

20
25

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

MAQUINA DE ENSAYO POR ABRASION:
DISEÑO MANUFACTURA
PRUEBA COMPARATIVA DE
ALEACIONES DE Cr/C.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ALFONSO ORTIZ ESTRADA
VICTOR HUGO ROMAN AGUILAR

DIRIGIO: DR. FRANCISCO ESPARZA HERRADA



MEXICO 1988
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

Página

	JUSTIFICACION	
I.-	INTRODUCCION	2
II.-	CLASIFICACION Y MECANISMO DE DESGASTE	4
	DESGASTE ADHESIVO	7
	EROSION	10
	FATIGA POR CONTACTO	11
	DESGASTE POR CAVITACION	12
	DESGASTE CORROSIVO	13
III.-	DESGASTE ABRASIVO	14
	ALGUNAS FORMAS DE INCREMENTAR EL DESGASTE ... ABRASIVO.	18
	METODOS PARA MEDIR EL DESGASTE ABRASIVO	31
IV.-	PARTE EXPERIMENTAL	33
	PREPARACION DE LA MUESTRA	42
V.-	TABLA DE RESULTADOS	46
	GRAFICA	47
VI.-	CONCLUSIONES	48
VII.-	BIBLIOGRAFIA	49
APENDICE :	MANUAL DE OPERACION Y SERVICIO DE LA MAQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASION	50
	DIBUJO DE CONJUNTO (EXPLOSIVO)	54
	LISTA DE PARTES	55

JUSTIFICACION

Uno de los problemas más serios que enfrenta la industria a nivel mundial es el fenómeno del desgaste en equipo y maquinaria, pues anualmente provoca millones de dólares en pérdidas.

Existen varios tipos de desgaste entre los cuales se encuentra el abrasivo, siendo particularmente importante en las industrias agrícola, minera y de movimiento de tierras. Cabe señalar que México es un país en el que éstas actividades son muy importantes.

De lo anterior se deduce que, el seleccionar un material y/o método adecuado para combatir la abrasión sería de vital importancia para tales industrias.

Desafortunadamente la selección de materiales antiabrasivos en México se hace basándose en las recomendaciones de quienes construyen los equipos que han de trabajar con materiales abrasivos, o atendiendo a las indicaciones de los fabricantes de materiales y/o recubrimientos o en último de los casos, probando los materiales que se tienen como alternativa en los equipos y en las condiciones en que trabajarán normalmente y comparando los resultados obtenidos con cada uno de ellos, siendo todos estos métodos muy costosos o poco confiables.

Este tipo de selección se debe a que en México no existe algún equipo en el que sea posible realizar pruebas de abrasión a los materiales a utilizar antes de que entren en operación (Según la información con que se contaba hasta el momento de iniciar el presente trabajo.

Por todo lo anterior se pensó que realizar el diseño y construcción de una máquina en la que fuera posible realizar ensayos de abrasión, siendo estos además comparativos, sería muy útil a la industria, pues con los resultados obtenidos en ellos, se sabría de antemano cual de los materiales y/o método sería el más adecuado para una aplicación en particular.

I.- INTRODUCCION

Hasta la fecha se han hecho muchos estudios respecto al fenómeno del desgaste, varios investigadores han clasificado este fenómeno en diversas formas, algunas atendiendo al mecanismo de desgaste, otras basándose en la naturaleza de los materiales en contacto, algunas más atendiendo a las condiciones de trabajo, etc; pero hasta ahora no ha sido posible el explicar completamente todos y cada uno de los tipos de desgaste que existen.

Partiendo del hecho de que " todo lo que se mueve se desgasta ", se puede advertir que en la industria, en donde el movimiento es casi de un 100 %, existirán muchas partes o componentes sujetos a desgaste.

Estos, en un principio sufren una merma en su eficiencia, siendo ésta, generalmente progresiva hasta terminar en una falla total del componente.

Se han realizado varios estudios acerca de la gran cantidad de dinero que se pierde debido a la necesidad de reemplazar o reparar un componente gastado, ya que significa: material, mano de obra, y en el caso extremo el paro de una planta industrial, parcial o aún totalmente.

Por citar un ejemplo, acerca de las pérdidas económicas causadas por el desgaste en 1966 en Inglaterra, un reporte gubernamental mostró que la industria Británica perdía alrededor de 500'000,000 de libras esterlinas por concepto de componentes gastados y tiempos de paros para su reparación o sustitución. El reporte mencionaba que gran parte de esos gastos podían haberse evitado si se hacía un uso adecuado de la tecnología presente en ese tiempo, es decir, una adecuada selección del material y del tratamiento térmico a seguir, un diseño correcto, además de tomar en cuenta para la selección del material y realización del diseño, el medio ambiente en el cual trabajará el componente.

Un factor vital dentro de la industria es el económico, ya que juega un papel muy importante en lo que se refiere a la selección de un material o método determinado para combatir el desgaste. Cuando se presenta el problema de un componente gastado, existen dos alternativas: reemplazarlo por uno nuevo ó reconstruirlo de alguna manera. Es entonces cuando se toma muy en cuenta el aspecto económico para llegar a

una decisión final. Es obvio que debe haber una interrelación entre los aspectos técnicos y económicos para lograr la selección más adecuada.

En años recientes han aparecido dos nuevas ciencias que reúnen esos aspectos (técnicos y económicos) y son la Tribología y la Terotecología. La Tribología se define como la ciencia de la fricción, lubricación y desgaste. La Terotecología es una ciencia que combina Ingeniería y Finanzas, además de otras disciplinas aplicadas a aspectos físicos, con el propósito de obtener un costo económico del ciclo de vida de un componente.

Es importante conocer algunos aspectos acerca, del fenómeno del desgaste, por lo que, a continuación se hace una breve exposición acerca de su mecanismo y clasificación, posteriormente se estudia el desgaste abrasivo y por último se explican algunos tipos de ensayos para probar abrasión y la forma de reportar los datos ahí obtenidos.

II.- CLASIFICACION Y MECANISMO DEL DESGASTE

El Mecanismo del Desgaste

Se acepta comunmente que el fenómeno del desgaste es un factor que daña la vida útil de un componente; los desperfectos causados por el desgaste provocan cuantiosas pérdidas y grandes gastos de mantenimiento y reparaciones. Se han implementado o puesto en acción, principios tribológicos para reducir estas pérdidas. El desgaste actúa en situaciones reales en forma compleja, ya que pueden estar actuando varios mecanismos al mismo tiempo. Es de vital importancia saber cuáles son los mecanismos de desgaste para saber con qué requerimientos debe cumplir el material. Además, se deben de conocer las condiciones bajo las cuales trabajará el componente y si éstas variarán o no .

La información del ambiente de trabajo y un examen visual o microscópico nos darán datos acerca de qué tipo de mecanismo está actuando. De hecho, la resistencia al desgaste no es una propiedad intrínseca de un material, sino que, depende de un sistema de ingeniería y su ambiente de operación. Cualquier cambio en esfuerzo, velocidad ó temperatura, puede cambiar el tipo o velocidad de desgaste; por eso, es conveniente tratar de eliminar todas las variables posibles para simplificar las condiciones de prueba en el laboratorio.

Además de las conclusiones a partir de datos experimentales, se requiere un juicio práctico para lograr la selección de un material óptimo.

De acuerdo al Metals Handbook el desgaste ocurre por deformación plástica del material subsuperficial ó superficial, y/o arranque de partículas que forman desechos.

En metales puede ocurrir por contacto de metal contra metal, metal contra sólido no metálico, por flujo de fluidos sobre metal, y por partículas sólidas o líquidas en un flujo de gas.

El desgaste consiste en la pérdida progresiva de material y se debe al movimiento relativo entre una superficie y una o más sustancias en contacto con ella. Esto puede como consecuencia, o bien, incluir oxidación, corrosión, cedencia, fatiga, esfuerzos friccionales, cascado por impacto, pseudomaquinado (debido a superficies rugosas) y

el corte y deformación debidos a partículas abrasivas. La deformación se debe a esfuerzos aplicados directa o indirectamente a una superficie.

Es muy complejo entenderlo y manejarlo como un todo, es por ello que a continuación se estudian algunas de sus facetas por separado.

Clasificación del Desgaste

En la clasificación del desgaste es importante no dar por hecho un fenómeno sin una evidencia experimental, lo que llevaría a un concepto erróneo, y a dar por entendida una situación equivocada.

Existen varias clasificaciones de desgaste, entre los criterios que se mencionan en el texto " SOURCE BOOK ON WEAR CONTROL TECHNOLOGY ", se pueden citar:

Kislík usa la clasificación basada sobre el proceso de deslizamiento. Partiendo de que las superficies tienen siempre alguna rugosidad (por mínima que sea) a nivel microscópico esta rugosidad está constituida por una serie de asperezas, cuando 2 superficies son forzadas a deslizarse ocurre:

- a) Destrucción mecánica de las asperezas en interferencia.
- b) Fatiga de las asperezas.
- c) Falla debida al trabajo
- d) Delaminación de las capas de óxido.
- e) Interacción molecular.
- f) Destrucción mecánica debida a alta temperatura.

Kragelski sugiere que una clasificación apropiada podría basarse sobre la forma en que las uniones se rompen; ésto es el desplazamiento elástico, plástico, corte, destrucción de películas superficiales y destrucción de la masa del material.

Achard propone una clasificación, la cual distingue entre la deformación elástica y plástica del área en contacto y los efectos entre la masa del material y la superficie.

Achard y Hirst usan la clasificación de desgaste suave o dulce y desgaste severo de acuerdo a la cantidad de desgaste sufrido, y aunque esta clasificación es útil, lo que puede ser severo para alguna aplicación puede ser suave para otra.

Peterson sugiere que la clasificación puede hacerse basándose en la forma en que es removida la partícula y en donde se lleva a cabo este evento ya sea en la capa superficial, a nivel de las asperezas o en la masa del material, y sugiere los siguientes métodos de remoción: adhesión de las uniones, fractura de la superficie, fatiga, corte, fusión, reacciones, deformación plástica, desprendimiento de los productos de reacción y reducción de volumen.

De acuerdo al METALS HANDBOOK VOL.1, una de las clasificaciones más simples es la basada en la presencia ó ausencia de lubricante, es decir, desgaste lubricado, y desgaste no lubricado.

Se puede también clasificar en base al mecanismo en que se dá el desgaste si se observa que se producen hojuelas de metal se le llama " Delaminación ", si hay virutas pequeñas, se llama corte por abrasión o abrasión cortante. Cuando se observa microsoldadura o adhesión de asperezas ("soldadura en frío") se denomina desgaste abrasivo.

Una tercera clasificación se basa en la naturaleza de los materiales en contacto y las condiciones de experimentación:

Metal contra abrasivo no metálico (desgaste abrasivo) :

- Arañado " gouging ", húmedo (lodos abrasivos) y seco (abrasivos secos).
- Abrasión de alto momento, húmedo y seco.
- Abrasión de bajo momento, húmedo y seco
- Impacto de abrasivo, libre erosión, húmedo y seco.

Metal contra metal (desgaste adhesivo) :

- Lubricado y no lubricado, deslizado.
- Rodado, lubricado y no lubricado.

Choque de líquido o vapor sobre metal (desgaste por erosión).

Frecuentemente estas condiciones se combinan en servicio y los resultados obtenidos en un estudio acerca de un tipo específico de desgaste no pueden ser aplicados a otro tipo (no se deben generalizar resultados).

Lubricación y Desgaste Lubricado

Un lubricante separa dos superficies en rozamiento. Esto es más fácil cuando son suaves (excepto por microasperezas). El lubricante quita desechos evitando mayor abrasión.

Lubricación Sólida

Se refiere a aquella en que es usado un sólido blando como lubricante en lugar de un fluido.

Desgaste Seco

Generalmente implica desgaste en condiciones de no lubricación. Puede presentarse aún con lubricación bajo ciertas condiciones de velocidad, carga, temperatura y acabado superficial. Por ejemplo, aceros para contactos rodantes en baleros y para flechas en cojinetes.

Haciendo una síntesis de las ideas estudiadas con anterioridad, se planteó una clasificación general de los distintos tipos de desgaste, de los cuales se dará una breve explicación, profundizando únicamente en el desgaste abrasivo:

- Desgaste Adhesivo
- Erosión
- Fatiga por Contacto
- Desgaste por Cavitación
- Desgaste Corrosivo
- Desgaste Abrasivo

DESGASTE ADHESIVO

El desgaste adhesivo, representa el 15% del desgaste industrial. Este ocurre entre dos superficies en rozamiento y se describe en situaciones prácticas como rayado, restregado, raspado. Generalmente, se identifica por una superficie desgarrada producto del movimiento relativo entre dos superficies mecánicamente unidas, que produce desechos en forma libre; éste lleva a desgaste que es acelerado por la iniciación de abrasión.

Para comprender el proceso es necesario entender qué ocurre entre las superficies en contacto. Una superficie blanda es, en el microscopio una serie de crestas y valles; - cuando dos superficies son obligadas a deslizarse una sobre la otra, una traba o fuerza friccional se opone al movimiento, ésto se debe a la deformación plástica de las asperezas. Los altos esfuerzos de contacto, causan soldadura local y llegan a contener altos esfuerzos, si se siguen forzando a deslizar las superficies se provoca la - ruptura en la base de las asperezas que es el punto más débil en ese momento. La - cantidad de desgaste adhesivo, depende de la carga aplicada, temperatura, velocidad, área real de contacto y dureza de las superficies que rozan. También depende de la estructura cristalográfica. Dos estructuras cristalográficas semejantes poseen una tendencia más grande a soldarse. Dos superficies con estructuras cristalográficas limpias puestas en contacto, se pueden unir por el simple contacto.

