

REDUCIENDO LA REABSORCION DE JUGO EN MOLINOS DE CAÑA MEDIANTE EL USO DE MAZAS CON DRENAJES INTERNOS: MAYOR EXTRACCION DE SACAROSA Y MENOR HUMEDAD EN EL BAGAZO

Por

SANCHEZ, J.J., CHAVARRO, S.

Fundiciones Universo S.A, Cali, Colombia

jsanchez@fundicionesuniverso.com, schavarro@fundicionesuniverso.com

PALABRAS CLAVE: Drenajes internos, Reabsorción, Alta extracción, Baja humedad, Maza Lotus, Maza XM, Secador de bagazo.

Resumen

Presentamos una innovación tecnológica (Maza XM) que busca minimizar la reabsorción de jugo en los molinos de caña para aumentar su extracción. Se trata de una innovación sobre la maza Lotus pero no se construye en acero sino en hierro gris muy similar al material de los cascos convencionales.

Consiste en implementar drenajes hacia el interior de las mazas para separar rápidamente el jugo del bagazo durante la molienda. En la raíz de los dientes de las mazas se instalan cientos ó miles de boquillas que capturan el líquido y lo dirigen internamente hacia unos amplios drenajes longitudinales, finalmente se canaliza el jugo por los costados laterales y se deja caer en la bandeja recolectora de jugo.

Inicialmente se construyeron drenajes internos en la maza superior porque es la que mayor superficie de contacto tiene con el jugo, se logró una importante reducción en la humedad del bagazo a la salida del último molino y aumentar la extracción de sacarosa en el primer molino. Posteriormente se construyeron las otras mazas (cañera, bagacera, cuarta maza) con drenajes internos logrando mejorar ó mantener los buenos indicadores a través del tiempo. En Colombia se logran extracciones superiores al 75% con drenajes internos en las cuatro mazas del primer molino y humedad en bagazo de 45% a 50% con drenajes internos solo en la maza superior del último molino.

Un caso especial es un molino secador instalado en Ecuador donde el bagazo sale del difusor con humedad aproximada del 80% y al pasar por el molino se logran humedades inferiores al 50% con drenajes internos en las mazas cañera y superior.

Otros beneficios indirecto son:

- Posibilidad de aumentar el agua de imbibición.
- Mejorar y estabilizar la operación de las calderas.
- Disponer de excedentes de bagazo.
- Reducir la contaminación por menor consumo de combustibles fósiles.
- Posibilidad de aumentar la capacidad de molienda.
- Lograr buenos indicadores en tándem de 5 molinos.

Introducción.

Durante la extracción de jugo en los molinos de caña es inevitable la reabsorción del jugo en el bagazo disminuyendo la extracción de sacarosa e incrementando la humedad en el bagazo que sale del molino. Por décadas los diseñadores han implementado diferentes métodos y dispositivos para aumentar y mejorar los drenajes de jugo con resultados cada vez más positivos contra la reabsorción: mazas Lotus, mazas cribadas, ranuras Messchaert, menores ángulos en el rayado de los dientes, succionadores de vacío, etc.

Las mazas con drenajes internos ofrecen una solución eficaz para reducir la reabsorción en los molinos porque permiten que rápidamente el jugo se separe del bagazo al producirse la compresión entre las mazas (figura 1).

