

82
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**EL USO DEL BRUÑIDO EN EL RECTIFICADO DE
INTERIORES DE ALTA PRECISION**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

JOSE ELIAS GUILLERMO OTEO VEGA

México, D. F.

1985



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

CAPITULO I
GENERALIDADES Pag. 1

CAPITULO II
ANALISIS DE SUPERFICIE Pag. 52

CAPITULO III
BRUNIDO Pag. 73

CAPITULO IV
METODOLOGIA Pag. 137

CAPITULO V
DATOS EXPERIMENTALES Pag. 167

CAPITULO VI
CONCLUSIONES Pag. 207

BIBLIOGRAFIA Pag. 209

CAPITULO I

GENERALIDADES

En la práctica de la carrera de Ingeniero Químico, es -- muy común que se tengan que manejar conceptos que una vez fueron -- mencionados en algún curso, y ya sea porque el curso era muy am-- plio, no se profundizó en ellos ó porque no se consideran de mucha utilidad en el programa.

Sea el area que cubra el Ingeniero Químico en la indus-- tria, plásticos, fertilizantes, diseño y fabricación de equipo, -- investigación, etc., por lo general intervienen piezas ó conjuntos mecánicos, los cuales hay que conocer y en un momento dado selec-- cionar para evitar que un proceso se detenga, ó se quiera mejorar-- la eficiencia.

El conocimiento de conceptos de maquinados clásicos, co-- mo son el torneado, cepillado, rectificado, etc., son usados por -- el Ingeniero Químico, cuando hay que especificar un dispositivo de alimentación a una tolva de una máquina de plásticos, ó el mantenimiento de un molino en una separación de sólidos, ó el montaje de una flecha en una torre de enfriamiento, etc.

Al mencionar todos los métodos clásicos y los no clási-- cos, como es el Rectificado por Electroquímica, en especial los -- electrobruñidos, por ser considerados de muy alta precisión, se --

creo que se aclaren un poco esos temas que en la práctica profesional son frecuentemente mencionados.

En la fabricación de piezas metálicas, tal y como se conocen en su estado final, se han tenido que aplicar diferentes técnicas que permiten cumplir con una serie de requisitos establecidos, según el fin que se les va a dar, llamados normas de fabricación.

Dichas técnicas de fabricación se pueden clasificar en dos grupos: por deformación del material y por arranque de material.

El primer grupo, comprende las técnicas en las cuales el material ó metal es deformado, ya sea por calor, como el caso de una fundición, en la cual se derrite el metal y después de cumplir con ciertos requisitos, es vaciado en un molde, donde adquiere la forma que se requiere.

En este grupo, también puede haber deformación, mediante la aplicación de una fuerza, como es el caso de una prensa troqueladora en la cual se pasa una lámina de metal, y mediante un dispositivo mecánico, llamado troquel, se le dobla adquiriendo la geometría deseada. Esta operación puede ser en caliente, ó a temperatura ambiente.

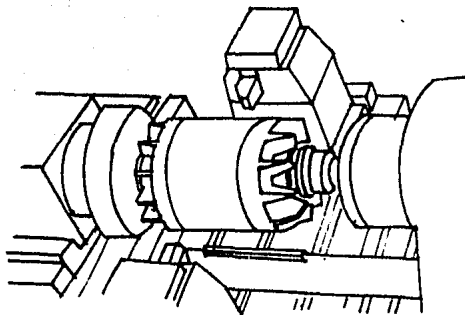
En el segundo grupo tenemos las operaciones ó maquina - dos (se llaman así porque por lo general lo efectúan máquinas) en las cuales el metal es arrancado o desprendido por la acción de va rios medios, por ejemplo: un buril, una rueda abrasiva, un electrodo, una lima, una fresa, etc., donde y como regla general se des - prende el metal en pequeñas porciones llamadas rebabas o virutas.

Es decir, la máquina consta de un dispositivo, donde se monta la herramienta, la cual tiene filo y una dureza bastante ele vada para el corte del metal.