El volúmen de desgaste es proporcional a la carga aplicada y a la distancia en que - hubo rozamiento .

Volúmen de Desgaste = KWY ; donde :

W = Carga (Kg)

Y = Desplazamiento (cm)

K = Factor de Desgaste, varía de acuerdo al " par desgaste " .

Velocidad de Desgaste = $\frac{KWY}{At}$; donde A = Área de contacto (cm^2)
 t = Tiempo (seg)

El factor K depende de la solubilidad mutua entre el par de desgaste, es decir los - dos materiales en contacto, y da una indicación de la propensividad a la soldadura. - El área real de contacto es una función del esfuerzo de cedencia del material más blando. Esto implica que dicho factor depende de las propiedades mecánicas de los - materiales en contacto, los materiales con punto de cedencia más bajo, dan áreas más amplias de contacto real y causan mayor desgaste.

El endurecimiento por trabajo en frío influye en la velocidad de desgaste. La deformación plástica ocurre durante el contacto de las asperezas y causa endurecimiento por trabajo en el área de microsoldadura. Un subsecuente movimiento provocaría fracturas en las bases de las asperezas, que son ahora los puntos más débiles, llevando a grandes daños superficiales.

El desgaste adhesivo es más severo con estructuras cristalinas semejantes, superficies rozando bajo carga y con poca o nula lubricación. Bajo esta condiciones se despren-

den partículas de una o ambas superficies, a altas cargas y velocidades se forman - desechos largos principalmente metálicos (desgaste severo); bajo cargas y velocidades ligeras se producirán desechos finos de óxido (desgaste dulce). Entonces es aconsejable utilizar metales de estructuras cristalinas diferentes para evitar tendencia a la soldadura y por consiguiente al desgaste adhesivo .

La capacidad de una superficie de formar una película de baja resistencia al esfuerzo cortante, o el recubierto o untado de un microconstituyente blando, puede reducir el desgaste adhesivo. Es por ello, que se usan varios tratamientos superficiales de difusión para alterar la capa superficial y crear propiedades antisoldantes o no adhesivas.

Restregado

Este es un tipo de desgaste adhesivo que ocurre cuando las superficies empiezan a rozar bajo lubricación escasa. Por ejemplo, ésto puede pasar en componentes nuevos si se aplica rápidamente la carga y la velocidad total a la que trabajará, o si el acabado superficial es deficiente. En cilindros de máquinas ésto se puede identificar, observando en los anillos de un pistón (hierro colado), bordes rugosos en las caras de contacto. El restregado también ocurre después de un período largo de trabajo, si la lubricación es pobre. Cuando hay restregado con altas cargas y velocidades el daño superficial es severo.

Se puede aplicar un tratamiento de difusión para reducir la necesidad de que una máquina primero trabaje sin carga, para mejorar la adaptación de las superficies en contacto.

Serrado o Raspado

Otra forma de desgaste ocurre entre dos superficies en contacto bajo movimientos oscilatorios pequeños. En este caso, los desechos de desgaste pueden permanecer atrapados (condición de aprisionado), impedidos a salir por haberse deslizado, o bien escurrir de la unión resultando en una pérdida de ajuste. Los desechos generalmente se oxidan en gran medida formandose óxidos rojo-café para los materiales ferrosos y negros para aleaciones de Aluminio.

Este proceso aumenta en forma aproximadamente lineal con la carga normal aplicada, y la amplitud y el número de movimientos oscilatorios. La velocidad real de des-

gaste, puede disminuir, después de un cierto tiempo por la formación de una zona pu lida debida a los desechos de desgaste atrapados, después al continuar los movimien-
tos oscilatorios, el desgaste activo continúa como fatiga y posteriormente cuando los
desechos quedan libres se presenta desgaste abrasivo, siendo los propios desechos los-
que servirán como abrasivo. La aplicación de una carga más elevada podría parar el
proceso, pues evita el movimiento relativo entre las dos superficies en contacto.

Si se cambiara el diseño con tal de evitar la vibración, podría reducirse el raspado; -
aunque algunas veces esto puede ser impracticable. Una protección temporal contra
este tipo de desgaste se logra con buenos sellos y lubricación adecuada, lo que dis-
minuye la tendencia a la adhesión. El impregnar de lubricantes a estos recubrimien -
tos aumenta su efectividad. Se usan capas de fosfatizado y sulfínuz para aceros y an
dizado para Aluminio.

E R O S I O N

La erosión está íntimamente ligada con el desgaste abrasivo y es resultado del cho -
que de partículas sólidas libres en un flujo, o bien del choque de pequeñas gotas de
líquido sobre una superficie. Estas partículas o gotas están contenidas en una corrien
te de fluido y circulan a mayor velocidad de la que tiene un abrasivo durante un fe-
nómeno de abrasión a bajo momento (del cual se hablará más tarde). La velocidad de
erosión depende de la energía cinética de la partícula erosiva y de la trayectoria -
que ésta siga; en materiales dúctiles se produce arañado y en los materiales frágiles
propagación de fracturas. La extensión dañada depende del tamaño, forma, concentra
ción, velocidad y ángulo de ataque de la partícula, siendo este último factor, lo más
crítico para la selección del material. Con ángulos de choque relativamente bajos, se
produce un proceso de corte o maquinado. La velocidad de desgaste puede depender
de la dureza de la superficie, por ejemplo, la construcción de equipos de perdigonea-
do se utilizan hierros aleados duros, materiales cerámicos, y revestimientos de Cromo.

A grandes ángulos de choque, las partículas impactan y causan deformación en la su
perficie, lo que resulta en astillado o picado. En esta situación, se necesita un mate
rial con posibilidad de absorber gran cantidad de energía sin deformarse o fracturar-
se. Para aumentar la resistencia a la erosión se pueden utilizar caucho elástico o po
límeros, por su bajo módulo elástico.

El diseño juega un papel importante en la selección de materiales resistentes a la erosión, constituyéndose así en un método para controlar la erosión. Por ejemplo, en el diseño de tubos de equipos extractores de aire, la determinación del tamaño y radio de curvatura son factores críticos que influyen sobre la cantidad de erosión. Se ve entonces que el diseño afecta considerablemente, ya que involucra a la velocidad del fluido y a los ángulos de choque .

FATIGA POR CONTACTO

Este tipo de abrasión se dá en componentes de máquinas sujetas a contacto rodante, por ejemplo en rodillos, engranes, etc, y puede aparecer por la pérdida repentina de material por picadura o astillado. Se atribuye a la carga cíclica de dos superficies en contacto mutuo y usualmente sin mayor pérdida de material. Este fenómeno está estrechamente ligado con la falla por fatiga pues también tiene un período de incubación antes de que aparezca el daño superficial.

Las partes de la máquina que tienen superficies que ruedan o deslizan contra otra cíclicamente con altas cargas, tienen fatiga que depende mucho de los esfuerzos presentes en la superficie del componente. Estos esfuerzos causan la propagación de fracturas ya existentes; cuando se encuentran algunas de estas fracturas (muy próximas) -- pueden llegar a unirse y resultar en grandes desprendimientos de material.

Existen dos mecanismos básicos de fatiga por contacto:

El primero se trata de fracturas iniciadas en la superficie, ocurre en componentes duros dispuestos en forma contraria al contacto, cuando el rodado y el deslizado ocurre en la superficie, como en levas, engranes, brazos, etc, los desechos son de forma triangular, resultando del ángulo de propagación de la fractura y el ángulo inclinado de salida de la fractura. Esto se conoce como picadura, y tiene apariencia de cabeza de flecha. aumentando la dureza, aumenta la resistencia a la picadura. El acabado superficial es muy importante, pues el desgaste inicia en los defectos superficiales; pero también hay que considerar que a mayor dureza, hay menor tendencia al ajuste en piezas ya trabajando. Esto es crítico para seleccionar un acabado apropiado para una pieza que trabaja sobre una carrera, como puede ser el cilindro de un pistón. En la práctica, se hace a un componente ligeramente más blando que el otro, para dar lugar al proceso de ajuste superficial.

El segundo mecanismo básico de fatiga por contacto, se origina desde una fractura - nucleada subsuperficialmente; ocurre cuando hay rodamiento y/o deslizado y además, una alta concentración de esfuerzos en una cara subsuperficial. La fractura se propaga paralelamente a la superficie, para posteriormente llegar hasta la superficie, esto puede dar como resultado la unión de fracturas. En el caso de materiales con endurecimiento superficial no muy profundo, se pueden producir fracturas en la interfase, centro y superficie dura, lo que da como resultado un gran despostillamiento. Por ejemplo, lo anterior se puede ver en rodamientos planos en los que es determinante la lubricación y la temperatura del rodamiento. Son deseables materiales duros, el inconveniente está en que son menos conformables y llegan a ser muy sensitivos a impurezas o suciedad, por lo que es conveniente escoger un material lo suficientemente fuerte para tener resultados apropiados.

DESGASTE POR CAVITACION

La cavitación ocurre cuando un líquido se somete a cambios bruscos de presión. A bajas presiones se forman burbujas, que al entrar a regiones de alta presión se colapsan; estos colapsos, en la interfase del metal, provocan lo que se conoce como desgaste por cavitación o cavitación-erosión.

Las continuas implosiones provocan esfuerzos cíclicos y por ende fatiga en la superficie del metal; esto se ve como picaduras, que además actúan como sitios de nucleación para el ataque por corrosión, especialmente si se ha roto cualquier película protectora. Este fenómeno lo podemos ver en propelas de barcos, impulsores de bombas, y compartimientos de enfriadores de agua, donde ocurre cambio de dirección del líquido.

No hay una relación directa entre las propiedades mecánicas del material y el desgaste por cavitación. Sin embargo, se puede ver que a altas velocidades de desgaste, los materiales más resistentes al desgaste por cavitación fueron aquellos que tenían una última resiliencia muy alta. Se entiende como resiliencia a la capacidad de un material de disipar la energía de las implosiones de las burbujas.

$$\text{Ultima resiliencia} = \frac{1}{2} \frac{(\text{Resistencia a la tracción})^2}{\text{Módulo elástico}}$$

DESGASTE CORROSIVO

Se entiende por desgaste a la remoción de material de una superficie, siendo que comúnmente no se toma en cuenta la contribución de la corrosión en la pérdida de material. En algunas ocasiones la corrosión afecta al proceso de desgaste mecánico y - ésto se conoce vagamente como desgaste corrosivo. Bajo tales condiciones los productos de corrosión, removidos más fácilmente que si fueran el metal base, exponen al material base a futuros ataques corrosivos.

Inversamente en otras ocasiones los productos de corrosión pueden ayudar a detener el desgaste. Por ejemplo, el desgaste, adhesivo se reduce por la presencia de una capa protectora de óxido.

Por lo tanto, se debe de tener en cuenta el ambiente corrosivo que rodea al sistema, en el caso de que este pueda aumentar o disminuir la velocidad de desgaste, para tomar una decisión final en la selección del material.

NOTA : Es conveniente insistir en que, aunque se ha dado una explicación acerca de algunos tipos de desgaste y sus mecanismos, solo se tratará en el presente trabajo - de tesis, al desgaste abrasivo.

III.- DESGASTE ABRASIVO

Este tipo de desgaste significa el 50% del desgaste industrial. Ocurre cuando una porción de material es removido desde una superficie por la acción de corte o arañado de partículas duras; éste desgaste involucra la aradura o acanaladura de contactos su per ficia les local izados en un material " apareado " más blando. La velocidad de des gaste de p ende del grado de penetración del abrasivo, por lo que se puede relacio - nar con la dureza del material.

Las investigaciones en este campo, han mostrado la influencia notable de la relación entre la dureza del material abrasivo y la del material atacado. Si el material dañado es mucho más blando que el material abrasivo, se produce un desgaste severo, si el abrasivo es más blando que la superficie, la velocidad de desgaste se reduce y el daño se puede aminorar ampliamente si se aumenta la dureza de la superficie. Cuando las durezas de ambos elementos son más o menos iguales se tiene que un cambio en cualquiera de los dos, variará substancialmente la velocidad de desgaste, por lo que es aconsejable tener controlada la relación, dureza del abrasivo/dureza del material.

Debe notarse que el promedio de dureza de la masa del material no necesariamente se relaciona con la resistencia al desgaste. Por ejemplo, aceros Hadfield que no poseen elevada dureza, tienen la capacidad de desarrollar una película superficial bastante dura resistente a la abrasión; dicha capa dura, se forma con el trabajo en frío a que esta expuesta la superficie del acero en la abrasión mecánica simple. La partícu la abrasiva, penetra primero el metal y la deformación resultante depende de la con figuración local y la carga aplicada, así como de las propiedades mecánicas del mate rial. Cuando las partículas abrasivas son agudas y con un ángulo de ataque adecuado, el material es removido por una acción de corte. Los desechos que resultan, tienen forma de virutas de un proceso de maquinado. En otros casos, el proceso de fractura aparece semejante al encontrado en un desgaste por deslizamiento. La acción de ara do de las partículas duras causa una alta deformación localizada, la repetida deforma ción localizada, lleva a cambios microestructurales en una pequeña capa superficial con eventuales fracturas y remoción de material. Los contactos abrasivos pueden llegar a formar partes duras contactando sobre una fase más blanda en la superficie apareada. Los contactos localizados pueden ocurrir por partículas duras que llegan a encajarse a una superficie y dañar la superficie contactando. Fases duras (carburos, -

boruros, fosfuros, etc.) forman una barrera protectora circundante a una matriz blanda, por lo que dichas fases, influyen en la velocidad de abrasión.

