**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Análisis de Recubrimientos Duros para Molinos de Caña de Azúcar.

**Tesis de Grado**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Ronny Cristóbal Aroca Delhi

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2010

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y darme fuerzas para seguir siempre adelante ante cualquier adversidad.

A mis padres por todo el amor, confianza que siempre me han ofrecido y su apoyo incondicional en todas mis metas propuestas.

Al Ingeniero Julián Peña por haber sido mi guía en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

MIS PADRES

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Francisco Andrade S. Ing. Julián Peña E.

DECANO DE LA FIMCP DIRECTOR DE TESIS

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ing. Marcelo Espinosa L.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ronny Cristóbal Aroca Delhi

**RESUMEN**

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

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

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

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

En el capítulo 1, se hace referencia a las particularidades que se presentan en la etapa de extracción del jugo de caña de azúcar, al material del cual están fabricados los molinos, los tipos de desgaste y sus consecuencias, y los diferentes recubrimientos a analizar.

En el capítulo 2, se describe la metodología de trabajo que se llevo a cabo durante esta investigación y se detalla cada uno de los ensayos a los cuales van a ser sometidos las probetas, y obtener resultados para su posterior análisis.

En el capítulo 3, se presenta un análisis tanto técnico como económico sobre el proceso de blindaje de los molinos, en el cual se puede apreciar los beneficios que generan una adecuada aplicación, y las ventajas que se pudiera presentar un procedimiento frente a otro.

En el capítulo 4, se emiten las conclusiones y recomendaciones a considerar en el blindaje de los molinos.

**ÍNDICE GENERAL**

RESUMEN …………………………………………………………………. II

ÍNDICE GENERAL ……………………………………………………. …. III

ABREVIATURAS …………………………………………………….. …. VI

SIMBOLOGÍA …………………………………………………….. …. VII

ÍNDICE DE FIGURAS ………………………………………………… VIII

ÍNDICE DE TABLAS …………………………………………….. …. VII

INTRODUCCIÒN ………………………………………………………… 1

**CAPÍTULO 1**

1. DESGASTE EN MAZAS DE MOLINOS DE CAÑA DE AZÚCAR … 3
   1. Proceso de extracción ……………………………………………. 3

1.1.1 Particularidades …………………………………………….. 4

* + 1. Mazas de Molinos …………………………………………. 7
    2. Desgaste de molinos de caña de azúcar ………………... 8

1.2 Uso de mazas de fundición ………………………………………. 11

1.2.1 Ventajas y desventajas……………………………………… 12

* + 1. Propiedades de la fundición gris ………………………….. 13
    2. Preparación de los molinos …………………………………. 15

1.3 Mecanismos de desgaste ………………………………………… 17

1.3.1 Abrasión ………………………………………………………. 17

1.3.2 Fricción ……………………………………………………….. 18

1.3.3 Corrosión ……………………………………………………… 19

1.4 Recubrimientos Duros …………………………………………….. 20

1.4.1 Recubrimientos duros resultantes ………………………. 21

1.4.2 Descripción de los recubrimientos a analizar ………….. 22

**CAPÍTULO 2**

1. PRUEBAS DE LABORATORIO ………………………………………. 24

2.1 Metodología de la investigación …………………………………. 24

2.2 Metalografía ……………………………………………………….. 28

2.3 Barrido de Dureza ………………………………………………… 42

2.4 Análisis Químico ………………………………………………….. 44

**CAPÍTULO 3**

1. ANÁLISIS DE RESULTADOS ……………………………………….. 54

3.1 Análisis Técnico ………………………………………………….. 54

3.2 Análisis Económico ……………………………………………… 61

**CAPÍTULO 4**

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ……………………… 71

**APÉNDICES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ABREVIATURAS**

T.C Toneladas de caña

Sac. Sacarosa

Ef. Eficiencia

Perd. Perdida

ZA Zona de aporte

ZF Zona de fusión

ZAT Zona Afectada Térmicamente

HH Horas Hombre

**SIMBOLOGÍA**

HRc Dureza Rockwell C

Kg kilogramo

m Metro

° Grado

Ton Tonelada

Rpm Revoluciones por minuto

$ Dólares

C Carbono

Cr Cromo

Fe Hierro

Ti Titanio

Mo Molibdeno

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Pág.

