de la P 679-2. 1.15 Apagar la P 679-2 1.16 Cerrar válvula de Wt. 1.17 Cerrar válvulas de Wt a la canastilla y embudo de la centrífuga. 1.18 Mantener la temperatura T4 del cristalizador Regular el vacío de 300 a 400 mmHg. 	± 66 °C

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Acciones en caso de Problemas	pág.	2/4
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD	
		<p>2.- Falla de Wt</p> <p>2.1 Cerrar válvula de ingreso de Wt al Condensador Barométrico.</p> <p>2.2 Proceder como en el punto 1 ; pasos 1.3 al 1.8</p> <p>3.- Retorno de Wt y Bomba de vacío.</p> <p>3.1 Subir el vacío en el Condensador Barométrico.</p> <p>3.2 Prender la bomba de vacío.</p> <p>3.3 Abrir la válvula de la bomba de vacío.</p> <p>3.4 Normalizar el vacío poco a poco regulando con la válvula rompedora de vacío.</p> <p>Evitar la formación de espuma o en su defecto, echar 50 ml de Aceite.</p> <p>Normalizar Alimentación.</p> <p>3.5.- Abnr la válvula de succión del T 655-1 (Alimentación de licor)</p> <p>3.6.- Prender la P 656-1.</p> <p>3.7.- Abrir la válvula de salida de la P 656-2.</p> <p>3.8.- Abrir la válvula manual de licor en la línea de descarga de la Bomba de reciclo.</p> <p>3.9.- Abnr la válvula Neumática en el Panel de Control.</p> <p>3.10.- Regular en el Panel el FIC de licor a un flujo mínimo.</p> <p>3.11.- Normalizar la alimentación en el Panel de Control en modo Automático.</p> <p>Normalizar Vapor</p> <p>3.12.- Abrir la válvula manual de vapor al calentador 671</p> <p>3.13 Abrir las válvulas de la trampa de vapores del calentador 671.</p> <p>3.14 Abnr la válvula de succión de los gases no condensables.</p> <p>3.15 Regular en el Panel de Control en el Modo Manual el valor de-seado y luego dejarlo en Modo Automático una vez programado el flujo.</p> <p>Normalizar Descarga.</p> <p>3.16 Prender la centrifuga.</p> <p>3.17 Lavar la línea de succión y la de descarga de la bomba 679-2.</p> <p>3.18 Abrir la válvula en la línea de succión de la bomba 679-2.</p>	<p>620 mmHg</p> <p>0,5 kd / h</p> <p>1,3 kd / h</p>	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACION: Acciones en caso de Problemas	pág. 3/4
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
<p>b.- Problema de Vapor.</p> <p>c.- Problema de Alimentación.</p> <p>d.- Problema de Descarga.</p> <p>e.- Problema de Bomba de Reciclo</p>		<p>3.19 Prender la bomba 679-2.</p> <p>3.20 Iniciar la separación abriendo la válvula de salida de la P 679-2.</p> <p>3.21 Regular el flujo de separación deseado.</p> <p>Falla de vapor, alimentación y de descarga.</p> <p>Cuando se presentan algunos de estos problemas durante el proceso, hay que realizar la parada en el orden siguiente :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Cerrar vapor. 2.- Cerrar Alimentación. 3.- Cerrar descarga. <p>Cuando se resuelve el problema dar inicio al proceso en el orden siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Normalizar alimentación. 2.- Normalizar vapor. 3.- Normalizar descarga. <p>1. Falla por poco Tiempo: * Menor de 5 minutos (por reseteo, calda, tensión, etc.) 1.1 Prender nuevamente la bomba de reciclo y verificar todos los parámetros del proceso de cnstalización continua , si está todo correcto continuar normalmente.</p> <p>2.- Falla por un largo período. 2.1 Parar la separación y cerrar la Alimentación de licor. 2.2 Cuando se soluciona el problema intentar prender y normalizar el reciclo. 2.3 Si no se logra normalizar el reciclo iniciar el proceso de lavado del sistema.</p>	

MANUAL DE OPERACIONES

PROCESO: CRISTALIZACION CONTINUA		OPERACIÓN: Acciones en caso de Problemas	pág. 4/4
OPERAC UNITARIA	LUGAR	COORDINACION DE TRABAJO	STD
<p>f.- Problema de Corte de Energía Eléctrica total</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1.- Lavar la línea de succión y salida de la Bomba 679-2. 2.- Cerrar la válvula manual de ingreso de licor en la línea de descarga de la bomba de reciclo. 3.- Cerrar la válvula de ingreso de Wt al Condensador barométrico. 4.- Cerrar la válvula generadora de vacío al cristalizador. 5.- Cerrar vapor. <p>Quando retorne la energía eléctrica : Proceder en forma similar que en el problema "e".</p>	

