

MAZAS EN HIERRO DÚCTIL, MÁXIMO DESEMPEÑO DURANTE LA MOLIENDA. DUCTILE IRON SUGAR MILL ROLLERS: MAXIMUM CRUSHING PERFORMANCE.

José Jair Sánchez Aguirre
Fundiciones Universo S.A, Colombia, jsanchez@fundicionesuniverso.com

Resumen

Presentamos una innovación tecnológica en los materiales de construcción de las mazas para molinos que consiste en reemplazar el tradicional hierro gris laminar por hierros dúctiles que tienen mejores propiedades físicas y mecánicas capaces de soportar las difíciles condiciones durante la molienda de la caña de azúcar.

La vida útil de las mazas tradicionales es relativamente corta debido a que están expuestas a una fuerte abrasión y corrosión con la caña durante su trasiego por el molino (bagazo, jugo, tierra, arena, etc.), adicionalmente es muy frecuente la presencia de solidos apreciables que parten fácilmente los dientes ante la fragilidad inherente al material de hierro fundido.

Los principales beneficios del hierro dúctil respecto al hierro laminar son:

- ✓ Mayor dureza y resistencia mecánica
- ✓ Mejor soldabilidad
- ✓ Mayor resistencia al impacto
- ✓ No es frágil, tiene elongación
- ✓ Más posibilidades de tratar térmicamente

La implementación de este material inició en el Ingenio San Carlos, en el año 2011, para cumplir las exigencias del diseño de una maza superior perforada XM para el primer molino. Sus excelentes resultados en durabilidad permitieron que a partir del año 2014 se utilizara para la fabricación de las mazas bagaceras convencionales en los molinos más críticos.

Las características del hierro dúctil no solo están permitiendo desarrollos más avanzados en las mazas XM con drenajes internos (más de 2.000 boquillas) sino que garantizaran unos mejores indicadores de molienda al mantener por más tiempo la forma y la geometría de los dientes. Adicionalmente, este material permite rayados de paso reducido aun con ángulos muy bajos para mejorar la extracción de sacarosa y reducir la humedad del bagazo.

Actualmente, también están funcionando mazas en hierro dúctil en Incauca, Manuelita, Risaralda, Pichichi, La Cabaña, Valdez, Iancem, Azunal, Sterling Sugar, Magdalena, San Nicolás, El Molino.

Palabras clave: Mazas, Dúctil, Desgaste, Extracción, Humedad.

Abstract

We present a technological innovation related to the materials used in manufacturing the sugar mill rollers that consists in replacing the traditional laminar cast iron with a variety of ductile irons with better physical and mechanical properties capable to withstand the critical sugar mill crushing conditions.

Lifespan of traditional rollers is relatively short due to their exposure to abrasion and corrosion while they are used in the mills (bagasse, juice, mud, sand, etc.). In addition, is quite frequent the presence of solid materials (rocks or metal parts) that easily break the rollers teeth because of the cast iron inherent fragility.

Main benefits of ductile iron compared with laminar cast iron:

- ✓ Higher hardness and mechanical resistance
- ✓ Better weldability
- ✓ Higher impact resistance
- ✓ It is not fragile
- ✓ Better heat treatment options

Implementation of this material (ductile iron) started in Colombia sugar mill “San Carlos” back in 2012, in order to comply with the particular demands of a new perforated (XM type) roller for their Mill #1. Its excellent results in durability were key to use this material for their bagasse conventional rollers in their most critical mills.

Ductile iron characteristics are not only allowing more advance developments in perforated (XM) rollers with internal drainage systems (more than 2.000 nozzles) but to guarantee better milling indicators by keeping teeth geometry and shape for longer periods of time. In addition, this material withstand smaller pitch grooves even with low angles therefore increasing sucrose extraction while lowering bagasse moisture.

Actually rollers cast in this material are being used in the following Sugar Mills: Incauca, Manuelita, Risaralda, Pichichi, La Cabaña, Valdez, Iancem, Azunal, Sterling Sugar, Raceland, Magdalena, San Nicolás, El Molino, among others.