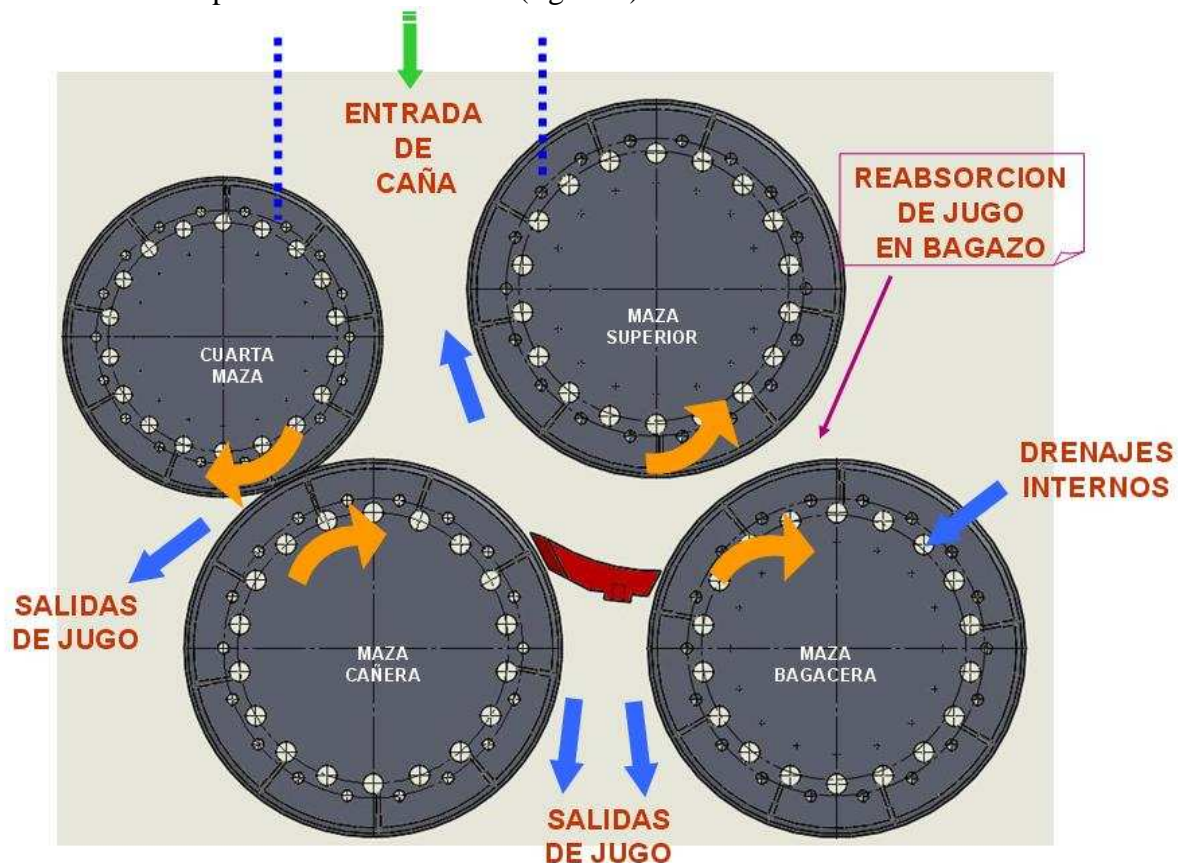


Fig. 1 – Molino de cuatro mazas con drenajes internos

Un buen ejemplo son las mazas Lotus que se construyen desde hace años en fundición de acero con bajo carbono. Los resultados en extracción y humedad en bagazo son buenos pero implican elevados tiempos de fabricación, altos costos de producción e invertir demasiado tiempo en su mantenimiento. Los cascos de acero requieren equipos de fusión mas especializados que los cascos en fundición gris laminar y sus procesos de mecanizado también son más extensos y complejos, en consecuencia, el costo de fabricación es elevado y solo pueden producirse en acerías. Durante la molienda, la corrosión generada por el jugo ataca mas rápidamente al acero que al hierro gris, se hace necesario proteger los fondos de los dientes para evitar su acelerado desgaste. Un casco de acero con bajo carbono (inferior a 0,30% C) se puede reconstruir con soldadura para recuperar la forma y dimensiones originales, sin embargo, este proceso casi siempre resulta más costoso y dispendioso que cambiar el mismo casco pero en hierro gris laminar. Adicionalmente, no es fácil evitar la

acumulación de bagazo en los conductos axiales y radiales, una vez que están bloqueados se pierde la funcionalidad de los drenajes internos. Todo lo anterior ha impedido que estas mazas se hayan popularizado en la industria azucarera, Rein, pág. 113, 114 (2007).

Las nuevas mazas con drenajes internos, nombradas en este artículo como **mazas perforadas ó mazas XM**, han resuelto los principales inconvenientes de sus antecesoras ya que son construidas en un material de hierro gris muy similar al de las mazas convencionales pero con algunas propiedades metalúrgicas mejoradas para soportar las perforaciones internas. Se debe usar hierro gris laminar con resistencia a la tracción superior a 40.000 PSI ó algún hierro nodular cuya resistencia mecánica supera fácilmente dicho valor. En estas condiciones es factible construir las mazas XM sin afectar significativamente su costo y con simples rutinas de operación y mantenimiento. Estas mazas tienen instaladas toberas ó boquillas en el fondo de los dientes para drenar el jugo que luego es dirigido radialmente hacia unos tubos que atraviesan el casco longitudinalmente. De esta manera el jugo sale por cada extremo del casco y finalmente cae por gravedad en la bandeja recolectora de jugo (figura 2).

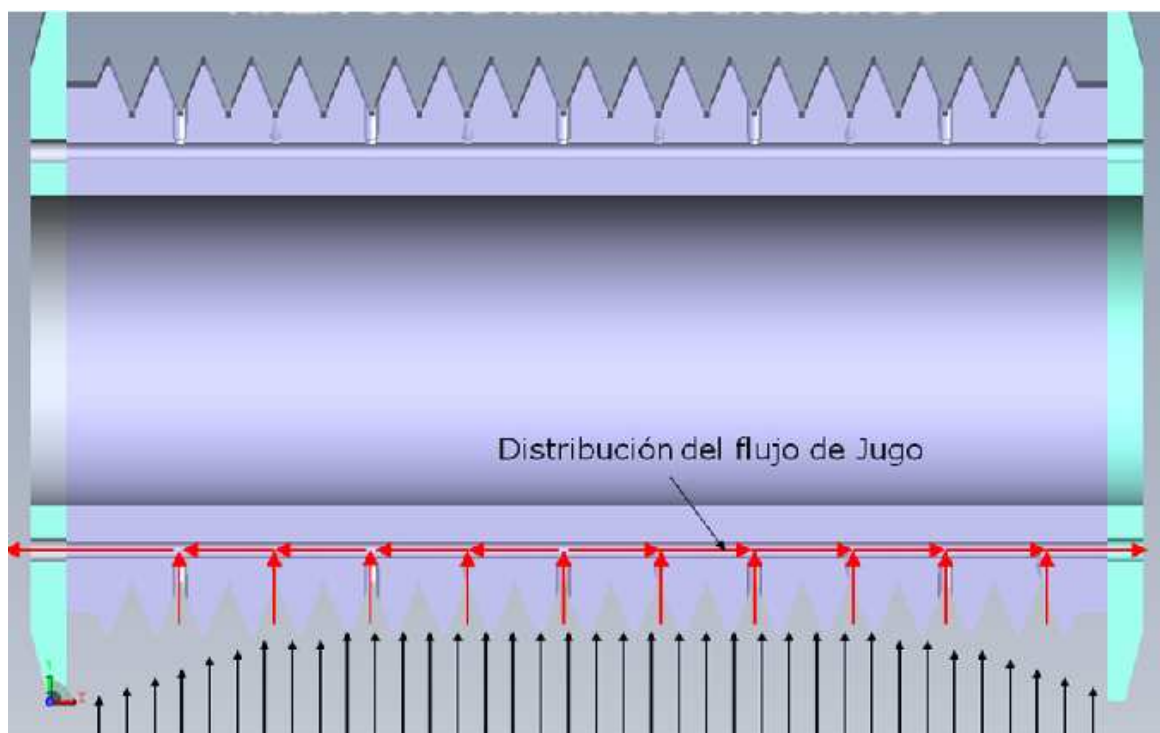


Fig. 2 – Maza superior con drenajes internos

En una fabrica con suficiente capacidad de evaporación de agua en los procesos de calentamiento de jugo, los drenajes internos permiten aumentar la cantidad de agua de imbibición para maximizar la extracción de sacarosa en los molinos. Otra opción es aumentar la velocidad del molino, aprovechando el mayor drenaje, para subir capacidad de molienda, Rein, pág. 119 (2007).