Cuando hay abrasión a altas cargas como la que se produce en los molinos, el fenómeno es más complejo. El abrasivo se rompe entozos cada vez más pequeños. Empieza como arañado y se llega a transformar en un proceso de corte o raspado por partículas más finas y más regulares. El desgaste abrasivo es más simple que el desgaste adhesivo y es mejor entendido. A continuación se dará un panorama general de este tipo de desgaste con sus distintas variables.

Arañado (Gouging)

Este tipo de desgaste involucra la remoción de partículas de relativamente buen tamaño de la superficie de un material, por la acción de un abrasivo grande. Las altas presiones y condiciones de impacto, provocan que el abrasivo corte a la superficie atacada y se produzcan largas raspaduras o acanaladuras que por lo general se perciben a simple vista. Por ejemplo, en los conductores que transportan grandes masas de material o en equipo para la reducción de tamaño de material abrasivo. Esto involucra cierta cantidad de impacto y deformación plástica de la superficie. Otros ejemplos los podemos ver en: áreas de impacto en conductos, molinos pulverizadores y palas excavadoras con que se mueven grandes rocas. Para contrarrestar este efecto se requiere que el material posea gran tenacidad. Es por ello que a menudo, se sacrificia dureza (que da resistencia a la abrasión), para obtener tenacidad. Comúnmente se usan aceros austeníticos al Manganeso.

Abrasión a Bajo Esfuerzo o a Bajo Momento de Inercia (Low Stress Abrasion)

Esta forma de desgaste resulta de la acción de deslizamiento de partículas abrasivas libres, moviéndose sobre una superficie. Los esfuerzos involucrados son bajos, más bajos que la resistencia a la fractura del abrasivo. El material se desprende por el raspado o proceso de micromaquinado a bajos ángulos de choque. Se tiene que los abrasivos puntiagudos y angulares dan el mayor desgaste. Como los esfuerzos de choque son bajos, esto implica que no es necesaria mucha tenacidad en el material, es decir, con una superficie muy dura se obtienen buenos resultados. La abrasión a bajo momento, ocurre en conductos manejando flujos libres de minerales, tamices, conductos de arena, etc.

Para contrarrestar este tipo de desgaste, se usan comúnmente hierros colados aleados y ladrillos cerámicos.

Abrasión a Alto Esfuerzo o a Alto Momento de Inercia (High Stress Abrasion)

Ocurre cuando un abrasivo, a menudo un mineral es atrapado entre dos superficies - con carga o una situación análoga, lo que da como resultado la remoción de partículas relativamente pequeñas (microscópicas) de la superficie desgastada. La acción de "pellizcado" de ambas superficies causa la fragmentación del abrasivo. La superficie de desgaste está sujeta a muy altas presiones, que causan además de la penetración del abrasivo en la superficie, la fractura de fases duras (carburos, boruros, etc.) y la deformación plástica de la matriz.

Este tipo de abrasión se puede ver en: molinos de bolas, taladros de rocas, en trituradoras de minerales, en baleros contaminados con esmeriladuras o arena, etc.

El daño superficial, fatiga, raspado y deformación plástica, se puede contrarrestar - con un material adecuado que combine alta resistencia a la cedencia y dureza, para absorber las altas presiones de contacto y resistir la acción rozante del abrasivo, respectivamente.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DEL DESGASTE ABRASIVO

En el estudio del fenómeno del desgaste, a menudo es difícil determinar cuál es el tipo de desgaste predominante. Cuando no es posible hacer pruebas de abrasión en el campo real, se debe de tener en cuenta en el laboratorio:

- 1.- La posición del abrasivo, si se trata de abrasión de dos o de tres cuerpos.
- 2.- Tamaño, forma y dureza del abrasivo.
- 3.- Dirección, velocidad del movimiento relativo durante la abrasión.
- 4.- Cargas y presiones de contacto.

Tamaño de la Partícula Abrasiva

Ha sido experimentalmente establecido que el volumen de material removido, aumenta rápidamente al ir aumentando el tamaño de la partícula abrasiva. Esta relación se mantiene hasta llegar a un punto crítico, después del cual la velocidad o razón del - desgaste disminuye considerablemente.

Forma de la Partícula Abrasiva

Se ha encontrado que una partícula de forma angular y puntiaguda causa mayor des-

gaste que una partícula redondeada, aun en el caso de que la partícula de forma angular sea mas blanda que la redondeada.

Dureza del Abrasivo

Si la dureza del abrasivo es menor que la dureza del material desgastándose, la razón o velocidad de desgaste es baja. Si el material desgastándose es mucho más blando - que el abrasivo, se produce un desgaste severo.

Para una amplia gama de aceros, se tiene que, en base a la relación H_a/H_m (dureza del abrasivo/dureza del metal) de 0.7 a 1.1 hay poco desgaste; cuando H_a/H_m es ma yor o igual a : 1.3 a 1.7, se produce alta velocidad de desgaste.

Dureza del Metal

La dureza puede ser una guía para seleccionar un metal resistente al desgaste, si to das las demás variables permanecen constantes en una aplicación, pero de ninguna - manera se puede confiar o seleccionar exclusivamente en base a ello. Se deben de - tomar en cuenta otros factores, siendo uno de los mas importantes la microestructu - ra.

Velocidad de la Partícula Abrasiva

El volúmen de desgaste se incrementa ligeramente conforme la velocidad de desliza - miento aumenta. El incremento es más marcado para grandes tamaños de grano abra - sivo. Con el aumento de velocidad, se produce también calor friccional que puede in - fluir también, en el aumento de la razón de desgaste.

Cargas de Contacto

El desgaste volumétrico es directamente proporcional a la carga nominal aplicada. Es to puede verse en la alta deformación de la superficie desgastándose.

Debido a que las pruebas y las condiciones de prueba usadas por diferentes investiga - dores, son distintas, no es recomendable comparar datos de desgaste obtenidos. De - hecho, se han hecho varios aparatos para acercarse lo más posible a las condiciones reales de servicio. Por ejemplo si se deseara diseñar un aparato para estudiar el des - lizamiento mecánico se tendrían que considerar principalmente, entre otras condicio - nes: ¿Es el sistema lubricado, o no?, ¿Muchos de los desechos son removidos?, ¿Está

la superficie gastada en contacto firme con otra? .

Solamente cuando las características de prueba en laboratorio son semejantes a las condiciones de trabajo en el campo real, los resultados pueden tomarse como guía - aunque la disposición de partes sea distinta. En algunas ocasiones es posible correlacionar datos de desgaste obtenidos en pruebas o en aparatos distintos, siempre y - cuando se tenga la evidencia de que el tipo de desgaste es semejante.

De estandarizarse las condiciones y los materiales de prueba, se podría disponer de - tablas o gráficas, pero esto solo es posible hasta ahora, para un rango muy limitado de materiales y condiciones comunes, de las que pudiera disponer un diseñador.

ALGUNAS FORMAS DE INCREMENTAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO

Existen varias formas de incrementar la resistencia al desgaste de un componente da do. Para poder elegir cuál de esas alternativas es la que se debe usar, hay que to - mar en cuenta las condiciones de servicio bajo las cuales opera, es decir, que tipo - de mecanismo de desgaste esta involucrado, así como cargas, velocidad, temperatura, tipo de ambiente, etc, que tengan efecto sobre él. Tomando en cuenta lo anterior se puede decidir la forma de aumentar la resistencia al desgaste de un componente por medio de: Un tratamiento térmico total, tratamiento térmico superficial, o bien, por medio de la aplicación de un recubrimiento superficial o un tratamiento superficial - de difusión.

Una capa dura muy profunda provocada por un tratamiento térmico en un acero alea do con un contenido de Carbono determinado (medio, alto) puede proveer una buena resistencia a la abrasión, pero sería muy costoso y podría resultar muy frágil para - determinadas aplicaciones. Afortunadamente existe una amplia gama de tratamientos térmicos superficiales y recubrimientos que permiten la formación de una capa dura - sobre un material más blando, o lo que se busca en muchos casos, más barato.

Las capas duras o bien los recubrimientos duros son muy útiles cuando la principal - causa del desgaste es la abrasión. A continuación se dará un panorama muy general acerca de los tratamientos térmicos superficiales, recubrimientos y depósitos más uti lizados, así como algunos ejemplos al respecto. Cabe mencionar que no se entrará en detalle, ya que no sería posible abarcar satisfactoriamente todos los tratamientos - que se mencionan .

Tratamientos Térmicos Superficiales

Endurecimiento por Flama

Es uno de los tratamientos térmicos superficiales más simples. En éste, se desarrolla una capa dura relativamente profunda y es muy usado para componentes largos como son, partes de generadores y otros equipos de generación de potencia. Como el proceso de endurecimiento depende de la formación de martensita en la zona calentada, el contenido de Carbono deberá ser más alto de 0.35% en peso para asegurar una dureza suficiente.

Los aceros al Carbono con 0.40 a 0.50% de Carbono son usados ampliamente, aunque también pueden usarse aceros aleados con un contenido de Carbono semejante, teniendo la ventaja de incrementar la tenacidad.

Endurecimiento por Inducción

Debido a que este tratamiento permite un mejor control, es más eficiente, ya que generalmente produce una capa endurecida más uniforme que la que se produce en el endurecimiento por flama. La profundidad de la capa depende de la frecuencia y el poder de entrada de la unidad de calentamiento por inducción. La capa que se produce es generalmente más delgada que la que se produce por endurecimiento por flama. Los aceros endurecibles al Carbono como el 1035, 1040, 1045, 1050 y 1065, comúnmente se seleccionan para partes a endurecerse por inducción. En algunas aplicaciones en las que se requiere un incremento en las propiedades mecánicas del núcleo del componente, podría justificarse el uso de aceros aleados muy costosos. Los aceros aleados de las series 3100, 4100, 4600, 5300, 6100 y 8600, se utilizan para partes endurecibles por inducción.

Carburizado

Este proceso consiste en adicionar Carbono a la superficie del metal por medio de difusión, y se lleva a cabo a temperaturas elevadas y en un medio que sea apropiado para tal difusión. La capa con mayor contenido de Carbono (carburizada) desarrolla una dureza superficial de aproximadamente 62-64 RC, durante un templeado posterior. Un acero muy usado para la carburización es el 1013. En ocasiones se utilizan aceros de muy bajo contenido de Carbono sobre todo cuando un componente estará sujeto durante su servicio, a grandes deformaciones (sin rebasar su rango elástico). Cuan

do se requiere una resistencia alta en el núcleo del material o mucha tenacidad, se emplean aceros aleados. Para secciones muy gruesas, el contenido de Carbono del metal base puede ser tan alto como 0.25% en peso .

Carbuniturado

En este caso el endurecimiento se lleva a cabo por la absorción de Carbono y Nitrógeno de la atmósfera del horno, a elevada temperatura. La capa formada es dura y resistente al desgaste y generalmente tiene una profundidad de 0.075 a 0.75 mm (0.003 a 0.03 pulg.). Una capa carbuniturada es más endurecible que la capa carburizada, por lo que con un carbuniturado y templado se puede obtener un mismo nivel de dureza que el obtenido en la carburización, a un menor precio. Una dureza alta sin distorsión se puede lograr con un temple en aceite.

Aceros como los de las series 1000, 1100, 1200, 1300, 4000, 4500, 4600, 5100, 6100, 8600 y 8700, con un contenido de aproximadamente 0.25% de Carbono, se usan para la carbunituración. También se usan aceros de esas series con contenido de Carbono de 0.35 a 0.50% en peso y son carbunitrados para desarrollar capas duras con profundidades de 0.35 mm (0.012"), cuando se requiere un grado razonable de tenacidad, un núcleo relativamente duro y largas superficies sujetas al desgaste, como por ejemplo flechas y engranes de transmisión.

Partes de aceros de medio Carbono o aceros aleados, a menudo se calientan para su endurecimiento en una atmósfera de carbonitruración para lograr una capa ligera de una dureza más alta y una mayor resistencia al desgaste que lo que se lograría con un endurecimiento convencional. Aceros tales como 4140, 5140, 8640 y 4340 se tratan por este método a una temperatura aproximada de 850°C (1550°F) para aplicaciones como engranes sometidos a servicio pesado.

Ocasionalmente algunas partes primero se carburizan, luego se recalientan en una atmósfera de carbonitrurado y se templan en aceite. Esto produce una capa extremadamente dura con una excepcional posibilidad de pulirse para largas superficies sujetas a desgaste bajo altas cargas.

