



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS**

**“REHABILITACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UN  
VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA CALDERA N°06 DE  
LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL TUMÁN S.A.A.”**

**PARA APROBACIÓN DE LA EXPERIENCIA CURRICULAR DE METODOLOGÍA A  
LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA O LO QUE CORRESPONDA.**

**AUTOR:**

**Br. SERGIO ANTHONY LLONTOP VALDIVIESO**

**ASESOR:**

**ING. CARLOS ENRIQUE NECIOSUP INCIO**

**Lambayeque, setiembre 2018**



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Presentado Por:

**Br. SERGIO ANTHONY LLONTOP VALDIVIESO**

JURADO:

PRESIDENTE:

---

SECRETARIO:

---

MIEMBRO:

---

ASESOR:

---

**Lambayeque, setiembre 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



**TESIS**

**TÍTULO**

**"REHABILITACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UN  
VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO DE LA CALDERA N°06 DE  
LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL TUMÁN S.A.A."**

**CONTENIDO**

**DEDICATORIA  
AGRADECIMIENTO  
RESUMEN  
ABSTRACT  
ÍNDICE GENERAL  
INTRODUCCIÓN  
GLOSARIO  
CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN  
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO  
CAPÍTULO III. MARCO METOLÓGICO  
CAPÍTULO IV. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN  
CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS  
BIBLIOGRAFÍA  
ANEXOS**

**AUTOR**

**Br. SERGIO ANTHONY LLONTOP VALDIVIESO**

**PRESIDENTE**

**SECRETARIO**

**MIEMBRO**

**ASESOR**

**Lambayeque, setiembre 2018**

## DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi abuelo Rigoberto Valdivieso (QEPD) que fue la mayor motivación de mis estudios, y darme esa sabiduría desde pequeño para ser un hombre de bien. “Lo logre papa Rigo”.

Mis madres Rosa Valdivieso y Antonia Vidaurre, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti y a tus sabios consejos que me guiaron por el camino del bien.

Mi padre Sergio Zeña que con su carácter fuerte y sus pocas palabras pero con sus acciones son más que suficientes para entender lo que siempre me mantuvo inculcado.

Mi hermana Paola por estar conmigo siempre, te quiero mucho.

Mis sobrinos Paolo y Fabricio.

A mis primos, primas, tíos, tías a toda mi familia.

Y sin menos especial a mi enamorada Sarita.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al personal docente de la carrera, por los conocimientos impartidos y ser la base en mi formación profesional.

Agradezco al personal de Agroindustrias Tumán, por su acogida en mi trayecto de practicante pre-profesional, de manera especial al mecánico de calderas el sr. Zevallos, por la confianza brindada y sus enseñanzas profesionales.

Así mismo un agradecimiento especial al Ing. Carlos Neciosup por su colaboración en la realización de este proyecto.

## RESUMEN

En esta tesis se da a conocer los tipos de desgaste, que se presentan en las piezas y maquinarias industriales y la importancia de recuperarlas a óptimas condiciones de trabajo mediante el uso de soldaduras especiales o recubrimientos duros anti desgaste.

Los cuales se aplican al ventilador de tiro inducido de la caldera n° 6 de la empresa Agroindustrial Tumán, bajo las normas, códigos y especificaciones de soldadura.

Reconstruyendo y rediseñando con materiales especiales anti desgaste, finalizando con un balanceo estático al ventilador, ya que si no se hace puede producir vibraciones generando un excesivo desgaste en los puntos de apoyo, ruidos adicionales, desajustes de los tornillos o tuercas.

**Palabras clave:** desgaste, falla, protección, revestimientos duros, recuperación, soldadura y técnicas.

## ABSTRACT

This thesis describes the types of wear, which are presented in industrial parts and machineries, and the importance of recovering them in optimal working conditions through the use of special welds or hard wear coatings.

Which are applied to the induced draft of boiler fan n ° 6 of the company

Agroindustrial Tumán, under the standards, codes and welding specifications.

The reconstruction and redesign with special anti-wear materials end with a static rotation to the fan, because if it is not done, it can produce vibrations that generate excessive wear at the support points, additional noise, screw misalignments or nuts.

**Key Word:** wear, failure, protection, hard coatings, recovery, welding and techniques.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INDICE DE TABLAS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	17
GLOSARIO .....	18
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	21
1.1. Realidad Problemática .....	21
1.2. Formulación del Problema .....	25
1.3. Delimitación de La Investigación .....	25
1.4. Justificación e importancia de la investigación .....	28
1.5. Limitaciones .....	29
1.6. Objetivos .....	30



1.6.1. Objetivos Generales .....	30
1.6.2. Objetivos Específicos.....	30
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	 31
2.1. Antecedentes de Estudios.....	31
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado. ....	38
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	39
2.3.1. Desgaste .....	39
2.3.1.1. Desgaste abrasivo.....	40
a) Abrasión pura o de bajos esfuerzos .....	42
b) Abrasión de altos esfuerzos o pulverizante .....	42
c) Abrasión penetrante .....	42
2.3.1.2. Desgaste por impacto .....	43
2.3.1.3. Desgaste por fatiga .....	47
2.3.1.4. Desgaste erosivo .....	48
2.3.1.5. Desgaste por cavitación .....	49
2.3.1.6. Desgaste adhesivo.....	50
2.3.2. Factores que afectan el desgaste .....	52
a) Dureza: .....	52
b) Acabado superficial.....	56
c) Velocidad .....	57
d) Partículas abrasivas.....	58
e) Carga .....	59
2.3.3. Fricción .....	60

2.3.4. Corrosión .....	62
2.3.5. Calor .....	62
2.3.6. Recubrimientos protectores- Hardfacing .....	62
2.3.7. Principales elementos que componen un recubrimiento protector .....	65
2.3.8. Microestructuras resistentes al desgaste .....	67
2.3.9. Denominación de recubrimientos duros y microestructuras características .....	69
 CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	 71
3.1. Tipo y diseño de investigación. ....	71
3.1.1 Tipo de investigación .....	71
3.1.1.1 Proyectivo .....	71
3.1.1.2 Descriptivo .....	71
3.1.2 El diseño de investigación .....	71
3.2. Población y muestra .....	73
3.3. Hipótesis .....	73
3.4. Variables – operacionalización .....	74
3.5. Métodos y técnicas de investigación. ....	76
3.5.1 . Método del balanceo estático .....	77
3.5.2 . Efectos de la reparación del ventilador durante la reparación .....	79
3.6. Descripción del(los) instrumento(s) utilizado(s). ....	82
3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos. ....	82
3.8 .Análisis Costo - Beneficio .....	84

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	86
4.1. Datos informativos .....	86
4.1.1 Tema .....	86
4.1.2 Encargado de la ejecución.....	86
4.1.3 Beneficiarios.....	86
4.1.4 Ubicación.....	86
4.1.5 Equipo técnico responsable .....	87
4.2. Antecedentes de la propuesta.....	87
4.3. Justificación .....	87
4.4. Fundamentación .....	88
CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	90
5.1 . RESULTADOS EN TABLAS Y GRÁFICOS.....	90
5.2 . DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	97
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA .....	101
ANEXOS.....	102

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Álabes y disco de un ventilador de tiro inducido desgastado de la caldera n°6.....	22
Figura 2. Ventilador de tiro inducido centrífugo de doble entrada desgastado.....	23
Figura 3. Cenizas recolectadas bajo parrillas de la caldera n° 6.....	24
Figura 4. Mapa de Ubicación Azucarera Tumán.....	25
Figura 5. Caldera n°6, tomada de lado central.....	26
Figura 6. Ventilador de tiro introducido de la caldera n°6, vista del lado bagacera.....	27
Figura 7. Ventilador de tiro inducido de caldera N°3.....	29
Figura 8. Disposición de soldaduras en la 1° maza superior.....	33
Figura 9. Disposición de soldaduras 2° maza superior.....	34
Figura 10. Disposición de soldadura 3° maza superior.....	35
Figura 11. Balanceo estático.....	37
Figura 12. Ventilador de tiro inducido balanceado.....	37
Figura 13. Eje desgastado.....	38
Figura 14. Esquema de desgaste abrasivo.....	41
Figura 15. : a) Abrasión de bajos esfuerzos b) Abrasión de altos esfuerzos	

c) Abrasión penetrante.....	43
Figura 16. : Mapa esquemático de las zonas apreciables en una superficie sometida a impacto.....	44
Figura 17. a) Matriz deformable b) Matriz quebradiza.....	45
Figura 18. Impacto por desgaste.....	46
Figura 19. Esquema de desgaste por fatiga.....	48
Figura 20. Esquema de desgaste erosivo.....	49
Figura 21. Esquema de desgaste por cavitación.....	50
Figura 22. Esquema de desgaste por fricción.....	51
Figura 23. Relación dureza vs % grafito y volumen desgastado vs % grafito.....	53
Figura 24. Tasa de desgaste vs (H/Ha).....	54
Figura 25. Relación entre el mecanismo y coeficiente de desgaste.....	56
Figura 26. Efecto de las rugosidades en el desgaste.....	57
Figura 27. Tasa de desgaste vs velocidad de deslizamiento.....	58
Figura 28. Forma probable de partículas abrasivas.....	59
Figura 29. Efectos de la carga en la tasa de desgaste.....	60
Figura 30. Mecanismo de desgaste de fricción.....	61
Figura 31. Componente mecánico con aplicación de recubrimiento protector.....	65

Figura 32. Representación esquemática de las diferentes microestructuras eutécticas.....	67
Figura 33. Efecto de la microestructura y la dureza en la resistencia al desgaste abrasivo.....	68
Figura 34. Comportamiento de recubrimiento en base Fe ante un mecanismo de desgaste según el porcentaje de carbono y de elementos aleantes.....	70
Figura 35. : Mapa de procesos para la fabricación del ventilador.....	89
Figura 36. Electrodo normal.....	102
Figura 37. Electrodo de revestimiento.....	102
Figura 38. Planchas antidesgaste Triten (abrasión vs impacto).....	114
Figura 39. Materiales de carburo de cromo.....	115

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla climática histórica de Tumán.....	28
Tabla 2. Precio de minerales usados en recubrimientos protectores.....	66
Tabla 3. Variables y operacionalización.....	75
Tabla 4: Métodos para la calificación de procedimientos de soldadura para procesos 111, 114, 12, 13,14.....	83
Tabla 5: Costo de instalación del ventilador de tiro inducido.....	84
Tabla 6: Análisis químico del material base Chronit T1.....	92
Tabla 7: Propiedades Mecánicas Chronit T1.....	92
Tabla 8: Análisis químico del metal depositado.....	93
Tabla 9: Valores únicos son mínimos.....	94
Tabla 10: Electrodo Titen vs Electrodo convencionales.....	103
Tabla 11: Cuadro de orientación para aplicación de soldaduras convencionales para recubrimientos protectores.....	106
Tabla 12: Cuadro de orientación para aplicación de soldaduras especiales para recubrimientos protectores.....	107
Tabla 13: Electrodo de recubrimientos duros.....	108
Tabla 14: Electrodo de recubrimiento duro.....	109

Tabla 15: Electroodos de recubrimiento duro.....	110
Tabla 16: Característica Mecánicas del CHRONIT T – 1.....	112
Tabla 17: Precalentamiento de los aceros al carbono y aceros al cromo-níquel- molibdeno.....	117
Tabla 18: Especificaciones de aceros según SAE/AISI – Aceros al carbono.....	118



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los revestimientos duros y la soldadura de mantenimiento prolongan la vida útil de la maquinaria al obtener altos rendimientos durante más tiempo y reducir el número de fallas. La importancia del balanceo estático en los equipos rotativos es de mucha importancia ya que de esta manera se protegen los puntos de apoyos que viene hacer las chumaceras, como también se protegen las tuercas, pernos, etc.

En el primer capítulo veremos la realidad problemática que hay en los ventiladores de la empresa agroindustrial Tumán, formulando el problema, delimitando nuestro tema de estudio, justificación e importancia de investigación y objetivos de la tesis.

En el segundo capítulo, hablaremos como se empezó a utilizar electrodos especiales en la empresa agroindustrial Cartavio y los conceptos de desgaste y términos que nos ayudaran a identificar el tipo de desgaste que está sometidos el ventilador.

El procedimiento de rehabilitación y recuperación del ventilador se realiza en el tercer capítulo, haciéndose el diseño del nuevo ventilador usando nuevas planchas anti desgaste y electrodos especiales. Terminado se le debe hacer un balance estático al ventilador.

En el cuarto capítulo se dan los datos informativos de la tesis.

En el quinto capítulo contiene los resultados en tablas y graficas de la tesis.

En el sexto capítulo se hacen las conclusiones y recomendaciones.

## **GLOSARIO**

Amp: amperaje

C: carbono

Cm: centímetro

Dc: corriente continua

Cr: cromo

°C: grados Celsius

°F: grados Fahrenheit

KJ: kilo joule

KgF/mm<sup>2</sup>

mm: milímetro

Mo: molibdeno

Ni: níquel

V: voltaje

AISI: Instituto Americano del Hierro y el Acero

ASTM: Sociedad americana de ensayo de materiales

Austenita: es la forma estable del hierro puro a temperaturas que oscilan entre los 900 y 1400 °C. Está formada por una disolución sólida del carbono en el hierro, lo que supone un porcentaje máximo de C del 2,11%. Es dúctil blando y tenaz.

AWS: Sociedad Americana de la Soldadura

Cementita: es un constituyente de los aceros y otras aleaciones férreas como las fundiciones blandas, que aparece cuando el enfriamiento de la aleación sigue el diagrama meta estable F-Fe<sub>3</sub>C en vez de seguir el diagrama estable Hierro-Grafito. La cementita tiene un 6,67% en peso de carbono y es un compuesto intermetálico de inserción. La composición química de la cementita es Fe<sub>3</sub>C y la estructura cristalina es del tipo ortorrómbica.

Ferrita: o hierro  $\alpha$ , es en metalurgia la estructura cristalina del hierro. Admite hasta un 0,02% C en solución a la temperatura eutectoide. Cristaliza en el sistema cubico centrado en el cuerpo (BCC) y tiene propiedades magnéticas.

Fragilidad: se define como capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación, o diferencia de los materiales dúctiles que se rompen tras sufrir deformaciones plásticas.

Martensita: es el principal constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono o carbono de hierro en ferrita y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado auténtico a altas temperaturas. Sus propiedades físicas varían según su contenido de carbono hasta un máximo de 0,7%. Es muy frágil y presenta un aspecto acicular formado grupos en zigzag en ángulos de 60 grados.

Recocido: se puede entender el recocido como el calentamiento del acero por encima de las temperaturas de transformación a la fase austenítica seguida de un enfriamiento lento. El resultado de este enfriamiento es el de obtener un equilibrio estructural y de fase en los granos del metal.

Revenido: consiste en calentar el acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior al punto crítico, seguido de un enfriamiento controlado que

puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

SAE: sociedad americana de ingenieros

SAW: soldadura por arco sumergido

Templabilidad: es la capacidad de una aleación de reaccionar al temple desde la superficie hasta el núcleo del elemento. Depende de la composición química del acero, del tamaño y forma de la pieza. Todos los aceros aleados tienen una reacción específica entre las propiedades mecánicas y la velocidad de enfriamiento durante el temple, por lo que unos son más templados que otros.

Temple: es un proceso de calentamiento seguido de un enfriamiento, generalmente rápido con una velocidad mínima llamada crítica. El temple es una condición que se produce en el metal o aleación por efecto del tratamiento térmico impartiendo estructuras y propiedades mecánicas particulares.

Tenacidad: es la energía total que se absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones.

Torsión: se entiende por torsión la deformación de un eje producto de la acción de dos fuerzas paralelas con direcciones contrarias en sus extremos.

Tribología: (fricción, lubricación y desgaste) Es la ciencia que estudia las superficies que interactúan en movimiento relativo. El término tribología, significa frotar o rozar.

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

Como hemos manifestado en toda operación industrial, el problema importante en el mantenimiento de los equipos es el de minimizar el desgaste y recuperar las piezas desgastadas, cuyo costo es menor que el del cambio de las mismas para lo cual es importante reconocer el problema y la forma de recuperarlas, que por lo general implica la aplicación de recubrimientos metálicos por soldadura.

Pero ello no es todo, lo más importante es conocer el cómo y con qué material procesar la pieza. Para ello es necesario saber seleccionar el tipo adecuado de recubrimiento y el proceso de aplicación del mismo.

Este trabajo tiene por finalidad, lograr seleccionar el recubrimiento más adecuado para el metal base de la pieza desgastada.

Como se puede observar a continuación en la figura 1 el desgaste en el disco central del ventilador de tiro inducido es notorio, producto de las cenizas arrastradas de la combustión del bagazo. El material original era de plancha de fierro dulce igualmente que los alabes del ventilador, del fabricante, Babcock & Wilcox

En la figura 2 posteriormente sucede el mismo hecho que en la figura 1, se logra visualizar claramente como los álabes están desgastados.