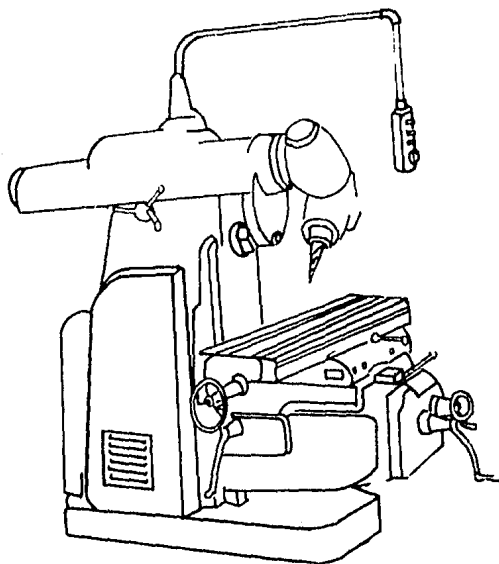
Las operaciones que incluye este grupo, las podemos cla sificar según el tipo de maquinaria que las efectúen: Torneado, -- fresado, taladrado, mandrinado, cepillado, amortajado, brochado y- rectificado.

EL TORNEADO Es una operación en la que se generan ci - lindros exteriores es decir, se sujeta una pieza de metal entre -- dos chucks ó mordazas, girando la pieza por medio de un motor.

La herramienta de corte ataca de frente y se desplaza-- una distancia tanto en sentido transversal como en sentido horizon tal, generándose una figura geométrica cilíndrica por el exterior.



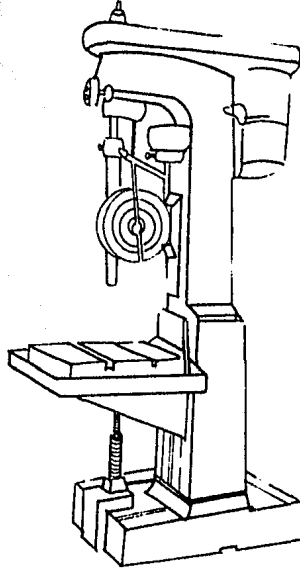
EL FRESADO Es llamado así porque se utiliza una herramienta llamada "Fresa", la cual es parecida a un engrane con filos o insertos de carburos de tungsteno ó acero, lo cual permite efectuar varias operaciones en las piezas metálicas, pudiendo generar superficies planas, barrenar piezas y debido a los controles que tiene, puede hacer contornos y cavidades, por ejemplo: -- Moldes de inyección de plásticos, hacer cuñeros, siendo una función muy importante, la fabricación de engranes.



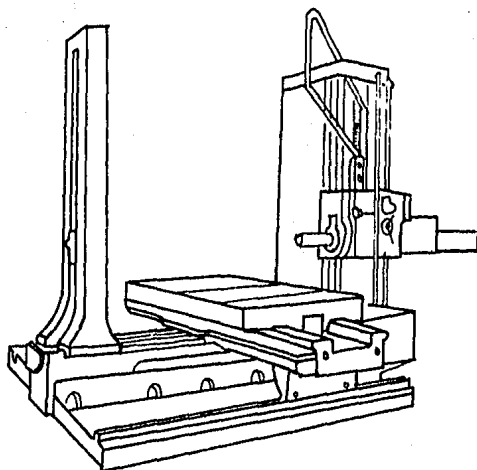
EL TALADRADO Permite mediante el uso de una broca, - - abrir una cavidad o un barreno en la pieza metálica el cual será sujeto a otras operaciones posteriores, como machuelado, rectificado, rimado, etc.

El taladrado se considera el principio más común de-- las operaciones de arranque de material, debido a que el perforar una superficie, permite usar esa referencia para otros maquinados además el taladrado permite el uso de machuelos y cortadores horizontales que aunados al uso de las mesas de coordenadas, permiten clasificar a un taladro con estas características como una fresadora básica.

