



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

## Sistema de control en cocimientos de azúcar

### Introducción

El proceso de cocimiento de azúcar, es una de las etapas más importantes de la fabricación comercial de azúcar de caña, tanto cruda como refinada. En esta etapa se comienza a formar los cristales de azúcar y básicamente se compone de dos operaciones secuenciales que se describen a continuación:

- 1) Cristalización en caliente
- 2) Cristalización en frío

La cristalización en caliente se realiza en cuerpos llamados “tachos de cocimientos”, donde se cuece el “Melado Virgen” proveniente de la etapa de evaporación del jugo de caña, mezclados con otros productos intermedios a los que se denominan “Masa Cocida”. Esta operación se efectúa al vacío para trabajar con temperaturas menores al de la evaporación del agua pura (100[°C]). Los tachos son evaporadores intermitentes del “Melado Virgen”, que posee una concentración aproximada de 70°Bx y una pureza (cantidad de sacarosa) de 83 a 85%. Con la operación en los tachos se busca llevar el melado a una condición de solución azucarada sobresaturada para favorecer la formación y/o crecimiento de los cristales hasta un tamaño adecuado y uniforme. La operación al vacío garantiza que los cristales no adquieran una coloración fuerte por acción de temperaturas de ebullición elevadas.

La masa cocida obtenida se descarga en unos equipos llamados cristalizadores donde se finaliza el crecimiento de los cristales por enfriamiento de los mismos (cristalización en frío). Por último, el producto obtenido se descarga hacia una batería de centrifugas, por medio de un equipo mezclador-distribuidor llamado “Malaxor”, para separar la miel madre de los cristales de azúcar.

Cabe destacar que el sistema de cocimiento puede ser realizado en partes, denominadas “templás” y representan las operaciones con que se forman las diferentes masas cocidas. La cantidad de templás a realizar depende del grado de agotamiento de la sacarosa en la masa cocida que se puede obtener de manera económica. Existen sistemas de dos, tres y cuatro templás, siendo el más común el de tres templás.

La primera masa cocida a partir del melado o meladura (“Melado Virgen”), se la denomina “Masa Cocida A” y a la miel madre, separada de la centrifuga, se la llama normalmente “Miel Agotada A” o “Miel Primera”. Esta posee una alta proporción de

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



azúcar cristalizable, por eso se conservan aparte y se utilizan para hacer crecer masas cocidas posteriores en un pie de templa conveniente. De igual manera, la masa cocida obtenida de la segunda templa, se la llama “Masa Cocida B”, y por consiguiente, la miel madre que se separa de ella en la centrífuga, se denomina “Miel Agotada B”.

Las templeas pueden repetirse varias veces con algunas limitaciones que tienen que ver con el agotamiento de las mieles como se anticipó anteriormente, pero también a los contenidos de azúcares no cristalizables que inmovilizan una cierta proporción de azúcar y a la elevada viscosidad de las mieles sucesivas que dificultan la circulación dentro de los tachos. La última miel que se obtiene de la operación de cocimiento, se denomina “melaza” y posee una baja pureza, que económicamente resulta inviable recuperar el azúcar contenido. Es importante aclarar que la pureza de una solución azucarada es la relación entre la cantidad de azúcar contenida sobre el total de materias en solución. La pureza representa un índice del agotamiento producido en las diferentes etapas del cocimiento de azúcar.

### Sobresaturación de la masa cocida

El proceso de cocimiento se conduce en base al coeficiente de sobresaturación de la solución azucarada, el cual se define como:

$$\text{Sobresaturación } (S) = \frac{\frac{\text{cantidad de azúcar}}{100 \text{ partes de agua}} (T,P)}{\frac{\text{Cantidad de azúcar en la saturación}}{100 \text{ partes de agua}} (T,P)} \quad \text{Ec. 1}$$

*Numerador:* cantidad de azúcar por arriba de la curva de saturación ( $S > 1$ )

*Denominador:* cantidad de azúcar sobre la curva de saturación ( $S = 1$ )

La Ec. 1 permite identificar diferentes zonas de trabajo:

- $S < 1,00$  - Zona no saturada
- $1,00 < S < 1,25$  - Zona saturada (metaestable)
- $1,25 < S < 1,40$  - Zona intermedia
- $S > 1,40$  - Zona sobresaturada

En la Figura 1, se observa la curva de sobresaturación de la sacarosa pura, en la zona no saturada ( $S < 1,00$ ), no se formará ningún cristal y cualquier cristal existente se disolverá. En la fase sobresaturada ( $S > 1,00$ ), se diferencian a su vez tres zonas posibles de trabajo: zona metaestable ( $S = 1,00$  a  $1,25$ ), donde no hay formación espontánea de cristales en las condiciones ordinarias, pero si es agregado un cristal, este crecerá a expensas de la miel



presente. En la zona intermedia ( $S= 1,25$  a  $1,40$ ), además del crecimiento de los cristales existentes, hay posibilidad de formación de nuevos cristales, pero solo en presencia de los que ya se encuentran. Finalmente la zona lábil ( $S>1,40$ ), los cristales existentes crecen y pueden formarse nuevos granos aún en ausencia de los cristales formados. En esta zona también es susceptible que se formen falsos granos, que son núcleos de sacarosa que inician su crecimiento y luego se disuelven sin mantener una estructura fija debido a la variación de las condiciones del medio y a la sensibilidad de formación de estos núcleos.

En la práctica se ha determinado que la sobresaturación a la cuál comienza a cristalizar el azúcar, varía entre  $1,10$  y  $1,50$ , dependiendo de las condiciones de presión y temperatura en el tacho y del ingreso de melado virgen.

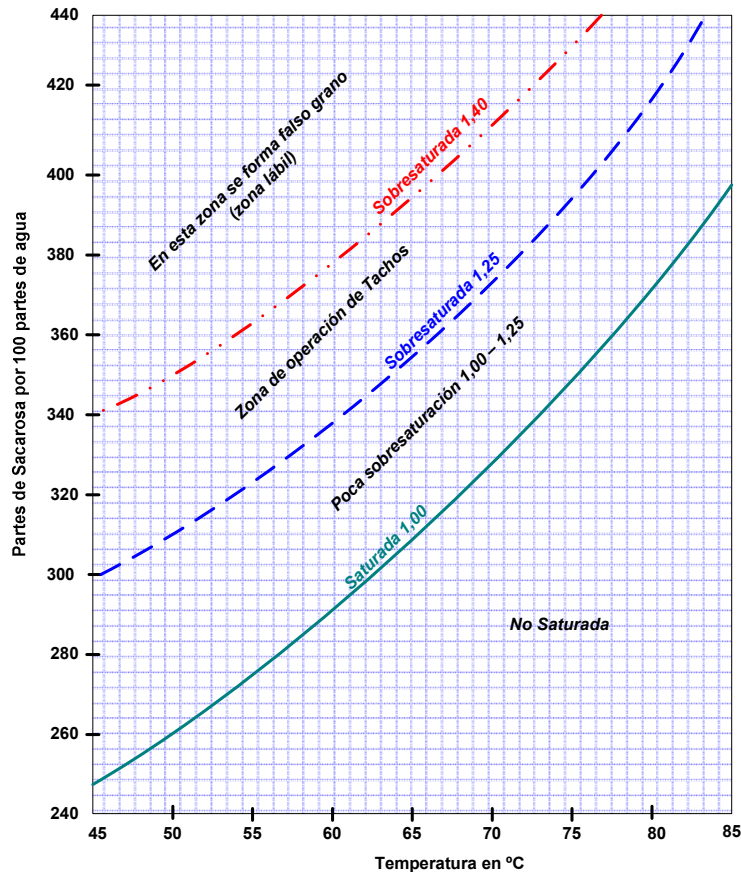


Figura 1. Curva de sobresaturación para sacarosa pura.



## Principio de funcionamiento de un tacho de cocimiento

El principio de funcionamiento de un tacho de cocimiento comprende cuatro fases principales:

- 1- Concentración
- 2- Cristalización
- 3- Crecimiento del grano
- 4- Cerrado de la masa cocida

En la primera fase se deja entrar un cierta cantidad de melado al tacho, la misma se encuentra determinada por el volumen del tacho y debe ser lo más pequeño posible, pero lo suficiente para cubrir la calandria interior del mismo, de lo contrario podría haber caramelización durante el proceso de cocción. Cuanto menor es este volumen que se deja entrar, o cuanto menor es el volumen del pie de templa, menor será el número de cristales en la masa cocida final.

A medida que el volumen de la masa cocida disminuye en el tacho (mayor concentración), se debe agregar melado para mantener el líquido a un nivel lo suficientemente alto como para cubrir la superficie de calentamiento y evitar la caramelización y el consiguiente cambio de color de la masa.

En la etapa de cristalización, cuando la sobresaturación llega a un valor determinado, por ejemplo  $S=1,40$ , correspondiente a la zona lábil, ocurre la cristalización. La misma puede realizarse por medio de la espera de la cristalización espontánea a partir de una concentración del melado de  $80^{\circ}\text{Bx}$ , o por la inclusión de granos de azúcar en la masa cocida (semillado), esta operación se realiza a través de una válvula de semillado, que posee un diámetro reducido para evitar la aspiración de aire y polvo hacia el interior del tacho. La operación de apertura de esta válvula debe realizarse lentamente.

Una vez finalizada la operación de semillado, se debe limitar el ingreso de vapor al tacho para evitar la posible disolución de los cristales finos en contacto con la superficie caliente. Luego de esperar unos minutos, el cocimiento de la masa se continúa lentamente para favorecer el crecimiento de cristales de azúcar. Durante este tiempo, no debe agregarse melado virgen, ya que provocaría la dilución de los cristales recientemente formados. Esta operación debe realizarse regulando el vacío hasta alcanzar valores normales de trabajo (alrededor de  $60[\text{cmHg}]$ ).



