

## **Propuesta para la recuperación de los machetes *Zuazaga* de los centrales azucareros con electrodos de acero al cromo.**

**R. Collazo-Carceller, H. López-Salinas, A. Días-Romero.**

Recibido el 16 de marzo de 2009; aceptado el 2 de mayo de 2009

### **Resumen**

El trabajo resume el estudio y análisis desarrollado, para la presentación de una propuesta tecnológica de recuperación de los machetes *Zuazaga*, en nuestros centrales azucareros. Se determinó la influencia de los parámetros, energía introducida ( $H_i$ ), número de capas ( $N_c$ ) y ancho del depósito ( $A_d$ ), en la morfología y el incremento de la resistencia al desgaste abrasivo, utilizando el electrodo de acero al cromo DUR 600. Se realizó una valoración económica de la propuesta tecnológica.

**Palabras claves:** morfología, desgaste abrasivo, parámetro de soldadura, dendrites.

## **Proposal for Recuperation of Sugar Mill Cut Cane by Using Chromium Steel Electrodes.**

### **Abstract**

This work, summarises the study and the analysis developed, to propose the *Zuazaga* cut cane technology recuperation, in our sugar mills. The parameters influence was determined, Heat input ( $H_i$ ), Number of layers ( $N_c$ ) and the Cord width ( $A_d$ ), in the morphology and the abrasive wear resistance increase, using the chromium steel UTP DUR - 600. The economical calculation of the technology was done.

**Key words:** morphology abrasive wear, welding parameters. dendrites, modeling

## 1. Introducción.

La eficiencia en el trabajo de los equipos y agregados en ramas, como la minería, la agricultura, el transporte, la industria azucarera y otras, dependen en gran medida de la conservación de la forma, dimensiones y propiedades mecánicas de sus superficies de trabajo [1, 2 y 3]. Los procesos de recargue han jugado un papel muy importante en la restauración de un sinnúmero de piezas de estos mecanismos, debido a las amplias posibilidades que confiere al modificar la resistencia al desgaste de las superficies de trabajo de las piezas. La aplicación de estos procesos implica un favorable balance técnico-económico, para cualquier industria del país [4, 5].

Aunque en la práctica se ha difundido el uso de aleaciones de recargue de alta resistencia, es aún insuficiente el conocimiento del efecto de los parámetros del proceso en la morfología en aras de incrementar la resistencia al desgaste [5]. En la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido, se utilizan aleaciones de recargue al Mn, Co, Ni y al Cr que es la más empleada actualmente por las ventajas que presenta desde el punto de vista técnico económico.

El incremento de la resistencia a la abrasión de las aleaciones de recargue de fundición acero al cromo, guardan estrecha relación con las características morfológicas de estos depósitos, al variar la cantidad, tamaño y distribución de sus carburos, predominantemente del tipo MC3 [4].

Las valoraciones de la influencia de los parámetros del proceso (energía introducida, número de capas y ancho del depósito), en muchos casos han sido dirigidas a aspectos funcionales, como la adherencia del depósito al material base, la porosidad, el acabado superficial, las salpicaduras, el coeficiente de depósito de los electrodos y el rendimiento. Estos análisis se han realizado, sin resaltar los aspectos morfológicos antes mencionados, retomándose en este trabajo, este punto de vista [5, 6, 7].

Las características del deterioro superficial, causado por los mecanismos de deformación plástica y desprendimiento frágil, guardan una

estrecha relación, con las morfologías presentes al variar los parámetros del proceso [8].

Los resultados de este trabajo establecieron las premisas para el diseño e introducción de una tecnología de recuperación de los machetes Zuazagas, en nuestros centrales azucareros, con una eficiencia de tres veces mayor a la anterior. Siendo novedoso la forma de enfocar el comportamiento morfológico en la resistencia al desgaste del depósito de recargue.

## 2. Experimentación.

Para desarrollar la fase experimental, se empleó un diseño factorial de 33. El mismo consta de tres variables a tres niveles, para correlacionar el efecto de los parámetros, Energía introducida, Número de capas y Ancho del depósito, en los cambios morfológicos y la resistencia al desgaste abrasivo. Dichos niveles se indican en la matriz de experimento de la tabla No. 2.1.