Fig. 1.: Álabes y disco de un ventilador de tiro inducido desgastado de la caldera n°6  
Fuente: Propia

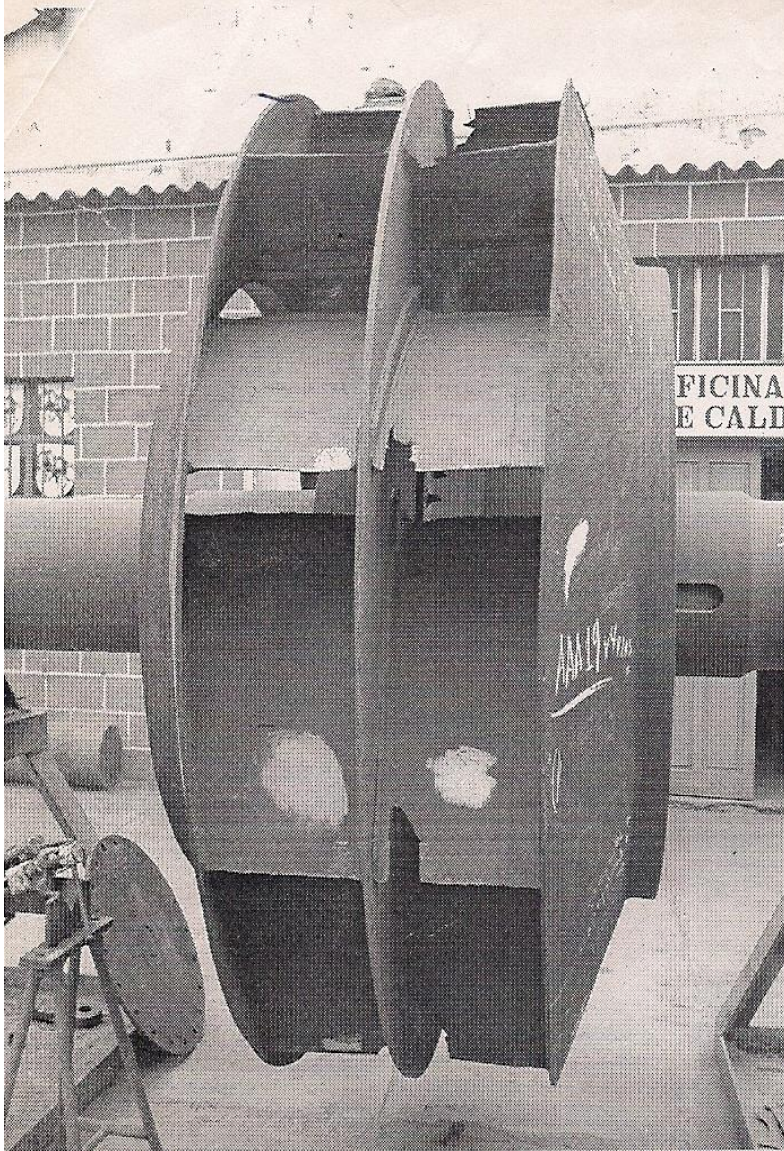


Fig. 2.: Ventilador de tiro inducido centrifugo de doble entrada desgastado  
Fuente: Propia





Fig. 3: Cenizas recolectadas bajo parrillas de la caldera n° 6  
Fuente: Propia

Cenizas recolectadas bajo parrillas, resultado de la combustión del bagazo las cuales al ser arrastrada por los gases de combustión, producen los desgastes posteriormente mencionados.



## 1.2. Formulación del Problema

¿Cómo evaluar los componentes metalúrgicos de los álabes, disco central, carcasa, pernos y tuercas?

¿Con que está construido el ventilador, para mejorar la vida útil del ventilador y mejorar la producción de la generación de vapor de la caldera?

## 1.3. Delimitación de La Investigación

La Planta Agroindustrial Tumán se encuentra ubicada a 19 km de la ciudad de Chiclayo, en las coordenadas  $6^{\circ}44'47''\text{S}$   $79^{\circ}43'07''\text{O}$

A continuación se muestra un mapa de ubicación de la localidad de Tuman:



Fig. 4: Mapa de Ubicación Azucarera Tuman  
Fuente: Google maps

El área de trabajo será en la caldera n° 6 (figura N°5), exactamente en el ventilador de tiro inducido. A continuación se muestra (figura N°6) una foto del ventilador de tiro inducido para su posterior necesidad, tomada de lado bagacera, se puede observar la caja donde se encuentra alojado el ventilador y la chumacera que sirve como apoyo del eje del ventilador.



Fig. 5: Caldera N°6 tomada de lado frontal

Fuente: Propia



Fig. 6: Ventilador de tiro inducido de la caldera n°6, vista del lado bagacera

Fuente: Propia

El clima de Tumán es un clima estepa local. A lo largo del año, le dan a pocas precipitaciones en Tumán. El clima aquí se clasifica como BSk por el sistema Köppen-Geiger. En Tumán, la temperatura media anual es de 17.6 ° C. Precipitaciones aquí promedios 307 mm.

La precipitación es la más baja en julio, con un promedio de 0 mm. 63 mm, mientras que la caída media en enero. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año. A una temperatura media de 28.8 ° C, agosto es el mes más caluroso del año. El mes más frío del año es de 5.6 °C en el medio de enero. Entre los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 63 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 23.2 °C.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	5.6	7.4	11.2	15.9	21.2	25.9	28.5	28.8	25.1	20.1	13.2	7.9
Temperatura mín. (°C)	1.1	2.2	5	8.9	13.4	17.7	20.4	20.6	16.8	12.1	6.5	3.3
Temperatura máx. (°C)	10.2	12.7	17.4	22.9	29	34.2	36.6	37	33.4	28.1	19.9	12.5
Temperatura media (°F)	42.1	45.3	52.2	60.6	70.2	78.6	83.3	83.8	77.2	68.2	55.8	46.2
Temperatura mín. (°F)	34.0	36.0	41.0	48.0	56.1	63.9	68.7	69.1	62.2	53.8	43.7	37.9
Temperatura máx. (°F)	50.4	54.9	63.3	73.2	84.2	93.6	97.9	98.6	92.1	82.6	67.8	54.5
Precipitación (mm)	63	54	36	34	18	3	0	0	2	17	23	57

Tabla 1: Tabla climática histórica de Tumán  
Fuente: Google maps

#### 1.4. Justificación e importancia de la investigación

El tema de investigación es a raíz del desgaste prematuro que se producen en los álabes, disco central, carcasa del ventilador de tiro inducido de la caldera N° 06 afectando la vida útil del mismo, por lo que se propone alcanzar el nivel máximo de conocimientos técnicos para mediante la aplicación de tecnologías de avanzada, lograr un mayor tiempo de trabajo del ventilador aumentando la vida útil del mismo y permitir que la caldera trabaje más tiempo de los 6 – 8 meses que lo hacía con los ventiladores originales que eran contruidos con materiales suaves.

### 1.5. Limitaciones

No existieron limitaciones, al contrario, el personal de la agroindustria Tumán facilitó en todo momento lo requerido, además de tener acceso a información, planos mecánicos, diagramas y panel fotográfico.

El personal en especial el señor Lucho Zevallos (mecánico encargado de la sección de calderas) que se observa a continuación fue el que más copero en las tomas fotográficas sobre los ventiladores y demás fotográficas.



Fig.7: Ventilador de tiro inducido de caldera N°3

Fuente: Propia

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivos Generales**

Se trata de implementar un método para realizar el mantenimiento preventivo en el ventilador, mediante la aplicación de recubrimientos duros anti desgaste.

Además integrar los conocimientos acerca de la utilización de piezas (álabes) especiales anti desgaste y revestimiento de los bordes con soldaduras especiales anti desgaste, para obtener mayor eficiencia en los mantenimientos correctivos y preventivos de las piezas sometidas a desgastes severos.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Definir los distintos tipos de desgaste o los cuales está sometido el ventilador.
- b) Describir el procedimiento de aplicación del recubrimiento de la soldadura.
- c) Las técnicas y cuidados que se deben tomar en cuenta en su aplicación.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

Este tipo de investigación se inició en el país en la empresa Agroindustrial Cartavio en los años 1985 – 1986 aproximadamente cuando se empezaron a utilizar mazas de acero fundido en anillos soldadas y rellenas sus dientes con soldaduras duras, aquí se hizo una investigación, empezando utilizar todos los tipos de electrodos duros de distintas marcas en una primera maza construida ya que la alta dirección no daba el visto bueno al uso del electrodo TRIALLOY 33 de TRITEN, por ser aparentemente oneroso, en ese entonces la investigación a cargo del Sr Ricardo Alvarado jefe de trapiche, que fue quien trajo la tecnología desde el Brasil y con el apoyo del Ing. Enrique Neciosup Incio(asesor de mi tesis) convencieron a la alta dirección para probar una primera maza con todos los electrodos duros que se conocían.

Después de soldar los anillos, maquinar los dientes de la maza, se empezó a trabajar sobre este primer equipo empezando a recubrir los dientes con electrodos OERLIKON (CITODUR 300, CITODUR 600, CITODUR 1000, TOOLCORD, EXADUR 43), CHROMCARB DE EUTECTIC Y TRIALLOY 33 DE TRITEN, en esta primera prueba se rellenó desde lado bomba a lado piñón (ver figura 8).

La maza tiene un diámetro de 40" y 78" de longitud, terminada de rellenar se hizo el montaje en el molino, empezando a trabajar continuamente durante 7 días que era el periodo de trabajo para mantenimiento semanal, ya en parada en el trapiche se ordenó medir los desgastes en cada una de las bandas de

relleno de soldadura colocadas, encontrándose que los desgastes eran mayores en la zona de la soldadura Citodur 300 y era mínima en la zona de la soldadura Trialloy 33 de TRITEN.

Es necesario mencionar que esta maza trabajaba como maza superior en el molino. Paralelamente se iba preparando una segunda maza superior y ya terminada de maquinar se procedió a rellenar con soldadura dura, pero esta vez empezando con la Trialloy 33 lado bomba y la Citodur 300 lado piñón(ver figura 9), terminada de rellenar se hizo el montaje en otro molino como maza superior y se puso a trabajar por durante una semana y en la parada de mantenimiento semanal se volvió a medir los desgastes en todo el largo de la maza, encontrándose nuevamente que siempre el mayor desgaste se produce en la zona donde se había colocado la Citodur 300 y el menor desgaste en la zona donde habían colocado la Trialloy 33, ósea que el comportamiento era el mismo en ambas posiciones.

De las observaciones que se realizaron en estas 2 mazas se concluyó que los desgastes se producían en menor proporción era en la zonas que estaba colocada la Trialloy 33 de Triten en menor proporción y luego la zona donde estaba la Exadur 43 de Oerlikon.

Por lo que se decidió hacer una tercera maza con la mitad rellena con Trialloy 33 y la otra mitad Exadur 43(ver figura10) y se colocó como maza superior en el tercer molino desde marzo en 1986. El comportamiento fue similar; se demostró que en un lapso de 15 años, estas tres mazas seguían trabajando, realizándoles un mantenimiento de recuperación de los espesores gastados en cada reparación que se hacía durante los mantenimientos semanales.

**Comentado [P1]:** VERIFICAR SI SON 15 AÑOS

**Comentado [P2]:** GASTADOS O DESGASTADOS



Esta modalidad de recuperación de los diámetros de las mazas de los trapiches se realiza actualmente en la mayoría de los ingenios azucareros del país con electrodos duros de varias marcas como se indica en el anexo I.

Cabe mencionar que sobre el comportamiento de los electrodos Trialloy 33, ya son conocidos por el Ing. Enrique Neciosup, haberlos hecho trabajar en el revestimiento de los alabes del ventilador de tiro inducido de una caldera antigua de la empresa agroindustrial Tumán, la N° 3, en el año 1982; en aquella época se cambiaban los ventiladores de tiro inducido cada 3 meses por el desgaste producidos en los alabes del ventilador y se cambiaban por uno reparado en el que los alabes se rellenan con los electrodos Trialloy 33 de Triten, en esa época el ventilador estaba trabajando 6 meses y no mostraba desgaste importante

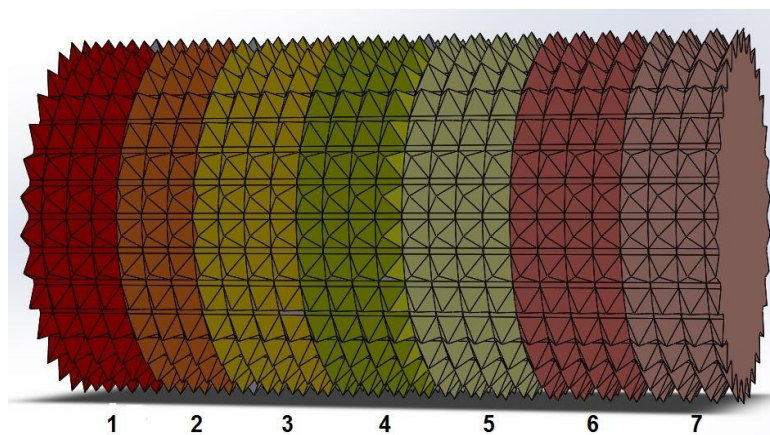


Fig. 8: Disposición de soldaduras en la 1° maza superior  
Fuente: propia

1. Citodur 300(Oerlikon)
2. Citodur 600(Oerlikon)
3. Citodur 1000(Oerlikon)

4. Toolcord (Oerlikon)
5. ChromCarb (Eutectic)
6. Exadur 43 (Oerlikon)
7. Trialloy 33 (Triten)

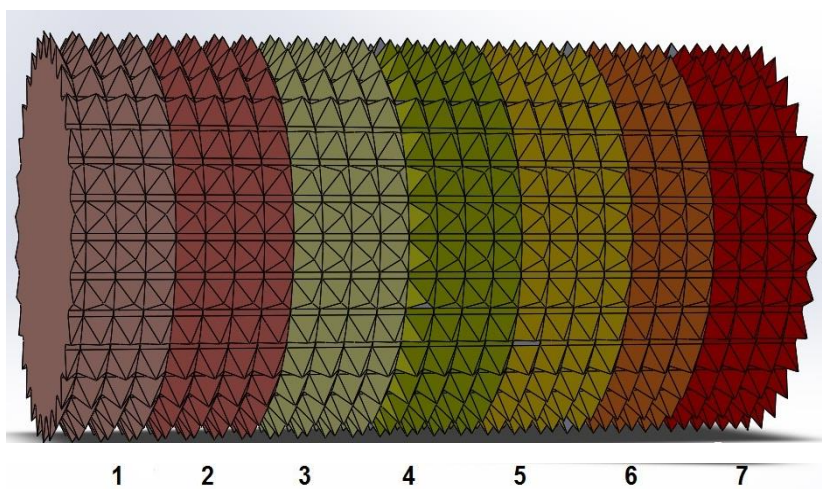


Fig.9: Disposición de soldaduras 2° maza superior  
Fuente: propia

1. Trialloy 33 (Triten)
2. Exadur 43 (Oerlikon)
3. ChromCarb (Eutectic)
4. Toolcord (Oerlikon)
5. Citodur 1000(Oerlikon)
6. Citodur 600(Oerlikon)
7. Citodur 300(Oerlikon)

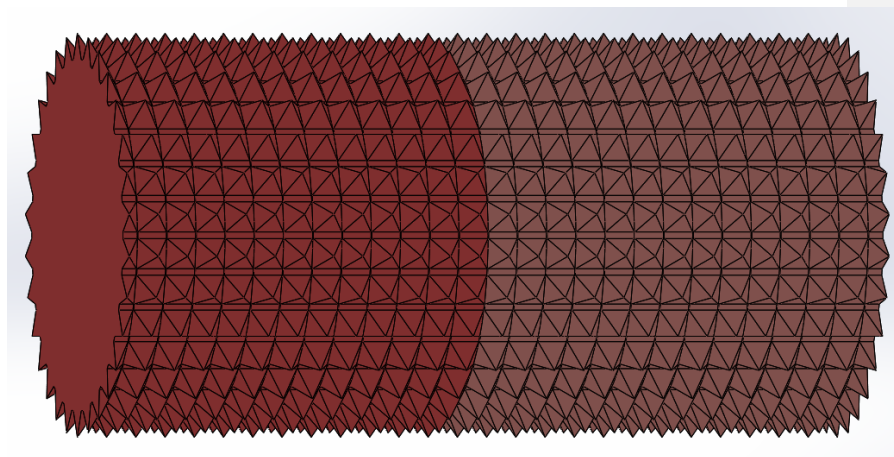


Fig.10: Disposición de soldadura 3º maza superior  
Fuente: propia

1. Exadur 43 (Oerlikon)
2. Trialloy 33 (Triten)

Posteriormente en el año 2007 en el ingenio azucarero Tumán se realizó la reparación del ventilador de tiro inducido de la caldera N°6 utilizando el relleno de los álabes con los electrodos duros Trialloy 33 de Triten, logrando un alargue de la vida útil del ventilador en aproximadamente tres meses más de lo normal. Posteriormente se reparó el ventilador de repuesto, empezando a cambiar las planchas de los conos y del disco central que eran de hierro al carbono por planchas antidesgaste de acero Bohler Chronit T1-400 para los conos y Chronit T1-500 para el disco central, los álabes se mandaron a construir con planchas de acero antidesgaste T-200X en la marca TRITEN, planchas especiales cuya composición se muestran en el anexo II y III

respectivamente, luego se rellenan los bordes de los álabes, cabezas de pernos y tuercas que sostienen el ventilador con los electrodos duros Trialloy 33 de TRITEN cuya composición se indican en el anexo I.

Debemos agregar que terminado de reparar el ventilador se debe realizar un proceso de balanceo estático que los describiremos más adelante.

Desbalance estático:

Este desbalance aparece cuando el eje principal es paralelo al eje de rotación. Dos desbalances mostrados en la figura 11 como flechas, pueden tener el mismo tamaño y posición angular y pueden estar ubicados a la misma distancia a partir del centro de gravedad del rotor. La misma condición resulta para un desbalance individual, del doble de la magnitud de uno de los anteriores, actuando en el centro de gravedad, es decir en este caso el centro del rotor.

Si dicho rotor esta soportado sobre dos soportes nivelados y delgados, este tendera a rodar hasta que el punto más pesado se encuentre en el punto inferior. Esto significa que este desbalance actúa aun sin que el rotor se encuentra rotando; a este fenómeno se le conoce como “desbalance estático”. Esto causa que el centro de masa cambie su posición fuera del centro geométrico, el cual al girar causa que el rotor oscile paralelo a su eje de rotación cuando el rotor se encuentra en operación. El desbalance estático puede ser corregido en el plano del centro de gravedad. Esto se puede lograr removiendo material del “punto pesado” o agregando material en el lado opuesto de dicho punto. La corrección del desbalance estático en un plano de corrección ocurre frecuentemente en rotores en forma de disco, como por ejemplo a los rotores de los ventiladores de los tiros de las calderas a vapor.

Por lo que, las máquinas de balanceo vertical son las más apropiadas para este tipo de balanceo.

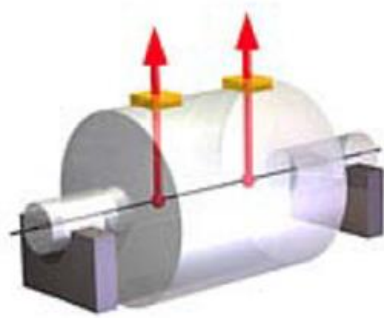


Fig.11: Desbalance estático  
Fuente: propia

La figura 12 a continuación se observa el contrapeso que se tuvo que colocar para que el ventilador este balanceado estáticamente.



Fig.12: Ventilador de tiro inducido balanceado  
Fuente: propia

En la figura 13 podemos observar un eje desgastado por falta de lubricación (grasa a la chumacera de apoyo) y/o refrigeración (agua a la chumacera de apoyo).

