

Proposición de dos aleaciones fundidas para su estudio en la construcción de martillos de molinos desmeduladores de bagazo.

F. Diez Torres*, L. Goyos Pérez**.

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y carr. Central, S.M.P. 11000, Ciudad Habana, Cuba. PO Box: 4026
Email: fdiez@icidca.edu.cu

** Departamento de Tecnología de Construcción de Maquinarias. Facultad de Ingeniería Mecánica.
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. (ISPJAE)
Calle 127 s/n. CUJAE. Marianao, 15. Ciudad de la Habana. Cuba.

(Recibido el 22 de Julio de 2004, aceptado el 14 de Septiembre de 2004)

Resumen.

El presente trabajo constituye un análisis teórico que tiene como objetivo la determinación de cuáles serían las aleaciones a utilizar y la tecnología de colada adecuada para la fabricación de los martillos de los desmeduladores de bagazo a partir de aleaciones fundidas resistentes al desgaste.

Se analizan los resultados de las experiencias realizadas con recubrimientos por soldadura de recargue duro, con los cuales se corroboraron las hipótesis sobre los mecanismos de desgaste ocurrientes y las estructuras metalográficas adecuadas para cada perfil del martillo.

Se propone la realización de ensayos de campo con martillos construidos con hierros al cromo debido a que se caracterizan por poseer carburos de cromo con la posibilidad de obtener diferentes contenidos y distribución de los mismos en matrices que van desde la austenítica a martensítica. Se propone realizar los ensayos con las aleaciones 15-3 y 20-3 con y sin tratamiento térmico y con colada en coquilla, con diferentes velocidades de enfriamiento en cada perfil de trabajo con el fin de obtener la estructura metalográfica adecuada.

Palabras claves: Aleaciones, martillos desmenuzadores de bagazo, recubrimiento por soldadura.

1. Introducción.

El desgaste de los elementos de máquinas es uno de los mayores problemas que históricamente ha afectado el desarrollo industrial. Este desgaste puede ser mecánico o químico aunque generalmente se presenta como una combinación de ambos. Desde épocas tempranas del desarrollo industrial el hombre ha venido trabajando con el objetivo de disminuir o eliminar los grandes daños que éste fenómeno produce sobre la economía.

La industria azucarera y la creciente industria de los derivados de la caña no están exentas de éstos problemas, razón por la cual se trabaja para incrementar la vida útil de las máquinas, equipos e instalaciones.

Una eficiente separación de médula al bagazo de la caña de azúcar es de gran importancia para la industria del papel y los productos aglomerados, pues la presencia de ésta disminuye drásticamente las propiedades mecánicas de ambos productos y aumenta los costos de producción por aumento en el consumo de compuestos

químicos de proceso (productos de blanqueo en el papel, resinas aglomerantes en la producción de madera artificial, etc.), lo que se debe a la alta capacidad de absorción de éste tejido (hasta 20 veces su propio peso en medio líquido). La pérdida de eficiencia de éstos equipos durante la separación se produce debido al desgaste excesivo que sufren los martillos del rotor, que son los que golpean el bagazo que entra a la cámara interior del equipo en caída libre.

Es indudable que a primera vista la fabricación de los martillos de los desmeduladores de bagazo de la caña mediante el método de recargue duro por soldadura de arco eléctrico (método que normalmente se utiliza para la construcción y recuperación de éstos) presenta una serie de ventajas tanto de índole económica como tecnológica por sobre el método de fabricación por fundición del martillo o de insertos, que una vez acoplados al mismo sustituyan al recargue por soldadura de los perfiles de la zona de trabajo y le brinden la adecuada resistencia al desgaste en cada uno por poseer

el material con la composición química y/o estructura metalográfica necesarias. Entre las ventajas del recargue duro por soldadura se pueden citar:

1. Posibilidad de utilización de materiales de bajo costo en la fabricación de la pieza en cuestión, aplicando el recargue sólo en las zonas dónde se necesite un material con una resistencia al desgaste determinada.
2. Obtención de la composición química y/o estructura metalográfica deseada, previo diseño de una tecnología de deposición adecuada especificando la cantidad de capas a aplicar.
3. Facilidad de recuperación de las piezas con reposición del material perdido por desgaste o por impactos y el posterior recargue en las zonas de trabajo.

