

Análisis de recubrimientos duros para molinos de caña de azúcar

Ronny Aroca Delhi⁽¹⁾, Julian Peña Estrella⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción ⁽¹⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
caroca@espol.edu.ec ⁽¹⁾, ⁽²⁾Ing. Mecánico, Profesor FIMCP-ESPOL, jpena@espol.edu.ec⁽²⁾

Resumen

El objetivo de esta tesis fue fundamentado en el análisis del recubrimiento duro utilizado como elemento de protección contra el desgaste de mazas de molino de caña, en la cual se evidencia, la eficiencia de este proceso, propiedades contrastadas con otros productos también usados para este fin, y la incidencia económica que representa.

Este estudio muestra las condiciones a las cuales están sometidas las mazas de molinos, el material del cual están compuestas con sus respectivas propiedades y los elementos protectores asociados a esta, y a la vez la implementación de pruebas de laboratorio que muestran realmente las propiedades mecánicas obtenidas al realizar el blindaje de las mazas.

Usando como parámetro principal el desgaste, se muestra una forma de calcular las pérdidas que genera el no contar con un procedimiento de blindaje adecuado.

Palabras Claves: *Mazas de molinos, recubrimiento duro.*

Abstract

The objective of this thesis was based on the analysis of hard coating used as an element of protection against wear roll cane mills, which clearly shows, the efficiency of this process, contrasted with similar products used for this purpose and the economic impact it represents .

In this document you can appreciate the strength that the roll mills are subjected, the material used and the composition, laboratory tests that show the advantages of hard coating.

Using as principal parameter the mechanical wear, this document presents a way to calculate the money a industry can save with a appropriate coating.

Keywords: *Escriba Roll mill, hard coating.*

Introducción

En la industria azucarera un componente importante de los costos de producción es el costo por mantenimiento de los equipos que intervienen en los procesos. A partir de la caña, fenómenos como el desgaste están presentes en varios de los procesos, en especial en la preparación y en la molienda.

Este tipo de industria tiene la particularidad que deben aprovechar al máximo el tiempo de zafra, la cual es la temporada del año en la que se realiza la cosecha de la caña de azúcar, es por este motivo que se debe asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos, el área de extracción compuesta por los molinos es bastante crítica, debido a que deben asegurar al máximo la extracción del jugo de caña.

Debido al elevado costo que genera una para de producción, además de los costos muy representativos que se generan por mantenimiento de los molinos, siempre se está tratando de buscar nuevas alternativas para disminuir estos costos.

El objetivo de esta tesis es hacer un análisis del recubrimiento duro comúnmente utilizado en los molinos para combatir el desgaste, verificar que tan eficiente es este proceso y hacer un estudio de alternativas para mejorar el proceso de blindaje.

En los diversos capítulos se muestra una metodología de investigación, con su posterior análisis tanto técnico como económico, el cual muestra la pérdida monetaria que se deriva del fenómeno de desgaste.

2. Aspectos generales

2.1 Proceso de Extracción

En la extracción por molienda la configuración del equipamiento principal se muestra dos áreas bastante diferenciadas: el área de preparación y el área de extracción (molinos). En el área de preparación, como su nombre lo indica, se crea las condiciones en la materia prima (caña) para que en los molinos se realice la extracción de forma óptima, un mínimo de potencia requerida en las máquinas que mueven el equipamiento, y un mínimo de desgaste de los molinos.

El tren de molinos conocido como tándem, está conformado generalmente por un conjunto de 4 a 7 unidades, un tándem de molienda típico de 6 unidades, cada uno dotado de 4 mazas. Entre cada pareja de mazas se hace pasar el colchón fibroso, comprimiéndolo y se envía su jugo a lavar, el bagazo en la entrada del molino anterior, conformándose en un sistema de extracción compuesto por compresión mecánica y lixiviación a contraflujo.

La capacidad de un tándem de molinos está dada por la cantidad de caña que este es capaz de pasar por

unidad de tiempo. Se expresa generalmente en Toneladas de caña por hora (T.C).

