



T  
671.5  
FAL  
C.2

## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

### Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Aplicación de recubrimientos duros – protectores por arco  
eléctrico – electrodo revestido en las cuchillas centrales de  
molinos de caña

### TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**



CIB-ESPOL

Presentada por:  
Adolfo Bolívar Falcón Ortega

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2002



D-27780



CIB-ESPOL

## **DEDICATORIA**

- **A mi madre**
- **A mis hermanos**
- **A mi esposa**

# AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y ser  
mi guía constante.

A mi familia y especialmente a mi  
esposa por su apoyo incondicional.

Al Ingenio La Troncal por el apoyo  
sincero y total entregado.

Al Ingeniero Omar Serrano por su  
colaboración en la realización de  
este trabajo.

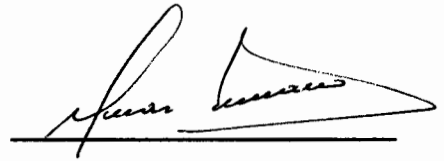
## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing. Francisco Andrade S.

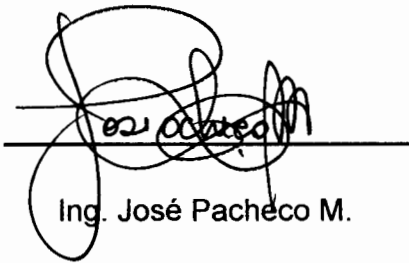
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP



---

Ing. Omar Serrano V.

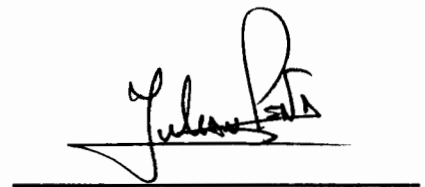
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. José Pacheco M.

VOCAL



---

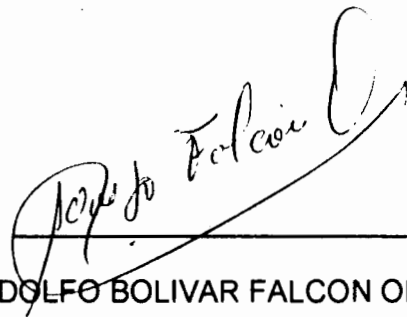
Ing. Julián Peña E.

VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, written in a cursive style, reading "Adolfo Bolívar Falcon Ortega". The signature is positioned above a solid horizontal line.

ADOLFO BOLIVAR FALCON ORTEGA

# INDICE GENERAL



RESUMEN .....	I
INDICE GENERAL .....	II
ABREVIATURAS .....	III
SIMBOLOGIA .....	IV
INDICE DE FIGURAS .....	V
INDICE DE TABLAS .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPITULO 1

1. PROCESO Y MAQUINARIA DE MOLIENDA DE CAÑA DE AZUCAR .....	3
1.1 Descripción del proceso de molienda .....	3
1.2 Descripción de la maquinaria .....	6
1.3 Principio de funcionamiento .....	11
1.4 Proceso de imbibición .....	16
1.5 Masas de molinos .....	17



1.6 Cuchilla central .....	19
----------------------------	----

## CAPITULO 2

### 2. PROCESO DE DESGASTE EN EL AREA DE MOLIENDA -

EXTRACCIÓN .....	25
------------------	----

2.1 Mecanismos de desgaste .....	25
----------------------------------	----

2.1.1 Abrasión.....	26
---------------------	----

2.1.2 Fricción .....	28
----------------------	----

2.1.3 Corrosión .....	29
-----------------------	----

2.2 Factores que influyen en el desgaste del molino .....	33
---	----

2.2.1 Incidencia del pH del jugo de la caña .....	34
---	----

2.2.2 Influencia de materias extrañas .....	35
---	----

2.2.3 Toneladas de caña molida .....	36
--------------------------------------	----

2.2.4 Diagramas de fuerzas .....	39
----------------------------------	----

2.3 Desgaste de la cuchilla central .....	44
---	----

## CAPITULO 3

3. PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DUROS – PROTECTORES EN CUCHILLAS CENTRALES POR ARCO ELECTRICO – ELECTRODO REVESTIDO .....	69
3.1 Generalidades .....	69
3.2 Clasificación de recubrimientos duros – protectores .....	72
3.3 Recubrimientos duros protectores en aceros al carbono .....	75
3.4 Selección de recubrimientos .....	78
3.5 Procedimiento de aplicación, pruebas de dureza y metalografía de recubrimientos .....	83
3.5.1 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos DIN 8555, E6-60 revest. ....	87
3.5.2 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos DIN 8555, E10-65 zt revest. ....	91
3.5.3 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos DIN 8556, E19 12 3 nC R 26 .....	94





CAPITULO 4 : Análisis de resultados ..... 104

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 117

BIBLIOGRAFÍA

APENDICES



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

## RESUMEN

La industria azucarera de hoy atraviesa una crisis económica productiva y de competitividad, debiendo reducir sus gastos por mantenimiento. El área de molienda - extracción es considerada como una de las mas problemáticas, los problemas mecánicos están tan relacionados con los corrosivos que es difícil discernir cual de los dos es mas importante por lo que se requieren medidas que conduzcan a la mejora de ambos tipos de propiedades.

Este estudio está orientado a explicar los problemas de desgaste de uno de los equipos mas importante del área de molienda como es el molino , así como ha reducir el mantenimiento de uno de sus elementos principales como es la cuchilla central mediante el uso de soldadura de recubrimientos duros-protectores por arco eléctrico- electrodo revestido.

En el primer capítulo se hace una descripción del proceso y de la maquinaria de moler caña de azúcar y de su funcionamiento. Luego en el segundo capítulo se describe los mecanismos de desgaste así como los factores que inciden en el deterioro de los elementos del molino - cuchilla central.

El tercer y cuarto capítulo explica las consideraciones que se debe tener para aplicar recubrimientos duros-protectores por arco eléctrico-electrodo



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

revestido en cuchillas de acero al carbono. Se presentan ensayos de soldadura con ciertos tipos de electrodos seleccionados, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

## ABREVIATURAS

A	Punto de la cuchilla central mas cercano a la maza superior
A*	Extremo del diente de la cuchilla central
B	Punto central de la cuchilla
BHN	Dureza Brinell
C1	Costos por parada de producción
C2	Costos por parada de un molino
CP	Costos totales por parada de producción
CCC	Costos totales por cambios de las cuchillas sin recubrimientos
CCCR	Costos totales por cambios de las cuchillas con recubrimientos
c1	Cuchilla central # 1
c2	Cuchilla central # 2
c3	Cuchilla central # 3
C.C.	Cuchilla central
C.M.	Costos por mantenimiento de cuchillas
E	Abertura de entrada del molino
F	Abertura entre la cuchilla y la maza bagacera
Fr	Fuerza radial
Ft	Fuerza tangencial
FLC	Compañía Fives Lille Cail
h	Altura del diente de las mazas

H	Altura de las cuchillas picadoras con respecto al conductor de caña
M.C.	Maza cañera
M.B.	Maza bagacera
M.S.	Maza superior
R.A	Reductores de alta
R.B.	Reductores de baja
R.I.	Reductores intermedios
S	Abertura de salida
TC	Toneladas de caña
TCH	Toneladas de caña molida por hora
TCM	Toneladas de caña molida
TM	Tiempo de mantenimiento

## SIMBOLOGIA

g	Gramo
Kg	Kilogramo
Kw	Kilovatio
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetro cuadrado
mg	Miligramo
m <sup>3</sup> /h	Metro cúbico por hora
rpm	Revoluciones por minuto
tg	Tangente
°	Grado
°C	Grado centígrado



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 Flujograma del proceso de elaboración de azúcar del Ingenio La Troncal.....	4
Figura 1.2 Mesa alimentadora de caña del Ingenio La Troncal.....	6
Figura 1.3 Esquema de los conductores de caña y de la ubicación de las cuchillas picadoras.....	7
Figura 1.4 Cuchilla picadora de caña.....	8
Figura 1.5 Tandem de molinos del Ingenio La Troncal.....	9
Figura 1.6 Representación del molino y sus transmisiones.....	10
Figura 1.7 Molino de caña FIVES LILLE CAIL .....	10
Figura 1.8 Esquema representativo de la circulación del bagazo en el molino.....	12
Figura 1.9 Esquema representativo de la ubicación del molino con respecto a sus transmisiones del Ingenio La Troncal.....	14
Figura 1.10 Molino de caña autorregulable.....	15
Figura 1.11 Molino de caña de virgen recta.....	15
Figura 1.12 Proceso de imbibición compuesta del Ingenio La Troncal.....	16
Figura 1.13 Características de los dientes de las masas.....	18



Figura 1.14	Cuchilla central nueva.....	20
Figura 1.15	Cuchilla central montada sobre su soporte de trabajo....	20
Figura 1.16	Diente nuevo de cuchilla central paso 80 mm.....	21
Figura 1.17	Diente nuevo de cuchilla central paso 50 mm.....	21
Figura 1.18	Características importantes de la ubicación de la cuchilla central en el molino.....	22
Figura 2.1	Curva de desgaste por corrosión del jugo mezclado de una probeta de acero SAE 1040 con velocidades hidrodinámicamente moderadas, pH = 5.1 .....	31
Figura 2.2	Curva de desgaste por corrosión del jugo mezclado en reposo de una probeta acero SAE 1040 – pH variable..	32
Figura 2.3	Comportamiento de la acidez del jugo en el tandem variando el agua de imbibición y el número de molinos en funcionamiento.....	34
Figura 2.4	Representación esquemática del conductor intermedio con chute Donelli.....	37
Figura 2.5	Sistemas de dos masas.....	39
Figura 2.6	Diagramas de fuerzas que actúan sobre las masas por acción del paso del bagazo.....	41
Figura 2.7	Fuerzas aplicadas sobre la masa superior.....	42
Figura 2.8	Distribución de fuerzas que actúan en un molino de tres masas.....	43



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



Figura 2.9	Microestructura correspondiente a un acero normalizado con una matriz ferrítica zona blanca, con carburos de cromo.....	46
Figura 2.10	Esquema del desgaste producido en los dientes de la cuchilla.....	47
Figura 2.11	Diente de cuchilla central paso 80 mm del 1M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	49
Figura 2.12	Diente de cuchilla central paso 80 mm del 2M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	49
Figura 2.13	Diente de cuchilla central paso 50 mm del 3M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	50
Figura 2.14	Diente de cuchilla central del 4M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	51
Figura 2.15	Diente de cuchilla central del 6M, después de moler 480.000 TC, sin mantenimiento.....	51
Figura 2.16	Curva del comportamiento de la dureza en el proceso con soldadura 7018, con enfriamiento lento.....	54
Figura 2.17	Curva del comportamiento de la dureza en el proceso con soldadura 7018, con enfriamiento al aire.....	55
Figura 2.18	Microestructura correspondiente al cordón de soldadura con electrodos 7018.....	56
Figura 2.19	Trazo del perfil de la cuchilla central del primer	

	molino para una molienda de 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	59
Figura 2.20	Trazo del perfil de la cuchilla central del segundo molino para una molienda de 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	60
Figura 2.21	Trazo del perfil de la cuchilla central del tercer molino para una molienda de 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	61
Figura 2.22	Trazo del perfil de la cuchilla central del cuarto molino para una molienda de 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	62
Figura 2.23	Trazo del perfil de la cuchilla central del quinto molino para una molienda de 350.000 TC, con mantenimiento.....	63
Figura 2.24	Trazo del perfil de la cuchilla central del sexto molino para una molienda de 480.000 TC, sin mantenimiento.....	64
Figura 2.25	Vista general de la cuchilla del 4M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	66
Figura 2.26	Vista general de la cuchilla del 6M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	66
Figura 2.27	Desgaste de los dientes del centro de la cuchilla del	

	3M con respecto a los extremos, después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento.....	67
Figura 2.28	Desgaste de los dientes del centro de la cuchilla del 6M con respecto a los extremos, después de moler 1'400.000 TC , con mantenimiento.....	67
Figura 3.1	Valores de abrasión y dureza de varios depósitos de recubrimientos duros .....	80
Figura 3.2	Representación esquemática de la aplicación de soldadura.....	86
Figura 3.3	Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer cordón de soldadura de recubrimiento duro protector.....	89
Figura 3.4	Curva de distribución dureza correspondiente al primer cordón de soldadura.....	90
Figura 3.5	Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer y segundo cordón de soldadura de recubrimiento duro protector-75 x.....	92
Figura 3.6	Curva de distribución de dureza aplicando el primer y segundo cordón de soldadura.....	93
Figura 3.7	Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer , segundo y tercer cordón de soldadura de recubrimiento duro protector.....	95



Figura 3. 8	Curva de distribución de dureza aplicando el primer segundo y tercer cordón de soldadura de recubrimiento protector.....	96
Figura 3.9	Cuchilla central del 1M con aplicación de las dos primeras capas de recubrimiento protector después de moler 1'400.000TC, .....	99
Figura 3.10	Cuchilla central del segundo molino con aplicación de las tres capas de recubrimiento protector después de moler 1'400.000 TC .....	99
Figura 3.11	Cuchilla central del quito molino con aplicación de las dos primeras capas de recubrimiento protector después de moler 380.000 TC .....	100
Figura 3.12	Cuchilla central del quito molino con aplicación de las tres capas de recubrimiento protector después de moler 800.000 TC .....	100
Figura 3.13	Trazo de cuchilla central del 2M con recubrimientos duros-protectores después de moler 800.000TC.....	101



## INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Desgaste del espesor de los pisos de los conductores de bagazo contruidos en lamina A36, para una razón de molienda de 430 TCH , con una velocidad de 1 m/s	27
Tabla 2 Desgaste de los pisos de los conductores intermedios según las toneladas de caña molida.....	38
Tabla 3 Cuadro comparativo de mecanismos de desgastes en diferentes medios.....	45
Tabla 4 Composición química del material de la cuchilla central.....	46
Tabla 5 Mantenimiento de cuchillas centrales con electrodos 7018.....	48
Tabla 6 Dureza Rockwell C promedio en probetas soldadas con electrodos 7018.....	53
Tabla 7 Medidas de entrada y salida de los molinos para una razón de molienda de 430 TCH.....	57
Tabla 8 Medidas en mm de las características principales de la ubicación de las cuchillas centrales en el molino al iniciar la zafra, para una razón de molienda de	



430TCH.....	58
Tabla 9 Medidas en mm de las características principales de la ubicación de las cuchillas centrales en el molino al iniciar la zafra, para una razón de molienda de 430TCH.....	58
Tabla 10 Pérdidas de peso por desgaste de las cuchillas centrales para una molienda de 430 TCH, sin recubrimientos.....	68
Tabla 11 Pérdidas de peso por desgaste de las cuchillas centrales de acero SAE 1040, normalizado, dureza 200 HB con recubrimientos para una razón de molienda de 430 TCH.	98



## INTRODUCCION

La elaboración de esta Tesis se la realizó en el Ingenio Azucarero La Troncal este Ingenio fué diseñado inicialmente para moler y procesar 7000 toneladas de caña por día, pero a partir del año 1996 se proyectó aumentar su capacidad a 12.000 y durante la zafra a 1'500.000 toneladas. Esto implicaba aumentar la capacidad en sus diferentes áreas como: molienda, clarificación, evaporación, calderas, tachos, centrifugación, envase, etc.

Este estudio está relacionado con el área de molienda, donde los resultados del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar dependen principalmente de la preparación de la caña y del ajuste de las partes del molino. El desgaste sufrido por sus componentes origina un aumento de las tolerancias entre ellos ocasionando pérdidas de eficiencia en la extracción.

Idealmente todas las partes del molino deberían conservar sus dimensiones durante todo el período de molienda (zafra) pero en la práctica no es así, las piezas que mas desgaste sufren son las masas y la cuchilla central. En los últimos años las pérdidas por parada de producción debido al cambio y mantenimiento de las cuchillas centrales de los molinos corresponden al 4% del tiempo de producción para un total de caña molida durante la zafra de 1'400.000 toneladas.

Esto ha llevado a buscar nuevos productos y procesos para proteger y recuperar estas piezas. Para alargar la vida útil de la cuchilla central del molino hubo que revisar todo el proceso y los mecanismos que aceleraban el desgaste, revisar materiales y productos auxiliares como soldadura de recubrimientos duros - protectores, para acortar el tiempo de parada de la producción por mantenimiento de la cuchilla central en alrededor de un 2%.

Este Ingenio posee un solo tandem de molinos a diferencia de otros que poseen dos para la misma razón de molienda, por lo que se hace crítico la parada por mantenimiento durante la zafra. Este trabajo hace referencias a los diferentes ensayos que se han hecho a lo largo de diferentes zafras, así como un informe de los resultados obtenidos, quedando muchas puertas abiertas para futuras investigaciones .



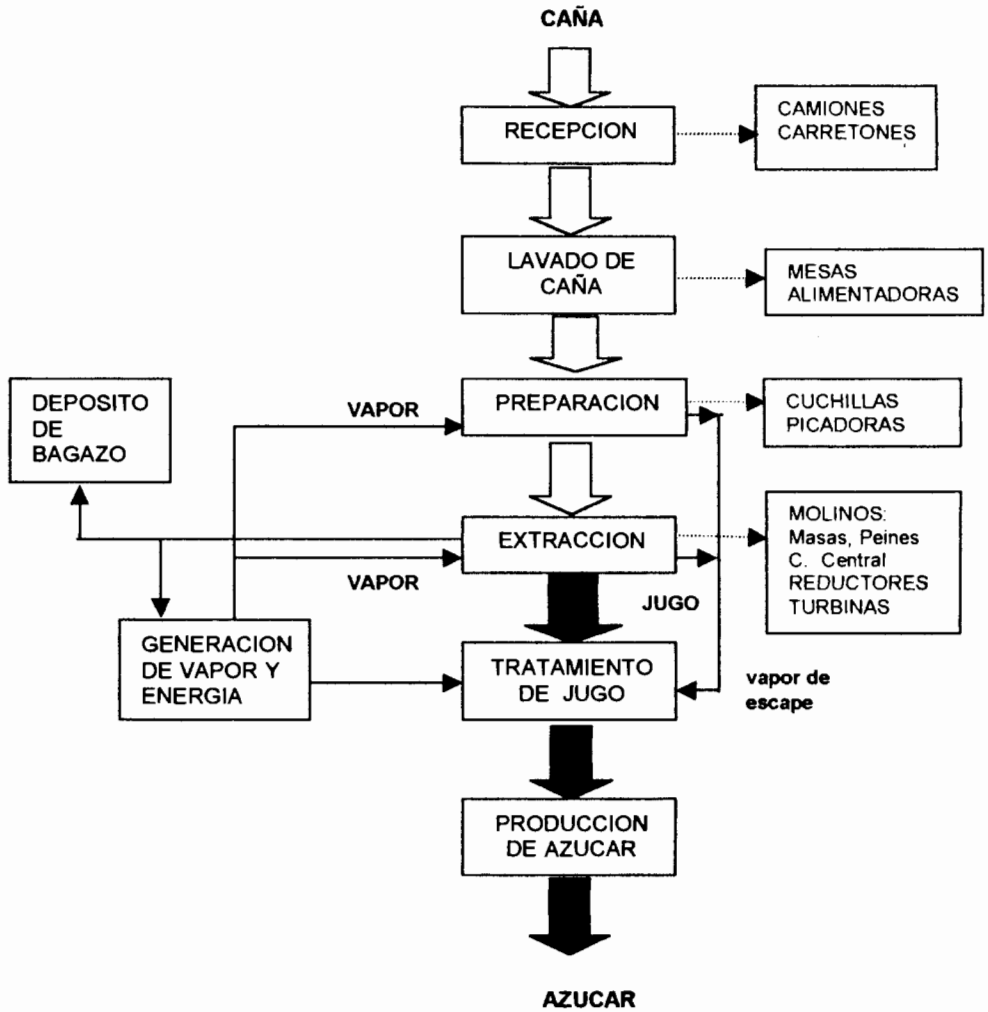
# **CAPITULO 1**

## **1. PROCESO Y MAQUINARIA DE MOLIENDA DE CAÑA DE AZUCAR**

### **1.1 Descripción del proceso de molienda**

En los ingenios azucareros, a la cosecha de la caña para producir azúcar se la conoce como zafra. La caña que llega al área de molienda debe ser de buena calidad y esta es medida por el buen contenido de sacarosa y la baja cantidad de impurezas (basuras).

En la figura 1.1 se ha representado el flujograma del proceso de la elaboración de azúcar del Ingenio "La Troncal", la caña es transportada desde el campo por medio de camiones o carretones, y descargada sobre unas mesas alimentadoras de caña las que a su vez alimentan a los conductores, entregando un colchón de caña nivelado, en los conductores se encuentran ubicadas tres juegos de cuchillas picadoras, que desfibran los tallos entregándolas al molino como bagazo para extraer el jugo y luego el jugo es tratado hasta



**Figura 1.1** Flujograma del proceso de elaboración de azúcar del Ingenio La Troncal

obtener azúcar. El proceso de molienda ( 1 ) ( 2 ) en el Ingenio La Troncal se divide en dos partes :

1. Lavado y preparación: la caña que viene del campo es recibida en las mesas alimentadoras , donde se realiza el lavado con el objeto de disminuir la cantidad de tierra y arena. Mientras que la preparación se lo hace mediante cuchillas picadoras y consiste en el rompimiento de las estructuras duras y de las células de los tallos de la caña, pero no extraen el jugo.

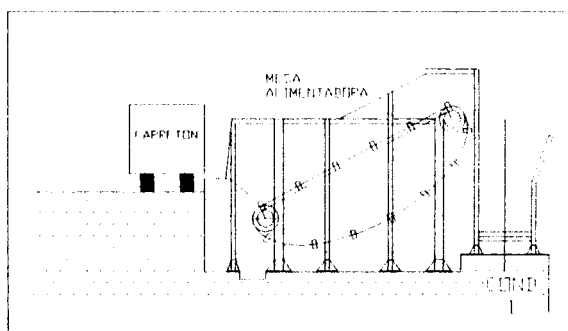
2. Molienda, propiamente dicha es donde se produce la extracción del jugo por intermedio de los molinos al entrar la caña preparada (bagazo). El jugo es enviado hacia el área de fabricación donde es procesado extrayendo el agua y las impurezas hasta obtener la azúcar granulada, y el bagazo es enviado a las calderas como combustible para generar vapor para todo el proceso.

Es importante anotar que los ingenios poseen su propia planta de generación de energía eléctrica por medio de turbogeneradores que en conjunto con las turbinas de los molinos reciben el vapor de las calderas para su funcionamiento y el vapor de escape de ellas se utiliza en el proceso de elaboración de azúcar.

## 1.2 Descripción de la maquinaria

La maquinaria del área de molienda ( 3 ) en este Ingenio está conformada por dos mesas alimentadoras de caña, dos conductores de caña, tres juegos de cuchillas picadoras y un tandem de seis molinos con sus respectivos conductores intermedios.

Las mesas alimentadoras de caña figura 1.2, son tableros que reciben la caña que descargan los carretones y por medio de cadenas con arrastradores la entregan al conductor .

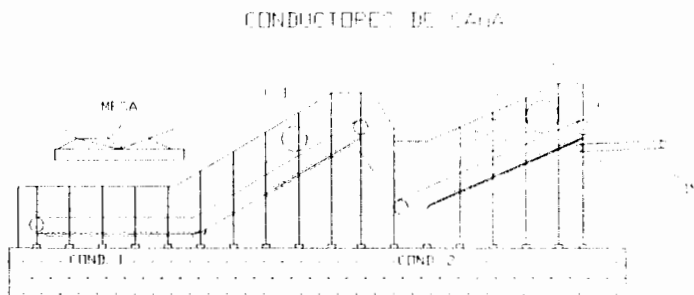


**Figura 1.2 Mesa alimentadora de caña del Ingenio La Troncal**

Los conductores de caña figura 1.3 ( 3 ), son tableros movidizos conformados por tablillas metálicas que llevan la caña que descargan las mesas a la fábrica , asegurando la alimentación de los



molinos.