Diseño y construcción de las mazas perforadas

Cada maza XM tiene un diseño único porque es necesario modificar el molino para que permita los nuevos drenajes internos. El diseño incluye la ubicación de las boquillas y de los tubos longitudinales, la modificación de los flanges ó bridas y la canalización lateral del jugo mediante la instalación de platos deflectores (figura 3).

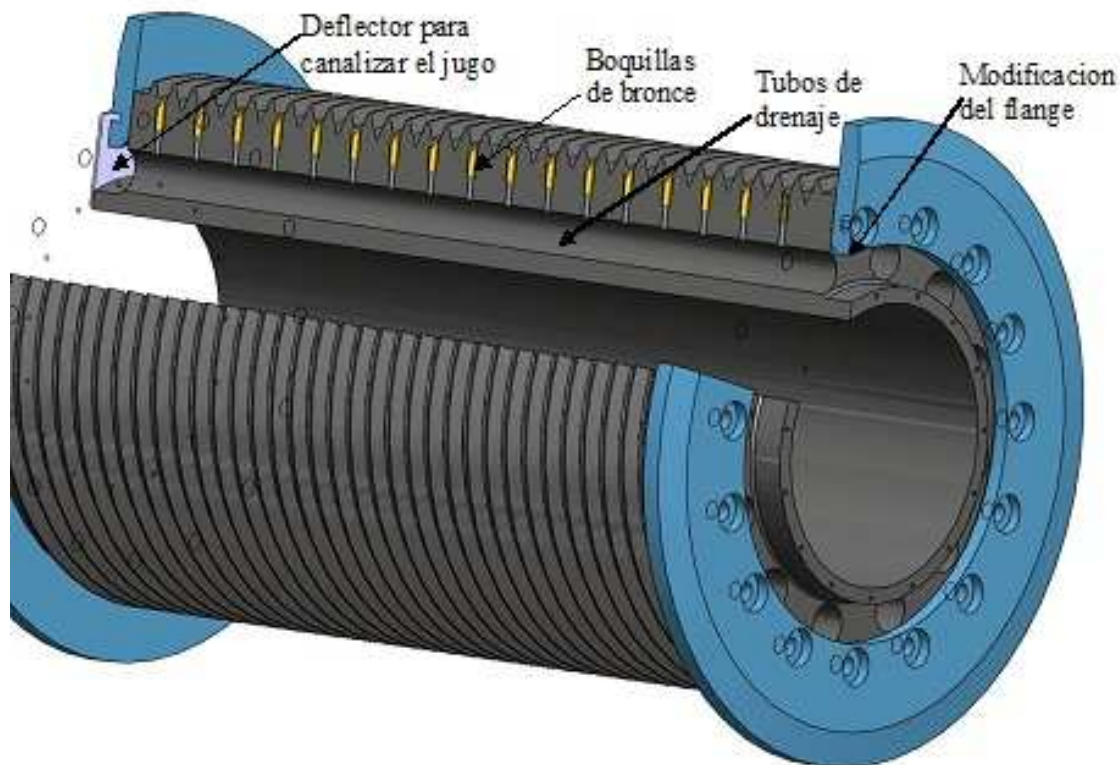


Fig. 3 – Detalles de maza superior XM

Las boquillas son toberas con un orificio central de 1/4" a 5/16", se instalan en dirección radial con el cono divergente hacia el interior del casco y en su parte exterior toman la forma del ángulo de los dientes de la maza. La longitud depende del espesor del casco y de la ubicación de los drenajes longitudinales, normalmente miden entre 2" y 3". Se pueden construir en un plástico duro pero es preferible hacerlas en acero ó en bronce para facilitar el blindaje de los dientes con revestimientos duros. La gran mayoría de mazas XM son en hierro gris, las boquillas de bronce son adecuadas para ellas porque se instalan fácilmente y su vida útil es muy similar al del casco de hierro, entre 12 y 24 meses en diferentes periodos de molienda. Algunos Ingenios usan regularmente cascos en fundición de acero y para ellos las mazas XM pueden construirse en el mismo material, en este caso se recomienda usar boquillas en acero, para prolongar la duración de acuerdo a una mayor vida útil del casco de acero. Independientemente del material de la boquilla, siempre deben protegerse durante el proceso de blindaje para evitar que se obstruyan con algún residuo de soldadura.

La cantidad de boquillas depende de las dimensiones del molino y es directamente proporcional al paso entre los dientes, ancho y diámetro exterior de la maza. Es deseable instalar la mayor cantidad de boquillas para capturar el jugo y evitar que se reabsorba en el bagazo, también es conveniente que haya exceso de boquillas porque es inevitable impedir que algunas se tapen con diferentes sólidos durante la molienda. Un buen diseño de maza XM evitará el rebose de jugo por encima de la maza superior y se conservará así por más tiempo. Las boquillas deben colocarse seguidamente en todos los fondos de los dientes pero no deben quedar alineadas para evitar que se incrusten las puntas del peine raspador y para reducir el riesgo de fractura del casco. Tampoco deben quedar muy cerca de los extremos laterales.

