

**República de Cuba  
Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Departamento de Metalurgia Electromecánica**

# **Trabajo de Diploma**

**En opción al Título de Ingeniero Mecánico**

**Título: Comportamiento microestructural de las capas  
en los pasadores de los equipos de laboreo  
minero.**

**Autor: Henry Abad López.**

**Tutores: Ing: Dayanis Alcántara Borges**

**MSc: Tomás Fernández Columbié.**

**MSc: Isnel Rodríguez González.**

**Moa /2009**

**“Año 50 del Triunfo de de la Revolución”**



***Declaración de Autoridad:***

**Yo:** Henry Abad López

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

-----  
Henry Abad López

-----  
Ing. Dayanis Alcántara Borges

-----  
MSc. Héctor Laurencio Alfonso

-----  
MSc. Tomás Fernández. Columbié

-----  
MSc. Isnel Rodríguez González.



## **Agradecimientos:**

***A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.***

***A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, la ing. Dayanis Alcántara Borges, los MSc. Héctor Laurencio Alfonso, Isnel Rodríguez González y Tomás Fernández Columbie.***

***A Ramón Castillo Matos, por su tiempo valioso y sus enseñanzas en la preparación de los materiales.***

***A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.***

***A mis amigos que siempre creyeron en mí.***

***A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.***

***A la revolucion, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .***



***A todos***

***Muchas Gracias.***

***Dedicatoria:***

***Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.***

***A mi madre.***

***A mis hijos que le sirva de ejemplo.***

***A la memoria de mi Padre.***

***A mí querida y estimada esposa.***

***A mis amigos.***

***A nuestra revolución, por las posibilidades  
que me ofrece.***



### **Resumen:**

Este trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de las capas Deformadas por Rodadura en los equipos de laboreo minero, fabricados de acero AISI 1045, valorando el comportamiento de la estructura después del tratamiento térmico y endurecido por acritud, el desarrollo del mismo esta sustentando sobre el diseño de un plan experimental a partir de pasadores deformados.

En el análisis se tiene en cuenta las operaciones por las cuales transita el proceso como son: corte por el proceso de torneado y fresado, deformación propiamente dicha de los pasadores después de retirados de su vida útil, pulido y observación microscópica, así como el análisis de dureza y técnica espectral. A partir de las operaciones se tiene en cuenta también los consumidores energéticos como son las diferentes tipos de maquinas, salario de obrero. Por último se valora el impacto medio ambiental del desgaste de los pasadores.

### **Summary:**

This work has as objective to analyze the behavior of the Deformed layers for Rolling in the teams of mining laboreo, manufactured of steel AISI 1045, valuing the behavior of the structure after the thermal treatment and hardened by acrimony, the development of the same one this sustaining on the design of an experimental plan starting from deformed pins.

In the analysis one keeps in mind the operations for which it traffics the process like they are: cut for the process of having lathed and milled, properly this deformation of the pins after retired of their useful life, refined and microscopic observation, as well as the analysis of hardness and ghastly technique. Starting from the operations one also keeps in mind the energy consumers as they are the different types of you scheme, worker's wage. Lastly the half environmental impact of the waste of the pins is valued.



**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>SINTESIS</b>	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1. Introducción..	4
1.2. Generalidades acerca del desgaste.	4
1.2.1. Resistencia al desgaste	5
1.2.2. Manifestaciones del desgaste.	5
1.3. Comportamiento de la capa superficial del pasador durante el proceso.	7
1.4. Física química del contacto.	9
1.4.1 Tensión de contacto durante el proceso de deformación plástica..	11
1.5. Endurecimiento en frío de las capas de los pasadores. Acritud. . .	12
1.6. Microestructura de los aceros al carbono.	14
1.6.1. Deformación en la fase austenítica o ausformado..	16
1.7. Heterogeneidad de la deformación.	17
1.8. Variación de los pasadores.	19
1.9 . Conclusiones del capitulo I	20
<b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
2.1. Introducción..	22
2.2. Características de los materiales objeto de estudio..	22
2.2.1. Análisis microestructural.	24
2.3. Análisis de fase por el diagrama hierro carbono.	26
2.4. Máquinas y Equipos empleados en la experimentación.	27
2.4.1. Caracterización del torno 16 K 20.	27
2.5. Equipo para medición de dureza.	27
2.6. Preparación metalográfica de las probetas.	28
2.6.1. Generalidades. .	28
2.7. Selección de la muestra.	29
2.7.1. Corte de la probeta.	29
2.7.2. Montaje de la probeta..	29
2.7.3. Desbaste. .	29
2.7.4. Pulido.	30
2.7.5. Observación microscópica.	31
2.7.6. Ataque	31
2.8. Corte de la probeta.	31
2.8.1. Parámetros para el cálculo. . .	32



2.8.2. Determinación de la velocidad de corte. . . . .	32
2.8.3. Velocidad de corte para el fresado. . . . .	32
2.8.4. Potencia de Corte efectiva. . . . .	33
2.8.5. Potencia del husillo. . . . .	33
2.8.6. Tiempo de maquinado. . . . .	33
2.9. Velocidad de corte para el torneado. . . . .	33
2.9.1. Profundidad de corte. . . . .	33
2.9.2. Tiempo de maquinado. . . . .	33
2.9.3. Refrentado. . . . .	35
2.10. Elaboración mecánica de las probetas. . . . .	33
2.11. Método de identificación de la microestructura de las probetas. . . . .	35
2.12. Conclusiones del capítulo II. . . . .	37
<b>CAPITULO III. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN.</b>	
3.1. Introducción. . . . .	38
3.2. Análisis de la dureza de los materiales en estudio. . . . .	38
3.3. Análisis del corte de la probeta. . . . .	40
3.4. Cálculo de la Velocidad de corte para el torneado. . . . .	40
3.4.1. Análisis de la profundidad de corte. . . . .	40
3.4.2. Cálculo del tiempo de maquinado. . . . .	41
3.5. Análisis de la velocidad de corte para el fresado. . . . .	41
3.5.1. Análisis de la potencia de Corte efectiva. . . . .	41
3.6. Análisis para la preparación metalográfica de las probetas. . . . .	43
3.6. Observación con microscopía óptica. . . . .	44
3.6.1 Observación con microscopía óptica en la curva de contacto entre el pasador y el casquillo.. . . . .	46
3.6.2 Observación con microscopía óptica en la zona de ajuste del pasador y el eslabón de la estera.. . . . .	47
3.6.3 Observación con microscopía óptica del casquillo. . . . .	48
3.7. Impacto económico y medio ambiental. . . . .	49
3.7.1. Impacto medio ambiental. . . . .	51
3.8. Conclusiones del capítulo III. . . . .	53
<b>CONCLUSIONES.</b> . . . . .	54
<b>RECOMENDACIONES</b> . . . . .	55
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	



## **INTRODUCCIÓN**

Por ser Cuba un país subdesarrollado que cuenta con escasos recursos para invertir en su industrialización y desarrollo, es necesaria la optimización de los procesos industriales y económicos en el país para lograr el incremento de la productividad y el crecimiento de los rendimientos. El empleo racional de nuevas técnicas y el aumento cada vez mayor de la mecanización y el empleo de tecnología de punta a pesar de las limitaciones de recursos representan aspectos donde se han alcanzado logros incuestionables. Aparejado a esto, se ha desarrollado en todo el país la industria de la construcción de maquinarias, necesaria para lograr muchos de los aspectos antes planteados, lográndose la sustitución de algunas importaciones por producciones nacionales de calidad.

A pesar del desarrollo de la rama industrial, la maquinaria tiene un enemigo que atenta contra su durabilidad y conservación: el desgaste.

El desgaste genera considerables pérdidas de materiales, recursos y tiempo, con la consiguiente disminución de la producción, conlleva a la pérdida de gran cantidad de medios para su reparación, así como en la elaboración o adquisición de nuevos elementos.

Si a estos factores se une la tendencia a incrementar las velocidades de trabajo, se tienen elementos suficientes para entender por qué el incremento de la vida útil de los órganos de trabajo de los elementos de máquinas se ha convertido en un problema básico de la práctica de la ingeniería en los últimos años.

Los órganos de trabajo de las máquinas tienen además, particularidades en cuanto a su uso, como son presentar períodos de trabajo relativamente cortos y largos períodos de almacenamiento. En estos últimos, varían las dimensiones y propiedades de los materiales debido a los procesos de oxidación corrosión, y posibilidades de deformaciones permanentes, en ocasiones, debido a la acción del propio peso de los elementos, cuando éstos tienen dimensiones considerables

En Cuba, en uno de los principales renglones de nuestra economía, la industria del níquel, con más de 60 años de fundada, los períodos de explotación de las maquinarias son más intensos al igual que las condiciones climáticas y



ambientales, y a pesar de estas limitaciones entre el esfuerzo y el logro, se alcanzado un incremento de la eficiencia y la diversificación de la producción para satisfacer las necesidades competitivas que exige el mercado.

La problemática de la vida útil y la fiabilidad de los elementos de máquinas están relacionados con el estudio de las leyes y mecanismos del desgaste que sufren durante sus períodos de explotación.

La necesidad del estudio de esta problemática de la vida útil y la fiabilidad de los elementos de máquinas es de vital importancia, para poder recomendar una estructura eficiente, en cuanto al material y tratamiento térmico seleccionado (teniendo en cuenta a la hora de seleccionar estos materiales las diferentes exigencias económicas, tecnológicas, de explotación e higiénicas) es de gran consideración para lograr un incremento en la vida útil de los órganos de trabajo de las máquinas y por tanto para la economía del país.

A pesar de la gran variedad de factores que traen como consecuencia el desgaste, como por ejemplo las condiciones de trabajo y explotación a que están sometidos los elementos de máquinas. Tienen particular significación en el aumento de la fiabilidad y el alargamiento de la vida útil de los elementos las propiedades mecánicas y tecnológicas que puedan tener dichos elementos. Dentro de estas propiedades por su importancia se destaca la dureza para disminuir el desgaste y consigo disminuir el deterioro y aumentar la fiabilidad y la longevidad. Este fenómeno hace que resulte de gran importancia hallar en cada caso el material adecuado para determinadas características y condiciones de trabajo. El acero AISI 1045 cumple con las exigencias de resistencia al desgaste, por lo que se considera como material idóneo para garantizar la asignación de servicio de los pasadores de las esteras de los equipos de laboreo minero del tipo KOMATZU, no obstante en las condiciones en que se ofertan en el mercado dichos pasadores fabricados de este material, no se garantiza la dureza requerida antes de su puesta en explotación.

El pasador es una de las pieza más importante de las maquinas utilizadas en laboreo minero de acero AISI 1045 y tiene la particularidad de ser el elemento o



eslabón de la cadena que sujeta las guías de las esteras la cual trabajan en condiciones de cargas severas y soportan grados de cargas a velocidades medias. También como función permitir el movimiento de rotación longitudinal de la cadena con él asegurando la suavidad en la marcha, así como su rendimiento. Por todo esto se puede decir que es imprescindible, que juega un papel importante en lo que respecta al movimiento de la cadena longitudinal que debe trabajar con muy buena fluidez porque este eje es el que soporta las esteras.

Con lo anteriormente referido, se declara:

La **Situación Problemática** de la investigación la constituye: Los equipos de laboreo minero en la industria cubana del níquel están expuestos a severas condiciones de trabajo, si se tiene en cuenta que la actividad que realizan es el acopio del mineral laterítico en un terreno que posee una topografía irregular trayendo consigo el desgaste progresivo en elementos indispensables para el eficiente funcionamiento de dichos equipos. Dentro de los elementos que más se afectan por este fenómeno son los que componen las esteras debido al régimen de trabajo anteriormente mencionado y las condiciones de diseño que no permiten la lubricación de estos elementos y que este rozamiento en seco haga que sea más notable el efecto del desgaste. El desgaste de estos elementos provoca que las esteras pierdan el paso hasta tal punto que queden fuera de servicio y la reparación de algunos de estos elementos o la sustitución de las esteras completas encarezca el proceso de producción industrial. Con lo anteriormente planteado se establece el siguiente **problema**.

El **Problema** a investigar lo constituye: Las teorías existentes no fundamentan el comportamiento mecánico microestructural de los pasadores de las esteras de tractores fabricados de acero AISI 1045 que son endurecidas por la acritud producto de la fricción después de un tratamiento.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**: Con el análisis micrográfico de los pasadores de las esteras de los tractores Komatsu, es posible determinar el comportamiento de los mismos al desgaste así como definir las capas formadas producto de la rodadura después de su vida útil.



A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo del trabajo**: Analizar la microestructura en el pasador y casquillo de las esteras para la determinación de las capas superficiales producto de la fricción por rodadura.

Y se definen los siguientes **Objetivos Específicos**:

1. Realizar un análisis de las condiciones de trabajo de los tractores Komatsu.
2. Analizar las características del desgaste en los pasadores.
3. Analizar las propiedades químicas de los elementos que desgastan a los pasadores.
4. Determinar las variaciones de los pasadores después de su vida útil.

Como **Objeto de la investigación** se establece: Pasadores de las esteras de los equipos de laboreo minero del tipo Komatsu.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas de trabajo**:

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Analizar las condiciones de trabajo de los equipos de laboreo minero del tipo Komatsu.
3. Elaborar probetas y realizar un análisis de las propiedades microestructurales de los pasadores.
4. Análisis de los resultados y fundamentación del mecanismo de endurecimiento del acero AISI 1045 después de un tratamiento térmico para su funcionamiento.
5. Planteamiento de las ventajas económicas de la aplicación de la metodología propuesta.

# CAPITULO I



## **CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.**

### **1.1 Introducción**

El fenómeno de fricción y mecanismo de desgaste puede explicarse por la formación y posterior ruptura de uniones metálicas existentes entre dos superficies que están en contacto, ya que todas las superficies presentan algún grado de rugosidad. Así la fricción tiene una naturaleza molecular-mecánica que depende de las fuerzas de interacción molecular, de las propiedades mecánicas del material, de la deformación plástica y de la configuración geométrica de los elementos de contacto. (Escanaverino, 1986).

Uno de los problemas no resuelto en la temática del desgaste es la designación y clasificación del mismo en las superficies de los cuerpos sólidos

#### **Objetivo del capítulo**

Establecer el estado actual del tratamiento de piezas mediante la deformación plástica por rodadura así como las herramientas utilizadas en estos procesos.

### **1.2. Generalidades acerca del desgaste.**

El desgaste (Verdeja, 1996), es uno de los efectos más destructivos a que están sometidos los metales, el cual se puede definir como el deterioro ocurrido a consecuencia del uso o del medio ambiente, y puede considerarse de forma general un fenómeno superficial (Kaszezejew y Glazkow), al investigar el desgaste de los metales en una corriente de granos abrasivos, confirmaron que existe una estrecha relación entre la resistencia al desgaste y las fuerzas de los enlaces en la red cristalina de los metales.