Aquí también se hace la recuperación al diámetro original del eje con las soldaduras duras más adelante mencionadas, que también se utilizan en el ventilador de tiro inducido.



Fig.13: Eje desgastado  
Fuente: propia

## **2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado.**

En el ítem anterior hemos explicado lo que se ha hecho al respecto en dos Ingenios azucareros del país, Cartavio y Tumán, pero esta técnica sobre todo en la recuperación de las mazas del trapiche, se realizan en los 12 ingenios del Perú, a partir de los resultados que se obtuvieron en Cartavio.

En otros países, se han realizado trabajos como:

- 1) Análisis y selección de los procesos para recubrimientos duros en la recuperación de piezas industriales, presentado por Chala Gonzalón Jorge Xavier y Molino Velasco Edwin Daniel; tesis presentada en la escuela Politécnica Nacional de Quito para la obtención del título de Tecnólogo en procesos de Producción Mecánica.
- 2) Recuperación de piezas desgastadas en recubrimientos protectores: Artículo presentado por José Lueldey Marulanda, Ingeniero Metalúrgico y Gonzalo Trujillos Auxiliar de Ingeniería Mecánica Universidad Tecnológica de Pereira.
- 3) Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V, tesis para obtener título de Ingeniero Mecánico.

## **2.3. Definición conceptual de la terminología empleada**

### **2.3.1. Desgaste**

Se define el desgaste como la pérdida progresiva del material sólido de la superficie de un determinado componente, producto de un movimiento relativo entre este y otro cuerpo (sólido, líquido o gas). El desgaste ocurre en muchas situaciones como por ejemplo con equipos para la remoción de tierra, bombas o tuberías para lodos, perforadoras de rocas, trituradoras de rocas, ventiladores de calderas, etc.

El desgaste es una consecuencia normal del uso de un componente, sin embargo puede llegar a ser más severo de lo permisible.

Las picaduras en los engranajes, la corrosión por cavitación a la superficie de un cilindro y la fricción en prensas de ajustes son

manifestaciones de desgastes que eventualmente finalizan en el reemplazo de las piezas desgastadas o la inutilización de una máquina. La pérdida de material o deterioro de un componente como consecuencia del desgaste no es un proceso violento pero a medida que progresa afecta las dimensiones nominales de una pieza, disminuye la eficiencia de trabajo de una máquina o componentes mecánicos e incrementa los costos por lubricación o ramificación para mitigar esos efectos.

Según los mecanismos físicos, la cinética del proceso y la composición química de los agentes partes del sistema, los principales mecanismos o tipos de desgaste son:

#### **2.3.1.1. Desgaste abrasivo**

Se define como el tipo de desgaste donde las principales causas del deterioro se originan por rayado y/o corte de un material duro y puntiagudo sobre un material blando. Las protuberancias bajo presión y deslizamiento con otro cuerpo tienden a formar ralladuras profundas mientras penetran la superficie blanda ocasionando deformación plástica y arranque de material. De la figura 14 las imágenes a y b muestran como las imperfecciones o protuberancias superficiales influyen en la pérdida de material, mientras mayores sean las imperfecciones se incrementa la pérdida de material, análogamente para las imágenes “c” y “d” las partículas con movimiento relativo entre dos cuerpos aumentan la tasa de desgaste.



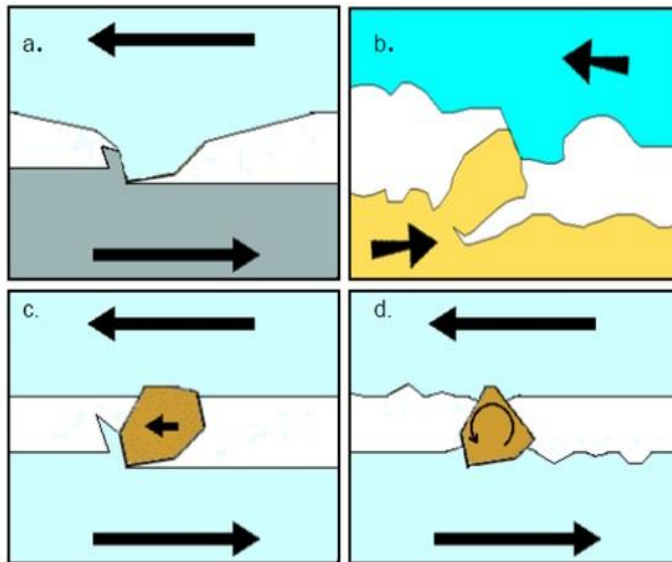


Fig. 14: Esquema de desgaste abrasivo  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

La tasa de desgaste depende de en gran medida de la capacidad de penetración del abrasivo, lo cual genera una relación en la dureza y morfología superficial del componente sometido a desgaste.

El efecto de la forma, el tamaño y la dureza de las partículas abrasivas, además de la carga a condiciones ambientales del sistema tribológico permiten clasificar el desgaste según su tasa del mismo.

#### **a) Abrasión pura o de bajos esfuerzos**

Se caracteriza por ser la que tiene la menor tasa de desgaste, es decir, es el mecanismo de desgaste menos severo. El ángulo de contacto del abrasivo es muy pequeño y/o los esfuerzos no son los suficientemente intensos para producir un considerable desprendimiento de partículas sólidas del elemento afectado.

#### **b) Abrasión de altos esfuerzos o pulverizante**

Este tipo de desgaste se puede identificar cuando 2 superficies frotan entre si y presionan partículas abrasivas con suficiente fuerza para triturarlas y provocar la formación de puntas que desgastaran los componentes en contacto, los altos esfuerzos se generan por la reducción del área de contacto de las partículas abrasivas combinada con la aplicación de altas fuerzas normales en la sección.

#### **c) Abrasión penetrante**

Este tipo de desgaste se presenta cuando la abrasión con bajos y altos esfuerzos viene acompañad de un grado de impacto. Durante el impacto de partículas aplican altas cargas en tiempos de contacto relativamente cortos(microsegundos), resultando en altas velocidades de deformación, la perdida de material se debe a las deformaciones plásticas, posterior endurecimiento y

finalmente al desgaste de las partículas metálicas lo que hace que la tasa de desgaste sea mayor que la de bajo y altos esfuerzos.

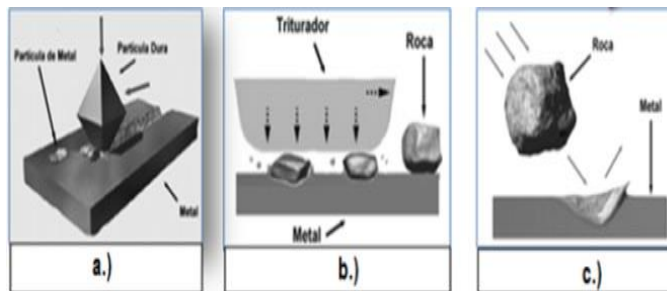


Fig.15: a) Abrasión de bajos esfuerzos b) Abrasión de altos esfuerzos c) Abrasión penetrante

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

#### 2.3.1.2. Desgaste por impacto

Se define como la pérdida de material de una superficie sólida producto del choque o contacto dinámico repetitivo de otro cuerpo sobre dicha superficie.

Este desgaste está relacionado al desgaste erosivo, solo que este desgaste es por impacto.

En las superficies metálicas el desgaste por impacto se manifiesta como la deformación de los agentes sujetos a cargas pulsantes. Por lo general pueden distinguirse 3 zonas, como se muestra en la figura 16 ; la zona 1 es la superficie más lejana a la zona de impacto y que está formada íntegramente

por el material base que no ha sufrido ningún tipo de deformación; seguidamente se encuentra la zona de deformación, que es una zona intermedia y que es material base plásticamente deformado, en la figura se aprecia que el grado de deformación aumento progresivamente desde la zona 1 hasta la interface de la zona 3, finalmente se aprecia y se puede identificar a la capa blanca o superficie de contacto, la que generalmente es homogénea y es donde se inician las deformaciones.

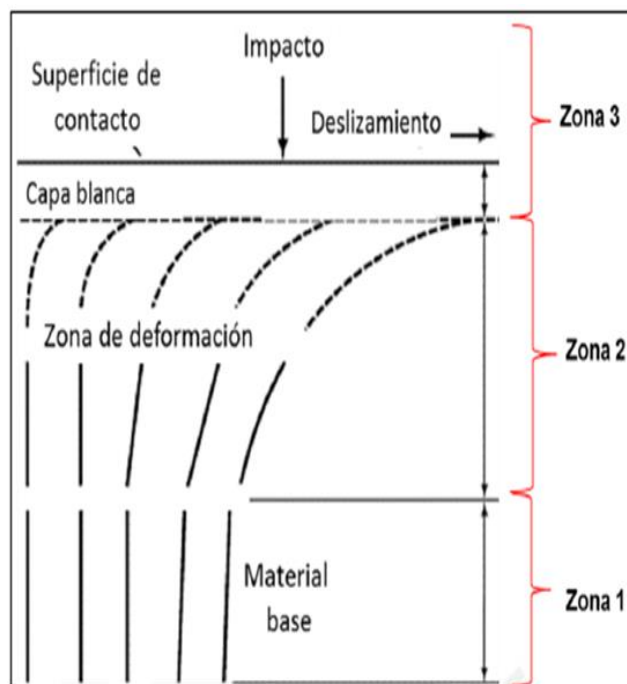


Fig16: Mapa esquemático de las zonas apreciables en una superficie sometida a impacto

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

Según la figura 17 la zona de deformación puede o no aparecer dependiendo del nivel de fragilidad del material, en superficies con una matriz quebradiza o no deformada se mantiene la capa blanca pero el material base tiende a mantenerse indeformable.

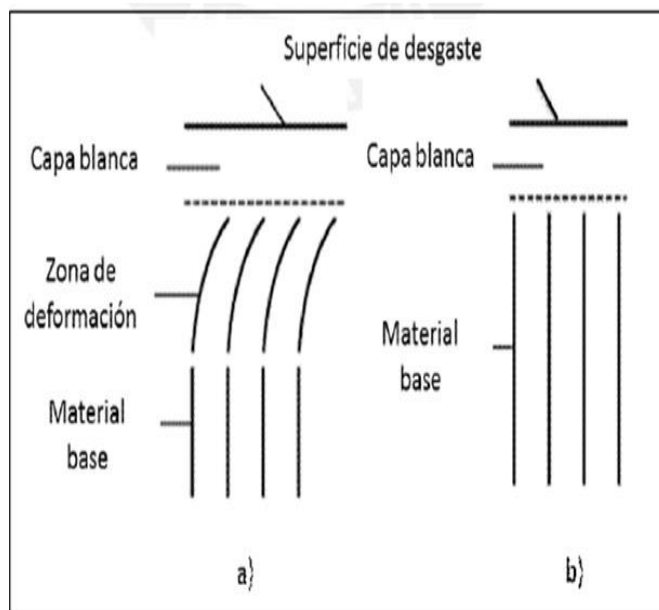


Fig. 17: a) Matriz deformable b) Matriz quebradiza  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

El desgaste por impacto, aun cuando no requiere mayor definición, es conveniente analizarlo desde un enfoque de transferencia de energía como se muestra en la figura 18

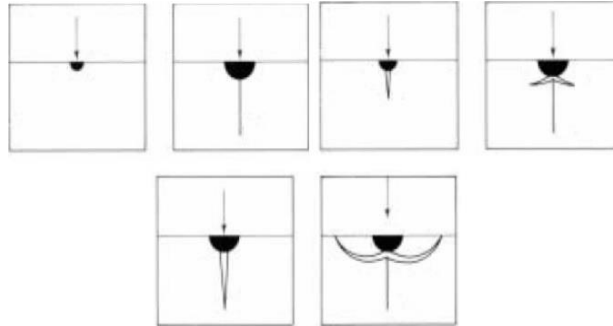


Fig. 18: Impacto por desgaste  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

Considerando la figura anterior en ella, una partícula (metálica o no metálica) choca contra una superficie. Esta partícula posee un cierto grado de energía debido a la velocidad ( $c$ ) que lleva y a su masa ( $m$ ), esta energía cinética ( $E$ ) viene expresada por:

$$E = \frac{1}{2}mc^2 \dots\dots\dots (1)$$

Como se sabe, por la ley de la conservación de energía, la energía no se pierde ni se destruye, solo se transforma. Para este caso, la energía almacenada se transforma, al impacto, en trabajo de deformación plástica o elástica, dependiendo de la característica de la superficie y de su habilidad para poder absorber dicha energía.

La habilidad de poder absorber la energía del impacto en un metal, viene en gran parte determinada por las características de tenacidad del mismo.

La propiedad de tenacidad se define como la capacidad del metal de admitir el impacto de una carga aplicada rápidamente y depende de los valores de elongación, tensión de ruptura y ductilidad del material.

Si la superficie es frágil por el impacto puede fracturarse fácilmente, pero si es tenaz cederá por deformación elástica o plástica de forma que se evitara la fractura o al menos se retrasara. El material de impacto puede ser metálico o no metálico.

Algunos de los efectos del impacto son los siguientes; agrietamientos por fatiga, compresión y deformación. Prácticamente todos los casos de impactos producen una combinación de estos efectos y provocan el debilitamiento de la microestructura de la pieza de manera que otros mecanismos de desgaste pueden desarrollarse fácilmente.

#### **2.3.1.3. Desgaste por fatiga**

Este desgaste se presenta cuando un componente está sometido a elevadas cargas durante el deslizamiento repetitivo o rodamiento sobre una pista, debido a la repetición de la carga se generan superficies que sufran intensas deformaciones lo

cual provoca la aparición y propagación de grietas en la superficie de contacto.

La figura 19 presenta un esquema del mecanismo de desgaste por fatiga.

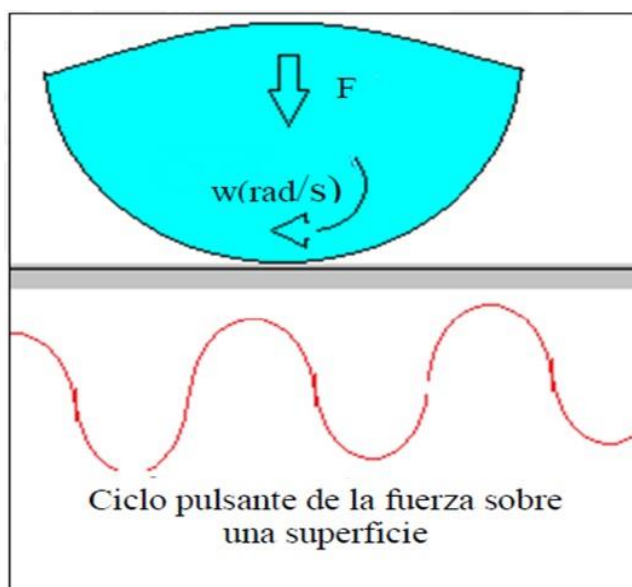


Fig.19: Esquema de desgaste por fatiga

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

#### 2.3.1.4. Desgaste erosivo

En la figura 20 se representa a este tipo de desgaste, se caracteriza porque las partículas abrasivas se transporta a través de un fluido con un determinado ángulo de incidencia sobre la superficie metálica, el ángulo de incidencia es el mayor en el caso de abrasión por erosión y determina el grado de severidad del desgaste erosivo pues este influye en la



capacidad del metal para absorber la energía de impacto o en todo caso la capacidad de deformarse y desprender material. Este tipo de desgaste está relacionado por el desgaste por impacto, pero se diferencia principalmente por el tamaño de partículas abrasivas (pequeñas y filudas), la aleatoriedad del número de impacto y la gran incertidumbre de las zonas de choque efectivo por parte de los abrasivos.

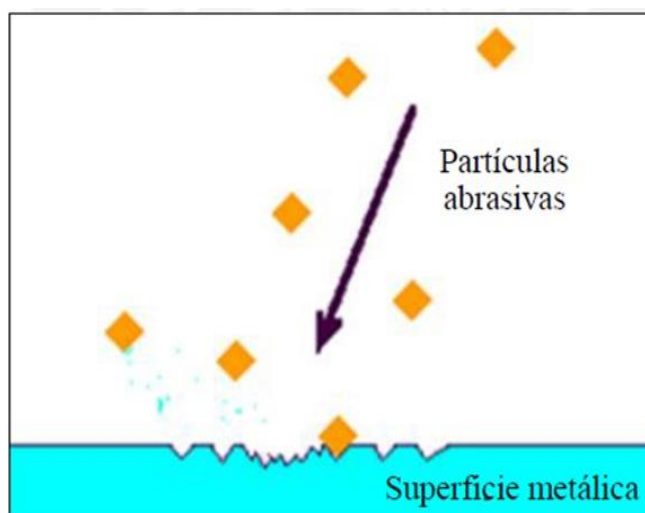


Fig.20: Esquema de desgaste erosivo

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Ríos)

#### 2.3.1.5. Desgaste por cavitación

La cavitación se produce cuando un fluido cambia bruscamente su velocidad generando un vacío de tal forma que la presión de vapor del fluido disminuye por debajo de la presión de vaporización del fluido, bajo estas condiciones se produce la formación de burbujas que al pasar de zonas de baja a alta

presión implotan sobre la superficie produciendo el desprendimiento del metal de la superficie.

La figura 21 muestra una representación esquemática del proceso de desgaste por cavitación, en donde inicialmente la burbuja sometida a los cambios de presión produce un “micro jet” que implosiona sobre la superficie metálica, dañándola, aquí el deterioro por cavitación es la desintegración mecánica de las capas superficiales.

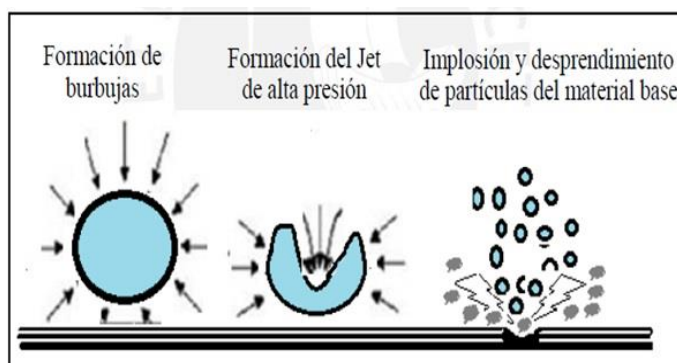


Fig.21: Esquema de desgaste por cavitacion  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

#### 2.3.1.6. Desgaste adhesivo

A este desgaste se le conoce como desgaste por fricción metal – metal o desgaste por deslizamiento, tal como se puede ver en la figura 22, se presenta en piezas que se encuentran en contacto deslizante bajo la acción de una carga. Este desgaste también se produce como el resultado de la

destrucción de la interface de unión de las superficies en contacto, de esta manera parte el material arrancado de la superficie se transfiere a la otra generando una superficie mucho más rugosa, propiciando mecanismos de desgaste más severos.