Sin embargo, para obtener perfiles de trabajo con formas determinadas que pudieran incrementar la eficiencia en la separación de médula o la calidad de la fibra en el bagazo desmedulado (muy importante en producciones como la de papel para impresión en “off set” donde se requiere de una alta resistencia a la tracción y por tanto de una fibra larga), el proceso se encarecería enormemente debido a la necesidad de un maquinado posterior, sobre todo si se tiene en cuenta que la mayoría de los depósitos de recargue son sólo maquinables con piedra abrasiva debido tanto a la alta dureza de sus matrices como a la presencia de carburos.

La fundición del martillo permitiría entonces la obtención en el mismo proceso de colada de los perfiles de trabajo requeridos mediante el uso de moldes con la forma requerida. Estos perfiles se diseñarían y se ensayarían previamente mediante un adecuado análisis y diseño experimental y con la fabricación de prototipos. No obstante la fundición del martillo completo con el material resistente al desgaste (hierro al cromo por ejemplo) traería consigo un costo de fabricación innecesario, mientras que la fundición de insertos para ser acoplados en la zona de trabajo sobre un martillo fabricado de acero estructural de bajo carbono atenuaría grandemente éste (acercándolo al método de recargue).

El método de fundición y acoplamiento de insertos presenta la ventaja de la obtención de las formas adecuadas de los perfiles de trabajo para el aumento de la eficiencia de separación y la calidad de la fibra en el bagazo desmedulado, además de que los hierros al cromo como se verá posteriormente son utilizados con buenos resultados en aplicaciones de erosión-impacto pero presenta una serie de desventajas, así por ejemplo:

1. Necesidad de utilización de hornos de arco eléctrico o de inducción para la fundición de los hierros al cromo, debido a las temperaturas necesarias.

2. Mayor dificultad o imposibilidad de recuperación de los insertos desgastados.
3. Necesidad de un diseño adecuado para la sujeción de los insertos, así como su fabricación.
4. Necesidad de un diseño adecuado de los moldes (coquillas) de manera tal de lograr diferentes velocidades de enfriamiento en las diferentes zonas del inserto para obtener las estructuras metalográficas necesarias.

El presente trabajo se basa en los resultados obtenidos en experiencias anteriores donde se estudiaron los mecanismos de desgaste ocurrientes en los perfiles de los martillos y se incrementó la vida útil de los mismos mediante el uso de recubrimientos por soldadura de recargue. El mismo, sólo analiza las diferentes aleaciones fundidas resistentes al desgaste para ser utilizadas en la fabricación de insertos mecánicos para martillos fabricados de acero estructural de bajo carbono, sustituyendo de esa manera el recargue duro por soldadura.

Con la propuesta final de éste trabajo se diseñarán los insertos que serán utilizados en experiencias posteriores, cuyos resultados se compararán posteriormente a los obtenidos en las experiencias realizadas con recubrimientos de recargue duro por soldadura eléctrica. Con esos resultados se hará un balance entre las ventajas económicas y tecnológicas de cada método y se tomarán las decisiones sobre que tecnologías de fabricación y recuperación utilizar.

2. Análisis de los resultados obtenidos en las experiencias realizadas.

Los martillos de los desmeduladores de bagazo se desgastan rápidamente. En las condiciones de Cuba (tipo de suelo y de métodos de recolección de la caña), así como con el tipo de elaboración utilizado en éstas piezas, el promedio de duración de las mismas es de aproximadamente 20 a 25 días de trabajo continuo. Las figuras 1 y 2 muestran una comparación entre un martillo con 20 días de trabajo y otro recuperado.