Los procesos deformacionales que tienen lugar en microirregularidades de las superficies en contacto están en dependencia de las presiones que se originen en las áreas reales de contacto. Si el valor de estas presiones no alcanza el límite de fluencia del material más blando las deformaciones que predominan son elásticas y el mecanismo de desgaste predominante es el de fatiga superficial. Por otro lado, el desgaste por deslizamiento tiene una gran relevancia sobre el mecanismo de desgaste por fatiga de contacto por rodadura, ya que un aumento en el



porcentaje de deslizamiento/rodadura puede causar una mayor pérdida de masa de las superficies en contacto (Bhushan, 2001, Clayton, 1996).

En el desgaste abrasivo según (Álvarez, 1993) influye la dureza y la tenacidad del material. La tenacidad es la resistencia que opone el material deformado por la acción de las partículas abrasivas, a la rotura. El desgaste depende también del coeficiente de fricción, fuerza de unión adhesiva entre partículas de la superficie del metal y las partículas abrasivas. Cuando los valores del coeficiente de fricción son elevados, se favorece el proceso de microcorte.

Considera (Clauser 1985), que durante este proceso las tensiones de cizalladura, producen deslizamiento en el interior de los granos cristalinos o ruptura de los mismos, y crean tensiones de cizalladura que alcanzan un valor máximo en algún punto, apareciendo deformaciones permanentes o fracturas, punto a partir del cual se inicia el fallo del material.

### **1.2.1. Resistencia al desgaste**

La resistencia al desgaste se incrementa con el aumento del contenido de carbono y de la dureza, la inclusión de pequeñas cantidades de elementos aleantes (níquel, cromo, silicio, magnesio). La resistencia al desgaste aumenta con el contenido de carbono hasta un límite en dependencia del material, siendo los aceros más resistentes al desgaste aquellos cuyo contenido de carbono se encuentran entre 0.6 y 0.8 %. Se establece que el contenido de carbono hasta un valor de 0,8% influye en la resistencia al desgaste; para mayores contenidos ésta comienza a disminuir, Guliaev, 1983, Callister, 1999, Pero Sanz, 2000.

Plantea Guliaev, 1983 que los aceros con una alta cantidad de austenita retenida presentan una considerable resistencia al desgaste en masa abrasiva. La mejor estructura, desde el punto de vista de la resistencia al desgaste abrasivo es la martensítica o bainítica, fortalecida en su matriz.

### **1.2.2. Manifestaciones del desgaste.**

Considera (Caubet, 1971) que, el desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo por consecuencia la variación de la micro y macro geometría superficial; de



la estructura y de las propiedades mecánica - físicas del material con o sin pérdida de material.

Este es uno de los efectos más destructivos a que están sometidos los metales, el cual se puede definir como el deterioro a que están sometidos los metales como consecuencia del uso o del medio ambiente, y puede considerarse como un fenómeno superficial.

Los esfuerzos tangenciales aunque producen ruptura de los enlaces atómicos no ocasionan, en general, la ruptura del cristal metálico, pues la sencillez y regularidad de la distribución atómica da lugar a que la red se restablezca a cada avance de un espacio interatómico, con lo que la cohesión se restablece y el efecto de los sucesivos deslizamientos produce una deformación plástica.

Por el contrario, los esfuerzos normales al vencer la cohesión producen la ruptura total de la red cristalina, ya que ningún restablecimiento de la cohesión es posible. (Verdeja, 1996)

Davidenko, 1936, plantea que por el efecto del movimiento de estas deformaciones que en general sobrepasan el límite elástico, combinada con la elevación de la temperatura que los disminuye rápidamente en las zonas de contacto, se engendran instantáneamente fenómenos físicos (difusión, temple), transformaciones de fase, hay una trituración de la estructura cristalina casi hasta un estado amorfo de la superficie en una profundidad de 0.1 - 0.5  $\mu\text{m}$  conocida como capa de Bailby. Más profundamente hay una estructura deformada de 5 - 25  $\mu\text{m}$ , y de 0.02 - 0.5 mm la estructura permanece invariable. Además la elevación de la temperatura puede llegar a alcanzar la fusión de uno de los metales en contacto, aunque sea de forma fugaz y puntual originándose las microsoldaduras.

Para poder seguir siendo posible el movimiento, deberán cizallarse la microsoldaduras. Si la resistencia a la cizalladura de estas soldaduras es superior a la resistencia a la cizalladura de uno de los metales en contacto, para que continúe el movimiento deben arrancarse partículas del metal más blando y a la vez arrastrarse y así, cada vez, se produce más transporte sobre el metal más



duro deteriorándose la superficie del más blando y al cabo del tiempo la fricción se realiza sobre el metal más blando. (Govantes, 1986).

En el primer instante del funcionamiento, se caracteriza por la destrucción mecánica de las asperezas, que son despuntadas hasta un aumento de la superficie real de contacto y hay un reparto suficiente y regular de la carga. Este es el período más difícil del rodaje, debido a los efectos dinámicos de choque, entre las asperezas y los efectos térmicos de calentamiento microlocalizado. (Suárez, 1988). El gradiente térmico creado, da lugar a la dilatación diferencial de la pieza y como consecuencia a la creación de tensiones y además disminuye el límite elástico. Todo esto puede dar lugar a un período en el que el deterioro de la superficie puede llegar a ser elevado o mantenerse dentro de los límites captados en dependencia de la resistencia del metal a choques térmicos.

El desgaste metálico y abrasivo están caracterizados por el deslizamiento y arranque de la superficie metálica, la única diferencia radica en que uno ocurre entre metales y el otro con un abrasivo metálico o no metálico. Por lo que el modo de acción será análogo en los dos casos, según (Martínez, 1981).

### **1.3. Comportamiento de la capa superficial del pasador durante el proceso.**

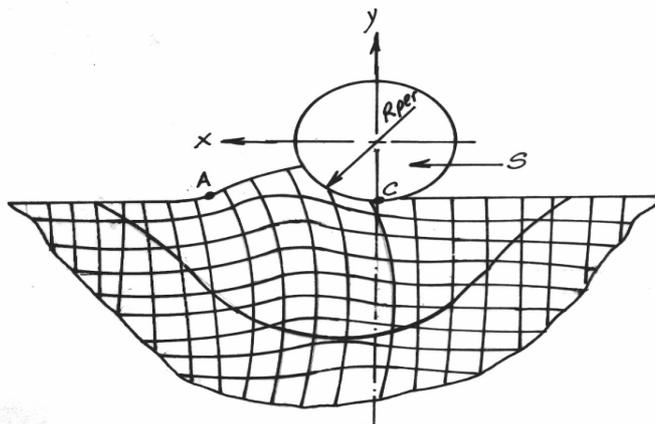
El incremento de las propiedades de explotación de las piezas, como resultado de la elaboración por deformación plástica superficial (DPS) tiene lugar, en gran medida, por la consolidación del metal, por el surgimiento de tensiones residuales de compresión y la formación de una rugosidad superficial con perfil adecuado. Korotciske, 1989, Smeliansky, et al, 1990.

En correspondencia con los nuevos conocimientos de la naturaleza de la fatiga de los metales, estos defectos superficiales de la capa pueden, bajo la acción de las cargas actuantes durante la explotación de las piezas desarrollarse aún más, por ello la capacidad de trabajo de las piezas puede estar condicionada no solamente por el nivel de la capa deformada consolidada y de las tensiones residuales compresivas, (Odintsov, 1987, Mazein et al, 2001), sino también del grado de utilización de la capacidad plástica del metal. Sin embargo, el método de su cálculo en la teoría y en la práctica de la deformación plástica superficial (DPS)

no está suficientemente desarrollado y ello justifica la realización de investigaciones sobre su influencia en la capa superficial después de la deformación en la resistencia de las piezas.

Teniendo en cuenta la interrelación entre las tensiones y las deformaciones que se determinan, se puede determinar la distribución de las tensiones por la superficie de contacto en la superficie frontal del casquillo.

El cuadro del estado deformacional-tensional de la capa del metal se representa en la figura 1.1. El estado tensional fue determinado según la teoría de la cinemática de la deformación de los metales. El grado de deformación de desplazamiento fue determinado con el auxilio del método de las redes coordenadas. Según los criterios de Smelianki, Kalpin, Barinov, 1990.



**Figura. 1** Sección esquemática del estado de deformación de la capa del pasador en contacto con el casquillo.

Como se aprecia en la figura, se distinguen tres zonas características (una delante del casquillo, sin deformación aún, la que está directamente en contacto con el elemento deformante (casquillo), y una posterior fuera del contacto, en el límite de los cuales se cambia el aspecto del estado deformacional. El valor de la velocidad del grado de deformación del desplazamiento es mayor en la cúspide de la onda deformacional, y según se acerca al punto más bajo del casquillo se disminuye, o sea, que bajo el casquillo la magnitud es insignificante. El valor máximo del estado tensional surge un poco delante del punto (parte más baja del casquillo) en sentido o dirección del avance.



El valor mayor del parámetro tiene lugar cercano a la cúspide de las ondas. En la profundidad de la capa superficial tiene lugar un carácter análogo de la distribución de los parámetros del estado tensional-deformacional.

#### **1.4. Física química del contacto.**

En el contacto de cuerpos sólidos, además de la mecánica es necesario tener en cuenta la interacción molecular de los materiales en las superficies de separación y en las fuerzas superficiales. Como estos procesos dependen de la naturaleza física y química de las superficies en contacto, es necesario describir las correspondientes características de estas superficies (Johnson, Bower, 1989).

Los autores, Tubielewicz, Jezierski, Znorko, 2000, coinciden en plantear que desde el punto de vista de la física del estado sólido, la superficie de los cuerpos cristalinos es una brusca discontinuidad en la periodicidad del retículo cristalino, esta brusca discontinuidad en la red cristalina presenta las siguientes particularidades

- ✓ Reorientación estructural.
- ✓ Interacción de las superficies con el medio ambiente (adsorción física y química, oxidación o formación de capas).
- ✓ Variación en las propiedades físicas.

Las superficies técnicas tienen particularidades complementarias debido a los procesos de elaboración.

- ✓ Capas endurecidas mecánicamente.
- ✓ Superficie con texturas especiales.
- ✓ Campo de tensiones internas local.

Para describir la composición de las superficies reales, en 1936 schmalts propuso diferenciar las capas existentes en el contacto seco, donde incluyó capas externas a las superficies formadas por impurezas, gases adsorbidos y óxidos, y las capas internas superficiales, incluyendo la capa endurecida por la deformación y el metal base. El endurecimiento por deformación aumenta la resistencia al desgaste.

La presión de contacto está representada por una serie de cargas puntuales que actúan en cada nodo de la superficie. La deflexión en cualquier punto del modelo



puede ser determinada mediante la superposición de las deflexiones causadas por cada carga discreta. (Cheng et al, 2000)

La fatiga de contacto por rodadura ha sido identificada como la propagación de grietas iniciadas en la superficie, alrededor de defectos superficiales tales como asperezas o dientes. La iniciación de la grieta alrededor de tales defectos se piensa que esté controlada por el campo de los esfuerzos normales y cortante. La presión de contacto está representada por una serie de cargas puntuales que actúan en cada nodo de la superficie. La deflexión en cualquier punto del modelo puede ser determinada mediante la superposición de las deflexiones causadas por cada carga discreta. (Bower, Johnson, 1989)

El estudio de dichos fenómenos permitió establecer que la capa superficial del metal se forma como resultado de la trayectoria de la deformación plástica del metal, teniendo esto lugar en condiciones de deformaciones de signo variable y bajo el surgimiento de diferentes cargas internas inducidas no simétricas de carácter cíclico. Por ello, los parámetros del estado físico-mecánico de la capa superficial, en particular la plasticidad, deben determinarse considerando este estado complejo de las cargas actuantes.

Otros autores, Alvarez, 1999, Martinez, 2006, plantean que como es conocido la fuerza de fricción que obran entre superficie en reposo una con respecto a la otra, se llama fuerza de fricción estática y que la máxima fuerza de fricción estática será igual a la mínima fuerza para iniciar el movimiento.

Existen dos tipos principales de fricción: fricción estática y fricción dinámica. La fricción no es una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

- Fricción por deslizamiento (incluye fricción por giro).
- Fricción por rodadura.
- **Fricción seca:** Se produce por el contacto de dos superficies sin que medie entre ellas algún lubricante, en este caso el mecanismo de fricción está relacionado directamente con las propiedades físico-químicas del par en contacto.
- **La fricción por deslizamiento:** es la que se produce al deslizar una superficie sobre otra y la fricción por rodadura es la que se produce al trasladar una rueda o



rodillo de radio  $R$  sobre una superficie inmóvil, de manera que al rotar un ángulo  $\theta$ , el eje de la rueda se desplaza respecto a la superficie una magnitud  $r\theta$ , produciéndose un movimiento denominado rodadura sin deslizamiento o rodadura pura.

Es difícil que la fricción seca ocurra y en la práctica no ocurra, pues siempre entre los cuerpos en contacto existe al menos una capa de óxidos o suciedades la cual varía las condiciones de fricción.

En (Mallo, 1987), se plantea que el análisis exhaustivo del desarrollo de los procesos por deformación plástica se está intentando realizar mediante el seguimiento en cada instante del continuo cambio en forma y posición de la superficie de fluencia. Un estudio aproximado de la transformación de la superficie de fluencia se puede realizar mediante los criterios del endurecimiento por deformación en frío.

#### **1.4.1 Tensión de contacto durante el proceso de deformación plástica.**

Durante el cálculo de resistencia a la fatiga superficial, es importante tomar en cuenta de forma especial el análisis de las tensiones de contacto en un número considerable de elementos de máquinas. Para determinar las tensiones que se desarrollan en el área de contacto, Hertz (1881 y 1882) se basó en los métodos de la teoría de la elasticidad y en las suposiciones siguientes:

1. Las cargas producen solamente deformaciones elásticas en la zona de contacto, de acuerdo con la ley de Hooke.
2. El área de contacto es pequeña en comparación con las superficies de los cuerpos en contacto.
3. Las fuerzas de compresión se distribuyen sobre la superficie de contacto.
4. Ambos cuerpos en el punto de contacto tienen un plano tangente común y una normal común a lo largo de la cual están dirigidas las fuerzas de compresión.

El análisis de las tensiones de contacto, al determinar la resistencia en la zona de contacto, se debe hacer tomando en cuenta las cuestiones siguientes:

1. Determinar los radios de curvatura de los cuerpos que se tocan, así como el ángulo entre sus planos principales de curvatura.



2. Calcular las dimensiones de los semiejes de la zona de contacto (Zona elíptica).

- Contacto de dos cuerpos comprimidos por la acción de la carga normal  $F_n$ , en dirección del eje Z.

En el caso general, el área de contacto está determinada por una elipse (Ramos, 1989), cuya ecuación es:

$$Ax + By = \Delta = \text{constante}$$

Donde  $\Delta$  es la magnitud del acercamiento de los cuerpos en contacto, que depende de la deformación de los materiales en la zona de contacto y tiene un valor constante de acuerdo con las propiedades elásticas de los materiales.