Este desgaste se relaciona con el “coeficiente de fricción”, el cual se disminuye utilizando lubricantes antifricción de manera de evitar el contacto directo metal-metal.

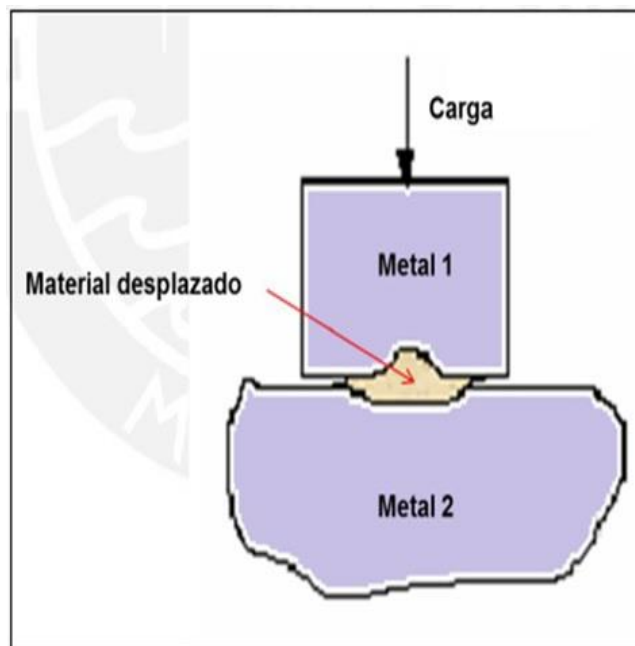


Fig.22: Esquema de desgaste por fricción

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

Todas estas formas de desgaste se explicaron individualmente, sin embargo el desgaste no es un fenómeno fácil de evaluar ya que en la mayoría de los casos sus diferentes mecanismos o formas de manifestarse no aparecen de manera aislada y más bien en realidad se pueden encontrar dos o tres mecanismos actuando simultáneamente y a eso se le puede sumar más condiciones de presión y temperatura o las que está sometido nuestro sistema tribológico por ejemplo:

- 1) Impacto, absorción y presión.
- 2) Impacto, absorción y temperatura
- 3) Absorción, erosión y corrosión
- 4) Fricción, corrosión y cavitación

### **2.3.2. Factores que afectan el desgaste**

#### **a) Dureza:**

En lo general la tasa de desgaste crece conforme aumenta la dureza del agente desgastante. Si queremos aumentar la resistencia al desgaste se debe incrementar la dureza de los materiales que están sometidos a condiciones severas de desgaste, mediante tratamientos térmicos o aleaciones que promueven la formación de microestructuras duras.

En la figura 23 se observa como al incrementar el contenido de grafito aumenta la dureza y la formación de microestructuras con carburos finos duros en la matriz y disminuyendo el desgaste.

Dependiendo de la dureza de los materiales que intervienen en un proceso de desgaste se puede observar tres regímenes.

- 1) Régimen débil cuando la dureza del abrasivo es menor que la del metal.
- 2) Régimen de transición cuando la dureza del abrasivo es apropiadamente la dureza del metal.
- 3) Régimen severo cuando la dureza del abrasivo es mucho mayor que la del metal

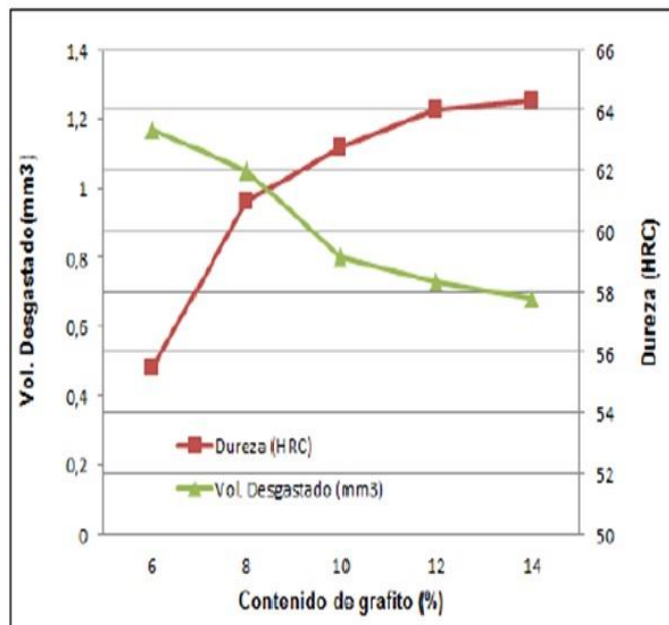


Fig.23: Relación dureza vs % grafito y volumen desgastado vs % grafito

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

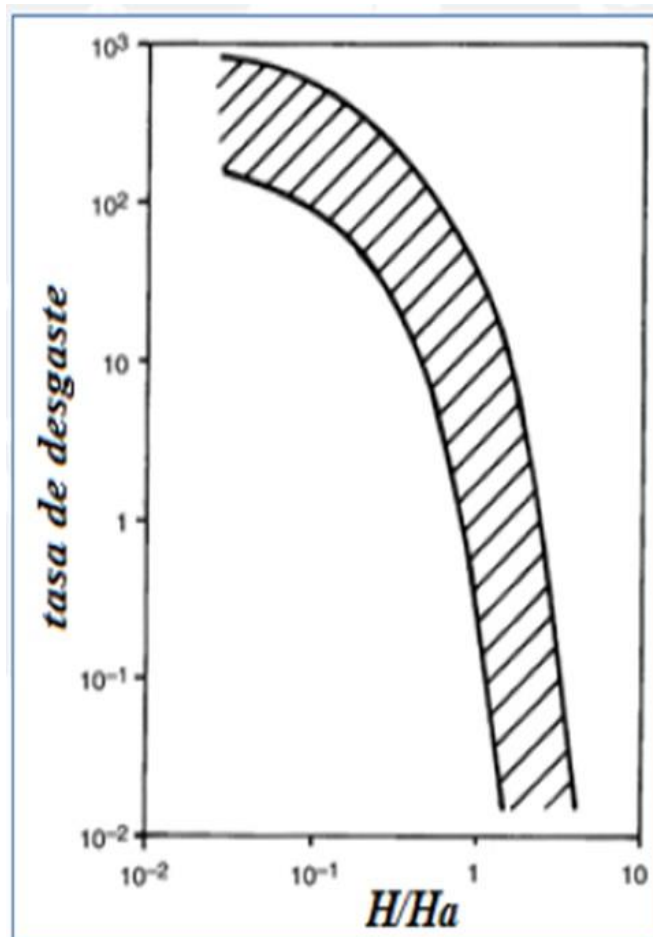


Fig.24: Tasa de desgaste vs ( $H/H_a$ )

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

Adicionalmente Wang menciona que las partículas abrasivas solo ocasionan ralladuras en la superficie de un componente mecánico si la dureza del agente desgastado es menor que 1,2 veces la dureza del agente abrasor, en la figura 24 se puede apreciar como

la tasa de desgaste disminuye considerablemente cuando la relación de dureza del material desgastado ( $H$ ) y del abrasivo ( $H_0$ ) se acerca a la unidad o son aproximadamente iguales.

Además de la dureza existen otros factores que intervienen en el proceso de desgaste, por ejemplo, el coeficiente de desgaste de la ecuación de Archard (1.1), aquí el volumen desgastado es directamente proporcional a la carga aplicada pero inversamente proporcional.

$$K \leq \frac{Vol_{desgastado} \times Dureza}{Carga} \dots\dots (2)$$

De la figura 25, el coeficiente de desgaste ( $K$ ) es característico del sistema tribológico en el que está actuando, este es un dato experimental que proporciona información del grado de severidad del proceso de desgaste, su valor siempre depende de la mecánica del sistema.

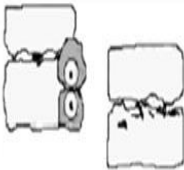
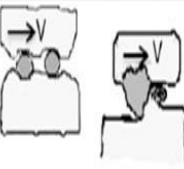

Mecanismo de Desgaste		Coef. Desgaste (k)
		$10^{-7}$ $10^{-6}$ $10^{-5}$ $10^{-4}$ $10^{-3}$ $10^{-2}$ $10^{-1}$ $10^0$
Desgaste por Fricción		suave severo
Desgaste por Abrasión		3 cuerpos 2 cuerpos
Desgaste por Erosión		

Fig.25: Relación entre el mecanismo y coeficiente de desgaste  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V.  
(Ainsworth Noriega Rios)

## b) Acabado superficial

Ningún proceso de fabricación de una pieza proporciona superficies perfectas, según se muestra en la figura 26, es decir se obtienen superficies rugosas que al ponerse en contacto durante el movimiento de los campos, aumentara el desgaste abrasivo, esto se debe a que el rozamiento del material entre las protuberancias originan el desprendimiento del material solido sometido a desgaste, además las partículas desprendidas



aumentaran más aun del desgaste y/o que actúan como partículas abrasivas muy pequeñas y son concentradoras de cargas.

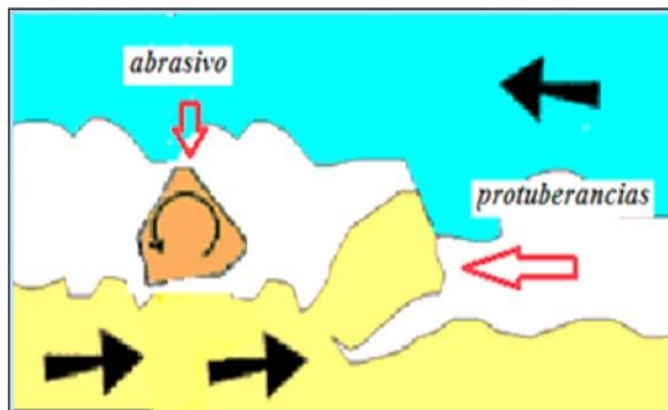


Fig.26: Efecto de las rugosidades en el desgaste  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

### c) Velocidad

La velocidad con la que interactúan los agentes tribológicos es un factor importante ya que intervienen directamente con el incremento de la temperatura en la interface del deslizamiento, tal como se muestra en la figura 27 obtenidos de un ensayo de desgaste abrasivo.

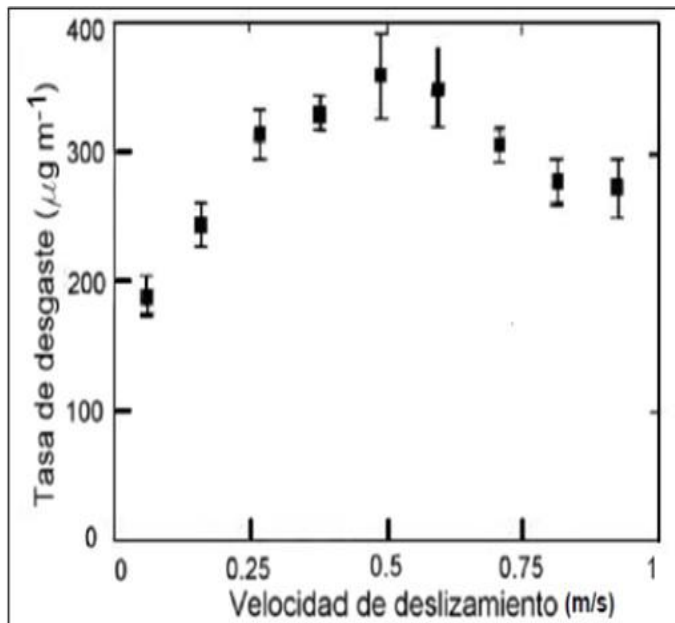


Fig.27: Tasa de desgaste vs velocidad de deslizamiento  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

#### d) Partículas abrasivas

El tamaño y la forma de las partículas se muestran en la figura 28 junto en la magnitud de carga que se aplica tiene influencia en el tipo de desgaste que predomina, se demuestra que mientras mayor sea la dureza de las partículas abrasivas se incrementa la tasa de desgaste de un componente en contacto con estas partículas.

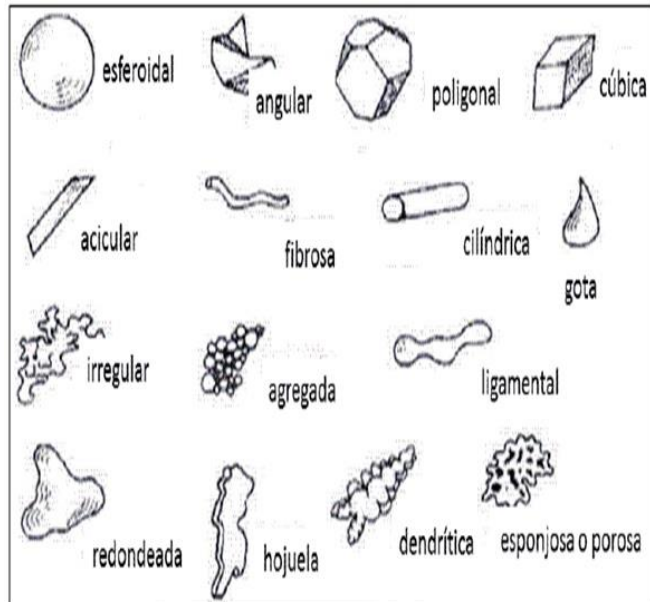


Fig.28: Forma probable de partículas abrasivas

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

#### e) Carga

Dwivedi demostró experimentalmente que el aumento de la carga normal sobre dos superficies que se encuentran en deslizamiento uno a uno, incremento al coeficiente de desgaste abrasivo, se puede notar en la figura 29 los efectos en la tasa de desgaste dependiendo de la magnitud de la carga aplicada en un ensayo ASTM G 65.

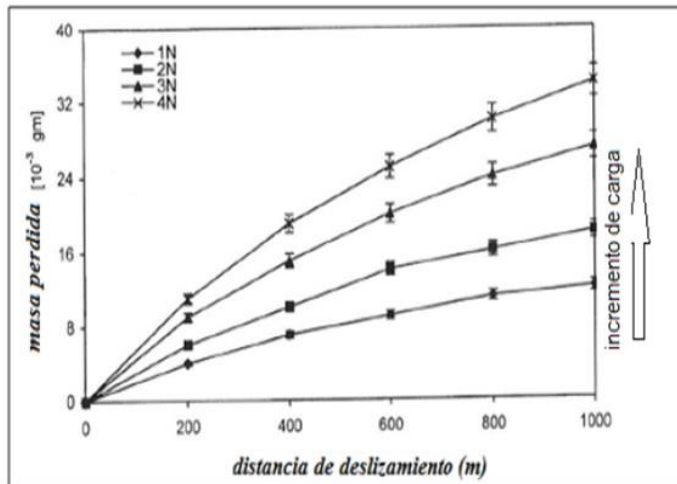


Fig.29: Efectos de la carga en la tasa de desgaste

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

### 2.3.3. Fricción

La fricción genera pérdida de materiales por rozamiento de una superficie metálica contra otra, está presente en forma amplia en todo el proceso de estampado y constituye uno de los más activos agentes del desgaste de partes y piezas.

El examen microscópico de las superficies permite visualizar la microrugosidad real, que existe en piezas que en un examen microscópico se ven pulidas. En efecto, las mismas son una sucesión de montes y valles de topografía aguda.

El desplazamiento relativo de una superficie contra la otra produce el choque de aristas encontradas y se genera una deformación

localizada, aumento de temperatura y ruptura de dichas caras o bordes.

Se ha constatado además, el efecto de la soldadura, debido a altas temperaturas puntuales que se generan durante el proceso, entre las aristas de contacto.

Dichas aristas microsoldadas, dan lugar a remoción de metal en aquel que tenga menos dureza, incluso algunas de estas partículas desprendidas se ligan al metal más duro, dando lugar a formaciones de películas fuertemente adheridas. Por otro lado, se produce un efecto de abrasión de bajo y alto esfuerzo al existir partículas libres en el sistema, que tenderán a penetrar y/o rayar generalmente la superficie más blanda. Como se observa en la figura 30.

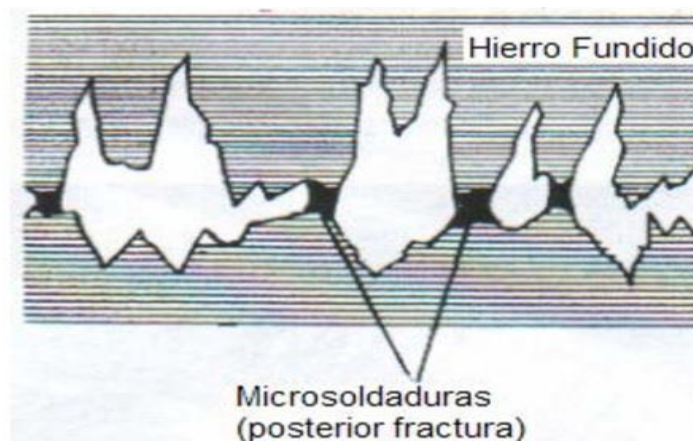


Fig.30: Mecanismo de desgaste de fricción  
Fuente: C. Howard 2004

#### **2.3.4. Corrosión**

Este mecanismo ocurre cuando se produce una reacción química o electroquímica y se puede considerar dos situaciones diferentes, el ataque químico directo en el cual los electrodos abandonan el metal convirtiéndolos en cationes metálicos de un compuesto, y la corrosión electroquímica por la acción de un electrolito y de otro metal que produzca una acción catódica convirtiéndolo a la pieza metálica en parte anódica.

#### **2.3.5. Calor**

Este no es un factor que cause un desgaste directo, más bien es un factor coadyuvante a los otros mecanismos, que actúa acelerando la acción de los otros factores antes mencionados.