Cianurado

El cianurado o carbuniturado líquido, es un tratamiento térmico que produce una capa resistente al desgaste (con una dureza que resiste la penetración de la lima)

en superficies ferrosas. Cuando el acero es calentado hasta la temperatura de inicio de transformación, en un baño adecuado de sales fundidas de cianuro, la superficie absorbe Carbono y Nitrógeno del baño de sales fundidas. Un temple posterior en aceite mineral, agua o salmuera desarrolla una capa dura de considerable resistencia al revenido. Esta capa contiene menos Carbono y más Nitrógeno que la desarrollada en baños de carburización.

Nitruración por Gas

Este es un proceso de endurecimiento en el cual se introduce Nitrógeno en la superficie de una aleación ferrosa sólida, llevando el metal a una temperatura adecuada (abajo de la temperatura de inicio de transformación para aceros ferríticos) en contacto con un gas con Nitrógeno, usualmente amoníaco. No se requiere un temple posterior para producir una capa dura. La temperatura de nitrado para aceros es entre 500 y 564°C (925 y 1050°F). Las principales razones para nitrurar son :

- 1.- Obtener superficies de alta dureza.
- 2.- Incrementar la resistencia al desgaste.
- 3.- Incrementar la vida útil (contra la fatiga)
- 4.- Incrementar la resistencia a la corrosión (excepto para aceros inoxidable).
- 5.- Obtener una superficie que es resistente al efecto de ablandamiento por el calor a temperaturas arriba de la temperatura de nitruración .

Como las temperaturas son comparativamente más bajas que en otros métodos, la nitruración por gas produce menos distorsión que la carburización. Puede ocurrir algún crecimiento por la nitruración, pero los cambios volumétricos son relativamente pequeños.

Ionitruración

Cuando una muestra de acero es puesta en una atmósfera de Nitrógeno a una presión baja (1 a 10 Torr) y cuando un potencial de 500 a 1000 volts es aplicado con la muestra como cátodo, se producen iones de Nitrógeno que golpean la muestra, la calientan y se difunden en ella. La composición de la capa producida depende del potencial de Nitrógeno o Carbuo-Nitrógeno de la atmósfera. La superficie puede ser únicamente una fase carbunitrada de aproximadamente 15 micras de espesor, una capa de Fe_4N de aproximadamente 10 micras de espesor, o bien una capa que es meramente una solución de Nitrógeno en el metal base.

La ionitruración, se ha venido usando bastante en brocas para maquinado, engranes, cigüeñales de autos y camiones, equipos de extrusión, herramientas de corte y dados para forja, Se ha reportado que sus resistencia al desgaste es mejor que la que provee un nitruado convencional.

Tratamiento Térmico con Láser

Una técnica relativamente nueva y rápida involucra el uso de láser de alto poder de CO_2 . Las principales ventajas del proceso con láser son la selectividad y la precisión en el control de la energía del láser. Entonces se puede endurecer selectivamente un área pequeña con una profundidad controlada, sin distorsión de la parte y una pequeña perturbación en la superficie.

El endurecimiento puede ser llevado a cabo dentro de agujeros, en esquinas escondidas y en cualquier lugar en donde pueda penetrar un rayo de luz dirigido por un sistema de espejos. Los diámetros típicos de los rayos son de 1.8 a 2.0 mm. Las áreas son cubiertas por el recorrido del láser o rayo. El método de aleaciones superficiales se lleva a cabo por medio de ajustar la energía del rayo para que una delgada capa del sustrato superficial sea rápidamente calentada hasta su punto de fusión y templada por la masa del material no calentado. Si una capa delgada de carburo, Cromo u otro componente endurecible, se aplica sobre el metal (superficie) y es tratado con este proceso, la capa se funde y se mezcla con el material de la superficie llegando a ser un componente integral de dicha superficie. Debido a la turbulencia y al rápido templado, la estructura resultante es de grano fino y la fase dura bien dispersa. En esta forma se puede adicionar un carburo duro a un acero dulce para obtener resistencia al desgaste y/o corrosión en un área seleccionada. Se puede obtener resistencia a la erosión por la fusión de un recubrimiento cerámico en la superficie a tratar.

El tratamiento térmico con láser ha sido usado para endurecer hierros ferríticos maleables usados en engranes de mecanismos de dirección, en zonas localizadas sin distorsión. El proceso fué empleado por la necesidad de áreas relativamente pequeñas que requerían alta dureza. Las partes podrían ser maquinadas antes del tratamiento térmico con láser y ensambladas directamente después de él. Las mediciones de microdureza en una capa de la superficie endurecida, indicaron una lectura de 60 RC después del tratamiento térmico con láser.

Implantación de iones

Este es un método relativamente nuevo que ofrece la posibilidad de incrementar las propiedades contra el desgaste y la fricción de los metales. Un rayo de iones de una especie seleccionada es dirigida al sustrato del metal en vacío y los iones se implantan a una profundidad de 10 nm a una micra dependiendo del potencial de aceleración, el número atómico del ión y la naturaleza del sustrato de la muestra. Teóricamente la concentración de las especies implantadas no están sujetas a limitaciones de solubilidad. Las concentraciones típicas están en un rango de 0.5 a 5%. La fricción y el desgaste pueden afectarse por dicha implantación. Por ejemplo, la fricción del acero contra carburo de Tungsteno es reducida por la implantación de Estaño y el desgaste del acero se reduce con la implantación de Molibdeno o Níquel. Se pueden implantar 2 ó más especies en una misma muestra, por ejemplo, Molibdeno y Azufre en una razón de 1 a 2 en acero, con lo que se reduce el coeficiente de fricción.

RECUBRIMIENTOS DUROS

Propiedades de las aleaciones para recubrimientos duros

Las aleaciones para recubrimiento duro deben resistir el desgaste que puede ser causado por corrosión, abrasión, impacto, erosión, pudiendo estos factores actuar por separado o bien en grupo.

El impacto puede ser ligero como el que experimenta una pala excavadora trabajando en suelo arenoso cuando encuentra pequeñas piedras sueltas, o muy fuerte como en las quijadas de una trituradora de roca. Cuando fluye arena en un conducto metálico, éste está sujeto a abrasión raspado de bajo momento, ahora, cuando se está perforando una roca con una broca a muy altas presiones, la broca está sometida a abrasión esmerilado a alto esfuerzo. Las aleaciones para recubrimiento duro deben poseer las propiedades necesarias para soportar varios mecanismos de desgaste actuando simultáneamente.

Las aleaciones para recubrimiento duro tienen una gama de durezas que van desde 250 HV hasta 1000 HV, mientras que los aceros estructurales tienen una dureza de 150 HV. Existe una gran confusión en la relación que guarda la dureza contra el desgaste y se cree que a mayor dureza siempre habrá mayor resistencia al desgaste

y esto no necesariamente es siempre cierto, depende básicamente del mecanismo de desgaste que esté actuando y en base a él, se deberá hacer la selección del material, tratamiento térmico, y/o recubrimiento duro o de difusión para combatirlo.

Cuando existe abrasión pura, es cierto que a mayor dureza tendremos mayor resistencia a la abrasión, pero cuando se involucra el impacto, entonces se requerirá un cierto grado de tenacidad, por lo que una estructura muy dura no tendrá el comportamiento más adecuado.

Ahora bien, para el mismo nivel de dureza las aleaciones para recubrimiento duro tendrán una vida más larga que un acero estructural común, esto se debe a su microestructura. La estructura de un acero dulce en condición de normalizado (enfriado al aire) consiste en ferrita y perlita con una dureza de 150 HV. Cuando templemos ese acero, la estructura consistirá en martensita cuya dureza es mayor cuanto más alto es el contenido de Carbono; por ejemplo, un acero dulce con 0.2% de Carbono templado desde 900°C tendrá una dureza de 400 HV en esta última condición el acero resistirá mejor la abrasión a bajo esfuerzo, ya que ésta se da por la indentación del metal y un incremento en la dureza aumenta la resistencia a la indentación. Sin embargo, si se ponen el acero perlítico y martensítico y una piedra de esmeril, se encontrará que el acero martensítico se desgastará mucho más rápido que el acero perlítico. Este fenómeno se puede explicar si se examina la estructura del acero perlítico a grandes aumentos, se verá que consiste de laminillas alternadas de ferrita y carburo de Hierro, teniendo este último una dureza de 1200 HV, el carburo de Hierro protege a la ferrita de la acción de esmerilado impidiendo un desgaste rápido. Pero si se introducen partículas abrasivas finas entre el acero y el disco de esmerilado, las áreas ferríticas se desgastan muy rápidamente, y el carburo de Hierro tiende a fracturarse por falta de soporte, produciéndose así un rápido desgaste.

Las aleaciones para recubrimiento duro están diseñadas para soportar una combinación de condiciones abrasivas, pudiendo en algunos casos, resistir ciertas condiciones de impacto. Estas aleaciones están disponibles en un rango que va desde una baja dureza y baja resistencia a la abrasión, pero muy alta resistencia al impacto, hasta una alta dureza y elevada resistencia a la abrasión con baja resistencia al impacto. Es claro que las aleaciones que están en medio de este rango, es decir, las que combinan resistencia a la abrasión, dureza y resistencia al impacto, serán las de mayor utilidad.

Un aspecto que se debe considerar es la temperatura de trabajo; cuando un elemento trabaja a una temperatura elevada, una superficie desgastada queda expuesta - (desnuda) y hay una rápida oxidación que puede acelerar el desgaste. Por lo anterior las aleaciones para recubrimiento duro en este caso deberán tener principalmente dos propiedades, primero: la resistencia al ablandamiento a altas temperaturas de servicio y segundo: la adición de aleantes en suficiente cantidad para causar la rápida formación de capas resistentes a la oxidación. La elección de una aleación para recubrimiento duro debe ser hecha en base al conocimiento, tanto como sea posible, del ambiente de trabajo en el que operará el componente a recubrir.

Clasificación de Aleaciones

Las aleaciones para recubrimiento duro se han dividido en 4 grupos para su clasificación: las aleaciones base Hierro, los que contienen menos del 20% de adiciones de aleantes, los que contienen más del 20% de adiciones de aleantes y las aleaciones - no ferrosas (que se dividen en las de base Níquel y en las de base Cobre).

Una alternativa de clasificación de consumibles se ha desarrollado en la división de trabajo con recubrimientos duros dentro de la CORPORACION BRITANICA DEL ACERO (BSC) y es la siguiente :

- Parte 1.- Superficies depositadas por soldadura.
- Parte 2.- Superficies depositadas por esreado (rociado).
- Parte 3.- Recubrimientos resistentes al desgaste.
- Parte 4.- Aplicaciones típicas de superficies depositadas.

Estas 4 partes son series de estándares para ser usados dentro de la BSC y fueron compilados para que sirvan como una guía para la correcta utilización de las aleaciones para recubrimiento duro.

Efecto de la Dilución

El grado de dilución depende de la composición química de la soldadura y el metal base. La técnica del rociado, virtualmente no da penetración, mientras que la técnica de sumergido puede dar hasta aproximadamente 40% de dilución con un cambio en la composición de la primera capa del metal soldado. Si se va a depositar una aleación resistente al desgaste muy costosa, será deseable una dilución baja, aunque en ocasiones ésto no es posible, o bien, no es económico ya que, para baja dilución

generalmente las velocidades de depósito son lentas, y si se han de recubrir áreas grandes se deberá usar una velocidad de depósito alta. En esta situación la dilución puede controlarse por la técnica de soldadura empleada.

Aceros Base Hierro con Menos de 20 % de Adiciones de Aleantes

Aceros al Carbono conteniendo arriba de 0.5% de Carbono en peso, se pueden aplicar mediante soldadura por gas o por arco para producir una superficie depositada con una dureza de 240 HV, con la posibilidad de aumentar esta dureza mediante un tratamiento térmico si se requiere. El metal soldado tiene una alta resistencia a la tensión y compresión así como al impacto. Su resistencia a la abrasión es muy baja y su uso principal es la reconstrucción de piezas de Hierro colado de composición semejante. Se pueden usar como una capa amortiguadora entre una capa más dura y un metal base más blando. Tienen poca demanda debido a su baja resistencia a la abrasión y a que la capa amortiguadora puede ser hecha con electrodos con Hidrógeno controlado, de una resistencia adecuada.

Aceros de Baja Aleación

Dentro de estos aceros, los más utilizados son los martensíticos, caracterizándose por su bajo costo y un amplio rango de propiedades dependiendo de su composición. Contienen además del Carbono, pequeñas cantidades de Cromo, Manganeso, Molibdeno y Níquel así como pequeñas adiciones de Tungsteno y Vanadio.

El Molibdeno, Manganeso y Níquel aumentan la templabilidad del acero al formar una matriz martensítica o bainítica; el Cromo, Molibdeno, Tungsteno y Vanadio forman carburos resistentes al desgaste. Las durezas varían de 250 a 800 HV dependiendo de la composición y el tratamiento térmico posterior. Como ya se sabe, a mayor dureza menor tenacidad y viceversa. Los depósitos soldados con menos de 300 HV son maquinables con herramientas normales, para durezas mayores se requieren herramientas de corte especiales, y en casos extremos se requiere el esmerilado para poder llegar a las dimensiones requeridas. Las aplicaciones típicas para estas aleaciones son: el recubrir equipo para el movimiento de tierras, maquinaria de triturado, dientes de engranes y uniones y cruces de vías de ferrocarril.