El estado tensional que surge en el material en la zona de contacto es un estado tridimensional, ya que el material que se encuentra en esa zona no puede deformar libremente, por lo que se encuentra comprimido en todas direcciones. Las tensiones de contacto dependen de la elasticidad propia del material y no constituyen funciones lineales de las cargas, por lo que aumenta al incrementarse las últimas.

Para dos cilindros de diámetros diferentes se determinan teniendo en cuenta las características del material y la geometría de ambos elementos.

### **1.5. Endurecimiento en frío de las capas de los pasadores. Acritud.**

En la teoría de la elaboración por conformado de los metales se han formulado diferentes teorías y criterios de la deformabilidad. El análisis de la aplicabilidad para el rodilado exterior de estos supuestos teóricos, la relación al cálculo del parámetro de la plasticidad, demuestra que ninguna de ellas permite descubrir las particularidades de las destrucciones de la capa de metal durante el rodilado exterior. Teniendo en cuenta los defectos de "cicatrizado" de los metales durante el cambio de signo de las deformaciones.

El trabajo en frío según (Moreno, 2005) y la compañía Arde-Pórtland, aumenta la cantidad de tensión necesaria para el deslizamiento. Este hecho se puede relacionar con la teoría de la dislocación, ya que la red cristalina deformada del



metal impide el movimiento de las dislocaciones y la dislocación bloqueada solamente puede desplazarse si se incrementa la tensión. De esta forma, un metal endurecido por deformación se puede someter a tensiones mayores que el mismo metal recocido antes de que ocurra la deformación.

Esto es fundamental en la consolidación de los metales, tanto en los metales puros como en sus aleaciones. En el último caso, el efecto del trabajo en frío, superpuesto al efecto de endurecimiento de la fase sólida (Lim, 1969, Moya, 1996) da lugar a la obtención de un metal más resistente que el que se podría producir por cualquiera de otros tratamientos.

En (Mallo, 1987), se plantea que el análisis exhaustivo del desarrollo de los procesos por deformación plástica se está intentando realizar mediante el seguimiento en cada instante del continuo cambio en forma y posición de la superficie de fluencia. Un estudio aproximado de la transformación de la superficie de fluencia se puede realizar mediante los criterios del endurecimiento por deformación en frío.

Según Sugino, 2005, la tensión residual compresiva puede llegar hasta valores entre -1000 y -1600 MPa a una profundidad de 0,08 a 0,1 mm de la superficie.

Los valores anteriores dependen del material y del proceso de elaboración. Dichas tensiones aparecen a una profundidad entre un 10 y un 50% de la profundidad de la capa endurecida.

Según Pickering, 1983, Alvarez, E.A.G, 1999, Kallister, 1999, Pero- Sanz, 2000. La deformación plástica en frío de un agregado policristalino por un proceso cualquiera de conformado; laminación, estirado, trefilado, embutición, compactado de polvo, plegado, enderezado, suele traducirse en una deformación permanente. Esta tiene lugar en el interior de los cristales con la acomodación de las juntas de los granos.

La acritud es una propiedad característica del estado metálico, que no presentan los polímeros ni los materiales cerámicos. El material resultará más duro cuanto menor sea el espesor final, es decir, cuanto mayor haya sido la reducción en frío,



puede decirse que acritud es el aumento de dureza que adquiere un material por deformación en frío.

El grado de acritud que adquiere un material depende de factores externos al material metálico, naturaleza del esfuerzo y velocidad de aplicación de éste, pero sobre todo depende del grado de deformación en frío que el material experimenta y de la naturaleza del material (sistema cristalino, energía de defectos de apilamiento, tamaño de grano, pureza del metal). La acritud guarda relación con el sistema cristalino al que pertenece el metal o aleación, (Smelyanky, Kalpin, Barinov, 1990)

Cuando la deformación alcanza un valor crítico por encima del límite de acritud, el material se rompe por fractura frágil. Durante este proceso las tensiones de cizalladura, producen deslizamiento en el interior de los granos cristalinos o ruptura de los mismos, y crean tensiones de cizalladura que alcanzan un valor máximo en algún punto, apareciendo deformaciones permanentes o fracturas, punto a partir del cual se inicia el fallo del material. (Alvarez, E. N, Lancestremere, Mareglia, Barr, 2004, Lubriner, 1986) Al someter un metal con estructura cúbica a la acción de cargas que sobrepasen el límite de fluencia, después de eliminarlas persistirá la deformación. Si se vuelve a poner al metal bajo la acción de cargas, su actitud para la deformación plástica habrá disminuido y el límite de fluencia se elevará. Esto significa que el metal se ha endurecido por acritud. (Barceinas, y Juárez, 2001)

#### **1.6. Microestructura de los aceros al carbono.**

Durante la revisión bibliográfica realizada se encontró que los constituyentes metálicos que pueden presentarse en los aceros al carbono son: ferrita, cementita, perlita, sorbita, troostita, martensita, bainita, y rara vez austenita, aunque nunca como único constituyente. También pueden estar presentes constituyentes no metálicos como óxidos, silicatos, sulfuros y aluminatos. Las microestructuras que presenta el diagrama de equilibrio para los aceros al carbono son:

- **Ferrita (Hierro  $\alpha$ )** El hierro alfa ( $\alpha$ ) (ferrita) existe desde -273 oC hasta 912 oC y posee la estructura cristalina BCC



Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro, la máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0,02% a 723 °C. La ferrita es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kgf/mm<sup>2</sup>, llegando hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros. En los aceros, la ferrita puede aparecer como cristales mezclados con los de perlita, en los aceros de menos de 0.6%C, formando una red o malla que limita los granos de perlita, en los aceros de 0.6 a 0.85%C en forma de agujas o bandas circulares orientados en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita. La ferrita también aparece como elemento eutectoide de la perlita formando láminas paralelas separadas por otras láminas de cementita, en la estructura globular de los aceros de herramientas aparece formando la matriz que rodea los glóbulos de cementita, en los aceros hipoeutectoides templados, puede aparecer mezclada con la martensita cuando el temple no ha sido bien efectuado (Fernández, P.S, 2001, Schijve, 2003, Kallister, 1999)

➤ **Perlita** Otros autores, Kocks, Franciosi, Kawai, 1991, Guliaev, 1983, Kallister, 1999, coinciden en plantear que es el microconstituyente eutectoide compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 kgf/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723°C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular.

➤ **Cementita**

Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una



dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas. Aparece como:

- ✓ Cementita proeutectoide, en aceros hipereutectoides, formando un red que envuelve a los granos perlíticos.
- ✓ Componente de la perlita laminar.
- ✓ Componente de los glóbulos en perlita laminar.
- ✓ Cementita alargada (terciaria) en las uniones de los granos (0.25% de C).

#### ➤ **Martensita**

La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro  $\alpha$ . Si en estado de equilibrio la solubilidad del carbono en el hierro no supera el 0.0025%, entonces su contenido en la martensita es el mismo que en la austenita básica. La martensita tiene una red cristalina tetragonal en la que al aumentar el contenido de carbono la altura del prisma tetragonal aumenta mientras que las dimensiones de la base disminuyen.

La transformación martensítica solo ocurre, si la austenita es rápidamente sobreenfriada, esta transformación a diferencia de la transformación perlítica, no va acompañada de redistribución del carbono y el hierro en la red de la austenita. Esto significa que los desplazamientos de los átomos de carbono y de hierro durante la transformación no superan las distancias interatómicas. Por lo que solo se produce una reformación de la red cúbica de caras centradas de la austenita en la red cúbica centrada de hierro  $\alpha$  sin separación del carbono de la solución lo que lo conduce a una deformación de la red cúbica hasta la tetragonal.

#### **1.6.1. Deformación en la fase austenítica o ausformado.**

Según (Clauser 1985), para que pueda ser endurecido por deformación en la fase austenítica, el acero debe tener una región en forma de bahía en la parte del diagrama temperatura - tiempo que corresponde a la fase austenítica del acero (Entre 425 y 540°C (aproximadamente). La austenita se deforma en la región de la bahía y luego se enfría y transforma en martensita. Los aceros que se han sometido a este esquema de deformación y transformación tienen una resistencia mayor que los que se templean y revienen en la forma convencional.

Existen tres métodos prácticos de deformación en la fase austenítica:

- a) Laminado. Es el método aplicado más frecuentemente; está restringido al conformado de las formas más sencillas.
- b) Forjado. Es un método prometedor, ya que con él es posible conformar secciones relativamente complejas que requieren poca cantidad de trabajo posterior.
- c) Entallado en caliente. Esta técnica se ha aplicado con éxito a la deformación en la fase austenítica de las envueltas de los motores de cohetes con propulsión sólida.

El método del ausformado presenta una desventaja: la soldadura con fusión destruye las propiedades obtenidas por deformación en la fase austenítica en la proximidad del depósito de soldadura y en la zona afectada por el calor.

Laminación a temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . La resistencia del acero austenítico se puede aumentar grandemente por deformación a temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ .

### 1.7. Heterogeneidad de la deformación.

La presencia de la fuerza de fricción en los procesos de conformación de metales conduce a obtención de deformaciones heterogéneas en una muestra, esto se observa al analizar el recalado entre placas planas paralelas, donde aparecen tres zonas de diferentes grados de deformación. Figura 1.1

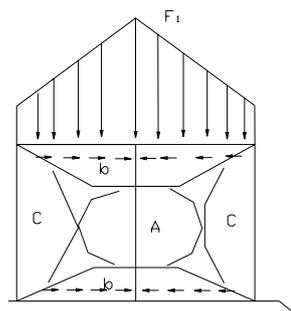


Figura 1.1. Comportamiento de un material sometido a esfuerzo de fricción.

En la zona b no tiene lugar prácticamente la deformación pues el flujo transversal del metal en esa zona se ve frenado por las fuerzas de rozamiento superficiales la



cual también actúa en el interior del material pero pierde su efecto a medida que nos acercamos al centro de la muestra.

En el caso del análisis de un estado deformacional plano o volumétrico, el metal se desplazará hacia la zona c, provocando el ensanchamiento del metal y conduciendo a la forma de barril en las muestras metálicas cilíndricas observado en el forjado o en el laminado de lingotes. En esta zona es considerada como una zona de mediana deformación donde la influencia con la fricción es mínima con respecto a la zona b. (Emilio, 1991), en A existe una deformación media o pequeña ya que el material del núcleo no recibe la máxima influencia de la fuerza de fricción.

En la Deformación Plástica Superficial existen dos leyes básicas:

#### **1. Ley del volumen constante.**

“El volumen del metal después de ser deformado plásticamente, no varía respecto al volumen del metal antes de ser deformada”.

Esta ley es una aproximación de a lo que sucede en los procesos de de deformación plástica, pues es conocido que durante la deformación plástica el volumen del metal varía, por ejemplo en un proceso en caliente se observan ciertas pérdidas por oxidación se reduce el número de poros en los metales fundidos. En los procesos en frío los metales sufren cambios alotrópicos que influyen en el peso específico del metal.

Sin embargo se ha comprobado que la variación del volumen se encuentra en un orden que puede ser no tenido en cuenta, por ejemplo el volumen del hierro o el acero bajo una presión de 1MPa disminuye el volumen de estos en un 0.0006% de su volumen inicial, para el cobre laminado en frío el cambio de volumen se encuentra en el orden de 0.02- 0.03% de su volumen inicial. Por lo que estos cambios no son tomados en los procesos de conformación de metales.

No obstante estas pequeñas variaciones de volumen del metal tienen los físicos para sus estudios pormenorizados de la deformación plástica y suelen llamar “condición de volumen constante”



## **2. Ley de la menor resistencia.**

Al conformarse metal bajo presión, la correlación de desplazamiento del metal en diferentes direcciones (volumen desplazado, se determina por el principio o ley de menor resistencia.

“al ser deformado un metal bajo presión, el desplazamiento de los puntos se realiza en dirección de la mayor resistencia”.

El desplazamiento libre del metal en todas direcciones es impedido por dos factores.

El rozamiento en la superficie de contacto.

La forma de la zona a deformar.

Cuando no existe rozamiento entre las superficie en contacto durante la deformación, por ejemplo para el caso del recalado, el volumen del metal es desplazado en altura, se redistribuye uniformemente en todas las direcciones de la sección.

Sin embargo la fricción esta presente en casi todos los procesos y el desplazamiento del metal serán obstaculizados por ella, fundamentalmente en dirección a la mayor dimensión de la pieza. Por ejemplo en el caso de un paralelepípedo la fuerza de rozamiento mayor actuará en dirección de las diagonales por lo cual la resistencia a la deformación será máxima.

### **1.8. Variación de los pasadores.**

Alcántara, Fernández, Rodríguez, 2008, establecen los parámetros que caracterizan el endurecimiento por deformación plástica por rodadura en pasadores de mecanismos de rodadura en las máquinas de laboreo minero elaboradas de acero AISI 1045, se demuestra que debido a las severas condiciones de trabajo a que están sometidos los equipos de laboreo minero estos sufren intensamente los efectos del desgaste principalmente en los elementos que están sometidos a rodadura en seco, como es el caso de los que componen las esteras de dichos equipos y en particular los pasadores de estas, hasta el punto de quedar fuera de servicio



Alcántara 2009, plantea que a pesar que los pasadores están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste, pero los que mayor influencia tiene en su deterioro son: el desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo y aunque los pasadores poseen alta dureza, sobre ellos tiene influencia también la deformación plástica, debido a que las superficies con las que entran en contacto poseen mayor dureza.

(Díaz, 2008), establece el procedimiento de cálculo para el desgaste de los pasadores, realiza la metodología de cálculo para determinar el desgaste de los pasadores expuesto a condiciones de carga, así como al desgaste por el medio que trabajan, en la presente metodología tiene en cuenta los elementos que ocasionan defectos en el par tribológico, sin embargo no realiza el comportamiento microestructural de ninguno de los elementos actuantes en la estera de los tractores del tipo Komatsu.

Fernández (2007), realiza el procesamiento estadístico con todos los datos obtenidos de los controles realizados antes y después del deformado con ayuda del software Excel 2000 y Statgraphics versión 5.1. con los que grafica el comportamiento de las medias y los residuos de las variables fuerza y dureza, llegando a la conclusión que se mantiene la tendencia a incrementar la dureza en la medida que aumenta la fuerza; confirmando el incremento del tensionamiento de la red y el endurecimiento del material, puesto que el mismo ofrece mayor resistencia a la penetración una vez deformado plásticamente a consecuencia directa del trabajo de deformación en frío provocado por la acción de las cargas de rodadura y obedece a la reducción en las distancias interplanares del metal tensionado. Plantea que la ocurrencia del endurecimiento a través del mecanismo de deslizamiento se produce a consecuencia del tensionamiento de la estructura cristalina de la red, la reducción del tamaño promedio de los granos y el aumento de la acritud.