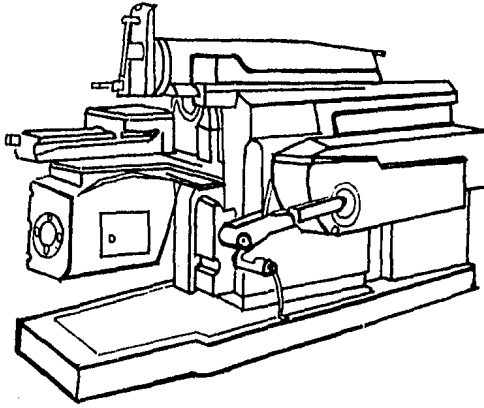
La herramienta usada más frecuentemente o sea la broca, puede -- constar de 2, 3 y 4 gavilanes, según el uso y el acabado que se requiera, además pueden llevar piloto o dispositivo de rompeviruta.



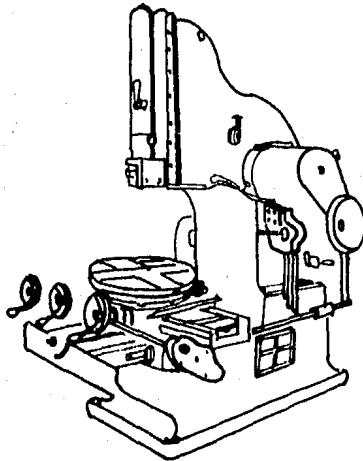
EL MANDRINADO Es llamado así porque se utiliza un porta herramienta llamado mandril, que permite efectuar cortes en el interior de las piezas, pudiéndose efectuar esta operación en un torno, o en una máquina mandrinadora diseñada al efecto. El mandrinado genera geometrías cilíndricas internas en las piezas metálicas y es muy usado para perfeccionar el interior de tubos y cilindros. En general es una operación que precede al taladro. El mandrinado puede ser de desbaste y de acabado, según la cantidad de material a remover y la calidad del acabado superficial deseado, así como la precisión geométrica necesaria.



EL CEPILLADO Consiste en un movimiento recíprocante de una herramienta, la cual ataca una superficie plana, produciendo una buena geometría entre dos planos paralelos. El cepillado se utiliza en la fabricación de cuñeros, ranuras exteriores, y a veces en la fabricación de engranes muy sencillos.

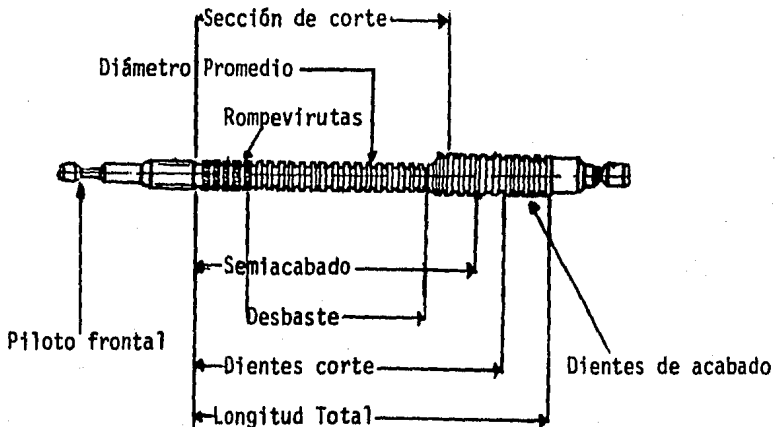


LAS MAQUINAS AMORTAJADORAS Son muy parecidas a los cepillos, con la diferencia que por lo general son verticales y utilizan limas para agrandar agujeros o ranuras perfeccionándolos.



EL BROCHADO utiliza unas herramientas llamadas "brochas" pudiendo ser internas ó externas, según sea el caso. La brocha por lo general es, en el caso de interiores, una pieza larga y cónica - que tiene una multitud de filos, los cuales al entrar a la pieza lo hacen por la parte más pequeña, pero al salir lo hacen por la parte más grande, removiendo el material sobrante. Esta operación es muy-común en la fabricación de bielas de motor y en la fabricación de - piezas con cuñeros internos.

Las brochas para exteriores, son cilindros que constan de un orificio más pequeño de un lado y uno más grande del otro, te--- niendo en el interior las herramientas de corte, lo cual la pieza - entra por el lado más grande y sale del lado más chico a la medida- deseada.