Del análisis y estudio previo del desgaste producido en los martillos, se concluye que:

1. La abrasividad del bagazo depende fundamentalmente de su contenido de sílice y partículas metálicas, que dependen de factores como los métodos de corte y recolección de la caña, características de los suelos y desgaste de las cuchillas repicadoras de caña, mazas de molinos y otras piezas [8].
2. El desgaste de los martillos de los desmeduladores es provocado por el choque entre éstos y el bagazo.

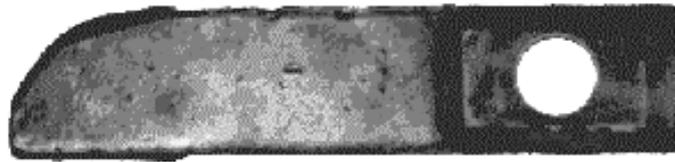


Figura 1. Martillo desgastado después de 20 días de operación.

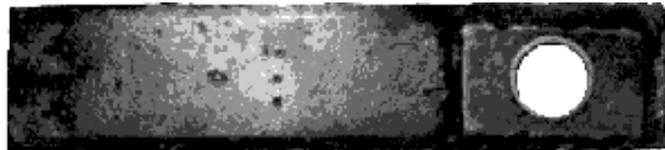


Figura 2. Martillo recuperado listo para la operación de recargue por soldadura.

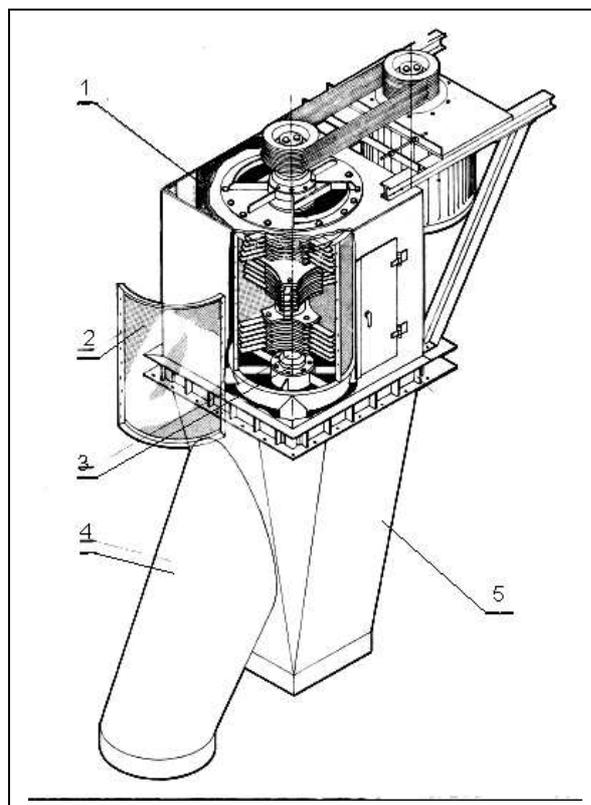


Figura 3.. Equipo desmedulador de bagazo de caña de azúcar.

1. Cámara exterior. A ésta cámara pasa la médula por la acción de la fuerza centrífuga después de haber sido separada.
2. Canasto perforado. A través de éste pasa la médula luego de ser separada por el constante golpe de los martillos y la fuerza centrífuga que ésta acción provoca.
3. Rotor con martillos. Este se encuentra en la cámara interior por donde cae el bagazo desmedulado.
4. Pantalón de descarga de bagazo desmedulado. Este se acopla directamente al canasto perforado por dentro del pantalón de descarga de médula.
5. Pantalón de descarga de médula.