Keywords: Rollers, Ductile, Wear, Extraction, Moisture.

Introducción

Actualmente casi todas las mazas son construidas en fundición de hierro gris laminar, un material ferroso fácil de producir, su fabricación se rige bajo la norma ASTM A-48 con resistencia a la tracción entre 25 000 y 35 000 PSI con durezas entre 180 y 200 HBN.

Las principales ventajas del hierro gris laminar son:

- ✓ Buena maquinabilidad.
- ✓ Costos y tiempos de fabricación bajos.
- ✓ Grano grueso (abierto).
- ✓ Buena resistencia a la corrosión.

Las principales desventajas del hierro gris laminar son:

- ✓ Baja resistencia mecánica.
- ✓ Mala soldabilidad.
- ✓ Rotura de dientes por material frágil.
- ✓ Corta vida útil.

El grano abierto es una característica muy apreciada ya que favorece la alimentación de los molinos, sin embargo, actualmente se prefieren materiales con grano más fino de mejor resistencia a la tensión para soportar mayores cargas y esfuerzos mecánicos (Rein, 2012, p. 131, 158).

Es inevitable que se presenten desgastes permanentes en los dientes de las mazas debido a la fuerte abrasión con el bagazo y a los diferentes sólidos que ingresan al molino: tierra, arena, piedras, partículas metálicas, etc. Igualmente hay desgaste corrosivo en las mazas por el contacto permanente con el jugo que está siendo extraído en el molino. Para combatir esos desgastes, desde hace unas décadas se realizan blindajes sobre los dientes para protegerlos y cubrirlos con revestimientos duros de aproximadamente 60 HRC. Como la soldabilidad del hierro gris es muy baja, casi siempre se afecta térmicamente su estructura interna y esto aumenta considerablemente su fragilidad, se logra un revestimiento duro pero es inevitable que se partan fácilmente los dientes ante la presencia de sólidos que ingresan con la caña o el bagazo (piedras, metales, etc.).

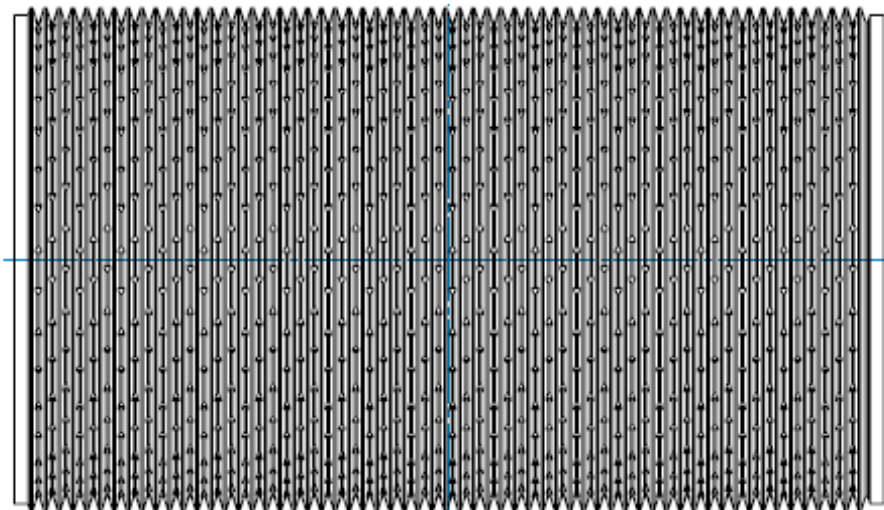
Figura 1. Maza con desgaste y dientes rotos



La pérdida del blindaje y la rotura de los dientes reducen la eficiencia en la extracción de jugo, se hace necesario desmontar las mazas para rectificarlas (recuperar la forma y dimensiones de los dientes) y reponer nuevamente las soldaduras duras. Normalmente una maza se puede rectificar una o dos veces antes de quedar inservible debido a su pérdida de diámetro exterior. Eventualmente una maza no se podrá rectificar porque se le han partido demasiados dientes o porque ha sufrido un desgaste excesivo en los fondos de los dientes debido a la corrosión o a la incidencia del peine raspador. Actualmente muchas mazas perforadas XM solo duran un periodo de molienda debido a esta última condición.