2.2 Mazas de Molinos

Se llama así a los rodillos ranurados que comprimen el bagazo extrayendo el jugo, con camisas de hierro fundido montadas sobre los ejes de acero SAE 1045 forjados y normalizados.

A las ranuras de la masas se les da el nombre de dientes y al comprimir el colchón de bagazo lo divide facilitando la extracción del jugo, la sección de los dientes es un triángulo isósceles cuyo ángulo superior es de 45°.



Figura 1 –Maza de Molino

Los dientes se caracterizan por su altura h y su paso p , se les designa por estos 2 números citándolos por el orden indicado, “ranuras 10x13”, lo que significa: ranuras de 10 mm de alto por 13 mm de paso, El paso es la distancia que separa a los ejes de 2 dientes sucesivos, La altura o profundidad es la distancia que separa al plano de la punta del fondo de los dientes, medida perpendicularmente al eje

2.3 Desgaste en Mazas de Molinos de caña de azúcar

Entre la caña que llega a las fabricas también se encuentra una importante cantidad de materia extraña, mineral que se incorpora a la caña en el proceso de cosecha, sobre todo en el levantamiento si este es realizado mecánicamente, debido a que las alzadoras al recoger la caña incorporan restos de suelo. Este contenido de materia extraña aumenta significativamente en épocas lluviosas.

Las altas presiones que se dan, el movimiento relativo entre la maza y la caña, y la presencia de materia extraña mineral generan altas tasas de desgaste en la superficie de la maza. Se piensa que además del bagazo, la materia extraña es responsable del desgaste dada la presencia de rayaduras en la superficie de los dientes, algunas observables a simple vista y que no pueden culparse solamente al rozamiento entre la maza y el bagazo.

Consecuencias del desgaste

El desgaste de cascos de maza representa uno de los costos de mantenimiento por equipo más altos de la industria azucarera, y por esto los ingenios azucareros realizan esfuerzos por controlarlo evaluando permanentemente nuevas tecnologías que involucran combinaciones de materiales de recubrimiento y topografías. En estas evaluaciones se ha puesto atención en el costo de aplicarla tecnología durante el cambio de molino en optimas condiciones. Sin embargo, si se reconoce que el desgaste de cascos de maza tiene otros efectos implícitos como lo son el aumento de consumo energético, la disminución en la extracción de sacarosa y el aumento de tiempo perdido.

2.4 Uso de mazas de Fundición gris

La preferencia por la fundición gris se sustenta en que es un material de fácil colada, por sus buenas propiedades contra el desgaste y además por que el reemplazo de una maza gastada es menos costoso comparada con una de acero.

Con el fin de proteger las mazas contra el desgaste se aplica un recubrimiento duro sobre la cresta y los flancos de los dientes con materiales que generalmente son fundiciones blancas con alto contenido de cromo.

Ventajas y Desventajas

Una de las ventajas principales del acero frente a la fundición gris es su buena soldabilidad, lo cual permite que una maza pueda ser recuperada con soldadura cuando ha perdido demasiado material producto del desgaste. Al poder recuperar la maza por medio de soldadura se evita tener que sustituirla por una nueva. Sin embargo, los costos de recubrimiento duro y la reconstrucción de mazas desgastadas pueden resultar también muy altos.

En contraste a lo mencionado, en las mazas de acero se hace blindar la mayor área posible del diente, ya que a diferencia de la fundición de acero, debido al desgaste, se pule, pierde agarre sobre la fibra y permite que haya mayor movimiento relativo entre la caña y maza, lo que acelera el desgaste.

2.5 Preparación de los molinos

La preparación de los molinos para el proceso de blindaje, consiste en la adecuación de sus mazas para dicha acción. Debido a que las mayores presiones y velocidades tangenciales en un diente se presentan en las crestas y en la parte superior de los flancos, son estas regiones las que generalmente se blindan con soldadura resistente al desgaste.

El perfil se lo obtiene con un maquinado en el cual se debe tener la precaución de mantener el ángulo de

los dientes, y definir la profundidad para la aplicación apropiada del recubrimiento.