**Tabla No. 2.1.** Matriz de experimento.

| Niveles | Energía introducida. (kJ/cm) | Número de capa. | Ancho del depósito. (mm) |
|---------|------------------------------|-----------------|--------------------------|
| +       | 16,00                        | 3               | 50                       |
| 0       | 14,87                        | 2               | 34                       |
| -       | 13,00                        | 1               | 17                       |

Los ensayos de desgaste se realizaron en una máquina de desgaste abrasivo de plato horizontal, diseñada y construida para este trabajo [8], la cual se representa en la Figura 1.



**Figura 1.** Máquina de desgaste abrasivo.

El ensayo de desgaste se realizó con una carga de 50 N con 500 r.p.m en intervalos de 20 minutos. El ensayo de desgaste se realizó en cuatro intervalos de 20 minutos, midiendo el peso de la muestra en cada uno de estos. La carga fue determinada con un sensor marca *TOSHIBA* y la frecuencia se midió

con un tacómetro *PHILIPS*. En cada uno de los intervalos se determinó la pérdida de masa, con una balanza digital marca *SALTORIUS* con una precisión de diez milésimas de gramo. Se reporta como valor de desgaste el promedio de tres mediciones al culminar el tiempo de 80 minutos.

Después de identificar las fases y estructuras presentes en los depósitos de acero al cromo, fue necesario cuantificar la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos, para lo cual, se utilizó el software *Imagen Tool* [9].

### 3. Resultados.

#### 3.1 Morfología de los depósitos.

La síntesis de los resultados de los ensayos experimentales, para determinar la influencia de los parámetros del proceso de recargue en la morfología y la resistencia al desgaste se muestran en la tabla 3.2.

**Tabla No. 3.2.** Evaluación de los parámetros morfológicos en diferentes depósitos, obtenidos con el electrodo de acero al cromo.

| No. Comida | Parámetros de recargue |    | Desgaste (g) | Nro de capas Nc | CARBUROS CrC <sub>3</sub> |       |      |
|------------|------------------------|----|--------------|-----------------|---------------------------|-------|------|
|            | Hi                     | Ac |              |                 | C                         | Tm    | Dp   |
| 11         | 16.13; 25              |    | 5.7424       | 1               | 125                       | 103.0 | 5.87 |
| 14         |                        |    | 2.0649       | 2               | 131                       | 130.0 | 6.16 |
| 17         |                        |    | 1.3038       | 3               | 183                       | 119.2 | 6.42 |
| 19         | 15.32; 50              |    | 6.2405       | 1               | 91                        | 79.8  | 7.97 |
| 21         | 16.84; 50              |    | 6.3713       | 1               | 135                       | 117.0 | 6.17 |
| 24         |                        |    | 1.9450       | 2               | 170                       | 129.0 | 8.20 |
| 27         |                        |    | 0.7145       | 3               | 238                       | 138.4 | 8.73 |

Hi: Energía introducida (kJ/cm); Ac: Ancho del Cordón (mm); Nc: Número de capas; g: Desgaste como pérdida de masa en g; C: Cantidad; Tm: Tamaño promedio (píxeles); Dp: Dispersión promedio (píxeles).

Si analizamos las corridas 21, 24 y 27, donde se tiene el mayor valor de la energía introducida y ancho de cordón (16.84 kJ/cm, 50 mm), con el aumento del número de capa se incrementa la cantidad y tamaño de carburos, con tendencia a aumentar su dispersión, lo que provoca un incremento de la resistencia al desgaste. Cuando se tienen valores intermedios de la energía introducida y de ancho de cordón (16.13 kJ/cm, 25

mm), como es el caso de la corridas 11, 14 y 17, el aumento del número de capas provoca un incremento en la resistencia al desgaste, debido a que aumenta la cantidad, con ligero incremento de tamaño y mayor dispersión de los carburos en borde de grano. En la corrida 19, con la menor energía introducida, mayor ancho de cordón y menor número de capa, se deteriora la resistencia al desgaste, producto de que disminuye la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos en borde de grano.