6 Conclusiones y Recomendaciones

- En cualquier proceso de cristalización siempre se tiene que tener presente que cualquier sólido en contacto con su solución se disolverá, si la solución no está saturada y crecerá si la solución es sobresaturada.
- En todo proceso de cristalización Batch se debe de contar con un gráfico guía que permita controlar la alimentación de licor durante el tiempo de operación para facilitar el control de la concentración del magma en el interior del cristizador.
- El control y operación de un proceso de cristalización continua es mucho más sencillo comparado con un proceso de cristalización batch.
- Para grandes volúmenes de producción las operaciones por lotes no son prácticas.
- En todo proceso de cristalización continua es importante determinar el tiempo en que se deberá llevar a cabo la siembra, las condiciones de operación durante el crecimiento del cristal y las condiciones de operación durante la descarga.
- Todo proceso productivo debe contar con los manuales de operación respectivos que tienen como finalidad especificar los procedimientos correctos para desarrollar las diferentes operaciones y la de ser una herramienta de entrenamiento del personal que trabajará en planta.
- Todo trabajador de planta debe de estar capacitado para poder actuar cuando se presente una falla de cualquier suministro como vapor, etc.
- En un proceso de cristalización continua se debe controlar la diferencia de temperatura de salida e ingreso del magma en el calentador, la temperatura del vapor utilizado, la temperatura en el interior del cristizador y la temperatura de los vapores en el interior del cristizador.
- El agua de lavado al finalizar un ciclo de cristalización continua se descarga a la canaleta a una temperatura de 70 °C. Durante su recorrido se puede mezclar con agua de sellos mecánicos para hacer posible su

descarga final al mar a temperaturas menores a 40 °C para no afectar la vida acuática.

7. Bibliografía

a. Badger, Walter L.

Banchero, Julius T.

Introducción a la Ingeniería Química

1964 Ediciones Castillo S.A. – Madrid

Capítulo 11 – Pág. 538 a 560

b. Coulson J.M.

Operaciones básicas en Ingeniería Química

Tercera Edición, Editorial Reverse S.A. 1981

Capítulo 15 – Pág. 883 a 909

c. Perry, Robert M.

Biblioteca del Ingeniero Químico

Quinta Edición, Editorial Mc Graw – Hill 1986

Capítulo 17 - Pág. 17-8 a 17-22.

Capítulo 19 – Pág. 19-30 a 19-39.

d. Kern, Donald D.

Procesos de Transferencia de Calor

Décima Quinta Edición, Editorial Continental S.A.

Capítulo 7 – Pág. 159 a 184

e. Gil, P. Egea

Obtención y aplicaciones industriales del vacío

Editorial Gustavo Gil S.A.

Pág. 27 a 30

f. Chopey, Nicholas

Manual de Cálculos de Ingeniería Química

Editorial Mc. Graw – Hill 1986

Capítulo 6 – Pág. 6-51 a 6-91

g. Mc. Cabe, Warren

Operaciones Básicas del Ingeniero Químico

Quinta Edición, Editorial Mc. Graw – Hill 1993

Capítulo 28. – Pág. 925 a 977

8. ANEXOS

8.1. Modelo de Formato de Control para un Sistema de Cristalización Batch

CRISTALIZACION BATCH

FECHA :

N°

TURNO	OPERARIO		JEFE DE TURNO	
1 ERA EVAP. 640 mmHg		LICOR 25.5° Be	1a Cheq. : 6 Kl.	SIEMBRA : 6.4 Kl.
2 ERA EVAP. 620 mmHg		SEMILLA 120 Kg	2a Cheq. : 11.5 Kl.	VOL. ALIM. : 33 Kl.

The graph plots Nivel (kl) on the y-axis (0 to 16) against Tiempo (h) on the x-axis (0 to 18). The curve starts at (0,0), rises to approximately 10 kl at 1h, dips to 8 kl at 3h, and then rises to 16 kl by 16h. Data points are labeled with values: 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.8, 1.8, 1.8, 1.8.