### Operación de un sistema de cocimiento (tres templeas)

En la Figura 2 se muestra un esquema de operación de un sistema básico de cocimiento de tres templeas, donde los productos finales obtenidos son: “Azúcar A” (Azúcar Blanco Directo) y “Azúcar B” (Azúcar cruda).

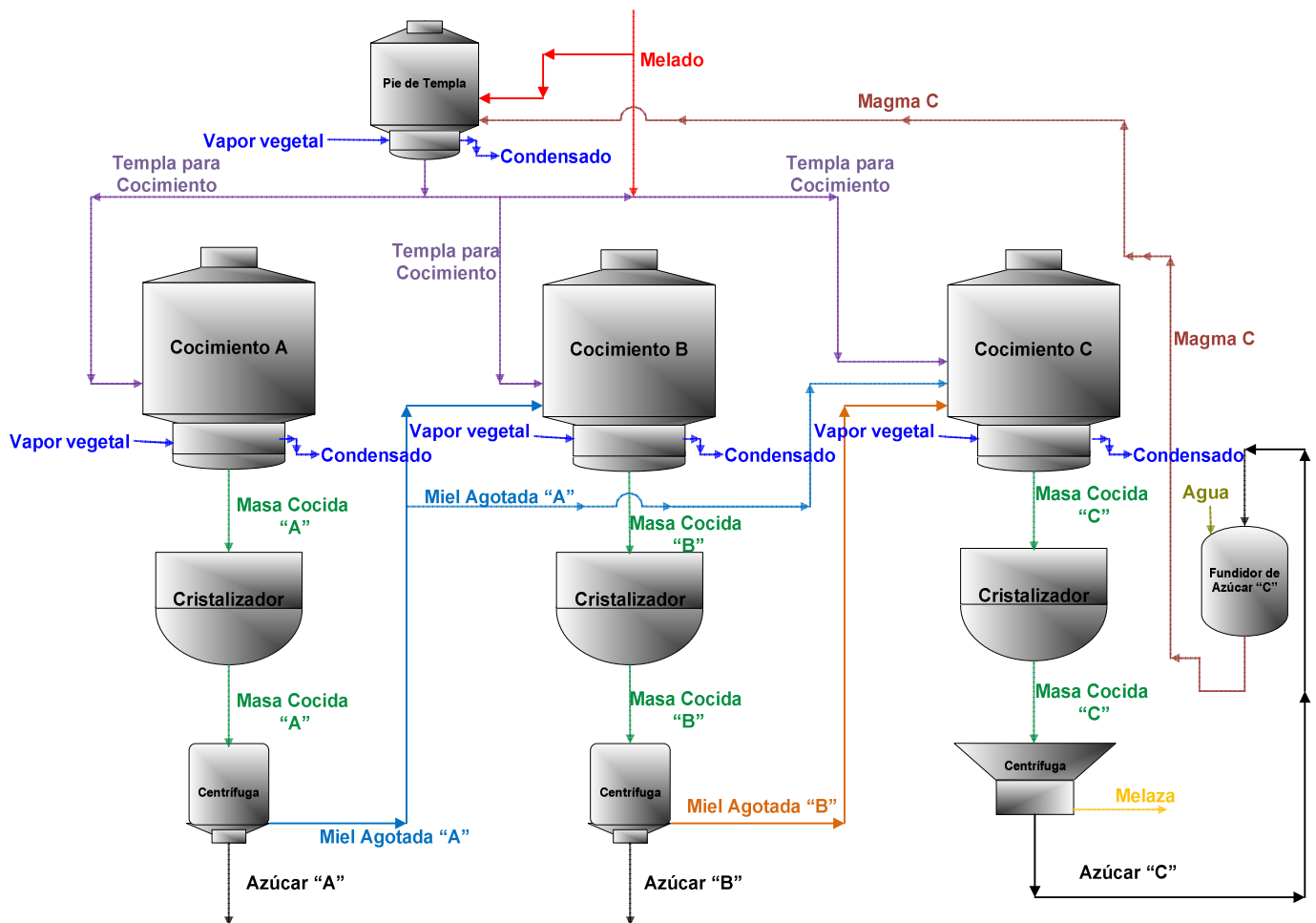


Figura 2. Esquema de operación de un sistema básico de tres templeas.



*Universidad Nacional de Tucumán*

**CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL**

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

Se parte de un tacho de cocimiento inicial donde se producirá la templa para cocimiento (pie de templa). Este tacho se llena con una mezcla de “Melado Virgen”, proveniente de la evaporación y “Magma C”, siendo este último un producto azucarado que surge de diluir con agua el azúcar que se obtiene de la centrifuga en el “Cocimiento C”. El llenado con esta mezcla se realiza hasta una altura de 2/3 de la altura total del tacho, luego se calefacciona con vapor de escape para comenzar el cocimiento.

La masa calefaccionada se concentra hasta un punto por encima de la sobresaturación (aproximadamente  $S = 1,10$ ). El nivel de la masa cocida alcanzado en el interior del tacho, debe superar la altura de la calandria para no dejar sin calefacción la misma.

Para mantener la sobresaturación en el valor deseado y el correspondiente nivel de la masa cocida, se regula la alimentación de “Melado Virgen” y “Magma C”. También es importante mantener la presión de vacío estable entre 60 a 65 [cmHg], con el objeto de conservar la ebullición de la masa cocida, y por lo tanto lograr una evaporación constante. La temperatura de la masa cocida no debe superar los 65[°C] para evitar perder sacarosa.

Es importante indicar que cuando una solución impura de azúcar se concentra se produce una elevación del punto de ebullición debido a la cantidad de sólidos presentes en esta solución.

Por otro lado, la mezcla de “Melado Virgen” y “Magma C”, debe encontrarse en constante movimiento dentro del tacho, para lograr homogeneidad y evitar conglomerados de cristales. Este movimiento se consigue mediante circulación natural, o bien mediante agitación mecánica, ya que al aumentar la concentración de sólidos también se produce un aumento en la viscosidad de la masa cocida, lo que dificulta la movilidad de la misma.

Una vez que se ha llegado a la sobresaturación deseada ( $S=1,10$ ), en las condiciones antes mencionadas, se corta la calefacción del tacho y se envía la masa resultante a los tachos de Cocimientos “A”, “B” y “C”. Los tachos de pie de templa deben tener el volumen necesario para distribuir y llenar las calandrias de todas las baterías de tachos de la sección cocimiento, pero no deben ser muy grandes para evitar tiempos largos de cocción.

En los tachos de Cocimientos “B” y “C”, el llenado de los mismos se complementan con mieles agotadas provenientes de los cocimientos anteriores para enriquecer con sacarosa la mezcla resultante. Esta operación depende de la forma en que se maneje las cocciones de las masas en la fábrica.

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)  
Septiembre de 2014



CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

*Universidad Nacional de Tucumán*

## Cocimiento “A”

Una vez alcanzado el nivel máximo de altura de la masa cocida en los tachos (2/3 parte del mismo), comienza la calefacción con vapor en los mismos. La masa cocida es llevada a un punto de sobresaturación de aproximadamente  $S=1,25$  (zona metaestable). Una vez conseguida esta condición se procede a “semillar” el tacho con el agregado de una cantidad determinada de granos de azúcar de tamaño pequeño, esta cantidad se calcula por medio de una relación en peso entre el tamaño del cristal que se quiere obtener, del tamaño de cristal de la semilla y del peso de la templa que se va a cocer.

Para la cocción de esta masa se usa el excedente de vapor vegetal obtenido en la etapa de evaporación del jugo (para un cuádruple efecto se obtienen VG1 obtenido del 1<sup>er</sup> efecto, VG2 obtenido del 2<sup>do</sup> efecto y VG3 obtenido 3<sup>er</sup> efecto). El VG1 tiene una temperatura aproximada de 118[°C] y 1,8[ata] de presión, mientras que el VG2 tiene 108[°C] y 1,5[ata] y el VG3 101[°C] y 1,2 [ata].

Las semillas actúan como núcleos que adhieren a su superficie las moléculas de azúcar que se encuentran en la miel madre (fase líquida de la masa cocida). Es importante indicar que la sobresaturación de la masa cocida se debe mantener aproximadamente entre  $S=1,25$  y  $S=1,35$ . Si se está por debajo del rango mencionado, puede producirse dilución de los cristales en crecimiento, y por lo tanto aumentar nuevamente la cantidad de azúcar disuelta en la miel madre. Ahora, si se trabaja por arriba de este rango, se puede producir granos espontáneamente, obteniendo un crecimiento irregular de los cristales, dando origen a un producto de mala calidad.

Después del semillado se alimenta constantemente las mieles con diversas puresas como el “Magma C”, el “Melado Virgen” y otras mieles ricas en sacarosa. Estas últimas, pueden provenir de alguna recuperación del proceso de cocimiento, las mismas favorecen el crecimiento del cristal y por consiguiente el aumento del volumen de masa cocida en el tacho. El vacío y la ebullición en el tacho de cocimiento deben permanecer constantes para evitar una deficiencia en la cantidad y calidad del azúcar que se quiere obtener. Si el vacío disminuye, la solución hierve a una temperatura mayor a la de 65[°C], produciéndose una dilución del cristal. Además, la solución puede perder la ebullición y demandaría un mayor tiempo de cocción (antieconómico).