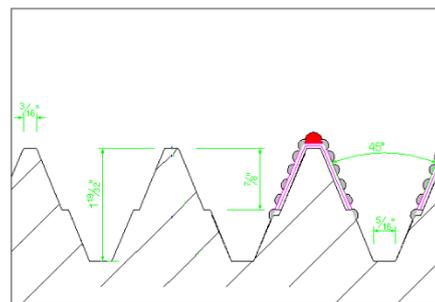


Figura 2 –Detalle de maquinado

2.6 Recubrimientos duros

Los recubrimientos duros-protectores, consisten en la aplicación a una pieza de metal, de una capa superficial más dura y resistente que el metal base. Este recubrimiento se aplica por varias razones: para resistir la corrosión, para protección contra altas temperaturas o cambios bruscos de temperatura y para resistir el desgaste causado por abrasión, erosión, fricción o impacto.

Las fundiciones blancas de alto cromo depositadas por soldadura son el recubrimiento duro más utilizado para combatir el desgaste en mazas de molinos de caña. Los carburos que por lo general se encuentran en los recubrimientos de maza y en muchas otras aplicaciones de recubrimiento duro por soldadura son los del tipo M7C3, donde M representa varios elementos, en este caso Fe y Cr.

2.7 Metodología de la investigación

Con el propósito de indagar en las bondades o perjuicios que genera la aplicación de un recubrimiento al material base, y a su vez determinar alguna mejora en el procedimiento de blindaje, se realizaron ensayos de laboratorio aplicando:

- Durometría, con el propósito de determinar las propiedades mecánicas que presenta el material al aplicarse el respectivo recubrimiento.
- Metalografía, con objetivo de visualizar la coalescencia que presentan cada uno de los recubrimientos al ser depositados en el material base, es decir la soldabilidad de cada uno de ellos, y a la vez observar las consecuencias que genera su aplicación.
- Análisis químico, la cual se realizó mediante un microscopio electrónico de barrido, con el fin de determinar de una experimental los componentes de cada uno de los recubrimientos, y compararlos con los

valores teóricos, y adicional visualizar su distribución.

Para la ejecución de cada uno de los ensayos mencionados se tomaron muestras del material del cual están compuestos las mazas de molinos, en este caso fundición gris ASTM A-48 clase 30, se les realizo el proceso de blindaje con 3 diferentes tipos de recubrimientos que fueron clasificados como producto A, B, C.

El Producto A, contiene teóricamente una aleación compuesta por: C- 4%; Mn- 1,8%; Si: 1,2%; Cr- 31%.

El Producto B, contiene teóricamente una aleación compuesta por: C- 4,5%; Cr- 28%; lo restante de Fe.

El Producto C, contiene teóricamente una aleación compuesta por: C- 1,8%; Mn- 2%; Cr- 7%; Mo- 0.6; Ti- 5%; lo restante de Fe.

2.8 Análisis técnico

Uno de los factores importantes en la aplicación de soldadura es la penetración que presenta, lo ideal es que exista disolución, de tal manera que haya una mezcla homogénea y así el blindaje pueda soportar esfuerzos y evitar desprendimiento, en el caso de existir áreas no fundidas permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable.

Al existir desprendimiento la masa perderá agarre, lo cual ocasiona un incremento en la velocidad superficial de esta, lo cual se traduce en una variación de los valores de compactación y en el factor de reabsorción, lo cual se traduce en pérdida de eficiencia en la extracción.

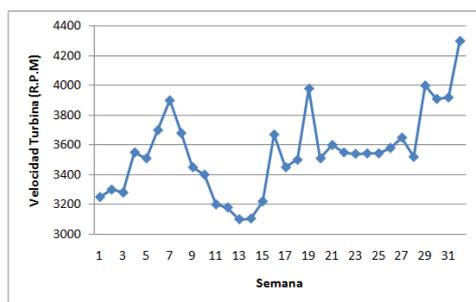


Figura 3 –Variación de velocidad vs semanas de operación.

Un punto vital observado en la metalografía es la zona de fusión, en la cual se puede determinar la coalescencia entre material base y de aporte, al existir esto se asegura gran resistencia mecánica evitando desprendimientos y variaciones en los parámetros de extracción.