Los drenajes longitudinales son tubos que atraviesan el casco axialmente, su diámetro debe ser el mayor posible y está limitado por el espesor del casco. Se requiere un proceso especial de fundición para vaciar el metal liquido de hierro gris sobre los tubos de acero que

formaran los drenajes internos. También es posible hacer estos conductos barrenados sobre el casco pero esto incrementará los tiempos y costos de fabricación.

La cantidad y la ubicación de los conductos que hacen los drenajes longitudinales están limitadas por el diámetro del eje y por la cantidad de tornillos requeridos para montar los flanges ó bridas laterales. Es necesario un rediseño para posicionar cada elemento y dejar libre las salidas laterales de jugo con suficiente amplitud que evite la formación de tacos de bagazo. También es indispensable instalar unos platos deflectores para canalizar el jugo y evitar que ingrese entre los cojinetes de bronce y los apoyos del eje (figura 4). Normalmente esta zona es muy estrecha y deben instalarse unas platinas limpiadoras en cada extremo de la maza XM para que retiren continuamente el bagazo que trata de estancarse allí. En las mazas superiores estas platinas pueden fijarse a las chumaceras para evitar que se golpeen durante la flotación de la maza.

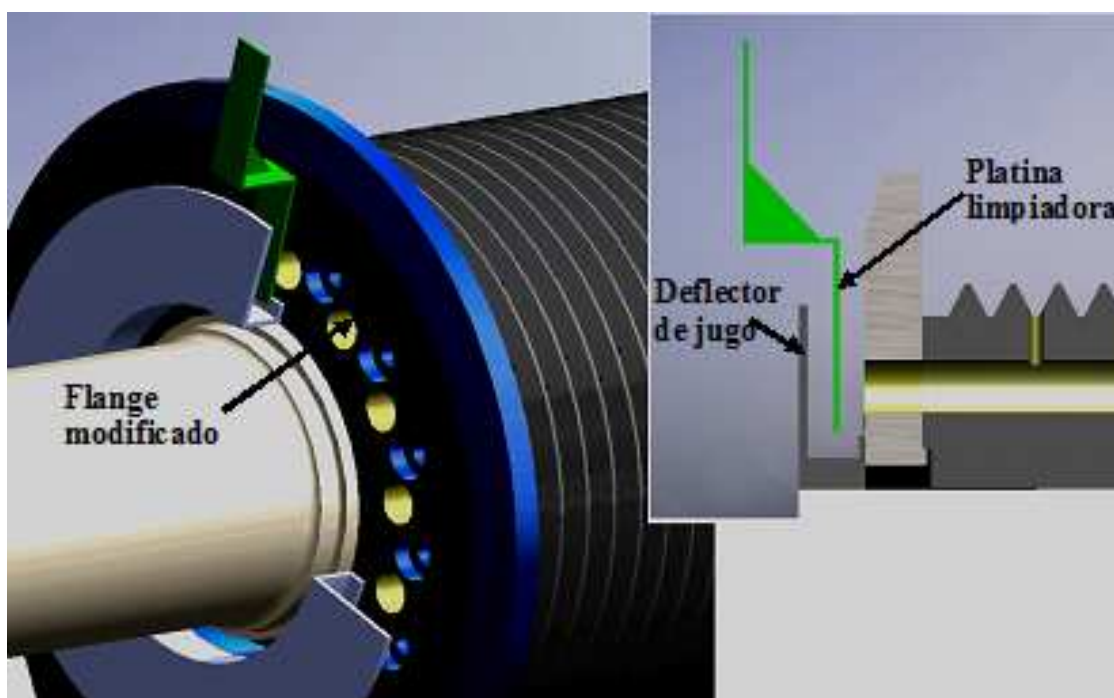


Fig. 4 – Instalación de deflector de jugo y platina limpiadora de bagazo

En las figuras 3 y 4 se observan las modificaciones que se hicieron a dos flanges de una maza superior XM para permitir la salida lateral del jugo. En muchos molinos no hay espacio suficiente para estos nuevos drenajes, los flanges están muy cerca de las chumaceras ó de los sellos que se instalan para impedir que el jugo entre en los apoyos de los cojinetes, es necesario acondicionar cada elemento para liberar el espacio requerido para la salida del jugo con algún arrastre de bagazo. Casi siempre se debe reducir el espesor del flange para ganar ese espacio y a su vez lograr la canalización del jugo, en este caso es muy importante verificar la resistencia mecánica del flange para garantizar la rigidez del conjunto, podría ser necesario cambiar el material por un acero de mayor resistencia para compensar su menor sección transversal. En algunos Ingenios se han construido en acero inoxidable 410 que ofrece más de 100.000 PSI de resistencia a la tracción con dureza hasta de 400 Brinell, de paso se logra una mejor resistencia a la corrosión ya que estarán expuestos permanentemente al ataque corrosivo del jugo de caña. Igualmente, es posible que sea necesario reubicar y recalcular los tornillos que sujetan el flange, una alternativa puede ser reducir el diámetro pero se debe

aumentar la cantidad para conservar el área total de los tornillos sin perder la capacidad de sujeción del flange contra la maza xm.

Los platos deflectores se instalan lo más cerca posible de los cojinetes ó chumaceras para que la canalización del jugo sea lo más amplia posible, pueden montarse en los extremos del casco como se observa en la figura 3 ó en los flanges como se ve en la figura 4. Al igual que en los flanges, resulta conveniente construirlos en algún acero inoxidable para mejorar la resistencia a la corrosión y prolongar su vida útil.

El diseñador debe seleccionar las mejores opciones para acondicionar cada uno de los elementos de acuerdo a las dimensiones del molino y a los materiales disponibles para construir las boquillas, flanges y deflectores de jugo. Un buen diseño debe garantizar el drenaje de la maza perforada, la resistencia mecánica de todos sus componentes y la mayor vida útil de sus elementos, al menos durante un periodo de molienda. Cada Ingenio deberá implementar rutinas de mantenimiento para revisar y limpiar periódicamente los sólidos que se incrusten en los orificios de las boquillas y para garantizar que los drenajes funcionen correctamente.