Aceros Martensíticos Inoxidables

Los aceros martensíticos inoxidables con más de 12% de Cromo tienen un aumento

en su resistencia al calor y corrosión. Su resistencia a la abrasión metal-metal en un rango de 300 a 600°C han llevado a estas aleaciones a un uso cada vez mayor para recubrir molinos de rodillos y los rodillos en sí. También pueden usarse en otras situaciones de desgaste metal-metal como en discos de grúas; las variedades con un contenido de Carbono más alto se pueden usar para recubrir puntas de herramientas de corte para metales.

Aceros Alta velocidad

Los aceros de alta velocidad son por definición, aceros que pueden ser usados para cortar metales a velocidades rápidas y soportar temperaturas de 500 a 1500°C sin ablandamiento. Las durezas se pueden reducir mediante un tratamiento adecuado de recocido para llevar a cabo los maquinados necesarios y posteriormente se pueden endurecer nuevamente, inclusive a un nivel más alto, mediante un tratamiento térmico de temple y revenido por ejemplo.

Estas aleaciones se utilizan principalmente en: dados para trabajo en caliente, tenazas para lingote, para endurecer herramientas para corte de metales, y para componentes que requieren resistencia al desgaste a altas temperaturas.

Aceros Austeníticos al Manganeso

La soldadura conteniendo un 12-14 % de Manganeso tiene una estructura austenítica que es blanda (200HV) pero es muy susceptible de endurecerse por trabajo bajo condiciones de altos impactos. Cuando se acaba de soldar, tiene una resistencia a la abrasión de bajo momento muy baja, este tipo de abrasión se da por ejemplo, en excavadoras que trabajan en suelo arenoso, en donde el metal soldado está rozando y puliéndose constantemente.

Cuando la capa soldada sufre fuertes impactos, como en una trituradora de rocas, entonces se deforma una capa de la superficie, debido a la deformación, se endurece y forma una capa resistente a futuros impactos. Esto es muy útil por ejemplo cuando las excavadoras trabajan en suelos arenosos en donde existen piedras grandes sueltas y debido a los impactos desarrollarán una capa resistente a la abrasión por las partículas del suelo. Los aceros al Manganeso pueden desarrollar fracturas durante el servicio, pero esto no necesariamente reduce la vida útil de un componente de terminado ya que contrario al comportamiento de la mayoría de otras aleaciones, -

los aceros austeníticos tienen una gran resistencia a la propagación de fracturas. Además, en las otras aleaciones una fractura reduce considerablemente el esfuerzo necesario para que se produzca una falla total, lo que no sucede en los aceros austeníticos al Manganeso. Estos aceros con más de 14% de Manganeso se utilizan como insertos colados, que pueden tener diversas formas, por ejemplo de dientes de excavadora; estos son soldados y una vez que han sufrido un desgaste considerable pueden ser reconstruidos por soldadura, o bien, reemplazados. Para lograr una estructura 100% austenítica estos insertos son templados desde aproximadamente 1000°C. Cuando hay que reconstruir un inserto, se usan electrodos de aceros al Manganeso.

Los aceros colados al Manganeso con más de 1% de Carbono, pueden tener el problema de la precipitación de carburos, esto se puede evitar con un tratamiento térmico adecuado, que incluye un temple que producirá una estructura completamente austenítica. En la mayoría de las soldaduras es decir, en los lugares donde se aplica, es muy difícil efectuar un tratamiento térmico, por lo que para evitar la precipitación de carburos, se usan electrodos con menos de 0.7% de Carbono con lo cual este elemento queda atrapado en solución en la austenita y no se precipita en forma de carburos. Si la velocidad de enfriamiento disminuye por precalentamiento de la parte a soldar, o bien, por un poscalentamiento de la misma puede ocurrir la precipitación de carburos y la consecuente fragilización. Por esta razón no se aconseja electrodo de 14% de Manganeso para depositarse por soldadura con gas, pues puede haber mucha fragilización del depósito. Los electrodos con 14% de Manganeso con Cobalto o Níquel se pueden usar para recubrir o unir aceros al Manganeso. Cuando se recubre (para endurecer) un acero al Carbono o de baja aleación, un electrodo de acero al Manganeso podría desarrollar una interfase frágil debido a la formación de martensita aleada por la dilución del depósito soldado. Esta zona frágil puede incluso contener fracturas que se pueden propagar hasta llegar al despostillado del depósito soldado si ocurren fuertes impactos en servicio. La solución a este problema es "enmantequillar" las caras del acero al Carbono o de baja aleación con aceros inoxidables austeníticos antes del recubrimiento con aceros al Manganeso. El mismo problema se presenta al soldar los insertos de aceros al manganeso, la soldadura se puede hacer con electrodos de aceros inoxidables austeníticos. Los electrodos de acero austenítico al Manganeso se utilizan en situaciones en donde ocurren fuertes impactos en servicio, como en trituradoras de roca, uniones y cruces de vías de ferrocarril, o en equipo de excavación trabajando en suelos rocosos.

Aleaciones Base Hierro Conteniendo más de 20 % de Adiciones de Aleantes

Por consideraciones más bien económicas que técnicas, se hace una separación de las aleaciones de mayor porcentaje y que son más caras de las que tienen una más baja aleación y son menos costosas, por ejemplo, los aceros martensíticos de baja aleación.

Aceros Austeníticos al Cromo Manganeso

Estas aleaciones se usan para casos semejantes a los de los aceros austeníticos al Manganeso del grupo anterior, pero tienen algunas ventajas aunque son un poco más costosas. Se desarrollaron en los E.U.A a partir de aceros inoxidable de bajo Ni que se escacearon en 1953. En estos aceros cada porcentaje de Ni fue reemplazado por el doble de Manganeso, y debido al incremento del contenido de Carbono a un 0.35%, su resistencia al impacto se incrementó. Debido a su alta aleación estos electrodos pueden usarse para soldar directamente sobre aceros al Carbono sin la formación de una interfase frágil de martensita, y pueden también usarse para soldar insertos de aceros al Manganeso directamente sobre aceros al Carbono. Por su alto contenido de Cromo el metal soldado no puede ser cortado o arañado mediante una flama por gas.

Aceros de Alta Velocidad

Estos son usados principalmente para recubrir las puntas de las herramientas de corte. Como se utiliza solo una cantidad muy pequeña cada vez que se hace una recubierta de una punta, es el costo relativamente bajo. Estas aleaciones tienen un rango muy amplio de composiciones, muchas de ellas contienen Tungsteno, Cromo, Molibdeno y Vanadio que pueden estar contenidos juntos o bien, separados.

Aceros Inoxidables Austeníticos

Los aceros inoxidables que contienen alrededor de 18% de Cromo y 8% de Ni tienen una buena resistencia al impacto pero baja resistencia a la abrasión, su resistencia al impacto es menor que la de los aceros austeníticos al Manganeso, por lo que estos son más caros. De cualquier manera, su principal uso es "enmantecillar" aceros al carbono de baja aleación antes de depositar un acero al Manganeso, debido a que evitan la formación de una interfase frágil entre el acero al Manganeso y el acero al Carbono o de baja aleación.

Hierros Austeníticos y Martensíticos con Alto Cromo

Estas aleaciones contienen aproximadamente 30% de Cromo, y la microestructura del depósito consiste en carburos de Cromo en una matriz austenítica o martensítica dependiendo de la composición y el tratamiento térmico. Estas aleaciones están disponibles en forma de "varillas coladas", o tubos de acero conteniendo partículas de Carburo de Cromo y pueden también ser producidas como "aceros con alma de Cromo" con adiciones de aleantes, estirados dentro de una cubierta de fundente.

Los Hierros austeníticos tienen una excelente resistencia a los abrasivos libres, como los que hay en suelos arenosos, son segundos en este aspecto, ya que el primer lugar lo ocupa el carburo de Tungsteno.

Para abrasión a alto momento (esmerilado), los Hierros martensíticos son superiores y pueden soportar un nivel medio de impacto si se logra un soporte adecuado. Las aplicaciones para estas aleaciones son en maquinaria agrícola, minera, cribas y conductos de canteras, plantas de granallado o limpieza con arena a presión, y guías de acero de molinos.

No Ferrosas, Base Cobalto

Las aleaciones resistentes al desgaste más ampliamente usadas del grupo no ferroso son las basadas en sistemas ternarios Cobalto-Cromo-Tungsteno que originalmente fueron llamadas estelitas. El Cobalto da a las aleaciones dureza a altas temperaturas, por lo que estas aleaciones pueden usarse arriba de aproximadamente 600°C sin ablandamiento o deformación. La presencia de Cromo forma una capa muy adherente de óxido y lo hace resistente a la oxidación, y este elemento junto con el Tungsteno da una apreciable dureza por la precipitación de carburos.

Las aleaciones de más bajo carbono clasificadas por Co-Cr-A en la AWS se usan bastante para dar un recubrimiento duro a las superficies que van apareadas, de válvulas que trabajan a temperaturas elevadas y están sujetas a impacto. Ejemplos de aplicaciones son los asientos de válvulas de escape de motores de combustión interna para autos o aviones, dados y cizallas para trabajo en caliente.

Las aleaciones con más alto contenido de Carbono son más duras y tienen mayor resistencia a la abrasión, pero menor resistencia al impacto. Estas aleaciones se usan cuando existe desgaste metal a metal bajo condiciones abrasivas donde su alto

coeficiente de pulido y bajo coeficiente de fricción le dan buenas propiedades de rodamiento y resistencia a la indentación.

METODOS DE PRUEBA PARA MEDIR EL DESGASTE ABRASIVO

Se han desarrollado varias pruebas de abrasión, que permiten de alguna manera cuantificar la resistencia de ciertos materiales a distintos tipos de abrasión.

En la prueba del perno sobre paño abrasivo, se trata de simular la abrasión de alto momento. Una probeta del material a probar, es preparada en forma de un perno cilíndrico. Sus dimensiones son: 0.250 pulgadas (6.35 mm) de diámetro por una pulgada de longitud (25.4 mm). Este perno se monta en un cabezal que lo hace girar y desplazarse sobre un paño en el que se coloca material abrasivo, que comunmente es alúmina de tamaño de malla 180, aunque también se puede usar granate. Se aplica sobre el perno una carga de 15 libras (6.8 Kgs.) y se hace girar axialmente a 20 revoluciones por minuto. El perno es desplazado sobre el paño abrasivo de tal forma, que siempre haya material nuevo desgastando la muestra, en 7 minutos el perno debe de haber recorrido una distancia de 504 pulgadas (12.8 m), después de este tiempo se para la prueba y se determina qué cantidad de material ha sido removido de la probeta. La prueba es repetida con el mismo perno, pero con un paño abrasivo nuevo para después promediar los resultados.

En la prueba de abrasión por arañado, el material a probar es preparado en la forma de una placa rectangular de dimensiones: 0.875 x 5.375 x 7.5 pulgadas (22 x 137 x 141 mm). El plato o placa funciona como una quijada estacionaria dentro de una cámara donde se muele material; en oposición a la placa fija, hay una placa móvil que es la otra quijada, fabricada de un material de referencia (comunmente acero AISI T-1). el ensayo consiste en triturar 910 Kgs. de partículas de mineral de roca; dichas partículas tienen un tamaño que oscila en el rango de 1.5 a 2 pulgadas (40 a 50 milímetros). Después de la prueba el peso desprendido de la placa fija se divide por el peso desprendido de la placa móvil del material de referencia. El valor numérico resultante representa la razón de desgaste, o el desgaste relativo de un material de prueba con respecto a otro de referencia (AISI T-1).

Para simular abrasión a bajo momento, se utiliza la prueba del disco o rueda rozante. Consiste en presionar una probeta de dimensiones y peso conocido, con una fuerza de 50 libras (22.7 Kgs.), contra una rueda de acero recubierta con caucho

de 7 pulgadas (178 mm) de diámetro que gira a 240 revoluciones por minuto; en medio de la probeta y del disco se deja caer arena sílica mezclada con agua. Este lodo es una mezcla que consiste en 940 gramos de agua destilada y 1500 gramos de arena de tamaño malla 50 a 70. El lodo usado se descarga después de cada prueba y se reemplaza por lodo nuevo.

Durante el ensayo la rueda gira 5000 vueltas, cuando un material duro se prueba, por ejemplo hierros colados blancos. En el caso de aceros relativamente blandos, la rueda o disco se hace girar solamente 1000 revoluciones, y el resultado es multiplicado por un factor 5 para facilitar la comparación con materiales duros, la limitación en el número de revoluciones es para prevenir la formación de marcas de desgaste extremadamente profundas, que hacen que la prueba tienda a dar resultados falsos.

Se efectúan 3 ensayos sobre cada material. La dureza del caucho que cubre la rueda se mide con el durómetro Shore (rebote de martillo) debiendo tener durezas de 45, 55 y 65 Shore. Dicha dureza, se determina por medio de un durómetro montado en el mismo aparato para prueba de abrasión. Después de que la muestra ha sido ensayada, se limpia cuidadosamente y nuevamente se pesa para determinar la cantidad de material desprendido. El logaritmo del peso desprendido se grafica contra la lectura del durómetro (según la dureza del caucho) y los puntos obtenidos se ajustan a una recta usando el método de mínimos cuadrados.