En la figura 4 se presentan los resultados metalográficos de los tres tipos de recubrimientos

analizados en esta investigación, en el cual se puede apreciar la penetración de la soldadura sobre el material base, en la cual destaca el recubrimiento A.

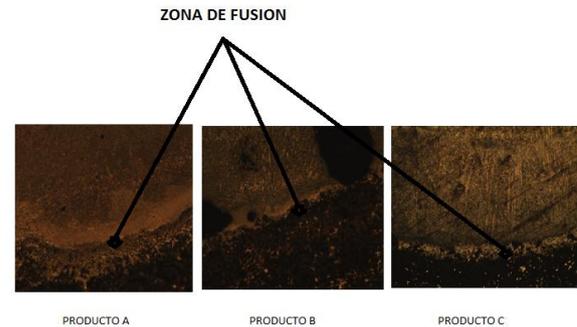


Figura 4 –Zona de fusión de los recubrimientos analizados.

En la figura 5 se muestra el perfil usado para el barrido de dureza de las probetas A-B-C, y en la figura 6 la curva resultante correspondiente al barrido realizado, la cual muestra la alta dureza presentada por el producto A y B, y la variación de dureza en el interface material aporte-material base.

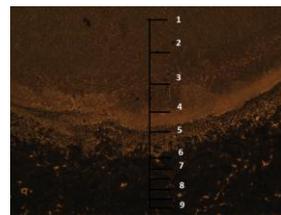


Figura 5 –Perfil aplicado en el barrido de dureza.



Figura 6 –Curva de dureza de los recubrimientos A-B.C.

El análisis químico tuvo como resultados para el producto A y B valores bastante aproximados a los teóricos, numéricamente el porcentaje de cromo oscila entre el 23 al 28%, Carbono entre el 2,5 y 4%, con lo cual están en la clasificación de los carburos tipo M7C3 que es lo recomendado para esta tipo de aplicación.

2.9 Análisis económico

Para demostrar la incidencia de seleccionar un buen recubrimiento, una de las herramientas importantes es la eficiencia en la extracción de azúcar, debido a que este es el principal indicador, el cual es muestra la cantidad real de sacarosa que se obtendrá de la caña, y a la vez contrastarlo con el valor que invierto en soldadura de recubrimiento.

Para este análisis se usó como referencia un trapiche compuesto de 5 molinos con capacidad de 350-380 ton/hora de caña.

La eficiencia de la extracción se la puede obtener a través de indicadores, en este caso se usó el % Pol en bagazo, que es la cantidad de sacarosa que posee el bagazo, si se tiene un 100% de caña el 28% de esta se transforma en bagazo, y el porcentaje de sacarosa presente en la caña es de 11,2%.

Por tanto los cálculos para obtener la eficiencia en la extracción son los siguientes:

$\% \text{Sacarosa perdida en caña} = \% \text{ bagazo} * \% \text{Pol en bagazo}$

Como se conoce que el 11,2% representaría el 100% en la caña entonces el porcentaje de pérdida se lo puede conseguir de la siguiente manera:

- $\% \text{Pérdida en extracción} = (100 * \% \text{Sac. Perd. Caña}) / 11,2$
- $\% \text{Sac. Real} = 11,2\% - \% \text{Sac. Pérd. Caña}$
- $\% \text{Ef. en Extracción} = 100\% - \% \text{Pérd. en extracción}$

Realizando un seguimiento al Pol en bagazo se realizo tabulaciones haciendo uso de los cálculos mencionados, con los cuales se llego al objetivo de obtener la eficiencia en la extracción, el cual multiplicado por las toneladas de sacarosa cuantifica el dinero perdido.

Tabla 1 – Costo por pérdida en extracción

Ef. Referencial –Ef. (%)	Azúcar no aprovechado (Ton)	Pérdida por día (\$)	Pérdida por zafra (\$)
0,75	5,88	2.822,40	508.032
2	15,68	7.526,40	1'354.752
3,25	25,48	12.230,40	2'201.472
5,75	45,08	21.638,40	3'894.912
8,25	64,68	31.046,40	5'588.352

Como se puede apreciar en la tabla 1 los costos a causa de la pérdida de eficiencia en la extracción de caña de azúcar como consecuencia del desgaste son bastantes considerables y con esto se justifica plenamente la inversión en un adecuado recubrimiento protector.