El casco se debilita por la instalación de las boquillas y los conductos internos, es indispensable calcular los esfuerzos mecánicos y establecer los factores de seguridad para garantizar la confiabilidad de cada maza perforada. Se realiza un análisis de esfuerzos por elementos finitos mediante Solidworks Simulation versión 2012, se tiene en cuenta las condiciones de molienda, material del casco y posición de la maza en el tándem de molinos. La simulación se basa en estimar las cargas que tratan de separar las mazas debido al paso del bagazo por el molino. Las variables que intervienen son: rata de molienda, porcentaje de fibra, velocidad angular del molino, medidas de ajustes entre las mazas y la cuchilla central, flotación de la maza superior, presión y diámetro del pistón en los cabezotes hidráulicos, materiales y dimensiones tanto del casco como del eje. Con estos datos se calcula la compactación del bagazo (medido en kilogramos / metro cubico) y a partir de ella se estiman las fuerzas resultantes sobre las superficies de cada maza. Es importante resaltar que la compactación del bagazo será mayor en el ultimo molino (alrededor de 1000 kg/mt3) y menor en los primeros molinos (alrededor de 500 kg/mt3), por lo tanto, los esfuerzos mecánicos serán mas altos en la maza XM del último molino. El resultado de la simulación son los valores de los esfuerzos medidos en las diferentes zonas de la maza, se debe prestar especial atención a los puntos críticos ubicados en los agujeros de las boquillas y los drenajes de jugo (figuras 5 y 6).

Una vez obtenidos los esfuerzos se pueden calcular los factores de seguridad estáticos y dinámicos teniendo en cuenta los materiales de construcción tanto del casco como del eje.

El cálculo del factor de seguridad estático se basa en la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles (eje) y la formula general de esfuerzos de Von Mises σ' :

$$\sigma' = \left(\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right)^{1/2}$$

donde $\sigma_{1,2,3}$ son cada uno de los esfuerzos principales, Budynas, R. pág. 214 (2007).