Figura 1.1 Recepción de caña de azucar .……………………………….. 4

Figura 1.2 Tándem de Molinos ….,……………………………………….. 5

Figura 1.3 Vista de un Molino en Operación ……………………..…….. 6

Figura 1.4 Componentes de un Molino ………………………………….. 6

Figura 1.5 Vista de una Maza de Molino ……….………………………. 7

Figura 1.6 Descripción de los dientes de las mazas …………………… 8

Figura 1.7 Vista Frontal de mazas desgastadas …………..…………… 9

Figura 1.8 Vista lateral de mazas desgastadas ……………..…………. 10

Figura 1.9 Clasificación de las láminas de grafito según la forma,

Tamaño y distribución ………………………………………. 13

Figura 1.10 Microestructura del hierro gris (ferrita y perlita) ……………. 14

Figura 1.11 Detalle dientes previo a blindaje ……………………………. 16

Figura 1.12 Detalle aplicación recubrimiento ……………….…………… 16

Figura 1.13 Fotografía durante aplicación de recubrimiento …………… 21

Figura 2.1 Vísta del Material base con recubrimiento aplicado ……….. 25

Figura 2.2 Material base 100X sin ataque ………………………………. 29

Figura 2.3 Material base 100x con ataque ……………………………… 29

Figura 2.4 Material base 400x con ataque ………………………………. 30

Figura 2.5 Material base 500x con ataque ………………………………. 30

Figura 2.6 ZA Producto A-400X …………………………………………… 31

Figura 2.7 ZA 400X Producto B-1 ………………………………………… 32

Figura 2.8 ZA 400X Producto C …………………………………………… 32

Figura 2.9 ZF 50X producto A-1 …………………………………………... 33

Figura 2.10 ZF 50X producto A-2 ………………………………………….. 33

Figura 2.11 ZF 100X producto A-1 ………………………………………... 34

Figura 2.12 ZF 100X producto A-2 ………………………………………… 34

Figura 2.13 ZF 400X producto A-1 ………………………………………… 34

Figura 2.14ZF 400X producto A-2 …………………………………………. 35

Figura 2.15 ZF 50X producto B-1 ………………………………………….. 35

Figura 2.16 ZF 50X producto B-2 ………………………………………….. 36

Figura 2.17 ZF 100X producto B-1…………………………………………. 36

Figura 2.18 ZF 100X producto B-2 ………………………………………… 36

Figura 2.19 ZF 400X producto B-1…………………………………………. 36

Figura 2.20 ZF 400X producto B-2 ………………………………………… 36

Figura 2.21 ZF 50X producto C ……………………………………………. 37

Figura 2.22 ZF 100X producto C …………………………………………... 37

Figura 2.23 ZF 400X producto C …………………………………………… 38

Figura 2.24 ZAT 50X producto A-1 ……………………………………….. 38

Figura 2.25 ZAT 50X producto A-2 ………………………………………… 38

Figura 2.26 ZAT 400X producto A-1……………………………………….. 39

Figura 2.27 ZAT 400X producto A-2 ………………………………………. 39

Figura 2.28 ZAT 500X producto A-1……………………………………….. 39

Figura 2.29 ZAT 500X producto A-2 ………………………………………. 39

Figura 2.30 ZAT 50X producto B-1…………………………………………. 40

Figura 2.31 ZAT 50X producto B-2 ………………………………………… 40

Figura 2.32 ZAT 400X producto B-1……………………………………….. 40

Figura 2.33 ZAT 400X producto B-2 ………………………………………. 41

Figura 2.34 ZAT 500X producto B-1……………………………………….. 41

Figura 235 ZAT 500X producto B-2 ……………………………………….. 41

Figura 2.36 ZAT 50X producto C ………………………………………….. 42

Figura 2.37 ZAT 500X producto C ………………………………………… 42

Figura 2.38 Distribución barrido de dureza ………………………………. 42

Figura 2.39 C Equivalente Probeta A …………………………………….. 45