**Figura 1.3 Esquema de los conductores de caña y de la ubicación de las cuchillas picadoras**

Son accionados por motores hidráulicos de alto torque y baja velocidad, pueden transportar hasta 600 TCH y es sobre ellos que se realiza la preparación de la caña mediante las cuchillas picadoras C1, C2 y C3.

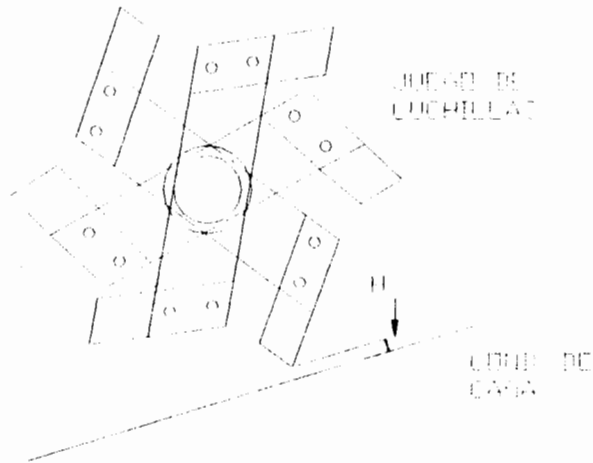
Las cuchillas picadoras ( 4 ), consiste de un eje pesado montado sobre rodamientos y en el cual existen fijos varios brazos cada uno de los cuales lleva dos hojas (cuchillas) colocadas simétricamente con relación al eje, son movidos por turbinas a vapor y cumplen dos funciones:

a.- Favorecen la capacidad de los molinos, al picar la caña y

transformarla en una masa homogénea y compacta.

- b.- Mejoran la extracción de los molinos, al romper la corteza de la caña facilitando así su desintegración y la extracción del jugo.

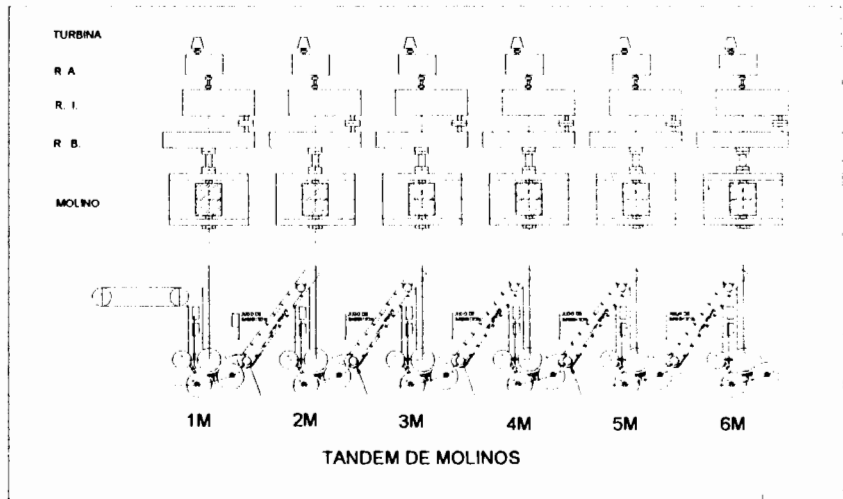
La eficiencia de las cuchillas depende de la cantidad de cañas cortadas que tiene que ver con la altura  $H$  (figura 1.4), que queda entre el círculo descrito por la extremidad de la cuchilla y la parte mas saliente de la tablilla del conductor, por la cantidad de cuchillas que tiene cada juego, siendo este número mayor en el 2do y 3er juego.



**Figura 1.4 Cuchilla picadora de caña**

Al grupo de molinos del área de molienda se denomina tandem y en el caso de este Ingenio está formado de seis molinos Se ha representado en la figura 1.5 ( 3 ) todo el tandem de molinos con sus

respectivos conductores intermedios y transmisiones y en la figura 1.6 ( 3 ) se ha descrito un corte transversal de un molino con sus accionamientos.



**Figura 1.5 Tandem de molinos del Ingenio La Troncal**

R.A. ... Reductor de Alta

R.I. .... Reductores Intermedios

R.B. ... Reductores de Baja

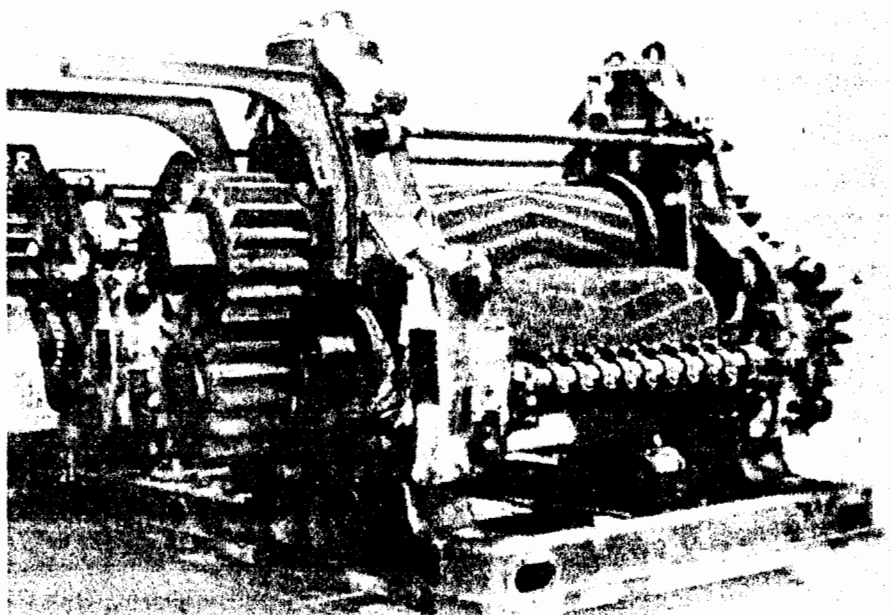
M. .... Molino

Las medidas de cada molino es de 1130 x 2300 mm que corresponden a las medidas de las masas (diámetro x largo) , conectado a un tren de engranajes con una reducción de 685, y son accionados por turbina a vapor de 1400 KW, para obtener una velocidad de la maza superior de 4 –7 rpm.



**Figura 1.6 Representación del molino y sus transmisiones**

El molino, figura 1.7 es la maquinaria principal del área de molienda y está formado por tres masas, una cuchilla central, un raspador superior, un raspador inferior, además posee una cuarta masa que es opcional.



**Figura 1.7 Molino de caña FIVES LILLE CAIL**



### 1.3 Principio de funcionamiento

Nos referiremos a la función básica de un molino que es, extraer la máxima cantidad de jugo de la caña. La caña se considera formada por fibra mas jugo ( 5 ), el jugo se considera formado por agua mas brix ( A ), por lo tanto :

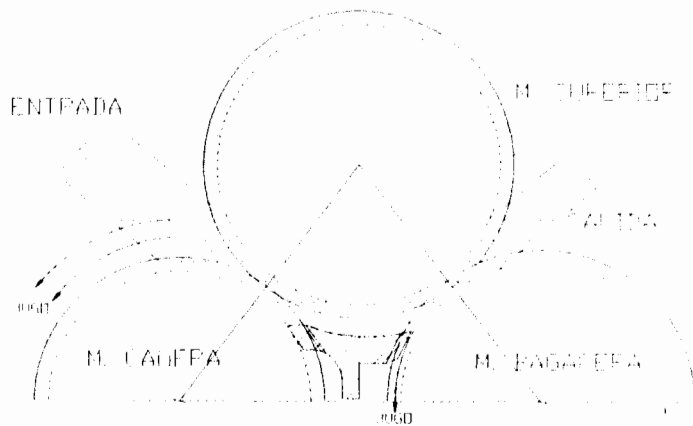
$$\text{Caña} = \text{fibra} + \text{agua} + \text{brix} \quad (1.1)$$

A la caña triturada se la llama bagazo por tanto:

$$\text{Bagazo} = \text{fibra} + \text{agua} + \text{brix} \quad (1.2)$$

El bagazo al pasar por los molinos va variando su contenido de agua y brix, mientras que la fibra se mantiene constante. La caña triturada ahora llamada bagazo es conducida desde la abertura de entrada del molino , que corresponde a la abertura entre la masa superior y la masa cañera, hasta la abertura de salida , entre la masa superior y la masa bagacera, pasando por un puente ubicado entre estas dos aberturas conocida como cuchilla central (figura 1.8).





**Figura 1.8 Esquema representativo de la circulación del bagazo en el molino**

Las masas inferiores: cañera y bagacera giran sobre sus chumaceras que son fijas, mientras la masa superior es flotante y puede subir o bajar cuando esta trabajando, controlada por un pistón hidráulico, para mantener una presión constante sobre el bagazo. Todo el conjunto está soportado por piezas macizas de fundición, conocidas como vírgenes.

La mayor extracción de jugo se produce a través de la entrada del molino y debe estar en el orden del 70 –80 % y el resto a través de la masa bagacera, por la parte trasera de la cuchilla central y su eficiencia ( 4 ) se puede estimar con la siguiente relación :

$$X = \frac{S-M}{S-E} \quad (1.3)$$

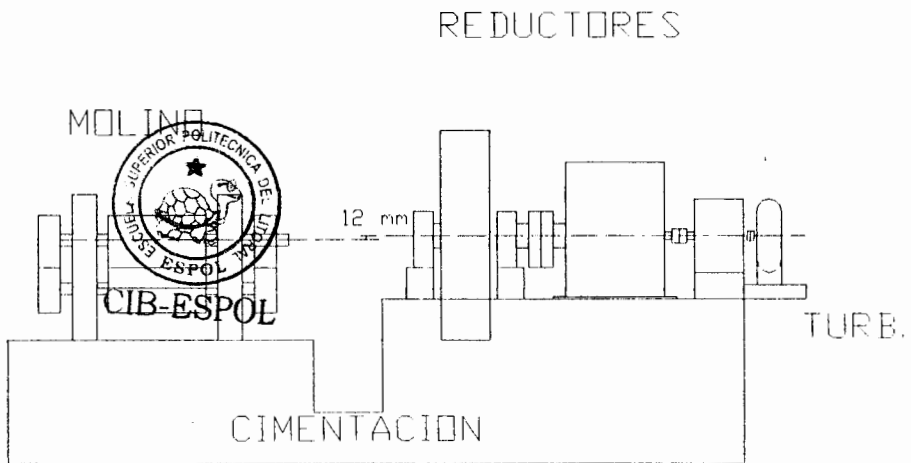
**E** = Brix del jugo de la masa de entrada

**S** = Brix del jugo de la masa de salida

**M** = Brix del jugo total del molino

Las aberturas entre las masas y la relación entre estas y la cuchilla central se conoce como ajuste del molino o setting. Estas aberturas varían de acuerdo a la cantidad de caña que se quiera moler y disminuyen siguiendo el sentido de circulación del bagazo desde el primer molino hasta el último.

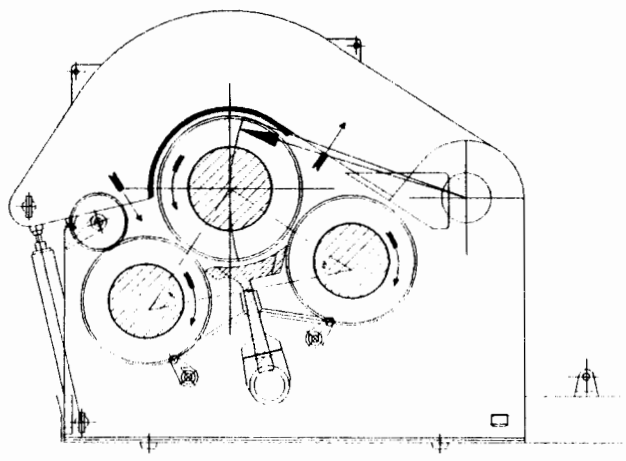
La ubicación de la masa superior es la que define la instalación del molino y debe tener un desalineamiento con respecto a las transmisiones como se indica en la figura 1.9, que constituye el rango de flotación del molino, en el caso de este Ingenio el molino está 12 mm más bajo que las transmisiones ( 3 ).



**Figura 1.9** Esquema representativo de la ubicación del molino con respecto a sus transmisiones en el Ingenio La Troncal

Existen dos tipos de molinos en este Ingenio: los auto-regulables y los de virgen recta. Los molinos del tipo autorregulable figura 1.10, son conocidos así porque cuando están en funcionamiento mantienen una relación constante entre la abertura de entrada y la abertura de salida al flotar la masa superior y se desplaza sobre una trayectoria que es un arco de círculo ( 1 ). La posición de la línea que une los centros de las masas inferiores tiene un ángulo de  $15^\circ$ . La cuchilla central de este molino está empernada a su soporte el que a su vez se apoya sobre un pin, manteniendo un movimiento giratorio para compensar los desgastes.

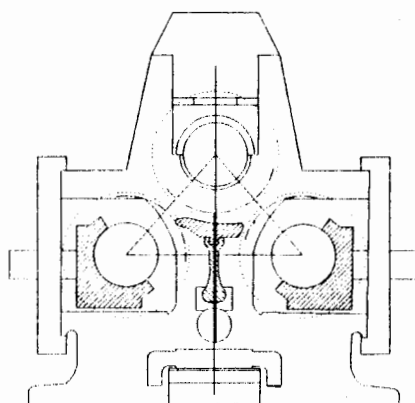




**Figura 1.10 Molino de caña autoregurable**

Los molinos de virgen recta figura 1.11, son aquellos que cuando están en funcionamiento la masa superior se desplaza sobre una línea vertical, en este tipo de molino la relación entrada – salida no se mantiene constante ( 1 ).

**MOLINO DE VIRGEN RECTA**

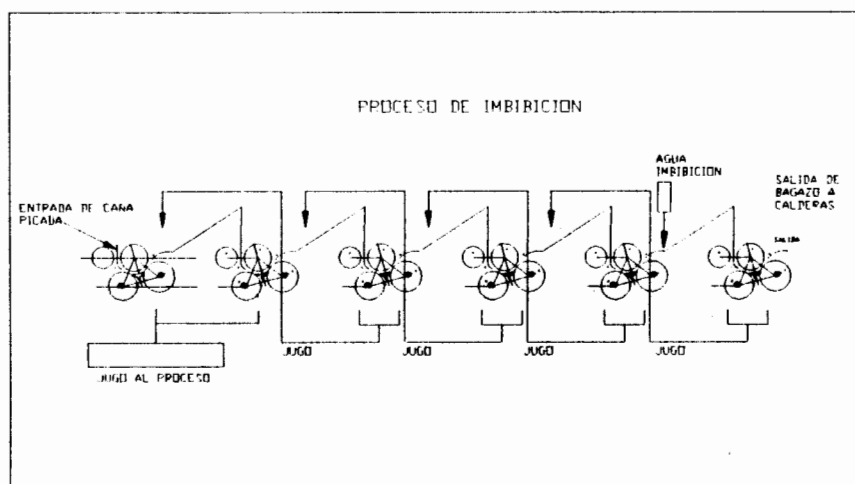


**Figura 1.11 Molino de caña de virgen recta**

La cuchilla central empemada a su soporte se apoya sobre un pin que forma un cuerpo único con una pieza horizontal que le permite además del movimiento giratorio del molino anterior desplazarse horizontalmente para compensar los desgastes.

#### 1.4 Proceso de imbibición

Al proceso de agregar agua o jugo al bagazo se conoce como imbibición, figura 1.12



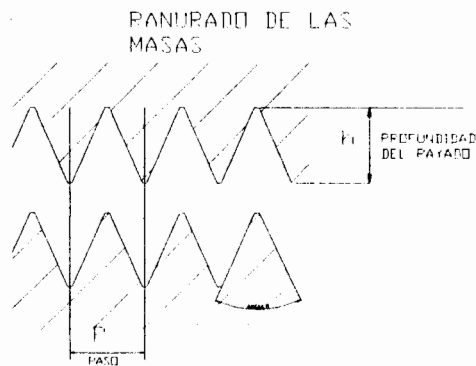
**Figura 1.12 Proceso de imbibición compuesta del Ingenio La Troncal**

En este tandem se utiliza la imbibición compuesta que consiste en agregar agua al bagazo que entra al último molino para poder aumentar la extracción del molino, el jugo que sale del último molino es devuelto al bagazo que va al penúltimo molino y el jugo de este regresa al bagazo del molino anterior y así sucesivamente ( 6 ). Mientras mayor sea la cantidad de agua que se agregue, mayor será la cantidad de sacarosa que se extrae de la caña, para los molinos con cuarta maza está en el rango de 28 – 30 % del peso de la fibra de la caña.

### **1.5 Masas de molinos**

Se llama así a los rodillos ranurados que comprimen el bagazo extrayendo el jugo ( 3 ), son camisas de hierro fundido montadas sobre ejes de acero SAE 1045 forjados y normalizados.

A las ranuras de las masas se les dá 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 50°. Los dientes se caracterizan por su paso P y por su altura h figura 1.13.



**Figura 1.13 Características de los dientes de las masas**

El paso es la distancia que separa a los ejes de dos dientes sucesivos. El ranurado de las tres masas se hace de manera que los dientes de la masa superior engrane con las ranuras de las masas inferiores.

En este tandem el ranurado de las masas es de paso 80 mm para los primeros dos molinos y para los siguientes cuatro molinos el paso es de 50 mm con un ángulo de  $50^\circ$ .



## **1.6 Cuchilla central**

Es el puente que permite el paso del bagazo desde la entrada hasta la salida del molino, limpiando el ranurado de la masa cañera, son construidas de hierro fundido o de acero . En este Ingenio se utilizan de acero fundido SAE 1040.

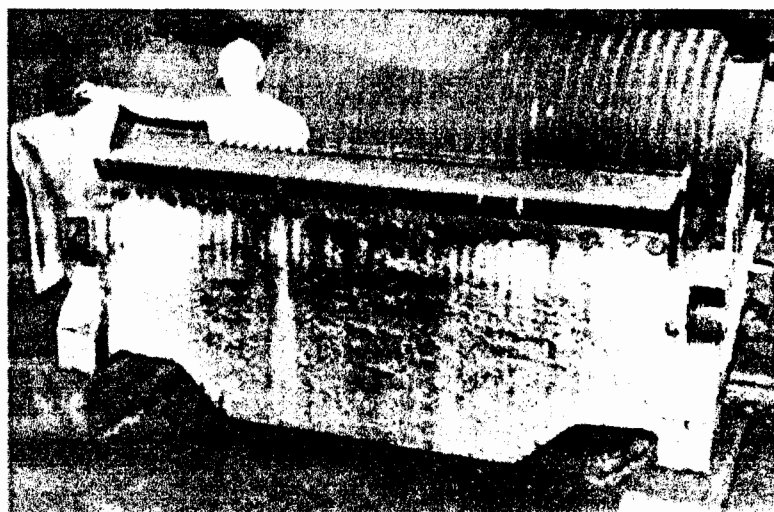
Son maquinadas según el ranurado que tiene la masa cañera, el perfil y su ubicación dependen de la geometría del molino y debe ser de tal manera que permita circular el bagazo sin ningún tipo de restricción, teniendo gran influencia en la buena marcha del molino, esto hace preveer que para cada molino se tiene que diseñar su propia cuchilla, considerando los diámetros de las masás, las aberturas de entrada y de salida .

En el anexo B, se presenta un método para trazar los perfiles de las cuchillas centrales ( 7 ) y en la figura 1.14 se presenta una cuchilla central nueva que tiene un peso aproximado de 750 kg . En la figura 1.15 se muestra a la cuchilla montada en su soporte de trabajo con un peso total de 7500 kg, luego en las figuras 1.16 y 1.17 se presentan los dientes nuevos de las cuchillas para paso 80 mm y

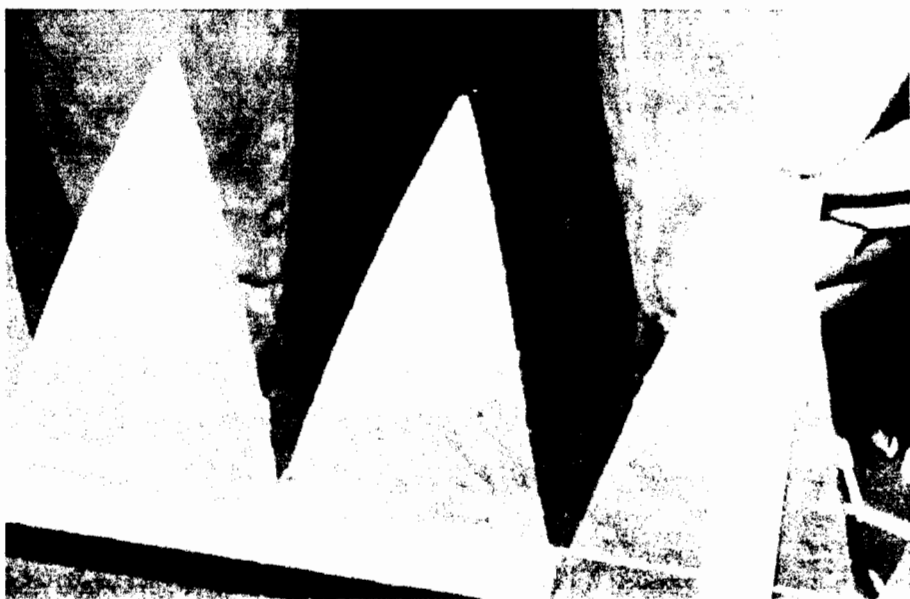
paso 50 mm a los que posteriormente nos referiremos para compararlos con los dientes de las cuchillas trabajadas.