### **1.9. Conclusiones del capítulo I**

- ❖ La bibliografía consultada, aporta información sobre el comportamiento del acero AISI 1045 tratado térmicamente, pero en ninguna de ella se refleja el



comportamiento del mismo cuando sobre este existe un endurecimiento producto del proceso de acritud.

- ❖ Debido a las severas condiciones de trabajo a que están sometidos los equipos de laboreo minero estos sufren intensamente los efectos del desgaste principalmente en los elementos que están sometidos a rodadura en seco, como es el caso de los que componen las esteras de dichos equipos y en particular los pasadores de estas, hasta el punto de quedar fuera de servicio.
- ❖ Los pasadores están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste, pero los que mayor influencia tiene en su deterioro son: el desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo.

# CAPITULO II



## **CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **2.1. Introducción**

Los diferentes tipos de aceros poseen diferentes propiedades en dependencia de su composición química y las propiedades que se les hayan atribuido mediante tratamiento térmico u otro tipo de tratado. Los pasadores evidentemente poseen cierto desgaste y deformación en correspondencia con lo planteado en el capítulo anterior, para probar esta teoría es necesaria la demostración gráfica de la microestructura superficial e interna del pasador. Así como la realización de ensayos de dureza de los elementos que deforman el pasador que son el eslabón y el casquillo o buje, de dicho pasador, del pasador nuevo y de una muestra patrón, así como el análisis de la composición química de estos materiales.

El conocimiento del comportamiento de los pasadores en las condiciones de trabajo debe llevar implícito una investigación que permita establecer la relación composición-estructura-propiedades de la aleación y sus efectos sobre la ocurrencia de roturas y el tipo de falla que se manifiesta en los mismos, a través de los siguientes métodos de ensayo.

El desgaste por deslizamiento tiene una gran influencia en los sistemas pasador/casquillo, por el deslizamiento del casquillo sobre el pasador sobre la parte externa del mismo en una pista curva si se tiene en cuenta que la actividad que realizan los tractores es el acopio del mineral laterítico en un terreno que posee una topografía irregular trayendo consigo el desgaste progresivo en elementos indispensables para el funcionamiento de dichos equipos como son los pasadores.

#### **En este capítulo se plantea como objetivo:**

1. Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones en la que se realizarán los experimentos.

### **2.2. Características de los materiales objeto de estudio.**

La composición química se tomó como promedio de los resultados de tres chispas para sacar el de cada una de ellas. El análisis químico se realizó empleando un Espectrómetro de Masa ESPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón en el Laboratorio del Taller de Fundición de la



Empresa Mecánica del Níquel, Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche", Moa. La composición química del pasador deteriorado se muestra en la tabla 2.1. Se tomó el pasador el cuál estuvo sometido a la acción de trabajo continuo, una vez que la pieza se puso fuera de explotación por perder su configuración geométrica. Con este análisis se determinó la composición química del pasador deteriorado Alcántara, et all, 2007, Barzaga, 2008

**Tabla 2.1.** Composición química de pasador deteriorado.

<b>C%</b>	<b>Si%</b>	<b>Mn%</b>	<b>P%</b>	<b>S%</b>	<b>Cr%</b>	<b>Mo%</b>
0,46	0.252	0.795	0.0085	0.0021	0.151	0.039
<b>Ni%</b>	<b>Al%</b>	<b>Co%</b>	<b>Cu%</b>	<b>Ti%</b>	<b>V%</b>	<b>W%</b>
0,145	0.028	0.012	0,285	0,054	0,003	0,003
<b>Pb%</b>	<b>Sn%</b>	<b>As%</b>	<b>Ce%</b>	<b>B%</b>	<b>Zn%</b>	<b>Fe%</b>
0,001	0.009	0.01	0.005	0.001	0.002	97.82

Se determinó que el pasador corresponde con la composición química de un acero del tipo AISI 1045 según norma ASTM.

La dureza que posee el pasador en toda la longitud deformada por rodadura, está compuesta por dos capas, una relacionada con el tratamiento térmico recibido antes de su uso que es de aproximadamente de 4 mm y luego de ser sometida por el propio trabajo al esfuerzo de rodadura se observa una profundidad de esta capa de 1.5 mm. Alcántara, et all, 2007, Barzaga 2008

Se tomó en consideración la dureza de los elementos que incidían directamente en la fricción por contacto con el pasador, para ello se tomó la dureza del buje o casquillo y del eslabón de la cadena. En las tablas 2.2 y 2.3 se muestran la composición química de ambos elementos. Alcántara, et all, 2007, Barzaga 2008

**Tabla 2.2.** Composición química del buje o casquillo.

<b>C%</b>	<b>Si%</b>	<b>Mn%</b>	<b>P%</b>	<b>S%</b>	<b>Cr%</b>	<b>Mo%</b>
0,171	0,283	0,776	0,0114	0,0032	1,088	0,307
<b>Ni%</b>	<b>Al%</b>	<b>Co%</b>	<b>Cu%</b>	<b>Ti%</b>	<b>V%</b>	<b>W%</b>
0,094	0,027	0,011	0,03	0,003	0,004	0,023
<b>Pb%</b>	<b>Sn%</b>	<b>As%</b>	<b>Ce%</b>	<b>B%</b>	<b>Zn%</b>	<b>Nb%</b>
≤0,001	0,005	0,006	0,005	0,0014	0,002	≤0,001

Tabla 2.3. Composición química del eslabón de la cadena.

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%
0,350	0,273	1,212	0,0096	0,0019	0,0004	0,127
Ni%	Al%	Co%	Cu%	Ti%	V%	W%
0,081	0,031	0,010	0,184	0,047	0,002	0,011
Pb%	Nb%	As%	Ce%	B%	Zn%	Fe%
≤0,001	≤0,001	0,007	0,005	0,001	0,001	97,2

Después de analizada la composición química se determinó que el casquillo es AC 4140 y el eslabón es AC 1340. Esto demuestra que según la cinemática del par tribológico, se considera un par directo ya que el par de mayor dureza se mueve con respecto al más blando y además se cumple que el área nominal del más duro es menor que la del más blando.

Esto demuestra que en el par directo durante la acción de la carga, la deformación plástica del elemento de menor dureza obstaculiza el funcionamiento normal del par, motivo por el cual aumenta la fricción, aumenta el grado de deterioro de la superficie y ocurre la rotura.

**2.2.1. Análisis microestructural:** para la observación de las probetas se empleó un microscopio óptico binocular marca marca NOVEL modelo NIM-100 (Figura 2.1.1) ubicado en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM de Moa, este esta dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. Para colocar las probetas en el microscopio se montan en un dispositivo con plastilina que permite una nivelación adecuada de estas. La estructura metalográfica de la muestra patrón se observa en la figura 2.1.

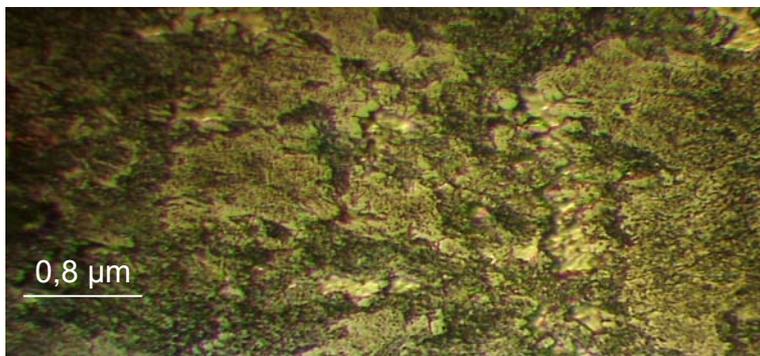


Figura 2.1 Muestra patrón del pasador (Estructura metalográfica ferrita - perlítica del acero AISI 1045 empleando. (800X)

Las Especificaciones técnicas del microscopio se resumen en la tabla 2.1.2.

Tabla 2.1.2. Parámetros de funcionamiento del (Inverted metallurgical microscope).

Sistema óptico	Sistema óptico infinito
Tubo de mirada	Tubo trinocular libre de compensación inclinado a 30, distancia intrapupilar: 48-75mm.
Relación de división	20% para una mirada binocular y 80% para mirada de video y fotomicrografía.
Mirada ocular:	Punto alto, mirada ocular de campo extra ancho con (100X/20).
Objetivo:	Plan acromático objetivo: 4,10X, 80X.
Foco:	Foco coaxial, rustico y fino, movimiento grosero de ataque: 37,7 mm refracción.
Por rotación, trazo fino.	0,2mm
Escenario	Área: 100-250 mm.
Regla mecánica:	: x/y control coaxial a la derecha, rango de movimiento: 120 (ancho) X 78 (longitud) mm.
Kohler:	Lámpara halógena: 6V30N, intensidad continuamente ajustable.
Filtro:	Azul, Amarillo, verde y violeta.

En la figura 2.1.1, se observa la imagen del microscopio empleado en la observación de las muestras.



Figura 2.1.1. Microscopio Óptico NOVEL modelo NIM-100.

### 2.3. Análisis de fase por el diagrama hierro carbono.

Para facilitar la comprensión de todas las transformaciones que se producen en los cristales de hierro técnico se emplea el diagrama hierro-carbono (Figura 2.2.), el cual permite determinar las transformaciones de fases del hierro en dependencia de la temperatura de tratamiento al que es sometido.

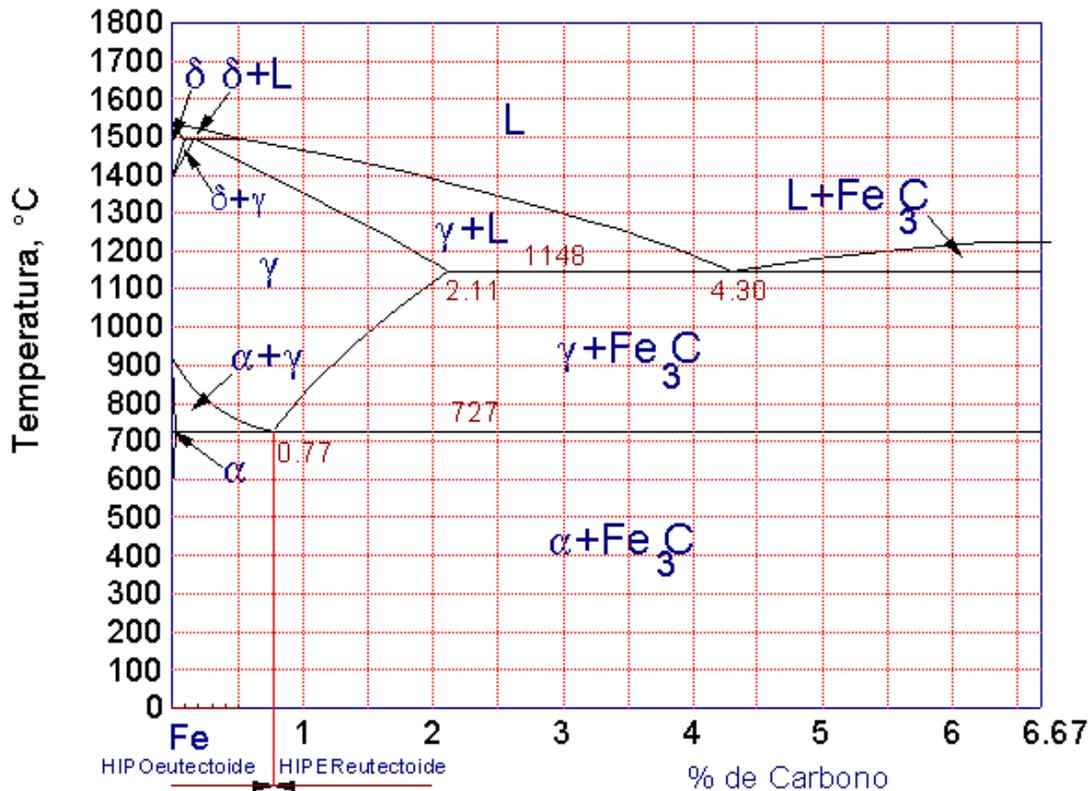


Figura 2. 2. Diagrama hierro-carbono.

La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre estos elementos, el más importante es el carbono.

El diagrama hierro carbono, aún cuando teóricamente representa unas condiciones de metaestables, se puede considerar que condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentas representa cambios de equilibrio.



## 2.4. Máquinas y Equipos empleados en la experimentación.

### 2.4.1. Caracterización del torno 16 K 20.

Los trabajos de torneado y experimental se realizaron en el torno 16 K 20, en el mismo se puede realizar todas las operaciones, presenta las mejores cualidades del sistema de mando, en el cual están centralizadas todas las operaciones de trabajo y auxiliares.

#### ❖ Características principales del torno.

- Potencia del motor eléctrico. . . . . 10 kW
- Tensión. . . . . 400 V
- Frecuencia de rotación del husillo. . . . . 16-2 400 rev/min
- Avance:
  - Longitudinal. . . . . 0,05...2,8 mm/rev
  - Transversal. . . . . 0,025...1,4 mm/rev
- Fuerza máxima laborable sobre el mecanismo de avance. . . . . 400 kgf.

#### ❖ Características principales de la fresadora.

- Fresadora vertical modelo. . . . . 6 M 12 Γ
- Superficie útil de mesa. . . . . 320 x 1250 mm.
- Potencia del motor. . . . . Nm = 7 kW.
- Rendimiento de la fresadora. . . . .  $\eta = 0,8$ .
- Frecuencia de rotación del husillo (r/min). . . . . 100
- Avances longitudinales y transversales de la mesa( mm/rev) :25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.
- Avances verticales de la mesa (mm/min): 8;10,5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,3; 66,6; 83,3; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 400.

## 2.5. Equipo para medición de dureza.

Para determinar las durezas de cada material se toman muestras de cada una de ellas, se pulen debidamente con lija de 400 granos de partículas abrasivas por  $\text{mm}^2$  para evitar que alguna suciedad u oxido provocara errores en los resultados. Las mediciones de la dureza se realizaron por el método HRC, y se efectuarán al menos



cuatro mediciones para cada muestra en diferentes lugares. En la tabla 2.3 aparecen las características del equipo.

Tabla. 2.3. Características del durómetro.

Carga aplicable en kg	
Previa: 15	Total: 1 a 120
Tiempo aplicación de la carga (seg).	15
Tipo de penetrador:	Pirámide de diamante.
Cambio de la carga:	Manual.

En este caso se utilizará un penetrador de pirámide de diamante de 136<sup>0</sup> y una carga aplicada de 15 kg.