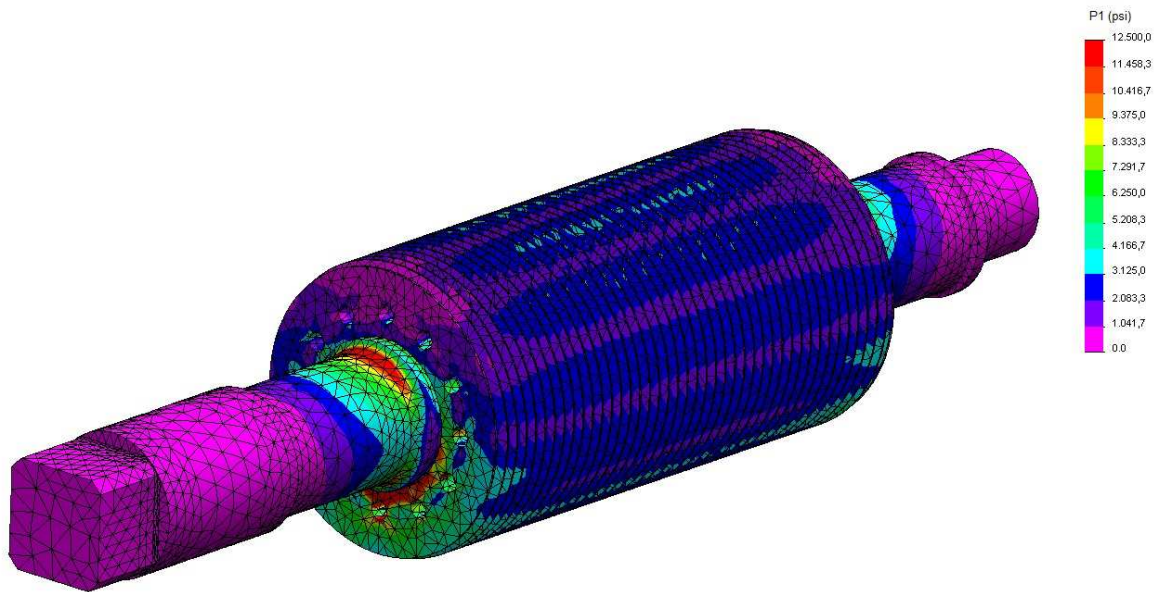


Fig. 5 – Análisis de esfuerzos por elementos finitos, Solidworks 2012

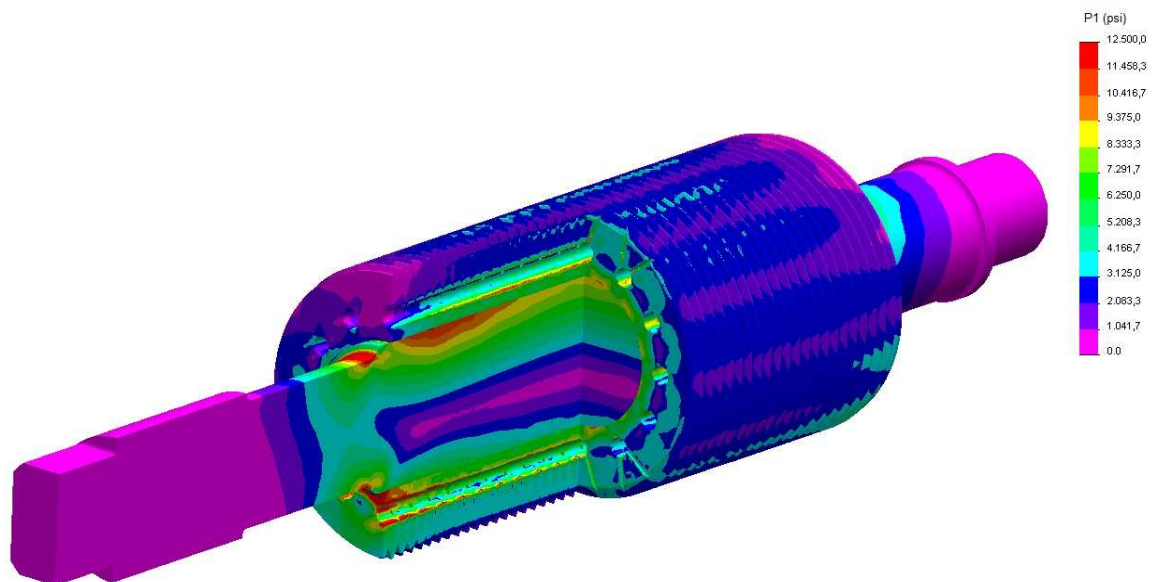


Fig. 6 – Simulación de esfuerzos en maza xm, vista en corte, Solidworks 2012

Igualmente se usa la teoría de Mohr-Coulomb para materiales frágiles (casco), las ecuaciones de diseño son:

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \rightarrow \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$$

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \rightarrow \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad \rightarrow \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$$

donde $\sigma_{A,B}$ son los esfuerzos, n es el factor de seguridad, S_{ut} y S_{uc} son los límites de resistencia del material a tensión y a compresión, Budynas, R. pág. 227 (2007).

El factor de seguridad dinámico emplea el criterio de fatiga de Soderberg:

$$\frac{\sigma_A}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

donde σ_A es el esfuerzo alterno, σ_m es el esfuerzo medio, S_e es el límite de resistencia a la fatiga, S_y es el límite de fluencia y n es el factor de seguridad, Budynas, R. pág. 298 (2007).

Para ambos factores de seguridad se requiere la experiencia del diseñador para determinar cuáles son los valores mínimos aceptables que garanticen el correcto funcionamiento de las mazas perforadas. Se sugiere un valor mínimo de 2.5 para el factor de seguridad estático y de 1.2 para el factor de seguridad a fatiga. Los cascos en acero y en hierro nodular superaran fácilmente estos valores, sin embargo, los cascos en hierro gris laminar tendrán factores de seguridad muy bajos y tal vez sea necesario rediseñar la maza XM hasta conseguir esfuerzos moderados con factores de seguridad ligeramente superiores a los valores mínimos aceptables.

Resultados obtenidos con las mazas perforadas

En Colombia hay instaladas mazas XM desde el año 2007, el primero en usarla fue el Ingenio Providencia en la maza superior del sexto molino. Desde entonces se han montado en casi todos los Ingenios azucareros de Colombia con excelentes resultados en extracción de sacarosa y reduciendo cada vez más la humedad en el bagazo que sale de los molinos.

Inicialmente se construyeron solo mazas superiores XM ya que son las que mayor aprovechamiento tienen para capturar el jugo y dirigirlo hacia los drenajes internos. Fue necesario resolver múltiples inconvenientes en la construcción, en el montaje y durante la molienda para evitar que se taparan las boquillas y drenajes. Los buenos resultados en reducción de humedad y en alta extracción de sacarosa motivaron la continuidad y perfeccionamiento de este desarrollo a pesar de los problemas que surgieron en los primeros años de fabricación. Posteriormente se construyeron mazas inferiores XM e incluso algunas cuartas mazas XM, cada una ha tenido un diseño particular y ha representado diferentes aportes en los indicadores de los molinos. También se han construido algunas mazas cañeras XM conservando las ranuras Messchaert cada dos fondos de dientes, sin embargo es ideal reemplazar dichas ranuras por boquillas ya que las Messchaert debilitan los cascos y facilitan la rotura de los dientes ante la presencia de sólidos durante la molienda.

En un Ingenio con humedad en bagazo superior al 52%, una maza superior XM puede reducir un 2% la humedad en el ultimo molino, esto representa un aumento aproximado del 12% en la energía calorífica que puede entregar el bagazo al quemarse en la caldera (incremento cercano a 400 BTU/ libra de bagazo). Se pueden tener excedentes de bagazo para los periodos donde no hay molienda ó se puede reducir el consumo de combustibles fósiles que se mezclan con el bagazo, de paso se disminuye la contaminación del medio ambiente.

En el primer molino, una maza superior XM puede aumentar la extracción de sacarosa hasta en un 5%. En el Ingenio Providencia las cuatro mazas del primer molino son perforadas y allí se obtienen extracciones superiores al 75% (este Ingenio tiene un sistema de limpieza en seco para la caña, utiliza un desfibrador semi pesado, tiene control automático de alimentación en los shuttes Donellys y los molinos están electrificados).

Esta innovación tecnológica se ha implementado en 11 países de América: Colombia, Venezuela, Perú, Ecuador, Argentina, Panamá, Guatemala, México, Martinica, República Dominicana y Estados Unidos. A la fecha se han construido aproximadamente 500 mazas XM para más de 50 Ingenios azucareros de dichos países.

El diseño se ha ido perfeccionando para maximizar los drenajes y aumentar la cantidad de boquillas, actualmente se construyen mazas XM con más de 1.200 boquillas para Okeelanta en USA y Valdez en Ecuador, ambos molinos de 84" con rayado de 1.1/2", se logra una densidad de 17 boquillas por pie cuadrado de superficie exterior de la maza (figura 7).