Figura 2.40 Cr Equivalente Probeta A ……………………………………. 45

Figura 2.41 Mn Equivalente Probeta A …………………………………… 45

Figura 2.42 Si Equivalente Probeta A ……………………………………. 46

Figura 2.43 Fe Equivalente Probeta A ……………………………………. 46

Figura 2.44 C Equivalente Probeta B …………………………………….. 48

Figura 2.45 Cr Equivalente Probeta B ……………………………………. 48

Figura 2.46 Fe equivalente Probeta B ……………………………………. 48  
Figura 2.47 Cr Equivalente Probeta C ……………………………………. 49

Figura 2.48 Fe Equivalente Probeta C …………………………………….. 49

Figura 2.49 Mn Equivalente Probeta C ……………………………………. 50

Figura 2.50 Mo Equivalente Probeta C ……………………………………. 50

Figura 2.51 Ti Equivalente Probeta C ……………………………………... 50

Figura 2.52 Fotografía de Microscopio utilizado …………………………. 51

Figura 2.53 Fotografía durante medición dureza ………………………… 52

Figura 2.54 Fotografía durante microscopia electrónica de barrido ……. 52

Figura 2.55 Fotografía durante análisis microscopia electrónica ………. 53

Figura 3.1 Grafico Velocidad turbinas versus semanas de Operación …. 55

Figura 3.2 Zona de Fusión de los recubrimientos utilizados …………….. 56

Figura 3.3 Variación de valores de dureza en Producto A ………………. 57

Figura 3.4 Variación de valores de dureza en Producto B ………………. 58

Figura 3.5 Variación de valores de dureza en Producto C ………………. 58

Figura 3.6 Valores de dureza y abrasión de varios depósitos de

Recubrimientos duros …………………………………………… 60

Figura 3.7 Pérdida dinero por pérdida en eficiencia ……………………… 69

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Clasificación de las fundiciones grises según la norma

ASTM A48-41 …………………………………………………. 14

Tabla 2 Clasificación y denominación de las probetas …………… .. 26

Tabla 3 Mediciones de dureza Probeta A-1 …………………………. 43

Tabla 4 Mediciones de dureza Probeta A-2 …………………………. 43

Tabla 5 Mediciones de dureza Probeta B-1 …………………………. 43

Tabla 6 Mediciones de dureza Probeta B-2 …………………………. 44

Tabla 7 Mediciones de dureza Probeta C ……………………………. 44

Tabla 8 Equivalente porcentual de elementos presentes en el

Producto A ……………………………………………………… 47

Tabla 9 Equivalente porcentual de elementos presentes en el

Producto B……………………………………………………… 49

Tabla 10 Porcentaje de Elementos en el Producto C ………………… 50

Tabla 11 Consumo de soldadura por año ……………………………… 62

Tabla 12 Costo anual por recubrimiento del Tándem de molinos …… 62

Tabla 13 Calculo de extracción con 1,7 % Pol en bagazo …………… 64

Tabla 14 Calculo de extracción con 2 % Pol en bagazo ……………… 64

Tabla 15 Calculo de extracción con 2,5 % Pol en bagazo …………… 65

Tabla 16 Calculo de extracción con 3 % Pol en bagazo ……………… 65

Tabla 17 Calculo de extracción con 4 % Pol en bagazo ……………… 66

Tabla 18 Calculo de extracción con 5 % Pol en bagazo ……………… 66

Tabla 19 Perdida de eficiencia en la extracción como consecuencia

del desgaste ……………………………………………………. 67

Tabla 20 Azúcar no aprovechada por pérdida de eficiencia …………. 68

Tabla 21 Costo por pérdida en extracción ……………………………… 68