## 2.6. Preparación metalográfica de las probetas.

### 2.6.1. Generalidades.

La metalografía microscópica estudia las características estructurales y de constitución de los productos metalúrgicos con la ayuda del microscopio metalográfico, para relacionarlos con sus propiedades físicas y mecánicas. La parte más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta pulida y atacada empleando aumentos que, con el microscopio óptico, oscilan entre 100 y 2000X. El examen microscópico proporcionan información sobre la constitución del metal o aleación, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño y distribución de granos, inclusiones y microestructura metalográfica en general. La microestructura puede reflejar la historia completa del tratamiento mecánico que ha sufrido el metal. La preparación defectuosa de las probetas puede arrancar las inclusiones importantes, destruir los bordes de grano, revenir un acero templado o en general, originar una estructura superficial distorsionada que no guarda ninguna relación con la superficie representativa y características del metal.

Las operaciones se resumen en el siguiente orden, según la norma NC 10-56:86 y ASTM E3-95.

1. Selección de la muestra.
2. Ataque de la probeta.
3. Toma o corte de la muestra.
4. Montaje y preparación de la probeta.
5. Análisis microscópico.
6. Obtención de micrográficas.



## **2.7. Selección de la muestra:**

La localización de la parte que ha de ser examinada es de gran importancia, ya que ha de lograrse una probeta representativa del material a examinar. Las probetas seleccionadas deben ser características del metal estudiado y servir para el fin a que se dirige tal estudio seleccionando adecuadamente la región de la zona que pueda dar el máximo de información para realizar con éxito el estudio propuesto.

El tamaño adecuado de la probeta debe ser tal que pueda sostenerse con la mano durante su preparación.

**2.7.1. Corte de la probeta:** puede realizarse con seguetas, cortadora de cinta o disco abrasivo, oxiacetileno, teniendo la precaución de evitar el calentamiento que puede ocasionar alteraciones estructurales.

**2.7.2. Montaje de la probeta:** Se hace en materiales plásticos sintéticos como bakelita, lucite, o acrílico isotérmico que después del moldeo son relativamente duros y resistentes a la corrosión y no causan empastamiento de los papeles abrasivos durante el desbaste y pulido.

**2.7.3. Desbaste:** es la operación siguiente al corte y al montaje de la probeta y se efectúa en una debastadora de cinta rotativa o sobre papeles abrasivos de diferentes grados, colocados sobre discos giratorios.

Al pasar de un abrasivo a otro, debe girarse la probeta 90 grados y desbastar hasta que se borren por completo las huellas del abrasivo anterior, teniendo siempre el cuidado de lavar la probeta con agua abundante. Se aconseja pasar la probeta por toda la serie de abrasivos: 150, 220, 280, 320, 400, 500, y 600, pues eliminar algún abrasivo retarda la operación en vez de acelerarla.

Una presión excesiva sobre el papel abrasivo puede causar rayas profundas y difíciles de eliminar posteriormente, además se provoca una distorsión intensa sobre el metal de la superficie, alterando el aspecto de la estructura. Esta distorsión no se puede evitar completamente pero puede reducirse mediante técnicas adecuadas de desbaste y pulido.



Conviene emplear un papel abrasivo nuevo para cada probeta, los papeles usados se emplean para finalidades específicas porque sus partículas abrasivas desgastadas tienden a producir distorsión del metal superficial.

También debe tenerse en cuenta que la superficie opuesta de la probeta debe ser paralela para facilitar el soporte en el microscopio.

Al final del desbaste, deben lavarse con agua abundante tanto las probetas como las manos del operador para evitar que las partículas del abrasivo o del metal en la etapa del desbaste pasen a las pulidoras lo cual los haría inservibles.

➤ **Características de la máquina de pulir.**

Voltaje. . . . .	250 V
Corriente. . . . .	2.5 Amp
Numero de revoluciones. . . . .	300-1000 rev/min
Potencia del motor. . . . .	5 HP

**2.7.4. Pulido:** Tiene por objeto, eliminar las rayas finas producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento a espejo.

El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación, depende en gran parte del cuidado con que se haya realizado el desbaste. Si una probeta tiene rayas profundas que no se han eliminado en las últimas operaciones de desbaste, no podrán ser eliminadas durante el pulido con pérdida de tiempo y trabajo.

La forma de realizar el pulido es, apoyando la cara desbastada de la probeta sobre un paño embebido con una suspensión del abrasivo y fijado a un disco que gira accionado por un motor.

Como paños pueden emplearse el paño de billar, el raso, la seda, el terciopelo, y otros que corresponden a nombres comerciales como Selvit, Gamal, Kansas, Microcloth. Como abrasivo puede usarse una suspensión acuosa de alúmina, óxido de cromo, óxido de hierro, óxido de magnesio, o para materiales muy duros una suspensión de polvo de diamante en aceite mineral. El tamaño de la partícula abrasiva en suspensión oscila entre 100 y algunas décimas de micrón.



La presión a aplicar sobre la probeta, depende de la dureza de la aleación y debe disminuirse a medida que avanza el pulido, deberá ser tal que se logre hacer desaparecer en unos pocos minutos las rayas del último papel abrasivo (600) cuidando de no excederse en la presión por el peligro de desgarramiento del paño.

Debe lavarse la probeta en un chorro de agua caliente, secar con ayuda de un secador, sin tocar la cara pulida, enjuagarla con alcohol y secarla finalmente con aire seco o caliente. Observar en el microscopio a 100 aumentos; si persisten las rayas provenientes del desbaste en el último papel abrasivo, continuar con el pulido en la forma ya descrita todo el tiempo que sea necesario para que estas desaparezcan.

La combinación adecuada de estas variables, permitirá alcanzar un adecuado pulido, aunque difícilmente se logre evitar algo de distorsión; para eliminar esta última no queda otro recurso que el de ataque y pulido alternados.

**2.7.5. Observación microscópica:** Permite reconocer la presencia de inclusiones no metálicas como sulfuros, silicatos, aluminatos, óxidos, microporosidades, microgrietas, y grafito.

Antes de atacar la probeta debe desengrasarse con alcohol y secarse con aire frío o caliente.

**2.7.6. Ataque:** Para el ataque, se toma la probeta con la pinza y se sumerge con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristizador. Se extrae, se lava con alcohol, se seca y se observa al microscopio, se registra el campo observado a diferentes aumentos. Se vuelve a pulir y se repite la operación descrita anteriormente manteniendo sucesivamente la probeta sumergida durante 2, 10, 20, 40, y 80 segundos, registrando el campo observado después de cada ataque. Mediante el ataque es posible poner de manifiesto el tamaño, forma y distribución del grano (fases o microconstituyentes), las heterogeneidades en la estructura y las segregaciones.

## **2.8. Corte de la probeta.**

La operación de corte, se realiza en máquinas destinadas para esta operación. Es de vital importancia en estos tipos de ensayos, considerar los resultados que se quieren obtener, de este proceso dependerá la calidad de los resultados.



### 2.8.1. Parámetros para el cálculo.

Diámetro de la fresa.	Df = 70 mm
Número de dientes.	Z = 40 mm
Sigma a la rotura del acero.	$\sigma_r = 65 \text{ kgf/mm}^2$
rev/min de la herramienta.	100 rev/min
Durabilidad de la fresa.	T = 180 min
Espesor de la pieza..	h = 18 mm
Ancho de la fresa.	B = 4 mm
Avance longitudinal.	Sm = 63 rmm/rev

### 2.8.2. Determinacion de la velocidad de corte:

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de una herramienta acoplada a una máquina herramienta o la velocidad lineal del diámetro mayor que esté en contacto con la herramienta en la pieza que se esté mecanizando en una máquina herramienta. Su elección viene determinada por el material de la herramienta, el tipo de material a mecanizar y las características de la máquina. Una alta velocidad de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo, pero acelera el desgaste de la herramienta.

La velocidad de corte se expresa en m/min. La velocidad adecuada de corte depende de varios factores y en ningún caso se debe superar la que aconsejan los fabricantes de las herramientas. Casillas, 1987

### 2.8.3. Velocidad de corte para el fresado.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_f \cdot n}{1000}; \quad (2.1)$$

**Donde:**

Vc = Velocidad de corte; m/min .

D = Diámetro de la fresa; mm .

n = Número de revolución; rev/min .

1 000 = Factor de conversión de metro a milímetro.



#### 2.8.4. Potencia de Corte efectiva.

Es la potencia necesaria para realizar la operación en la máquina seleccionada, la potencia de corte no debe superar la potencia del husillo de la máquina.

$$N_c = \frac{PZ.V_c}{6120}; \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

Donde:

PZ = Fuerza tangencial que se ejerce en la pieza.

V<sub>c</sub> = Velocidad de corte; m/min .

#### 2.8.5. Potencia del husillo.

Potencia necesaria que se necesita para poner en movimiento la máquina

$$N_h = N_{mot} \cdot \eta \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

N<sub>h</sub> = Potencia del husillo; kW.

N<sub>mot</sub> = Potencia del motor; kW

η = Rendimiento de la máquina.

#### 2.8.6. Tiempo de maquinado.

Es el tiempo invertido por el operario en la ejecución del trabajo, también conocido por tiempo básico o tiempo total de maquinado.

$$T_m = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

Donde:

T<sub>m</sub> = Tiempo de maquinado; min.

L = Longitud a maquinar; mm.

i = Números de pasadas.

n = Números de revoluciones; rev/min.

s = Avance; mm/rev.

#### 2.9. Velocidad de corte para el torneado.

El torneado es la operación que consiste en eliminar una capa de metal de la superficie del material que se va a elaborar. En el torno como máquina herramienta se puede realizar diferentes operaciones tecnológicas.



$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.5)$$

**Donde:**

VC = Velocidad de corte; m/min.

D = Diámetro de la pieza; mm.

n = Número de revolución; rev/min

1000 = actor de conversión.

### 2.9.1. Profundidad de corte:

Es la dimensión de la capa de metal que arranca la cuchilla de una pasada. Si una pieza cilíndrica de diámetro D se tornea de una pasada de la cuchilla hasta el diámetro d, entonces la profundidad de corte es igual a la mitad de la diferencia entre los diámetros.

$$t = \frac{D - d}{2} \quad (2.6)$$

**Donde:**

t = Profundidad de corte; mm.

D = Diámetro de la pieza antes de la elaboración; mm.

D = Diámetro de la pieza después de la elaboración; mm.

### 2.9.2. Tiempo de maquinado.

Es el tiempo invertido por el operario en la ejecución del trabajo, también conocido por tiempo básico o tiempo total de maquinado.

$$T_m = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i \quad (2.7)$$

**Donde:**

Tm = Tiempo de maquinado; min.

L = Longitud a maquinar; mm.

i = Números de pasadas.

n = Números de revoluciones; rev/min.

s = Avance; mm/rev



### 2.9.3. Refrentado:

Consiste en la limpieza del frente de las caras de la pieza, el tiempo básico o de maquinado para esta operación se calcula por la siguiente ecuación.

$$T_b = \frac{D}{n \cdot s} + Y + \Delta \cdot i; \text{ min} \quad Y = t \cos \varphi \quad \Delta: 1 \dots 3. \quad (2.8)$$

#### Donde:

D: Diámetro de la pieza a elaborar; mm

Y: Longitud de entrada de la cuchilla; mm

$\Delta$ : Coeficiente.

i = Números de pasadas.

### 2.10. Elaboración mecánica de las probetas.

Corte de las probetas L = 15 mm X 15 mm. Norma ASTM E 92

Las operaciones de corte para la toma de las probetas, se realizan en una fresadora, metales, garantizando un constante y severo régimen de enfriamiento evitando que el calentamiento producido por la fricción durante el proceso de corte pudieran aparecer transformaciones en la estructura.

Todas las probetas se someten al régimen de maquinado por lo se asume la posibilidad de que en las superficies de las mismas haya estado presente el fenómeno de la acritud aunque en poca escala, por lo que se requieren condiciones intensas de evacuación del calor.

Para garantizar el buen acabado superficial obtenido y previo al tratamiento, la probeta se cilindrará exteriormente entre plato y punto, con los siguientes datos de corte:

n = 63 rev/min, S = 0,05 mm/rev.

### 2.11. Método de identificación de la microestructura de las probetas.

Con el objetivo de dar un mejor entendimiento a la hora de identificar la microestructura de las probetas, teniendo en cuenta la formación de las tres capas que se forman durante el contacto por fricción del par tribológico y que ocasiona el desgaste, se establece un sistema de números y letras en correspondencia en el orden en que fueron elaboradas.



**Para el casquillo:**

C P: Muestra patrón.

MC: Muestra del Centro.

**Centro del Pasador desgastado.**

BEPD: Borde exterior del pasador.

BID: Borde Interior del pasador.

CPD: Centro del pasador.

**Curva de contacto entre el pasador y el casquillo.**

BCPD: Borde exterior del pasador.

BCID: Borde Interior del pasador.

CCPD: Centro del pasador.

**Ajuste por interferencia del pasador y el eslabón.**

AIEP: Borde exterior del pasador.

AIIP: Borde interior del pasador.

AICP: Centro del pasador.

Considerando que la validación de las normas y procedimientos y el nivel de acreditación de los laboratorios y equipamiento que se utilizaran para desarrollar las mediciones que permiten una alta precisión con muy pocas posibilidades de que se introdujeran errores sistemáticos; lo cual implicaba el número mínimo de réplicas que garantizará la confiabilidad de los resultados; se decidió que en las corridas experimentales se realizarán solo tres réplicas.

Como parte de las comprobaciones a que es sometida la pieza se calcula y chequea la deflexión de la línea elástica y la relación de los respectivos diámetros de la pieza y del rodillo de la herramienta.

Paralelamente, antes de la realización del proceso tecnológico, se realizará un control previo de la dureza superficial, la rugosidad superficial y del diámetro exterior.

Posteriormente al tratamiento se vuelven a controlar los mismos parámetros anteriores y se determinará la microdureza en varias profundidades muy cercanas a la superficie.



## **2.12. Conclusiones del capítulo II**

- ❖ La realización de los ensayos anteriormente señalados permite obtener una información detallada acerca de la composición química, la dureza, así como la microestructura de los materiales analizados. Además permiten hacer comparaciones a partir de estos parámetros, entre el pasador usado a partir de una probeta patrón y de los elementos que deforman dicho pasador.
- ❖ Los métodos de investigación utilizados se complementan con el empleo de una actualizada base experimental, tecnologías, software y equipamiento que garantizan la precisión y fiabilidad a los resultados.

# CAPITULO III

## CAPITULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

### 3.1. Introducción

En éste capitulo se exponen los resultados derivados del trabajo experimental, y a partir de los mismos, las expresiones matemático estadísticas que describan las regularidades del comportamiento micro estructural del pasador de la estera de los tractores del tipo KOMATSU fabricado de acero AISI 1045, sometido a tratamiento térmico y endurecido posteriormente producto de la acritud.

**El objetivo del capítulo es:**

1. Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado a partir de la interpretación de las regularidades observadas.