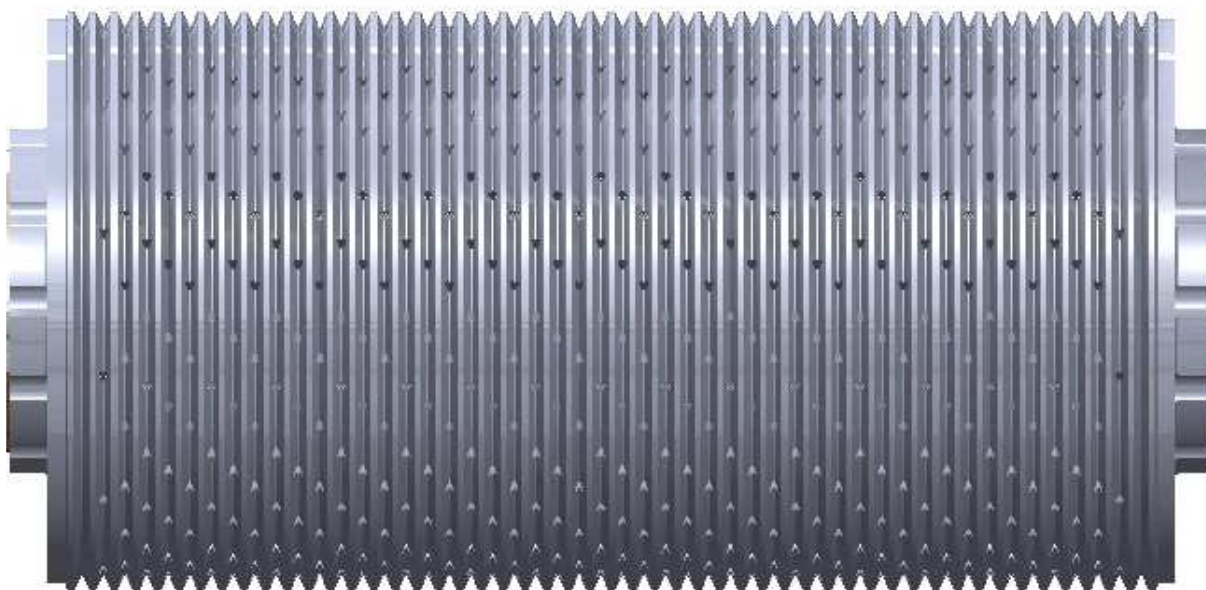


Fig. 7 – Maza XM con 1.248 boquillas para drenaje

Se construyó una maza superior XM en hierro nodular, además de drenar el jugo se logró un material de mayor resistencia mecánica para reducir al máximo la rotura de los dientes y un factor de seguridad apropiado en una maza XM muy delgada que no podía ser construida en hierro gris laminar.

Actualmente está en investigación y desarrollo una nueva maza con drenajes internos cuyo casco será construido en dos camisas, el primero montado sobre el eje tendrá los conductos longitudinales y el segundo montado sobre el primero tendrá el rayado con las boquillas, esto simplificará la fabricación de la maza perforada y reducirá los tiempos y costos de manufactura.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos por algunos Ingenios que usan mazas XM con diferentes condiciones de molienda, los datos fueron suministrados en octubre de 2012. Se observa que casi todos los Ingenios colombianos tienen la humedad del bagazo por debajo de 50%, la sacarosa en bagazo inferior al 2% y la extracción reducida superior al 97%. Otro dato importante es el comportamiento de las mazas XM en los molinos secadores de los difusores de caña en Casagrande y Valdez, se logró fácilmente una humedad de 50% ó inferior con un solo molino. El bagazo sale del difusor con una humedad cercana a 80% y pasa por un desaguador que la reduce en un 5%, anteriormente se requerían dos molinos en línea para secar ese bagazo y conseguir humedades del 50%.

Ingenio / pais	Molienda TCD	Cantidad de molinos	Molinos con mazas xm	Posicion de las mazas xm en el molino	Fibra % caña	Imbibicion % caña (agua)	Humedad % bagazo	Sacarosa % bagazo	Extraccion reducida a 12,5%
Mayaguez / Colombia	7.600	6	Todos	Superiores	16,0%	32,0%	49,0%	1,9%	97,0%
Risaralda / Colombia	5.000	6	Primero y sexto	Superiores	13,5%	24,0%	47,0%	1,7%	97,0%
La Cabaña / Colombia	5.600	6	Todos	Superiores	16,5%	30,5%	49,5%	1,8%	97,0%
Providencia / Colombia	9500	6	Todos	Todas las superiores y las 4 mazas del primer molino	15,5%	28,0%	47,0%	1,6%	97,1%
Incauca Fulton/ Colombia	7.400	6	Todos	Superiores	15,6%	30,9%	47,3%	1,8%	97,0%
Incauca Farrel / Colombia	4.400	6	1, 3, 4, 5 y 6	Superiores en todos y bagacera en molino 1	15,6%	29,8%	48,0%	1,7%	97,0%
Castilla / Colombia	7.200	6	3, 5 y 6	Superiores	15,4%	30,5%	50,3%	1,8%	97,2%
Riopaila / Colombia	8.500	6	2, 5 y 6	Superiores	14,8%	29,5%	46,5%	2,1%	96,8%
Carmelita / Colombia	2.000	6	Sexto	Superior	17,0%	31,2%	50,2%	2,1%	96,6%
La Troncal / Ecuador	10.500	6	1, 2 y 6	Cañera mol1, superior mol2, superior y cañera mol6	16,6%	20,9%	48,2%	1,8%	96,2%
Valdez / Ecuador	9.000	1	Un molino secador	Superior y cañera	13,2%	<i>Difusor</i>	50,5%	N/A	N/A
San Carlos TB/ Ecuador	9.000	5	Todos	Superior en todos y bagacera en 2, 3 y 5	13,5%	32,3%	49,2%	1,7%	96,2%
San Carlos TA/ Ecuador	4.300	6	1, 3, 4, 5 y 6	Superiores 1, 3, 5 y 6, bagacera mol 4	13,5%	33,5%	49,1%	2,0%	95,5%
Santa Rosa / Panama	7.500	6	1, 2, 5 y 6	Superiores	15,3%	26,9%	49,7%	2,1%	95,7%
Varela / Panama	640	3	Todos	Todas las superiores y bagaceras	15,0%	30,0%	48,1%	2,0%	N/A
La Victoria / Panama	6.630	5	Todos	Todas las superiores	15,1%	23,1%	50,9%	2,8%	92,9%
Alange / Panama	5.300	6	Primero y sexto	Superiores	14,5%	26,9%	53,0%	2,9%	93,4%
Laredo / Peru	4.500	6	Primero y sexto	Superiores	15,7%	33,9%	50,4%	1,4%	97,5%
Paramonga / Peru	4.400	5	1, 2 y 6	Superiores	13,7%	23,1%	49,1%	2,2%	95,6%
San Jacinto / Peru	3.000	5	Primero y quinto	Superiores	13,8%	28,9%	48,2%	1,8%	96,6%
Casagrande TB/ Peru	6.000	6	Sexto	Superior, cañera y bagacera	14,0%	26,0%	47,0%	1,7%	96,9%
Casagrande Difusor / Peru	5.000	1	Un molino secador	Superior, cañera y bagacera	14,0%	28,5%	48,5%	2,0%	96,0%
Tuman / Peru	4.000	5	Primero y segundo	Superiores	13,5%	30,0%	49,0%	2,2%	95,4%
Pucala / Peru	4.000	5	Todos	Superior en todos, cañera y superior en mol 1	12,1%	16,0%	51,6%	3,8%	91,7%