La actual generación de desmeduladores (ver figura 3), son molinos verticales doble cámara, compuestos por un rotor al cual van acoplados los martillos y una carcasa dividida concéntricamente en dos partes o cámaras por un canasto cilíndrico perforado. El rotor con sus martillos queda alojado en la cámara interior, por la que sale la fibra a uno de los dos conductos (en forma de pantalones). La médula por su parte, es despedida por entre los agujeros del canasto hacia la cámara exterior y es recogida por el otro conducto [2, 3, 4].

El principio de funcionamiento se basa en el golpe y centrifugado continuo, martillo a martillo (mientras se produce la caída del bagazo por el interior del equipo).

El golpe de los martillos al bagazo, provoca la apertura de los haces de fibra y la salida de la médula (que se encuentra atrapada entre ellos) y la acción de la fuerza centrífuga y la presión de aire gracias a la velocidad del rotor, producen la expulsión de ésta hacia la cámara exterior por entre los agujeros del canasto.

Del análisis teórico realizado previamente se confirmó mediante los ensayos realizados que:

1- Los factores que influyen en el desgaste erosivo por impacto de partículas, son [1, 5, 8]:

- Energía cinética del choque de las partículas con los martillos.
- Ángulo de incidencia de las partículas sobre el metal base.
- Naturaleza, forma, tamaño, dureza y cantidad de las partículas.
- Aleación y microdureza del metal base.

2- No se produce el mismo mecanismo de desgaste en los diferentes perfiles de trabajo de los martillos. Esto se debe a que el ángulo con el que las partículas impactan o inciden sobre las diferentes perfiles de trabajo es diferente [1, 8].

- Con ángulo de incidencia alto, aproximadamente 90° (Figura 4), el mecanismo mediante el cual se pierde metal de la superficie del perfil del martillo es la delaminación del mismo. Las partículas al impactar, producen microfracturas y deformaciones que van creciendo con el continuo impacto de otras partículas, hasta que saltan porciones de metal que se desprenden de la superficie, comenzándose nuevamente el ciclo [1, 5, 8].

- Con ángulo de incidencia pequeño, las partículas tienden a rayar la superficie, haciendo zanjas y deformando el metal hasta que este es arrancado [1, 5, 8].

3- Del estudio de los aspectos teóricos y los resultados obtenidos en las experiencias realizadas se conoce que:

- Los impactos de las partículas abrasivas sobre el perfil lateral de los martillos con ángulo de incidencia aproximadamente 90° no se producen con la magnitud suficiente para provocar el endurecimiento de estructuras austeníticas de manganeso debido a la pequeña masa de las partículas en cuestión. En este caso, las mejores estructuras han sido las austeníticas con redes de carburos dendríticos, sobre todo en bordes de grano [1, 8].

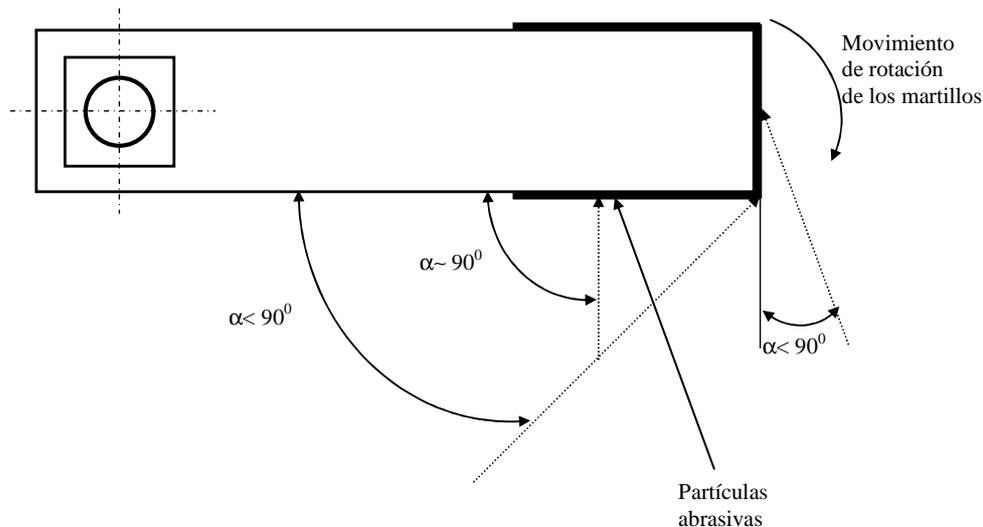


Figura 4. Esquema de un martillo con sus perfiles de trabajo y los ángulos de incidencia de las partículas abrasivas.