IV.- PARTE EXPERIMENTAL

La información de la que se partió para lograr el diseño de la máquina para probar abrasión, se obtuvo de un artículo cuyo título es : "Contribución A' Letude Du Contrôle des Structures et de Leur Dureté dan les alliages Ferreux a hautes teneurs en Carbone et en Chrome" de T. Maratray y A. Poulalió, en donde aparece una fotografía de una máquina para realizar ensayos de Abrasión.

Partiendo de la información obtenida se realizaron varias modificaciones para poder obtener un diseño que cumpliera con las necesidades experimentales, siendo estas: Que se pueda realizar el ensayo a 2 muestras simultáneamente en lugar de probar cada muestra por separado como se hace generalmente, poder realizar los ensayos con polvos abrasivos (seco) ó con lodos abrasivos (húmedo) y poder regular el peso aplicado a las probetas para asegurar que la fuerza aplicada a ambas probetas sea la misma.

Todas estas modificaciones tenían por objeto asegurar que las pruebas sean comparativas, es decir, que las variaciones que pudiera haber durante la prueba sean exactamente iguales para ambas probetas y que los resultados obtenidos sirvan como una medida de comparación de la resistencia al desgaste de las dos muestras probadas.

Una vez realizadas estas modificaciones al diseño original, se procedió a la fabricación de la máquina. A continuación se describen cada una de las partes que componen la máquina.

Cuba: La cuba o caja principal de la máquina esta hecha de placa comercial de 12.7 mm de espesor (1/2"), tiene forma de un prisma rectangular y en la parte inferior tiene unida una tolva en forma de pirámide invertida con 7 cm de altura. La cuba tiene como función alojar un rodillo de abrasión, 2 agitadores y servir de sostén a los rodamientos del eje principal. La tolva de la parte inferior, sirve para permitir el desalojo del abrasivo y los desechos resultantes después y durante cada ensayo. Cada una de las caras que conforman la cuba fueron cortadas con equipo de oxígeno acetileno, posteriormente fueron maquinadas con herramientas de corte convencional (fresadora) y por último unidas con soldadura de arco eléctrico, exceptuando la cara frontal (tapa) que no esta soldada sino que se fija por medio de tornillos y pasadores a la cuba. El hecho de que la tapa sea desmontable facilita las operaciones de limpieza y mantenimiento de la máquina.

En la tapa de la cuba y en la cara posterior se maquinaron los compartimientos o cajas que tienen por función alojar a los rodamientos del eje de la máquina, dichos rodamientos son sellados para protegerlos contra la acción del abrasivo. Además de su sello de fábrica, se les adaptaron sellos de hule como una protección adicional. Estos sellos se fijaron mediante tornillos y rondanas con un disco metálico a la cuba de la máquina (uno por lado) .

Rodillo de Abrasión.-El rodillo de abrasión está constituido por cuatro partes esencialmente: Un tubo, un disco metálico, un acoplador y una cubierta de neopreno .

El tubo sirve para dar forma al rodillo, se consiguió de un tramo de tubo, centrifugado al que fué necesario maquinar hasta obtener sus dimensiones finales: \emptyset int. 14.5cm \emptyset ext. 17cm y largo 7cm.

El disco metálico sirve como soporte al tubo además de unirlo con el acoplador, este disco se obtuvo de una placa comercial de acero de 12.7mm (1/2") de espesor, se cortó con equipo de oxígeno-acetileno y se maquinó en torno hasta lograr sus dimensiones finales: \emptyset ext. 14.5cm, \emptyset int. 5.08cm y 1.1cm de espesor .

El adaptador une al disco metálico con el eje o flecha principal de la máquina. Consiste en un pequeño cilindro hueco cuyo \emptyset ext. 5.08 mm (mismo que el diámetro interno de disco) y su \emptyset int. 2.5 cm (mismo que el diámetro del eje principal de la máquina). En la parte interna tienen un chavetero o cuñero en donde se alojará una cuña que evitará el deslizamiento entre la flecha y el rodillo de abrasión .

El disco metálico, el tubo y el acoplador, se unieron con soldadura de arco eléctrico. Después de que se unieron dichas partes se recubrió el tubo con neopreno de 12 mm de espesor. El neopreno se fijó con tornillos y pegamento de contacto a la superficie exterior del tubo. La capa aludida tiene por función servir de soporte al material abrasivo que desgasta a las probetas durante cada ensayo. Una vez terminado este conjunto (rodillo de abrasión) se montó entre centros en un torno y se rectificó con una piedra abrasiva con lo que se asegura la uniformidad de la superficie de tal rodillo .

Agitadores .- Estos son dos piezas que consisten en un pequeño cilindro hueco al que se soldaron ocho aletas distribuidas a 45°. El cilindro hueco tiene un \emptyset ext. 5.08 cm y un \emptyset int. 2.5 cm y 4 cm de longitud, las paletas tienen 7 cm de largo 1.5 cm de ancho y 0.3 cm de espesor . A estos agitadores se les maquinó también un chavetero para evitar su deslizamiento sobre la flecha . La función de los agitadores es provo -

car turbulencia en el interior de la cuba cuando se realizan ensayos con lodos abrasivos y evitar su estancamiento o decantación.

En la parte interior de la cuba además del rodillo de abrasión los rodamientos y los agitadores, se encuentran dos separadores con las siguientes medidas ϕ int. 2.5 cm - con su respectivo chavetero ϕ ext. 5.08 cm y 0.4 cm de espesor. Su función es únicamente de ajuste .

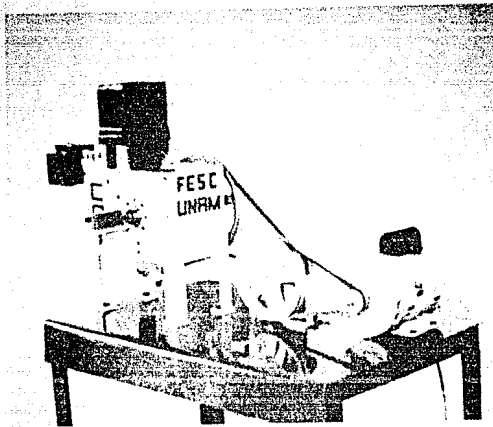
Tolva.- La tolva vertidora de material abrasivo, se fabricó de lámina de acero calibre 22. Se cortó mediante una cizalla, posteriormente se dobló y finalmente se unió con soldadura de latón usando equipo de oxígeno-acetileno; se hicieron dos soportes además, que se soldaron a la parte superior de la cuba y sobre estos se fijó la tolva. En la parte inferior de la tolva se colocó una boquilla con una abertura de $1/32''$ (0.079 mm) cuyas caras interiores fueron rectificadas.

Debido a que durante el proceso de fabricación se deformó la lámina de la tolva y que el abrasivo no caía en forma adecuada, ya que las pendientes que tenía la tolva eran insuficientes, fue necesario rediseñar esta parte, por lo que la tolva fabricada fué desechada pues no funcionó.

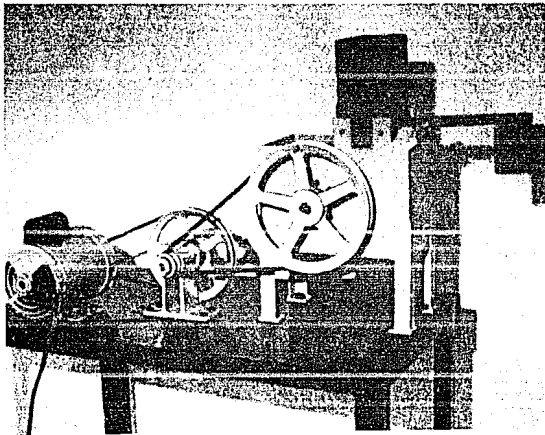
La tolva rediseñada tiene forma de un prisma rectangular con las siguientes medidas: 14 cm de largo (en la base) 10 cm de ancho y 15 cm de altura. En la base tiene soldadas cuatro placas con una pendiente de 60° que convergen en una boquilla teniendo ésta una separación de $1/32''$ (0.079 mm). El material de fabricación fué placa de acero comercial de $1/4''$ (6.35 mm) de espesor.

En la parte media del cuerpo de la tolva está soldada una solera plana de $1/8''$ (3.17 mm) de espesor y 2 cm de ancho (cinturón) que servirá para que la tolva se fije por su propio peso en los soportes de la cuba que también fueron rediseñados para este propósito. Estos soportes tienen una separación entre ellos un poco mayor a las dimensiones de la tolva, con el fin de poder adelantar o atrasar el chorro o cortina de abrasivo (corredera) . Una vez colocada en el lugar preciso se fija la tolva apretando los prisioneros que para este fin se encuentran en los soportes .

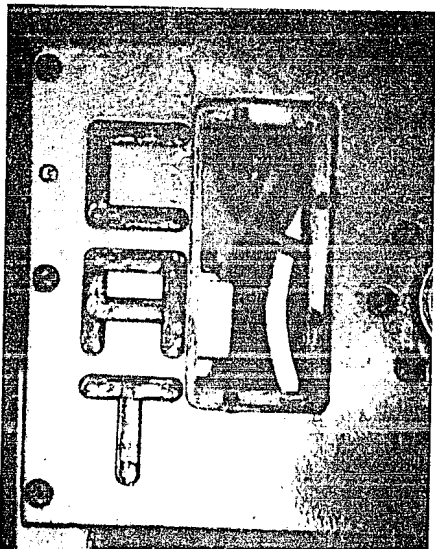
La tolva se fabricó cortando cada una de las caras que la conforman con equipo de oxígeno-acetileno, posteriormente se maquinaron a sus dimensiones finales y por último se unieron con soldadura de arco eléctrico .



1.- MAQUINA DE ENSAYO POR ABRASION
(VISTA FRONTAL)



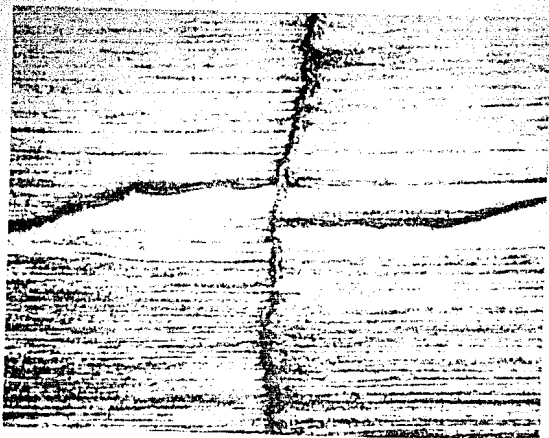
2.- MAQUINA DE ENSAYO POR ABRASION
(VISTA POSTERIOR)



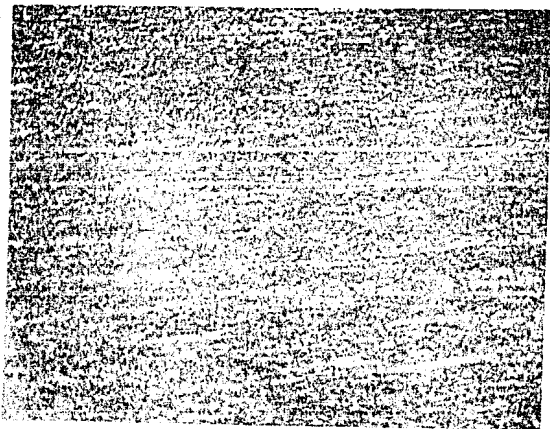
3.- VISTA FRONTAL (VENTANILLA) DEL PUNTO DE CONTACTO ENTRE EL CILINDRO PRINCIPAL Y LA PROBETA.



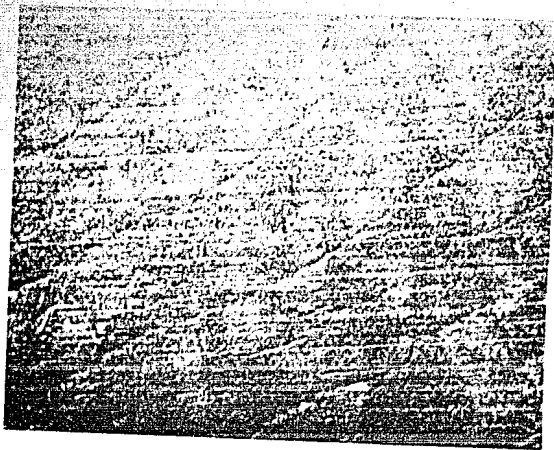
4.- VISTA SUPERIOR DEL PUNTO DE CONTACTO ENTRE EL CILINDRO PRINCIPAL Y LA PROBETA



5.- PROBETA No. 1, ABRATEC: 700



6.- PROBETA TESTIGO No. 2, PLACA COMERCIAL



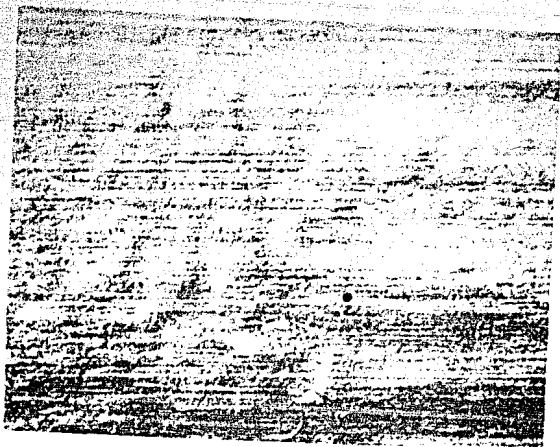
7.- PROBETA No. 3, COLADO BLANCO



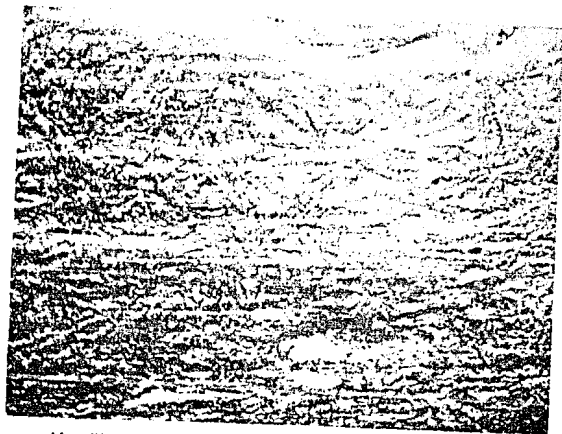
8.- PROBETA No. 4, COLADO GRIS



9.- PROBETA No. 6, ACERO D2 (TEMPLADO)



10.- PROBETA No. 7, COLADO DE ALTA ALEACION
(PRUEBA HUMEDA)



11.- PROBETA TESTIGO No. 7, PLACA COMERCIAL.
(PRUEBA HUMEDA)

PREPARACION DE LA MUESTRA

Básicamente se hicieron dos tipos de preparación: uno cuando la muestra se obtuvo de un bloque sólido de material y dos, cuando se depositó un recubrimiento duro, por medio de arco eléctrico sobre una base preparada específicamente para tal efecto .