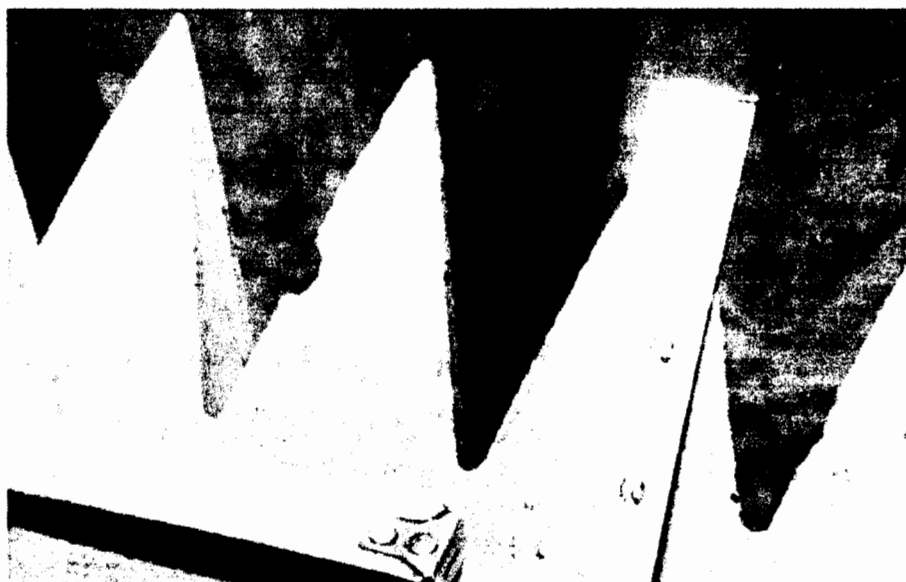
**Figura 1.14 Cuchilla central nueva**



**Figura 1.15 Cuchilla central montada sobre su soporte de trabajo**



**Figura 1.16** Diente nuevo de cuchilla central paso 80 mm



**Figura 1.17** Diente nuevo de cuchilla central paso 50 mm

Para definir correctamente su posición en el molino ( 4 ) nos referiremos a la figura 1.18 donde es necesario conocer:

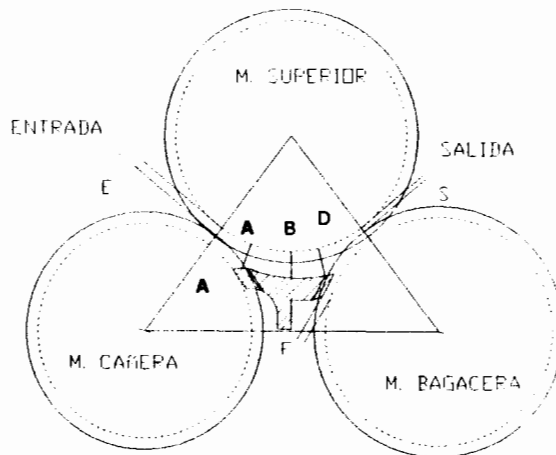


CIB-ESPOL

1. Posición del punto A\*, donde la punta de la cuchilla toca a la masa cañera
2. La distancia A, de la punta de la cuchilla a la masa superior.
3. La distancia B, de la cuchilla a la masa superior tomada sobre el plano axial.



CIB-ESPOL



**Figura 1.18 Características importantes de la ubicación de la cuchilla central en el molino**



CIB-ESPOL

- 4.- La distancia D, del talón de la cuchilla a la masa superior
- 5.- La distancia F, del talón de la cuchilla a la masa de salida

La circulación del bagazo dentro del molino debe ser de tal manera que al pasar entre las dos masas de entrada: superior y cañera, el bagazo tiende a expandir su volumen entre A y D, y si se admite que la cuchilla debe hacer posible la continuación de esta expansión, la distancia de su superficie AD a la masa superior debe ir creciendo de A hasta D

En la práctica se ha determinado que la variación de este aumento de la distancia de la cuchilla a la masa superior, debe ser de 1/16" por cada pulgada de longitud de la cuchilla. Además existen consideraciones operacionales con respecto a la posición de la cuchilla con relación a su altura de lo que se podría anotar lo siguiente:

- a. Una cuchilla muy alta absorbe una fracción considerable de la presión hidráulica en detrimento de la extracción y aumento del consumo de potencia del molino, desgastándolo rápidamente, disminuyendo su capacidad.
- b. Una cuchilla muy baja origina en la masa de salida un ángulo de toma muy elevado, aumentando los riesgos de atascamiento, causando vibraciones y compresiones malas.

- c. Una punta A\* muy baja con relación a la maza de entrada, se forma una bolsa de la cual sale difícilmente el bagazo comprimido, lo que produce vibración y ronquido.
  
- d. Cuando el ajuste F entre la cuchilla y la maza bagacera es muy pequeño el molino tiende a escupir debido a que el jugo no tiene por donde salir

# **CAPITULO 2**

## **2. PROCESO DE DESGASTE EN EL AREA DE MOLIENDA - EXTRACCIÓN.**

### **2.1 Mecanismos de desgaste presentes**

El desgaste es el deterioro resultante del empleo o del medio ambiente, el desplazamiento y la separación de las partículas metálicas de una superficie de un elemento del molino puede producirse por contacto con un abrasivo metálico o no metálico, o por contacto con líquidos .

Los desgastes producidos en el molino ocurren de manera combinada, pero los analizaremos inicialmente de manera aislada. El principal es el desgaste abrasivo producido por el bagazo e impurezas, desgaste friccional producido por el roce entre la masa cañera y la cuchilla central y el desgaste por corrosión producido por el jugo



CIB-ESPOL

### 2.1.1 Abrasión

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras, como piedra, arena, tierra y otros materiales no metálicos como el bagazo están en constante fricción se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, se caracteriza por la presencia de superficies rayadas y pulidas, puede clasificarse ( 2 ) como:

- a. Abrasión de bajo esfuerzo, donde los esfuerzos no son lo suficientemente altos para romper las partículas abrasivas
- b. Abrasión de alto esfuerzo, donde la partícula es sometida a cargas que ocasionan su fractura.
- c. Abrasión con desgarramiento, que es abrasión de alto esfuerzo acompañado con impacto.

En la abrasión las fuerzas de desgaste se mueven paralelas a las superficies, mientras que las de impacto son mas o menos perpendiculares ( 8 ). Un ejemplo de desgaste abrasivo de bajo esfuerzo lo ocasiona el bagazo que sale del último molino, este bagazo está conformado por fibra, agua y un brix relativamente bajo,



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



es llevado a las calderas como combustible por medio de conductores, su efecto es puramente abrasivo con respecto al piso al ser arrastrado, los pisos son construidos de láminas de material A-36 de 6,35 mm de espesor cuya composición química es la siguiente ( 9 ) :

Elemento	C	Mn	P	S	Cu
%	0.25	-	0.04	0.05	0.20

y para las condiciones de trabajo del Ingenio La Troncal se ha determinado el desgaste registrado en la tabla 1:

**TABLA 1**

Desgaste de los pisos de los conductores de bagazo construidos de material A-36 para una razón de molienda de 430 TCH con una velocidad en la cadena de los conductores de 1m/s

AÑO	TCM	TBP	ESPEJOR PISO (mm)	DESGASTE EN mm C/10 <sup>5</sup> TCM
1998	---	---	6,35	---
1999	1650.000	495.000	4.98	0.08
2000	1550.000	465000	4.10	0.06

### 2.1.2 Fricción

Ocurre cuando un metal roza con otro ( 8 ), el elemento mas suave se desgastará y el mas duro se protege, el movimiento relativo de las dos superficies crea un aumento considerable de la temperatura localizada y causa una oxidación superficial.

En el molino este desgaste se presenta durante el trabajo que realiza la cuchilla central de limpiar los fondos de los dientes de la masa cañera , esto obliga a acercar la cuchilla a la masa , una manera de reducir este tipo de desgaste es controlando este ajuste .

La cuchilla no debe estar pegada a la masa para realizar la limpieza de los dientes puede estar abierta máximo unos tres milímetros porque de lo contrario la masa se embagazaría y la cuchilla se desgastará de manera acelerada.

Actualmente está generalizado la aplicación de recubrimientos duros protectores en las masas de los molinos de caña, el factor principal de su aplicación es disminuir el desgaste y darles asperezas, para que las masas tengan un mejor agarre, mejorando la productividad y los índices de extracción.

### 2.1.3 Corrosión

El desgaste corrosivo ( 10 ) en el área de molienda ocurre por una reacción de naturaleza electroquímica en la superficie del metal, porque los fluidos que se manejan además de tener valores de pH ácidos poseen una gran cantidad de sólidos insolubles.

Cuando un medio corrosivo se pone en contacto con una superficie metálica con movimiento relativo se pueden presentar diferentes casos en el mecanismo de desgaste metálico, pero en todos el efecto total es mayor que la suma de los desgastes producidos por cada uno de ellos.

Sí el metal se pasiva, un incremento posterior de la velocidad provoca la destrucción mecánica de la capa pasiva y el aumento consiguiente de la velocidad de corrosión.

Por otra parte cuando el metal no se pasiva, la renovación constante en las cercanías de la superficie metálica provoca el desplazamiento del potencial hacia valores mas activos por disminución de la concentración de los iones metálicos y aumento de la concentración de los agentes oxidantes en la vecindad del metal



CIB-ESPOL

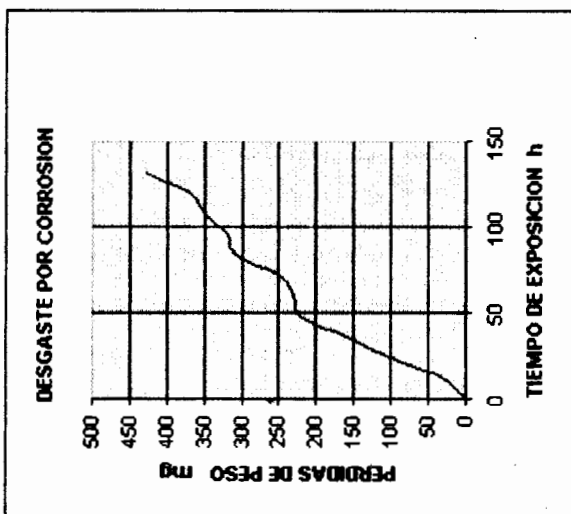


CIB-ESPOL

En nuestro caso, las cuchillas centrales utilizadas en este Ingenio, son construídas de acero fundido SAE 1040 normalizadas con una dureza de 180 – 220 BHN. Se hicieron mediciones gravimétricas del desgaste producido por el jugo mezclado, con probetas de acero con características iguales al material de las cuchillas obteniéndose los resultados mostrados figuras 2.1 y 2.2

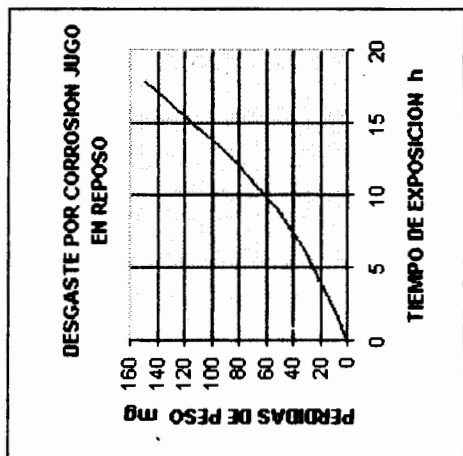
La figura 2.1 muestra los resultados de las pérdidas en peso producidas por el jugo mezclado con movimiento, estos datos se obtuvieron introduciendo la probeta en el tanque de jugo durante la molienda, mientras que los datos de la figura 2.2 se obtuvieron introduciendo la probeta en un recipiente con jugo mezclado en reposo hasta que la acidez llegue a un valor igual al que tendría el jugo de la caña cuando está deteriorada .

En ambas pruebas se utilizaron probetas de acero SAE 1040 con una área de exposición de  $63,50 \text{ cm}^2$



TIEMPO (h)	PERDIDA DE PESO (mg)
0	0
12	30
24	100
36	160
48	220
60	230
72	250
84	310
96	320
108	350
120	370
132	430

**Figura 2.1** Curva de desgaste por corrosión del jugo mezclado de una probeta de acero SAE 1040 con velocidades hidrodinamicamente moderadas, pH = 5.1



TIEMPO (h)	PESO (mg)	pH
0	0	4.74
6	30	3.61
12	80	3.59
18	150	3.23

**Figura 2.2** Desgaste por corrosión del jugo mezclado en reposo de una probeta de acero SAE 1040 – pH variable

## **2.2 Factores que influyen en el desgaste del molino**

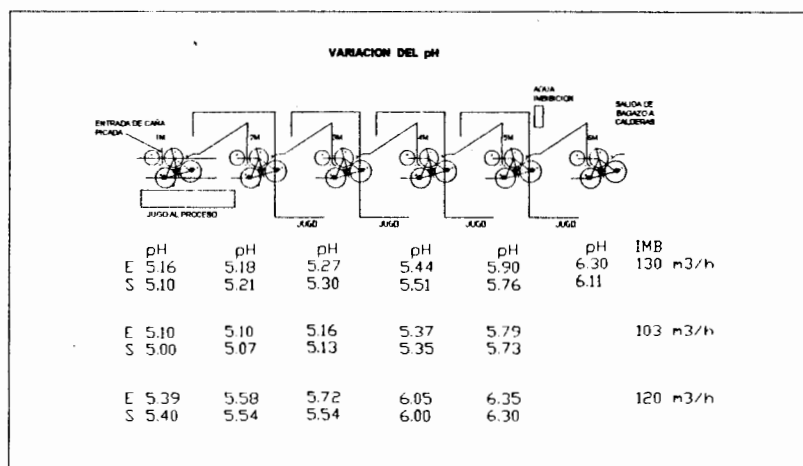
El desgaste producido en el molino ( 10 ) es por una combinación de abrasión del bagazo con la corrosión del jugo, y en el caso de la cuchilla central tenemos además la fricción producida por la masa de entrada.

Cada tipo de desgaste está influenciada por las condiciones de operación del molino necesarias para desarrollar su función ,como medio ambiente, tipo de carga , velocidades relativas , condiciones de superficies, forma de la pieza, propiedades mecánicas, presencia de partículas extrañas, composición y compatibilidad de las piezas

Por lo que se hace necesario analizar factores importantes como la acidez del jugo, materias extrañas, tonelaje de caña molida y la distribución de cargas en el molino .

### 2.2.1. Incidencia del pH del jugo de la caña

El jugo de la caña de azúcar, es ácido, disminuye su agresividad corrosiva conforme avanza el proceso de fabricación, en el primer molino tiene un pH que varía de 4.5 a 5.5 ( 11 ), a este jugo se conoce como primario ( A ). En la figura 2.3 se presenta un muestreo de la variación del pH del jugo del tandem de molinos para una razón de molienda de 430 TCH, que tiende a aumentar conforme avanza el bagazo desde el primer hasta el último molino.



**Figura. 2.3 Comportamiento de la acidez del jugo en el tandem variando el agua de imbibición y el número de molinos en funcionamiento**



La disminución gradual de la acidez, depende de la cantidad de agua de imbibición que se agrega en el último molino y de la cantidad de molinos en funcionamiento. El agua de imbibición en este Ingenio tiene normalmente un pH de 6.6.

La acidez del jugo es una de las causas del deterioro de las piezas del molino como las masas, cuchillas, conductores intermedios, tanques de jugo, canalones, tuberías, etc. Por lo que se ha hecho necesario utilizar materiales resistentes a la corrosión como son los materiales de acero inoxidable SAE 304.

### **2.2.2 Influencia de materias extrañas**

Se conoce como materias extrañas ( 10 ) a las impurezas que vienen con la caña como: hojas, cogollo, raíces , fierros, piedra, arena, etc. Gran parte de los canteros del ingenio están cultivados en zonas de piedra o arenosos, lluviosos y con baja luminosidad, por lo que normalmente en tiempo de zafra no permite quemar la caña que se va a cortar, aumentando la cantidad de impurezas.

En muchos casos las impurezas han llegado a ser hasta el 25 % del peso total de la caña. Las hojas tienen un gran contenido de sílice y

estas a su vez traen al molino gran cantidad de arena que aumentan el desgaste por abrasión. El aumento de las impurezas incrementa la cantidad de sólidos presentes en el jugo y su efecto mecánico es también importante porque renueva constantemente la superficie de ataque del medio corrosivo.



B-ESPOL

### 2.2.3 Toneladas de caña molida

La capacidad de un Ingenio es medida por las toneladas de caña que muele (TCM). Este Ingenio posee un solo tandem de molinos por lo que se hace mas crítico las paradas de molienda por daño ó mantenimiento .



B-ESPOL

Los cultivos de caña se han ido incrementando en los últimos años teniéndose que aumentar la razón de molienda por hora, de 320 a 430 TCH, para esto hubo que implantarse nuevos sistemas de alimentación forzado como el de cuarta masa con chute Donelli, aplicar soldadura de protección para disminuir el desgaste en las cuchillas centrales y en las masas .



B-ESPOL

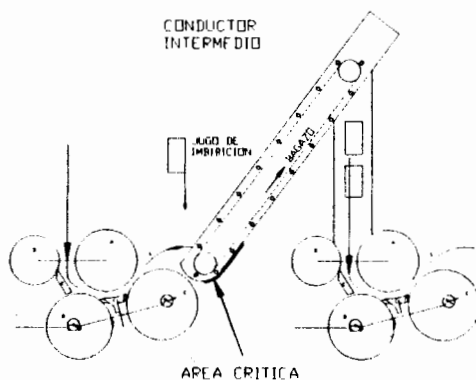


B-ESPOL

Al pasar el millón de toneladas de caña molida, los conductores intermedios que son los que llevan el bagazo de un molino a otro

tuvieron que entrar en mantenimiento durante la zafra, reparándose los pisos en su área crítica como se indica en la figura 2.4.

El bagazo que llevan estos conductores se mezclan con el jugo por el proceso de imbibición, y el desgaste se produce por un mecanismo corrosivo-abrasivo porque mientras, el jugo corroe la



**Figura 2.4 Representación esquemática del conductor intermedio con chute Donelli**

lámina A36 del piso, el bagazo va limpiando el material oxidado repitiéndose el proceso una y otra vez.. Esto hace que el desgaste sea mas acelerado en los primeros conductores como se indica en la tabla 2

TABLA 2

**Desgaste de los conductores intermedios según las toneladas  
de caña molida**

COND.	ESPELOR PISO INICIAL ( mm )	MANT TCM x 10 <sup>3</sup>	ESPELOR PISO TRABAJADO ( mm )	DESGASTE ( mm ) C/10 <sup>5</sup> TCM
1	12	850	4	0.94
2	12	1000	4	0.73
3	12	1.400	6	0.40
4	12	3.000	5	0.23
5	12	3.000	6	0.20

Sí consideramos que las toneladas de caña molida durante la zafra es de aproximadamente 1'400.000 TC , significa que los pisos de los conductores 1 y 2 deben cambiarse en la zafra.

Esto llevó a buscar nuevos materiales para reducir el mantenimiento durante la zafra , considerando que la combinación de los efectos corrosivo-abrasivo son los principales causantes del desgaste se procedió a cubrir los pisos con una lámina de acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor, y el resultado fue que a pesar de haber molido 5'000.000 TC, los conductores siguen operativos .

### 2.2.4 Diagramas de fuerzas

Sí consideramos que en un molino de tres masas, el bagazo entra a través de dos masas: superior y cañera y sale de él a través de dos masas: superior y bagacera, por lo tanto podemos analizar las fuerzas ( 5 ) que intervienen sobre un colchón de bagazo que pasa a través de un sistema de dos masas.

Sí un volumen de caña ó bagazo finamente dividido pasa a través de dos rodillos y sí consideramos que el jugo y el bagazo son incompresibles, la reducción del volumen será igual al volumen del jugo expresado por la unidad de tiempo figura 2.5

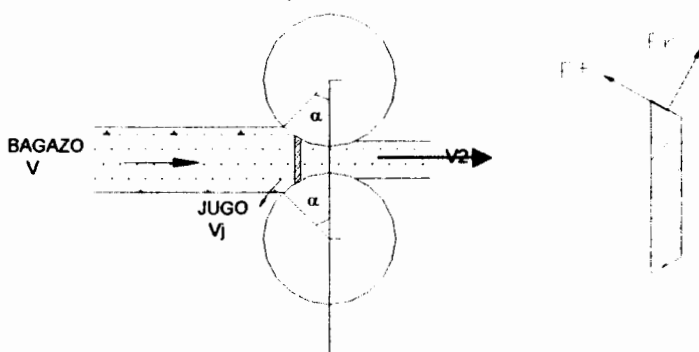


Figura 2.5 Sistema de dos masas

Volumen de caña = volumen de jugo + Volumen de bagazo

$$V = V_j + V_2 \quad (2.1)$$

Investigaciones sobre la permeabilidad de la caña preparada ó bagazo han demostrado que ella decrece marcadamente con el radio de compresión, así es razonable asumir despreciable flujo de jugo a través del bagazo para aberturas mínimas en el plano axial como se indica en la figura 2.5, y el sistema puede ser considerado como de masa constante.

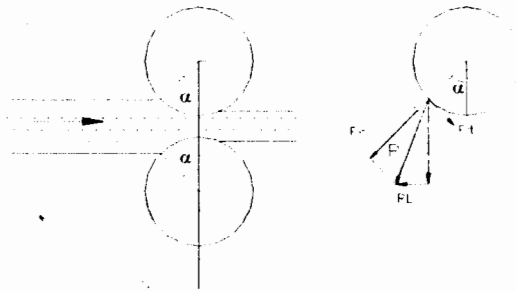
Asumiendo que en condiciones estables, el contacto límite ocurre entre el colchón de bagazo y la masa según el ángulo  $\alpha$ . Sobre un elemento diferencial del colchón de bagazo tendremos el siguiente diagrama de composición de fuerzas :

Fr. Es la fuerza radial debido a la presión del bagazo sobre la superficie de la masa

Ft. Es la fuerza tangencial debido a la fricción entre el bagazo y la superficie de la masa.



Existiendo otras dos fuerzas que son el peso y la fuerza requerida para vencer la inercia que son despreciables. Si analizamos las fuerzas que actúan sobre la masa tendremos el diagrama de la figura 2.6. Para que ocurra la alimentación del bagazo, la componente RL de la fuerza resultante total R de las fuerzas  $F_r$  y  $F_t$ , en el límite debe ser igual a cero y debemos tener el mismo sentido de movimiento del bagazo entonces :



**Figura 2.6 Diagrama de fuerzas que actúan sobre las masas por acción del paso del bagazo**

$$\operatorname{tg} \alpha = F_t / F_r \quad (2.2)$$

$$\text{y sí } F_t = \mu \cdot F_r \quad (2.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu \quad (2.4)$$

Entonces el ratio de la fuerza tangencial a la fuerza radial tiene un máximo valor igual al coeficiente de fricción entre la caña picada y la superficie de la masa.

Según Hugot ( 4 ) este coeficiente es igual a:

$$\mu = 0.43 - 0.007v \quad ( 2.5 )$$

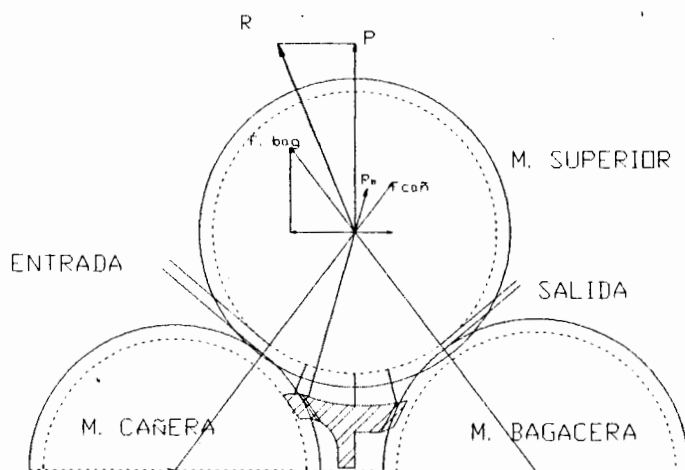
Para poder exprimir el bagazo en el molino debemos evitar que la masa superior se levante por efecto del paso del colchón , aplicando un par de fuerzas P en los extremos como se indica en la figura 2.7, que equilibre las fuerzas analizadas anteriormente. A este par de fuerzas aplicadas , comúnmente se llama presión hidráulica.