No obstante, la estructura sorbítica tuvo un buen comportamiento durante las experiencias realizadas y es sabido que las estructuras, mientras más fuertes sean, soportan más fuertemente en su seno a los carburos, sobre los que habrá que producir mayor trabajo para desprenderlos de la matriz. Por esta razón una estructura intermedia con carburos en red, debe mostrar una alta resistencia al impacto de partículas con ángulo de incidencia grande, además de una aceptable resistencia a los impactos severos, los que no desprenderán tan fácilmente los carburos de la matriz [1].

- Para la cara frontal donde el ángulo de incidencia de los martillos es pequeño, se obtuvieron buenos resultados con la estructura austenítica con carburos dentríficos formando una red en bordes de grano, aunque una estructura martensítica debe brindar mayor resistencia al rayado producido por las partículas [1, 8].

4- El desgaste de los martillos de los desmeduladores ocasiona [1]:

- Pérdida de eficiencia en la separación de médula.
- Gastos de recuperación y mantenimientos constantes.
- El desgaste no homogéneo de los martillos por la acción de la erosión más los impactos, puede provocar desbalanceo dinámico del rotor y por tanto, roturas mayores.
- Pérdidas por paradas.

3. Análisis de las aleaciones fundidas resistentes al desgaste.

Del estudio y análisis de las aleaciones fundidas resistentes al desgaste se puede resumir muy brevemente:

- Los hierros grises con diferentes formas del grafito, son utilizados para desgaste metal-metal, donde son realmente resistentes.
- Las aleaciones del sistema Fe – C – Mn (como el Hardfield) son utilizadas para sollicitaciones de alto impacto, pero son poco resistentes a la abrasión y erosión.
- Las aleaciones del sistema Fe – C – Cr, son utilizadas para sollicitaciones de abrasión – impacto y erosión – impacto, con buenos resultados.

Así mismo, del estudio de las aleaciones del sistema Fe – C – Cr, se puede extraer [3, [4]:

- Los hierros blancos al cromo (como se conocen también las aleaciones de éste sistema), son muy

utilizados actualmente en trabajos de alta abrasión o erosión, combinado con impacto.

- Se caracterizan por poseer altas proporciones de carburos en matrices que pueden ser desde austeníticas hasta martensíticas. En ellos es posible obtener además de diferentes matrices, variados contenidos y distribución de carburos, lo que los hacen altamente aplicables en la construcción de elementos de máquinas.
- Debido a los altos contenidos de cromo, generalmente $Cr > 12\%$, deben ser fundidos en hornos de arco eléctrico o de inducción sin núcleo. El revestimiento del horno puede ser ácido o básico siendo mejor el último, pues el contenido de sílice de los revestimientos ácidos unido a una elevación de la temperatura por encima de los $1600^{\circ}C$ pueden provocar un tránsito de silicio al baño, fragilizándose la estructura con contenidos de este elemento por encima del 1%, normalmente $[Si] = 0,4 \div 0,6\%$.

La temperatura de fusión de éstos oscila entre $1500 - 1560^{\circ}C$ y la de colada, dependiendo del tipo de pieza y aleación, se encuentra entre $1300 - 1400^{\circ}C$. [3], [4]

Normalmente se desoxidan con silicio – calcio o aluminio. El primero puede agregarse en cazuela o en el baño y el segundo siempre en cazuela, cuidando que en ningún caso estos elementos sobrepasen el 1% del metal total [3].