### 3.2. Análisis de la dureza de los materiales en estudio.

Para determinar las durezas de cada material se tomaron muestras de cada capa del pasador desgastado (ver Anexo 1), se pulieron debidamente lija de 180 granos de partículas abrasivas por  $\text{mm}^2$  para evitar que alguna suciedad u oxido, provocara errores en los resultados. Las mediciones de la dureza se realizaron por el método de Rockwel (HRC), y se realizaron al menos cuatro mediciones para cada muestra en diferentes lugares. Para realizar este ensayo se utiliza un durómetro tipo Rocwel modelo 2018TP. Para ello se tuvo en cuenta las tres capas deformadas producto de la rodadura y el contacto del casquillo con el pasador. Para un mejor entendimiento de la clasificación de las diferentes zonas en las capas deformadas, en la figura 3.1 (a y b) se reflejan las mismas.

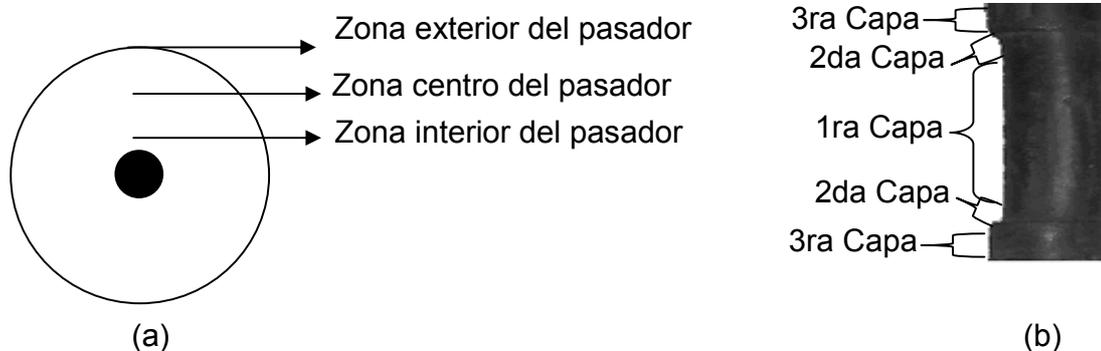


Figura 3.1 (a y b). Caracterización de las capas en el pasador de las esteras.



En la tabla 3.1 aparece en comportamiento de la 1ra capa deformada, y con mayor desgaste (centro del pasador)

Tabla 3.1. Dureza del pasador en la capa más deformada y desgastada.

Zona	Dureza (HRC)
Interior del pasador	37
Centro del pasador	39
Exterior del pasador	52

En la tabla 3.2 aparece en comportamiento de la 2da capa deformada, y con desgaste producto al borde del casquillo (extremo del desgaste del pasador)

Zona	Dureza (HRC)
Interior del pasador	37
Centro del pasador	38
Exterior del pasador	48

En la tabla 3.3 aparece en comportamiento de la 3ra capa deformada, y sin desgaste, zona donde se ajusta el pasador con el eslabón de la estera.

Zona	Dureza (HRC)
Interior del pasador	35
Centro del pasador	38
Exterior del pasador	40

Como se puede observar, teniendo en cuenta la cinemática del par tribológico, existe diferencia entre las tres capas deformadas en el pasador de la estera de los tractores, si se toma como partida la 3ra capa que no ha sido deformada, ya que solamente en ella existe la unión del pasador con el eslabón de la cadena, la dureza en el centro y el interior del pasador casi se mantiene constante, no siendo así para el exterior de la 1ra y 2da capa, donde existe un incremento acentuado de la dureza después del tratamiento térmico, producto del deslizamiento del casquillo (al tener mayor dureza, AC AISI 4140), sobre el pasador.



La mayor dureza de la 1ra capa está dada por que en la cinemática de los cuerpos en contactos, esta se comporta como una línea, sin embargo para el borde del casquillo, solo se analizará como puntos de contactos.

### 3.3. Análisis del corte de la probeta.

En el torneado se empleo una cuchilla de 45° con sujeción mecánica Sandvik, código del vástago PSSN R 25 25 M 12, con una plaquita SNMG 12 04 08-PM de calidad 4 025 (SANDVIK Coromant KoroKey, 1996). Los parámetros geométricos de la cuchilla son:

Cuchilla de tronzar de 4 mm de ancho,  $\phi=85^\circ$   $\phi_1=-5^\circ$  y mango 20x20 mm.

Las características de la fresa son:

Diámetro de la fresa. . . . . Df = 70 mm

Número de dientes. . . . . Z = 40 mm

Ancho de la fresa. . . . . B = 4 mm

### 3.4. Calculo de la Velocidad de corte para el torneado.

Se empleará la metodología de cálculo para el fresado y el torneado, según Fernández, Alcántara, Rodríguez, 2007.

A partir de  $n = 63$  rev/min y  $S = 0,05$  mm/rev, ambos valores prefijados por las características del material a maquinar y la ecuación 2.5 se tiene que:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 47 \cdot 63}{1000}$$

$$V_c = 9,29 \text{ m/min}$$

La velocidad obtenida permite establecer un periodo de vida mas prolongado de la herramienta y ahorrar recursos materiales, así como la disminución de la acritud producto del corte.

#### 3.4.1. Análisis de la profundidad de corte.

La profundidad de la capa cortada, si es demasiado grande, ocasiona el calentamiento excesivo de la parte cortante de la cuchilla, desgaste del filo, provoca perdida de tiempo en el operario y disminuye la vida de la herramienta, se



recomienda pocas profundidades de corte en materiales que generan excesivo calor por fricción durante el maquinado.

### Sustituyendo en 2.6

$$t = \frac{47 - 14}{2} = 16,5 \text{ mm}$$

Este valor permite realizar la operación con buen acabado, además daña poco por el calor la parte cortante, como el pasador posee dureza producto del tratamiento térmico hay que trabajar con poco número de revolución.

### 3.4.2. Calculo del tiempo de maquinado.

Para obtener el tiempo que se emplea durante la operación de cilindrado exterior y sustituyendo en la ecuación 2,3, se obtiene que:

$$T_m = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i$$

$$T_m = \frac{16,5}{63,005} \cdot 1$$

$$T_m = 5,2 \text{ min}$$

Este es el tiempo consumido para la elaboración (torneado exterior) de una probeta, para las 4 el tiempo total es de: 21 min

### 3.5. Análisis de la velocidad de corte para el fresado.

El empleo de la fresadora se hará para el corte de las muestras que más tarde se utilizarán en el análisis metalográfico. Sustituyendo en la ecuación 2.1

$$V_c = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 100}{1000}$$

$$V_c = 21,98 \text{ m/min}$$

Velocidad de corte que permite las condiciones a través de la refrigeración constante el corte de las muestras y evitar obtener las muestras sin alteraciones en la estructura, además evitar desgastes y roturas en el filo de la herramienta.

### 3.5.1. Análisis de la potencia de Corte efectiva.

Sustituyendo en la ecuación 2.2, tenemos que la potencia necesaria para realizar



$$N_c = \frac{PZ.V_c}{6120}$$

Despejando la ecuación anterior tenemos.

- Avance por dientes. ( $S_z$ )

Se prefija entre 0,18 – 0,22 mm/diente, generalmente se adopta  $S_z = 0,2$  mm/diente

- La fuerza de corte que se ejerce en la pieza ( $P_z$ ) se determina por la formula:

**Donde:**

P: Presión específica.

F: Área.

$$F = a \cdot b \quad (b)$$

Donde:

$$a = 0,9 \cdot S_z \quad (c)$$

b = ancho de fresado

$$a = 0,9 \cdot S_z$$

Para el cálculo adoptamos  $S_z = 0,2$

Así, de acuerdo con (c) tenemos:

$$a = 0,18$$

Por lo tanto sustituyendo en (b):

$$F = 0,72 \text{mm}^2$$

Sustituyendo este valor en (a) tenemos:

$$P_z = 36 \text{kgf/mm}^2$$

- Potencia del husillo. Sustituyendo en 2.3

$$N_h = N_{mot} \cdot \eta$$

$$N_h = 7,0,8$$

$$N_h = 5,6 \text{ kW}$$

- Tiempo de muestra.

$$T_m = \frac{L}{n \cdot s} \cdot i \quad (1a)$$

$$L = l + y + \Delta \quad (2a)$$

$$y = \sqrt{t(\Delta - 3)} \quad (3a)$$

**Donde:**

l = largo de la pieza que se trabaja.



$y$  = es la magnitud (el camino) de la entrada (mm)

$\Delta$  = magnitud de la salida o carrera libre de la herramienta.

De (2a) se tiene que:  $L = (16,5 + 0 + 3)$

$$L = 19,5 \text{ mm}$$

A partir de  $\Delta = 3$  por la ecuación (3a) se tiene que:  $y = 0$

Sustituyendo valores en (1a) tenemos:

$$T_m = \frac{16,5}{63} \cdot 4 = (1,14.5)$$

$$T_m = 4 \text{ min}$$

El Tiempo total de corte de las muestras es:  $4 \cdot 4 = 16 \text{ min}$

### 3.6. Análisis para la preparación metalográfico de las probetas.

Para la selección de las muestras se tuvo en cuenta la función del pasador, se valoró las características de trabajo del mismo, las muestras seleccionadas debían responder según el objetivo del trabajo, se seleccionaron a partir de las capas que se deforman en el pasador, la que está en contacto con el casquillo, la que se deforma en los puntos del contacto del casquillo y la que aún está sin deformar. El corte de las mismas se realizó en dos máquinas, el torno 16 K 20 y la fresadora 6 H 12 Г, con abundante refrigeración para evitar el calentamiento excesivo en las mismas y el cambio de estructura producto del calentamiento y la acritud.

✓ El desbaste se realizó con abrasivos 150 (para el desbaste primario), 400 (para el asentamiento de las irregularidades) y 600 (acabado final), eliminando todas rayas dejadas por la herramienta de corte y los surcos y huellas del abrasivo anterior. Al pasar de un abrasivo a otro, girando la probeta 90 grados, lavando la probeta con agua abundante.

✓ En el pulido, hasta alcanzar el brillo de espejo, se empleó un paño de terciopelo con abundante oxido de cromo, se lavó con abundante agua para eliminar los residuos del pulido atacándose luego con NITAL (Según ASTM E-262-Practice A).

El NITAL es un reactivo químico preparado al 4%.

Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ )	5ml
Alcohol (etanol)	100ml

Se empleó con el objetivo de resaltar la estructura obtenida después de realizado el pulido, para observar la estructura metalográfica formada después de la deformación del material bajo carga por rodadura. Se empleo este reactivo, por que este resalta los diversos constituyentes estructurales y el contorno de los granos del acero AISI 1045. Pone en manifiesto las uniones de los granos de ferrita, la perlita se ennegrece y la cementita se mantiene blanca.

✓ El Montaje de la probeta para la observación microscópica, se realizó en plastilina y nivelada con una prensa destinada para este fin, con el objetivo de buscar la rectitud en la observación y evitar de esta forma desviación o falsa lectura de la microestructura durante el análisis.

### 3.6. Observación con microscopía óptica.

Después de pulidas adecuadamente las muestras, se procede a la observación en el microscopio óptico. Se montan las muestras en la platina y se comienza la observación cambiando la combinación de ocular y objeto hasta encontrar la adecuada. La observación de las muestras fueron a 800 X, para ello se tuvo en cuenta la muestra patrón especificada en el epígrafe 2.2.1 del capítulo II.

En las figuras 3.2 (a) y (b) se observa el comportamiento de la estructura patrón en relación a la muestras de las partes más desgastadas del pasador.

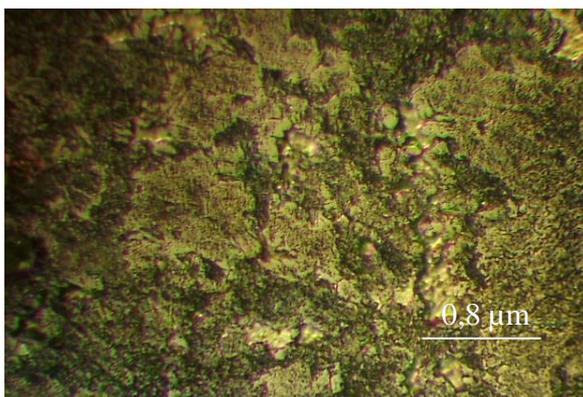


Figura 3.2 (a) Muestra patrón (800 X)

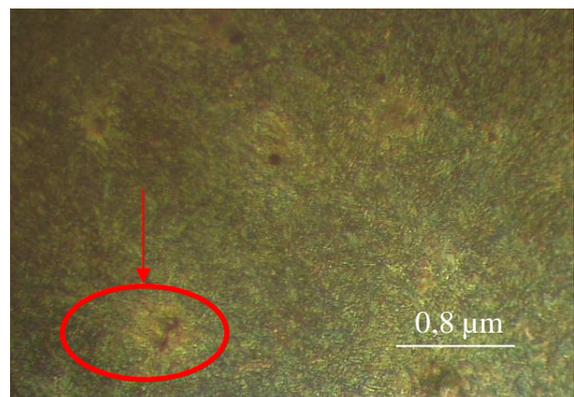


Figura 3.2 (b) Muestra BEPD (800 X)

En las figuras 3.3 (a) y (b) se observa el comportamiento de la estructura patrón en relación a la muestras del centro del pasador.

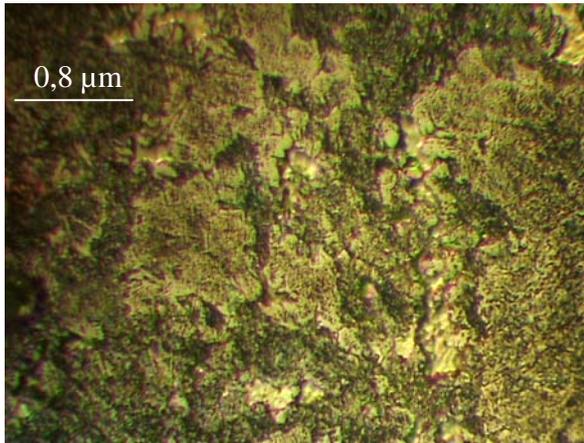


Figura 3.3 (a) Muestra patrón (800 X)

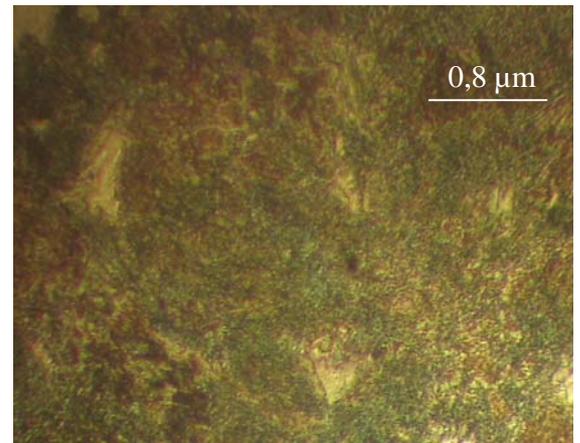


Figura 3.3 (b) Muestra CPD (800 X)

En las figuras 3.4 (a) y (b) se observa el comportamiento de la estructura patrón en relación a la muestras del borde interior del pasador.