En el primer caso tenemos dos variantes, cuando el material es duro y cuando es blando . En este caso el material blando será siempre perfil comercial, que se utilizará como material testigo en cada prueba.

Cuando el material es duro, se corta el bloque con un disco abrasivo para aproximarlo a sus dimensiones finales y posteriormente se pasa a una rectificadora de superficies planas para obtener las medidas requeridas . Las medidas de la muestra después del recitado deberán ser de 15 mm por 14 mm en la base y 33.8 mm de longitud.

Es importante mencionar que se debe evitar un calentamiento excesivo en la cara de la muestra durante el proceso de fabricación o preparación, ya que esto afectaría sus propiedades y alteradas estas los resultados no serían confiables .

Una vez rectificadas las caras se selecciona aquella que tenga un estado superficial mejor (sin poros, despostilladuras, etc.). La selección se hace entre las dos caras con las dimensiones siguientes: 14mm por 33.8mm . Una vez seleccionada la cara se procede a lijarla en la siguiente forma:

Se sujeta la lija sobre una superficie plana y se aplica fuerza a la muestra en una sola dirección (al frente) sobre la lija. El lijado se sigue cuando las huellas sobre la muestra están en una sola dirección. Cuando se ha logrado esto, se cambia la lija a una de grano más fino y se empieza el proceso de lijado nuevamente. Cuando se hace el cambio de lija se debe girar la muestra 90°, esto es con el fin de que el rayado de la nueva lija quede perpendicular al anterior; cuando se hayan borrado las marcas del lijado anterior se podrá cambiar a una lija más fina. Este proceso se sigue hasta llegar a la lija más fina . En este caso se usaron lijas de número: 180, 220, 400 y 600.

Una vez terminado el proceso de lijado se lava la muestra y se seca perfectamente, para posteriormente pesarla en una balanza analítica (capaz de medir hasta un diezmilésimo de gramo). El proceso de lavado, secado y pesado es el mismo que se seguirá en cada prueba, para poder determinar la pérdida en peso sufrida durante el ensayo .

mediante la comparación de valores (peso) obtenidos antes y después de la prueba. -

La aproximación a las medidas finales de las muestras testigo (material blando) se puede hacer con herramientas de corte convencionales, lo que ahorra bastante tiempo.

Cuando la muestra a probar se obtuvo mediante la deposición de un recubrimiento duro por medio de arco eléctrico, fué necesaria la preparación de una base sobre la cual se haría el depósito. Esta base deberá tener 37 x 15 x 12 mm y puede ser de placa comercial o algún material semejante. Antes de iniciar el depósito se debe limpiar perfectamente la base, dejarla libre de óxidos, grasas, polvos, etc. Una vez limpia se inicia el depositado con un cordón a lo largo de toda la base. Se retira la escoria con un cincel y se limpian base y cordón con un cepillo de alambre. Posteriormente se aplica otro cordón traslapado o encimado en la parte media del anterior y con un sentido de avance contrario al primer cordón (o al anterior), se sigue este procedimiento hasta cubrir completamente la base. Cuando se termina una capa de cordones se debe limpiar perfectamente la superficie .

Para evitar el efecto de dilución, es decir la mezcla del material de aporte con el metal base se aplican cuatro capas de cordones, con lo que se tiene en la capa superior exclusivamente el material de aporte .

Terminado el proceso de depositado, se deja enfriar al medio ambiente y posteriormente se lleva a sus dimensiones finales, mediante disco abrasivo o esmerilado, cuidando la muestra de calentamientos excesivos.

El proceso de rectificado, lijado, lavado y pesado es el mismo que en el primer caso.

DESCRIPCION DEL ENSAYO

Fueron seleccionados distintos materiales que precisamente son empleados en ambientes abrasivos. De acuerdo a la tabla de resultados, el orden de las pruebas realizadas y la descripción de cada una de ellas, es la siguiente:

1.- Abratec 700 : Este es un recubrimiento duro que se aplicó por medio de arco eléctrico, es importante destacar la elevada dureza de este material, por lo que para llevarlo a sus dimensiones de prueba fué necesario utilizar predominantemente piedras abrasivas. Durante el ensayo se observó como se desprendían pequeñas partículas del

neopreno de la superficie del rodillo de abrasión y se pudo percibir que el sonido de la probeta dura al estarse desgastando era muy "apagado" en comparación con la muestra blanda.

La relación de desgaste entre la muestra de Abratec 700 y la muestra testigo (en este caso soldadura 6013 depositada también por arco eléctrico) fué de 0.2227 a 1 . La huella de desgaste sobre la muestra de material duro fué mínima en relación con la muestra testigo .

2.- Hierro colado de alta aleación 3% C, 15% Cr, 3% Mo.- Para aproximar este material a las dimensiones de prueba fué necesario utilizar disco de corte abrasivo y rectificadora de superficies planas. El daño que esta probeta produjo sobre el rodillo de abrasión fué menor al de la muestra uno . La huella de desgaste fué menor respecto a la muestra testigo empleada junto con ella (acero estructural). La relación de desgaste fué de 0.1318 a 1 .

3.- Hierro colado blanco 30% Cr, 5% C : Para la obtención de esta probeta se utilizó también disco abrasivo de corte y rectificadora de superficies planas . La relación de desgaste entre la muestra dura y su correspondiente muestra testigo fué de 0.3465 a 1 .

4.- Hierro colado gris 3.5% C, 2% Si : En este caso la aproximación a las medidas finales se hizo también con un disco abrasivo y rectificadora de superficies planas. La relación de desgaste fué de 1.8878 a 1 . En este caso el material testigo mostró mayor resistencia al desgaste abrasivo.

5.- Hierro colado blanco 8% Cr, 3% C : La preparación fué semejante a la mencionada en los casos anteriores. La relación de desgaste fué de 1.0637 a 1. Como en el caso anterior la muestra testigo es ligeramente más resistente al desgaste abrasivo.

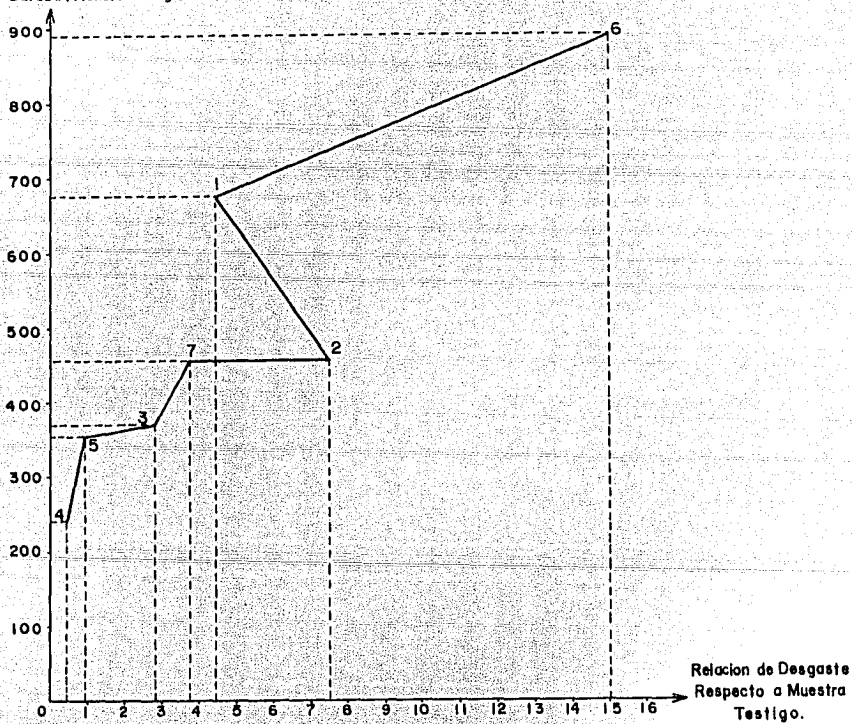
6.- Acero D2 templado en agua 1.5% C, 12% Cr, 1% Mo : Este material fué aproximado a sus dimensiones de prueba en condiciones de recocido utilizando una segueta mecánica y una fresadora vertical, posteriormente se templó en agua desde 1050°C a 18°C . Debido a la alta dureza del material en estas condiciones fué necesario dar las dimensiones finales mediante la rectificadora de superficies planas. El sonido de esta probeta al estarse desgastando fue muy "apagado" en relación al material testigo. La huella que presentaba este material después del ensayo fué mas pequeña que en todas las muestras ensayadas anteriormente. La relación de desgaste fué de 0.0664 a 1 .

7.- Hierro colado de alta aleación 3% C, 15% Cr, 15% Mo : Prueba realizada con lodos abrasivos . La muestra utilizada para esta prueba es la misma que se utilizó en el en sayo número 2, sólo que en este caso en el ensayo se utiliza como agente abrasivo - un lodo (mezcla de arena sílica, agua y detergente como emulsificante). Se utilizó - una cara distinta de la muestra a la utilizada en el ensayo número 2. La relación de desgaste fué de 0.2644 a 1 .

V.- TABLA DE RESULTADOS

	PESO ORIGINAL (grs.)	PESO DESPUES DEL ENSAYO (grs.)	MATERIAL DESPRENDIDO (grs.)	MATERIAL DESPRENDIDO PROPORCION	RELACION DE DESGASTE RES- PECTO A MUES- TRA TESTIGO	DUREZA		RELACION DURE ZA MATERIAL DESPRENDIDO	RELACION DUREZAS
						VICKERS 30Kg	ROCK- WELL B & C		
ABRATEC 700 DEPOSITO	57.7164	57.6472	0.0692	0.2227	4.4903:1	675	59.2C	9,754.3	2.7551
6013 DEPOSITO	58.0271	57.7164	0.3107	1		245	21.3C	788.5	1
COLADO ALTA ALEACION 15Cr 1 Mo	53.6665	53.6367	0.0298	0.1318	7.5873:1	454	45.3C	15,234.9	2.4021
PLACA COMER- CIAL TESTIGO	55.9006	55.6746	0.2260	1		189	88.5B	836.3	1
COLADO BLANCO 30%Cr 5%Ni	51.6679	51.5780	0.0899	0.3465	2.8860:1	366	37.7C	4,071.2	1.8963
PLACA COMER- CIAL TESTIGO	54.9699	54.7105	0.2594	1		193	89.5B	744.0	1
COLADO GRIS	51.5522	51.1701	0.3821	1.8878	0.5297:1	240	21.3C	628.1	1.2435
PLACA COMER- CIAL TESTIGO	54.4885	54.2861	0.2024	1		193	89.5B	953.6	1
COLADO BLANCO 8%Cr 3%Ni	49.3849	49.1328	0.2521	1.0637	0.9401:1	353	35.5C	1,400.2	1.8578
PLACA COMER- CIAL TESTIGO	55.1414	54.9044	0.2370	1		190	88.7B	801.7	1
ACERO AISI D2 TEMPLADO	54.5522	54.5375	0.0147	0.0664	15.0602:1	890	66.4C	60,544.2	4.6113
PLACA COMER- CIAL TESTIGO	55.4957	55.2746	0.2211	1		193	89.5B	872.9	1
COLADO ALTA AL PRUEBA HUMEDA	53.5409	53.5033	0.0376	0.2644	3.7821:1	454	59.2C	12,074.5	2.4021
PLACA COM. PRUE BA 2 (HUMEDA)	55.6501	55.5079	0.1422	1		189	88.5B	1,329.8	1

Dureza (Vickers 30 Kg).