EL RECTIFICADO Sin quitarle importancia a los demás métodos descritos anteriormente, es la operación que se realiza con más precisión dentro de la industria metálica.

Debido a las estrictas normas de control de calidad que muchas piezas deben observar, no existe otro medio de obtención -- más que éste.

No se consideran estrictamente hablando las operaciones de desbarbado o afilado de herramientas "a mano" como rectificado, ya que esto implica siempre una máquina por lo general compleja la cual nos da la precisión requerida.

El desbarbado es la operación, por la cual y mediante - un esmeril, portátil o fijo se quitan los sobrantes de material de una manera burda y sin control alguno de medida, como el caso del-sobrante o "flash" de los moldes de fundición y los cordones de -- soldadura en la industria de la pailería.

En el rectificado existe un elemento de primerísima importancia:

El medio abrasivo. Este consta de un abrasivo, ya sea-natural o sintético de estructura cristalina el cual posee una du-reza elevada y se encuentra en forma de pequeñas partículas o granos.

Dichas partículas están unidas entre sí por un "pegamento" llamado liga que por lo general consiste en una resina orgánica u otras sustancias como hule o metal, lo anterior lo ampliaremos en el capítulo de Bruñido.

Cuando un grano abrasivo empieza a penetrar en el metal a rectificar se considera que la profundidad de corte es cero. Como el grano abrasivo está formando parte de una rueda que gira en sentido contrario a la pieza a rectificar, la profundidad de corte se incrementa gradualmente hasta un punto máximo a lo largo del arco de contacto entre la piedra y la pieza. Como la piedra gira más rápido que la pieza, la profundidad de corte máxima es cuando la piedra deja a la pieza.

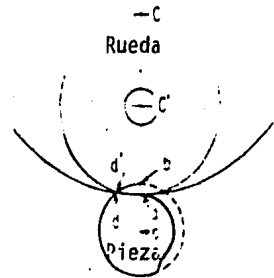
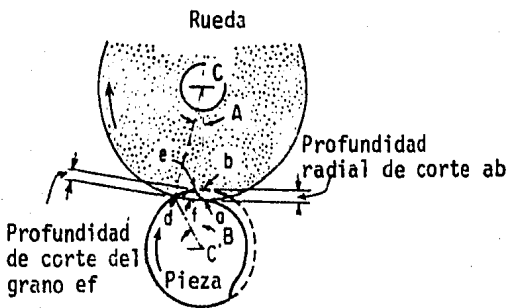
A ésta máxima profundidad se le conoce como "La profundidad de grado de corte".

En la siguiente figura C y C' son los centros de la rueda abrasiva y de la pieza respectivamente, ab es la profundidad radial de corte, ad es el arco de contacto de la piedra con la pieza, y ef es la profundidad del grano de corte.

Para facilitar la discusión, asumimos que solamente un grano corta: a. La rotación de la rueda obliga a este grano abrasivo a moverse hasta d en una unidad de tiempo fija; en este mismo

momento el punto d de la pieza se moverá hasta e. Como la pieza --- usualmente gira más despacio que la rueda abrasiva la longitud de - es menor que ad. Este grano removerá una porción de material ade - por unidad de tiempo.

Por la figura de la sección de material removida (viruta) es evidente que el grano empezó a cortar en a aumentando el corte - hasta ef. La longitud ef es la llamada "Profundidad del grano de - corte D".



$$L = VT \quad \therefore \quad T = \frac{L}{V} \quad \therefore \quad \underline{de} = VT$$

$$\frac{ef}{nL} = V T \text{ Sen } (A + B)$$

$$D = \frac{ef}{nL} = \frac{V T}{nL} \text{ Sen } (A + B)$$

$$\text{Como: } T = \frac{L}{V}$$

$$D = \frac{v}{nV} \text{ Sen } (A + B)$$

D = Profundidad del grano de corte

v = velocidad superficial de la pieza

n = número de granos abrasivos por unidad de longitud.

V = velocidad superficial de la rueda abrasiva.

L = a d = Arco de contacto entre la pieza y la rueda abrasiva

A = Angulo de la rueda abrasiva.

B = Angulo de la pieza.