Una vez alcanzada la sobresaturación deseada se procede a terminar la cocción cortando la alimentación de las mieles y concentrando la masa hasta aproximadamente 92,5°Bx. Esta operación en el ingenio azucarero se la conoce como “apretar la masa”

Prof. Ing. Marcos A. Golato

[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

(disminución de la fase líquida). La operación general de esta última etapa es lo que se conoce como cristalización en caliente.

Finalizada la cristalización en caliente, se procede a descargar la masa cocida hacia otro equipo conocido como cristizador. La operación de los cristizadores es bastante diferente a la de los tachos de cocimiento, la operación aquí se realiza en frío facilitando el crecimiento del cristal por la fuerte tendencia que tiene la masa cocida a cristalizarse, pero en esta maniobra disminuye la temperatura y la velocidad de crecimiento de los cristales. Además, la viscosidad aumenta considerablemente reduciendo la homogenización de la masa cocida. Por ello, el enfriamiento tiene un límite impuesto por las propias condiciones de la fábrica (límite económico) y se realiza normalmente entre 48[°C] y 55[°C]. El tiempo total de residencia en los cristizadores es la suma del tiempo para alcanzar la temperatura mínima y el tiempo óptimo (económico) de permanencia en ésta. Esto se encuentra limitado por la capacidad de los cristizadores de la planta y por la posibilidad de inversión de la sacarosa.

El equipo de cristalización es un depósito en forma de U que posee un volumen igual al del tacho que se descarga en él, posee paletas por cuyo interior circula agua fría. Esta operación de mezclado se hace para homogeneizar la masa (ya que su viscosidad aumenta), además de enfriarla. En esta etapa el cristal de azúcar crece hasta un tamaño predefinido para la calidad de azúcar que se quiere ofrecer. Por ejemplo, en el “Cocimiento A”, el azúcar final obtenida es del tipo conocido como “Azúcar blanco directo”.

Finalizada la cristalización en frío, se procede a elevar la temperatura hasta no más de 70[°C], para permitir la fluidización de la masa y facilitar la descarga de la misma. Una temperatura mayor a 70[°C], provocaría una dilución del grano de azúcar. Esta operación de calentamiento se realiza con vapor de baja presión, normalmente VG2 o VG3, según la disponibilidad de fábrica. También es frecuente usar agua caliente.

Terminado el enfriamiento de la masa en el cristizador, se procede a la operación de centrifugado, donde se separan los cristales de azúcar de la miel madre. Esta operación se realiza con centrífugas del tipo canasta, donde se recibe la masa cocida en su interior y se produce un centrifugado a elevada velocidad de rotación, logrando que las mieles pasen por los orificios de la canasta (malla perforada), y los cristales de azúcar queden retenidos en el interior de esta canasta. Posteriormente una vez finalizada la operación, se abre el fondo de la centrífuga y se descarga el azúcar. Es un procedimiento de carga y descarga de la misma, se realiza hasta terminar con el volumen de masa en el cristizador, existe por lo tanto una

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)  
Septiembre de 2014





Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

batería de centrífugas que ayudan a esta tarea. El azúcar así obtenida (azúcar húmeda) se transporta a la etapa de secado.

La miel separada por las centrifugas aún contienen azúcares disueltos en menor cantidad que las que la originaron, y por lo tanto, pueden ser reutilizados en los cocimientos de azúcar “B” y “C”.

### **Cocimiento “B”**

En este cocimiento se opera de la misma forma que en el “Cocimiento A”, solo que la mezcla de alimentación al tacho se hace con mayor proporción de “Miel Agotada A” que de magma o melado (este último en muy poca cantidad).

Al ser una mezcla más pobre en azúcar que la que se utilizó para el “Cocimiento A”, el tiempo de operación aumenta, como así también la cantidad y el volumen de los tachos. De igual modo también aumentan las dimensiones de los cristalizadores para equiparar el volumen de la masa de los equipos de cocimiento.

El proceso de centrifugado de la masa cocida del “Cocimiento B”, como así también del “Cocimiento A”, son operaciones discontinuas. El tamaño de los cristales de “Azúcar B” es más grande que los de “Azúcar A”.

### **Cocimiento “C”**

Este cocimiento también se opera como los dos anteriores, siendo un proceso de acabado en lo que respecta a la obtención de azúcar. Los cristales no son homogéneos en su tamaño, dando origen a una azúcar de mala calidad comercial.

El tiempo de operación de este cocimiento es más prolongado que los dos anteriores, debido a que la miel que se usa en esta etapa de cocción, es la agotada en el cocimiento anterior (“Cocimiento B”) y que posee menor pureza de azúcar, pero la suficiente como para hacer una nueva extracción económica de la misma.

Los cristalizadores tienen más o menos la misma dimensión que los del “Cocimiento B”, pero el tiempo de residencia de la masa cocida es mayor en estos equipos.

El azúcar se separa de la miel final obtenida, también por medio de centrífugas de operación continua, obteniéndose el “Azúcar C” y que posteriormente se usará para fabricar

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)  
Septiembre de 2014





En la Figura 4 puede verse otra configuración o esquema de trabajo de un sistema de 3 plantas con magma simple. En este esquema las diferentes corrientes se indican con  $X_1, X_2, X_3$ , etc., para cada una de estas corrientes se indica la concentración de sólidos (S) y la pureza (P) correspondiente. Observe que la miel recuperada de la primera planta, a la salida de la primera centrífuga (CENT 1), corriente  $X_3$ , es recirculada nuevamente al Tacho 1, donde se mezclará con el melado y la masa proveniente del cristalizador 2. Asimismo, la miel rica proveniente de la centrífuga de esta primera planta (corriente  $X_2$ ), se divide en dos corrientes ( $X_4$  y  $X_5$ ). La  $X_4$  se envía directamente al Tacho 2 para mezclarse con la corriente final de la tercera planta ( $X_{16}$  y  $X_{20}$ ). El Tacho 3 es alimentado con miel pobre (corriente  $X_{10}$ ), proveniente de la centrífuga de la segunda planta (CENT 2), más la corriente  $X_{18}$  proveniente de la primera planta. Con este esquema se logra un azúcar comercial con una pureza de 96,33% y una concentración de sólidos a la salida de la centrífuga de 73,58%.

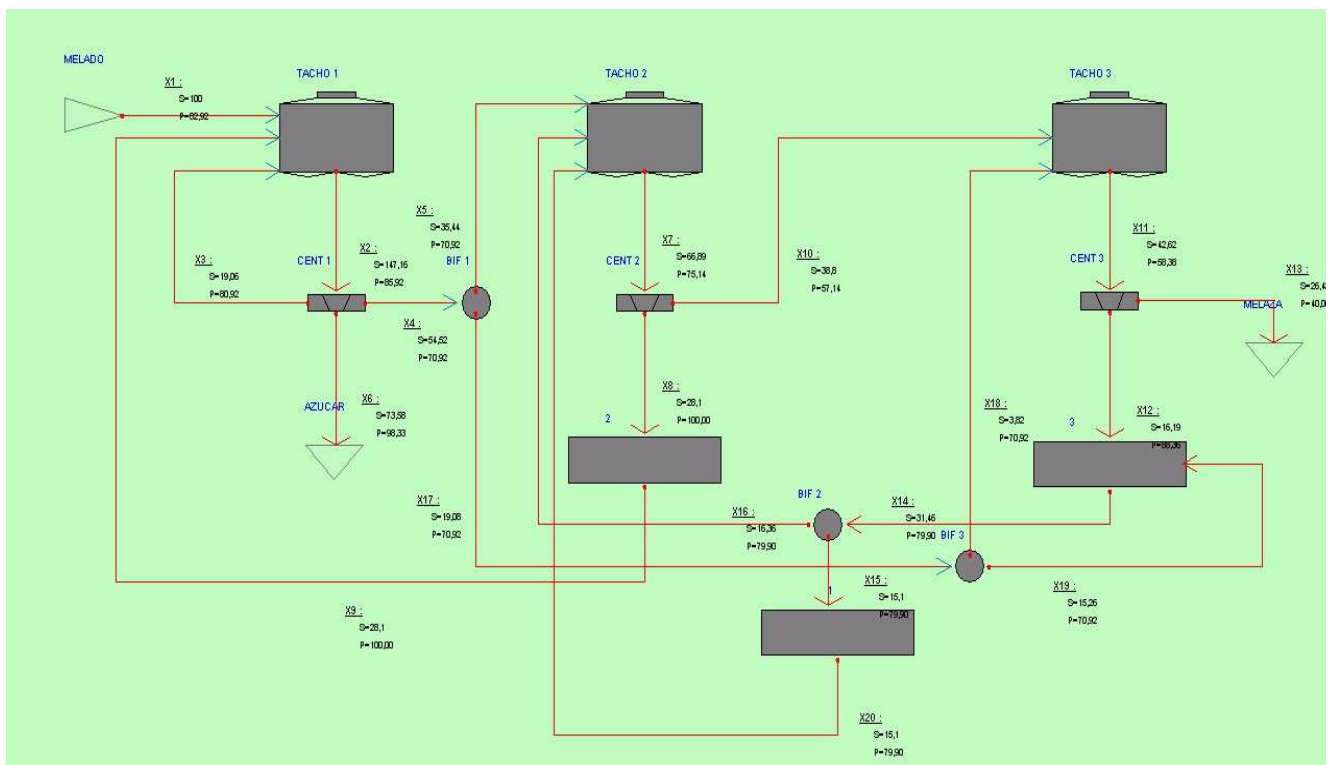


Figura 4. Sistema de cocimiento de tres plantas y magma simple.