**Figura 2.7 Fuerzas aplicadas sobre la masa superior**



En la figura 2.8 se ve la resultante de las fuerzas que obran sobre la masa superior de un molino de tres masas ( 4 ) y están orientadas en el triángulo cuyos vértices son los centros de las tres masas . La fuerza de reacción  $R_b$  corresponde a la cuchilla central, tal como se puede ver en la figura 2.8



**Figura. 2.8 Distribución de fuerzas que actúan en un molino de tres mazas**

La proyección sobre el eje vertical de la resultante  $R$  de las reacciones  $F_{bag}$  ,  $F_{cañ}$  y  $R_b$  deben ser igual a  $P$ , esta componente vertical  $Y$  es de mayor magnitud que la componente horizontal  $X$  . ello se debe al ajuste mas pequeño que existe a la salida del molino Las fuerzas verticales  $Y$ , son variables en la medida que cambia el colchón de bagazo, son contrarrestadas por las fuerzas aplicadas  $P$

a través de los pistones hidráulicos ubicados sobre los cojinetes de las masas superiores , para evitar que se levante. Además la fuerza de reacción de la cuchilla absorbe aproximadamente el 20 % de la fuerza total

### **2.3 Desgaste de la cuchilla central**

El desgaste que produce el bagazo se debe a una combinación de los mecanismos de corrosión y abrasión, varía dependiendo de las condiciones en que se encuentra en las diferentes etapas de la molienda como se indica en la tabla 3

Así podemos ver que el desgaste producido en los conductores de calderas es abrasivo distinto al que se produce en los conductores intermedios de los molinos donde el bagazo además de ser abrasivo es mucho mas corrosivo como se vió anteriormente.

El bagazo que maneja el molino es de características iguales al bagazo de los conductores intermedios pero en cambio al pasar por el interior del molino, está sometido a fuerzas de compresión , para romper las fibras y extraer el jugo , produciendo un desgaste mayor en las superficies de contacto de las masas y de la cuchilla central

TABLA 3

**Cuadro comparativo de mecanismos de desgastes en diferentes medios**

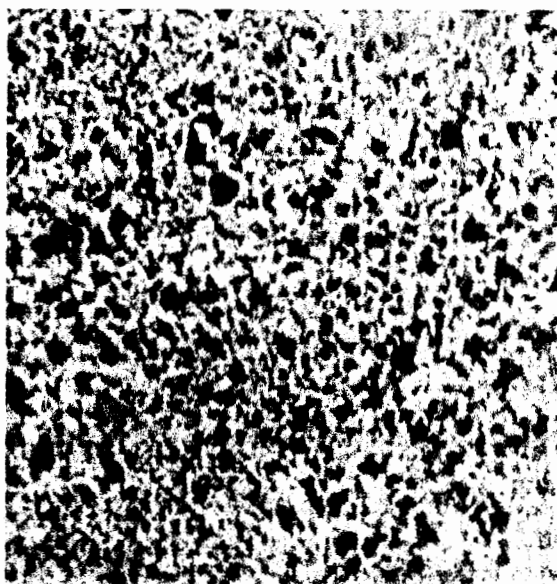
AREA	MECANISMO DE DESGASTE	COMPOSICIÓN DEL BAGAZO	MATERIAL
MOLINOS	abrasivo de alto esfuerzo-corrosivo ↑	Fibra-constante jugo brix-alto Humedad-alta	cuchillas de acero SAE 1040 normalizado
CONDUCTORES INTERMEDIOS DE MOLINOS	Abrasivo-corrosivo ↑	Fibra-constante jugo brix-alto Humedad-alta	Plancha de acero A-36
CONDUCTORES DE BAGAZO DE CALDERAS	Abrasivo-Corrosivo ↓	Fibra-constante agua- bajo brix-bajo Humedad-baja	Plancha de acero A-36

En la tabla 4 se ha registrado la composición química del material que se ha utilizado en la construcción de las cuchillas centrales , y en la figura 2.9 se presenta su microestructura .

**TABLA 4**

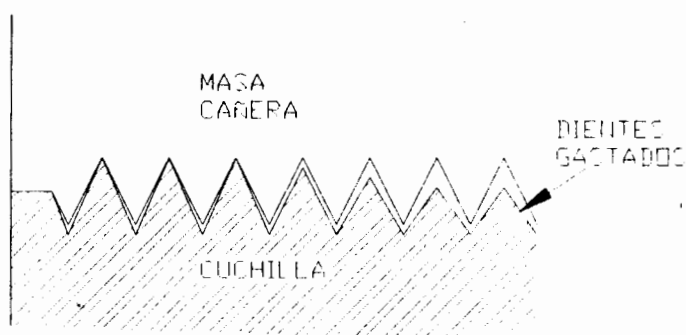
Composición química del material de la cuchilla central

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu
%	0.41	0.83	0.60	0.20	0.20	1.17	0.07



**Figura 2.9** Microestructura correspondiente a un acero normalizado con una matriz ferrítica zona blanca, con carburos de cromo

El mayor desgaste de la cuchilla se produce en el centro, en el ranurado de los dientes que limpian la masa cañera figura 2.10, esto ocasiona que la masa se embagase obstruyéndose los canales por donde drena el jugo a la entrada del molino, perdiendo eficiencia en la extracción



**Figura. 2.10 Esquema del desgaste producido en los dientes de la cuchilla**

Al arrimarse la cuchilla a la masa cañera y limpiar sus dientes, se produce rozamiento entre estos dos elementos. En la actualidad es normal cubrir las masas con soldadura dura para disminuir los desgastes, siendo una manera de disminuir la fricción controlar el ajuste de la cuchilla contra la masa cañera.

Para poder mantener el molino en operación se tuvo que implementar un programa de mantenimiento durante la zafra, registrado en la tabla 5. El mantenimiento consistía en rellenar los dientes con electrodos 7018 recuperando su forma

**TABLA 5**

**Mantenimiento de cuchillas centrales con  
electrodos 7018**



CIB-ESPOL

CUCHILLAS CENTRALES				
POSICION MOLINO	PASO mm	1er. MANT. TCM	MANT. C/TCM	CAMBIO TCM
1M	80	850.000	180.000	1'400.000
2M	80	850.000	180.000	1'400.000
3M	50	500.000	120.000	1'400.000
4M	50	500.000	120.000	1'400.000
5M	50	200.000	60.000	350.000
6M	50			480.000

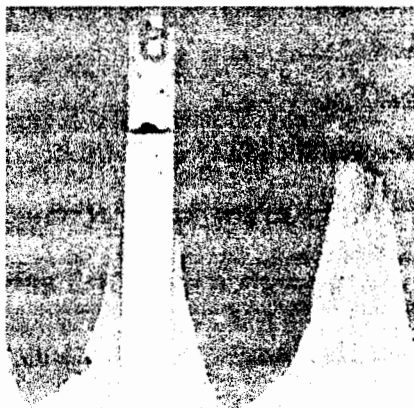


CIB-ESPOL

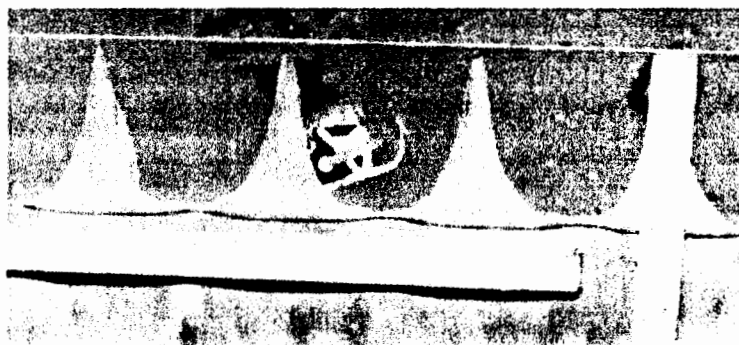


CIB-ESPOL

En las figuras 2.11 y 2.12 se presenta el desgaste de los dientes de las cuchillas centrales de los dos primeros molinos ,paso 80 mm, después de moler 1'400.000 TC con mantenimiento



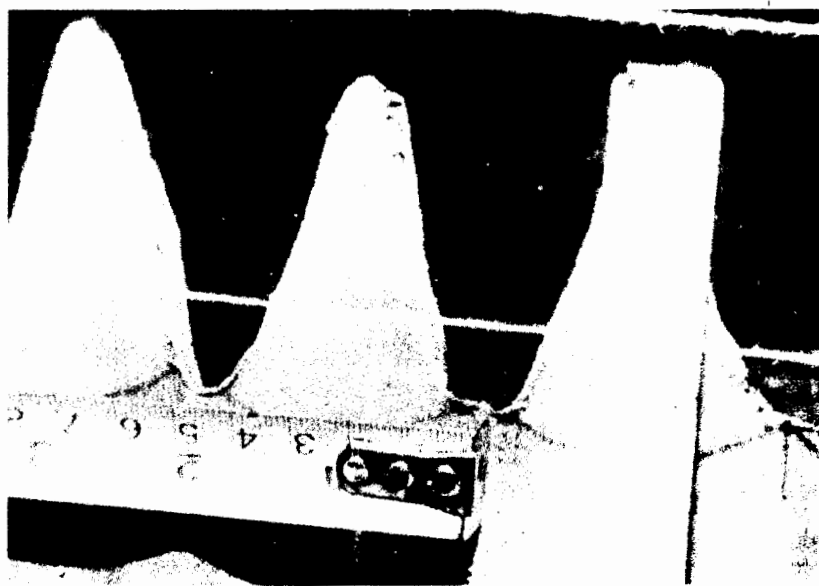
**Figura 2.11 Diente de cuchilla central paso 80 mm del 1M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento**



**Figura 2.12 Diente de cuchilla central paso 80 mm del 2M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento**

Según la tabla 5 las cuchillas de los dos primeros molinos tienen mayor vida útil que los últimos cuatro molinos, esto se debe al mayor tamaño de los dientes, si comparamos con los dientes nuevos de la figura 1.16 podemos observar que están totalmente desgastados .

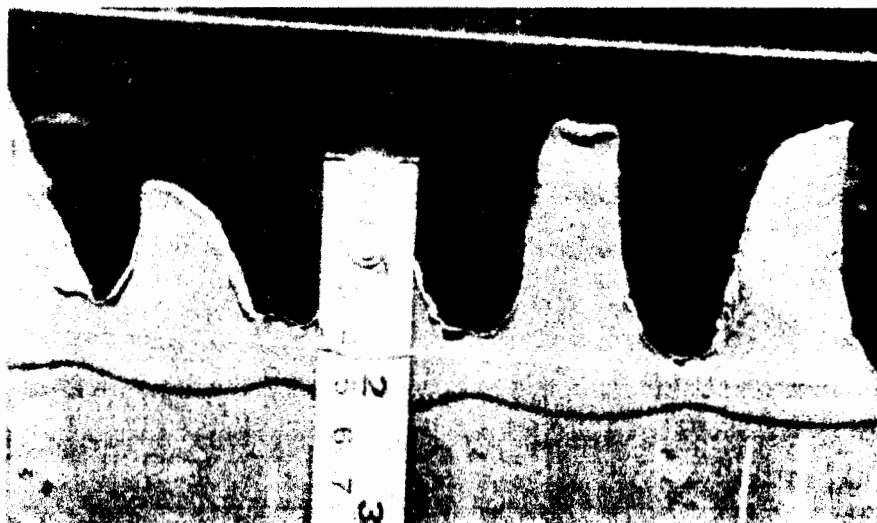
En las figuras 2.13 y 2.14 se ilustran los dientes desgastados de los molinos 3 y 4 , comparándolos con los desgastes de los dientes del sexto molino de la figura 2.15 , que no han recibido mantenimiento a pesar de haber trabajado una molienda tres veces inferior ,estos últimos están totalmente acabados .



**Figura 2.13 Diente de cuchilla central, paso 50 mm del 3M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento**



Además en los dientes de la cuchilla del sexto molino se observa que unos dientes están mas cortos que otros, esto hace que no limpie bién el bagazo que se adhiere en los fondos de los dientes de la masa cañera como se había anotado anteriormente .



**Figura 2.14 Diente de cuchilla central del 4M , después de Moler 1'400.000 TC, con mantenimiento**



**Figura 2.15 Diente de cuchilla central del 6M, después de moier 480.000 TC, sin mantenimiento**

El mantenimiento con soldadura 7018 permitía recuperar la forma del diente pero el desgaste producido a lo largo de la superficie de trabajo de la cuchilla no era posible, perdiendo el diseño de su perfil original. El mantenimiento de las cuchilla representaba un tiempo de parada de 8 horas, por lo que había que programar semanalmente soldar de dos a tres cuchillas.

Para revisar el procedimiento de la recuperación de los dientes de las cuchillas durante la zafra, se simuló el proceso de soldadura utilizando probetas de acero con la siguiente composición química :

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo
%	0.42	0.30	0.80	1.1	0.20

Se realizaron dos ensayos de soldadura con 7018, uno dejándolo enfriar lentamente y otro al aire, controlando su temperatura de calentamiento, manteniéndola en un rango de 200 a 400 °C .

Se tomaron pruebas de dureza del cordón de soldadura obteniéndose los resultados tabulados en la tabla 6 y se han

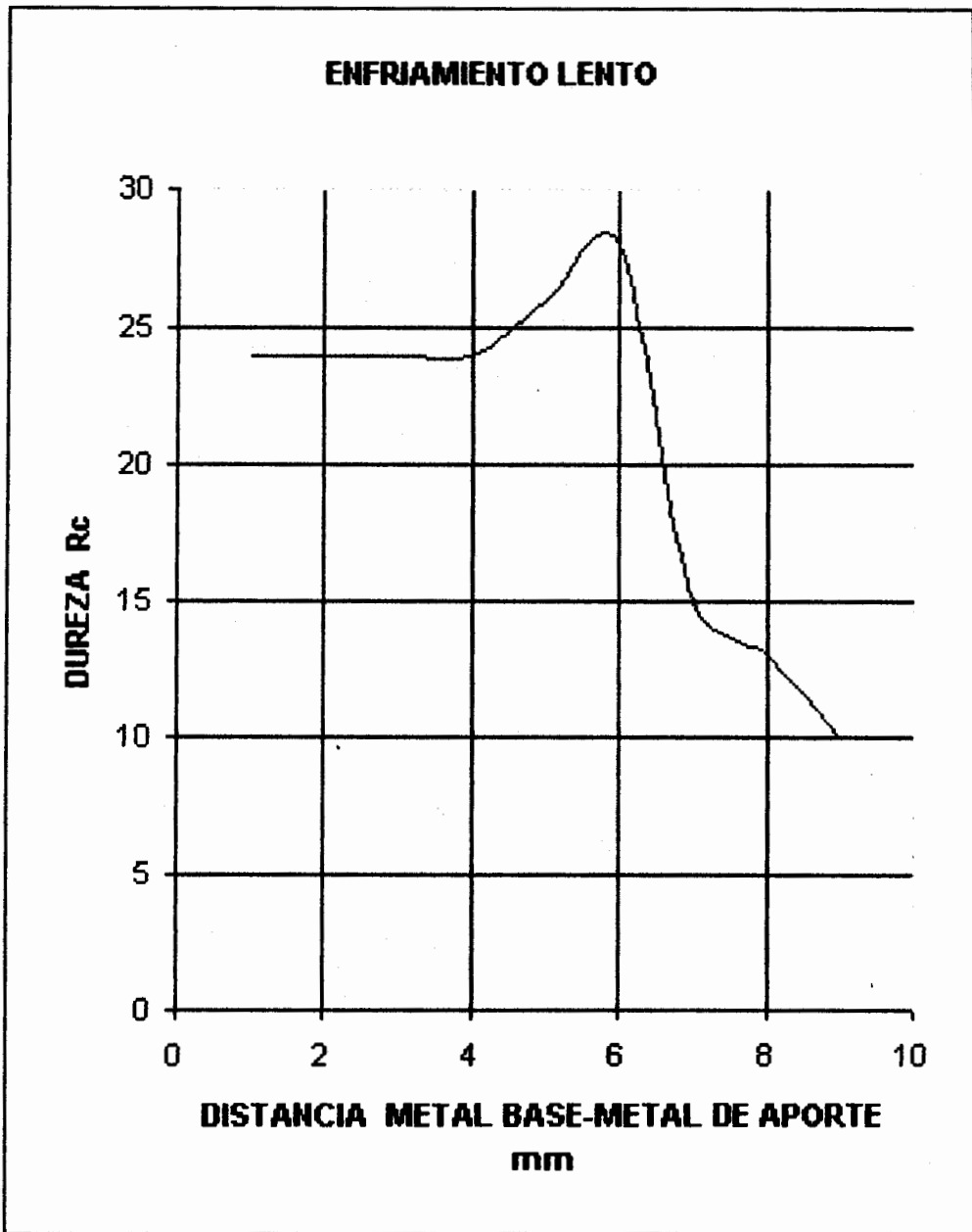


graficado en las figuras 2.16 y 2.17. En la figura 2.18 se presenta la microestructura del depósito de soldadura 7018 .

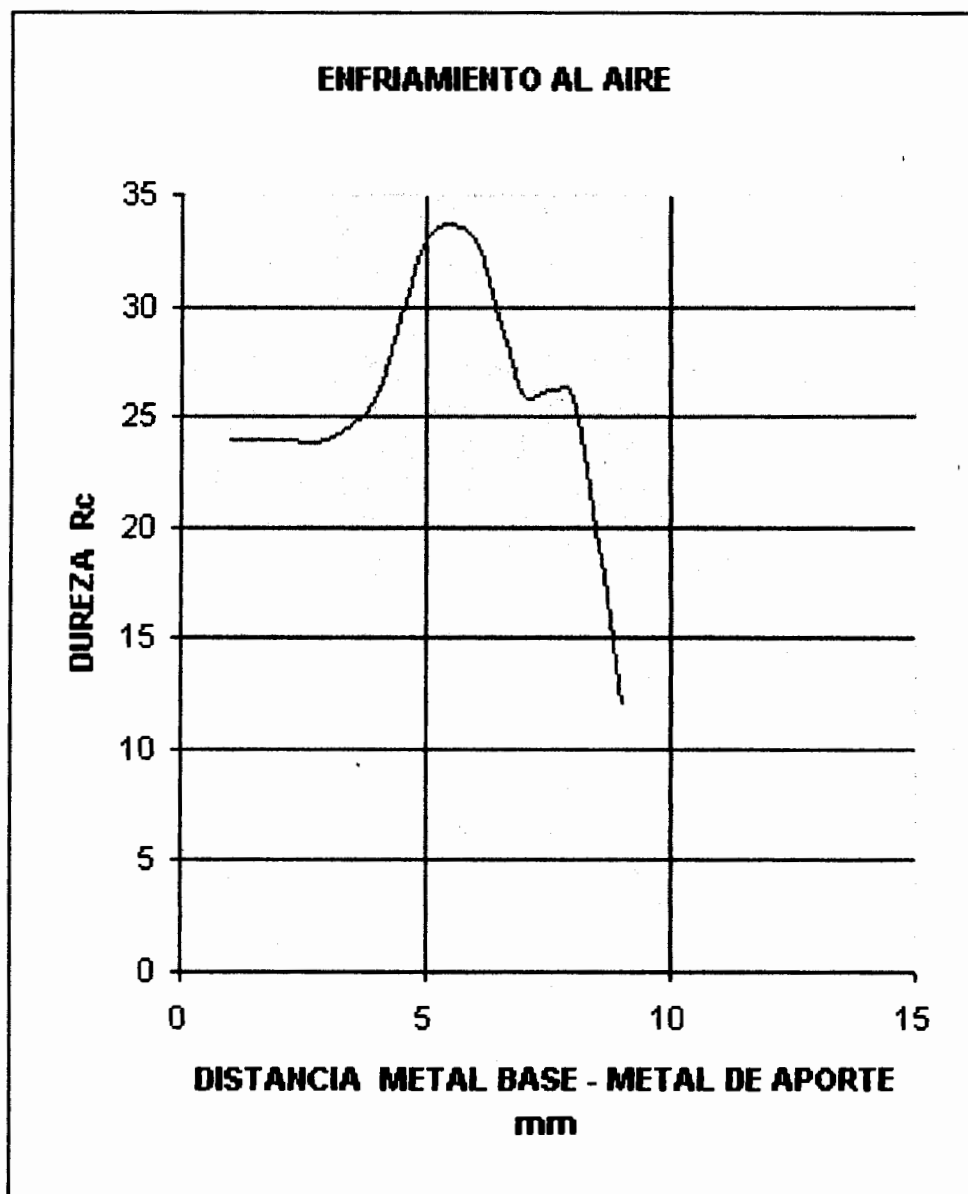
**TABLA 6**

**Dureza Rockwell C promedio en probetas soldadas  
con electrodos 7018**

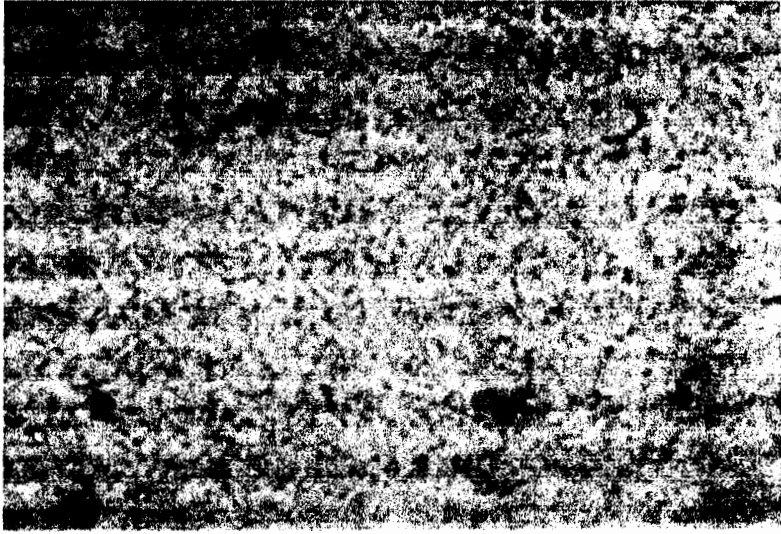
	PROBETA 1	PROBETA 2
Tipo de enfriamiento	Lento	Al aire
Metal Base	24	24
Zona afectada por el calor	28	33
M. de Aporte	10	10



**Figura 2.16** Curva del comportamiento de la dureza en el proceso con soldadura 7018 con enfriamiento lento



**Figura 2.17** Curva del comportamiento de la dureza en el proceso con soldadura 7018 con enfriamiento al aire



**Figura 2.18 Microestructura correspondiente al cordón de soldadura con electrodos 7018**



Otro problema de desgaste se presenta en la parte superior de la cuchilla formando canales haciendo perder espesor, cambiando de posición con respecto a la masa superior y cambiando la forma de su perfil, esto permite que el molino no funcione adecuadamente produciendo atascamientos.

Así se ha podido establecer que una cuchilla de este material tiene diferente comportamiento dependiendo de la ubicación del molino debido a la preparación del bagazo y a la acidez del jugo, porque cada molino además de ir extrayendo el jugo del bagazo también lo



va preparando o desmenuzando, debido a que sus entradas y salidas van siendo mas pequeñas en la medida como avanza el bagazo en el sentido de la molienda ,como se indica en la tabla 7.

**TABLA 7**

**Medidas de entradas y salidas de los molinos para una razón de molienda de 430 TCH**



	1M (mm)	2M (mm)	3M (mm)	4M (mm)	5M (mm)	6M (mm)
E	84	68	58	49	46	42
S	43	34	29	26	22	18

En la tabla 8 y 9 se han registrado las características mas importantes del montaje de las cuchillas al iniciar y terminar la zafra para una molienda de 1'400.000 TC.

En las figuras 2.19 hasta 2.24 se ha graficado los perfiles de las cuchillas de los seis molinos con que iniciaron y terminaron la zafra sin mantenimiento, donde se observa que están totalmente desubicadas con respecto a la masa superior.