Este comportamiento al desgaste abrasivo de los depósitos de acero al cromo, esta relacionado con una morfología de carburos segregados en borde de grano. Donde el incremento de la energía introducida afecta la cantidad de estos carburos y el ancho del cordón se relaciona con el efecto de su tamaño. Esto se explica, ya que al aumentar la energía introducida a un mismo valor de ancho de cordón, puede existir una mayor cantidad de carbono segregado, siendo este elemento el principal rector en la formación de carburo, por lo que podrá incrementarse su número en borde de grano, a partir de la disolución de los carburos finos y dispersos presentes en la matriz martensítica. Este efecto se puso de manifiesto también al presentarse valores de dureza similares entre la segunda y tercera capa donde los carburos finos y dispersos de la matriz se disuelven y van a ser segregados al borde de grano, no incrementando la dureza por efecto del aumento del cromo y carbono, dado por el aporte del electrodo, producto de una menor dilución en estas capas. Esto está dado ya que la energía introducida activa el movimiento de los elementos que participan en la formación de los carburos en borde de grano.

En la medida que aumenta el ancho del cordón, para igual nivel de la energía introducida, se produce un mayor gradiente térmico, con energía suficiente, para disolver los carburos dispersos en la matriz, provocando así la segregación de estos hacia el borde de grano. Este efecto se relaciona con la desestabilización de los carburos en el interior de la matriz, estos pueden ser disueltos y estos elementos moverse en dirección al borde de grano, para hacer crecer los carburos ya allí presentes. Conduciendo entonces a ligeros

incrementos en los tamaños de los carburos, sin grandes variaciones en sus cantidades.

El incremento en la dispersión de los carburos se asocia al proceso de coalescencia, en las condiciones en que el gradiente térmico es menor se produce una menor coalescencia y los valores de dispersión entre carburos son mas pequeños, a medida que el gradiente térmico se aumente los procesos de coalescencia serán más intensos y aumenta la dispersión entre carburos. Por lo que en estos depósitos, para valores de la energía introducida y ancho de cordón, el aumento del número de capas provoca un incremento de la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos lo que incrementa la resistencia al desgaste. Mientras que para un ancho de cordón, cuando se disminuye la energía introducida y el número de capas, se deteriora la resistencia al desgaste, provocado esto por la disminución de la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos. Entonces se obtienen la mayor cantidad, tamaño y dispersión de los carburos a los mayores valores de la energía introducida, ancho de cordón y número de capas.

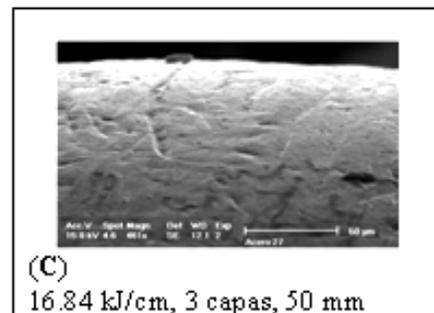
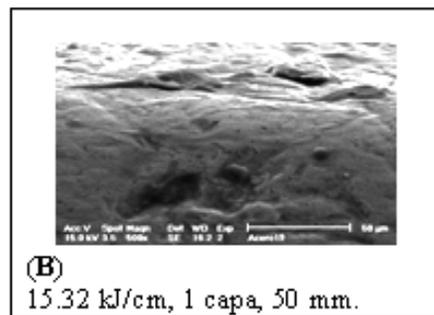
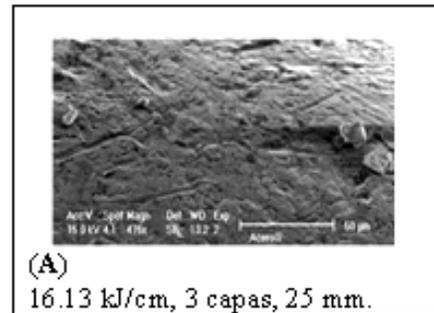
Estos resultados se corroboran, al analizar el efecto del deterioro superficial, con la medida de la rugosidad y el desgaste presente en estos depósitos, lo cual se analizará a continuación.