La contracción lineal de éstas aleaciones se asemeja a la del acero ($1,8 + 2\%$), presentando buena fluidez por lo que pueden utilizarse para piezas de configuración compleja. Es posible utilizar refinadores de grano como el titanio (Ti) molido, que se agrega en cazuela [4].

- Por su alto contenido de cromo, que disminuye notoriamente la conductividad térmica de cualquier aleación, no pueden ser utilizados en aplicaciones donde se eleve la temperatura como por ejemplo desgaste metal – metal.
- El orden de solidificación de éstas aleaciones comienza con la austenita y los carburos que se forman en los espacios que ésta deja libre por lo que a $1000^{\circ}C$ se obtendrá austenita + carburos. Con un enfriamiento posterior puede aparecer ferrita o perlita con carburos en borde de grano. Los carburos primarios siempre se forman en borde de grano y tienden a fragilizar la estructura.

Con contenidos de cromo hasta 5%, los carburos no forman una red continua. Con contenidos de cromo entre 5 – 12% la red se hace continua y se fragiliza la estructura, fraccionándose y adquiriéndose determinada tenacidad por encima del 12% de cromo [3].

Los carburos secundarios se forman a velocidades de enfriamiento mayores a las del equilibrio y comienzan a aparecer dentro de los granos, siguiendo los planos cristalográficos densos. Cuando éstos precipitan por tratamiento térmico, éstos pueden coalescer [3].

Regulando la velocidad de enfriamiento, se regulará la forma y distribución de los carburos, razón por la que con la colada en coquilla se obtienen carburos finos y dispersos [4].

De un estudio realizado en el Departamento de Tecnología de los Metales del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, se concluyó que [3, 4]:

- 1- Los tratamientos a temperaturas mayores a la crítica, elevan notablemente la dureza.
- 2- El vertido en coquilla provoca mayores durezas en la aleación que el vertido en arena, debido a que al existir menos cantidad de carburos, habrá más cromo en matriz.
- 3- La microdureza de la matriz no es afectada por el tipo de vertido pero sí por los tratamientos supracríticos que la elevan.
- 4- La fundición en coquilla disminuye ligeramente el volumen de carburos.
- 5- La dispersión de los carburos aumenta en las aleaciones coladas en coquilla, si son tratadas a temperaturas superiores a la crítica.

El tratamiento supracrítico se realiza a temperatura entre 900 y 1100 °C, durante el cuál, debido a la formación de carburos se desestabiliza la austenita y se alcanzan sin dificultad estructuras martensíticas. El tiempo de tratamiento oscila entre 1 y 6 horas y depende de la estructura de partida y el tamaño de la pieza [4].

Para el temple de estas aleaciones se buscan relaciones grandes de Cr/C para garantizar la precipitación de carburos y así un aumento de la templabilidad, lográndose con mayor facilidad la transformación martensítica o la obtención de una estructura intermedia.

Analizando las características que de la aleación se requiere para el trabajo de los martillos, se resume:

- 1- Tipo de desgaste erosión + impacto con un amplio rango de posibles ángulos de incidencia de las partículas abrasivas según el perfil de trabajo.
- 2- Se debe tratar de no aplicar tratamiento térmico para no encarecer las piezas.
- 3- Independientemente del ángulo de incidencia, se debe buscar un buen volumen de carburos finos y dispersos.

Las mejores aleaciones son la 15 – 3 y 20 – 3 (Cr – C), pero la primera, suele ser más recomendable para solicitaciones de erosión + impacto. Además, se ha

demostrado que la combinación martensita – M_7C_3 trabaja mejor ante ésta combinación de desgaste.