#### **2.3.6. Recubrimientos protectores- Hardfacing**

Gran parte de los gastos de una empresa son los constantes cambios de los componentes mecánicos que sufren deterioro por efecto del desgaste ocasionado. Es así, y tomando en cuenta consideraciones económicas y de factibilidad económicas y de factibilidad de procedimientos que los HARDFACING o recargues duros son métodos muy difundidos para disminuir los efectos del desgaste.

Los recargues duros son procesos de recubrimiento de protección que consiste en el depósito de una o más capas de soldadura sobre una superficie desgastada, en el objetivo de recuperar o poner operativa

alguna pieza mecánica, hay que recalcar que este proceso también se utiliza como etapa final en la fabricación de una pieza que va a estar sometida a un desgaste severo, como el caso del ventilador de tiro inducido de la caldera N° 06 de Tumán.

Los recubrimientos protectores permiten:

- a) Recuperar piezas desgastadas.
- b) Reparar elementos de máquinas.
- c) Proteger las superficies de las piezas o elementos sujetos a fuertes desgastes, prolongando su vida útil.
- d) Construir piezas con materiales baratos, aplicando el recargue protector solo en las superficies que requieran protección.

Como se ha mencionado, existen diferentes mecanismos de desgaste, y la selección del tipo de recubrimiento se basa precisamente en el mecanismo que envuelve el componente mecánico y en el material base, además es importante determinar el procedimiento más adecuado para el depósito de dicho recubrimiento ya sea por soldadura, rociado térmico, electrodeposición, etc.

Los recubrimientos por soldadura se usan para resistir muchos tipos de desgaste y los componentes más usados son principalmente aleaciones y carburos. Se deben considerar al menos tres de los siguientes factores en la aplicación de un recubrimiento: el metal base, la composición y forma de la pieza, aleación del recubrimiento y el proceso de soldadura.

En la industria existen muchos tipos de recubrimientos protectores que tienen excelente rendimiento y resultados predecibles, sin embargo la selección de un adecuado recubrimiento protector necesita del conocimiento de:

- a) El grado de desgaste en el cual opera un equipo.
- b) La función de la pieza o equipo.
- c) El metal base donde será aplicado.

Además existen consideraciones adicionales:

- a)** Cuando las piezas están muy desgastadas se deben restaurar cerca o sus medidas originales para luego aplicar el recubrimiento protector.
- b)** Solo cuando la pérdida de material es muy grande se recomienda utilizar postizos.
- c)** En el proceso por arco eléctrico se recomienda utilizar dos pases de recubrimiento protector de alta dureza.
- d)** La forma de los pases y de los cordones de soldadura están relacionados a las condiciones de servicio ya que la forma del cordón puede influir en el tiempo de servicio del recubrimiento y en el gasto de energía para realizar el proceso.
- e)** Finalmente es importante seleccionar bien el diámetro del electrodo que se utilizara y supervisar las condiciones de voltaje y amperaje en el proceso de depósito del recubrimiento.

En la figura 31 se observa el esquema de una secuencia de recargue de protección, la deposición del recargue dependerá del componente mecánico y las condiciones de desgaste a las que estará sometida la pieza.



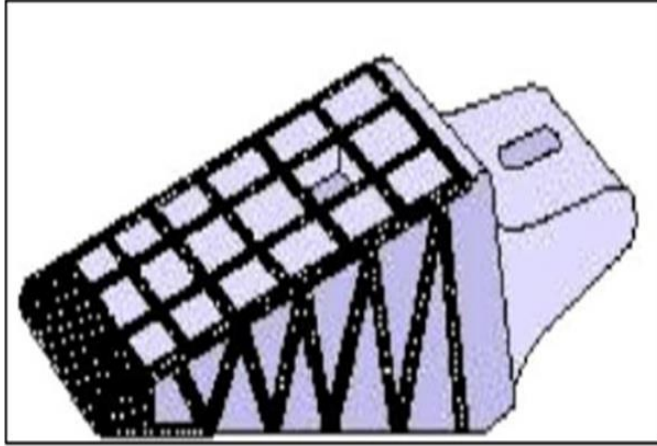


Fig. 31: Componente mecánico con aplicación de recubrimiento protector  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

### 2.3.7.Principales elementos que componen un recubrimiento protector

Para el revestimiento de un electrodo de soldadura para un recubrimiento protector se usan hasta cuarenta minerales y sustancias distintas, como arena de zirconio, rutilo, celulosa, caolín, mármol, polvo de hierro, etc. Normalmente se realiza un análisis individualizado de la calidad y composición de estos productos. La composición de los revestimientos suele ser muy compleja, se trata generalmente de una serie de sustancias orgánicas y minerales.

En la fabricación de la pasta para el revestimiento intervienen:

- a) Óxidos naturales: óxidos de hierros, ilemita(50% oxido férrico y 50% oxido de titanio), rutilo (oxido de titanio), sílice(oxido de silicio)
- b) Silicatos naturales: caolín, talco, mica.
- c) Productos volátiles: celulosa, aserrín

- d) Fundentes
- e) Productos químicos: carbonatos, óxidos, etc.
- f) Ferroaleaciones de: Mn, Si, Ti, V, etc.
- g) Aglomerantes: silicato sódico, silicato potásico.

Durante los últimos años hay una tendencia de alza en respecto a los precios internacionales de los minerales, esto se puede apreciar en la tabla 2 y se ve que el cromo que es uno de los principales elementos aleantes de la mayoría de electrodos de recubrimientos convencionales ha sufrido un considerable incremento de precio, otras sustancias necesarias para la fabricación de recubrimientos duros también presentan esta tendencia, sin embargo para abaratar costos no podemos prescindir de componentes que aporten propiedades antidesgaste y es necesario optimizar esta tecnología para que sea económicamente viable.

	Dólares por tonelada				
	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Cromo</b>	8331.0	11078.0	9896.0	11322.0	14500.0
<b>Grfito natural</b>	2219.0	2250.0	1410.0	1700.0	2070.0
<b>Mica húmeda</b>	683.0	651.0	651.0	700.0	700.0
<b>Talco</b>	114.0	125.0	111.0	150.0	157.0
<b>Rutilo</b>	488.0	525.0	533.0	540.0	1400.0
<b>Silicio</b>	2486.0	3564.0	2552.0	3080.0	3300.0
<b>Zinc</b>	3388.0	1955.8	1713.8	2244.0	2332.0
<b>Carburos de Silicio</b>	550.0	835.0	557.0	793.0	1250.0
<b>Hierro</b>	53.9	59.6	70.4	92.8	90.0

Tabla 2: Precio de minerales usados en recubrimientos protectores  
Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

### 2.3.8. Microestructuras resistentes al desgaste

Este punto nos permitirá presidir según el contenido de elementos aleantes, la microestructura que se obtiene una vez realizado el proceso de recargue por soldadura. En la figura 32 se representa esquemáticamente las diferentes microestructuras eutécticas.

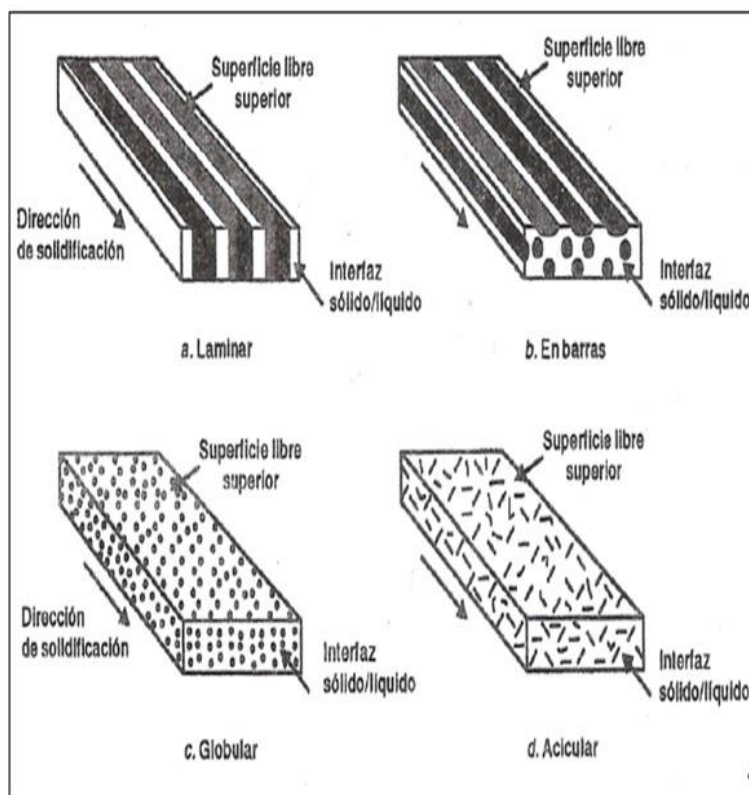


Fig. 32: Representación esquemática de las diferentes microestructuras eutécticas

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

El rol de la microestructura en la resistencia al desgaste está limitado por el efecto total que tiene en las propiedades mecánicas del material, la tasa de desgaste está relacionada con la dureza, debido

a que su efecto influye en el comportamiento de la microestructura ante deformaciones plásticas, en la figura 33 se puede apreciar el efecto de la microestructura y la dureza en la resistencia al desgaste abrasivo de altas cargas en un acero al carbono.

La resistencia a la abrasión de microestructuras de aceros disminuye según la siguiente relación:

Martensita > Perlita > Bainita > Austenita

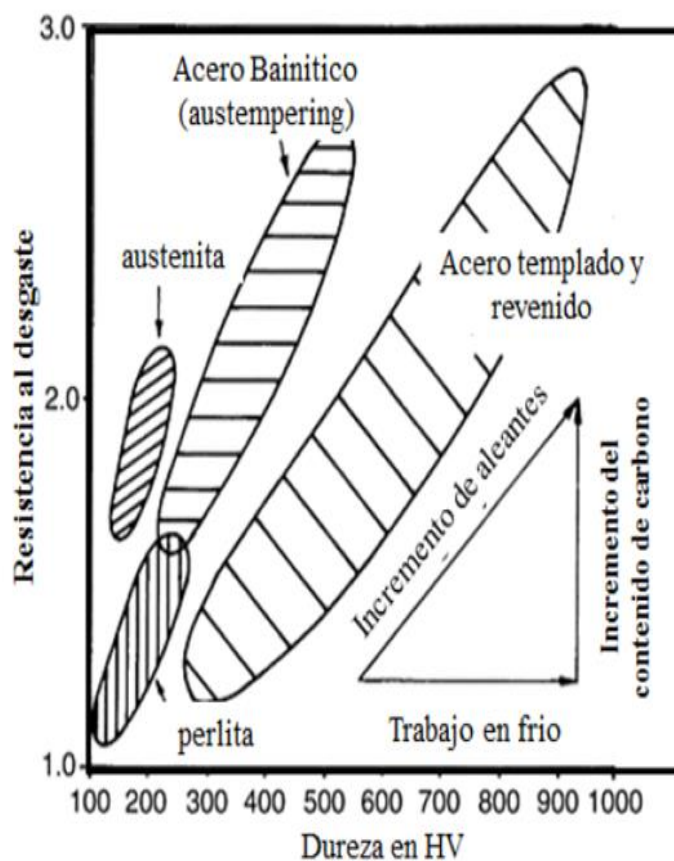


Fig.33: Efecto de la microestructura y la dureza en la resistencia al desgaste abrasivo

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

### **2.3.9.Denominación de recubrimientos duros y microestructuras**

#### **características**

Como se ha mencionado, los recubrimientos duros pueden contener una gran cantidad de aleaciones (Cr, Mn, Si, Mo, Ni, Nb, V, W, Ti), por lo que la selección de un determinado tipo de electrodo protector no es una tarea fácil, sin embargo esto se facilita ya que las aleaciones que se depositan en capas de soldadura poseen ciertas características que determinan su comportamiento y propiedades frente a un determinado mecanismo de desgaste.

Según las condiciones de trabajo es posible identificar la capa de recubrimiento más adecuado y que pueda aminorar la pérdida producidas por el desgaste. En la figura 34 se puede apreciar una relación entre la composición química del recargue con los diferentes mecanismos de desgaste.

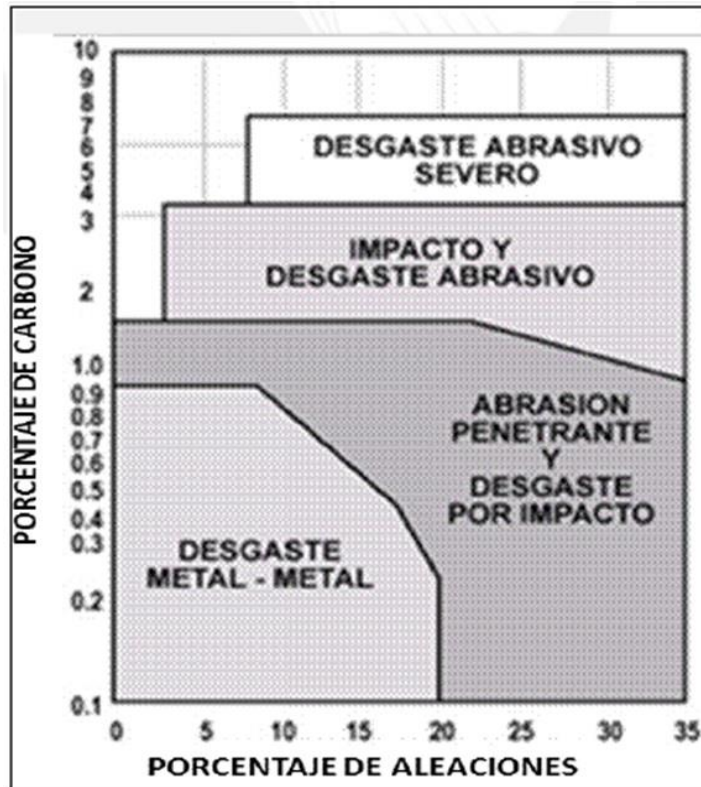


Fig.34: Comportamiento de recubrimiento en base Fe ante un mecanismo de desgaste según el porcentaje de carbono y de elementos aleantes.

Fuente: Resistencia al desgaste abrasivo de recursos duros fabricados con electrodos con 5% de Fe.Ti y contenido variable de Fe.V. (Ainsworth Noriega Rios)

## **CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación.**

#### **3.1.1 Tipo de investigación**

##### **3.1.1.1 Proyectivo**

Seguiremos un conjunto de pasos para diseñar el sistema y establecer un procedimiento para la rehabilitación del ventilador.

##### **3.1.1.2 Descriptivo**

Se utiliza para observar, recoger, organizar, resumir, presentar, analizar y generalizar los resultados en algún punto del tiempo.

#### **3.1.2 El diseño de investigación**

El diseño de la investigación es experimental, es decir se establecerán las técnicas de la realización del proyecto que van permitir estudiar la influencia de uno o varios factores o variables. Se puede definir el diseño como un esquema o estructura lógica de acción que permite mantener constante el influjo de las variables experimentales pertinentes controlar así la influencia de la o las variables independientes sobre la o las variables dependientes

En el presente trabajo de Investigación experimental se comienza por reparar y construir el ventilador desgastado que se ha desmontado de la caldera N°6 por tener excesivo desgaste según hemos observado en las figuras mostradas, las que en esas condiciones producían vibraciones severas durante su funcionamiento; en el desmontaje del

ventilador intervienen personal tramoyista del taller de maestranza quienes deben retirar la parte del ducto de los gases de la combustión cerca de la chimenea, la caja del ventilador para ello debe paralelamente el cortador de oxígeno para cortar las planchas del ducto.

Culminado este trabajo debe intervenir una grúa con su operador para primero retirar las planchas del ducto, dejar libre el ventilador que previamente ha sido desacoplado del reductor de velocidad y de la Turbina de accionamiento del ventilador, ya libre se retira el ventilador y se repara la caja del ventilador y los ductos de los gases de la combustión.

En esta tarea han intervenido:

1. Dos maestros Herreros con sus ayudantes.
2. Un cortador de oxígeno.
3. Un operador de la grúa hilo.

En la construcción del ventilador intervienen:

1. Dos maestros Herreros con sus ayudantes.
2. Dos maestros roladores con sus ayudantes
3. Un cortador de oxígeno.
4. Un soldador



### **3.2. Población y muestra.**

En la industria en general y sobre todo en la industria azucarera, industria papelera y otras se usan máquinas y equipos diversos, por ejemplo en el Ingenio azucarero de Tumán se usan equipos de transporte para traer la caña desde el campo, descargarla en las mesas de cañas y transportarla mediante conductores hasta el trapiche, previa preparación de la caña para permitir la extracción del jugo en el trapiche y luego como bagazo pasar a alimentar las calderas de vapor, donde se genera el vapor de alta presión para mover las turbinas de vapor y generar energía eléctrica, que se distribuirá para mover el equipo eléctrico de la planta, a su vez el vapor de escape de baja presión de las turbinas de vapor, se envía a la fábrica para obtener la azúcar, en un proceso de cogeneración.

En este esquema es que se están utilizando un conjunto de equipos rotativos, como las turbinas de vapor, motores eléctricos y además equipos auxiliares, como todo tipo de ventiladores, que se usan en equipos como las calderas de vapor y que producen el tiro de las mismas para hacer eficiente la combustión; por lo tanto la población está constituido por la cantidad de ventiladores y la muestra es el ventilador de tiro inducido de la caldera n°6 del Ingenio azucarero Tumán S.A.A.

### **3.3. Hipótesis**

Mediante el uso de recubrimientos duros podemos controlar el o los desgastes que pueden estar sometido el ventilador, aplicado mediante técnicas no convencionales de soldadura.

Utilizando nuevos materiales especiales anti desgaste en la reconstrucción y diseño del ventilador alargaremos su vida útil. Cuanto mayor sea la vida útil del ventilador mayor será la producción, por ende habrá mayor serán los ingresos.

### **3.4. Variables – operacionalización**

Las variables del proceso que afectan la penetración de la soldadura, la geometría del cordón y la calidad del depósito se soldadura en toda su extensión son:

- 1) Corriente de soldadura(velocidad de alimentación del electrodo)
- 2) Polaridad.
- 3) Voltaje de arco (longitud de arco).
- 4) Velocidad de avance.
- 5) Extensión del electrodo.
- 6) Orientación del electrodo.
- 7) Posición de la junta a soldar.
- 8) Diámetro del electrodo.
- 9) Composición del gas de protección y flujo de salida del gas.