Figura 3.4 (a) Muestra patrón (800 X)

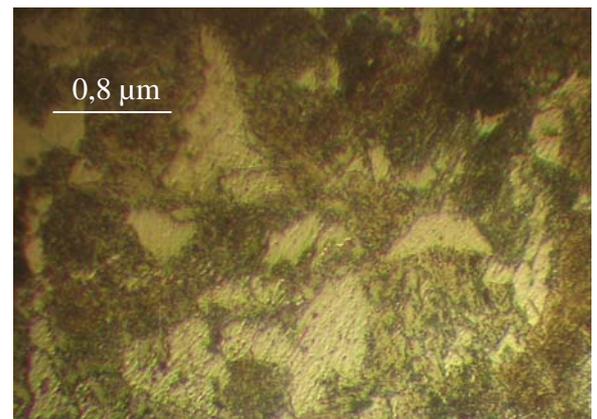


Figura 3.4 (b) Muestra BIPD (800 X)

Como se puede observar las micro estructuras en las capas más desgastadas del pasador va disminuyendo el tamaño del grano en relación con la muestra patrón, Como se observa en la figura 3.2 (b), la microestructura del pasador desgastado y deformado está compuesta por una estructura martensítica. Sin embargo, se puede apreciar una franja de aproximadamente 1,5 mm de granos de martensita más finos que disminuye su espesor a medida que se incrementa la profundidad desde la superficie hacia el núcleo. Esta franja de pequeño espesor, donde las agujas de martensita son más finas, tiene su origen en los procesos de deformación al que se somete la superficie del pasador durante las operaciones, lo que provoca una disminución en el tamaño de los granos y la aparición ocasional de bloques de

mosaico que permiten delimitar perfectamente una zona de la otra, se puede observar también la aparición de grietas y poros internos, los cuales aceleran el desgaste de los pasadores. En la estructura del borde interno de la muestra se puede apreciar que ha existido poco cambio en la estructura manteniendo su estructura ferrífica per lítica.

### 3.6.1 Observación con microscopía óptica en la curva de contacto entre el pasador y el casquillo.

Se analiza el comportamiento micro estructural en la curva de contacto entre el pasador y el casquillo, el análisis se realizó teniendo en cuenta la descripción del epígrafe 2.11 del capítulo II. En las figuras 3.5 (a) se observa la muestra patrón y en la figura 3.5 (B), la microestructura del borde exterior en esta zona.

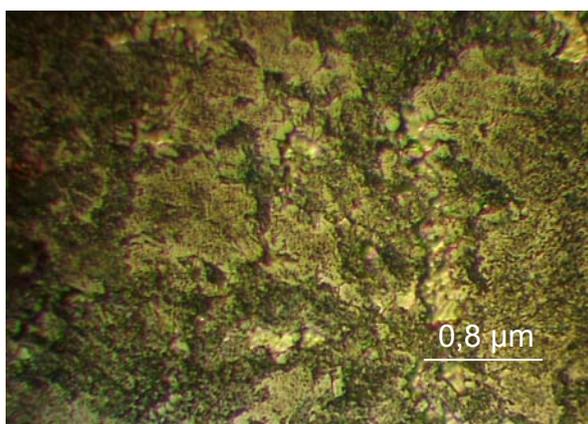


Figura 3.5 (a) Muestra patrón (800 X)

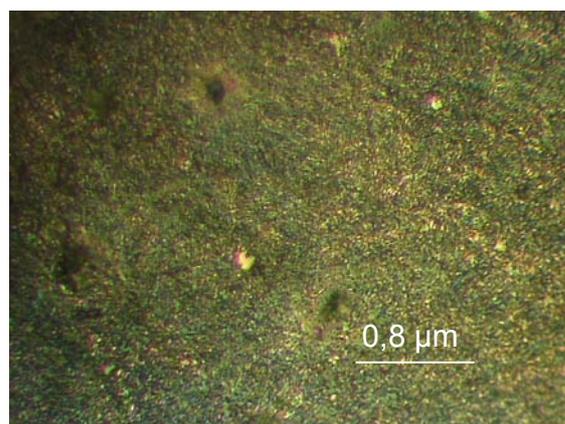


Figura 3.5 (b) Muestra BECP (800 X)

En las figuras 3.6 (a) y (b), se observa el comportamiento de la microestructura del centro de la curva del pasador en relación con la muestra patrón.

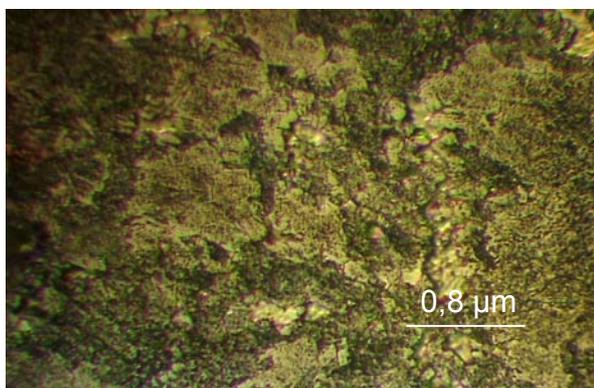


Figura 3.6 (a) Muestra patrón (800 X)

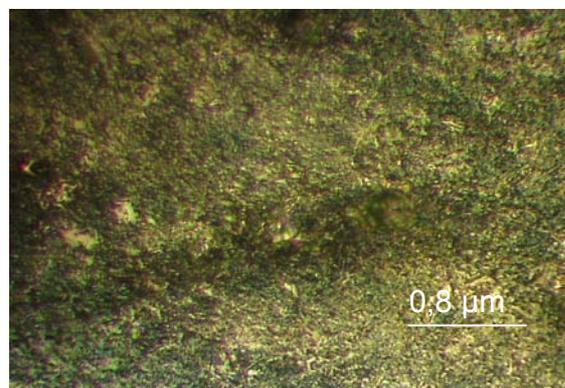


Figura 3.6 (a) Muestra CCPD (800 X)

En las figuras 3.7 (a) y 3.7 (b), se observa la muestra patrón en relación a la muestra del borde interior en la curva de contacto del pasador desgastado.

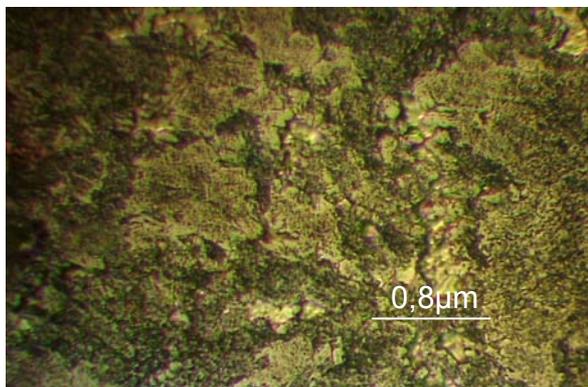


Figura 3.7 (a) Muestra patrón (800 X)

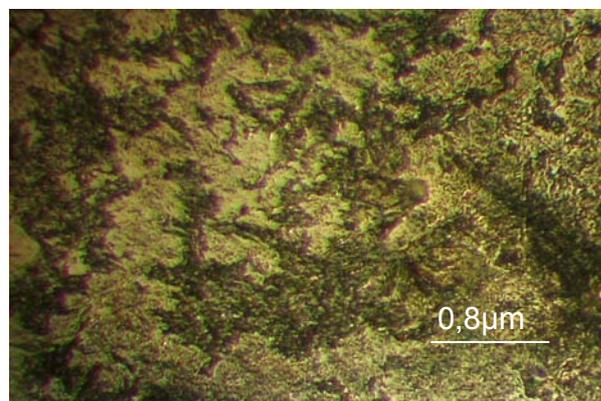


Figura 3.7 (b) Muestra RICPD (800 X)

Se observa en la microestructura del borde exterior y centro de la probeta en la curva del pasador deformado (3.5 (b) y 3.6 (b)), que aparece la microestructura de un pasador tratado térmicamente y deformado. Como se aprecia, la microestructura se corresponde con la martensita más austenita residual y a diferencia de la micrografía de la figura 3.7 (b), la microestructura es prácticamente homogénea (ferrítica-perlítica) y no aparecen zonas superficiales deformadas. Se demuestra que en esta zona ha existido un compactamiento en la estructura de los granos provocando disminución en los mismos productos del deslizamiento y el fenómeno de la acritud.

### 3.6.2 Observación con microscopía óptica en la zona de ajuste del pasador y el eslabón de la estera.

En las microestructuras de esta zona se mantuvo una microestructura homogénea ya que al no presentar presencia de deformación esta se mantuvo invariable. En la figura 3.8 (a) muestra patrón se puede observar en correspondencia con la 3.8 (b), uniformidad en la red cristalina. No hubo afectaciones en las zonas de ajuste ya que el pasador y el eslabón están ajustado por interferencia, lo que no permite movimiento, además en esta zona no se manifiesta el efecto del casquillo durante el movimiento del equipo.

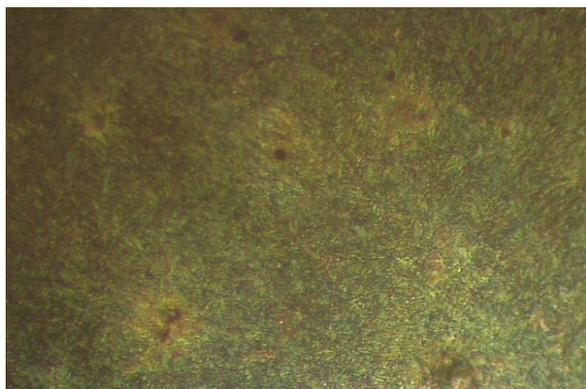


Figura 3.2 (b) Muestra patrón BEPD (800 X)



Figura 3.8 (b) Muestra AIEP (800 X)

En la figura 3.8 (b) se observa el comportamiento microestructural del Acero AISI 1045 tratado térmicamente y una estructura martensítica típica de este tratamiento, sin ninguna variación, pero la muestra patrón del borde exterior del pasador se comporta con una estructura de granos más finos producto del deslizamiento de los granos y la deformación por acritud.

### 3.6.3 Observación con microscopía óptica del casquillo.

Al valorar el comportamiento microestructural del casquilló se observó que debido al deslizamiento de este sobre el pasador, existen cambios producto de la misma fricción, las zonas más expuestas a este fenómeno, es decir al contacto en el par tribológico tiene tendencia a cambiar la microestructura por la acritud. En las figuras 3.9 (a) y 3.9 (b) se puede observar el comportamiento microestructural de este elemento.

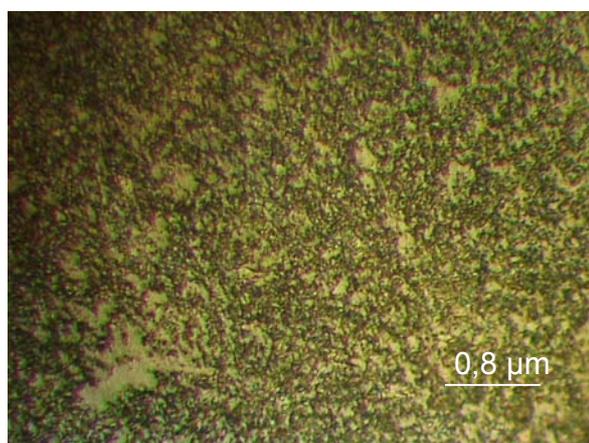


Figura 3.9 (a) Microestructura del casquillo Obtenida por la fricción (800 X)

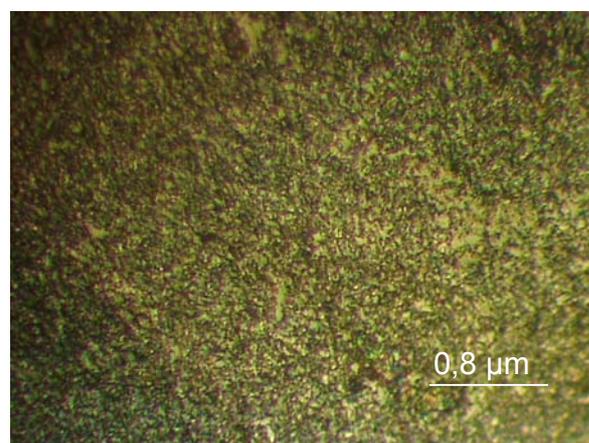


Figura 3.9 (b) Microestructura del casquillo Obtenida por la fricción (800 X)



### **3.7. Impacto económico y medio ambiental.**

El término económico juega un papel fundamental, tanto en la calidad del trabajo como en el empleo óptimo de los recursos de los que se dispongan. Así también en los momentos actuales resalta por su importancia el impacto medio ambiental debido a la destrucción gradual que sufre el planeta y al agotamiento de recursos necesarios.

Actualmente la sustitución de los pasadores no se realiza, sino la sustitución de toda la estera, pues para desmontar los pasadores se hace muy difícil hacerlo sin deteriorar otros elementos como los eslabones de dichas esteras. Estas esteras son sustituidas en la mayoría de los casos debido al desgaste de los pasadores.

Según el manual de precios oficiales de la empresa Importadora del Níquel.

El costo de la estera perteneciente al Buldózer del tipo KOMATSU D85A-18 que es el más utilizado en toda la empresa del níquel, es de 9 952.65 USD, incluyendo el seguro 39.49 USD, importe del flete 172.42 USD desde el puerto de la Habana, y el costo del empaque 84.64 USD.

Estas esteras son cambiadas en un plazo de aproximadamente seis años de trabajo.

#### **➤ Gastos en materiales.**

El costo de la chatarra de acero es de 18.00 CUC.

1. Un pasador desechado con un peso de 4.5 kg, un eslabón de estera de 17 kg de peso y un casquillo de 1.2 kg de peso.

Peso total de 22.7 kg.

Con un precio como chatarra para materia prima de 0.4 CUC.

2. Cinco pliegues de lija con un costo total de 1 CUC.

3. Una cuchilla de tronzar con un costo de 18.23 CUC.

En la tabla 3.4 se refleja la valoración económica del trabajo, para ello se tuvo en cuenta la ficha de costo que se emplea en la Empresa Mecánica del Níquel "Gustavo Machín Hoed de Beche"

El comportamiento de los costos aparece reflejado en las tablas 3,3.



Tabla. 3.3. Costo de fabricación de la Deformación Plástica Superficial.