El desarrollo de las mazas perforadas XM ha permitido aumentar la extracción de sacarosa y reducir considerablemente la humedad en el bagazo (menor a 50%) que casi siempre será usado como combustible en las calderas (International Sugar Journal, march 2015, p. 192 a 199). Actualmente se instalan hasta 18 drenajes longitudinales de 2.1/2" y cerca de 1 500 boquillas en mazas grandes de 84" con rayado de 1.1/2", este importante avance ha sido posible mediante la utilización de hierros grises con propiedades metalúrgicamente mejoradas; sin embargo es deseable incrementar los drenajes y las boquillas para maximizar aún más la extracción de jugo y seguir reduciendo la humedad del bagazo especialmente en las plantas de cogeneración de energía, para lograrlo es necesario utilizar materiales de mayor resistencia mecánica que puedan soportar los elevados esfuerzos que tendrá esa nueva generación de mazas XM con más de 2 000 boquillas.

Figura 2. Maza XM con drenajes internos y 2 160 boquillas



El hierro dúctil es una buena alternativa para resolver los problemas de fragilidad y proporciona una resistencia mecánica y dureza superiores a la de los hierros laminados, además es posible mejorar considerablemente la soldabilidad para obtener blindajes más estables y duraderos que conduzcan a importantes reducciones en el costo del mantenimiento de los molinos. Con estas propiedades mecánicas, las mazas en hierro dúctil no solo tendrán una mayor vida útil sino que conservarán por

más tiempo la forma y dimensiones de los dientes, esta característica permitirá mejorar y mantener los buenos indicadores de extracción y de humedad especialmente en las mazas XM con mayor cantidad de drenajes y de boquillas. Su mayor resistencia y ductilidad permitirá el uso de rayados de paso fino para mejorar los drenajes de jugo y reducir la reabsorción (Rein, 2012, p. 124, 132).

Características del material

El hierro dúctil empleado en este desarrollo se rige bajo la norma ASTM A-536 y sus propiedades mecánicas se ilustran en la Tabla I.

Tabla I. Propiedades mecánicas del hierro dúctil, norma ASTM A-536.



TABLE 1 Tensile Requirements

	Grade 60-40-18	Grade 65-45-12	Grade 80-55-06	Grade 100-70-03	Grade 120-90-02
Tensile strength, min, psi	60 000	65 000	80 000	100 000	120 000
Tensile strength, min, MPa	414	448	552	689	827
Yield strength, min, psi	40 000	45 000	55 000	70 000	90 000
Yield strength, min, MPa	276	310	379	483	621
Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	18	12	6.0	3.0	2.0

Desde hace varios años este material se emplea en otras aplicaciones en la industria azucarera: peines raspadores, cuchillas centrales, soportes de chumaceras, carcazas para bombas hidráulicas, acoplamientos, etc. A diferencia del hierro gris laminar, puede ser extremadamente dúctil y maleable dependiendo de la estructura base de hierro (ferrita, perlita, ferrítica-perlítica), su resistencia mecánica puede superar los 100 000 PSI y es susceptible de tratar térmicamente para afinar sus propiedades mecánicas. La dureza depende de su estructura interna y es común usarlo en un rango entre 220 y 280 HBN, aun sin tratamiento térmico.

Los hierros dúctiles presentan una elongación o alargamiento muy similares a los aceros, esta característica debe ser controlada ya que puede resultar inconveniente para las mazas porque los dientes deberían actuar como fusibles ante la presencia de sólidos grandes durante la molienda, en algunos casos es preferible la rotura de unos dientes a tener un accidente en los accionamientos.