La operacionalización de las variables debe ser descompuesta en dimensiones y estas a su vez traducidas en indicadores que permitan la observación directa y la medición teniendo en cuenta que las variables consideradas se toman para la ecuación:

$$y = f(x) \dots\dots\dots(3)$$

y=mejora en uniones soldadas de aceros especiales

x= planeamiento en el procedimiento de soldadura

Consideramos:

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Mejora en uniones soldadas de aceros especiales	La mejora de las uniones soldadas es la comparación del comportamiento del material base sometido a unión por soldadura empírica en arco eléctrico, frente al material soldado bajo un trabajo planificado	Se realizara basándose en el código AWS D-1.1 (soldadura de acero estructural) en el que se recomienda la supervisión de los trabajos según ciertas recomendaciones.
Planeación en procedimiento de soldadura	Es un proceso de toma de decisiones para alcanzar un futuro deseado, teniendo en cuenta la situación actual y los factores internos y externos que pueden influir en el logro de los trabajos de soldadura en aceros especiales.	La mejora se medirá con la comparación de datos históricos de los trabajos realizados empíricamente con los trabajos después de aplicar el planeamiento en el proceso de soldadura

Tabla3: Variables y operacionalización

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Métodos y técnicas de investigación.**

Se utilizara el método experimental, lo que implica la práctica estándar de manipulación cuantitativa de las variables independientes para generar datos estadísticamente analizables los resultados que se obtienen son analizables y se utilizan para probar la hipótesis.

En esta técnica utilizaremos la información registrada y los datos estadísticos registrados en el libro de incidencias de la caldera.

Debemos insistir que la metodología de aplicación utilizada es por el procedimiento experimental, en que el objetivo es describir la metodología empleada para la reparación del ventilador por personal del taller de maestranza de la sección de herrería, soldadores eléctricos, cortadores de oxígeno, personal para el rolado de las planchas de los conos de aspiración de los gases de la combustión etc. Y que para construir y repara el ventilador y que consiste en:

1° Armar el ventilador con los dos conos de entrada de los gases de la combustión, que se construirán con las planchas de Acero Böhler CHRONIT T1 400, las que sostendrán los álabes contruidos y fabricados por TRITEN con planchas T 200 X, las que van sostenidas también al disco central construido también con las planchas CHRONIT T1 500 DE Bohler y que son planchas antidesgaste.

2° Terminado de armar el ventilador y ser colocado en su eje respectivo se procede a colocar la soldadura de relleno en la base donde se coloca una base con los electrodos Supercito 7018 y tenacito de Oerlikon en los 20

álabes que tiene el ventilador, es preciso mencionar que estos electrodos se van colocando teniendo cuidado de contar la cantidad de electrodos que se colocan en cada álabe y que debe ser la misma cantidad en los 20 álabes, esto con el propósito de ir colocando la misma cantidad de peso en todos los componentes del ventilador y poder ir manteniendo el balanceo del mismo. Luego se empieza a rellenar con el electrodo Trialloy 33 de Triten que es un electrodo antidesgaste y que se debe colocar la misma cantidad de electrodos sobre cada álabe en los 20 que tiene el ventilador, luego con estos electrodos se debe ir recubriendo los bordes de ataque de los álabes contruidos con las planchas T 200X de TRITEN.

Terminado el relleno de los álabes del ventilador se debe también a revestir los pernos y las tuercas que sostienen el ventilador al disco central con los conos y el eje donde va montado el ventilador.

Rehabilitado y recuperado el ventilador y estando montado en su eje se le debe realizar el balanceo del mismo. Este balanceo por el tamaño y por el peso del equipo, es imposible realizarle un balanceo dinámico al no haber alguna máquina balanceadora que pueda realizarlo ya que para mover este equipo se necesitaría un motor de gran potencia y habría que moverlo en una cámara de vacío a una velocidad de 900 rpm. Por ello es que se estila realizar un balance estático del mismo. El que pasamos a describir.

#### **3.5.1 . Método del balanceo estático**

Para realizar el balanceo estático se debe tener y/o habilitar una estructura de soporte que generalmente se construye sobre perfiles de rieles que en su parte superior deben ir montadas reglas donde

debe apoyarse el eje del ventilador, y, sobre las que debe rodar el ventilador cuando éstas han sido cuidadosamente niveladas, la longitud de las reglas sobre las que debe rodar el eje con el ventilador debe de ser mínimo de cuatro metros de manera que el eje pueda rodar sobre las reglas por lo menos diez vueltas completas. Luego se numeran las aletas del ventilador del 1 al 10 y se empieza a hacer rodar el ventilador sobre las reglas perfectamente niveladas dándole pequeños impulsos manualmente, hasta que se detiene. Una vez parado el ventilador se toma nota del número de la aleta que quedó en la parte inferior, significando que es en este punto en donde está la parte más pesada del ventilador, supongamos que la aleta N° 7 es la que quedó en la parte inferior y se le vuelve a dar otro envión y si detenido el rotor volvió a caer la misma aleta en la parte inferior, es decir la N° 7 significa que la parte más pesada está en aquella aleta, repitiendo esta operación por diez veces y siempre cae la aleta N° 7, esto significa que el peso de desequilibrio está en esa aleta. Por lo tanto como queremos balancear el rotor, se debe colocar un peso de corrección tentativamente en la aleta opuesta a la N° 7, que estará en la parte superior del ventilador, este peso de corrección es generalmente una plancha de  $\frac{1}{2}$ " $\times$ 4" $\times$ 4" o de otra medida próxima y que tendrá un peso desde  $\frac{1}{4}$  de Kg. hasta 1Kg. de peso y que se soldará con puntos sobre la plancha del cono de aspiración de los gases de la combustión cerca de los álabes. Una vez apuntalada la plancha de contrapeso, se procede a verificar el ventilador haciéndolo rotar sobre las reglas niveladas y controlando cual es la aleta que va

quedando en la parte inferior. Si al rotar el ventilador permanece en equilibrio indiferente, es decir, que no muestre tendencia alguna a deslizarse independientemente de la posición que se coloque.

A fin de elevar a un mínimo los errores de este procedimiento, los apoyos de la reglas deben ser construidas de un acero duro.

El conjunto de las reglas de nivel horizontales montadas sobre los rieles, constituye la máquina balanceadora que para el caso del ventilador de la caldera N° 6, debe tener una longitud de 4 metros y 1.5 metros de altura.

Esta máquina balanceadora estática es la más sencilla que se conoce y el balanceo que se realiza al ventilador es el único balanceo necesario para garantizar una operación silenciosa a la velocidad de trabajo del ventilador de 900 rpm.

Culminado el balanceo estático, es decir eliminadas las fuerzas o momentos que generan perturbaciones vibratorias, el ventilador está listo para ser montado en su lugar de trabajo. Al arrancar el ventilador y si el proceso de balanceo ha sido correctamente realizado, no se observarán vibraciones.

### **3.5.2. Efectos de la reparación del ventilador durante la reparación**

Cuando todavía no se consideraba la recuperación del ventilador, y, se suministraba energía eléctrica del Ingenio a la población e incluso a los pozos tubulares, parar la caldera N°6 para cambiar el ventilador por uno reparado, significaba dejar energía a la población por un mes

y tener paradas de molienda durante 2 horas diarias por bajas de presión de vapor en las calderas.

Si la molienda es de 160 Ton de Kg/ h significaba dejar de moler 320 Ton Kg/ h. Si se considera que por cada Ton de Kg se obtienen 100 Kg. de azúcar se deja de producir 32 000 Kg. de azúcar diarias y si el cambio del ventilador dura 30 días se dejan de producir 960 000 Kg de azúcar que al precio de 1,80 soles se deja de percibir 1 728 000 Soles.

Pero de no haberse producido el fallo del ventilador el valor anterior constituiría el valor presente neto de ingresos.

Como hemos manifestado los recubrimientos duros de piezas de equipos sometido a desgastes son procedimientos que datan de unos 70 años atrás. Con el advenimiento de los procesos de soldadura, se intentó restaurar las superficies desgastadas de las piezas de acero, algunas veces con éxito y otras insatisfactoriamente, situación que obligó a experimentar con metales y aleaciones que producen recubrimientos duros.

El recubrimiento duro para controlar el desgaste varía ampliamente, desde el desgaste por abrasión tal como la rotura y pulverización de rocas, hasta aplicaciones que requieren que el desgaste metal-metal sea el mínimo posible. De tal manera que el recubrimiento duro ha llegado a ser uno de los más importantes factores del mantenimiento en la Industria.



Como sabemos en la actualidad los procesos de soldadura se realizan en la mayoría de los casos en forma artesanal y por lo tanto los costos totales de los procesos son elevados además de considerar los costos indirectos, los costos de mano de obra, del material de aporte (electrodos), de energía eléctrica y en nuestro caso el costo de las planchas antidesgaste.

Es importante resaltar que los costos juegan un papel preponderante dentro de los procesos de soldadura debido a que estos proporcionan información necesaria para realizar los trabajos.

Se han realizado estudios de las diferentes variables que intervienen en los procesos de soldadura para realizar un análisis de los costos que generan dichos procesos.

Dentro de los elementos a tener en cuenta en los costos de soldadura son

- a)** Metal de soldadura necesario para uniones y recubrimientos.
- b)** Tiempo y mano de obra necesarios.
- c)** Costos de electricidad y gastos generales.

Para determinar los costos de soldadura se deben tener en cuenta:

- a)** Factor operador
- b)** Requerimiento y costo del material de aporte.
- c)** Costos de mano de obra.
- d)** Datos estándar.

- e) Costos de electricidad.
- f) Costos por gastos generales.

### **3.6. Descripción del(los) instrumento(s) utilizado(s).**

Para realizar el trabajo de investigación se va a necesitar:

- 1) Equipo de soldadura.
- 2) Equipo de medida.
- 3) Herramientas manuales.
- 4) Fuentes de alimentación.
- 5) Aparatos ópticos.

### **3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos.**

En la actualidad para tener una mayor vigilancia sobre el proceso de soldadura y controlar mejor el proceso, se debería monitorizar el proceso de soldadura adaptándola a casi todas las aplicaciones de modo que repercuta positivamente en la calidad final del proceso.

La monitorización de la soldadura ofrece las herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso de desarrollo de monitorización de la producción, la toma de datos y el análisis para apoyar el proceso de calidad. Estos son los cuatro parámetros que monitorizaremos:

- a) La corriente de la soldadura.
- b) El voltaje de la soldadura.
- c) La penetración del electrodo.
- d) La fuerza del electrodo.

Como sabemos la soldadura es un proceso delicado, si se realiza de manera incorrecta o se producen defectos al soldar, pueden generarse riesgos

importantes tanto para las personas como para el medio ambiente. Dentro de este complejo proceso intervienen diversas variables claro que determinan la calidad de la soldadura.

Por este motivo el control de calidad y seguridad son cada vez más importante para la industria, ya que permiten garantizar que el producto final cumple con todos los requisitos y que se han realizado de manera adecuada.

El coordinador de soldadura juega un papel importante en la calificación de los procedimientos de la soldadura de la empresa y es el responsable de realizar las inspecciones y pruebas pertinentes antes, durante y después de la soldadura. Así mismo tendrá que trabajar de acuerdo con las especificación de procedimiento de soldadura y el registro de calificación de procedimiento de soldadura en conformidad con la ISO 15XXX.

MÉTODO DE CALIFICACIÓN	ESTÁNDAR	EXC 2	EXC 3	EXC 4
PRUEBAS DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	EN ISO 15614-1	X	X	X
PRUEBA DE SOLDADURA DE PRE-PRODUCCIÓN	EN ISO 15613	X	X	X
PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE SOLDADURA	EN ISO 15612	X <sup>2</sup>	-	-
EXPERIENCIA PREVIA EN SOLDADURA	EN ISO 15611			
PRODUCTOS CONSUMIBLES SOLDADOS Y PROBADOS	EN ISO 15610	X <sup>b</sup>	-	-

Tabla4: Métodos para la calificación de procedimientos de soldadura para procesos 111, 114, 12, 13,14  
Fuente: elaboración propia

### 3.8 .Análisis Costo - Beneficio

#### Costo de instalación

El costo del diseño, reparación y construcción del ventilador es:

COSTOS	PRECIO SOLES
Costo del diseño y construcción Del ventilador	300 000.00
Costo del acondicionamiento Del espacio del ventilador	150 000,00
Costo de mano de obra	500 000,00
Costo Total	950 000,00

Tabla5: Costos de instalación del ventilador de tiro inducido  
Fuente: elaboración propia

Anteriormente habíamos encontrado que el valor presente neto de ingresos era de: 1 728 000,00 Soles.

#### ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

En el anexo IV explicamos más detalladamente el análisis costo beneficio.

Teniendo en cuenta que:

Valor presente neto de Ingresos es: 1 728 000,00 Soles

Valor presente neto de Egresos es: 950 000,00 Soles

Se establece la relación entre:

$$\frac{C}{B} = \frac{VPN_{ing}}{VP_{neg}} \dots \dots (4)$$

$$C/B= 1728\ 000,00/950\ 000,00$$

$$C/B = 1,8$$

Y SIENDO ESTA RELACIÓN  $> 1$

Se dice que el proyecto es benéfico para la empresa pues los Ingresos/Beneficios son mayores que los Egresos/Costos invertidos en el proyecto.

## **CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Datos informativos**

#### **4.1.1 Tema**

El tema trata de la rehabilitación de un ventilador de tiro inducido (V.T.I) de la caldera n°6 del Ingenio Azucarero Tumán S.A.A, que durante su operación sufre desgaste abrasivo, erosivo, etc. y que se traduce en el desbalance del mismo, obligando a parar la unidad para el cambio respectivo.

#### **4.1.2 Encargado de la ejecución**

El encargado de la ejecución es el Bachiller Sergio Anthony Llontop Valdivieso trabajo que se va realizar en el Ingenio Azucarero Tumán S.A.A.

#### **4.1.3 Beneficiarios**

Los beneficiarios serán el Ingenio azucarero Tumán, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UNPRG.

#### **4.1.4 Ubicación**

El ingenio azucarero Tumán, se ubica en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo, distrito de Tumán.

#### **4.1.5 Equipo técnico responsable**

El responsable del trabajo es el bachiller Sergio Anthony Llontop Valdivieso egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UNPRG.

#### **4.2. Antecedentes de la propuesta**

Se sabe que a nivel Nacional e Internacional en las Industrias de todo tipo existen equipos rotativos que trabajan manipulando como en este caso, fluidos calientes producto de la combustión del bagazo que se realiza en el hogar de la caldera y que son gases de la combustión que arrastran partículas macro y micro particuladas, que además de producir contaminación ambiental, producen el desgaste de los álabes y de todos los ductos por donde están circulando, produciendo el desbalance del mismo obligando a parar la caldera y realizar el cambio del mismo.

#### **4.3. Justificación**

El estudio del proceso SMAW en las juntas soldadas de acero especial Chronit T1-400-500 con electrodos de aporte especiales Trialloy 33 presenta unas mejores propiedades mecánicas de las juntas soldadas mediante la cual podemos garantizar una soldadura más fuerte y robusta en la estructura del ventilador, dando confiabilidad y seguridad a los usuarios de este equipo, igualmente podemos garantizar el mismo resultado cuando aplicamos la soldadura de los electrodos Trialloy 33 sobre las planchas también especiales Triten-200X.

Actualmente podemos afirmar que en la industria azucarera no se realiza este tipo de reparación en los ventiladores de tiro inducido de las calderas bagaceras y por lo tanto su vida útil es corta, pues se utilizan materiales normales para su reparación y deben cambiarse cada 3 a 6 meses.

El trabajo de la rehabilitación del ventilador es con el propósito de disponer del repuesto a colocar, cuando se debe cambiar el que está trabajando por vibraciones excesivas tenderían hacer fallar las chumaceras de apoyo del ventilador, por otro lado con este trabajo de rehabilitación con materiales antidesgaste se ha asegurado que la caldera trabaje más tiempo de vida útil, hasta 3 años. Antes solo trabajaban en promedio de 6 a 8 meses.

#### **4.4. Fundamentación**

Los resultados se obtuvieron fundamentados en las diferentes normas en donde se mostraron las técnicas y características de aplicación de los electrodos sobre el material base y teniendo en cuenta los parámetros más importantes que intervienen en el proceso de soldadura.

La propuesta se ha fundamentado en razón de la pérdida de producción como consecuencia del tiempo perdido, por cambios muy continuos del ventilador cuando se reparaba con materiales estándar.

A continuación presentamos el mapa de procesos para realizar la reparación del ventilador en el taller de maestranza del Ingenio.