El comportamiento de la influencia de los parámetros del régimen de recargue, según la tabla 3.1, mostró que la resistencia al desgaste, se incrementa para los mayores valores de  $H_i$ ,  $N_d$  y  $A_d$ , al presentar una morfología con la mayor cantidad de carburos de mayor tamaño. Esta combinación morfológica ha demostrado poseer las mejores cualidades para aumentar la resistencia al desgaste.

### 3,2 Influencia de los parámetros de recargue en el deterioro superficial.

En la figura 3.2 se muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido de zonas características de la superficie, producto del proceso de desgaste abrasivo. Donde se muestra que, en la medida que se aumentaba en los valores de los parámetros del proceso, existió una tendencia de la superficie, a deformarse más, pero, a desprender menor cantidad de material,

aumentando de esta forma la resistencia al desgaste.

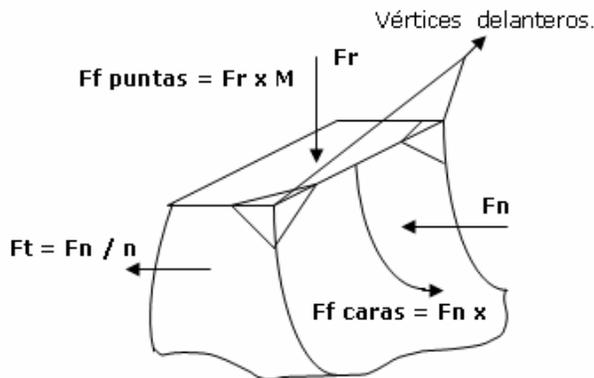


**Figura 3.2.** Imágenes de microscopía electrónica de barrido de zonas característica de las superficies deterioradas en el proceso de desgaste abrasivo

#### 4. Análisis del desgaste y propuesta tecnológica para el recargue de los machetes Zuazaga.

Si el motor del eje de los machetes gira a 600 rpm, entonces girará a 10rps. Si son 8 machetes en un mismo plano y la velocidad de la estera es 190mm/seg y el diámetro medio de la caña oscila aproximadamente en 30 mm, entonces el machete trozará aproximadamente 19 mm de los 30, que representa el diámetro de la caña. Esto que equivale a un 63%, teniendo en cuenta como hipótesis primaria que la caña viene en posición paralela al árbol del machete. Este porcentaje de caña, por la acción de la fuerza centrípeta de las caras planas del machete, se deslizará por las mismas, provocando un desgaste no significativo en estas.

Del análisis anterior, se puede decir que los machetes trabajan con un volumen efectivo relativamente pequeño gracias a las diferencias de velocidades existentes entre estos y a la estera. Además, podemos inferir que el grueso del trabajo se desarrolla en las crestas; según el análisis mostrado en la figura 4,1.



**Figura 4.1** Distribución de las fuerzas aplicadas en el diente del machete.

Partiendo de esta hipótesis preliminar, sobre el trabajo de los machetes, mayoritariamente en la cresta de los dientes del sector dentado, se puede agregar, el comportamiento de las fuerzas aplicadas en el mismo. Como se puede apreciar del desglose de las fuerzas aplicadas en la cresta del sector dentado, mostrado en la figura 4,1, los vértices delanteros opuestos, reciben la acción de tres fuerzas a la vez, durante su trabajo, la fuerza normal  $f_n$ , en la cara frontal del diente, la fuerza

de rozamiento  $f_r$ , en la cara horizontal superior y la fuerza tangencial, en la cara lateral del diente. Partiendo de esto, se puede pensar que las condiciones de desgaste en estos puntos es mayor, ya que entre los factores que influyen en la magnitud del desgaste, uno de los que más efecto tiene, es la magnitud de las cargas, según la mayoría de los autores que se han dedicado al estudio de estos tipos de desgaste. Por ende, esta porción de la cresta del diente, se desgastará aceleradamente en comparación con el resto de las áreas.