**CIB-ESPOL**



**CIB-ESPOL**



**CIB-ESPOL**

TABLA 8

**Medidas en mm de las características principales de la ubicación de las cuchillas centrales en el molino al iniciar zafra, para una razón de molienda de 430TCH**

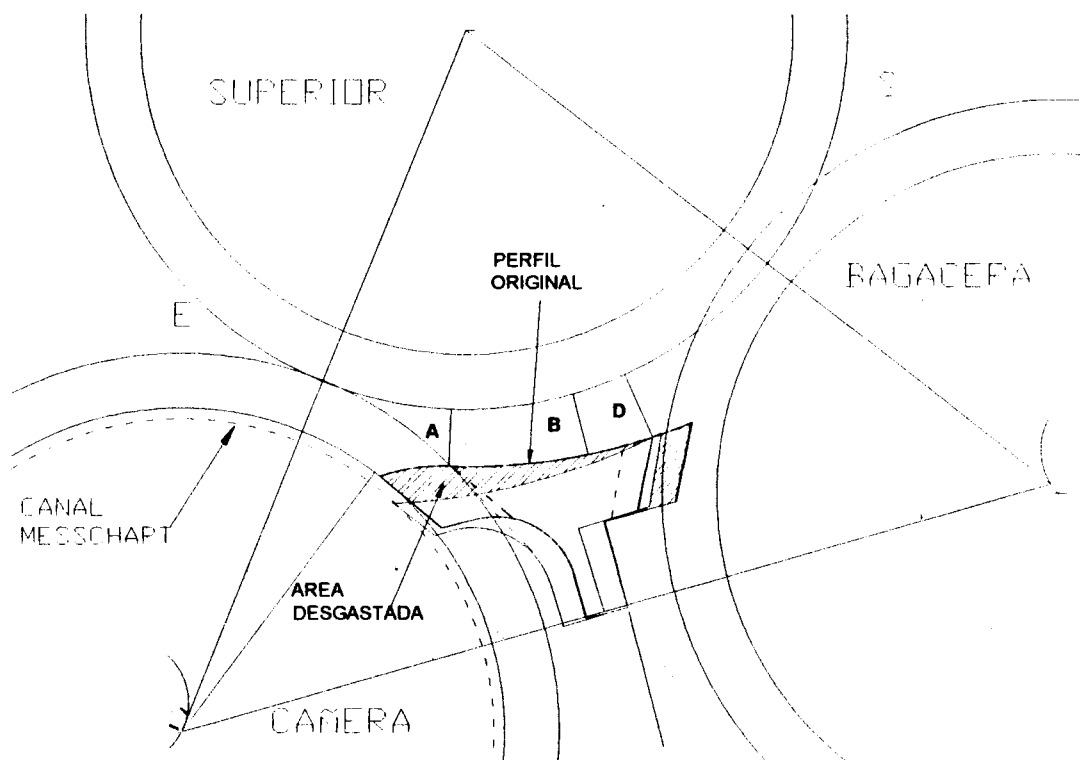
MOLINO	A	B	D
1	80	91	102
2	74	82	93
3	66	77	87
4	55	65	73
5	48	58	71
6	46	54	67

TABLA 9

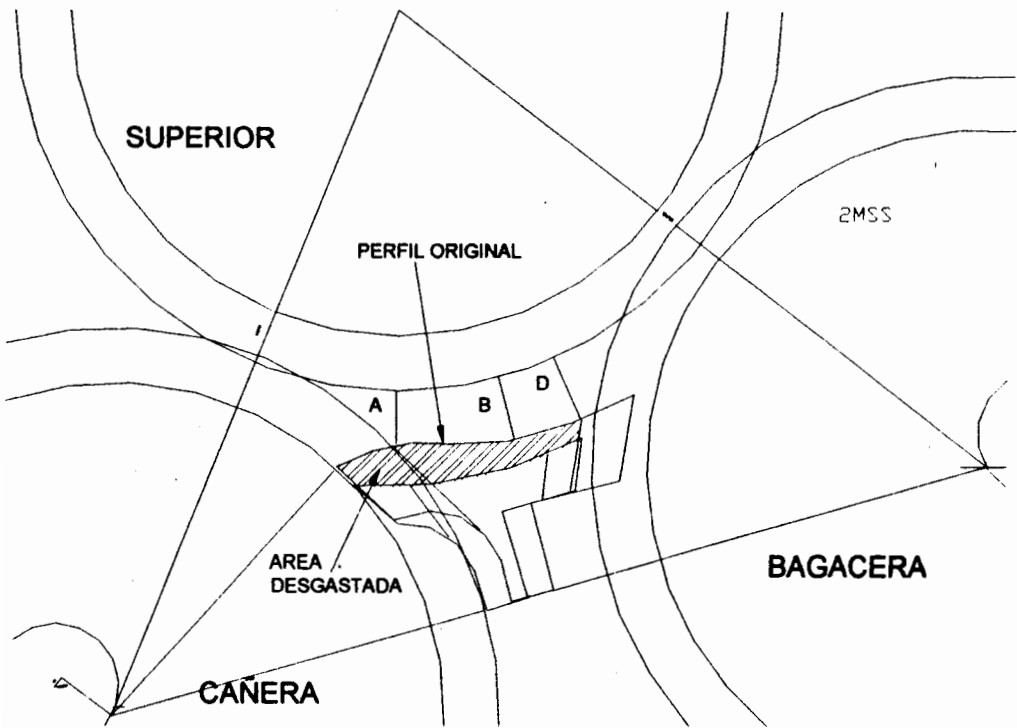
**Medidas en mm de las características principales de la ubicación de las cuchillas centrales en el molino al terminar zafra, para una razón de molienda de 430TCH**

MOLINO	A	B	D	TCM
1	120	107	100	1'400.000
2	114	111	99	1'400.000
3	111	104	100	1'400.000
4	95	96	105	1'400.000
5	73	63	61	350.000
6	82	65	45	500.000

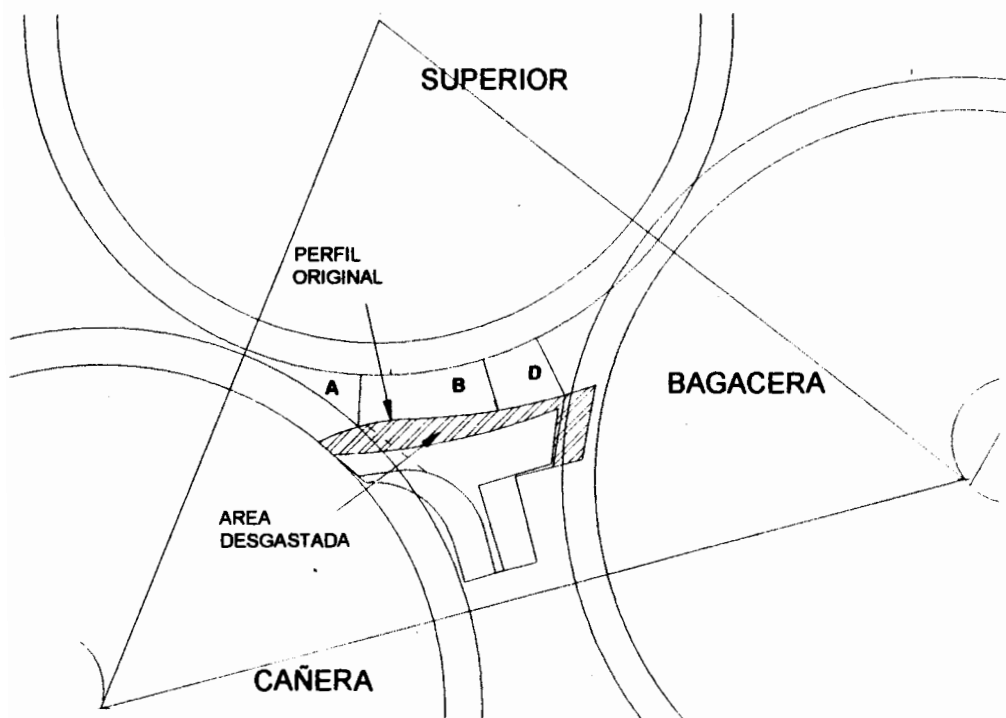




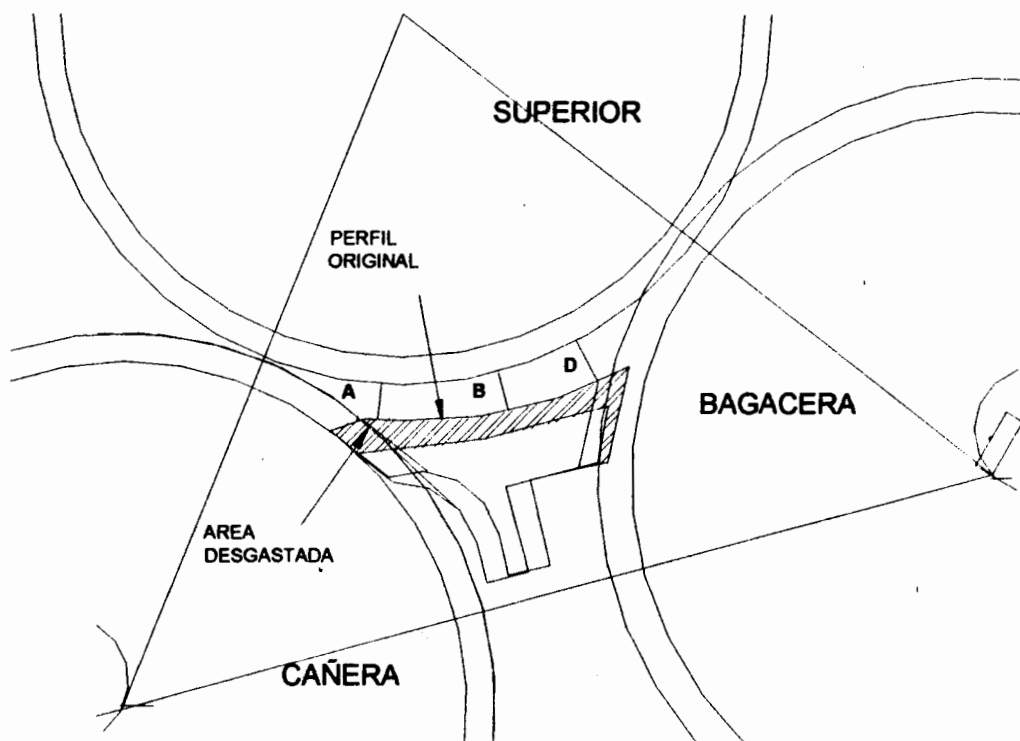
**Figura 2.19 Trazo del perfil de cuchilla central del primer molino para una molienda de 1'400.000 TC , con mantenimiento**



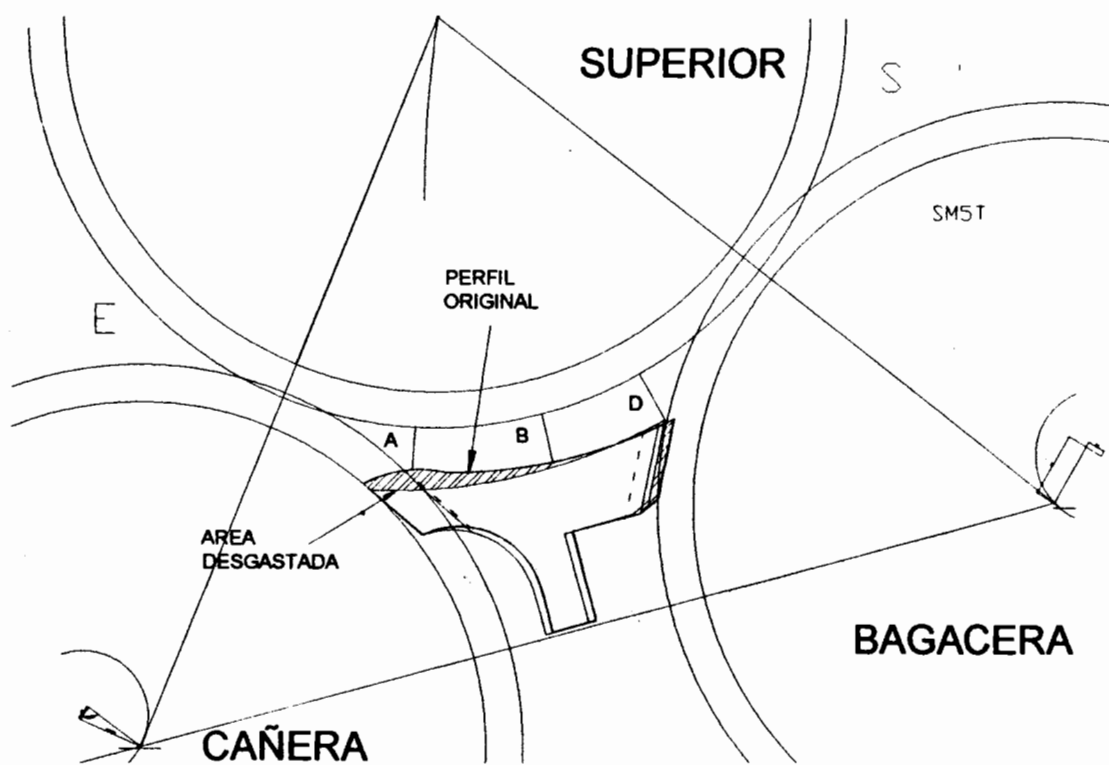
**Figura 2.20 Trazo del perfil de cuchilla central del segundo molino para una molienda de 1'400.000 TC , con mantenimiento**



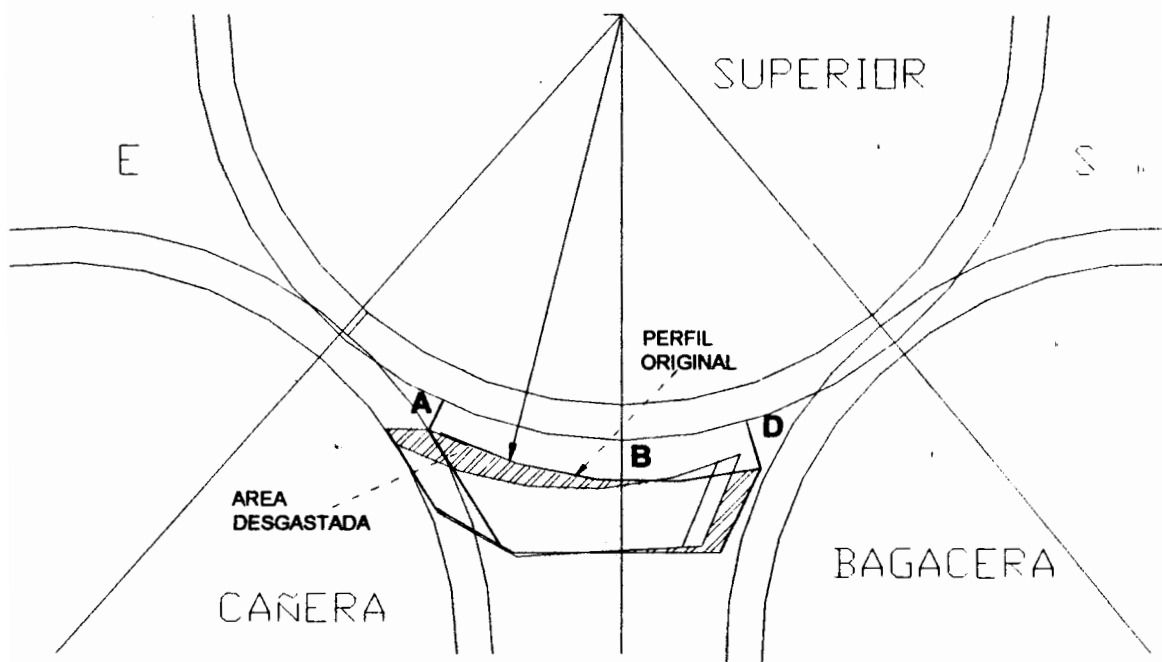
**Figura 2.21 Trazo del perfil de cuchilla central del tercer molino para una molienda de 1'400.000 TC , con mantenimiento**



**Figura 2.22 Trazo del perfil de cuchilla central del cuarto  
molino para una molenda de 1'400.000 TC ,  
con mantenimiento**



**Figura 2.23 Trazo del perfil de cuchilla central del quinto  
molino para una molienda de 350.000 TC ,  
con mantenimiento**

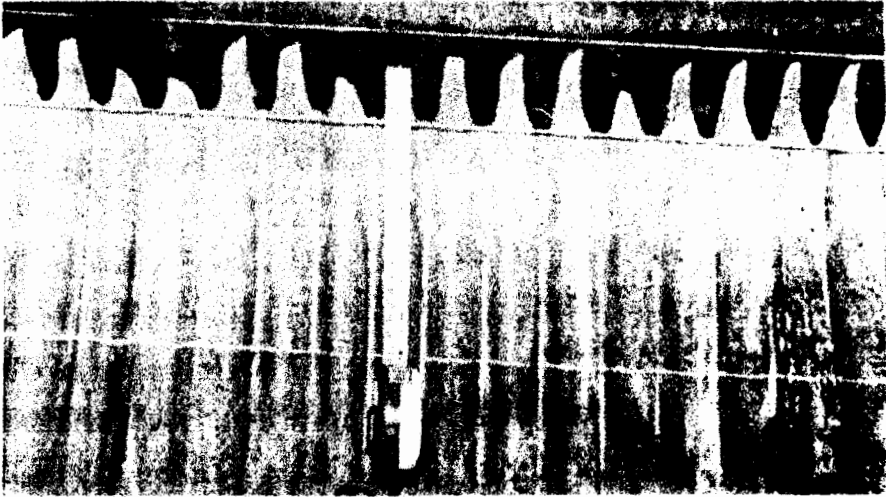


**Figura 2.24 Trazo del perfil de cuchilla central del sexto  
molino para una molienda de 480.000 TC ,  
sin mantenimiento**

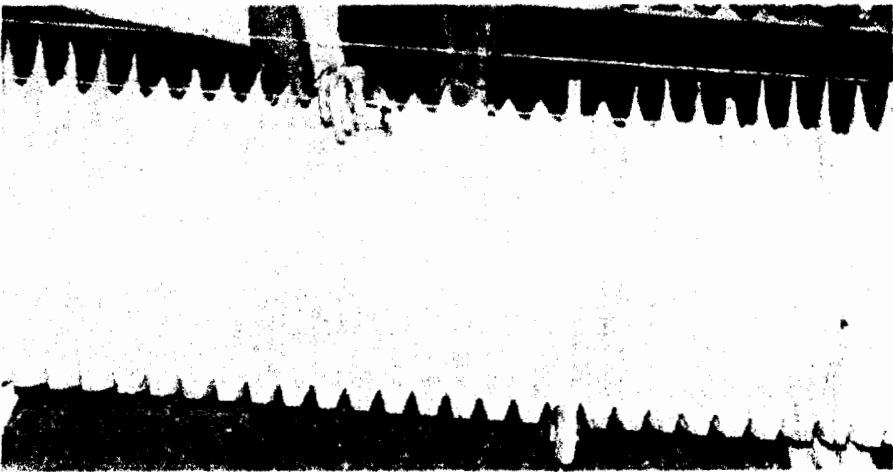
La superficie de la cuchilla no se desgasta uniformemente ( 4 ), generalmente se forman canales, porque cuando el bagazo es comprimido y estrechamente canalizado por las ranuras de las mazas de entrada tiende a repartirse uniformemente, distribuyéndose del centro a las extremidades, por esta razón se provoca un desgaste mas fuerte en el centro sentido de la marcha del bagazo.

Cuando los cilindros de entrada y salida están desgastados en el centro, el colchón de bagazo se hace mas grueso en el centro y los canales se acentúan en la cuchilla y la carga en los molinos es siempre mas fuerte en el centro que en las extremidades

Las figuras 2.25 y 2.26 corresponden a las cuchillas centrales trabajadas, de los molinos 4 y 6 donde se ven los efectos del desgaste, formándose canales a lo largo de la superficie de trabajo de la cuchilla, y en las figuras 2.27 y 2.28 se observa los desgastes producidos en los dientes centrales con respecto a los extremos. Además en la tabla 10 se ha registrado la pérdida de peso de las cuchillas al terminar la zafra con respecto a las TCM.



**Figura 2.25** Vista general de la cuchilla del 4M después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento



**Figura 2.26** Vista general de la cuchilla del 6M después de Moler 480.000 TC, sin mantenimiento





**Figura 2.27** Desgaste de los dientes del centro de la cuchilla del 3M con respecto a los extremos, después de moler 1'400.000 TC, con mantenimiento



**Figura 2.28** Desgaste de los dientes del centro de la cuchilla del 6M con respecto a los extremos después de moler 480.000 TC, con mantenimiento

TABLA 10

**PERDIDA DE PESO POR DESGASTE DE LAS CUCHILLAS  
CENTRALES PARA UNA MOLIENDA DE 430 TCH SIN  
RECUBRIMIENTOS**

MOLINO	TCM	PESO INICIAL Kg	PESO FINAL Kg	PERDIDA DE PESO Kg
1	1'400.000	650	440	210
2	1'400.000	610	380	330
3	1'400.000	580	470	110
4	1'400.000	570	440	130
5	350.000	640	470	170
6	480.000	790	620	170

# **CAPITULO 3**

## **3. PROCESO DE APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS**

### **DUROS - PROTECTORES EN LAS CUCHILLAS CENTRALES POR ARCO ELECTRICO - ELECTRODO REVESTIDO**

#### **3.1 Generalidades**

Los recubrimientos duros-protectores, consiste en la aplicación a una pieza de metal, de una capa superficial mas dura y resistente que el metal base u original. Este recubrimiento se aplica por muchas razones: para resistir la corrosión, para protección contra altas temperaturas o cambios bruscos de temperaturas y para resistir el desgaste causado por abrasión, erosión, fricción o impacto ( 8 )

Algunas de las ventajas de este tipo de recubrimiento son:

1. Se pueden usar metales mas baratos y mas suaves como metal base y aplicarles una superficie dura.

2. Debido a las cualidades de mayor resistencia al desgaste del material para recubrimiento, las piezas de un equipo durarán mas tiempo.

3 Se pueden restaurar muchas piezas de equipos sin necesidad de desmontarlas.

Se pueden usar procedimientos de soldadura como arco de carbón, oxiacetileno, soldadura de arco manual, semiautomática ó automática, aplicación por aspersion de polvos.

En este estudio nos referiremos al procedimiento de aplicación de soldadura por arco eléctrico manual – electrodo revestido, en este proceso el revestimiento protector se proporciona en forma de electrodo cubierto con un fundente, donde la capa fundente tiene la finalidad de:

- Reducir las pérdidas por salpicadura
- Asegurar una buena penetración
- Reducir la oxidación del metal depositado
- Ayuda a estabilizar el arco.

El fundente ayuda a llevar el óxido producido por la flama a la superficie de manera que no se quede para contaminar el revestimiento protector.

Los depósitos por arco son ásperos y lo mas probables es que sean porosos; tienden a desarrollar la presencia de fisuras debido a los agudos gradientes de temperatura causados por el rápido calentamiento y enfriamiento..

El proceso por arco eléctrico deposita la aleación con tanta rapidez que el calor no alcanza a penetrar profundamente. Debido a que el arco es intenso, solo la superficie del metal base se lleva a la temperatura de fusión, lo cual evita la mezcla de la aleación con demasiado metal base, y que de ese modo cambie las propiedades del revestimiento y del metal base.

El material de revestimiento protector se funde y se esparce sobre el metal base y lo liga a el para formar una superficie nueva , muchas veces se puede necesitar mas de dos capas para obtener el revestimiento duro-protector no diluido.

### 3.2 Clasificación de recubrimientos duros-protectores

Hay diferentes tipos de materiales duros-protectores ( 14 ), muchos de ellos tienen una base de hierro, níquel, cobre, o cobalto. Además tienen elementos auxiliares como carbono, cromo, molibdeno, tungsteno, silicio, manganeso, nitrógeno, niobio, vanadio y titanio.