<b>COSTO DE FABRICACIÓN DE LA PIEZA.</b>			
Tipo de material	Costo de material (\$)	Peso del semiproducto (kg)	Precio (\$)
Acero AISI 1045	1,25	0,5	16,87
Cuchilla	18,23	0,5	9,11
Lija	1,00	0,005	0,005
Operario	Tarifa(\$)	Tiempo efectivo(h/\$)	Costo(\$)
Tornero A	1,78	4,18	7,44
Rectificador A	1,78	1,00	1,78
Cortador	1,54	0,9	1,38
Téc de laborator.	1,78	6,00	10,68
<b>Salario Básico (Sb) = Suma de los costos = \$ 21,28</b>			
<b>Salario complementario Sc = (Sb*0,1) = \$ 2,128</b>			
<b>Aporte a la seguridad social Ss = (Sc+Sb)*0,09 = \$ 23,408</b>			
<b>Gasto de Energía</b>			
Máquinas	Tiempo trab (h)	Potenc máquina/kW	Energ consum (kW/h)
Torno	4,18	1,1	4,5
Sierra mecánica	0,9	1,5	1,35
Microscopio	2,00	2	4
Pulidora	4,00	1,75	7
Rectificadora	1,00	0,5	0,25
<b>Costo Energía</b>			
Torno	$C_{\text{torno}} = 250 + 4,5 \cdot 0,044 \cdot 1.9223$	<b>Costo Energía Eléctrica.</b>	
Sierra Sinfín	$C_{\text{SS}} = 250 + 1,35 \cdot 0,044 \cdot 1.9223$	$C_e = C_t + C_{\text{SS}} + C_M + C_P + C_R$	
Microscopio	$C_M = 250 + 4 \cdot 0,044 \cdot 1.9223$	$C_e = 21 + 21 + 21 + 21 + 21 = \$105$	
Pulidora	$C_P = 250 + 7 \cdot 0,044 \cdot 1.9223$	<b>Costo Total</b>	
Rectificadora	$C_R = 250 + 0,25 \cdot 0,044 \cdot 1.9223$	$CT = P_M + S_b + S_c + S_s + C_e = \$ 177,81$	

Costo total de materiales: \$ 26,012

Costo por operario: \$ 21,28

Salario complementario: \$ 2,128

Aporte a la seguridad social: \$ 23,408

Gasto de energía eléctrica: kW 17,1



### **3.7.1. Impacto medio ambiental.**

La contaminación ambiental puede ser provocada por causas naturales (emisión de partículas y gases por incendios forestales, volcanes, o la descomposición de residuos sólidos naturales como el excremento), esta contaminación se le conoce como telúrica, la misma puede ser reciclada por la naturaleza, a diferencia de la provocada de forma antropogénica o sea por el hombre; que en su afán de desarrollo a cualquier precio ha acelerado esta contaminación, fundamentalmente por la industrialización de sus producciones y con esto ha agravado los problemas ambientales que nos afectan; que ya no se limitan a la tradicional extinción de la flora y la fauna, sino que van un poco más allá; por ejemplo: la destrucción de la capa de ozono; el aumento del efecto invernadero; las lluvias ácidas; la tala indiscriminada; la erosión de los suelos; la contaminación de las aguas terrestres y marinas, los suelos y la atmósfera; la destrucción del patrimonio histórico-cultural, entre otros; a tal punto, que amenaza seriamente el balance de los ecosistemas del planeta y la propia existencia del ser humano.

En el proceso de maquinado se produce gran cantidad de desechos sólidos, estos desechos en forma de virutas al ser depositados en un lugar específico alteran el equilibrio de ese pequeño ecosistema, ya que en su composición poseen elementos que pueden ser lixiviables, bajo la acción de las temperaturas altas y las lluvias, pasan a las aguas subterráneas contaminándolas. Además en el taller se consume una gran cantidad de energía eléctrica, la cual se toma de la red nacional convirtiéndose en gasto de combustible y contaminación atmosférica debido al proceso de combustión para generar energía.

El empleo de tratamientos térmicos para lograr durezas superficiales en las piezas conlleva al menos a un mayor consumo de energía eléctrica donde casi siempre la pieza adquiere un temple volumétrico (como en el caso del temple y revenido) con el lógico despilfarro de energía, también porque emplean equipos que son altamente consumidores de energía eléctrica.

Adicionalmente, para diferentes variantes de tratamiento térmicos se utilizan en ocasiones una serie de productos químicos y de combustibles, sólidos y gaseosos,



que generan gases contaminantes al medio ambiente (vapores de sales, monóxido de carbono), además de desechos sólidos (grasas sólidas, aceites, restos de combustibles líquidos). También es conocido que la mayor parte de los residuos generados por la industria de tratamiento térmico proviene de los baños usados (por ejemplo, soluciones de cianuro), agentes enfriadores empleados, aguas residuales de la limpieza de piezas, medios abrasivos utilizados, material refractario y procesos de revestimiento que en mayor o menor medida afectan sensiblemente a la salud humana y son potencialmente peligrosos como agentes contaminantes del entorno.

La exposición de los trabajadores a diferentes contaminantes, entre los que se encuentran el polvo industrial, ruido, gases y otros.

Las partículas suspendidas reducen notablemente la luminosidad y visibilidad; además de la luz solar las partículas en suspensión absorben la luz producida por medios artificiales.

Con la implementación de los resultados del trabajo se puede lograr una reducción de los niveles de almacenamiento de los pasadores en los patios de desechos, se emplearía una nueva tecnología de endurecimiento en frío de estos materiales, contaminación del ambiente que afecta la flora y fauna de los territorios aledaños. Todo esto debido a una mejor operación de los sistemas de transporte.

Las implicaciones económicas y sociales que todo esto representa son universalmente conocidas, así como de los esfuerzos que a numerosas instancias se hacen en Cuba para disminuir el impacto negativo que estas tecnologías poseen.

En este sentido resulta importante reiterar que la aplicación del proceso tecnológico de endurecimiento en frío, en muchos casos, evita o hace innecesario el empleo de estas tecnologías contaminantes del medio ambiente y altas consumidoras de energía, pues las propiedades físico-mecánicas se pueden lograr de las reservas internas del material de la propia pieza, que se manifiestan a partir de la deformación en frío de su superficie en forma controlada. Incluso dicho proceso posee la ventaja adicional de que no induce efectos colaterales negativos en la



pieza como en el caso del temple donde hay que aplicar tratamientos adicionales para eliminar las tensiones surgidas.

### **3.8. Conclusiones del Capítulo III**

- ❖ Se comprueba que el acero AISI 1045 que trabaja bajo la acción de la rodadura se deforma y se desgasta bajo la acción de otro cuerpo de mayor dureza.
- ❖ En las estructuras observadas se observa que el acero AISI 1045 presenta una estructura de ferrita mas perlita en estado de normalizado y puede alcanzar la fase de martensita con abstenida residual mediante el tratamiento térmico.
- ❖ La zona deformada por la acción de la rodadura tiene una estructura del tipo martensítica con granos finos producto del deslizamiento de los granos y del fenómeno de la acritud.



## **CONCLUSIONES**

- ❖ Debido a las severas condiciones de trabajo a que están sometidos los equipos de laboreo minero del tipo KOMATSU estos sufren intensamente los efectos del desgaste principalmente en los elementos que están sometidos a rodadura en seco, como es el caso de los que componen las esteras de dichos equipos y en particular los pasadores de estas, hasta el punto de quedar fuera de servicio.
- ❖ Los pasadores están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste, pero los que mayor influencia tienen en su deterioro son: el desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo.
- ❖ Aunque los pasadores tienen una alta dureza sobre ellos tiene influencia también la deformación plástica, debido a que las superficies con las que entra en contacto poseen mayor dureza.
- ❖ Como se puede observar en la micrografía de los pasadores estos poseen en su superficie antes de su vida útil una microestructura martensítica y después de su vida útil se aprecia una variación en el tamaño de los granos de dicha superficie, los que disminuyen debido a la deformación plástica por el efecto de la rodadura.



## **RECOMENDACIONES**

- ❖ Extender los ensayos realizados a los pasadores a otros elementos que conforman estos equipos sometidos a otros tipos de desgaste.
- ❖ Las pruebas realizadas en el microscopio óptico pueden ser ajustadas en un equipo de este tipo pero de mayor resolución, como puede ser microscopía electrónica, Difracción por Rayos X.
- ❖ Utilizar para endurecer el pasador el método de endurecimiento por rodadura expuesto según (Hernández 2005, Fernández, 2007) para el endurecimiento del acero AISI 1045 y alargar así la vida útil del pasador o sustituir este material por otro con mayor resistencia a los tipos de desgaste a que está sometido el pasador.



## BIBLIOGRAFÍAS.

1. Álvarez, E; G, M. Máquina para el estudio del desgaste abrasivo en pares tribológicos. Construcción de Maquinaria. UCLV. Año 20. N 2. Mayo-Agosto. 1993. p 69-76.
2. Álvarez, E. N, Lancestremere, J, Mareglia, J. C, Barr, J. Fundamentos de la trafilación. Tecnología Mecánica II. Universidad de Buenos Aires.Facultad de Ingeniería, 2004.
3. Alcántara, D. B. Fernández, T. C, Rodríguez, I. G. "Comportamiento de las capas deformadas por rodadura en los equipos de laboreo minero". Nexo, Vol. 21, No. 01, pp. 01-XX. ISSN 1995-9516 (Mayo 2008)
4. Alcántara, D. B. Fernández, T. C, Rodríguez, I. G. "Comportamiento de las capas superficiales Deformadas Plásticamente por el desgaste en elementos circulares". Revista Electrónica. Ciencias Holguín, 2009
5. Alcántara, D. B. Comportamiento microestructural del acero AISI 1045 mediante la Deformación Plástica Superficial por rodadura. Informe Técnico. ISMMMoA. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2007.
6. Barceinas, S y Juárez, H. Propiedades, Fortalecimiento y comportamiento de los Materiales, Capítulo IV, 2001.
7. Barzaga E.D. Desgaste en los pasadores de esteras de los tractores KOMATSU D85P-21. Informe Técnico. ISMMMoA. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2008.
8. Bower, A F; Johnson, K L. The Influence of Strain Hardening on Cumulative Plastic Deformation in Rolling and Sliding Line Contact. J. Mech. Phys. Solids. Vol. 37, no. 4, pp. 471-493. 1989.
9. Casillas, A., "Cálculo de talleres". 5ª ed., Madrid, España 1982. Pág 316-321
10. Caubet, J.J. "Teoría y Práctica Industrial del rozamiento". España, 1971.
11. Callister, W. Materials Science and Engineering. An Introduction. Fifth Edition. Department of Metallurgical Engineering. University of Utah. John Wiley & Sons, Inc. 1999. 8195 pp. ISBN 0-471-32013-7.
12. Clauser, H. R. *Diccionario de materiales y procesos de ingeniería*. Editorial Labor S.A. Barcelona, 1985.



13. Chen, Z; et al. (2000). Yield surfaces of fcc crystals with crystallographic slip and mechanical twinning. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. Vol.10. No.1. P.34-39. Disponible en la World Wide Web
14. Escanaverino, J. M. Teoría y práctica del rozamiento. La Habana, 1983.
15. Fernández, G. Resistencia de materiales, (Tomo II), villa Clara, Julio. 1980
16. Fernández, T.F. Comportamiento de las variaciones mecánicas superficiales mediante la Deformación Plástica por rodadura. Informe Técnico. ISMMMoA. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2007
17. Govantes, G. Rodríguez, G. Relación entre el desgaste abrasivo, composición química y propiedades mecánicas de una familia de aceros inoxidables al Cr-Ni-Cu-Al. Revista construcción de maquinarias. Santa Clara, No 1: 21-26, 1989.
18. Guliaev, A. Metalografía. Tomo I. Moscú. Editorial Mir. Moscú. p. 53-89. 1983.
19. Guliaev, A. Metalografía. Tomo II. Moscú. Editorial Mir. Moscú. p. 120-135. 1983.
20. Korotcishche, L. Procesos progresivos en la deformación plástica superficial por rodadura. Mir. Moscú. 1989. Pág 53-64.
21. Kocks, U; Franciosi, P; Kawai, M.A. "A forest of latent hardening and its applications to polycrystals deformation", texture and microstructures. Vol. 14-18 1103-1114
22. Lim, D.S. El efecto del grado de endurecimiento por deformación plástica en la fricción y el desgaste durante la abrasión. Wear. Vol 13: 91-97. 1969.
23. Mallo, M., Manual teórico práctico del mecánico forjador, Editorial Pueblo y Educación, 1987, Cuba. Pág 93-121 y 145-152.
24. Martínez, F. Martínez, H. *Adaptación de máquinas pulidoras para ensayos de desgaste abrasivo. Revista construcción de maquinaria.* Santa Clara. No 1: 47-55. 1981.
25. Mazein, P.G., Prusakov, D.V., Tchunin, A.V., "Modelling the residual stresses and deformation during a surface plastic deformation operations", Proceeding of the Chelyabinsk Scientific Center, Issue #1, (10). January-March 2001, Russia.



26. Moya, J.C., "Investigación teórico-experimental de la influencia del proceso de rodilado en las cualidades microgeométricas y fisico-mecánicas del acero 30XH3A", Trabajo de Titulación de Maestría, UCLV, 1996, Cuba.
27. Moreno, P. A. "Una teoría discreta de dislocaciones en redes cristalinas "Dpto. Mecánica de medios continuos. Universidad de Sevilla. Obtenido de la Red mundial el Lunes 28 de Febrero de 2005.
28. Odintsov, L.G. Fortalecimiento y acabado de las piezas mediante la deformación plástica superficial", Editorial CM, 1987. Pág 385-422, URSS.
29. Pero-Sanz, J.A. "Ciencia de los materiales. Metalúrgia Física: Estructura y Propiedades", Editorial DUSSAT SA, 3ra Edición. España. (2000). pp. 393-502.
30. Pickering, F.B. Proceedings of High Manganese Steel, ASTM A 128 AB. Edited by Foct and A. Hendry, Institute of Metals. 1996. 34 p.
31. SANVIK Coromant Korokey. Guía de aplicación de herramientas. Pag 38-43. 1996
32. Sugino Corporation, "Superroll-Roller burnishing tool", USA, Obtenido de la Red mundial el 15 de febrero del 2005. <http://www.suginocorp.com>
33. Suárez, A. Resistencia al desgaste abrasivo del hierro fundido de baja aleación. Boletín de información científico técnico. La Habana, No 2: 40-54, 1988.
34. Smelianky, V. M., Kalpin Y. G., Barinov V.V. "Empleo de las posibilidades plásticas de los metales en la capa superficial de las piezas durante la elaboración por rodilado exterior." Revista "Novedades de la Construcción de Maquinarias". Moscú. Pág. 54-58. No. 8. 1990. URSS.
35. Tubielewicz, K., Jezierski, J., Znorko, D.A., "Calculation pressures and the contact field in the contact zone of a burnishing roller and worked material", Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, No. 76, 2000, Pages 93-99, Poland.
36. Verdeja, L, González, R. El desgaste de materiales en el crisol de horno alto: conceptos generales. Revista de minas. Madrid: No 13 -14, 1996.



## ANEXOS I



Anexo 1. Capas del pasador desgastado.