3. Resultados

Las diversas pruebas realizadas en las probetas fueron de gran importancia, las cuales mostraron las diversas propiedades de los recubrimientos y la incidencia que genera la aplicación en el material base.

El producto C fue el que tuvo el rendimiento más bajo, baja soldabilidad con el material base, valores de dureza del orden de 40 HRc que está muy por debajo de lo que se requiere en esta aplicación.

El producto A y B presentaron una dureza del orden de 60 HRc, que es lo requerido para una adecuada protección de las mazas de molinos de caña de azúcar, y en los resultados del análisis químico se comprobó que estén dentro de la clasificación de carburos de carbono tipo M7C3 que es lo que se recomienda en la industria azucarera los cuales tienen una alta resistencia mecánica y protección a la abrasión.

A y B tienen buenas propiedades, pero el más idóneo es el producto A, debido a que este presenta una mayor zona de fusión, lo cual se traduce a mayor soldabilidad que es lo requerido para evitar desprendimientos del blindaje y no afectar los parámetros de extracción que como ya pudimos observar en el análisis económico se generan pérdidas bastante representativas.

3.1 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a lo realizado en esta investigación se concluye lo siguiente:

No todo tipo de recubrimiento duro sirve para toda aplicación, existen productos muy reconocidos en la industria como elemento de protección anti-desgaste, pero para asegurar su eficacia se debe evaluar en la aplicación a ser usado.

Se evidenció presencia de martensita con la aplicación de los recubrimientos, lo cual es un factor que estaba previsto debido al elevado porcentaje de carbono que presenta el material base, para lo cual se debe controlar este factor con el fin de asegurar la máxima disolución entre el material base y aporte.

En el análisis químico se evidenció que tanto el producto A como el B, pertenecen a la clasificación de carburos de cromo tipo M7C3, lo cual es lo recomendado por el manual de ingenios azucareros para este tipo de aplicación.

En el caso de análisis, la pérdida en extracción es un factor muy importante, con el cual si no se tiene un control adecuado se desperdician cantidades superiores a \$1'000.000 de dólares por zafra, lo cual justifica con méritos la aplicación de un buen recubrimiento.

Con la implementación adecuada del recubrimiento y con un monitoreo adecuado tanto de la velocidad de las turbinas de accionamiento y la eficiencia de extracción de sacarosa, se puede maximizar la operación del tándem de molinos y a la vez evitar a tiempo daños irreversibles a los molinos.

Se recomienda lo siguiente:

En los resultados se destaca a un producto, el cual presenta las mejores propiedades tanto de resistencia mecánica como soldabilidad, lo cual es la combinación requerida para este caso por las condiciones severas de trabajo presentes.

Para conseguir el desempeño óptimo de un recubrimiento se debe seguir el W.P.S (Especificaciones del procedimiento de soldadura), lo cual debe ser estrictamente respetado, paralelamente ejecutar los procedimientos con soldadores previamente calificados.

Para mantener los parámetros de extracción establecidos de acuerdo a cada Ingenio Azucarero, al realizar el blindaje se debe tener la precaución de mantener el ángulo de inclinación de los dientes, debido a que estos son los que facilitan la extracción.

Un análisis periódico de la soldadura aplicada, para tener un control de las propiedades mecánicas que están siendo agregadas al material base, y controlar que realmente es lo que se espera.

4. Bibliografía

- [1] MANUAL DE INGENIOS AZUCAREROS, E. HUGOT, Cia. Editorial Continental.
- [2] DESGASTE DE MÁQUINAS DE PREPARACIÓN Y MOLIENDA DE CAÑA DE AZÚCAR, SERIE DE PROCESOS INDUSTRIALES No. 4, 2008.
- [3] FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES. WILLIAM F. SMITH 3ra Edición, Mc Graw Hill
- [4] HANDBOOK OF MATERIALS SELECTIONS, JOHN WILEY & SONS 2002.
- [5] CASTOLIN+EUTECTIC, SUGAR MEETING 2000.