VI.- CONCLUSIONES

- 1.- Se diseñó y construyó una máquina para determinar en forma comparativa la resistencia a la abrasión de materiales en diferentes condiciones de trabajo y frente a diferentes abrasivos.
- 2.- En la máquina se pusieron dos portamuestras con el fin de que las mediciones fueran independientes de variables tales como : granulometría del abrasivo, velocidad de alimentación del mismo, presión de la superficie abrasiva, condiciones de humedad, etc.
- 3.- Se probó la máquina en condiciones de trabajo real, utilizando como testigo hierro dulce tipo comercial y como problema, diferentes tipos de materiales entre ellos algunos utilizados como resistentes a la abrasión .
- 4.- Los resultados muestran que hay una gran consistencia en la utilización de la máquina, y que los valores obtenidos en diferentes pruebas pueden ser comparados si en todas ellas se utiliza el mismo testigo.
- 5.- Como resultado anexo se encontró que no necesariamente hay una correlación lineal entre la dureza de los materiales utilizados y su resistencia a la abrasión .
- 6.- Se encontró que para un mismo material y utilizado el mismo abrasivo la resistencia fue menor frente a un lodo que frente al abrasivo seco.
- 7.- Se plantea la posibilidad de utilizar esta máquina para los problemas de la industria como base para la selección de materiales antidesgaste para abrasión.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society for Metals
Metals Handbook Ninth Edition
Properties and Selection of metals Vol. 1 1979 .
- 2.- V.H. Davies and L.A. Bolton
The Mechanism of - Wear
Technical Editors 4 - 11
- 3.- S.S. Peate and E. Gregory
Weld Surfacing in Perspective
Joint Technical Editors 1-3
- 4.- E.N. Gregory and M. Bartle
Materials for Hardfacing
11 - 21
- 5.- American Society for Metals
Source Book on Wear Control Technology
Engineering Bookshelf 1978.
- 6.- Revista Técnica de fundición
Abrasion Resistant High Chromium White Cast Irons
España 1979 .
- 7.- American Society for Testing and Materials
Annual Book of ASTM Standards
Section 3 Metal Test. Methods and Analytical Procedures Erosion and Wear;
Metal Corrosion
Vol. 03.02 1985.

A P E N D I C E :

MANUAL DE OPERACION Y SERVICIO DE LA MAQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASION

A continuación, se hace una breve descripción de la manera en que debe de ser operada la máquina para pruebas de abrasión. El equipo aludido consta de cinco componentes básicos que son :

- i) Mesa o Chasis.- Soporte de la caja principal de la máquina y demás accesorios y aditamentos .
- ii) Motor eléctrico.- Proveedor de fuerza motriz del conjunto.
- iii) Cuba.- Componente de vital importancia dentro del cual se produce el fenómeno de abrasión.
- iv) Aditamentos.- Aquí se incluyen componentes que son indispensables para que el fenómeno de abrasión se lleve a cabo bajo condiciones controladas como son : cuenta-vueltas, tolva vertidora de abrasivo, contrapesos, interruptor, dren, brazos-portamuestras, poleas y bandas.
- v) Probetas .- Elementos de material seleccionado sobre los cuales se aplicará abrasión, con el propósito de estudiar los efectos que este fenómeno produce en ellos.

Dicho lo anterior, se subdivide este manual en las siguientes secciones:

A.- PRUEBA EN SECO

Para este tipo de prueba, la disposición de partes o armado de la máquina, se efectuará tal como se muestra en el gráfico anexo, teniendo cuidado en los siguientes detalles :

Antes de iniciar la prueba :

- 1.- Alinear el cuenta-vueltas con la flecha principal del conjunto, haciendo uso de los tornillos y correderas con que se fija este accesorio.
- 2.- Revisar el buen estado y funcionamiento del acoplador sintético que va entre el cuenta-vueltas y el perno extremo del eje principal.

- 3.- Girar la perilla del cuenta-vueltas hacia la derecha, hasta que éste marque ce - ros.
- 4.- Colocar las probetas en los brazos puertamuestras (antes de ser colocados).
- 5.- Fijar los dos brazos portamuestras en su sitio, asegurándolos con sus respectivos pernos. Aplicando una carga ligera, presione las muestras contra la superficie - de neopreno del rodillo de abrasión. manteniendo la carga aplicada, apriete con un desarmador plano los prisioneros que aseguran a ambas muestras.
- 6.- Colocar los contrapesos en los extremos de los brazos portamuestras, haciendo-coincidir la perforación que lleva cada contrapeso, con el perno de alineación de los brazos aludidos. NOTA : cada contrapeso será previamente pesado con ba-lanza granataria, fijándose su peso a un mismo valor para ambos; haciendo uso - de pequeñas municiones de plomo, sus pesos oscilarán en el valor de 1.250 ± 0.001 Kgs.
- 7.- Vaciar en la tolva vertidora de abrasivo, cierta cantidad de este último elemen-to, (aproximadamente 50cm^3) a fin de verificar que la cortina que se forma al caer el abrasivo, sea vertida precisamente sobre la superficie de neopreno del ro-dillo de abrasión que esta inmediatamente entre las muestras y esta última. Ca-be hacer mención de que lo que se busca es hacer que el abrasivo sea arrastra-do por el rodillo de abrasión, hasta hacerlo pasar por ambas superficies.
- 8.- De no cumplirse lo anterior utilizar las correderas y prisioneros que aseguran a-la tolva vertidora para alinear la boquilla de la tolva a la posición requerida.
- 9.- Verificar la tensión de las bandas, alineación y apriete de poleas.
- 10.- En caso de encontrar anomalías, corregirlas haciendo uso de una llave española de 9/16", para desplazar sobre correderas el aditamento que así lo requiera.
- 11.- Después de lo anterior, llenar la tolva vertidora y accionar el interruptor del mo-tor eléctrico para iniciar la prueba .
- 12.- Retirar el tornillo que se encuentra en la parte inferior de la cuba a fin de - que salga libremente el abrasivo de desecho.

Ahora bien, durante la prueba tener en consideración :

- 13.- Por ningún motivo se dejará vaciar totalmente la tolva vertidora (interrumpiría - la prueba), esta última tiene capacidad para 2 Lts. de material abrasivo al 100%,

debe evitarse que el contenido baje a menos del 20% .

- 14.- Según se requiera, retirar del dren de la caja principal el material abrasivo de desecho.
- 15.- Haciendo uso de un tacómetro, checar las R.P.M del eje principal (137 R.P.M.), las cuales deben ser constantes durante todo el ensayo. Dicho chequeo se recomienda hacerlo al inicio y cada cinco minutos hasta finalizar la prueba.
- 16.- Vigilar que la caída de abrasivo sea uniforme, en caso de no ser así, checar el tamaño del grano abrasivo y de la abertura de la boquilla. Si se tratará de una obstrucción remover la partícula de la boquilla con la laminilla que para tal fin se anexa a la máquina.
- 17.- Se escogió como estandar el valor de 5,000 revoluciones del eje principal para cada ensayo, por lo que al completar la máquina tal cantidad de revoluciones, se deberá parar la prueba.
- 18.- Retirar los brazos portamuestras.
- 19.- Retirar las probetas ensayadas.
- 20.- Haciendo uso de una brocha pequeña (1"), limpiar la máquina de los residuos de material abrasivo.

B.- PRUEBA CON LODOS ABRASIVOS

Este tipo de ensayo, se realiza de manera análoga a la prueba en seco, teniendo ciertas diferencias entre las que se pueden anotar :

- 1.- Será retirada la tolva vertidora de abrasivo, colocándose en su lugar la tapa de lámina que con el fin de cubrir totalmente la parte superior de la cuba, se anexa al conjunto.
- 2.- La cuba, tiene en sus juntas material sintético adherido, por lo que al armar, queda el conjunto totalmente impermeabilizado.
- 3.- Colocar la tapa de la ventanilla de la cuba o caja principal.
- 4.- preparar el lodo abrasivo, el cual tendrá como componentes, los siguientes elementos :

2 Kgs. de material abrasivo.

80 ml. de agua

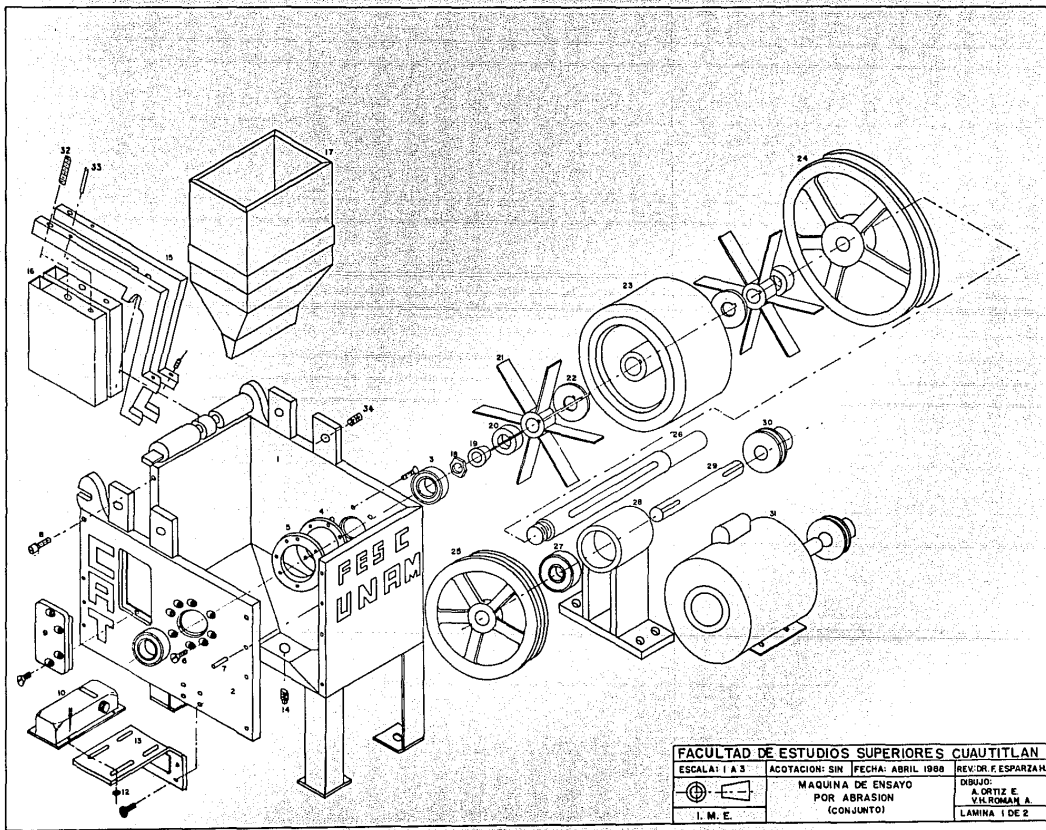
10 gms. de detergente de baja espuma como emulsificante.


Mezclar los ingredientes en un recipiente por separado, hasta que la mezcla muestre una textura "lechosa", vaciarla en la cuba, colocar la tapa y arrancar la prueba.

C.- MANTENIMIENTO

Lubricación.- Después de cada ensayo, ya sea en seco o con lodos abrasivos, además de limpiar con aire comprimido los componentes de la cuba de los residuos de material abrasivo, se deberá aplicar una delgada película de aceites (SAE 40), haciendo uso de una brocha pequeña. Esto último, para evitar daños por corrosión.

Impermeabilización.- La cuba lleva en sus juntas, material sintético (silicón) el cual debe renovarse cada vez que se realice una prueba húmeda. Para esto retirar la tapa y la ventanilla de la cuba y quitar el material de desecho de las juntas, haciendo uso de una lámina rígida (cuña comercial). Hecho lo anterior, aplicar nuevamente silicón en las juntas y volver a armar .




FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN			
ESCALA: 1 A 3	ACOTACION: SIN	FECHA: ABRIL 1988	REV: DR. F. ESPARZAN
 MAQUINA DE ENSAYO POR ABRASION (CONJUNTO)			DIBUJ: A. ORTIZ E. V. H. ROMAN A.
I. M. E.			LAMINA 1 DE 2

LISTA DE PARTES

- 1.- CUBA PRINCIPAL
- 2.- TAPA DE LA CUBA
- 3.- BALERO
- 4.- EMPAQUE DE HULE
- 5.- RONDANA SUJETADORA
- 6.- TORNILLO
- 7.- PERNO REGISTRO
- 8.- TORNILLO
- 9.- TAPA PARA OBSERVACION
- 10.- CUENTAVUELTAS
- 11.- TORNILLO
- 12.- TUERCA
- 13.- SOPORTE DEL CUENTAVUELTAS
- 14.- TAPON DE LA CUBA
- 15.- BRAZO PORTAPROBETAS
- 16.- CONTRAPESO
- 17.- TOLVA
- 18.- TUERCA
- 19.- SEPARADOR CONICO
- 20.- SEPARADOR
- 21.- ACITADOR
- 22.- RONDANA DE AJUSTE
- 23.- CILINDRO PRINCIPAL
- 24.- POEA
- 25.- POEA
- 26.- FLECHA PRINCIPAL
- 27.- BALERO
- 28.- SOPORTE
- 29.- FLECHA
- 30.- POEA
- 31.- MOTOR ELECTRICO
- 32.- TORNILLO
- 33.- PERNO
- 34.- PRISIONERO

55

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ESCALA: SIN	ACOTACION: SIN	FECHA: ABRIL 88	REV: DR. F. ESPARZA
		MAQUINA DE ENSAYO POR ABRASION (LISTA DE PARTES)	DIBUJO: A. ORTIZ E. V. H. ROMAN A.
I. M. E.		LAMINA: 2 DE 2	