En esta área, el metal de recargue depositado se desgastará a mayor velocidad. Como dijimos anteriormente, esto traerá por consiguiente, que el material base quedará al descubierto más rápidamente en esta primera etapa. Como se puede apreciar en la figura 4,2 una vez que el abrasivo empieza a interactuar con el material base no solo desgastará este más rápidamente que el material de recargue, sino que empezará a desgastar la base del material de recargue siguiente, que queda a continuación, provocando un socavamiento de este y un desprendimiento más acelerado del material de recargue. Al encontrarse este sin suficiente base a la cual fijarse, no podrá tan fácilmente resistir los embates combinados de las diferentes fuerzas aplicadas en estas caras.

Teniendo en cuenta esto y considerando la influencia de los parámetros del proceso de recargue en la morfología de estos depósitos y en la resistencia al desgaste, se presentó una nueva propuesta para el recargue de los machetes Zuazaga, la cual se presenta en la figura 4,3. Esta consistió en usar los mayores niveles en los parámetros del proceso de recargue, mayor energía introducida (17 kJ/cm), mayor ancho del depósito (50 mm) y mayor número de capas (3), para formar una coraza protectora en la **cresta de los dientes**, con mejores propiedades ante el desgaste abrasivo y con menor volumen de material utilizado, que la tecnología usada anteriormente figura 4,2.



Figura 4.2. Tecnología aplicada en los machetes.

## 5. Cálculo económico.

Para dicho cálculo se consideró la variante más económica y de mejor comportamiento, que en nuestro caso fue la número 27 y se comparó con la variante 19, la utilizada anteriormente.

El análisis técnico económico se realiza atendiendo a la metodología Full Calculation, la cual considera para evaluar el costo total de recuperación partir de los costos directos e indirectos, tabla 1.

Para realizar este cálculo se evalúa el Costo Total de Recuperación para una pieza, a partir del cálculo de los costos directos e indirectos involucrados. Por lo que el Costo Total de Recuperación (CR) se determina como:

$$CR = Cdr + Cir \quad (5.1)$$

Donde:

CR: Costo Total de Recuperación.

Cdr: Costos directos.

Cir: Costos indirectos.

### Costos directos

Los costos directos estarán dados por: valor de la pieza recuperada a costo de chatarra (Cpr), materia prima (Mp), salario básico (Sb), salario complementario (Sc), aporte al seguro social (Ss) y consumo de energía (Ce).

$$Cdr = Cpr + Mp + Sb + Sc + Ss + Ce \quad (5.1a)$$

Donde

Cpr: valor de la pieza recuperada a costo de chatarra.

Mp: materia prima.

Sb: salario básico.

Sc: salario complementario.

Ss: aporte al seguro social.

Ce: consumo de energía.

Tabla No. 1. Costo total de la recuperación.

| Aleación. | Variante | Cdr CUC | Cir CUC | Cr CUC |
|-----------|----------|---------|---------|--------|
| A Cr      | 27       | 16.13   | 2.75    | 18.88  |
| A Cr      | 19       | 19.10   |         | 21.85  |

Si se tiene en cuenta que cada tamden cuenta con dos escalones de ejes, con 95 machetes en cada uno, entonces se sustituyen 190 machetes cada 15

días y estos centrales cuentan a su vez con dos tanden, entonces serían 380 machetes por cada central a cambiar cada 15 días con la tecnología antigua. El costo, para ambas variantes fue, 11901,6 \$ con la variante 19 y 9215, 4 \$ con la variante 27, el ahorro es de 2686,2 \$. Si se tiene en cuenta la cantidad de centrales que prestan servicios en Cuba (75), el ahorro sería de 201465\$, con el uso de la variante 27.

La vida útil de las piezas recuperadas con la variante 19 y 27 se evaluaron en diferentes ingenios en Cuba. Para el machete recuperado con la variante 19 a los 15 días de molienda se tuvieron que sustituir todos los machetes en la línea del tandem, mientras que para los machetes recuperados por la variante 27 se tuvieron que sustituir al cabo de 30 días de trabajo. Entonces el ahorro ascendería al doble 402930 \$. Además de esto, debe considerarse el efecto, que se tiene, con el uso de esta propuesta, al poderse mantener la eficiencia en la preparación de la caña por un periodo mayor de tiempo. Esto no solo se refleja en ahorro de divisas y tiempo, como muestra el cálculo económico, sino en la disminución de la potencia en las mazas de los centrales, aspecto de vital importancia para el mantenimiento del agregado en general

## 6. Conclusiones.

- Se observa un efecto positivo, con en el empleo de la tecnología propuesta, en la disminución del desgaste, al utilizar los mayores niveles de energía introducida, ancho del depósito y numero de capas. Todo esto gracias a los cambios positivos de la morfología, dados por el crecimiento de tamaño y cantidad de los carburos.
- Se obtuvo una tecnología de recuperación más económica, para los machetes Zuazaga, en los centrales del país.