Es importante indicar que en la producción simultánea de azúcar y alcohol, es necesario establecer nuevos esquemas de trabajo que permitan obtener los mejores resultados con los mejores rendimientos de sus productos.

En Tucumán se produce azúcar blanco directo y alcohol, este último a partir de melaza donde se recupera el azúcar remanente en esta miel final por medio de un proceso de fermentación.

Desde el punto de vista productivo, cumplir con el objetivo de producir azúcar y alcohol simultáneamente, resulta necesario cambiar el sistema productivo cuando se trate de un ingenio netamente azucarero. Actualmente, se encuentra en vigencia la Ley Nacional N°26.093 de biocombustibles, que da fomento a la producción de alcohol anhidro (alcohol carburante) para su corte con todas las naftas. Por otro lado, la Ley Nacional N°26.300 incluyó en este programa a la caña de azúcar como fuente de materia prima. En función de esta última Ley la industria azucarera tucumana tiene que enfrentar el desafío de producir simultáneamente azúcar y etanol anhidro, en el que las calidades finales de los productos y sus efluentes dependen fuertemente de la composición de la materia prima y del manejo adecuado de las operaciones del proceso productivo (Diez, et al., 2011).

### **Tabla resumen de los tiempos de operación de sistemas de cocimientos**

#### **(Condiciones iniciales y finales del cocimiento de tres templeas)**

Las mezclas de mieles con los que se alimenta el pie de templa, Cocimiento “A”, Cocimiento “B” y Cocimiento “C”, deben tener una concentración inicial de aproximadamente 60° y 70°Bx. La Tabla 1 muestra los parámetros característicos del cocimiento de tres templeas.

**Tabla 1.** Parámetros característicos del cocimiento de tres templeas.

	<b>Pureza aparente inicial [%]</b>	<b>Pureza aparente final [%]</b>	<b>Concentración final [°Bx]</b>	<b>Tiempo de cocción en tachos</b>	<b>Tiempo de enfriamiento en cristalizadores</b>
<b>Masa Cocida “A”</b>	84	69	92,5	2 hs	4 hs
<b>Masa Cocida “B”</b>	76	57	92,5	3 hs	4 hs
<b>Masa Cocida “C”</b>	62	42	95,5	Mínimo 5hs	16 hs a 30 hs
<b>Pié de Templa</b>	84	-	89,0 a 91,0	1 hs a 2 hs	-



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

## Sistema de control de un tacho de cocimiento

Actualmente en la industria azucarera local, no existen operaciones de cocimientos de azúcar completamente automáticas, la tarea del operador del tacho o “tachero”, sigue siendo un arte que se fundamenta en la experiencia del mismo. Si bien diferentes investigadores han desarrollado instrumentos y técnicas de control para este proceso, no son ampliamente aplicadas debido principalmente a las limitaciones económicas y de instrumentación (Velásquez Orozco, L., 2013; Sabadí Díaz, R., 2009; Fuentes Navarro, S., 2006; HONING, P., 1987; HUGOT, E., 1974).

Desde el punto de vista práctico, se han desarrollado técnicas adecuadas de control e instrumentación que permiten obtener un grano de tamaño uniforme, de buena calidad y con rendimiento máximo.

La concentración de una solución de azúcar en un cocimiento está relacionada con la elevación del punto de ebullición. Las técnicas de control del cocimiento de azúcar se basan en la medida de la sobresaturación, que a su vez posee una relación directa con la presión absoluta en el tacho. Por ello, la falta de control sobre esta presión, origina variaciones de temperatura que producen cambios en el estado de la sobresaturación. Si la presión sube, la temperatura aumenta y el grano es susceptible de fundirse. Ahora, si la presión baja, la temperatura disminuirá y podrá ocurrir la formación de un nuevo grano o de un conglomerado de los mismos.

Otro parámetro de importancia es la fluidez de la masa cocida, que se encuentra relacionada con la viscosidad de la misma. Esta variable puede ser utilizada para regular la alimentación de melado al tacho. La medida de la fluidez es importante en especial al final de la templa, ya que resulta necesario disminuirla lo máximo posible, con el fin de obtener el máximo rendimiento.

Aún con los controles antes mencionados, existen diversas variables que afectan al proceso de cocimiento de azúcar, por ejemplo, la variación de las impurezas que acompañan las soluciones azucaradas, afecta la formación del grano de azúcar y las velocidades de cristalización. Por otro lado, las características del tacho pueden producir variaciones que se deban al diseño del mismo y que afecten, por ejemplo, al flujo de vapor de calefacción y a su presión, que en consecuencia afectarán las velocidades de evaporación. Por ello, es fundamental estudiar los casos de manera particular para aplicar una técnica de control apropiada para cada condición encontrada.

En general, las técnicas de control tradicionales aplicadas en los sistemas de cocimientos de azúcar, incluyen los siguientes lazos:

- Control automático de presión absoluta mediante el control de flujo de agua al condensador barométrico del tacho.

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



- Medida automática de la sobresaturación para el control del semillado.
- Control automático de la fluidez que regula la alimentación del tacho.
- Control de flujo de vapor a las calandrias.
- Control de nivel de la masa cocida en el tacho.

En la Figura 5 puede observarse un esquema tradicional de control automático de un tacho de cocimiento antiguo. Este sistema comprende un control automático de la presión absoluta, medidas de temperatura para la determinación de la elevación del punto de ebullición, control de la fluidez de la masa cocida para la regulación de la alimentación de melado al tacho y de la cantidad de vapor necesario en la calandria.

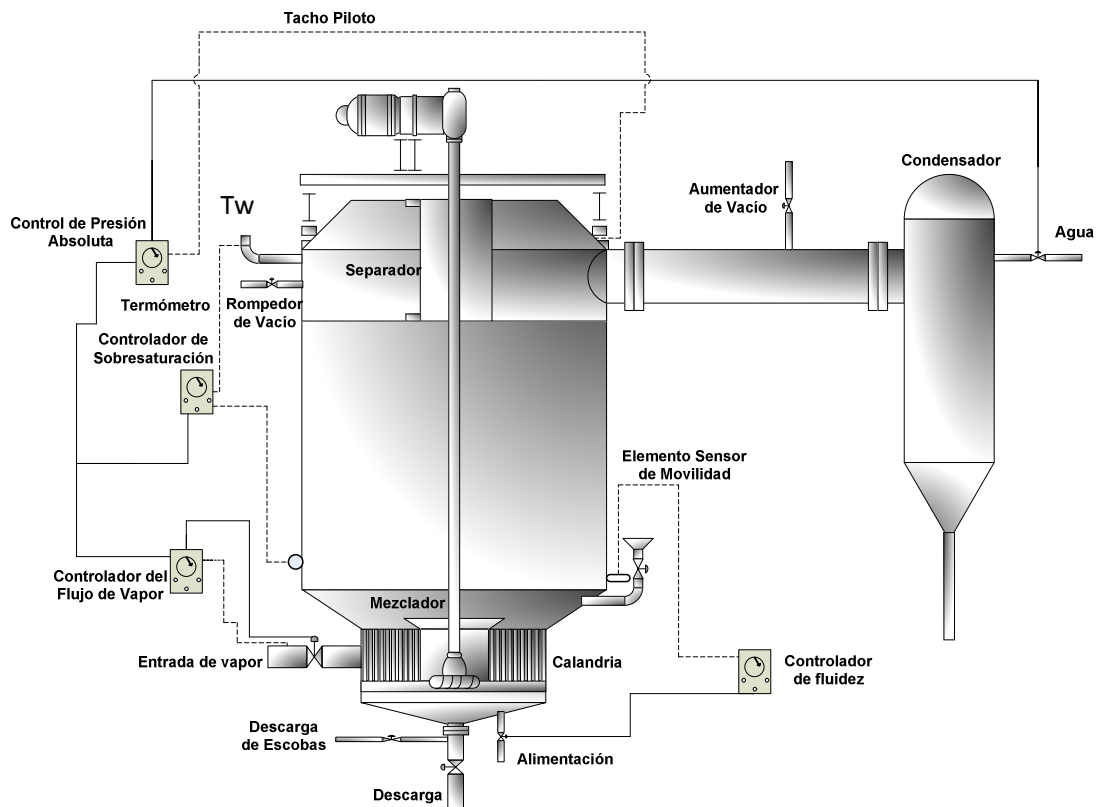


Figura 5. Esquema de control automático de un tacho de cocimiento antiguo.

La presión absoluta de vacío se debe mantener por debajo de 365 [mmHg], la misma se controla por medio de la válvula mariposa de estrangulamiento que regula el flujo de agua de ingreso al condensador barométrico, lo cual incide directamente en el vacío con el cual trabaja el tacho.



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

El control de la sobresaturación del cocimiento, se realiza por medidas del ascenso del punto de ebullición (APE) de la solución azucarada. Se mide la temperatura de ebullición de la masa cocida ( $T_s$ ) y la temperatura de ebullición del agua ( $T_w$ ) a la misma presión absoluta que se encuentra la masa. La medida de estas dos temperaturas nos da el valor de sobresaturación de manera directa. Se calcula la sobresaturación como la relación entre el ascenso del punto de ebullición observado ( $APE_{OBS}$ ) y el ascenso del punto de ebullición correspondiente a la saturación ( $APE_{SAT}$ ). Existen ecuaciones empíricas para determinar las condiciones de la sobresaturación en función de los APE indicados.

Es importante destacar la calidad que deben tener los sensores de temperatura que miden las temperaturas  $T_s$  y  $T_w$ , los mismos deben ser altamente sensibles a los cambios de temperatura. El sensor que mide la temperatura de la masa cocida ( $T_s$ ), debe ser robusto ya que debe resistir el movimiento de la masa cocida en constante ebullición. Este sensor normalmente se encuentra ubicado en el centro del tacho por debajo del nivel de carga y en contacto directo con la masa cocida. Asimismo, el sensor que mide de la temperatura del agua saturada ( $T_w$ ) a la presión absoluta de vacío, se ubica en un tacho piloto externo, donde se condensa el vapor saliente del tacho de cocimiento a igual presión absoluta, de manera de garantizarse una correcta medición de esa temperatura en la zona de saturación del agua.

La movilidad de la masa cocida se determina por medio de unas paletas ubicadas en la parte inmediata superior de los tubos laterales de la calandria en el seno de la masa cocida. La carga que recibe la paleta sirve como indicador (de viscosidad) para alimentar miel fresca y así conseguir un mejor crecimiento de cristal. En algunos sistemas más antiguos, se mide la corriente del motor que acciona el agitador mecánico, a medida que aumenta la concentración, la fuerza necesaria para vencer los esfuerzos de corte en la masa aumentan, dándonos una idea de su grado de fluidez. La carga del motor es registrada en un controlador que actúa sobre la válvula de melado para mantener la fluidez constante.

El flujo de vapor a la calandria se mide directamente y se controla neumáticamente por medio de un controlador de flujo el ingreso de vapor.

La medida de nivel de un tacho antiguo, se realiza por medio de reglas calibradas y mirillas que se encuentran a distintas alturas del tacho. En los tachos más modernos, la medición de nivel se logra por medio de un transmisor de presión diferencial que puede ser montado en el fondo del tacho, donde la masa cocida ejerce presión sobre un lado del diafragma interno del instrumento y es equilibrado por medio de presión de aire en el otro lado del diafragma. La

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



Universidad Nacional de Tucumán

**CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL**

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

diferencia entre la presión equilibradora y la del tacho de vacío, es proporcional al nivel de la masa cocida para condiciones constantes de la densidad de la misma.

### **Sistema de control moderno de cocimientos de azúcar**

En general las plantas azucareras modernas desarrollan la automatización de los tachos por medio del control regulatorio clásico, mediante Controladores Lógicos Programables (PLC`s), Sistemas de control distribuido (DCS) y a través de lazos PID clásicos.

La sobresaturación es la principal variable de control en el cocimiento de soluciones azucaradas. La medida del grado de sobresaturación no se obtiene de forma directa, sino que exige la obtención de variables adicionales y el correspondiente cálculo matemático. Asimismo, es posible efectuar las mediciones de otras variables que de alguna forma se encuentren relacionadas con la sobresaturación de la masa cocida. Estos parámetros siguen siendo:

- Ascenso del punto de ebullición (APE).
- Potencia del agitador mecánico (viscosidad).
- Concentración de la masa cocida ( $^{\circ}\text{Bx}$ ).
- Conductividad eléctrica de la masa cocida.
- Densidad de la solución.

Para hacer una correcta elección de la variable a medir y de la tecnología a seleccionar, se debe tener en cuenta, como dijimos anteriormente, las purezas de las mieles que se introducen al tacho, la agitación (mecánica o natural) y la velocidad de crecimiento de los cristales. Recordemos que el control aplicado debe evitar la formación espontánea del grano (falso grano) y la variación del tamaño de los cristales de azúcar.

Las variables fundamentales de control en un proceso de cristalización al vacío son: sobresaturación, concentración, conductividad, presión absoluta del tacho y fluidez de la masa cocida. Como variables manipuladas se presentan: flujo de vapor, flujo de melado y flujo de agua al condensador barométrico.

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014





## Control indirecto del cocimiento

El control de la sobresaturación de la masa cocida, se puede realizar por medio de las siguientes estrategias:

- Estrategia 1: 2(dos) acciones de control directas (en lazos abiertos) y 1(uno) lazo de control cerrado. El control de la sobresaturación se realiza manipulando directamente el flujo de vapor al tacho por medio de  $VC_{vap}$ , el control del flujo de melado por manipulación directa del mismo a través de  $VC_{mel}$ ; y control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua al condensador por medio de  $VC_{agua}$ . En la Figura 6 puede verse esta estrategia de control, la misma se aplica normalmente cuando se tiene un flujo constante de melado al tacho.

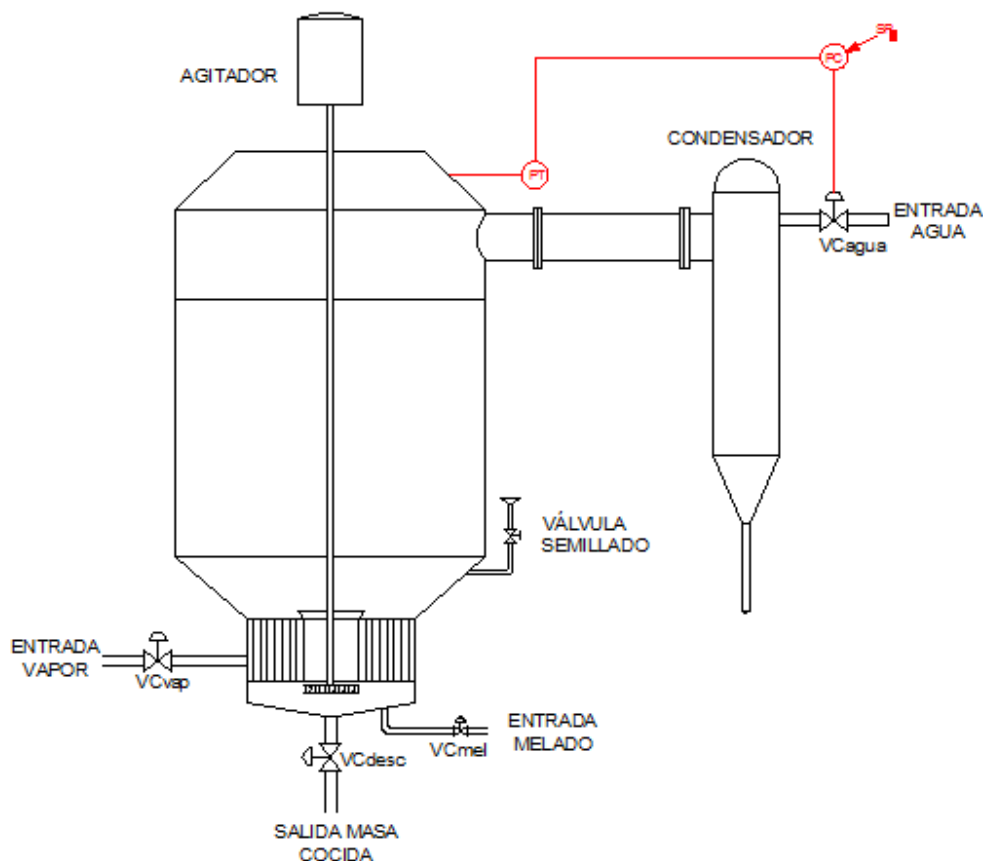


Figura 6. Control de la sobresaturación por acción directa (lazo abierto) del flujo de vapor y del flujo de melado. Control de la presión de vacío por regulación del flujo de agua al condensador (lazo cerrado).



- **Estrategia 2:** 3(tres) lazos de control con las siguientes funciones: control en cascada de la sobresaturación y el flujo de melado al tacho, control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua al condensador y control de la presión del vapor en la calandria por medio de la manipulación del flujo de vapor. La Figura 7 muestra esta estrategia que se aplica cuando se tiene un flujo constante de vapor y una estable presión de vacío en el tacho.

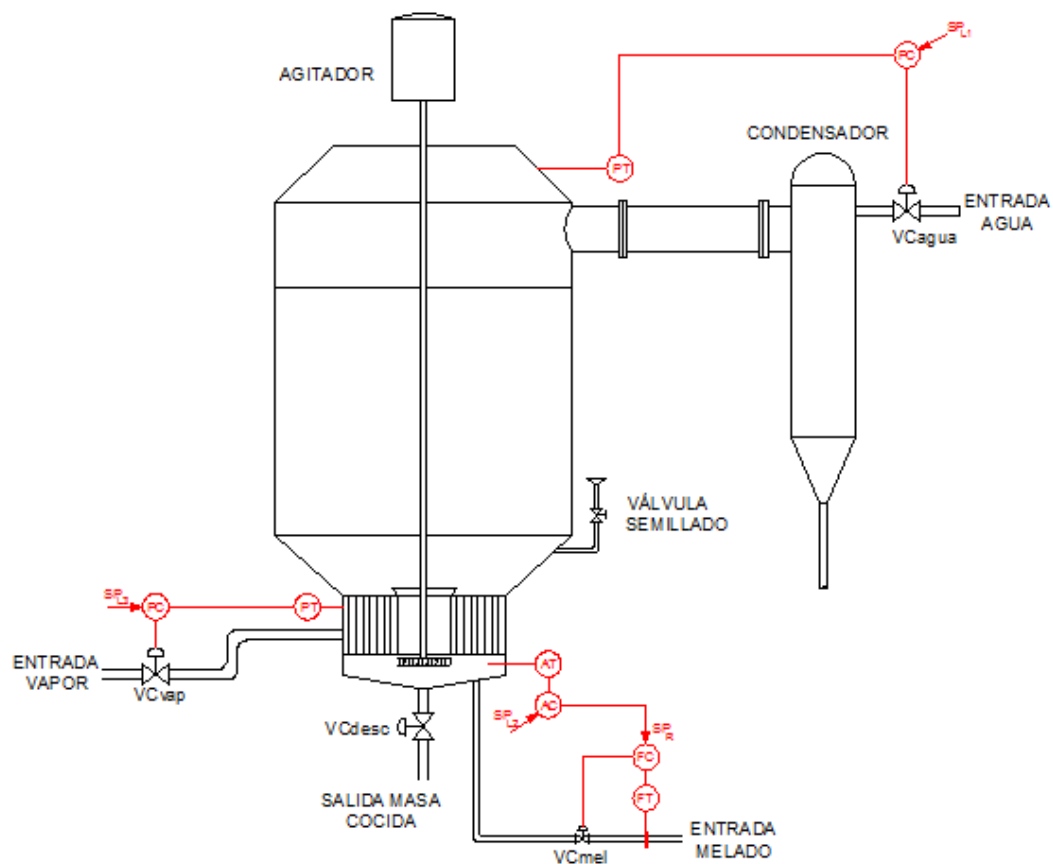


Figura 7. Control de la sobresaturación por medición directa de la misma, regulando en cascada el flujo de ingreso de melado al tacho y control de la presión de vacío por regulación del flujo de agua al condensador.

- **Estrategia 3:** Tres lazos de control con las siguientes funciones: control de nivel de la masa cocida manipulando directamente el flujo de melado al tacho, control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua al condensador y control de la temperatura o presión del vapor en la calandria a partir de la manipulación directa



del flujo de vapor. Esta estrategia se muestra en la Figura 8 y se aplica cuando se tiene una temperatura o presión del vapor constante, al igual que la presión absoluta del tacho.

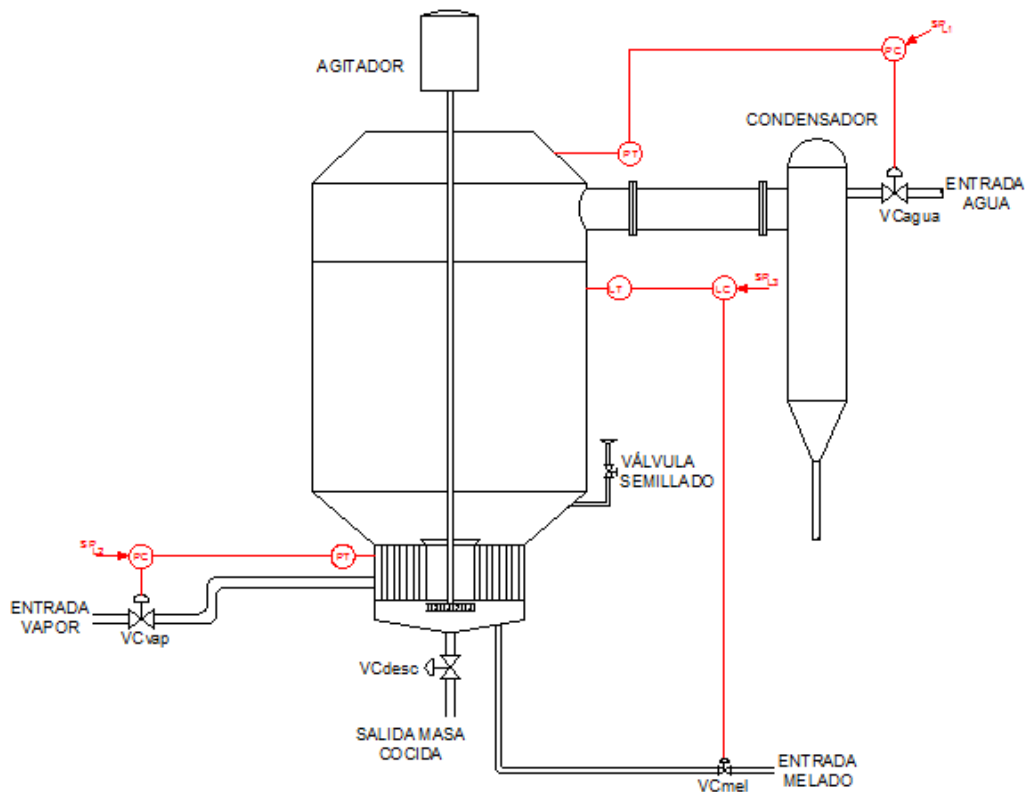


Figura 8. Control de la sobresaturación por acción indirecta del flujo de vapor de ingreso al tacho y del flujo de melado en función del nivel del mismo. Control de la presión de vacío por regulación del flujo de agua al condensador.

- Estrategia 4: Cuatro lazos de control con las siguientes funciones: control de nivel de la masa cocida manipulando en cascada el flujo de ingreso de melado al tacho, ajustado la señal de control en función de la conductividad de la masa cocida. Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua al condensador y control de la presión del vapor en la calandria a partir del lazo de control de presión y regulación de la válvula de entrada de vapor (VCvap.) Esta estrategia se muestra en la Figura 9 y se



aplica cuando se tiene una temperatura o presión del vapor constante, al igual que la presión absoluta del tacho.

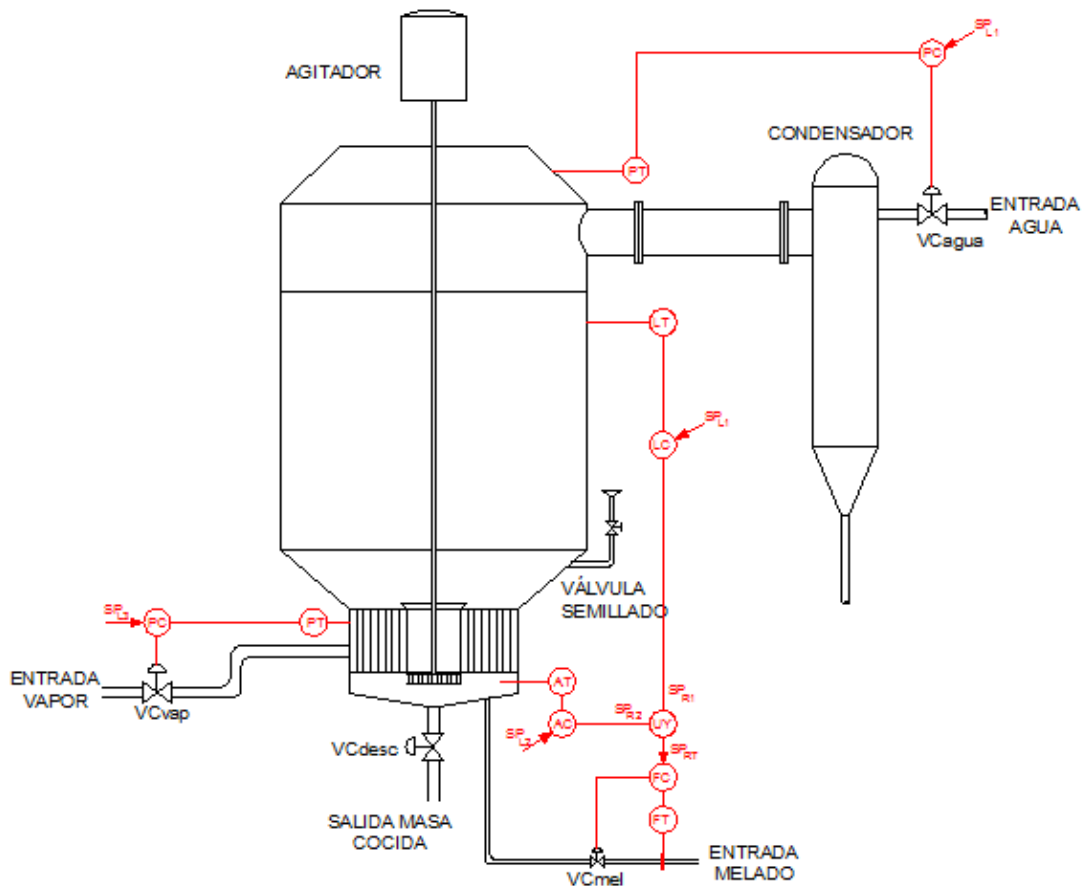


Figura 9. Esquema de control indirecto del tacho de cocimiento.

Si partimos de un estado de sobresaturación normal del tacho de  $S = 1,3$ , ante cualquier perturbación, por ejemplo ingreso de miel fresca, esto produciría una dilución de la masa cocida y una disminución de la temperatura de la solución, lo que finalmente producirá una disminución de la sobresaturación.

Si se aplica la Estrategia 1 (Figura 6), el “tachero” deberá corregir manualmente la alimentación del vapor de calefacción para aumentar la cantidad del mismo y permitir por consiguiente el aumento de la evaporación en el tacho. Asimismo, este incremento de la tasa de evaporación, provocará un aumento de la concentración de la masa cocida. A su vez, esta maniobra provocará



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

una elevación de la temperatura de la masa, que se corrige automáticamente con el aumento del flujo de agua al condensador. De esta manera se logra mantener el vacío y por consiguiente la ebullición de la masa a la temperatura deseada de 65[°C].

Simultáneamente, al haber ingresado la miel fresca al tacho, se ha producido un aumento del nivel de la masa cocida, por consiguiente el “tachero” debe actuar cerrando la válvula de entrada de melado de manera manual. Normalmente el llenado del tacho se realiza hasta la 2/3 parte de su altura, este nivel lo controla directamente el “tachero” a través de las mirillas que se encuentran a lo largo del tacho.

En la Estrategia 2 (Figura 7), se ha incorporado un analizador de concentración de modo que si existiera una perturbación que produzca una sobresaturación mayor a  $S = 1,3$ ; por ejemplo 1,4; el controlador maestro envía una señal en cascada al controlador del flujo de melado para que corrija la apertura de la válvula, en este caso deberá abrir la válvula de ingreso de miel fresca. Esta última acción provocará una disminución del grado de ebullición, por lo que el operador deberá disminuir de manera manual la apertura de la válvula de vapor para mantener constante la ebullición de la masa. Estas variaciones del grado de ebullición, provocarán variaciones en la presión interna del tacho, que se ajustara automáticamente con la regulación del caudal de agua al condensador. De esta manera se lograría regresar al estado de sobresaturación de 1,3.

La Estrategia 3 (Figura 8), tiene en cuenta la variación del nivel de la masa cocida en el tacho. Como se mencionó anteriormente de que un exceso en la sobresaturación de la masa puede ser controlado por medio del ingreso de melado fresco, el mismo provocaría variaciones en el nivel del tacho. Por ello, esta estrategia tiene como objetivo mantener un nivel lo más constante posible, pero el grado de sobresaturación para este caso se controla indirectamente con la regulación del vapor.

La Estrategia 4 (Figura 9), muestra un sistema de control más completo para el tacho de cocimiento de azúcar, el mismo posee las virtudes de las tres estrategias planteadas anteriormente. En este caso el grado de sobresaturación de la masa se controla regulando automáticamente el flujo de melado que ingresa al tacho por medio de una medición directa de la sobresaturación y en función del nivel de la masa cocida en el equipo. Si el nivel cae por debajo de los 2/3 de altura, el sistema envía una señal para abrir la válvula de melado (VCmel.). Suponiendo que el grado de sobresaturación se encuentre por arriba del valor deseado, el sistema permitirá el ingreso de melado, ya que la acción del mismo provocará la dilución de los cristales hasta un grado de saturación menor. En el caso de tener una sobresaturación por debajo de la

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)  
Septiembre de 2014



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

deseada, debería permitirse una mayor tasa de evaporación por medio de un incremento de la temperatura de la masa por medio del aumento del fluido calefactor (vapor).

### **Carga de melado en los tachos de cocimiento**

El comienzo de la carga de melado al primer tacho (pie de templa), debe realizarse como se dijo anteriormente, hasta un nivel por encima de la calandria, aproximadamente a  $2/3$  de la altura del tacho, y por medio de una regulación en la cantidad de vapor de calefacción, se debe llevar la masa cocida hasta un estado de saturación y mantenerla en esta condición hasta su descarga en los tachos de los Cocimientos A, B y C.

En esta etapa de carga se debe tener un control sobre el vacío del cuerpo para que la solución hierva a una temperatura inferior a  $70[^\circ\text{C}]$ . Esto se logra por medio de un lazo de control de presión de vapor que regula la misma por medio de la manipulación del flujo de agua al condensador barométrico instalado a la salida del tacho. La presión de vacío se mide por medio de un transmisor de presión en la zona superior de la cámara de vapor del cuerpo, la señal de medición se envía a un controlador que acciona sobre la válvula de vacío (ver Figuras 6, 7, 8 y 9).

Asimismo, el nivel del tacho debe ser controlado para evitar diluciones de la masa por el agregado de miel fresca, que ocasione una baja de la sobresaturación. Por otro lado, el ingreso de melado puede romper el estado de ebullición de la masa si no se regula correctamente la alimentación del mismo. Por ello, se instala un sensor de nivel a la altura normal de llenado, la señal de medición se envía al controlador de nivel y la acción de control, debe ajustar la válvula de regulación del flujo de melado en la alimentación al tacho (ver Figuras 8 y 9).

Durante las operaciones de llenado y regulación de la presión en el cuerpo y del nivel de la masa cocida, el flujo de vapor de calefacción debe ajustarse reiteradamente con el objeto de alcanzar el equilibrio térmico de la operación de cocimiento. Para ello, se utiliza un lazo de control de presión que regula la presión de vapor de escape en la calandria con la acción de una válvula de vapor instalada en la alimentación de la misma (ver Figuras 7, 8 y 9).

En esta etapa de carga de melado en el tacho, los lazos de control descriptos se encuentran operando de manera independiente hasta completar esta operación de carga.

### **Etapas de concentración de azúcar**

Una vez cargado los tachos de cocimientos A, B y C y alcanzadas las condiciones de sobresaturación ( $S=1,25$ ), se procede a el semillado de la masa en el tacho. Los sistemas de

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

control de nivel, vacío, sobresaturación y calefacción, se deben ajustar conjuntamente para conducir a un crecimiento óptimo de los cristales de azúcar hasta terminar la cocción de la masa cocida.

### **Medición de la consistencia de los jarabes**

La firma Ziegler & Associates ha diseñado monitores para medir la consistencia de los jarabes y masas cocidas en ebullición. La viscosidad es una buena medida de la concentración de una solución cuando es de primordial importancia para la calidad del producto. Estos equipos se componen básicamente de un rotor de tipo hélice impulsado por un pequeño motor de corriente continua y una fuente de alimentación alojada en un gabinete con un medidor que indica las variaciones en la corriente del motor, que aumenta con el aumento de la viscosidad del fluido en el que la hélice está girando. Además, un amplificador convierte la lectura del medidor a una señal de salida estándar de 4 a 20 [mA] para el accionamiento de registradores, controladores o transductores I/P.

La escala de este tipo de medidores se encuentra calibrada de 0 a 100% del rango de viscosidad deseada y que se puede seleccionar por medio de los ajustes de cero y span en la parte frontal del gabinete monitor. Normalmente se establece como cero el rotor girando en el aire (funcionamiento en vacío) y 100% con el rotor detenido, el rango es esencialmente cero para viscosidad infinita y la lectura es de aproximadamente logarítmica sobre el centro de la escala (normalmente 80%). Esta característica permite al monitor dar una adecuada legibilidad en la amplia gama de consistencias encontradas en las masas cocidas de azúcar con viscosidades aproximadamente entre 400 y 20.000 centipoises.

### **Medición del grado de sobresaturación de la masa cocida**

Especialistas de la firma Ziegler & Associates han diseñado instrumentos para la indicación de la sobresaturación de los jarabes de azúcar en ebullición en los tachos de cocimiento. Estos instrumentos trabajan con los grados de pureza que normalmente se encuentran en el azúcar en ebullición y compensan las variaciones de presión absolutas entre 4 y 10 [in Hg]. Poseen un rango de trabajo de 0 a 100% sobresaturación (1,0 a 2,0 sobresaturación).

Una vez que el equipo se ha ajustado para el tipo de jarabe azucarado que se está cociendo, por ejemplo con una sobresaturación de 65% como límite superior de la zona metaestable; el instrumento la mantiene por debajo de este valor, ya que los cristales de azúcar crecerán en una manera ordenada a un ritmo casi proporcional a grado de la sobresaturación, tratando de evitar la zona lábil, donde se produce el grano falso o espurio.

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014



## Tachos de cocimiento continuos

Hasta los años 80 del siglo XX, la cristalización por evaporación del azúcar se realizaba casi exclusivamente en aparatos de funcionamiento discontinuo. Este aparato se diseñaba para un estado de marcha medio. Durante la fase de formación de los cristales se precisa un tacho con una superficie pequeña de calefacción, ya que en esta fase del proceso, la capacidad evaporadora debe adaptarse a la baja capacidad de cristalización. Con frecuencia, al final del proceso, la superficie de calefacción no es suficiente para alcanzar la capacidad evaporadora deseada. Por ello, especialistas diseñaron los tachos de cocimientos continuos, los mismos pueden ser de tres tipos: 1) de compartimiento horizontal múltiple. 2) del tipo flujo pistón y 3) vertical de múltiple ciclos.

La Figura 10 muestra un esquema de un tacho continuo de cocimiento diseñado y en la Figura 11 puede observarse un tacho de cocimiento vertical. El tacho batch tiene la ventaja de que la instrumentación es de relativamente de bajo costo y presenta mayor flexibilidad de operación. Los tachos continuos presentan una mayor economía en el uso del vapor. El control de los tachos batch es más complicado que los continuos, pero este último tiende a tener más lazos de control por etapa. Ambos son de automatización satisfactoria.

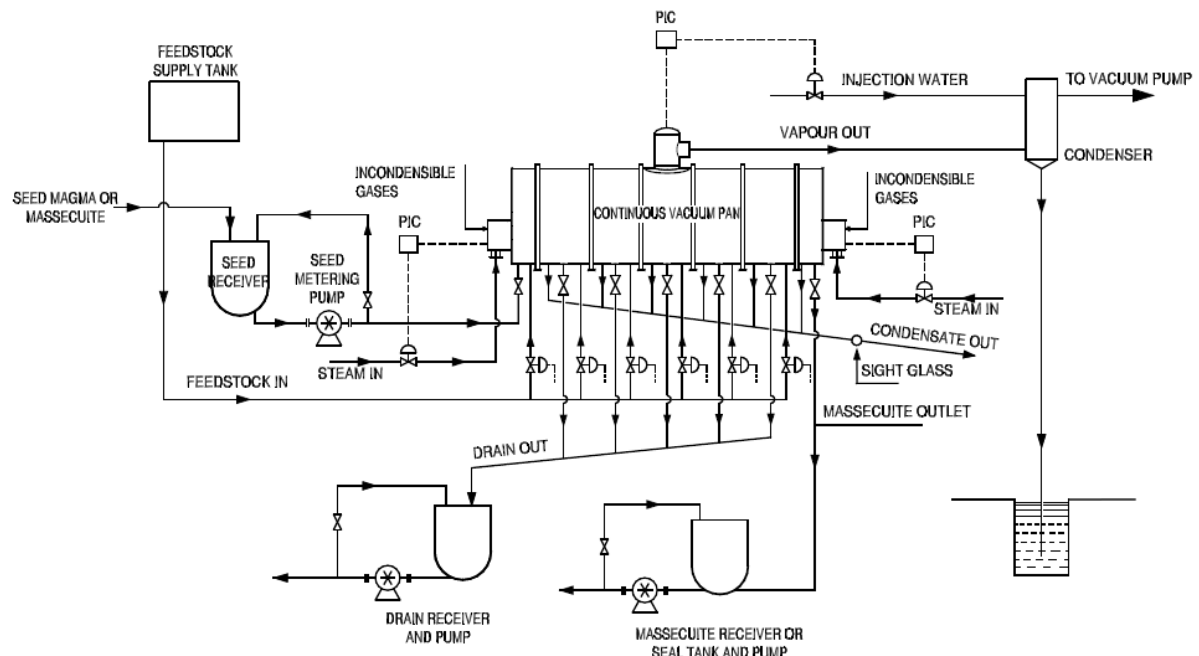


Figura 10. Tacho de cocimiento continuo de la firma Fletcher Smith Limited.





Con respecto a las incrustaciones de las superficies internas, este es un inconveniente que no se encuentra en los tachos batch, pero representa un problema serio en los tachos continuos. Si analizamos el costo, los tachos continuos presentan un mayor costo por unidad de volumen.

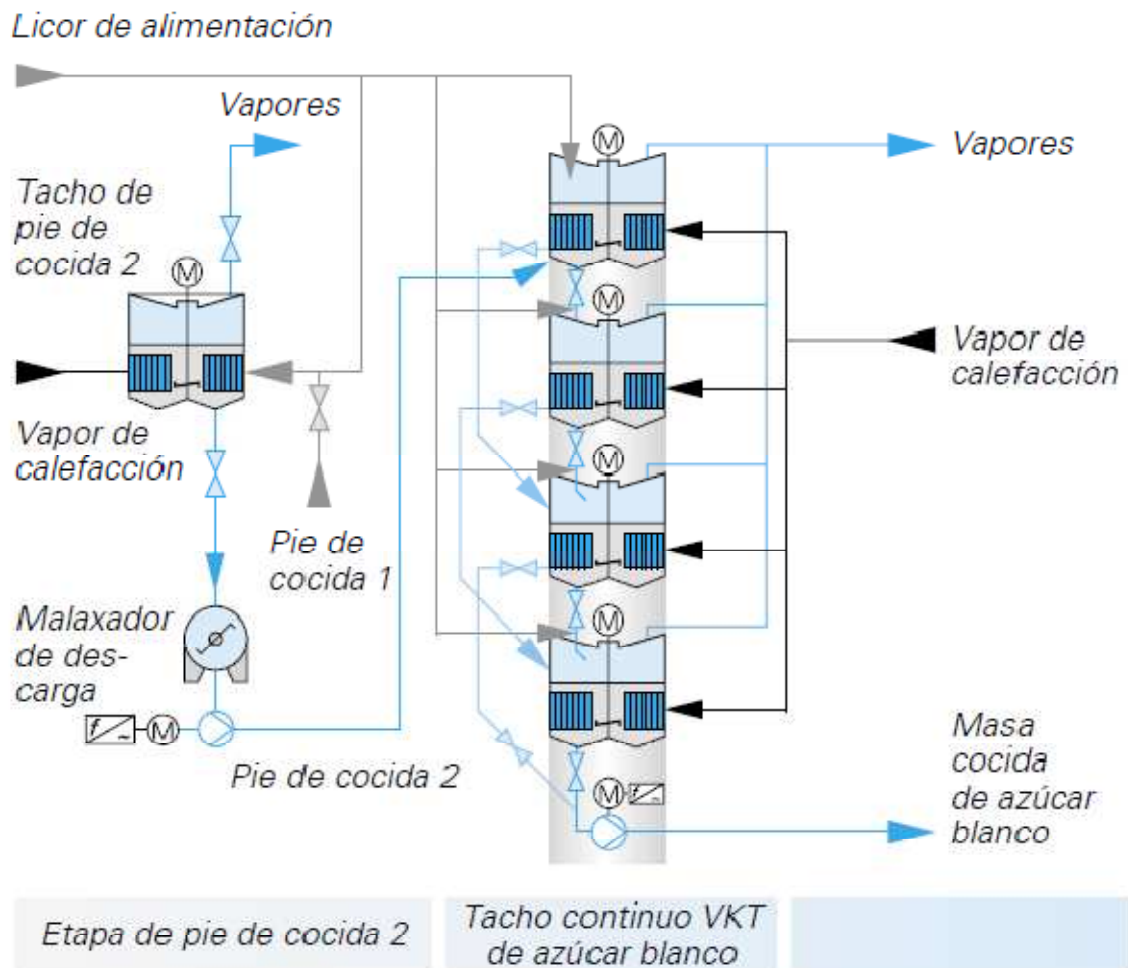


Figura 11. Tacho de cocimiento vertical continuo de la firma BMA.



## Definiciones

- *Tachos de cocimiento*: Equipo cilíndrico que se usa para realizar la cristalización por medio del cocimiento de las mieles que provienen de la etapa de evaporación y de la recirculación de las mieles agotadas del cocimiento.
- *Calandria*: Conjunto de tubos paralelos colocados entre dos placas en posición vertical, hechos de material conductor del calor. La circulación del vapor se produce por la parte exterior de los tubos, siendo la circulación de los productos azucarados por la parte interior.
- *Melado*: Miel azucarada obtenida por la evaporación de agua del jugo de caña, en equipos evaporadores continuos de varios efectos (por lo general cuatro)
- *Masa cocida*: Es una mezcla de miel mas cristales de azúcar que se esta cociendo en los tachos de cocimiento puede ser “A”, “B” o “C”.
- *Miel agotada “A”*: tambien conocida como miel pobre, obtenida del cocimiento “A” al ser centrifugada el azúcar . Tiene un contenido en azúcar menor al melado.
- *Miel agotada “B”*: O miel pobre obtenida del cocimiento “B” al ser centrifugada. Tiene un contenido en azúcar menor a la miel agotada “A”.
- *Magma “C”*: Producto azucarado que surge de diluir el azúcar que se obtiene de la centrífuga en el cocimiento “C”.
- *Melaza*: Producto final del cocimiento “C”, es la miel final que sale de las centrífugas en el cocimiento “C”.
- *Azúcar “A”*: Azúcar obtenido en los cocimientos “A” a la salida de las centrífugas, es un azúcar comercial
- *Azúcar “B”*: Azúcar obtenida en los cocimientos “B” a la salida de las centrífugas, es un azúcar comercial.
- *Azúcar “C”*: Azúcar obtenida en el cocimiento “C” a la salida de las centrífugas. Se usa para preparar el magma.
- *Saturación*: Son las partes de azúcar (solute) por cada 100 partes de agua (solvente) que pueden disolverse sin que se produzca precipitación del soluto a una dada temperatura y presión.
- *Sobresaturación*: se produce cuando la solución saturada en el soluto sigue disolviendo al mismo a la misma temperatura, pasando la saturación sin que se produzca precipitación.



Universidad Nacional de Tucumán

CÁTEDRA SISTEMAS DE CONTROL

Av. Independencia 1800

Block 3 / Box 3-2-16

Web: [www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol](http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/sistemasdecontrol)

Email: [sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar](mailto:sistemasdecontrol@herrera.unt.edu.ar)



Departamento  
Ingeniería Mecánica

### Bibliografía consultada

- *Cane Sugar Engineering*. Peter Rein. Verlag Bartens. 2007.
- *Manual para ingenieros Azucareros*, HUGOT E., (Segunda edición en Español 1984, Compañía Editorial continental S.A), pp 85-249.
- *Caracterización Industrial del proceso de cristalización de azúcar por enfriamiento*. Dr. Félix Juan Domínguez Alonso. Universidad de Matanzas Facultad de Ingenierías Química-Mecánica. Matanzas. Cuba. 2004.
- *INSTRUCTIONS FOR MODEL 970-M VACUUM PAN OVERSATURATION MONITORS*. Ziegler and Associates. 2008.
- *Sugar Boiling Some Useful Strategies* by John Ziegler. 2002.
- *SUGAR BOILING: Some Facts and Some Fancies* by John G. Ziegler. 2003.
- *SUGAR BOILING THE SYRUPS IN THE VACUUM PANS* by John Ziegler. 2004.
- *SENSOR SELECTION: STILL AN ISSUE IN SUGAR CRYSTALLISATION CONTROL*. Dr. Lajos Rozsa. 2010.
- *On-line monitoring of supersaturation in sugar crystallization*. By Lajos Rozsa, *International Sugar Journal*, Vol. 98; N° 1176.1996.
- *Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, R. Argentina*. Oscar A. Diez, Carolina Cruz y Gerónimo J. Cárdenas. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán Tomo 88 (2): 27-40; 2011*.
- *OPTIMIZADOR DE TACHOS DE AZÚCAR REFINADO*. Leonardo Velásquez Orozco. III Congreso AETA, Sep.18-20 del 2013. Guayaquil-Ecuador.
- *Aplicación de modelos fenomenológicos de la estación de tachos para la obtención de masa cocida A en el CAI G. Washington*. 2008.

Prof. Ing. Marcos A. Golato  
[mgolato@herrera.unt.edu.ar](mailto:mgolato@herrera.unt.edu.ar)

Septiembre de 2014