## MAPA DE PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DEL VENTILADOR

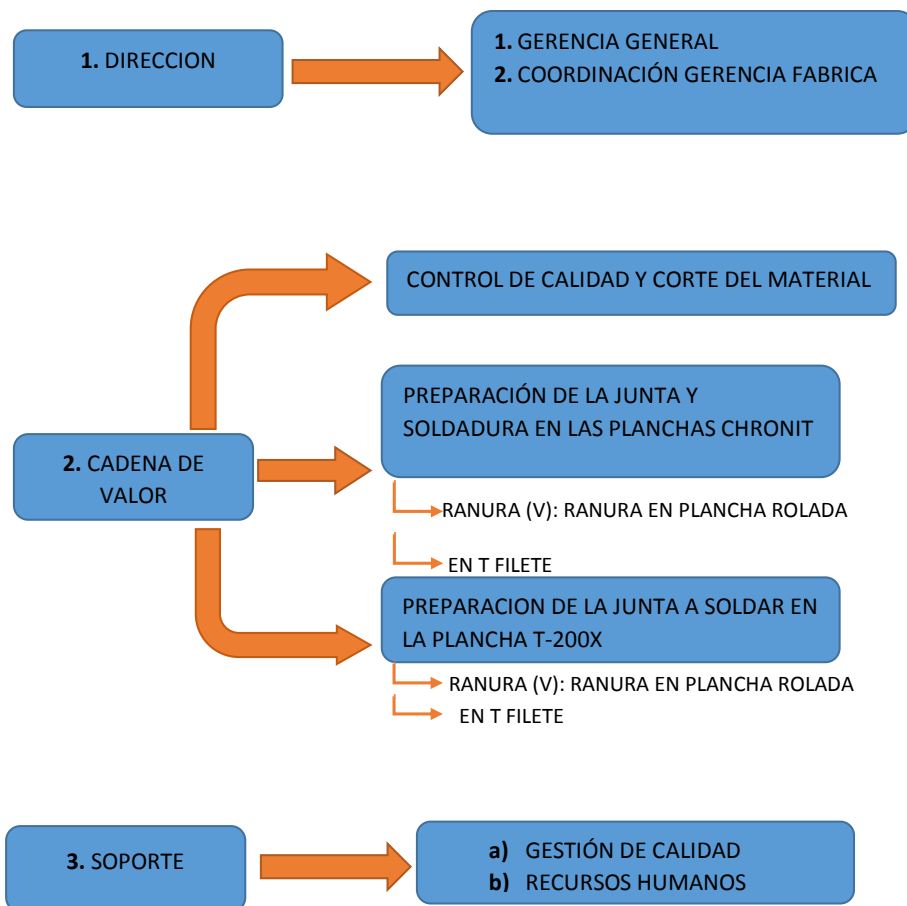


Fig.35: Mapa de procesos para la fabricación del ventilador

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **5.1 . Resultados en tablas y gráficos**

En el análisis del presente proyecto se realizó en el ingenio azucarero Tumán, en el área de calderas en el ventilador de tiro inducido de la caldera N°6, que había trabajado durante 7 meses aproximadamente y que salió completamente deteriorado como se muestra en la figura 1 y que había que repararlo, con la ayuda del personal del taller de maestranza, especializado en la construcción de estos equipos. Como hemos mencionado en la reparación de este ventilador, intervienen:

#### **a) Dirección**

- 1) Gerencia de fábrica
- 2) Ingeniero Supervisor de Calderas
- 3) Ingeniero Jefe de Maestranza

#### **b) Personal calificado**

- 1) Jefe de herrería
- 2) Jefe de soldadura
- 3) Jefe de oficina de dibujos
- 4) Dos cortadores de oxígeno
- 5) Dos soldadores
- 6) Dos herreros
- 7) Dos roladores

El mantenimiento y reparación del ventilador de tiro inducido de la caldera acuotubular consiste en la inspección del ventilador, evaluación en el estado en que se encuentra, lo posibles daños como fisuras en los álabes, álabes rotos, realizar el plan de actividades para su restauración.

Si el ventilador de tiro está dañado, los álabes presentan desgaste excesivo, se desmonta el ventilador y se fabrican los álabes del rotor, se calibra su peso y se colocan con precisión a la misma distancia, para facilitar el balanceo. Por lo tanto se genera la:

Orden de trabajo: que es la asignación por escrito específico para el equipo, para ello se utiliza un documento o formato donde se redacte lo que se debe hacer. Este formato debe contener orden de numeración, fecha, datos del equipo, tiempo disponible y horas hombre para la ejecución del trabajo. Para empezar el trabajo se debe considerar que en el ventilador a reparar, se van a cambiar los materiales con el propósito de lograr mayor vida útil del equipo. Se usará para:

- a) El disco central: plancha de acero Chronit T1 500 HBN
- b) Los álabes: fabricados con plancha T-200X de Triten
- c) Electrodo: especiales de Triten, Trialloy 33
- d) Conos: plancha Chronit T1 400 HBN
- e) Pernos especiales antidesgaste grado 7.

Para la construcción del ventilador se debe tener en cuenta que los aceros de alta resistencia a la abrasión pueden soportar el adverso entorno de trabajo a que están expuestas las maquinas herramientas, ya que tienen una dureza entre 350 – 550 HBN.

Los aceros de AR pueden ser soldados, mecanizados y doblados respetando algunos parámetros técnicos, información, por lo general proporciona el fabricante.

El problema presentado es que al generar la soldadura, esta presenta serios problemas, ya sean fisuras, malas uniones, etc. La principal causa de estos problemas es que se desconocen los parámetros más convenientes debido a la falta de información sobre estos parámetros a utilizar y procedimientos a seguir en una unión soldada del acero Böhler Chronit T1. Aquí se presenta problemas de fragilidad en la unión soldada, por lo tanto se debe optimizar los parámetros de soldadura.

Por lo que hay que tener en cuenta:

a) Material base: Acero Chronit T1

Composición	C	Mn	Si	P+S	Cu	Mo	Ni	B	Ti
química % Max.	0,21	1.,70	0,60	0,04	0,20	0,40	0,30	0,007	0,20

Tabla6: Análisis químico del material base Chronit T1  
Fuente: Manual de aceros Bohler

Características	R. Kg/mm <sup>2</sup>	E. Kg/mm <sup>2</sup>	A%	Dureza Brinell	Factor Antidesgaste
Mecánicas	11/135	>100	14	360-420	75

Tabla 7 Propiedades Mecánicas Chronit T1  
Fuente: Manual de aceros Bohler

b) Material de aporte: Electrodo revestido (Tenacito 110). Clasificación AWS A5.5/ ASME-SFA 15.5 E11018-G. Soldadura similar en alambre tubular Trialloy 33.

Requerimientos de composición química del metal de aporte puro según las correspondientes normas AWS: A5.5-81 y A5.5-96

%C	% Cr	% Mn
5,5	40,0	1.5

Tabla 8 Análisis químico del metal depositado  
Fuente: Manual de soldadura

Este electrodo Tritten 33/ Hierro Austenítico/Carburo de Cromo

Se aplica directamente sobre aceros al manganeso, obteniendo una superficie con muy alta resistencia al desgaste o impacto.

Propiedades mecánicas:

- 1) 50-55 Rc capa simple
- 2) 55-60 Rc capa múltiple

TT: tratamiento térmico; RT: resistencia a la tracción; LF: límite de fluencia; A: alargamiento; ISO-V: impacto Charpy-V

TT	RT[MPa(psi)]	LF[MPa(psi)]	A (%)	Energía absorbida ISO-V[°C(°F)] [J(Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	760 (110-200)	670 (97-150)	18	[-40°C(-40°F)] 50(37)

Tabla 9 Valores únicos son mínimos  
Fuente: Manual de soldadura

c) Proceso de soldadura(SMAW) Soldadura manual:

Debemos tener en cuenta que en uniones soldadas de aceros antiabrasivos templados y revestido por proceso SMAW como es el caso del acero Chronit T1, son tipos de aceros susceptibles a la fisuración en frío por los siguientes factores:

- 1) Fragilización por hidrógeno
- 2) La influencia por la formación de la microestructura frágil
- 3) Concentraciones de esfuerzos por tensiones residuales

Si no se controlan los parámetros y/o variables como son las velocidades de enfriamiento por tratamientos térmicos es probable la aparición de defectos catastróficos en servicio. La determinación de la temperatura de precalentamiento es el parámetro más relevante para controlar las velocidades de enfriamiento por métodos analíticos y experimentales.

Existen estándares y códigos para realizar la soldadura, estos códigos relacionan las variables de ingreso de un proceso constructivo de soldadura, la forma en que interaccionan y los resultados de esta interacción. Por lo tanto, se sabemos que variables controlar y la ciencia de la soldadura nos ha permitido comprender el fenómeno de la misma, entonces podemos predecir los resultados.

Las reglas a realizar en un procedimiento de soldadura y obtener buenos resultados son:

1) Técnica: evitar la fisuración en frío del acero Chromit T1

El diseño de la unión soldada corresponde a la forma geométrica en la que se disponen los elementos para poder soldarlos. La disposición general de elementos y las características básicas de la unión a ejecutar (nivel de penetración, tamaño, resistencia del material de aporte utilizado, etc.) es establecida por el diseñador.

El fabricante o constructor establece los detalles de la preparación de la junta para cumplir con los requerimientos descritos, detalles que son aprobados por el diseñador.

2) Económica: definir los costos de operación, elegir el equipo adecuado para utilizar el tratamiento térmico para encontrar la temperatura óptima de precalentamiento, usualmente se presenta un inconveniente de que no hay equipos en donde quepan o se encuentra debajo del lugar de fabricación y la movilización del equipo es costosa.

La cantidad de calor aportado y la concentración del mismo dependen no solo de la cantidad de combustible y de la calidad de la combustión sino también del ajuste de la llama, la distancia entre la llama y la soldadura, el manejo de la llama por el operador y el control de las pérdidas de calor a la atmosfera. En vista a lo anterior es preferible la utilización de otros métodos.

En la práctica generalmente, las temperaturas de precalentamiento pueden variar desde temperatura ambiente hasta los 450°C, en casos específicos puede ser aún mayor.

Hay que evitar todo precalentamiento innecesario, ya que consume tiempo y energía. Las temperaturas de precalentamiento excesivas no justifican el costo y podrían degradar las propiedades y la calidad de unión. La incomodidad del soldador aumenta si el precalentamiento es muy alto y la calidad del trabajo tiende a ser menor.

En la contrastación o prueba de la hipótesis, resulta de la evaluación de los componentes metalúrgicos del ventilador controlando adecuadamente el porcentaje de los elementos químicos metálicos lo que indica que mejorara la vida útil del equipo que trabajara en la caldera N°6.

En el estudio se obtuvieron datos experimentales de desgaste cada 15 días de operación de la caldera, observándose que en todos los álabes en la zona de ataque de los gases de la combustión se observó desgastes de 1/64", contrastando el efecto de un solo factor que es el tiempo de durabilidad que se traduce en el aumento de la vida útil del ventilador.



De estas observaciones se concluye que los componentes como el carburo de cromo tienen mayor cohesión metalúrgica en su estructura metal o grafica durante el proceso, con lo que se ha concretado la expectativa planificada para mejorar metalúrgicamente y estructuralmente los álabes del ventilador determinando una mejora en la configuración de los componentes estructurales a utilizarse durante el proceso de soldadura y la expectativa creció para mejorar la tecnología experimental.

## **5.2 . Discusión de resultados**

- a) Las ventajas de los revestimientos duros son el aumento de la vida útil de los equipos, reduciendo costos de mantenimiento y pérdidas de tiempo.
- b) La aplicación de recubrimientos duros por soldadura es una buena opción para recuperar piezas desgastadas, haciendo una buena selección del revestimiento en función a los tipos de desgaste que presenta la pieza.

Por lo tanto, luego de realizar el trabajo de recuperación y reparación del ventilador con los materiales mencionados.

- 1) Plancha Chronit T1-400 para el disco central y los conos de guía de los humos de la combustión hacia el ventilador.
- 2) Construcción de los álabes con la plancha Triten T-200X, antidesgaste.
- 3) Soldadura de relleno de los álabes en sus bordes utilizando el electrodo Tenacito como base y los electrodos Trialloy 33 como relleno en el borde de ataque de los álabes, colocado o montado y puesto a trabajar el ventilador se tuvo en estas condiciones una duración en la vida útil

de 3 años, es decir trabajo 5 veces más tiempo que el ventilador original construido con planchas de fierro comunes; esto significo disminución en los costos de mantenimiento y el aumento considerable en la vida útil del ventilador.

Actualmente se está reparando el ventilador que salió en la última parada grande anual por mantenimiento anual del Ingenio.

Respecto a la información encontrada, no hay resultados conocidos en la industria, salvo los obtenidos en Tumán, que es el pionero en este tipo de reparación y mantenimiento en ventiladores.

Otro resultado conocido en la industria nacional, es el de la empresa Agroindustrial Cartavio, cuando utilizo la técnica de soldar y rellenar los dientes de las mazas superiores de su trapiche con soldaduras duras y que con el mantenimiento de recuperar los desgastes cada 7 o 5 días se logró una vida útil de las mazas en aproximadamente 15 años de uso.

Es decir que con esta tecnología se consiguió el objetivo imposible de:

- I. Mayor vida útil
- II. Menores tiempos muertos
- III. Menores costo de mantenimiento
- IV. Incrementos de la productividad
- V. Optimizar las ganancias

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 .Conclusiones

- a) Con el método descrito estamos proponiendo la solución de la aplicación de revestimientos duros antidesgaste.
- b) Asimismo estamos estableciendo un programa para el conocimiento de los materiales especiales y soldaduras para lograr una mayor vida útil del equipo.
- c) Está sometido principalmente en el siguiente orden: abrasión, erosión, impacto y temperatura.
- d) El proceso de soldadura que se aplica es la soldadura eléctrica la cual se inicia con los depósitos de los electrodos de soporte de los materiales especiales antidesgaste, generalmente se usan los electrodos Supercito 7018 de Oerlikon (en la primera pasada) y Tenacito (en la segunda pasada) para luego colocar los electrodos tubulares especiales Trialloy 33.

Estos recubrimientos de soldadura se colocan sobre el perfil del álabe del ventilador que es de una construcción especial en plancha T-200X de Triten.

- e) En este procedimiento de deposición de los electrodos se debe tener cuidado en colocar la misma cantidad de electrodos sobre cada alabe de los 20 que tiene el ventilador.

## **6.2 .Recomendaciones**

- a)** Para ejecutar la soldadura entre metales disímiles, particularmente aceros de bajo carbono y alta aleación es importante seleccionar los consumibles adecuados considerando la resistencia mecánica y la composición química de los metales base.
- b)** Es importante evitar la ejecución del procedimiento de soldadura en condiciones climáticas de alta humedad.

## BIBLIOGRAFÍA

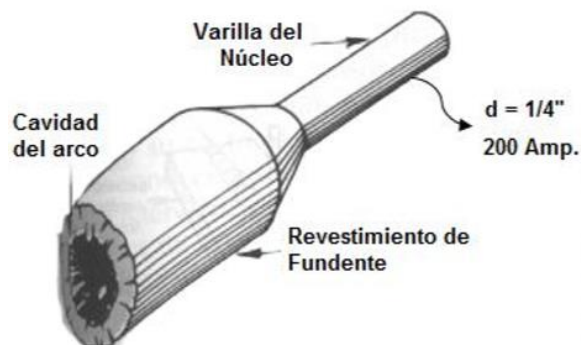
- 1) Ainsworth Noriega Ríos. "Resistencia al desgaste abrasivo de recargues duros fabricados con electrodos con 5% de FeTi y contenido variable FeV".
- 2) ANSI/AWS B 4.0:2007, Standard Methods for Mechanical Testing of Wolds.
- 3) American Welding Society (1996). "Manual de Soldadura" México- Hall Hispanoamérica.
- 4) Erazo Miguel (1999). "Seminario de Soldadura de Mantenimiento" EPN.
- 5) Hoja Técnica Aceros Bohler. Chronit T1-400 Plancha Antidesgaste.
- 6) Introducción a Aceros especiales. Aceros Bohler del Perú S.A.
- 7) Lincoln Electric. "Haralfacing Product Catalog".
- 8) Messer Griesheim. "Aleaciones especiales para la soldadura de mantenimiento y reparaciones".
- 9) Sarkara A. D. (1990). "Desgaste de metales" Noriega Limusa.

## ANEXOS

### 1. ANEXO I

#### a) Electrodo Triten

##### ELECTRODO NORMAL



##### ELECTRODO DE REVESTIMIENTO TRITEN

Fig.36: Electrodo normal  
Fuente: Manual de electrodos Triten

##### ELECTRODO DE REVESTIMIENTO TRITEN



Fig.37: Electrodo de revestimiento  
Fuente: Manual de electrodos Triten

Los ElectrodoS tubulares TIRTEN <sup>TM</sup> de revestimiento duro están diseñados específicamente para aleaciones de revestimiento duro resistentes al desgaste, asegurando que la aleación depositada tiene propiedades resistentes al desgaste superiores a los depósitos de electrodos sólidos convencionales.

TRITEN	CONVENCIONALES
<input type="checkbox"/> 80 – 120 Amp.	<input type="checkbox"/> 210 – 240 Amp.
<input type="checkbox"/> Libre de Escoria.	<input type="checkbox"/> Creación de Escoria.
<input type="checkbox"/> 85%-90% Deposición.	<input type="checkbox"/> 55% Deposición
<input type="checkbox"/> Rapidez 3 a 3.5 Kg/h.	<input type="checkbox"/> 1.5 Kg/h.
<input type="checkbox"/> 400 cm2 x 3 mm. X Kg.	<input type="checkbox"/> 240 cm2 x 2 mm. X Kg.
<input type="checkbox"/> Almacenamiento Sencillo.	<input type="checkbox"/> Requiere Incubadora.
<input type="checkbox"/> Resistente al Agua.	<input type="checkbox"/> No resiste al agua.

Tabla 10: ElectrodoS Tritten vs ElectrodoS convencionales  
Fuente: Manual de electrodos Tritten

Electrodos de 08 mm. o 5/16" x Caja de 05 Kg

TRITEN T-30 /HIERRO AUSTENITICO/CARBURO DE CROMO

C 5.0%, Cr 35.0%, Mn 3.5%

Aplicación directa sobre hierro fundido gris, no necesita capa amortiguadora cuando se tiene aceros de bajo Carbono.

Propiedades Mecánicas: 52-58 Rc.

Código de Color: Punta de Electrodo ROJO

#### TRITEN T-33/HIERRO AUSTENITICO / CARBURO DE CROMO

C 5.5%, Cr 40.0%, Mn 1.5%

Aplicación directa sobre Aceros al Manganeso, obteniendo una superficie con muy alta resistencia al desgaste e impacto.

Propiedades Mecánicas: 50-55 Rc. Capa simple

55-60 Rc. Capa Múltiple

Código de Color: Punta de Electrodo BLANCO

#### TRITEN T-35 / HIERRO AUSTENITICO/CARBURO DE CROMO

Mn 4.0%, V 1.0%, Mo 4.0%, Cr 27.0%

Aleación con grandes cantidades de Carburos de Cromo y Molibdeno con una matriz austenítica dura y fuerte de Grado 35, resistente al desgaste de molido y puede ser aplicado sobre Hierro Fundido Gris y Acero de bajo carbono sin precalentar.

Propiedades Mecánicas: 50-60 Rc. Capa simple

58-62 Rc. Capa Múltiple

Código de Color: Punta de Electrodo ROSA

Usos: Martillos giratorios, martillos finos, barras blow, equipo de movimiento de tierras (dientes de palas, chuchillas de excavadoras, palas mecánicas, rodillos para quebradores de roca)/T-30, quebradoras, blindajes que maneja lodos, Equipos de pedreras/T-33, Enladrillados, equipos de trituración, maquinaria agrícola, maquinaria pesada/T-35.



## **b) Electrodo Oerlikon**

### **1) Citodur 300**

Aplicable cuando la pieza sufre desgaste por golpes e impactos, así como por rozamiento metálico moderado. Su depósito es una excelente base amortiguadora, o cojín, para recubrimientos de mayor dureza.

### **2) Citodur 600**

Excelente para proteger piezas sujetas a desgaste por efecto combinado de la abrasión, rozamiento metálico, golpes e impacto.