Los elementos aleantes forman carburos duros que contribuyen a las propiedades de la matriz , la tendencia a formar carburos es obvia solo cuando hay gran cantidad de carbono, así un alto porcentaje de tungsteno ó cromo con un alto contenido de carbono formaran cristales de carburo muy duros.

La soldadura por arco – electrodo revestido normalmente se clasifican en cinco grupos como sigue: resistente a severo impacto, resistente a abrasión muy severa, resistente a corrosión y abrasión a alta temperatura, resistente a abrasión severa con moderado impacto, resistente a abrasión con moderado impacto pesado

**Resistente a severo impacto:** estos electrodos son adecuados para trabajar sobre aceros al manganeso, contienen elementos aleantes en el alambre o en el recubrimiento. Los depósitos de estos



electrodos no son duros pero sí muy tenaces, ellos están frecuentemente clasificados como autoendurecibles, porque la superficie depositada se endurece tal como está, aunque la superficie exterior es dura el material bajo ella sigue siendo blando.

Los electrodos de aceros inoxidable son frecuentemente usados para recubrir partes que deben resistir fuerzas de impacto sin fisurarse, estos materiales ofrecen menos resistencia a la abrasión en la condición de material depositado,

**Resistente a la abrasión muy severa :** los electrodos de este grupo son los de carburo de tungsteno y carburos de cromo . Estos electrodos depositan un material muy duro resistente a la abrasión. No son adecuados para desgaste por impacto, el material que depositan se astilla o fisura cuando están sujetas a choque.

Los electrodos de tungsteno tienen pequeños cristales de carburos de tungsteno que son muy duros .Los electrodos de carburo de cromo son menos duros y menos resistentes a la abrasión que los carburos de tungsteno pero son mas resistentes, muchos de ellos no son afectados por el tratamiento térmico y son duros al ser maquinado

**Resistencia a corrosión y abrasión a alta temperatura:**

electrodos con aleaciones a base de cobalto son capaces de resistir temperaturas de 1200 °F ó mas y son usados en una gran cantidad de casos donde el desgaste sobre las superficies ocurre a alta temperatura particularmente cuando metal con metal están en contacto.



CIB-ESPOL

Aleaciones a base de níquel también son efectivas para recubrir superficies que están sujetas a corrosión y oxidación a alta temperatura. Para recubrir partes resistentes a la corrosión que no son usadas a elevadas temperaturas se recomienda algunas veces aleaciones a base de cobre.

**Resistencia a abrasión severa con moderado impacto:** las

aleaciones usadas para esta combinación de desgaste son tipos de carbón-cromo, principalmente donde se requieren durezas de 54-65

Rc. Estas aleaciones son excelentes para aplicaciones que

involucran movimiento, corte o manipulación de materiales que

deslizan como arena, tierra, grava, cemento, etc. los equipos de

construcción y transporte industrial están sujetos frecuentemente a

una combinación de estos factores de desgaste- abrasión –impacto.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



**Resistencia a la abrasión con moderado impacto pesado:** tiene una gran aplicación en una gran cantidad de equipos industriales como cables , bombas, engranes. Estas aleaciones tienen una base de hierro y pueden ser tratados térmicamente

### **3.3 Recubrimientos duros-protectores en aceros al carbono**

Los aceros al carbono son aquellos que contienen hierro, carbono, manganeso y silicio, son clasificados de acuerdo a su contenido de carbono y se llaman de bajo carbono, de medio carbono y de alto carbono ( 9 ).

**Los aceros de bajo carbono,** son aquellos que contienen hasta 0.30 por ciento de carbono, dentro de este mismo grupo se consideran aceros de muy bajo carbono aquellos que contienen hasta 0.15 por ciento de carbono y son conocidos como acero dulce los que contienen carbono entre 0.15 y 0.30.

Estos aceros son tenaces, dúctiles de fácil maquinado, son fácilmente soldables y pueden presentar algo de martensita cuando su contenido de carbono está en el límite superior y la soldadura es

enfriada rapidamente. Aunque muchas aplicaciones de estos aceros normalmente no necesitan precalentamiento o post-calentamiento, piezas con espesores de 2" ó mas deben precalentarse. En general aceros con 0.25 a 0.30 por ciento de carbono deben ser soldados con electrodos de bajo hidrógeno

**Aceros de medio carbono**, tienen un contenido de carbono que esta entre 0.30 y 0.45 por ciento, por su mayor contenido de carbono pueden ser tratados térmicamente.

Los aceros de este grupo son fuertes, duros pero menos dúctiles que los aceros de bajo carbono. Tienden a endurecerse y volverse frágiles cuando se sueldan seguido de un enfriamiento rápido, la fragilidad puede ser minimizada por precalentamiento entre 400 – 500 °F .

Muy pocos problemas existen en soldaduras , y el precalentamiento y post-calentamiento pueden ser eliminados con electrodos de bajo hidrógeno.

**Aceros de alto carbono**, tienen un contenido de carbono entre 0.45 y 1.70 y responden al tratamiento térmico. Son soldables pero

precalentando y usando técnicas especiales de soldadura , seguido de un tratamiento de alivio de tensiones.

Estos aceros tienen un rápido crecimiento de grano en el área de soldadura y pueden perder tenacidad, resistencia y ductilidad.. Los aceros con un contenido de carbono mayor de 0.75 por ciento, raramente son soldados porque el tiempo de soldadura requerida tienden a destruir sus propiedades mecánicas.

Los aceros al carbono son relativamente fáciles de revestir con soldadura de recubrimiento protector, sobre todo para aquellos con menos de 0.35 % Carbono. La aplicación de este tipo de soldadura se hace mas difícil al aumentar el contenido de carbono y los aceros de alto carbono y aleados deben calentarse antes y después de aplicarse el recubrimiento

Una buena regla es emplear la varilla convencional mas grande para el trabajo. Los electrodos grandes permiten un trabajo mas rápido debido a que depositan mas metal, son mas baratos y su estabilidad de arco es con frecuencia mejor. Pero sí el material es sensitivo a las grietas utilice un electrodo de diámetro pequeño, esto reduce el calor que se aplica y el peligro de distorsión.

### **3.4 Selección de recubrimientos .**

De manera general, un recubrimiento duro protector resistente al desgaste puede ser seleccionado con un buen entendimiento de las condiciones de servicio de las piezas de un equipo, porque un recubrimiento resistente a la corrosión puede no ser adecuado para desgaste por impacto

Sí analizamos el servicio requerido de las piezas a proteger, la primera etapa es determinar la clase de aplicación que puede ser por ejemplo: mantener un filo cortante, proteger solamente una superficie ó proteger dos superficies en contacto.

La segunda etapa sería analizar el tipo de desgaste y otras condiciones de servicio que deben ser identificadas y que pueden ser causadas por deformación debido al calor, corrosión química, erosión, abrasión, fricción ó impacto, o por algunas combinaciones de estas.

En muchos casos la aplicación de este tipo de recubrimientos requiere el uso de un simple producto, sin embargo hay otros casos

que se requieren el uso de dos o tres aleaciones para obtener mejores resultados.

Aleaciones resistentes al desgaste y a la abrasión, combinada con resistencia al calor y a la oxidación son las aleaciones a base de : 45-63 % Co ,de 24 – 29 %Cr, de 5.5 – 13.5 % tungsteno y de 1.10 – 3.20 % de carbono. Los carburos de tungsteno son las partículas mas duras y que mejor resisten el desgaste por abrasión de todos los materiales de recubrimiento, seguido por los carburos de cromo como se puede ver en la figura 3.1.

Los carburos de cromo además de ser duros son resistentes a la corrosión y poseen mayor resistencia que los carburos de hierro conocidos como cementita , muchas de las aleaciones de este grupo contienen desde 3.5 hasta 5 % de carbono y de 20 a 30 % de cromo. La adición de tungsteno, molibdeno y vanadio se utilizan algunas veces para incrementar la dureza en caliente y para agregar resistencia a la abrasión.

Los aceros semiausteníticos, son materiales de recubrimientos duros contienen menos del 20% de elementos de aleación y los mas comúnmente usadas poseen de 1 a 2% de carbono, de 5 a 12% de



VALORES DE ABRASION (Pérdidas de peso relativo)

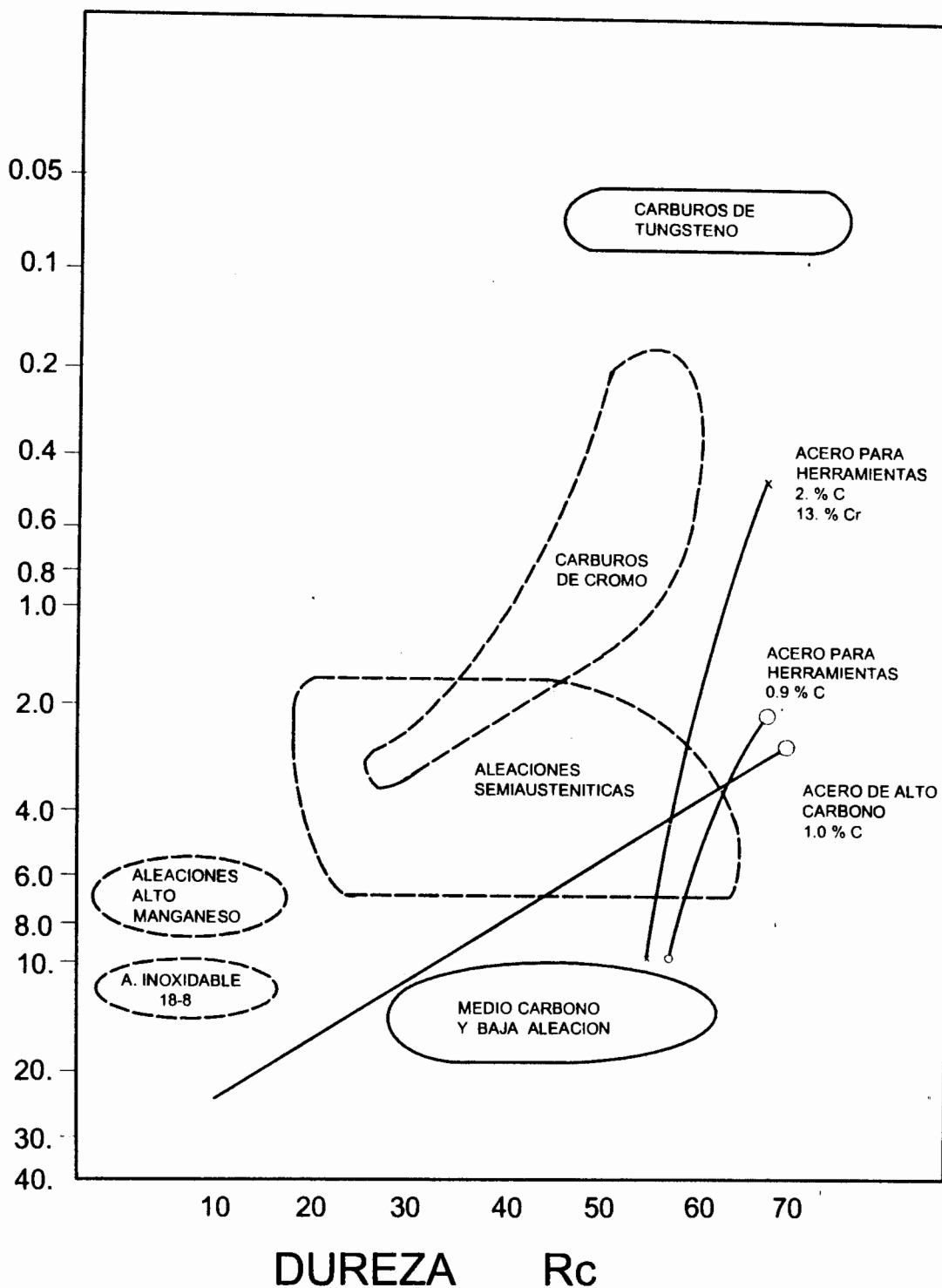


Figura 3.1 Valores de abrasión y dureza de varios depósitos de recubrimientos duros

cromo y pequeñas cantidades de otros elementos. Tienen buena resistencia al desgaste y al impacto. El níquel, cobalto y el cromo son buenos para la corrosión

Los aceros inoxidable austeníticos, son clasificados como recubrimientos duros protectores, su depósito es resistente al impacto bajo condiciones corrosivas. Los aceros inoxidable de Níquel – Cromo son austeníticos a temperatura ambiente, cuando tales aceros son calentados para operaciones de soldar , precipitan carburos de cromo o hierro., cuando el cromo es usado así en unión química con el precipitado de carbono, la austenita remanente es deficiente en cromo, reduciendo la resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidable austeníticos pueden ser estabilizados, contra la precipitación de carburos adicionando elementos conocidos como estabilizadores , tales como columbio y titanio, que tienen una amplia afinidad por el carbón. Los carburos de titanio y columbio tienen alta resistencia a la corrosión. También el niobio es considerado como un elemento estabilizador .

En el caso de este proyecto el objetivo principal es obtener una superficie dura resistente a la abrasión del bagazo y la corrosión del

jugo mediante la aplicación de soldadura por arco- electrodo revestido, teniéndose presente que junto con el bagazo tenemos fierros, arena, tierra, etc. Seleccionando como material base una cuchilla central de acero al carbono SAE 1040, que puesta a trabajar en el molino no satisface las exigencias del trabajo como se hizo notar anteriormente en la sección 2.3

Se procedió a seleccionar soldadura recomendada para esta aplicación, por un solo fabricante por lo costoso que significa realizar estas pruebas, esperando que se hagan posteriores investigaciones sobre esta aplicación para aprovechar sus bondades

Se seleccionaron tres tipos de electrodos, el primer electrodo depositaría una capa de soldadura que ligue con el material de la pieza de trabajo y sirva de base para depositar una segunda capa de aleación mas dura formada por carburos. Aplicando como revestimiento final una capa protectora contra la corrosión con bajo porcentaje de carbono



### **3.5 Procedimiento de aplicación, pruebas de dureza y metalografía de recubrimientos**

Existe una relación estrecha en la soldadura por arco entre : condiciones térmicas , estructura de grano y dureza. Junto al cordón de soldadura depositado se produce una zona afectada por el calor , que muestra una variación de la estructura de grano.

La variación del cambio de esta estructura depende: de la máxima temperatura a la cual el metal está sujeto, de la longitud del tiempo que existe esta temperatura, de la composición del acero y rapidez de enfriamiento. Una rapidez de enfriamiento alta produce alta dureza y menos ductilidad y resistencia.

Algunas veces, el rápido enfriamiento de los aceros particularmente los aceros inoxidables, no dan tiempo a que se produzca todos los cambios del diagrama hierro-carbono, dando como resultado una concentración de solución sólida (austenita) a una temperatura donde normalmente no ocurre, en este evento el carbón cristaliza fuera de la austenita como carburo de hierro.

Cuando se suelda el metal base con un metal de diferente composición, los dos metales se mezclan y se combinan en la soldadura fundida. La cantidad de metal base de la soldadura varía dependiendo del proceso específico de soldar, la rapidez de aplicación del electrodo, la corriente seleccionada, el ancho del cordón, la composición del metal base, el espesor de la pieza a soldar.

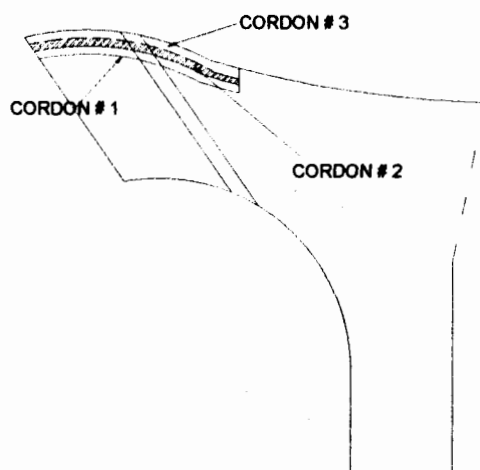
Se puede reducir y controlar las zonas de alta dureza de la zona afectada por el calor por uno de los tres planteamientos básicos ( 8 ):




- Controlando la temperatura de calentamiento del procedimiento de soldadura.
  
- Precalentando el metal base, durante el proceso de Soldadura
  
- Precalentando el metal base, controlando el calentamiento durante el proceso de soldadura y postcalentandolo.

El procedimiento que se seguirá se indica en la figura 3.2 y será el siguiente:

- a. Utilizar procedimientos de soldar para aceros al carbono
- b. Aplicar un electrodo que ligue con el metal base y haga un depósito que mejore sus condiciones de dureza, y a su vez sirva como base para aplicar un segundo cordón de soldadura
- c. Aplicar un segundo cordón de soldadura mucho más dura, a base carburos, que resista las altas fuerzas abrasivas .
- d. Aplicar un tercer cordón de soldadura como recubrimiento final de acero inoxidable con bajo contenido de carbono que contribuya a contrarrestar los efectos producidos por la corrosión .

Preparadas las probetas y soldadas, se procederá a fotografiar las microestructuras que se van formando en la medida que se van realizando los cordones de soldadura para luego hacer pruebas de dureza en la escala Rockwell



-  CORDON #1: CAMADA A
-  CORDON #2: CAMADA B REVESTIMIENTO DURO
-  CORDON #3: CAMADA C REVESTIMIENTO ANTICORROSIVO

**Figura 3.2 Representación esquemática de la aplicación de soldadura**

### **3.5.1 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos DIN 8555 , E 6-60 revest.**

Se realizaron pruebas con probetas de acero SAE 1040 normalizado, similares al material con que se construyen las cuchillas . el procedimiento que se utilizó fue el siguiente:

1. Limpieza de la pieza con diluyente para remover grasa ó pintura .
2. Precalear la pieza con un soplete (oxi-acetileno) hasta tener una temperatura de 100 °C . realizar la limpieza final.
3. Continuar precalentando la pieza hasta alcanzar un rango de temperatura entre 180 a 210 °C, e iniciar la aplicación de soldadura haciendo una base para los próximos cordones controlando las temperaturas con lápiz térmico
4. Controlar que la temperatura no llegue a mas de 300 °C ni que baje de 180 °C. Después de aplicar la capa de base precalentar uniformemente toda la pieza a 300 °C y dejarla enfriar lentamente hasta que se pueda tocar con la mano,

cubriéndola con una manta de lana de vidrio.

Se procedió luego a tomar fotografías de la microestructura de la soldadura y pruebas de microdureza en la escala Rockwell como se muestra en la figura 3.3 Los valores de dureza han sido graficados en la figura 3.4

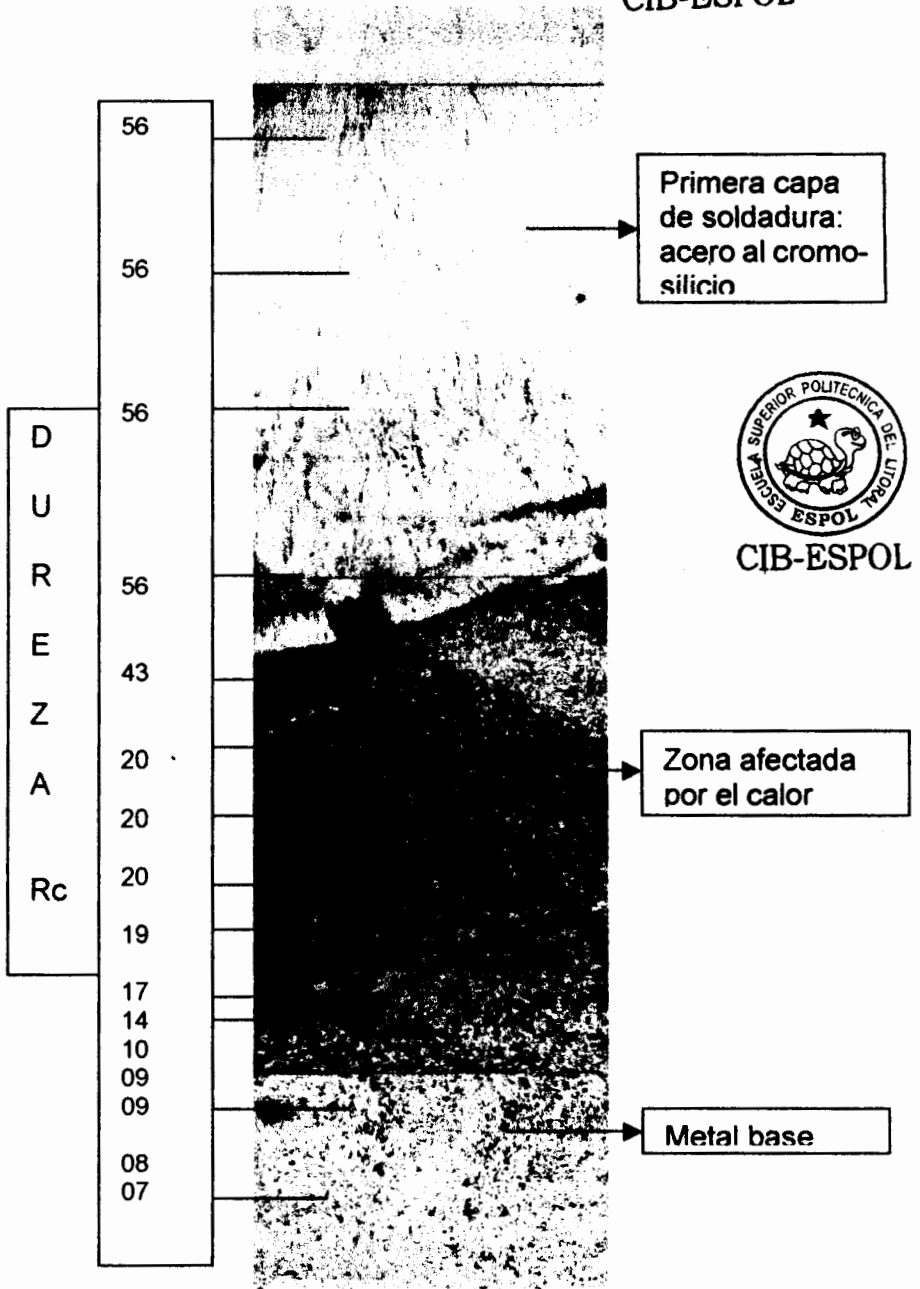
La soldadura utilizada para formar el colchón que liga con el metal base , son electrodos de revestimiento básico para soldaduras de revestimientos duros y tenaces, resistentes al desgaste, teniendo como material depositado un acero aleado al cromo-silicio , cuya composición química es :