4. Conclusiones.

- 1- Se propone la realización de ensayos con las aleaciones 15-3 y 20-3. De esta manera, con contenidos de cromo por encima del 12% se garantiza una adecuada tenacidad y no una estructura frágil, además de que con las relaciones Cr/C 15/3 y 20/3 se garantiza un aumento de la templabilidad debido a una mayor precipitación de carburos.
- 2- Se propone la utilización de vertido en coquilla para lograr un volumen y dispersión de carburos adecuadas, con un diseño del molde tal que permita que se logre una velocidad de enfriamiento mayor en la cara frontal de éste mediante el uso de sistemas de enfriamiento, obteniéndose una estructura de mayor microdureza, como por ejemplo martensita u otra estructura intermedia, la que resistirá mejor el rayado de la superficie por impacto de partículas con ángulos de incidencia pequeños mientras que en las caras laterales se mantendrá una estructura de menor dureza y mayor tenacidad que resistirá mejor el impacto de partículas con ángulo de incidencia alto, cercano a los 90°.
- 3- Se propone ensayar las aleaciones anteriores con tratamiento térmico para lograr:
 - Martensita + M_7C_3 mediante temple a 950°C durante 2 horas y enfriamiento al aire.
 - Estructura intermedia trostítico-sorbítica + M_7C_3 , para lo que habría que optimizar los parámetros de tratamiento.
- 4- La composición química de las aleaciones a ensayar será:

	%C	%Cr	%Mn	%Mo	%Ni
Aleación 1 (15-3)	3	15	<1	3	0,5
Aleación 2 (20-3)	3	20	<1	3	0,5

Se podrá sustituir el Mo (molibdeno) por Ni (níquel) en la relación 1/1.

5. Bibliografía.

- 1- Diez Torres, F., Dulón Gómez, J., Torres Fernández, A. Experiencias de Resistencia al Desgaste en Martillos de Desmeduladores de Bagazo. VII Seminario Científico ICIDCA, La Habana, Cuba, Mayo 1986.

- 2- Diez Torres, F. Trabajo de Curso. Aleaciones Fundidas Resistentes al Desgaste. 1988.
 - 3- Goyos Pérez, L. Influencia del Níquel Sobre el Volumen de Carburos de los Hierros al Cromo. Revista Construcción de Maquinaria, Suplemento Especial 1984.
 - 4- Goyos Pérez, L. Influencia del Tipo de Vertido y el Tratamiento Térmico Sobre la Estructura de los Hierros al Cromo. Revista Construcción de Maquinaria, Abril-Junio 1985.
 - 5- Instituto Eutectic+Castollin. Aleaciones Especiales en Soldaduras de Mantenimiento. San José de Costa Rica, Agosto de 1985.
 - 6- Lois Correas, J., Diez Torres, F. Desarrollo de Equipos Desmeduladores Cubanos VII Seminario Científico ICIDCA, La Habana, Cuba, Mayo de 1986.
 - 7- Metals Handbook, Volumen 6 ED. Canadá, 1971.
 - 8- Valdés Armada, J. Tecnología de Fabricación de Martillos para Desmeduladores de Bagazo "CARIBE". Trabajo de Diploma, Fac. Construcción de Maquinaria, ISPJAE, 1986.
-

Proposition of two casted alloys for their study in the construction of bagasse crush mills hammers.

Abstract.

The present paper constitutes a theoretical analysis for the determination of an appropriate cast technology determination for the production of bagasse crush hammers with wear cast iron alloys.

The results of welding hard facing coatings with the wear mechanisms hypothesis and appropriate metallographic structures were corroborated.

Field tests with chromium cast iron hammers are proposed due that this alloys is characterized to posses chromium carbides, with the possibility to obtain different contents and distribution in austenitic, martensitic or intermediate metal matrices. Tests with 15-3 and 20-3 alloys with or without thermal treatment and metal mold casting with different cooling speeds in each work profile with the objective to obtain the appropriate metallographic structure are proposed too.

Keywords: Alloys, bagasse crush, mills hammers, welding coating.