Algunos Ingenios usan mazas en fundición de acero al carbono, es típico el uso de aceros con porcentajes de carbono entre 0.20% y 0.30% para facilitar la soldabilidad (para los blindajes y para recuperar los dientes después de un periodo de molienda). El material es muy dúctil y eventualmente atrapa algunos sólidos entre los dientes de la maza (piedras, metales, etc.), la consecuencia puede ser la rotura de los dientes en el peine raspador o en la cuchilla central produciendo el embagazamiento de la maza en ese sitio. Esto también podría suceder en las mazas de hierro dúctil, en la selección del material se debe controlar la elongación a un valor máximo del 8% para que los dientes actúen como fusibles ante esfuerzos cercanos a los 70 000 PSI.

Resultados obtenidos en varios Ingenios Azucareros

1. Ingenio San Carlos, Colombia, fue el primero en usar mazas en hierro dúctil, a partir del año 2012 se han instalado siete (7) mazas superiores XM de la siguiente manera: tres (3) en el segundo molino con rayado de 2" y cuatro (4) en el último molino con rayado de 1.1/2", el tándem consta de seis (6) unidades. En 2014 se instalaron dos mazas bagaceras convencionales en hierro dúctil en el segundo y en el último molino ya que estos son los más críticos por desgaste.

El encargado de molienda estima que las mazas de hierro dúctil tienen una duración promedio de 15 meses, un 50% más que las mazas en hierro gris laminar que duraban en promedio 10 meses.

2. Ingenio del Cauca, Colombia, se instaló una maza bagacera convencional en hierro dúctil el 06 de mayo de 2014 en el quinto molino, un tándem de seis (6) unidades de 47" x 84" con rayado de 2" que muele aproximadamente 10 000 TCD. El blindaje fue hecho con alambres de bajo calibre, 1.2 mm y 1.6 mm, se aplicaron aproximadamente 170 kilos de soldadura, el procedimiento incluye: base, sobrebase, picotes, oscilado lateral y chapisco en dos tercios de la altura del diente. La maza fue desmontada el 04 de noviembre de 2014 luego de moler 1 362 000 toneladas de caña. En este primer periodo de molienda solo requirió recargas de soldadura a partir del cuarto mes, en octubre se aplicaron aproximadamente 10 kilos para reponer el chapisco, no se notaban dientes partidos.

Según información suministrada por el ingeniero encargado del molino, la maza conservaba muy bien el perfil y la soldadura de blindaje, por esta razón se decidió montar nuevamente el 05 de enero de 2015 en el tercer molino, solo se aplicaron 20 kilos de soldadura para reponer el chapisco.

Figura 3. Maza bagacera en hierro dúctil con más de 2 000 000 de toneladas



En el segundo periodo se molieron 1 867 000 toneladas hasta octubre de 2015 sin aplicar soldadura, en total la maza acumuló una molienda de 3 229 000 toneladas sin rectificar ni reparar los dientes.

3. **Ingenio Manuelita**, Colombia, se instaló una maza superior XM en hierro dúctil en junio de 2014 en el segundo molino, una maza de 43" x 84" con rayado de 2" en un tándem de seis (6) unidades que muele aproximadamente 9 000 TCD. La maza molió hasta diciembre de 2015 más de 3 millones de toneladas, en ese periodo de trabajo continuo no hubo reparaciones significativas, únicamente algunos recargues de soldadura para reponer el chapisco lateral. La siguiente figura muestra el estado de la maza a los diez (10) meses continuos de molienda, no se observan dientes partidos y conservaba gran parte del blindaje original.

Figura 4. Maza superior XM en hierro dúctil



4. **Ingenio Risaralda**, Colombia, se instaló una maza superior XM en hierro dúctil en diciembre de 2015, diámetro 40.1/2" y longitud 72", paso 2", molino seis. Hasta mayo de 2016 molio 595 377 toneladas y quedó con un diámetro promedio de 40.1/8", se requirió la aplicación de tres kilos de soldadura para reparar unos pocos dientes partidos y 11 kilos para recuperar el blindaje (distribuidos entre la base, sobrecabeza, flancos laterales y algunos picotes).

Las siguientes figuras muestran el estado de la maza después de cinco meses de molienda, el desgaste fue mínimo y muy uniforme, muy pocos dientes rotos y el blindaje casi intacto.