C = 0.4%

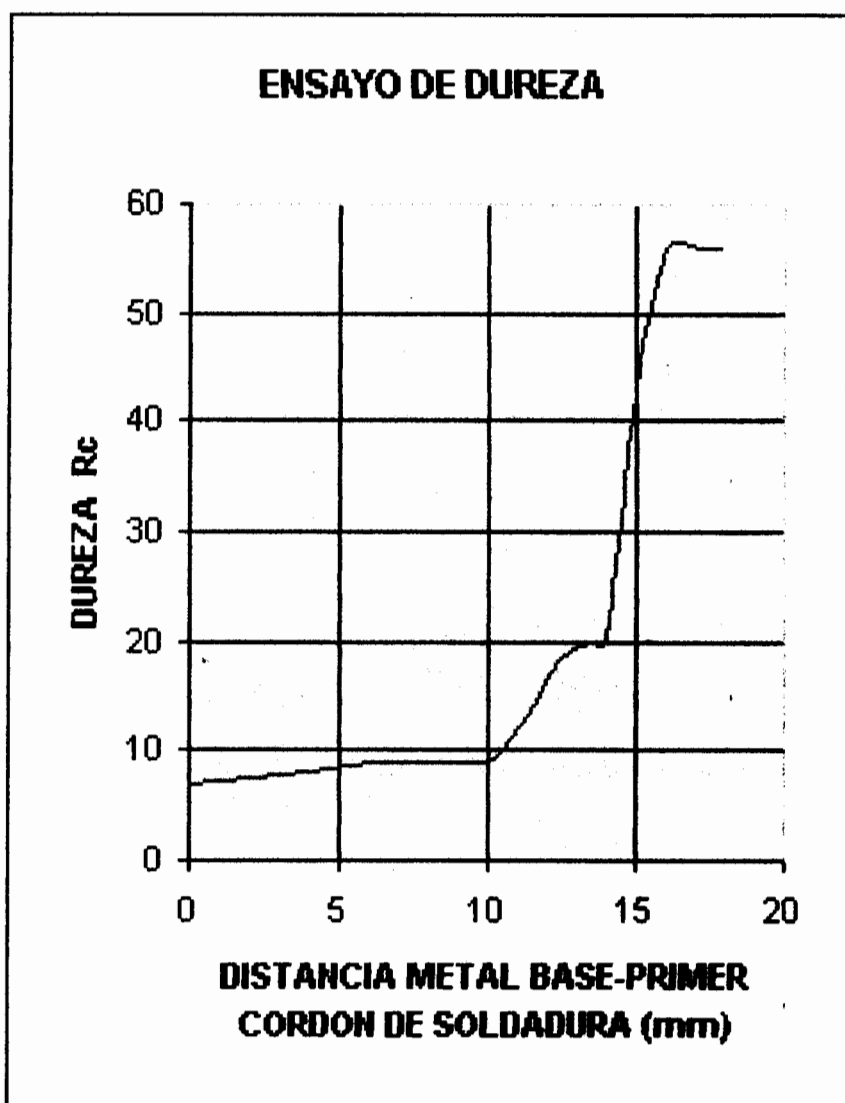
Si = 1.7%

Mn = 0.4%

Cr = 8.0 %



**Figura 3.3** Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer cordón de soldadura de recubrimiento duro protector



**Figura 3.4** Curva de distribución de dureza correspondiente al primer cordón de soldadura



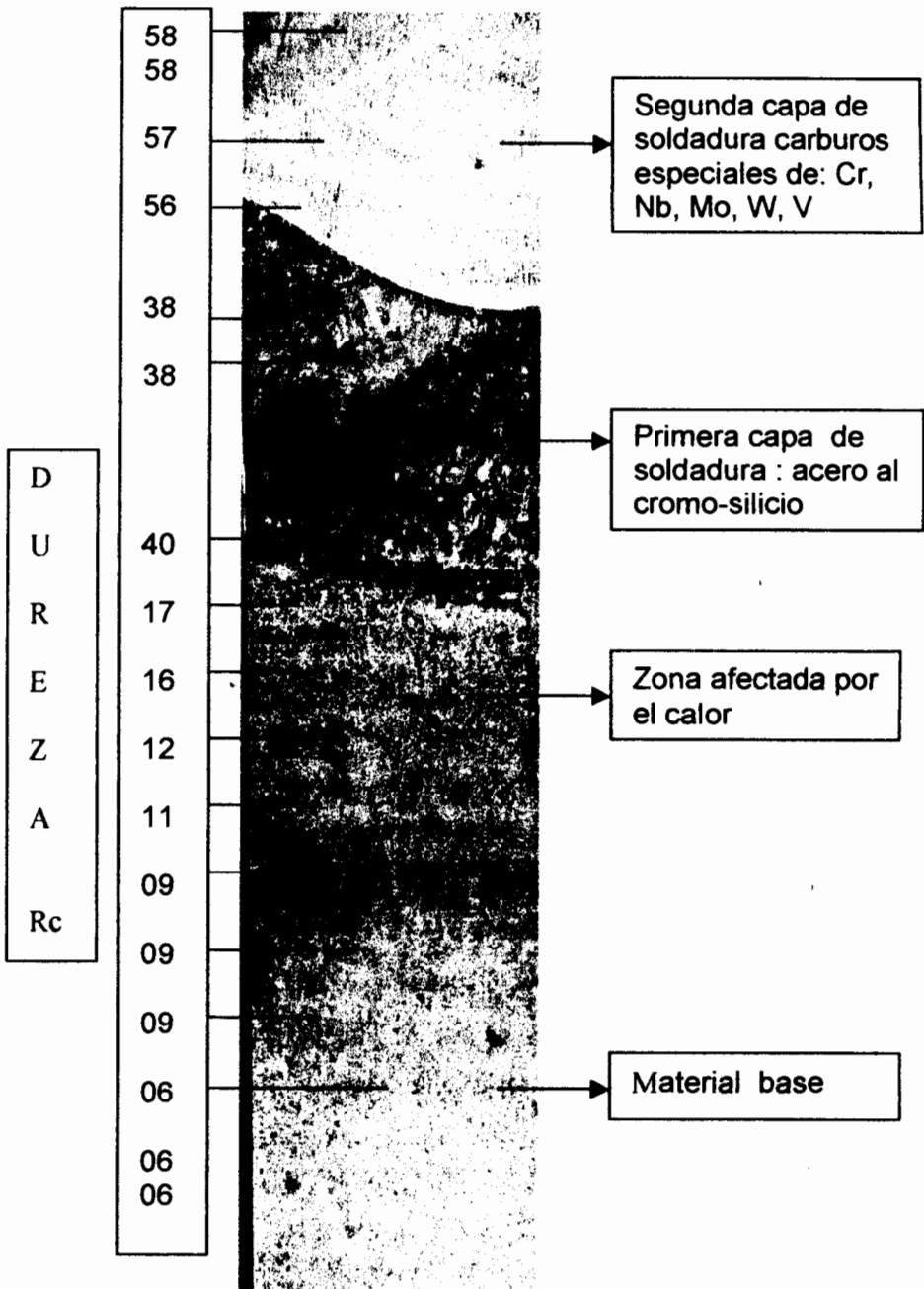
### 3.5.2 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos DIN 8555 , E 10-65 zt revest.

Una vez que se aplicó el primer cordón de soldadura se procedió a realizar un segundo pase de soldadura de recubrimiento duro, con la pieza a una temperatura entre 20 y 50 °C, con intensidad de corriente la mínima permitida, soldando cordones intercalados, es imprescindible limpiar la escoria antes de realizar los cordones.

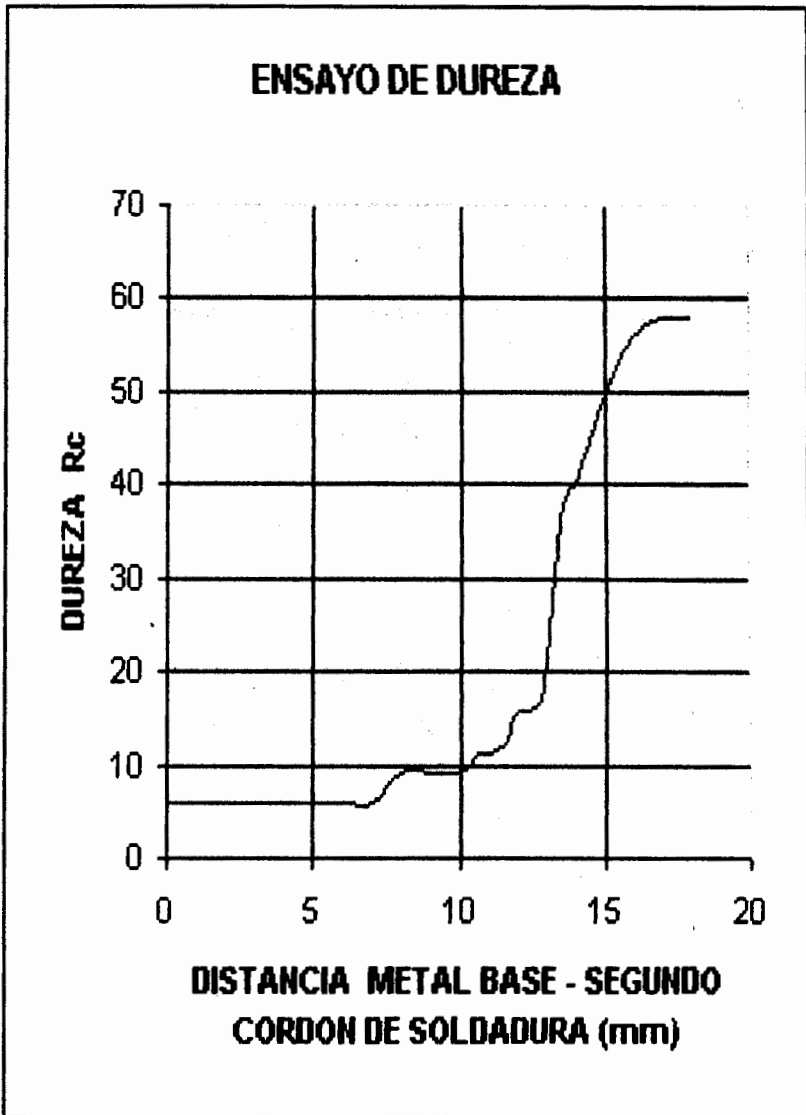
El electrodo seleccionado tiene revestimiento básico para soldadura de revestimientos duros altamente resistentes al desgaste, cuyo material depositado es una aleación dura de carburos especiales con la siguiente composición química:

Elemento	C	Cr	Nb	Mo	W	V
%	5.5	22	8.0	9.0	8.0	0.8

Igual que el proceso anterior se procedió a tomar fotografías de las microestructuras haciendo un barrido de los dos cordones de soldaduras aplicados figura 3.5, así como pruebas de dureza y que han sido graficados en la figura 3.6.



**Figura 3.5 Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer y segundo cordón de soldadura de recubrimiento duro protector – 75X**



**Figura 3.6** Curva de distribución de dureza aplicando el primer y segundo cordón de soldadura

### 3.5.3 Aplicación de soldadura con electrodos revestidos

**DIN 8556, E 19 12 3 nC R 26.**

Para aplicar la última capa anticorrosiva se procedió a hacer una limpieza profunda de la escoria de la capa anterior. Se hicieron cordones de soldadura con electrodos de 3/32 cubriendo la capa anterior y luego se procedió a tomar fotografías de su microestructura y se hizo un barrido de microdureza en la escala Rockwell figura 3.7. Las mediciones de dureza fueron graficadas en la figura 3.8

El electrodo que se aplicó es de revestimiento rútilico,. El material depositado es acero cromo – níquel – molibdeno austenítico con bajo porcentaje de carbono para temperaturas de trabajo de 350 °C, con una composición química de :

C = 0.03 %

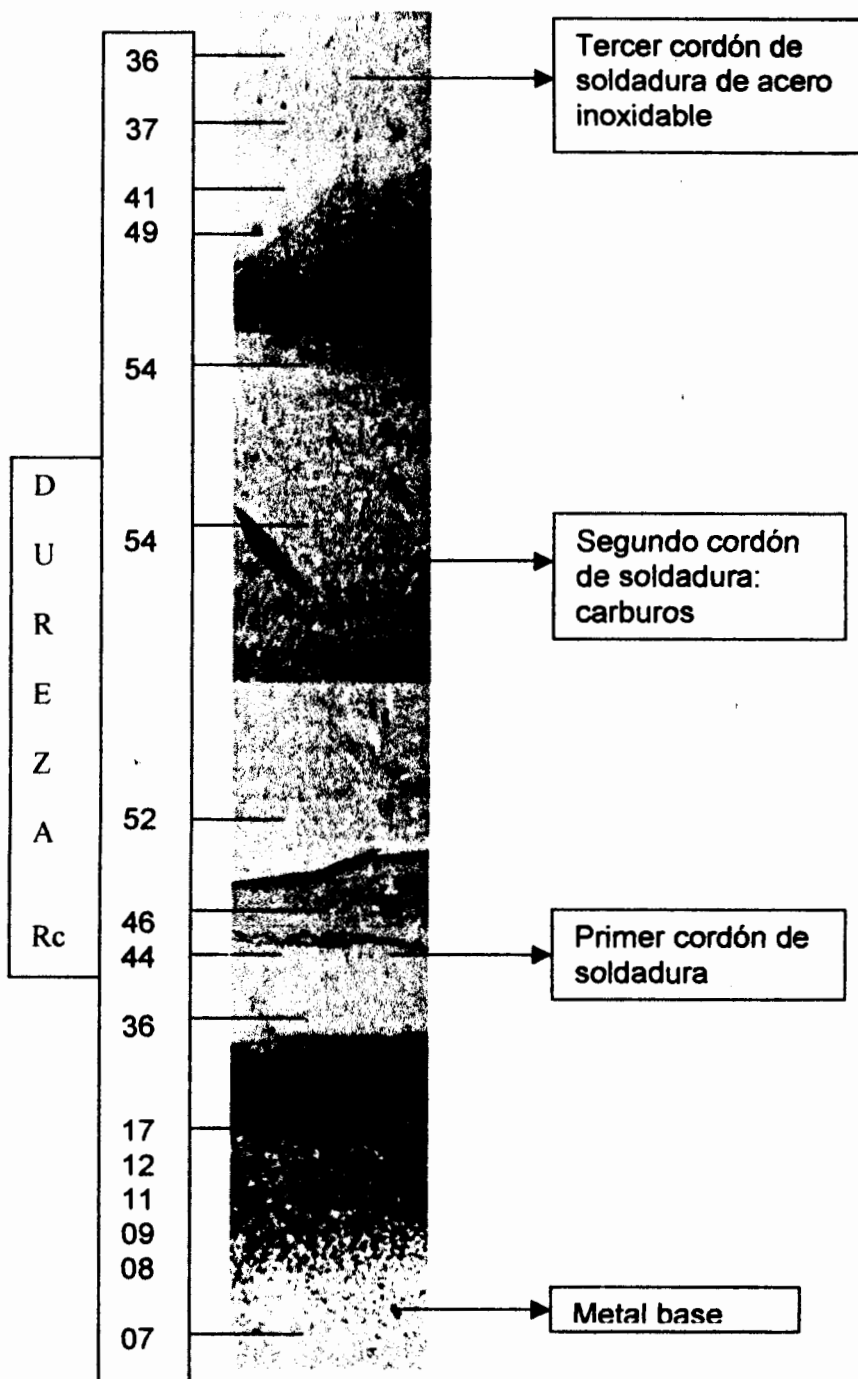
Si = 1.2 %

Mn = 2.0 %

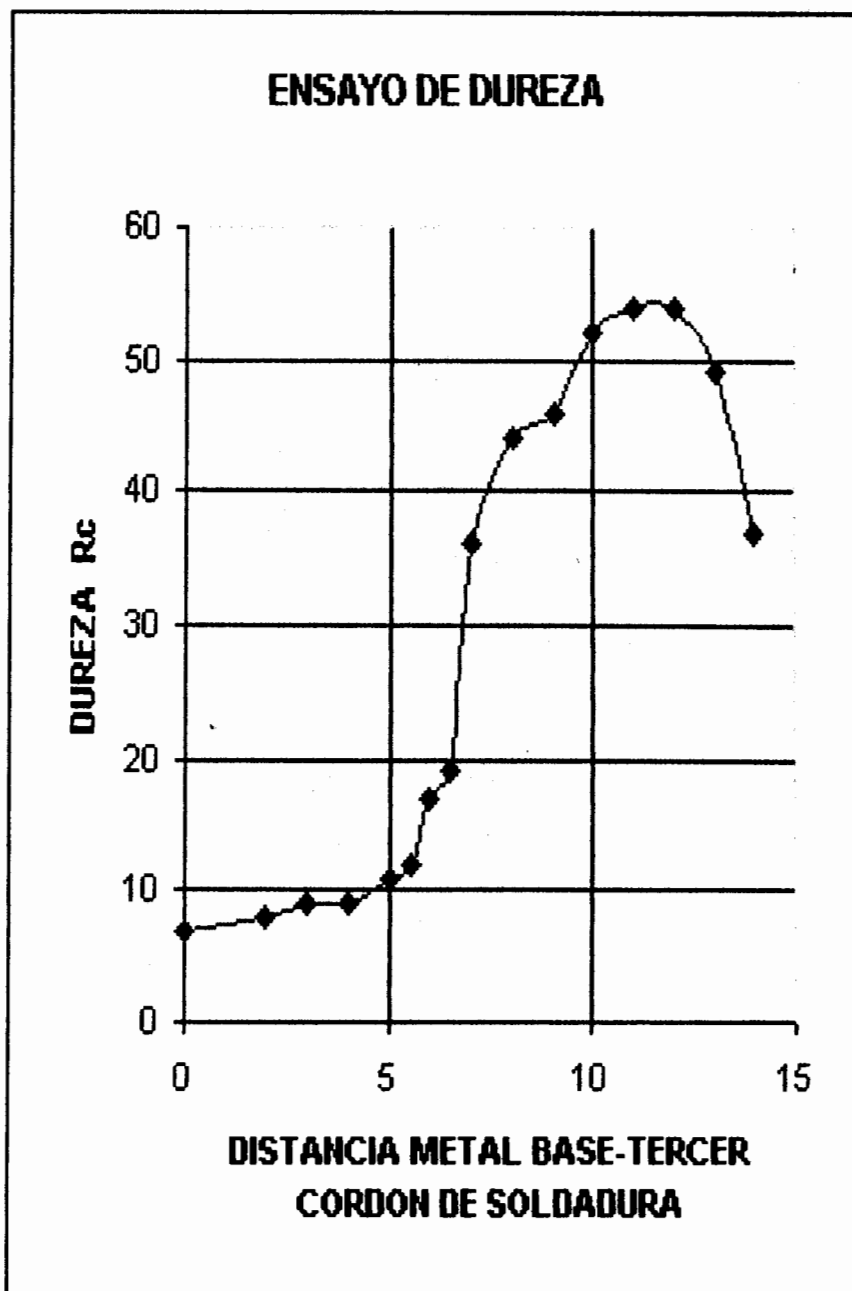
Cr = 19.0 %

Ni = 12.0 %

Mo = 2.3



**Figura 3.7 Microestructura y mediciones de dureza en la escala Rc correspondiente al primer segundo y tercer cordón de soldadura de recubrimiento duro protector - 50 X**



**Figura 3.8** Curva de distribución de dureza aplicando el primer, segundo y tercer cordón de soldadura de recubrimiento protector

Se procedió a soldar la cuchilla central del primer molino aplicando las dos primeras capas de soldadura y a la cuchilla del segundo molino aplicando las tres capas de soldadura, los resultados fueron que después de moler 1'400.000 TC se encontró que los dientes de la cuchilla del primer molino no conservaron su perfil como se puede observar en las figura 3.9, mientras que en los dientes de la cuchilla del segundo molino ocurrió lo contrario, figura 3.10 .

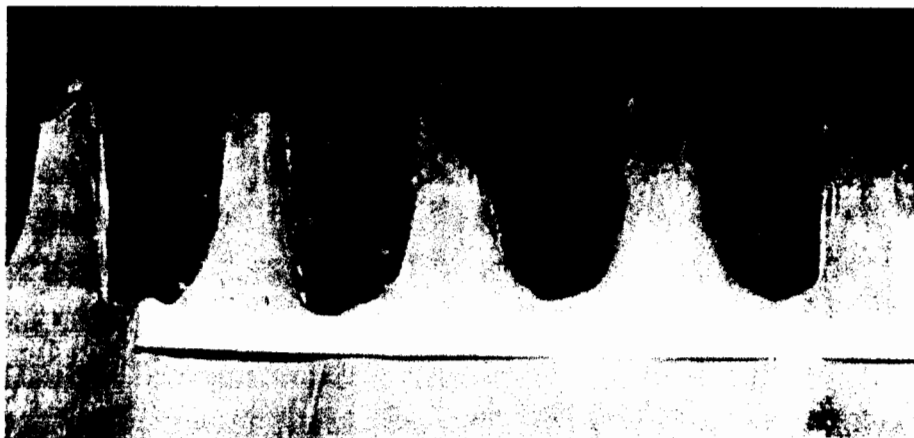
En la cuchilla central del quinto molino se hizo el mismo tipo de prueba resultando ser mas efectivo la aplicación de las tres capas de soldadura, moliendo 380.000 TC con la aplicación de dos capas y 800.000 TC con la aplicación adicional de la capa anticorrosiva. En las figuras 3.11 y 3.12 se presentan los desgastes producidos en estas cuchillas y en la tabla 11 se presentan las pérdidas de peso de estas dos cuchillas . En la figura 3.13 se ha trazado el perfil de la cuchilla al iniciar y terminar la zafra.

TABLA 11

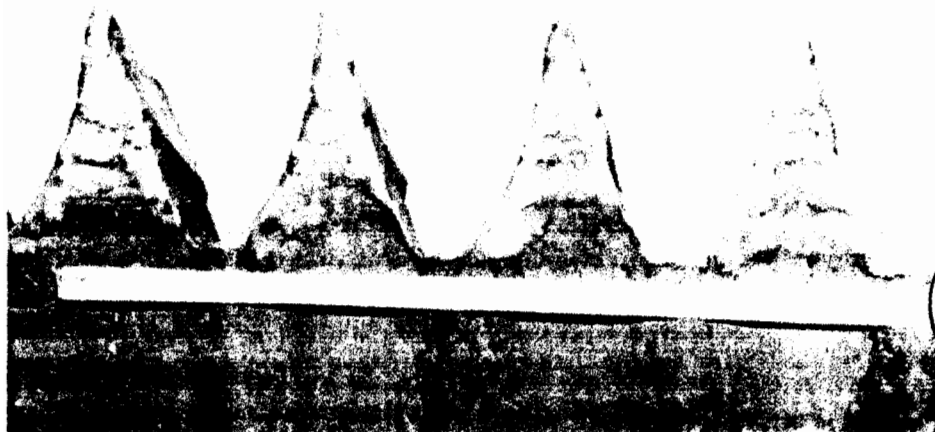
**Pérdida de peso por desgaste de las cuchillas centrales de acero SAE 1040, normalizado , dureza 200 HBN con recubrimiento para una razón de molienda de 430 TCH**

MOLINO	TCM X 10 <sup>3</sup>	PESO INICIAL Kg	PESO FINAL Kg	PERDIDA DE PESO Kg	OBSERVACIONES
2	1.400	605	460	145	TRABAJO ZAFRA COMPLETA SIN MANTENIMIENTO ADICIONAL
5	800	690	470	220	CAMBIO DE CUCHILLA



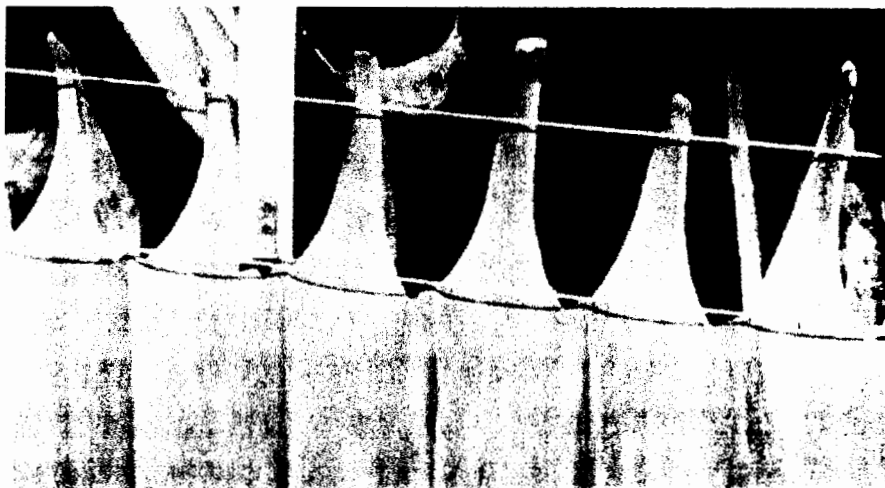


**Figura 3.9** Cuchilla central del 1M después de moler 1'400.000 TC, aplicando las dos primeras capas de recubrimiento protector.