## 7. Referencias.

1. **ÁLVAREZ, E.** "Tribología" *Revista Ciencia y Técnica*. Marzo 1997. vol. XV, p. 31 - 35.
2. **BARROS, F. O.** *Testes de avaliação de corpos moedores. Seminário sobre Materiais Resistentes Ao Desgaste*. Uberlândia, MG, Brasil: ABM e Universidade Federal de Uberlândia, 1991. 570 p.
3. **COLLAZO CARCELLER, R.** *Influencia de los parámetros del régimen de recargue en la morfología de los depósitos de acero y fundición blanca al cromo y su incremento en la resistencia al desgaste abrasivo*. Tesis Doctoral, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. ISPJAE, 2007.
4. **KOTECKI, D. J. y OGBORN, J. S.** "Abrasion Resistance of Iron – Based Hardfacing Alloys. The Lincoln Electric Co. Paper presented at the AWS 74, Th. Anual Meeting April 25 - 29, 1993. Houston. Texas. EU." *Journal Welding Research*, April 1993, p. 269 - 677.
5. **MARTÍNEZ PÉREZ, F. y CASTAÑEDA SEGARRA, R.** "Fundamentos Teóricos del Desgaste Abrasivo". *Construcción de Maquinaria*. Editorial ISPJAE. Mayo - Agosto 1983. vol. VII.
6. *Manual de Productos de Soldadura*. UTP, 2001.
7. **NC.** *Ensayo de desgaste abrasivo en aceros*. La Habana: NC 04-79:87, 1987.
8. **NOBLE, D. N.** "Abrasive wear resistance of hardfacing welds deposits. Metal Construction. " *Journal Metal Conatruction*, Septiembre 1985, p. 2-8.
9. **DIN.** *Composición del electrodo UTP Ledurit 61*. DIN 855E10-UM-60-9,
10. *Image Tool for Windows Version 3.00*. University of Texas Health Center in San Antonio (UTHSCSA), 2002,
11. *Microsoft Excel 2003*. Microsoft Corporation, 2003.
12. **RODA VÁZQUEZ, C. y LOUREIRO, A.** *Comportamiento frente al desgaste abrasivo de las aleaciones con tendencia a la formación de carburos aplicadas por soldadura*. vol. 134. Universidad de La Coruña. Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Mayo 2000.
13. **SAIRRE BÁLSAMO, P. S. y ARIZA GONCALVES, R.** Resistência a abrasão de revestimentos de solda utilizados em manutenção. . Pag . . . En *Anais XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. Águas de São Pedro. SP. Brasil. 24 - 27 Outubro 1993*. p. 425 - 439.

14. **SAIRRE BÁLSAMO, P. S.; SCOTTI, A., et al.**  
"Interpretación de la microestructura de recargues duros depositados por Soldadura utilizando la Superficie de Líquidos de Diagramas Fe – Cr – C". *Revista CENIM*. 1995. p. 199 - 207.
15. **EDWIN, U. E.** *Metals Handbook. ASM*. 1983. vol. 8, 37-47 p. Metallography structure and phase diagrams. Applications of Quantitative Metallographic.

**R. Collazo-Carceller, H. López-Salinas, A. Días-Romero**

Departamento de Tecnología de Construcción de Maquinarias. Facultad de Ingeniería Mecánica  
Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – ISPJAE

Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba.

E-mail: [collazo@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:collazo@mecanica.cujae.edu.cu) , [hector@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:hector@mecanica.cujae.edu.cu) , [adrian@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:adrian@mecanica.cujae.edu.cu)