### **3) Citodur 1000**

Sus depósitos soportan la abrasión y el rozamiento metálico severo, aun a temperaturas elevadas y en presencia de ambientes corrosivos. No deben someterse a golpes e impactos.

### **4) Citomangan**

Soporta desgaste por abrasión severa, así como por fuertes golpes. Especial para piezas de acero de 13% de manganeso. Su depósito se autoendurece con el trabajo.

### **5) Toolcord**

Electrodo especial para reconstruir los filos de herramientas cortantes y también para fabricar herramientas de corte sobre cualquier tipo de acero. Puede aplicarse como recubrimiento protector en las superficies sometidas a desgastes, ya que

ofrece resistencia a la corrosión, al impacto severo, el rozamiento metálico y al calor

Electrodos OERLIKON	CITODUR 350	CITODUR 600	CITODUR 1000	CITOMANGAN	TOOLCORD
Elementos de aleación en el depósito	C Mn Cr 2,9%	C Mn Cr 6,8%	C Mn Si Cr 36%	C S P Si Mn 13,2 %	C Mn Si Mo Cr V W
Dureza Rockwell C	27-40	57-62	62-65	50 - 60 autoendurecido	64-66 con tratam. térmico
Para filos cortantes	2	3	2	2	5
Resistencia a abrasión	2	4	5	4	4
Resistencia a roza- miento metálico	3	4	4	2	5
Resistencia a golpes e impactos	5	4	2	5	5
Resistencia a atmósfe- ras corrosivas	2	2	5	2	4
Resistencia al calor	2	3	5	2	4
Maquinabilidad	5	2	2	2	2
Forjabilidad	5	5	2	3	5
Endurecimiento en el propio trabajo	3	3	3	5	—

Tabla 11: Cuadro de orientación para aplicación de soldaduras convencionales para recubrimientos protectores  
Fuente: Manual de electrodos Triten

PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS	APLICACIONES
ZUCARCITO Aleación de hierro fundido al Cr, con contenido de Nb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aleación de carburos de cromo dispersos en una matriz de martensita y ferrita.</li> <li>• Su depósito es resistente a la abrasión, corrosión y moderado impacto.</li> <li>• Buena adherencia al metal base en condiciones drásticas como son presencia de agua, bagazo, jugo de caña, etc.</li> <li>• Al aplicarse sobre masa de molinos de trapiches le mejora su vida útil y deja un depósito de botones dispersos uniformemente con una superficie áspera lo que le incrementa el arrastre de la caña, evita que esta patine y se pueda aumentar la velocidad de giro incrementando la producción durante la molienda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la soldadura de relleno de trapiches de hierro fundido gris en la industria azucarera, también se puede emplear para el relleno de martillos de molino, desfibradores de caña, etc.</li> <li>• El trapiche puede ser recargado cuando el equipo está parado o en funcionamiento, no requiere el uso de una cama cojín.</li> </ul>
EXADUR 43 Aleación especial al C, Cr, Nb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura austenítica con carburos de Cr, Nb- dureza en 2da. capa: 55HRc. Coeficiente de prueba a la abrasión: 1. No maquinable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recubrimiento protector extraduro para piezas sometidas a un desgaste por abrasión extremadamente severa con golpes moderados en presencia máxima de temperatura de 450°C. Tornillos prensa: fábrica de ladrillos, ladrillos refractarios. Paletas de mezcladoras. Tornillos transportadores.</li> </ul>
EXSA 721 Aleación especial con carburos de Tungsteno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodo tubular recubierto por inmersión, relleno con partículas trituradas de carburos de tungsteno con tamaño de grano controlado y clasificado con malla.</li> <li>• El metal depositado está conformado por carburos de tungsteno uniformemente distribuidos en una matriz de aceros al carbono, es no maquinable y se recomienda realizar un solo pase.</li> <li>• Presenta máxima resistencia a la abrasión severa (abrasión pura)</li> <li>• Es recomendable utilizar una cama cojín de EXSA 106, Inox 29/9, Inox 309 ELC, Inox AW, en función del metal base.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la soldadura de recargue de elementos de máquinas sometidas a un fuerte desgaste por abrasión: herramientas de perforación, triconos de perforación, estabilizadores, sondas saca testigos gusanos extrusores, gusanos transportadores, impulsores y carcasas de bomba de cemento, fresas cónicas y planas, etc.</li> <li>• Ideal para la industria petroquímica, industria minera, industria de la construcción, industria del cemento, plantas de coque, minas de carbón, etc.</li> </ul>

Tabla 12: Cuadro de orientación para aplicación de soldaduras especiales para recubrimientos protectores  
Fuente: Manual de electrodos Triten

c) Eutectic

## Recubrimientos duros

Producto	Descripción	Propiedades	Amperaje A/B
<b>FerroTrode 2 B</b>	Aleación con gran resistencia a la compresión y choques. Alta tenacidad. Cordones lisos. <b>Aplicaciones:</b> Rodillos, carretes, cilindros de laminación, etc.	Deposito: 28 - 32 HRc Elongación: 15-25 %	CA / CD (+) 3.2 mm 120-150 A 4.0 mm 150-180 A 4.8 mm 180-210 A
<b>EutecTrode 4</b>	Aleación resistente al impacto y corrosión ideal para soldar en recuperación y fundición de los aceros al alto Mn. <b>Aplicaciones:</b> Sapos, martillos, trituradores.	Deposito: 90 HRc Trabajo: 34-42 HRc	CA / CD (+) 4.0 mm 140-170 A 4.8 mm 160-190 A
<b>XHD 4</b>	Aleación resistente al alto impacto y alta resistencia al desgaste friccional en posición plana hasta 20% mas que los electrodos convencionales, como colchón, unión o reconstrucción Ideal en aceros al Mn. Alto Depósito <b>Aplicación:</b> Rodillos de trituración.	Deposito: 90-100 HRb Trabajo: 28-32 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 140-180 A 4.0 mm 180-220 A
<b>ToolTecTic 6 XHSS</b>	Aleación contra el desgaste por mediano impacto y corte, sus depósitos pueden ser tratados térmicamente. Mantiene su dureza hasta los 600°C. <b>Aplicación:</b> Herramientas de corte.	Deposito: 60 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 105 - 120 A

Tabla 13: Electrodos de recubrimientos duros  
Fuente: Manual de electrodos Eutectic

<b>EutecTrode N 12 CGS</b>	<p>Aleación resistente a la abrasión e impacto. Formación de carburos controlados gracias a su núcleo CGS. El depósito puede ser tratado térmicamente.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Punzones, matrices de estampado.</p>	Deposito: 58 - 62 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 80/-130 A
<b>EutecTrode 40</b>	<p>Aleación con resistencia al impacto y compresión. endurece al trabajo.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Quebradoras y martillos.</p>	Deposito: 80 HRb Trabajo: 45-50 HRc	CA / CD (+) 4.0 mm 150-180 A 4.8 mm 170-200 A
<b>AbraTemp 73</b>	<p>Aleación con revestimiento básico de alta tenacidad y resiste hasta 550°C. Resistente al impacto, abrasión y compresión.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Reconstrucción de dados, rodillos, cuchillas de corte.</p>	Deposito: 38-45 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 80/-110 A 4.0 mm 100 - 140 A
<b>AbraTemp 74</b>	<p>Aleación con revestimiento rutílico resistente hasta 550°C, los depósitos presentan excelente apariencia gracias a su menor penetración, escoria autodesprendible. Resistente al impacto, abrasión y presión.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Ideal para industria Siderúrgica</p>	Deposito: 38-45 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 80- 110 A 4.0 mm 100 - 140 A
<b>EutecTrode 536</b>	<p>Aleación con elevada velocidad de depósito y baja dilución. Excelente resistencia a la cavitación y oxidación en presencia de abrasión.</p> <p><b>Aplicaciones:</b> Bombas, Válvulas de aguja en hidroeléctricas.</p>	Deposito: 55 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 140 - 160 A 4.0 mm 170 - 220 A

Tabla 14: Electrodo de recubrimiento duro  
Fuente: Manual de electrodos Eutectic

Producto	Descripción	Propiedades	Amperaje A/B
<b>AbraTec 700</b>	Alta resistencia a la abrasión e impacto. Depósitos densos con dilución controlada. <b>Aplicaciones:</b> Dientes de draga y palas.	Depósito 60 - 65 HRc	CA / CD (+) 3.2 mm 130-150 A 4.0 mm 160 - 180 A
<b>Xuper 4040</b>	Resiste a la abrasión y corrosión Bajo índice de fisuración. Fácil apertura de arco. <b>Aplicaciones:</b> Mazas azucareras	Depósito 42 HRc	CA / CD (+) 2.4 mm 70 - 90 A 3.2 mm 90 - 120 A
<b>ME 4904</b>	Aleación resistente a la abrasión, impacto y corrosión. <b>Aplicaciones:</b> Martillos, dientes de cucharón y gavilanes.	Depósito 57 - 60 HRc (3 capas)	CA / CD (+) 3.2 mm 130 - 150 A 4.0 mm 160 - 180 A 4.8 mm 200 - 220 A
<b>ME 5060</b>	Ideal para combatir desgaste por abrasión e impacto. Alto contenido de cromo. <b>Aplicaciones:</b> Martillos, botes y dragas.	Depósito 38 - 42 HRc	CA / CD (+) 4.8 mm 180 - 210 A
<b>ChromCarb 6006</b>	Resistente a la abrasión y compresión con mediano impacto Bajo coeficiente de fricción. <b>Aplicaciones:</b> Gusanos, palas, cucharón.	Depósito 57 - 60 HRc	CA/CD (+) 3.2 mm 130 - 160 A 4.0 mm 150 - 190 A 4.8 mm 170 - 210 A
<b>AbraChoc 6060</b>	Protección de piezas expuestas al desgaste por abrasión e impacto. <b>Aplicaciones:</b> Mezcladoras y molinos de trituración.	Depósito 61 - 63 HRc	CA / CD (+) 4.0 mm 160 - 190 A

Tabla 15: Electrodo de recubrimiento duro  
Fuente: Manual de electrodos Eutectic

## 2. ANEXO II

### DESCRIPCIÓN DEL BHÖLER CHRONIT T1

Tipo de aleación: C–Si–Mn–Ni–Cr–V–Nb–B

Los porcentajes de estos elementos de aleación varían según el espesor y la dureza de las planchas.

Forma de suministro: planchas espesores de 1/4" a 4"

Tolerancias de espesores: Según EN 10029, clase A.

Plancha aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento.

APLICACIONES: Para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, tornamesa para tracto camiones, etc. Para todos aquellos casos en que además de, precisarse buena soldabilidad y/o resistencia al desgaste se requiera mejor conformación y buena tenacidad, detallamos a continuación algunas de las más usuales: Construcciones de camiones volquetes, bulldozers, cintas transportadoras. Maquinaria de minería. Otros equipos de movimiento de tierra. En canteras y plantas de áridos. Cribas, canaletas, revestimientos de machacadoras, piñones de cadena, engranajes, sinfines. Conducciones de polvo, ciclones, trámeles, etc. Para blindaje contra balas de armas de mano comerciales, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra, base para matrices de alto rendimiento. Además en todas las construcciones soldadas que requieren alta resistencia y una buena tenacidad a bajas temperaturas, tales como tanques de presión.

Ventajas de su utilización

Alargarla duración de los equipos y por tanto espaciar las paradas que se requieren para efectuar el mantenimiento con las consiguientes deducciones de costos. Mejorar la soldabilidad Aptitud para el doblado

<b>CARACTERISTICAS MECANICAS</b>	<b>CHRONIT T-1 400</b>	<b>CHRONIT T-1 500</b>
Dureza suministro	360 – 440 HB	450 – 530 HB
Resistencia a la tracción	1300 N/mm <sup>2</sup>	1650 N/mm <sup>2</sup>
Límite de fluencia	1000 N/mm <sup>2</sup>	1300 N/mm <sup>2</sup>
Elongación ( $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$ )	12%	8%
Tenacidad (longitudinal)	30J (-40 °C)	25J (-20 °C)

Tabla 16: Característica Mecánicas del CHRONIT T – 1.  
Fuente: Manual de aceros Especiales Böhler.



### 3. ANEXO III

#### Recubrimiento Tritten T200X

Este es el más popular y versátil recubrimiento del mercado de hoy.

T200X es un revestimiento de carburo de cromo muy popular que proporciona mayor vida útil en aplicaciones expuestas a la extrema abrasión, impacto y calor. El T200X posee una densa concentración de carburos de cromo que están distribuidos uniformemente por toda la matriz. Esta soldado sobre una base de acero al carbono, y pueden ser cortadas, formadas o roladas en cualquier perfil o configuración. El T200X puede adquirirse en forma de planchas, tuberías o productos elaborados. Su versatilidad lo hace ideal para una gran variedad de industrias.

Una aleación premezclada y contiene cromo, carbono, manganeso, molibdeno y hierro. Esta formulación exacta de elementos produce una máxima saturación de carburos de cromo primarios en toda la matriz soldada y representa alrededor del 40% del recubrimiento T200X. Estos carburos primarios tienen una alta dureza Vickers de aproximadamente 1,750 VHN y están rodeados por una matriz de hierro cromado que da como resultado una dureza superficial promedio mínima de 630 VHN (543 BHN). Esta característica hace que el T200X sea un material excelente frente a la abrasión y los impactos, además de resistir temperaturas de hasta 1200° F (648.88° C).

El tamaño estándar de la plancha T200X es 90" x 117" y los espesores disponibles para el revestimientos con pasada simple es de 1/8", 3/16" y 1/4"; y con pasada doble de 5/16", 3/8" y 1/2". La placa base estándar puede ser tan delgada como 3/16" ó tan grueso como 1-1/4". Normalmente,

no es necesario una base tan gruesa, ya que el objetivo principal es proporcionar un respaldo al revestimiento y facilitar la colocación de la plancha.



Fig.38: Planchas antidesgaste Triten (abrasión vs impacto)  
Fuente: Triten

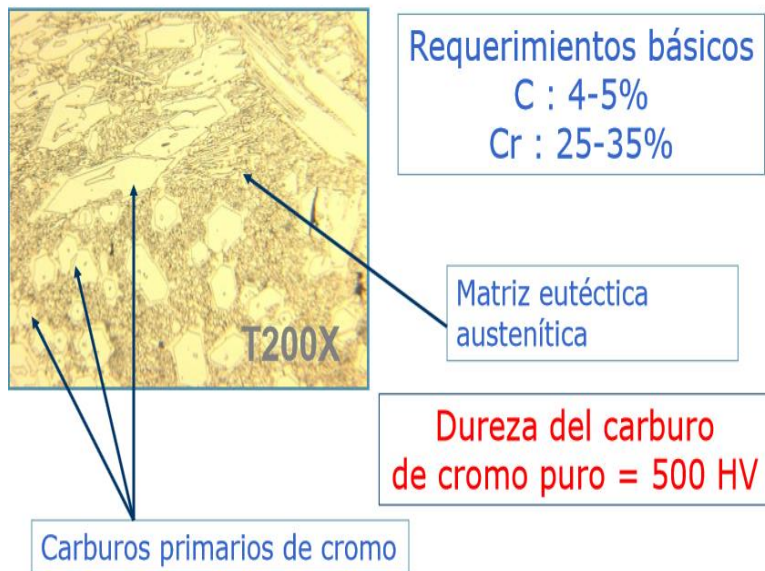


Fig.39: Materiales de carburo de cromo  
Fuente: Triten

#### 4. ANEXO IV

##### **COSTO – BENEFICIO**

La relación costo-beneficio resulta de tomar los ingresos (beneficios) y egresos netos (costos) presentes en el estado de resultados y determinar el beneficio por cada peso invertido en el proyecto.

Adicionalmente sirve como un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que en un proyecto puede generar a una comunidad.

Ejemplo:

BioEmpaques S.A en el año 2010 después de cerrar su proyecto de distribución de materia prima para empaques a TetraPack, tuvo como VPN de ingresos 100 000 000 y un VPN de egresos 60 000 000.

Se establece una relación entre:

VPN de los ingresos y el VPN de los egresos

$$\frac{C}{B} = \frac{VPN_{\text{ingresos}}}{VPN_{\text{egresos}}}$$

En otras palabras

$$\frac{C}{B} = \frac{VP(b) - VP(m \text{ y } o)}{I}$$

Vp (b): valor presente beneficios (ingresos anuales por ejemplo)

Vp (m y o): valor presente mantenimiento y operaciones de la inversión (costo de producción anuales y mantenimiento por ejemplo)

I: inversión inicial

$$\frac{C}{B} = \frac{VPN_{\text{ingresos}}}{VPN_{\text{egresos}}}$$

$$\frac{C}{B} = \frac{100\,000\,000}{60\,000\,000}$$

$$\frac{C}{B} = 1,667$$

Interpretación:

- a) Mayor que 1: Ingresos netos mayores que Egresos netos.
- b) Menor que 1: Egresos netos mayores que Ingresos netos.
- c) Igual a 1: ingresos netos igual a egresos netos

Como el resultado fue mayor que 1, se dice que el proyecto fue benéfico para la organización, pues los ingresos/beneficios fueron mayores a los egresos/costos invertidos en el desarrollo del proyecto.

## 5. ANEXO V

Grupo de Metal	Designación del metal	Contenido de Carbono	Temperatura de precalentamiento recomendada
Acero al Carbono	Acero al Carbono	Abajo de 0.20	Hasta 100°C
		0.20- 0.30	100 - 150°C
		0.30- 0.45	150 - 250°C
		0.45- 0.80	260 - 430°C
Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno	Acero AISI 4140	0.40	320 - 430°C
	Acero AISI 4340	0.40	370 - 480°C
	Acero AISI 4315	0.15	200 - 320°C
	Acero AISI 4330	0.30	260 - 370°C
	Acero AISI 4640	0.40	320 - 430°C
	Acero AISI 4820	0.20	320 - 430°C

Tabla 17: Precalentamiento de los aceros al carbono y aceros al cromo-níquel-molibdeno  
Fuente: Catálogo general de productos Eutectic

<b>N° SAE/AISI</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P máx.</b>	<b>S máx.</b>
1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050
1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.040	0.050
1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.040	0.050
1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050
1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040	0.050

Tabla 18: Especificaciones de aceros según SAE/AISI – Aceros al carbono  
Fuente: Catálogo general de productos Eutectic