N°	HR	LECTURA OVAL	FLUJO kl/h	VACIO mmHg	PRES. VAPOR CH-1	PRES. VAPOR CH-2	TEMP. °C	PRESION W T	NIVEL CX	VOL. TANQ.	° Be	OBSERVACIONES
0												1a CHAQ.
1												SBRA.
2												2a CHAQ.
3												VOL. AL.
4												DURAC.
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

DESCARGA DE A

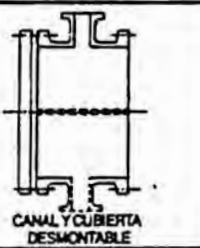
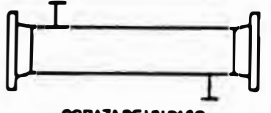

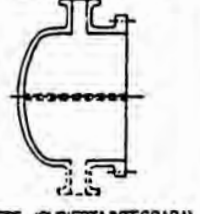
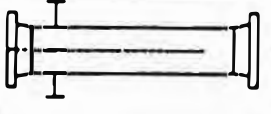


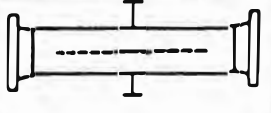


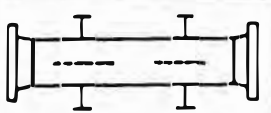
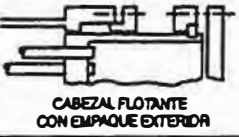

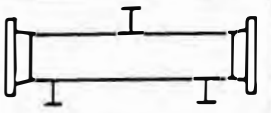

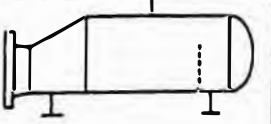

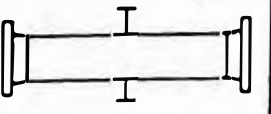


VOL. INIC. Tanque Recep. TIEMP. LAVADO CRISTALIZADOR :
VOL. FIN. Tanque Recep.

8.2. Modelo de Formato de Control para un Sistema de Cristalización Continua

HOJA DE CONTROL DEL PROCESO DE CRISTALIZACION CONTINUA

Fecha :														OBSERVACIONES
J.T. / Turno :														
Operario :														
Ptos. Control	Unidades	17:00	21:00	01:00	05:00	09:00	13:00	17:00	21:00	01:00	05:00	09:00	13:00	
Alimentación	kl / h													
Vapor	t / h													
Descarga	kl / h													
T = T3 - T1	°C													
T4 CX2	°C													
Presión en el Calentador	Kg / cm ²													
Vacio	mmHg													
Nivel del Cristallizador	kl													
RPM Bomba de Reciclo	RPM													
Amp. Bomba de reciclo	Amperios													
Flujo de WT en la Centrifuga	lt / h													
Vol. T 6710-1	kl													
CICLO # :								LAVADO				CICLO # :		
Contómetro Inicial	=	Hora Inicio Crist. Cont =						Hora Inicio =				Contómetro Inicial =		
Contóm. Inicio Separación	=	Hora Inicio Separación =						Hora Fin =				Contómetro Inicio Separación =		
Licor Alim. Evap-Crec	=	Tiempo Evap-Crec. =										Licor Alimentado Evap-Crec. =		
Contom. Final Separación	=	Hora Final Crist. Cont =										Hora Inicio Crist. Continua =		
Licor Alim. Descarga	=	Tiempo de Descarga =										Hora Inicio Separación =		
Licor Total	=	Tiempo Total Crist. =						Tiempo Total =				Tiempo de Crecimiento =		

8.3. Designación de tipo TEMA para intercambiadores de calor de coraza y tubo.

	TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO, EXTREMO FRONTAL		TIPOS DE CORAZAS		TIPOS DE CABEZALES, EXTREMO POSTERIOR
A	 CANAL Y CUBIERTA DESMONTABLE	E	 CORAZA DE UN PASO	L	 DE ESPEJO FLUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "A"
B	 CASQUETE (CUBIERTA INTEGRADA)	F	 CORAZA DE DOS PASOS CON DEFLECTOR LONGITUDINAL	M	 DE ESPEJO FLUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "B"
C	 SOLÓ HAZ DE TUBOS DESMONTABLE CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	G	 DE FLUJO PARTIDO	N	 DE ESPEJO FLUO COMO EL CABEZAL ESTACIONARIO "C"
N	 CANAL INTEGRADO CON ESPEJO Y CUBIERTA DESMONTABLE	H	 DE FLUJO PARTIDO DOBLE	P	 CABEZAL FLOTANTE CON EMPAQUE EXTERIOR
D	 CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN	J	 DE FLUJO DIVIDIDO	S	 CABEZAL FLOTANTE CON DISPOSITIVO DE APOYO
		K	 RESERVOIR DE CALDERA	T	 CABEZAL FLOTANTE SIN CONTRAPRESA
		X	 FLUJO CRUZADO	U	 HAZ DE TUBO EN U
				W	 ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE