

# GENERALIDADES DE LA ETAPA DE EXTRACCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR CRUDO

Ing. Jonathan Serrano Febles<sup>1</sup>, Dr.C. Jesús Luis Orozco<sup>1</sup>, Dr.C. Mario Yll Lavín<sup>1</sup>

1. Universidad de Matanzas, [jonathan.serrano@umcc.cu](mailto:jonathan.serrano@umcc.cu)

## Resumen

La presente monografía tiene como objetivo exponer los principales elementos y fundamentos teóricos de la etapa de extracción del proceso de producción de azúcar crudo. Para ello se abordan las principales características de la misma, con especial énfasis en las correspondientes a la imbibición dada su marcada repercusión sobre el proceso. Se analiza la influencia de las variables operacionales involucradas y las acciones de control más importantes que se ejecutan para una adecuada operación en el área. Se ofrece una recopilación bibliográfica sobre los valores normados según el criterio de diferentes autores y lo establecido actualmente por el grupo empresarial AZCUBA.

*Palabras claves:* azúcar crudo; extracción; imbibición; normalización.

---

## 1. Introducción

El análisis de la calidad en el proceso de producción de azúcar crudo resulta de vital importancia para el desarrollo de la agroindustria azucarera, al garantizar el incremento del rendimiento de esta actividad en los países productores de azúcar, y a su vez el desarrollo del país.

Cuba constituyó por mucho tiempo uno de los más grandes productores de azúcar en el orbe; no obstante, el esplendoroso desarrollo azucarero sufrió las serias consecuencias de depresiones económicas y de decisiones no acertadas que provocaron la paralización y retroceso de esta actividad.

Ante ello y por el reposicionamiento del azúcar como un producto altamente cotizado en el mercado internacional, desde los últimos años el grupo empresarial AZCUBA, encausa cuantiosos recursos por potenciar la intensificación y diversificación de la misma. No obstante, estas acciones a pesar de ser totalmente idóneas y estratégicas, no constituyen una solución de efecto inmediato.

Más que buscar nuevos horizontes productivos se debe primeramente lograr maximizar el rendimiento y recobrado azucarero con la infraestructura ya existente; hecho que igualmente es tarea priorizada por esta empresa y por la más alta dirección del país. Ello puede alcanzarse indiscutiblemente mediante la minimización de las pérdidas de azúcar, fundamentalmente en el residuo leñoso, cachaza y miel final.

Estas dos primeras probablemente sean las más fáciles de mitigar, dado que están asociadas a acciones de control más sencillas y relacionadas con operaciones físicas menos complejas que la cristalización. A pesar de ello, no es raro que en la práctica operacional incumplan con las normas correspondientes; de hecho, el comportamiento histórico de los últimos cinco años demuestra un alarmante descontrol en este sentido.

Las pérdidas en el residuo leñoso presentan más significación que las de la cachaza sobre el recobrado por la cantidad de residuo leñoso que se obtiene; la que es “totalmente desechada” a partir del uso de este en la generación de vapor. Por esto, no deben ser pocas las acciones operacionales que se tomen al respecto para aumentar la recuperación de azúcar en el tándem. Estas comprenden aspectos puramente mecánicos asociados con la eficiencia del trabajo de los molinos, de preparación en equipos previos para facilitar la extracción, así como una correcta dosificación del agua de imbibición.

Por otro lado, en momentos donde el azúcar para comercializarse debe cumplir con rigurosos estándares internacionales, es preocupante la incorporación de impurezas en la etapa debido a un descontrol inadecuado en este sentido. Estas aumentan el consumo de vapor, afectan el agotamiento de las mieles de la etapa de cristalización y entorpecen la aceptación del producto estrella en el mercado mundial.

A su vez, son frecuentes las paradas en el tándem por el deficiente agarre de las mazas, con graves consecuencias en la estabilización del proceso y demanda de electricidad. Como otras dificultades, lamentablemente destaca la excesiva humedad del residuo leñoso; la que conlleva a ineficiencias en la generación de vapor. Además, el contenido de sólidos solubles del jugo mezclado enlentece la clarificación o contrariamente, supone una carga de evaporación tecnológicamente inviable.

Estas y otras limitaciones para el buen desenvolvimiento del proceso productivo son en última instancia, resultado de una incorrecta operación en el área de molinos y efecto de un comportamiento de la etapa de extracción desfavorable.

En la industria azucarera el control del proceso es primordial para obtener el azúcar con la calidad requerida y el mínimo de pérdidas. Esta es una industria muy compleja debido a la cantidad de operaciones unitarias que ocurren en ella. Es por eso que mantener un control estricto en cada una de las áreas garantiza el éxito de la misma.

El área de extracción es de vital importancia para las demás etapas del proceso. En la etapa de extracción se extrae el jugo a la caña que luego pasará a la etapa de purificación para eliminar todas las impurezas. En estas etapas el control del agua que se añade es muy importante pues si se añade más de la necesaria repercute en el proceso de evaporación porque tiene que emplear mayor energía. También es importante controlar la cantidad de sacarosa presente en los distintos flujos del proceso para evitar posibles pérdidas de azúcar.

En la industria azucarera en ocasiones por falta de instrumentación no se controlan diversos flujos como son el agua de imbibición, el agua de lavado de los filtros, la cantidad de bagacillo, lo que trae consigo un mal manejo de estas, lo cual provoca ineficiencias para el proceso productivo. Este constituye uno de los problemas que se presenta en la base de problemas del Grupo Empresarial AZCUBA, por lo que para la realización de esta investigación se cuenta con el apoyo de esta empresa.

En las etapas de extracción y purificación existen variables simples, es decir de fácil medición que se relacionan con variables complejas, de difícil medición. No contar con un estudio del comportamiento de estas variables y de la relación existente entre ellas y su incidencia en la eficiencia de estas etapas no permite a la industria, en un corto tiempo, tomar medidas inmediatas que favorezcan a todo el proceso productivo

Por tales motivos, se hace necesario establecer un estricto control operacional en el área, para lo cual es imprescindible dominar los principales aspectos teóricos de la etapa de extracción.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Producción de azúcar crudo. Principales etapas

El proceso de producción de azúcar crudo consta de las siguientes etapas principales: extracción, alcalización, calentamiento, clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación y generación de vapor.

La fabricación de azúcar crudo comienza con el pesaje de las unidades que transportan la caña de azúcar mediante las básculas, donde en esta parte del proceso se determina la calidad de la materia prima (Hugot Emile, 1988). La caña que llega a la fábrica se descarga sobre las mesas de alimentación, luego se somete a un proceso de preparación que consiste en remover las celdas de los tallos por medio de desmenuzadoras para poder pasar al proceso de extracción del jugo (Ayala González, 2015).

#### ✓ Etapa de extracción o molienda

El primer paso en el proceso de fabricación de azúcar crudo es la extracción del jugo o guarapo, que se encuentra contenido en los haces fibrovasculares y que es portador de la sacarosa en estado disuelto; la extracción de jugo puede llevarse a cabo por compresión, lixiviación o por la combinación de estos dos principios (Morrell Oliva, 1985).

El objetivo de la molienda de caña es separar el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, constituido principalmente por fibra. El término de extracción se utiliza para expresar el porcentaje de sacarosa se extrae de la caña en los molinos y es igual a la sacarosa en el jugo crudo o diluido, expresada como porcentaje de la sacarosa en caña (Rein, 2012).

Según Rosero y Ramírez, 2017 plantean que la estación de extracción consiste generalmente de cinco a seis molinos en cascada, donde cada molino consta de cuatro mazas. La caña preparada por las picadoras y/o desfibradoras, se alimenta al primer molino por medio de un transportador de velocidad variable. El bagazo resultante del primer molino se alimenta al siguiente por medio de un transportador que opera a velocidad fija y así sucesivamente hasta el último. El bagazo que sale del último molino se lleva a los generadores de vapor como combustible. A la entrada del último molino se adiciona agua de imbibición para diluir el jugo y extraer el jugo remanente que contiene el material fibroso. El contenido de jugo que resulta de cada extracción, se envía al molino anterior y así sucesivamente hasta el segundo molino en el caso de la imbibición compuesta.

El proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar en el tándem de los molinos se puede considerar dividida en dos etapas: una de extracción en seco y otra en húmedo (Hamil, 1972). La extracción en húmedo se realiza mediante la imbibición, que debe acercarse a un proceso de lixiviación a contracorriente (Hugot Emile, 1988; Jenkins, 1971;

Gil, 2016; Corrales, 2018), donde cada etapa se constituye por el molino y el tramo de transportador que lo alimenta.

El uso de agua de imbibición favorece la extracción de sacarosa de la caña de azúcar, debido a que con una simple presión no es posible extraer todo el jugo que contiene la caña y con este la sacarosa.

✓ Etapa de alcalización

Según Rein, 2012 este proceso consiste en agregar hidróxido de calcio al jugo con el objetivo de neutralizar su acidez; proceso fundamental para lograr una clarificación eficiente y evitar la destrucción de azúcares e inversión de la sacarosa. Cuando el pH es menor que 7, la clarificación es deficiente y la pérdida por inversión de la sacarosa aumenta; de lo contrario, cuando el pH es mayor de 8 se produce la destrucción de los azúcares reductores, exceso de incrustaciones en los evaporadores, aumento de color y azúcar de mala calidad.

✓ Etapa de calentamiento

Un aumento de temperatura del jugo mezclado es importante porque con ello se favorece la reacción de los no-azúcares. A través de este el hidróxido de calcio comienza a formar sus verdaderas combinaciones tan pronto como el jugo comienza a calentarse, lo que tiene marcada influencia sobre el pH (Morrell Oliva, 1985).

La temperatura del jugo alcalizado a la salida de los calentadores se encuentra entre 103 y 105 °C con el objetivo de favorecer el proceso de coagulación en la etapa de clarificación (Pérez, 2009; Morales, Kafarov, Ruiz y Castillo, 2018).

Es conveniente que el guarapo se caliente 2 o 3 °C por encima de su temperatura de ebullición; ya que por encima de este intervalo se produce destrucción de los azúcares, formación de color y caída excesiva del pH (Rein, 2012).

✓ Etapa de clarificación

Según Ordoñez, 2004 su objetivo es eliminar el material insoluble suspendido acarreado en el jugo (fibra, residuos de suelo, sólidos en suspensión y coloides principalmente) para obtener un jugo claro, transparente, brillante y exento de toda materia que no sea azúcar que pueda evitar la cristalización. El pH al que se debe llevar el jugo mediante la alcalización depende de muchas condiciones y varía según la variedad y la madurez de la caña, así como la capacidad del equipo de decantación. La clarificación separa el jugo en dos porciones, el jugo clarificado y los precipitados sedimentables que constituyen los lodos.

#### ✓ Etapa de filtración

Los lodos que se obtienen de la clarificación y que presentan un contenido considerable de sacarosa, se mezclan con bagacillo para constituir el medio filtrante compresible de esta etapa.

Según Herrera, 2019 esta mezcla se bombea a los filtros rotatorios al vacío, donde se extrae el jugo, que es retornado al tanque de jugo alcalizado, mientras que la cachaza, con una humedad del 70 % y un contenido de sacarosa entre 1,0 % y 1,2 %, se emplea comúnmente como abono en los campos de cultivo.

#### ✓ Etapa de evaporación

En esta etapa se evapora la mayor cantidad de agua contenida en el jugo claro, de forma tal que se logre su concentración sin llegar a la condición de saturación. Para ello normalmente se emplea un pre-evaporador y un evaporador a múltiple-efecto (Hugot, 1988). En el proceso de evaporación se obtiene un material denso llamado meladura (Cardona, 2009). La meladura debe tener una concentración próxima a los 65 °Bx. Un valor inferior atenta contra la eficiencia energética de la etapa de cristalización, mientras que uno superior puede suponer la cristalización espontánea de la sacarosa en equipos no diseñados para este fin.

#### ✓ Etapa de cristalización

En la etapa de cristalización la meladura se envía a los tachos al vacío, donde se introducen núcleos de sacarosa previamente formados, de tamaño homogéneo para lograr un crecimiento de los cristales de azúcar de forma uniforme. En este proceso se intenta lograr el agotamiento de la sacarosa contenida en la miel que acompaña al cristal, formado por enfriamiento (Hugot Emile, 1988). El producto creado después de la formación de los cristales se conoce como masa cocida, la cual se encuentra en el tacho sobresaturada de sacarosa. El proceso de cristalización consta esencialmente de dos etapas distintas: nucleación y crecimiento de los núcleos o cristales (Páez, 2013).

#### ✓ Etapa de centrifugación

En esta etapa las masas cocidas se llevan a las centrifugas para separar el cristal de azúcar de la miel. Las centrífugas son equipos que giran a gran velocidad y poseen en su interior una malla de finos agujeros que permiten solamente el paso de la miel, mientras que bloquea el paso de los granos de azúcar; los cuales permanecen atrapados en la parte interna de la malla. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. De las centrifugas discontinuas comerciales se obtiene el producto estrella.

## 2.2 Proceso de extracción

Según Morales et al., (2018) el proceso de extracción del jugo comienza con la preparación de la caña. En esta etapa se busca romper y desgarrar los tallos de la caña con el fin de prepararla para el proceso de molienda. Para ello usan diferentes tipos de máquinas; entre las que se encuentran: picadoras o cuchillas y desfibradoras o desmenuzadoras. Luego de que la caña ha sido preparada se envía al subproceso de molienda; esta etapa busca separar los dos constituyentes principales de la caña: el jugo y la fibra.

El término extracción se utiliza para expresar el porcentaje de sacarosa que ha sido extraído de la caña en los molinos y es igual a la sacarosa en el jugo crudo o diluido, expresada como porcentaje de la sacarosa en caña.

En los molinos la caña se exprime a través de elevadas presiones entre pares de mazas o rodillos consecutivos. Estos están diseñados para extraer tanto jugo como sea posible de la fibra insoluble. El residuo de la caña después de que se ha extraído se denomina bagazo.

La unidad estándar de molienda la constituyen las clásicas tres mazas dispuestas en forma triangular. En la actualidad se usan de tres a siete juegos de molinos a los cuales se le llama tándem (Batule, 2009).

El tren de molinos está constituido por varias unidades instaladas en serie. La cantidad de molinos dependerá de la razón de molida diaria y de la magnitud de la preparación previa que tenga la caña. Un molino consiste esencialmente de tres cilindros horizontales llamados mazas que exprimen la caña que pasa entre ellos para extraerles el jugo.

Las mazas se colocan formando un triángulo dentro de una estructura de acero llamada virgen. La maza colocada en la parte superior del triángulo se denomina “superior” y las otras dos, que están situadas en un plano inferior, “cañera” y “bagacera”. Las mazas constan de un eje central de acero, el guijo, sobre el que se prensa un tambor de hierro fundido.

El proceso de extracción de jugo y de agotamiento del contenido de azúcar del bagazo en tránsito, se consigue mediante la trituración de la caña entre las mazas, con la ayuda de la presión hidráulica y del sistema de imbibición. Dentro del molino el bagazo pasa sobre un puente, la cuchilla central, en su paso desde la compresión entre las mazas superior y cañera hasta la compresión entre la maza superior y bagacera. Otros componentes son el sistema para el movimiento de las mazas y el sistema de lubricación (AZCUBA, 2013).

La estructura de la caña de azúcar tiene una marcada influencia sobre los resultados de la molienda. Con una molienda eficiente, algunas cañas producen bagazo que contiene 50 % de fibra y 45 % de humedad; otras cañas, al ser molidas en los primeros molinos ajustados en la misma forma y con una eficiencia aparente igual, producen un bagazo con un

contenido de fibra del 45 % y 50 % de humedad. El porcentaje de fibra tiene una influencia notable sobre la extracción; a mayor cantidad de fibra, menor extracción (Batule, 2009).

### 2.3 Agua de imbibición

El proceso de adición de agua en tándem de molinos se conoce como imbibición (Hamill, 1972; Hugot Emile, 1988; Jenkins, 1971; Riera, 1996; Spencer y Meade, 1974). Aun cuando el bagazo se someta a presiones considerables y repetidas, no cede jamás todo el jugo que contiene. Tiende hacia una humedad mínima de 50 % y de 45 % a 40 % en los casos más favorables, pero conserva siempre una fracción importante del jugo que representa, aproximadamente la mitad de su peso. En la figura siguiente se ofrece este comportamiento:

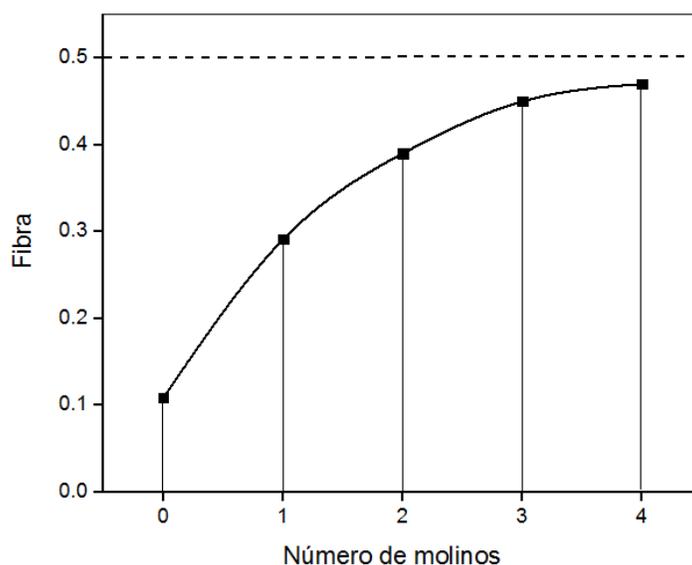


Figura 1: Fibra límite del bagazo (Adaptado de Hugot Emile, 1988)

Para extraer la mayor cantidad posible del azúcar contenido en ese jugo, este debe sustituirse por agua, que depende de la efectividad de la imbibición (Gil, 1998; Corrales, 2017). Cuando se trabaja a presión seca, el límite de extracción se obtiene rápidamente: después de la desmenuzadora y el primer molino, la humedad del bagazo se reduce ya cerca del 60 %. Después del segundo molino la humedad se aproxima a 50 % y del tercero no baja más allá de 45 %; lo que representa por simple presión, la máxima extracción posible. Si en este momento se agrega agua uniformemente, esta se distribuye dentro del bagazo y

diluye al jugo que contiene. El siguiente molino se lleva al bagazo a la humedad límite de 45 %; sin embargo, esta humedad ya no está constituida por jugo absoluto sino por jugo diluido, lo que supone una mayor recuperación de sacarosa.

La cantidad de agua de imbibición a utilizar para un sistema de extracción por compresión dado, depende fundamentalmente de la composición de la caña (Jenkins, 1971; Hugot Emile, 1988; Wienese, 1995). Todos concuerdan en utilizar una cantidad de agua de imbibición igual a dos veces la fibra en caña. La mejor fuente de agua para uso de imbibición son los condensados y preferentemente a una temperatura mayor de 70 °C.

En la imbibición, la temperatura del condensado debe garantizar la mayor extracción de sacarosa presente en el bagazo, sin que se funda la cera contenida en este. La cera en su fase líquida se adhiere a las masas de los molinos como una fina y resbaladiza película que disminuye, significativamente, la capacidad de molida. Por tales razones, generalmente, se adiciona de 45 a 55 % de agua fría al condensado caliente, respecto al total de agua de imbibición; la temperatura que resulta de esta práctica es de 60 °C aproximadamente (Espinosa et al; 1995).

Para Morales et al, 2018 en el proceso de imbibición se dirige una corriente de agua o jugo entre los 60 a 85 °C, sobre el bagazo que está entrando al molino. Este proceso eleva la dilución del jugo contenido en este bagazo y de esta manera mejora la extracción en el siguiente molino. La imbibición puede ser simple, mediante la adición de agua al bagazo que ingresa a cada uno de los molinos o compuesta; en esta se agrega agua al último molino, el jugo obtenido en este se devuelve al penúltimo y este a su vez al anterior y así sucesivamente. En la figura siguiente se ofrece un esquema para el caso de la imbibición compuesta:

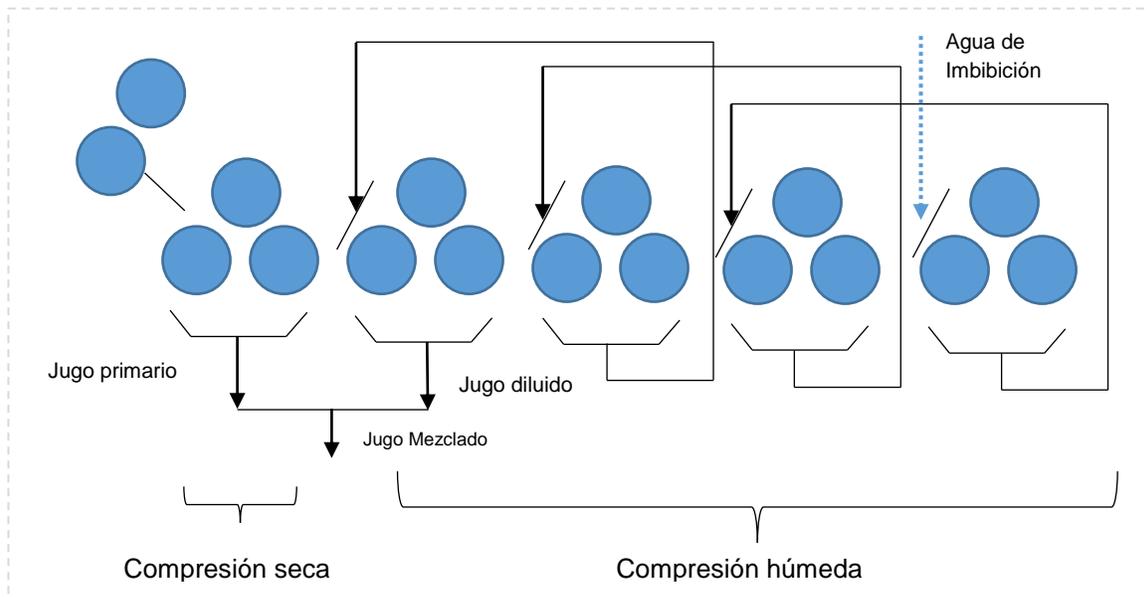


Figura 2: Esquema de la imbibición compuesta

La aplicación eficiente del sistema de imbibición es tan importante para la extracción del tándem como la acción de fuertes presiones en los dos primeros. A partir del segundo molino, si se aplicara solo presión hidráulica sin imbibición, no se gana en extracción porque el bagazo retiene una cantidad de jugo aproximadamente igual al peso de la fibra y, por lo tanto, se necesita entonces, diluir al mismo (AZCUBA, 2013).

Cuando se imbebe, puede apreciarse que solamente la capa superior del colchón de bagazo se moja por el jugo o agua añadida, mientras la parte restante no sufre ningún cambio apreciable (Gil, 1998; Hugot Emile, 1988; Jenkins, 1971).

El colchón es un medio poroso formado por un elevado número de capilares que aportan una gran superficie específica, lo que explica el gran poder de retención estática de líquido (Hugot Emile, 1988; Jenkins, 1971). Esta puede llegar hasta diez veces su peso en fibra, en dependencia del porcentaje de saturación inicial. Es necesario señalar que la cantidad de agua que es capaz de absorber el bagazo para un mismo contenido de fibra depende del grado de compresión (Gil, 1999).

Debido a las características del bagazo, por muchos esfuerzos que se realicen en cambiar la forma de los distribuidores de agua o de jugo, siempre queda un porcentaje considerable del jugo sin diluir, pues incluso en el que se ha logrado saturar, permanece una mayor cantidad de sacarosa en la fibra (Suárez, 1982).

En la literatura es frecuente el uso de la frase “mojado del bagazo por el agua de imbibición” para describir la penetración del líquido de imbibición (agua o jugo) en el

colchón de bagazo que sale parcialmente saturado del molino. Sin embargo, la fibra del bagazo que sale no está seca, sino recubierta por una delgada película de jugo. Jenkins, 1971 señala que la fibra puede tener asociada hasta un 25 % de agua que no se considera parte del jugo. Cuando se añade agua de imbibición, el efecto del choque es amortiguado rápidamente por la capa superficial del bagazo. Esta agua se distribuye de forma tal, que cada capa absorbe una cantidad de acuerdo con su capacidad de retención.

Muchos autores reconocen los beneficios de las altas temperaturas en el proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar. Hamil, 1972, plantea que las paredes celulares se desintegran cuando la fibra es calentada hasta 82 °C, lo que facilita la dilución del jugo por el agua. Además, el proceso de transferencia de masa por difusión se intensifica. Hugot Emile, 1988, no plantea que exista influencia apreciable entre 60 y 70 °C, pero a valores más altos, considera que el agua caliente (80 a 85 °C) es más favorable para el proceso. Cuando se combinan niveles de imbibición por encima de 25 a 30 % del peso de la caña a temperaturas del agua mayores de 85 °C, en dependencia de las características del tándem, generalmente se atasca el molino, lo que obliga a disminuir la capacidad de molida.

Estos resultados son confirmados por Hamil, 1972, quien plantea que las características de alimentación de la caña se reducen cuando se emplea imbibición caliente. Por otra parte, las pérdidas de sacarosa por la acción de los microorganismos en el tándem disminuyen notablemente al inhibirse el desarrollo de muchas especies a temperaturas mayores de 50 °C (Honing, 1987; Spencer y Meade, 1974).

Del análisis anterior se aprecia las contradicciones entre diversos autores con relación a la influencia de las altas temperaturas en la extracción de los no azúcares.

## **2.4 Normalización del proceso de extracción**

Un documento normativo muy importante en la industria azucarera cubana es el Manual de Operaciones del 2013, el cual refiere los valores normativos por los cual se rige la misma y que son dictaminados por el grupo empresarial AZCUBA. Este documento, en la sección correspondiente al área de extracción, plantea que la cantidad óptima de agua de imbibición a aplicar debe ser de 1,8 a 2,0 veces el contenido de fibra en la caña; dado por un como compromiso entre la extracción de sacarosa y los requerimientos de evaporación (AZCUBA, 2013).

Una de las variables fundamentales que se controla en el proceso de extracción es el agua de imbibición añadida. Rein, 2012 refiere que la extracción de trenes de molinos se incrementa rápidamente con el aumento de la tasa de imbibición de 250 a 280 % (se refiere al peso de la fibra). A partir de este momento la respuesta comienza a declinar, aunque todavía es posible obtener ganancias significativas de extracción hasta aproximadamente 350 % en fibra, tal como se ofrece en la figura siguiente:

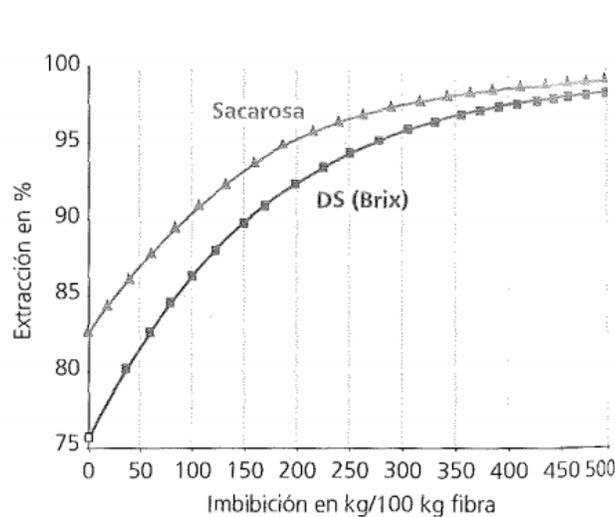


Figura 3: Comportamiento de la extracción de sacarosa en un tándem de seis molinos de Sudáfrica (Fuente: Rein, 2012)

ICIDCA, 2012 presenta valores de agua de 180 a 220 % en fibra, mientras tanto Ordóñez, 2004 presenta un valor de 270 % en fibra (valor se encuentra superior al establecido anteriormente). Otros autores que muestran dentro de los valores usuales al agua de imbibición son Casanova y Alonso, 2006, con valores de agua de imbibición de 180 a 280 % de fibra.

Hugot Emile, 1988 plantea que la relación entre el peso del agua de imbibición y el peso de la fibra (se denota convencionalmente por la letra griega ‘λ’) para una óptima imbibición debe estar cercano a dos. Específicamente, acota que la extracción aumenta rápidamente cuando varía de cero a uno, aún bastante aprisa, de uno a dos y más lentamente arriba de dos. Aclara que, en términos prácticos, no se obtiene ninguna ventaja al sobrepasar de tres. En la figura siguiente se ofrece la extracción para coeficientes reales de imbibición según Hugot Emile, 1988:

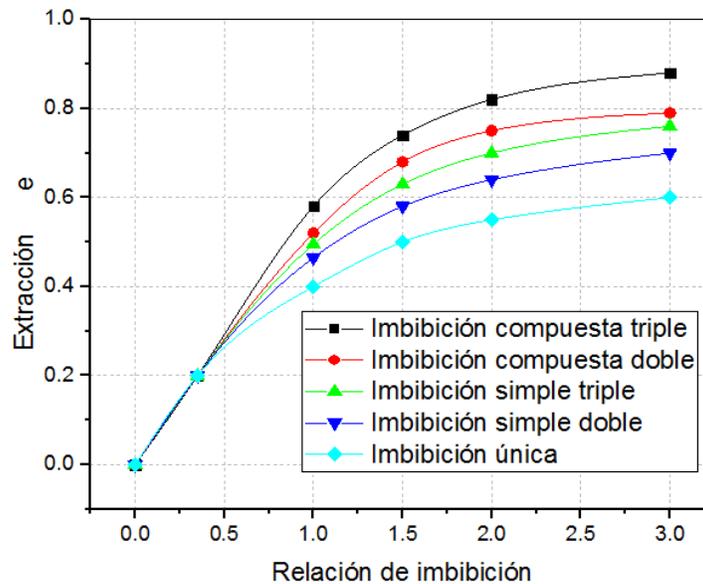


Figura 4: Extracción en función de la imbibición para curvas reales (Adaptado de: Hugot Emile, 1988)

Del agua de imbibición también es importante destacar la temperatura a la cual es añadida. En AZCUBA, 2013 se plantea que debe estar entre 60 y 80°C, mientras Ordóñez, 2004 plantea que la temperatura debe ser de 60°C; valor el cual está dentro del intervalo anterior.

Hugot Emile, 1988 plantea que la temperatura conveniente de agua de imbibición es entre 80 y 85°C, con la justificación que a estos valores se favorece la extracción y además se evita el desarrollo microbiano; lo que delimita un intervalo más superior que los autores anteriores. Van der Poel, 1998 por su parte propone valores entre 75 y 80°C.

Otro valor normado según AZCUBA, 2013 es el contenido de sólidos disueltos del jugo mezclado, el que debe oscilar entre 13 y 15 °Bx. El término superior se restringe por la velocidad de clarificación mientras que el inferior por la sobrecarga al sistema de evaporación que ello supone. Sin embargo, Casanova y Alonso, 2006 presentan valores de 13,5 a 16,5°Bx, algo superior a los anteriores.

También usualmente se controlan otros, como el contenido de sólidos disueltos del jugo primario y el del último jugo extraído. El primero se debe encontrar de 15 a 25 °Bx y el último debe ser menor a 10 °Bx (AZCUBA, 2013). Carrazana, 1987 por su parte plantea como referencia para el primer jugo extraído, valores entre 16,5 a 23 °Bx y para el último jugo extraído, entre 4,5 y 8,0°Bx; intervalos bastante cercanos a los anteriores.

Otra variable medida es el porcentaje de fibra en caña, el cual según ICIDCA, 2012 debe estar entre 12,0 y 13,0%. Casanova y Alonso, 2006 refieren valores de fibra en caña entre

13,5 y 14,5%; superiores a los anteriores. Sin embargo, Carrazana, 1987 ofrece un rango más amplio de 9,0 y 16,5%. La norma establecida por el AZCUBA 2013 es de 9 a 15 %. Claro está, ello se encuentra condicionado por las características propias de cada caña.

El porcentaje de fibra en bagazo también se controla; Casanova y Alonso, 2006 refieren valores de 47 a 49 %, mientras que Carrazana, 1987 lo hace para un 43 y 47 %; estos últimos un tanto más bajo.

Otra variable normada es la humedad del bagazo. Junco, 2011 presenta un valor de humedad del 50 %, mientras que Ordóñez, 2004 da un rango de 49 a 51 % y Carrazana, 1987 lo hace de 46 a 52 %.

El contenido de sacarosa de diferentes corrientes también es un valor normado por diversos autores. Según ICIDCA, 2012 el porcentaje de sacarosa en caña debe estar entre 13,5 a 14,5 % mientras que Casanova y Alonso, 2006 plantean valores de 12 a 14 %. La norma establecida por AZCUBA, 2013 para esta variable es entre 10 y 16 %.

Otros valores de contenido de sacarosa medidos son la del jugo mezclado y bagazo; Casanova y Alonso, 2006 refieren valores de 11,5 a 13,5 % y de 1,5 a 2,0% respectivamente. En AZCUBA, 2013 se plantean valores de sacarosa en el jugo mezclado de 9 a 17 %, lo que representa un rango mucho más amplio que el anterior. Otros autores como Hugot Emile, 1988 plantean que la sacarosa del residuo leñoso no debe sobrepasar el 2,32 %. En molinos bien ajustados y con una imbibición eficiente deben esperarse valores de esta entre 3 y 3,5% y aún inferiores, lo que minimiza las pérdidas en bagazo (Honing, 1987).

### **3. Conclusiones**

A través del presente documento se evidencia la necesidad de establecer un control estricto de las variables de la etapa de extracción dado la repercusión que tiene la misma sobre el buen desenvolvimiento del proceso productivo. El correcto ajuste del agua de imbibición es muy importante para minimizar las pérdidas de sacarosa en bagazo y evitar la incorporación de impurezas altamente perjudiciales en el proceso. A su vez, se denota que no se encuentra claramente definido en la literatura especializada la influencia de la temperatura del agua de imbibición sobre la extracción conjunta de sacarosa e impurezas. Los valores de los parámetros y variables operacionales del área de extracción no deben tipificarse, todo lo contrario, estos son resultados de las condiciones y características intrínsecas del proceso en particular donde se desarrolla la investigación.

## Referencias bibliográficas

AYALA GONZÁLEZ, A. Calificación del desempeño de un filtro banda para maximizar la recuperación de sacarosa en la cachaza proveniente de la clarificación del jugo de caña. Tesis de grado en opción al título de ingeniero químico-industrial. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 144 p.

AZCUBA. Planta moledora. En: El Consultor. La Habana. 2013.

BATULE, E. La molienda y difusión de la caña de azúcar. In. Serie azucarera 20: (pp. 767). San Salvador (El Salvador). 2009.

CARDONA, M. Seguimiento de las variables fisicoquímicas del clarificador SRI y verificación de la eficiencia del tacho continuo Fletcher Smith para la optimización de la elaboración de azúcar en el ingenio Risaralda. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

CARRAZANA, L. *Análisis Agro Industrial Azucarero Teoría y práctica*, Editorial Pueblo y Educación. 1987.

CASANOVA, E., y ALONSO, J. *Métodos de cálculos para el control azucarero*: Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras. MINAZ. 2006.

CORRALES, J. M. Propuesta para el ahorro de energía en tándem de molinos cañeros sin afectar la eficiencia del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar. (Tesis Doctoral), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química y Farmacia, Villa Clara (Cuba). 2017.

ESPINOSA, R., CARRILLO, J., MACHADO, S. y ÁLAMO, A. *Sistemas de utilización del calor. Apuntes para un libro de texto*. (1 ed.). La Habana: Departamento de Textos y Materiales Didácticos. Ministerio de Educación Superior. 1984.

GIL, J. M. *Estudio del efecto de los surfactantes en el agua de imbibición de los molinos sobre el porcentaje de Pol y de Humedad del bagazo*. Tesis de Maestría. Universidad Centra de Las Villas, 1998

GIL, J.A y J.M. GIL. *Capacidad de retención del jugo por el bagazo*. Revolución Tecnológica Química, Editorial ISPJAM, 1999.

GIL, J.M. *Intensificación del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar con el uso de surfactantes aniónicos en el agua de imbibición*. Tesis en opción al título de doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2016.

HAMILL, T.M. *Wet Milling Extraction Process and Apparatus Therefor*. Patente 36695931 United States Patent Office, 1972.

HERRERA, J. Estudio comparativo de métodos para la determinación de sacarosa y azúcares reductores en miel virgen de caña utilizados en el ingenio Pichichi S.A. Colombia. Tesis presentada como requisito para optar al título de Tecnológica de Pereira en la modalidad de Práctica Empresarial. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, 2019.

HONING, P. *Principios de Tecnología Azucarera: Propiedades de los azúcares y no-azúcares. La purificación de los jugos* (E. Revolucionaria Ed.). La Habana. 1987.

HUGOT EMILE, CHARLES. Manual para ingenieros azucareros (Vol. 1). La Habana: Edición Revolucionaria. 1988.

ICIDCA. *Índice de Capacidades. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, Ciudad de La Habana, Cuba. 2012.

JENKINS, G. *Introducción a la Tecnología del Azúcar de Caña*. Editorial Ciencia y Técnica, La Habana, 1971.

JUNCO, G. *Manual para la autogestión del aprendizaje por competencias*. Centro Nacional de Capacitación Azucarera. 2011.

MORALES, Y.L.; KAFAROV, V.; RUIZ, F.; CASTILLO, E.F. *Modelación de los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de la caña de azúcar. Etapas; preparación, molienda y clarificación*. Umbral Científico, número 16, junio, 2018. Universidad Manuela Beltrán, Colombia.

MORRELL OLIVA, I. *Tecnología Azucarera*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985.

ORDÓÑEZ, S.C. Modelo de diagnóstico para la evaluación de la productividad de un proceso agroindustrial azucarero. Guatemala. Trabajo de graduación al conferírsele el título de Ingeniera Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 2004.

PÁEZ, C.A. Determinación de las condiciones óptimas para la producción de azúcar turbinada en los parámetros color y tamaño del grano en la empresa Ingenio Risaralda S.A. Universidad Tecnológica de Pereira, 2013.

PÉREZ, H. *Como hacer un uso eficiente de la energía en un central azucarero*. Conferencia Mundial sobre la Biomasa para la Energía, el Desarrollo y el Medio Ambiente. Editorial ENPES, La Habana, 1995. 457 p.

PÉREZ, H. *El análisis de procesos y el empleo adecuado de la energía en la producción de azúcar crudo y electricidad en ingenios cubanos*. Editorial Universitaria, Ciudad de La Habana, Cuba, 2009.

REIN, P. *Ingeniería de la caña de azúcar*: Bartens. 2012.

RIERA, G. La extracción en un tren de molinos. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. ISJAE, 1996. 812 p.

ROSERO, E y RAMÍREZ, J. Modelado y Control de Molinos de Caña de Azúcar usando Accionamientos Eléctricos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.*, volumen 6, número 3, julio 2017.

SPENCER, E y G. MEADE. *Manual del Azúcar de Caña*. Segunda Edición. Editorial Revolucionaria, La Habana, 1974.

SUÁREZ, R. *El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados*. Editorial Científico- Técnica, La Habana, 1982.

VAN DER POEL, P. W.; SCHIWECK, H.; SCHWARTZ, T. *Sugar Technology beet and cane manufacture*. Publicado con el apoyo de la Fundación para el Desarrollo de la Azúcar de Remolacha, Denver, USA. 1998.

WIENESE, A. The effect of imbibition and cane quality on the front-end mass balance. *Proceeding of The South African Sugar Technologist Association*, 1995.