Tabla 1 – Datos de molienda de varios Ingenios Azucareros con mazas XM

Cabe destacar que los resultados de la tabla 1 obedecen a varias factores y mejoras realizadas en cada Ingenio. Por ejemplo, en San Carlos instalaron mazas XM, cuarta maza en todos los molinos, algunas transmisiones planetarias y motores eléctricos, sensores de nivel en los shuttes de alimentación, algunos acoplamientos flexibles, variadores de velocidad en las bombas de maceración, etc.

Conclusiones

Las mazas con drenajes internos mejoran la operación de los molinos de caña porque reducen significativamente la reabsorción de jugo, elevan la extracción de sacarosa, permiten aumentar la cantidad de agua de imbibición para maximizar dicha extracción, reducen la humedad del bagazo y estabilizan la operación de las calderas.

Al disponer de un mayor drenaje se puede aumentar la velocidad de los molinos para procesar mas caña y subir la capacidad de molienda, Rein, pág. 119 (2207). También es posible lograr buenos indicadores en un tándem corto de cinco unidades como lo han hecho Paramonga, San Jacinto y Tuman en Perú ó San Carlos en Ecuador.

Los avances en ingeniería mecánica y metalúrgica han hecho posible la construcción de mazas perforadas en fundición de hierro gris especial con todas las ventajas que ofrece este material en los molinos de caña: bajo costo de producción, adecuados tiempos de fabricación, facilidad en la operación durante la molienda y simplicidad en las labores de mantenimiento.

Siempre es indispensable realizar un diseño de cada maza XM para asegurar la funcionalidad de los drenajes sin perder la resistencia mecánica del casco. En algunos casos no será posible construir la maza XM en fundición gris laminar pero se puede escoger un acero de bajo carbono ó un hierro nodular. El diseño debe ser cuidadosamente evaluado y calculado para no sobrepasar los esfuerzos admisibles del material y garantizar los factores de seguridad mínimos aceptables tanto estáticos como dinámicos.

Se deben instalar la mayor cantidad de boquillas que admita la superficie exterior de la maza, esto asegura una mayor capacidad de drenaje y logra mantener por más tiempo un buen indicador de extracción. Después de unas semanas, es inevitable que la maza XM vaya perdiendo efectividad para drenar el jugo porque algunas boquillas se taparán con los sólidos que coincidan con su orificio central. Instalar boquillas en exceso (sin correr riesgos de rotura, por supuesto) permite esperar hasta los mantenimientos programados para realizar la limpieza sin detrimento de los indicadores.

Es posible construir cualquiera de las mazas de un molino con drenajes internos. La maza superior proporcionará los mejores resultados porque tiene una mayor superficie de contacto con el jugo. Sin embargo, se consigue mejorar aun más la extracción en la medida en que se acompañe de otras mazas XM y se implemente en todos los molinos del tándem.

Es necesario implementar rutinas de mantenimiento para garantizar el drenaje continuo de las mazas XM, se requiere una inspección regular sobre el estado de las boquillas, las salidas laterales y los tubos internos. Es deseable realizar una limpieza frecuente de la maza xm con un chorro de agua, vapor ó aire a presión, durante algunos minutos, dirigidos hacia las boquillas y las salidas laterales de jugo, esto es más necesario cuando el molino tiene poca cantidad de fluido ó cuando entran muchos sólidos con la caña (época de lluvias): arena, tierra, pedazos pequeños de piedras, etc. Los paros periódicos del molino pueden aprovecharse para profundizar esta limpieza y retirar los sólidos que se incrustan en las boquillas: residuos de soldadura, piedras, etc.

Agradecimientos

Debo agradecer al ingeniero Enrique Velasquez, del Ingenio La Unión en Guatemala, por su amable y eficaz colaboración en el año 2007 para iniciar la fabricación de las primeras mazas perforadas en Colombia. También es necesario agradecer a los ingenieros que proporcionaron los datos de molienda incluidos en la tabla 1 y muy especialmente a los Ingenios Azucareros de Colombia por su apoyo al servir de laboratorio para desarrollar esta innovación tecnológica.

REFERENCIAS

Rein, P. (2007). Cane Sugar Engineering.

Budynas, R.G., Nisbett, J.K., Miller, (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.
Octava edición.