**Figura 3.10** Cuchilla central del 2M después de moler 1'400.000 TC, aplicando las tres capas de soldadura de recubrimiento protector

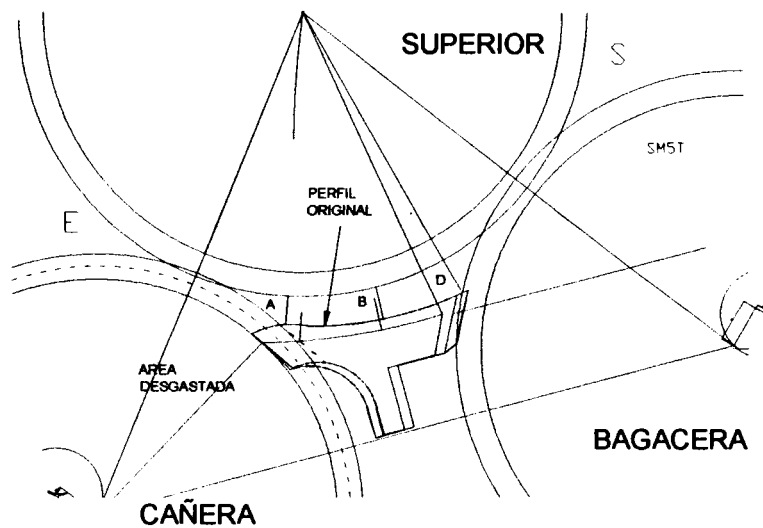




**Figura 3.11** Cuchilla central del quinto molino con aplicación de las dos primeras capas de recubrimiento protector, después de moler 380.000 TC



**Figura 3.12** Cuchilla central del quinto molino con aplicación de las tres capas de recubrimiento protector, después de moler 800.000 TC



**Figura 3.13 Trazo de cuchilla central del 2M con recubrimientos duros-protectores después de moler 1'400.000TC**

**EQUIPO UTILIZADO EN ANÁLISIS METALOGRAFICO**

1. Cortadora "Discoton"
2. Discos de carburo de TARTANIO "STRUERS"
3. Lijas de agua # 220, 320, 400 y 600
4. Paño mol
5. Alúmina 0.003 micras (óxido de aluminio)
6. Paño NAPO
7. Pasta de diamante B1
8. Reactivo "vilella" para el recubrimiento
9. Reactivo Nital 3% Para el metal base
10. Alcohol metílico (Metanol)
11. Secador

**EQUIPO UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS DE DUREZA**

Durómetro WILSON JR1

Identador "Brale" (diamante)

Carga 150 Kg

Escala Rc

**EQUIPO UTILIZADO PARA FOTOGRAFIA**

Microscopio OLYMPUS PME

Película polaroid 667

Aumento para el primero y segundo cordón 75 x

Aumento para el tercer cordón 50 x

# CAPITULO 4

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados presentados son obtenidos unos por pruebas de laboratorio y otros por ensayos de campo. La acidez del jugo y sus efectos corrosivos , así como las características del bagazo son obtenidos en ensayos de laboratorio pero los desgastes producidos por la abrasión del bagazo y la corrosión del jugo combinados se los ha obtenido a través de ensayos de campo durante varias zafras.

Los ensayos de campo realizados aquí, son de difícil simulación debido a la gran variedad de imprevistos que se presentan durante la zafra por la calidad de la caña debido a problemas naturales como lluvias, caña no re no cortada a tiempo ó rezagada, mecanización del corte etc. que traen muchas impurezas ,por lo que sus resultados se analizan en base al diseño inicial y la forma final con que termina la pieza en cuestión con relación al tonelaje de caña molida, parámetro importante que evalúa la capacidad de un Ingenio Los ensayos de corrosión presentan gran

incidencia en el desgaste sobre todo cuando el jugo se fermenta aumentando su acidez, esta fermentación puede ser por jugo retenido o cuando se muele caña rezagada. Esta acción destructiva van en aumento cuando el jugo aumenta su temperatura.

Los jugos de caña rezagada o de caña deteriorada son bien ácidos con un pH aproximado de 4.0 que es similar al pH promedio del jugo que se mantuvo en reposo durante 18 horas, pero con velocidades de corrosión mucho mas altas que las que produce el jugo extraído de una caña en condiciones normales que tiene un pH entre 5.0 – 5.3.

La cantidad de agua de imbibición que se agrega al proceso para lavar el bagazo y el número de molinos en funcionamiento influye en la extracción del molino, manejándose jugos mas concentrados y mas ácidos cuando disminuye uno de estos factores como se puede ver en la figura 2.3 y por consiguiente bagazo con brix mas alto

Los desgastes producidos por el bagazo son menores en la medida como avanza en el sentido de la molienda como se puede observar los desgastes presentados en la tabla 1 de los conductores de bagazo de calderas y en la tabla 4 que presenta los desgastes producidos en los conductores intermedios que llevan el bagazo de un molino a otro, siendo mayor el desgaste cuando el bagazo contiene mayor brix.

Los resultados obtenidos del desgaste de la cuchilla sin aplicación de recubrimientos muestran la deformación de ella con respecto a su diseño original y los efectos negativos que produce al pasar el bagazo por el molino, porque cambia su posición con respecto a la masa superior, variando completamente sus características principales, como el valor de sus aberturas de entrada y salida, así en su diseño original el valor de la entrada era menor a la salida, para permitir que el bagazo se expanda y se comprima al llegar a las masas de salida del molino, pero una vez desgastada, la salida es menor que la entrada quedando su punta de ataque muy baja, formando el colchón de bagazo una cuña que no permite moler normalmente.

Los materiales usados para construir la cuchilla central no pueden ser de mayor dureza que la maza que es de 200 BHN, porque de lo contrario desgastaría la masa, pero tampoco pueden tener durezas muy bajas porque la cuchilla se desgastaría muy rápido. Así podemos observar los desgastes de las cuchillas son mayores en el centro, lo que obliga a ajustar la cuchilla contra la maza cañera para limpiar los canales por donde drena el jugo.

El mantenimiento realizado durante la zafra con electrodos 7018, cumplían el objetivo de recuperar la forma de los dientes para evitar ajustar demasiado la cuchilla contra la maza cañera y que los dientes cumplan su función de limpiar los canales, pero se ha demostrado que la dureza del depósito es de



6 Rc, mucho menor que el material base desgastándose rápidamente, siendo mas crítico en el ultimo molino debido a que el bagazo es mas fino y las presiones de trabajo son mayores. Las pruebas realizadas en la cuchilla del primer y segundo molino aplicando dos y tres capas de soldadura respectivamente muestran que el proceso de recubrimiento con tres capas dá mejores resultados porque se mantiene la forma el perfil de los dientes de la cuchilla como se puede observar en la figura 3.10, lo mismo ocurre con la cuchilla del quinto molino donde el tonelaje molido es mayor como se puede observar en la figura 3.12.

Los resultados obtenidos sin recubrimientos y con aplicación de ellos observamos que el comportamiento del desgaste es parecido, pero con un tonelaje de caña molida mayor favorable a la aplicación de recubrimientos, manteniendo una relación de costos de 4 a 1, a pesar que las características del material de la cuchilla sin recubrimientos corresponde a un acero de mejor calidad.

Porcentajes en tiempos de paradas requeridos durante la zafra

	CAMBIO DE CC	MANTENIMIENTO CON ELECTRODOS 7018
SIN RECUBRIMIENTO	2.4	2.4
CON RECUBRIMIENTO	1.2	----

## ANÁLISIS DE COSTOS

Para poder estimar el costo real que implica el cambio o reparación de una pieza desgastada, es necesario conocer los factores que intervienen para cuantificar dicho costo y aparecen de varias formas:

1. Paro de maquinaria : conduce a pérdidas costosas de producción
2. Operación de inventarios: se hacen considerables inversiones de capital para adquirir las piezas de repuestos, además de crear espacio de almacenamiento de dichos inventarios.
3. Costos de mano de obra: involucra personal que interviene en el montaje y desmontaje de la maquinaria para reemplazar las piezas gastadas.
4. El costo que cuesta tener un repuesto en el almacén representa:

- Interés .....	19 %
- Depreciación .....	10 %
- Obsolescencia .....	5 %
- Renta y espacio , manejo de inventarios.....	5 %
- Trabajos de compras y contabilidad .....	1 %

Esto quiere decir que una pieza al año de estar guardada en el almacén cuesta un 40 % mas de su valor inicial. En el caso que estamos considerando es importante hacer una comparación de los costos por reemplazo de una cuchilla durante la zafra : con aplicación de recubrimientos protectores y sin ello.

**Costos sin aplicación de soldadura**, en este caso los factores que intervienen son los siguientes:

- 1- Costos por parada de producción
- 2- Costos por parada parcial de la maquinaria
- 3- Costos por valores de repuestos
- 4- Costos por uso de personal
- 5- Frecuencia de reparación

**Costos preparando la pieza de repuesto**, son los mismos factores que intervienen en el procedimiento anterior mas los siguientes:

- 6- Costos de soldadura
- 7- Costos de mano de obra por aplicación de soldadura

**Costos por parada de la producción:** el cambio de una cuchilla central de un molino requiere parar la producción con las siguientes condiciones:

- Parar la producción durante 24h
- Para el molino 12h antes de parar la producción
- Parar el molino 12h después de parar la producción

El Ingenio tiene capacidad para moler 12.000 TCD, pero actualmente está moliendo a razón de 10.500 TCD, cada tonelada tiene un rendimiento promedio de 90 Kg de azúcar, por lo que el costo de parar la producción sería de:

$$C1 = 10.500 \text{ TC} \times 90 \text{ Kg de azúcar} / \text{TC}$$

$$C1 = 18.900 \text{ sacos de } 50 \text{ Kg de azúcar}$$

Sí consideramos que el saco de azúcar en el mercado nacional es de \$20.00 tendremos que:

$$C1 = \$ 378.000$$

**Costos por parar un molino, representa una pérdida de extracción de 0.2 de pol en bagazo que en rendimiento sería:**

Pérdida por cada 0.1 punto de pol en bagazo .....0.69 lb azúcar/ TC  
Referido a un pol promedio de 2

Pérdida por parada del molino en 24 horas:

$$C2 = 10.500 \text{ TC} \times 2 \times 0.69 \text{ lb azúcar} / \text{TC}$$

$$C2 = 14.490 \text{ lb azúcar} / 110 \text{ lb de azúcar}$$

$$C2 = 132 \text{ sacos} \times 20.00$$

$$\mathbf{C2 = \$ 2634}$$

Esto representaría un costo total por parada de producción de :

$$CP = C1 + C2$$

$$\mathbf{CP = \$ 380.630}$$

Costos por uso de repuestos.....\$5100

Costos por uso de personal ..... \$900  
y soldadura

**Costo por cambio de cuchilla = \$ 381.140 sin recubrimiento**

**Costo por cambio de cuchilla = \$ 382.040 con recubrimiento**

Frecuencia de cambio de repuestos para una zafra de  
1'400.000 TCM

MOLINO	SIN	CON
	RECUBRIMIENTO	RECUBRIMIENTO
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	2	1
6	2	1

Esto requeriría que el cambio de cuchillas será igual a:

Costo = CP x frecuencia de cambios

Costo del cambio de cuchillas = 381.140 x 4 sin recubrimiento

**CCC = \$1'524.560**

Costo del cambio de cuchillas = 382.040 x 2 con recubrimiento

**CCCR = \$ 764.080**

El mantenimiento semanal durante la zafra con soldadura 7018 requería para la producción durante 8 horas y si contabilizamos los datos registrados en la tabla 7, considerando que en cada parada se recuperaban tres cuchillas durante una zafra normal de 6 meses, obtendremos que el tiempo requerido para realizar estos trabajos son alrededor de 2.4 % del tiempo de producción.

Tiempo de mantenimiento = TM

TM = 6 meses x 28 días de producción x 24 horas

TM = 4032 horas laborables

TM = 4032 x 2.4 %

TM = 4 días de producción

Costos por mantenimiento = CM

CM = 4 X 378.000

**CM = \$ 1'312.000**

Por tanto los costos totales durante la zafra estarían desglosados así

	CAMBIO DE CC	MANTENIMIENTO	TOTAL
SIN RECUBRIMIENTO	1'524.560	1'312.000	2'836.560
CON RECUBRIMIENTO	764.080		764.080

## METALURGIA DE LA SOLDADURA

Los ensayos metalográficos realizados sobre el material de las cuchillas utilizadas sin recubrimiento son aceros de medio carbono al que se le han agregado pequeños porcentajes de cromo para mejorar su dureza, por la presencia de carburos de cromo, este acero se lo puede considerar débilmente aleado, recibiendo un tratamiento térmico de normalizado para homogenizar su estructura como se observa en la figura 2.9.

Los ensayos con electrodos 7018 para recuperar la forma del diente demostraron que los depósitos de soldadura son de dureza menor que el metal base de la cuchilla debido a su matriz ferrítica y aproximadamente igual a la dureza de la masa, aumentando de dureza en la zona afectada por el calor debido a la remoción de carbono del metal base por la precipitación de carburos.

Las pruebas realizadas para ver el comportamiento de la soldadura de recubrimiento duro protector aplicada se las ha hecho considerando como material base, un acero al medio carbono (0.37% C) correspondiente a un acero SAE 1040 , con tratamiento térmico de normalizado y con una dureza de 6 Rc, similar al material utilizado en las cuchillas



Se realizaron pruebas de dureza y ensayos metalográficos en la medida como se aplicaba las capas de soldadura. Las pruebas de dureza para los depósitos de soldadura dan los siguientes valores: metal base 6 Rc , primer cordón de soldadura 41 Rc, segundo cordón de soldadura 56 Rc y tercer cordón de soldadura 37 Rc

En la medida como se van montando las capas de soldadura se van formando una escala de dureza que va en aumento desde el material base que corresponde a una dureza de 6 Rc hasta 56 Rc que corresponde al 2do cordón de soldadura y disminuye hasta 36 Rc para la capa anticorrosiva, debe notarse que la aplicación de las dos capas ultimas de soldadura sobre la primera hacen una disminución de la dureza en 10 Rc del primer cordón de soldadura , debido posiblemente a un alivio de tensiones producido por el calentamiento.

La micrografía muestra las tres zonas correspondientes a los cordones de soldadura, la zona correspondiente al primer cordón de soldadura es una zona oscura que corresponde a un acero aleado al cromo – silicio .utilizada como soldadura de base para posteriores aplicaciones de soldadura. También se observa una pequeña dilución del carbono proveniente del metal base para formar carburos complejos de cromo , la presencia de silicio que

es un desoxidador, está disuelto en ferrita aumentando la resistencia y tenacidad

El segundo cordón de soldadura corresponde a un depósito de carburos especiales, es una zona plenamente definida por su apariencia acicular, la presencia de nio y vanadio que son mejores formadores de carburos que el cromo estabilizan el depósito, quedando el acero protegido al quedar parte del cromo sin formar carburos.

El tercer tipo de electrodo produce un depósito de soldadura de acero inoxidable, con bajo porcentaje de carbono para reducir la formación de carburos y con presencia de molibdeno para corrosión contra ciertos químicos resistir elevaciones de temperatura producida por la fricción del bagazo, rozamiento con las masas así como la elevación de la temperatura del jugo debido al uso de agua caliente.

Esta última capa es un acero inoxidable austenítico de alta resistencia del tipo de bajo hidrógeno en el recubrimiento producir una capa resistente a la corrosión.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. La abrasión del bagazo combinada con la corrosión del jugo de caña de azúcar aceleran el desgaste producido sobre las instalaciones de acero del molino, siendo necesario utilizar materiales de acero inoxidable 304 L para contrarrestar sus efectos.
2. La utilización de materiales de acero de mejor calidad ( 1% Cr, 0.41% C ) en la fundición de las cuchillas centrales, con tratamiento térmico de normalizado y con dureza de 19 Rc, mayor que la dureza de las masas ( 200 HB ), mantiene un alto índice de desgaste producido por la alta razón de molienda ( 430 TCH ) debido a los mayores regímenes de producción.
3. La utilización de soldadura de producción como los electrodos 7018 para el mantenimiento de los dientes de las cuchillas durante la zafra, resulta inadecuada para las mayores razones de molienda ( 430TCH ) por su baja dureza y resistencia a la corrosión, debido al alto costo ocasionado por las paradas de producción, aunque mantiene operativa la fábrica.

4. La aplicación de las tres capas de recubrimientos protectores, sobre la superficie de trabajo de las cuchillas de acero al carbono SAE 1040 que tienen tratamiento térmico de normalizado y dureza de 6 Rc han reducido el mantenimiento de las mismas, al mejorar su dureza y resistencia a la corrosión, disminuyendo sus costos en una relación de 4 a 1 para una molienda de 1'400.000 toneladas de caña .

## RECOMENDACIONES

1. Al recubrir las cuchillas centrales de acero SAE 1040 con depósitos de soldadura de recubrimiento protector es importante hacer una buena unión entre el metal base y el primer cordón de soldadura, precalentando el metal base a 180°C y durante el proceso no sobrepasar los 300 °C, haciendo una buena limpieza para evitar fisuras.
2. Para distribuir uniformemente el calor y evitar el sobrecalentamiento de la cuchilla, se debe utilizar el método de soldadura alternada, aislando y cubriendo la parte que no se está soldando, para evitar enfriamientos rápidos, porque la mayor disipación de calor se produce a través del material.
3. Aplicar las capas de soldadura protector sobre las partes de la cuchilla que sufren mayor desgaste que corresponde a 1/3 del largo de la cuchilla a partir de la punta del diente y las 3/4 partes del ancho considerando la parte central.
4. Depositar el mayor espesor de soldadura protectora, aplicando varias capas , evitando recubrir demasiado en una sola pasada.

## BIBLIOGRAFÍA



1. FIVES LILLE CAIL – Manual de Mantenimiento del Ingenio La Troncal  
Molinos FLC-1968
2. EUTECTIC + CASTOLIN – Aplicaciones de soldadura en la Industria  
Azucarera - Proceso de Molienda – 1998
3. FIVES LILLE CAIL – Manual de Maquinaria del Ingenio La Troncal  
1968
4. HUGOT Manual para Ingenieros Azucareros, C.E.C.S.A.- 1984
5. C.R. MURRY AND J.E. HULT  
The Mechanic of Crushing Sugar Cane  
Sugar Research Institute, Mackay Queensland – 1967
6. ASSIS P. Desarrollo tecnológico brasileño en la Producción de Azúcar  
de Caña, TECNOLOGÍA /PESQUISA, 1994
7. BIRMINGHAM B., Technical Aspects of Teorical Mill Settings  
Farrel- Birmingham Co., Inc Ansonia, Connecticut, U.S.A. –  
1960



8. LINCOLN , Metals and How to Weld Them - 1978
  
9. LINCOLN, The procedure Handbook of Arc Welding-  
12 ava. Edición – 1973
  
10. Colección GEPLACEA, La corrosión en la Industria Azucarera  
Corrosión en el área de extracción  
Serie de Mantenimiento Industrial Tomo # 6 - 1985
  
11. CHENG J. Manual de Tecnología Azucarera - 1978
  
12. EQUIPOS INDUSTRIALES. Soldadura de Revestimiento Duro  
Mc Graw Hill – Tomo # 2 – 1987
  
13. Welding Technology – Surfacing –1978
  
14. AVNER SIDNEY H.  
Introducción a la metalurgia física - 1979

## APÉNDICE A

### TERMINOLOGÍA DEL SECTOR

Indicadores y variables que miden la productividad del proceso

**Jugo o caldo:** solución impura con sacarosa diluida, extraída del tallo de la caña.

**Jugo mixto:** jugo extraído de la molienda que contiene agua caliente, cuya función es extraer mas jugo. Esta agua se denomina , agua de imbibición

**Jugo residual:** jugo remanente en la fibra de la caña después de la extracción o molienda.

**Fibra:** Porción del tallo de la caña que es insoluble en agua

**Bagazo:** Residuo fibroso resultante de la extracción del jugo del tallo de la caña, que está constituido por fibra y jugo residual.

**Sacarosa:** Forma de azúcar que se encuentra en mayor abundancia en la caña, también se encuentra en la remolacha. La fabricación de azúcar consiste en la cristalización de este azúcar.

**Fructuosa y glucosa:** azúcares que no cristalizan y que están en pequeñas cantidades en el jugo de la caña.

**Pol:** porcentaje de sacarosa en peso.

**Brix:** porcentaje de sólidos solubles en el jugo de la caña

**Pureza real:** porcentaje de sacarosa (pol) en los sólidos totales (BRIX).



**Azúcares Reductores:** resultado de la descomposición de la glucosa y fructuosa

**Extracción:** Cantidad de azúcar que se logra extraer de la caña

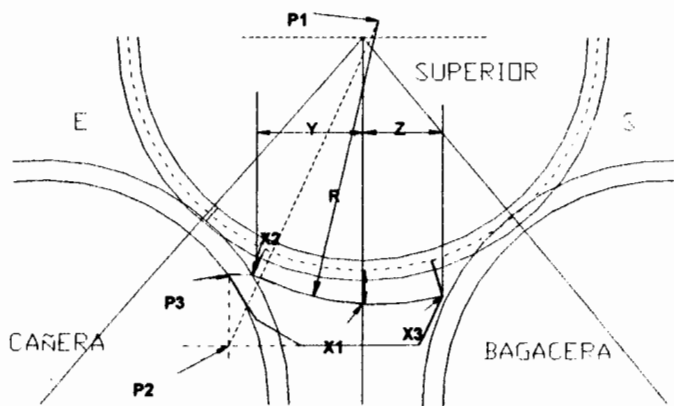
**Índice de preparación:** Pol en células abiertas/ pol en las caña

## APÉNDICE B

### PROCEDIMIENTO PARA EL TRAZO DEL PERFIL DE LAS CUCHILLAS CENTRALES DE MOLINOS DE CAÑA

El siguiente método ha resultado ser satisfactorio después que se han establecido los ajustes de las mazas y la cuchilla del molino:

- 1.- Trace el diámetro exterior y el diámetro de fondo de los dientes de las masas a tamaño natural.
2. localice el punto  $x_1$  (con  $X$  = ajuste de la cuchilla)



3. Localice el punto  $x_2$  y  $x_3$

Nota: Y y Z son dimensiones arbitrarias utilizadas para obtener una caída de la cuchilla de aproximadamente  $1/16$  " por  $1$  " de largo horizontal hacia la masa bagacera .

4. Seleccione el radio R que ha de pasar por los puntos  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$ , marque el centro  $p_1$  de este radio y trace el arco correspondiente.

5. Localice el punto  $p_2$  aproximadamente

6. Trace una línea desde  $p_1$  a  $p_2$ , y marque  $p_1$  donde corte el arco

7. Trace un radio  $r = p_2 - p_4$ , desde el punto  $p_2$  y sitúe el  $p_3$

8. Si el punto  $P_3$  cae fuera de  $1/4$ " a  $3/8$  " , reajuste la localización del punto  $p_2$  y vuelva realizar los pasos  $p_6$  y  $p_7$