Figura 5. Maza superior despues de cinco meses de molienda



5. **Azucarera Nacional**, Ingenio Santa Rosa, Panama. En la zafra 2016, entre enero y abril, se instalaron dos mazas cañeras XM en hierro dúctil en los molinos 1 y 6, molieron 564 000 toneladas en 96 días. El primer molino es de 45" x 84", rayado de 3", la maza perdió 1/8" al diámetro.

Figura 6. Maza cañera XM paso 3" molino 1



Las mazas cañeras de los molinos dos al quinto, en hierro gris laminar, perdieron 5/16" al diámetro.

El sexto molino es de 44" x 84", rayado 2", la maza perdió 1/16" al diámetro en la zafra 2016.

Figura 7. Maza cañera XM paso 2" molino 6



6. **Ingenio Magdalena**, Guatemala, se instaló una maza superior XM de 42.1/2" x 84" con 1 800 boquillas, paso 2", ultimo molino (quinto) del tándem B. En la zafra 2015/2016 molió 2 781 143 toneladas y perdió 1.1/8" al diámetro en 193 días de operación a razón de 650 TCH. Comparando con la zafra anterior se logró una reducción del 3.05% en la humedad del bagazo (47.1%) y una reducción de 0.29% en la POL de bagazo. Durante la zafra se aplicaron 898 libras de recargue de soldadura en operación, esto implica un consumo de 0.147 gramos de soldadura por cada tonelada de caña, muy inferior al promedio del Ingenio que está en 1.32 gm/TC.

En la siguiente figura se observa el estado de la maza al terminar la zafra, pocos dientes rotos y muy uniforme en su diámetro exterior.

Figura 8. Maza superior XM con casi 2 800 000 toneladas



Conclusiones

1. En las mazas para molinos el hierro dúctil tiene mejores propiedades mecánicas que el hierro gris laminar pero la elongación debe ser controlada para obtener un balance entre la resistencia y la ductilidad, los dientes no deben romperse fácilmente pero es deseable que se fracturen ante la presencia de sólidos muy grandes.
2. La mayor resistencia del hierro dúctil permite aumentar la capacidad de drenaje de las mazas perforadas XM, se pueden instalar drenajes más amplios y más cantidad de boquillas. La reducción del área transversal de la maza XM genera mayores esfuerzos ante las mismas condiciones de carga del molino, sin embargo se obtiene un mejor factor de seguridad al emplear un hierro dúctil que proporciona una resistencia dos o tres veces mayor que la de un hierro gris laminar.
3. La mayor resistencia y ductilidad permiten implementar los rayados finos (ángulos bajos y pasos cortos) para aumentar el drenaje de jugo, reducir la reabsorción y mejorar la extracción del molino.
4. El hierro dúctil tiene una mejor soldabilidad y conserva por más tiempo el blindaje, los dientes de las mazas no se parten fácilmente ante la presencia de sólidos durante la molienda, se logran importantes reducciones en los costos de mantenimiento al minimizar los consumos de soldadura tanto en operación como en la recuperación de las mazas para el siguiente periodo de molienda.
5. La conservación del diámetro exterior y la estabilidad del blindaje en los dientes de las mazas aseguran un correcto ajuste de los molinos para lograr la mayor eficiencia en la extracción de sacarosa, mantener el torque y conservar los buenos indicadores a medida que avanza la zafra.
6. La mayoría de los hierros dúctiles son más duros que los hierros laminares, esta cualidad sumada a la conservación del blindaje y a la escasa rotura de los dientes permite que las mazas resistan mejor el desgaste abrasivo durante la molienda. En consecuencia, se espera una mayor vida útil de las mazas en comparación con las tradicionales construidas en hierro gris laminar.

Referencias

- Manual de normas técnicas, ASTM, 1999.
- Rein P. (2012). Cane Sugar Engineering, Bartens.
- International Sugar Journal, (March 2015). Reducing sugarcane juice reabsorption in sugar mills using mill rolls with internal drains, Londres, pp. 192-199.