De lo anterior podemos deducir que:

La Profundidad de corte varía directamente a la velocidad de la pieza, inversamente a la velocidad de la rueda abrasiva y directamente al producto Sen (A+B).

Otras consideraciones importantes son las siguientes:

1. Al aumentar la velocidad de la pieza, se incrementa la -- profundidad de corte, comportándose la piedra como suave.

2. Al disminuir la velocidad de la pieza se disminuye la profundidad de corte, comportándose la piedra como dura.
3. Al aumentar la velocidad de la piedra se disminuye la profundidad de corte comportándose la piedra como dura:
4. Al disminuir la velocidad de la piedra se incrementa la profundidad de corte comportándose la piedra como suave.
5. Al reducir el diámetro de la rueda abrasiva se incrementa la profundidad de corte comportándose la piedra como suave.
6. Al aumentar el diámetro de la rueda abrasiva, se disminuye la profundidad de corte, comportándose la piedra como dura.
7. Reduciendo el diámetro de trabajo se incrementa la profundidad de corte comportándose la piedra como suave.
8. Aumentando el diámetro de trabajo, se disminuye la profundidad de corte, comportándose la piedra como dura.

El rectificado por medio abrasivo se puede clasificar de la siguiente manera:

- 1.- Rectificado cilíndrico entre centros.
- 2.- Rectificado cilíndrico sin centros.
- 3.- Rectificado cilíndrico de interiores.
- 4.- Bruñido de interiores.
- 5.- Bruñido de exteriores.
- 6.- Micro Bruñido.

- 7.- Bruñido electroquímico.
- 8.- Bruñido de Forma.
- 9.- Lapeado.
- 10.- Lapeado de Extrusión.
- 11.- Rectificado de Superficies Planas.
- 12.- Rectificado Electroquímico.

1.- El término Rectificado Cilíndrico entre Centros (exterior), -- usando una acepción en general, denota un grupo de procesos de rectificado cuya característica principal es la rotación de la pieza- alrededor de un eje fijo. Consecuéntemente todas las superficies - maquinadas en un proceso de rectificado cilíndrico tienen una re- lación con un eje específico de rotación.

En el rectificado cilíndrico, la pieza recibe un momento que- la obliga a girar alrededor de un eje seleccionado.

El momento puede ser transmitido por varios métodos, pero en ningún momento puede interferir con la alineación de la pieza so- bre el eje de rotación.

El eje de rotación puede ser idéntico con el eje de la pieza, siendo éste el caso más común, tratándose de sólidos de revolución, ó la pieza puede girar alrededor de un eje de una sección en par- ticular a rectificar.

Las figuras geométricas generadas en este proceso, varían bastante de acuerdo a las necesidades de la operación, así como a la relación entre la superficie a rectificar y el eje de rotación.

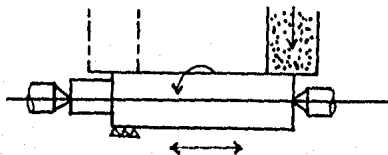
Hablando estrictamente, el proceso no está limitado a producir piezas cilíndricas únicamente, pudiendo generar una gran variedad - de otras figuras geométricas ó de combinación entre ellas, mientras que la condición de rotación sobre un eje, sea mantenida.

En la mayoría de los procesos de fabricación ó de mantenimiento de piezas para la industria química, el rectificado es usado como un método de acabado o de terminado de la pieza, siendo de vital importancia, ya que se puede echar a perder una pieza o piezas únicas a muy alto costo.

El rectificado produce las medidas finales, contorno y acabado superficial que requiere la pieza, por consiguiente conociendo las necesidades de la pieza, se puede escoger el tipo o variante - de rectificado que se necesita.

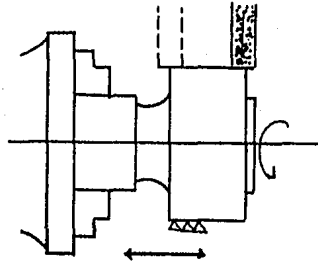
El rectificado cilíndrico se clasifica en once grupos:

- 1.- Rectificado transversal de superficies cilíndricas entre puntos muertos.



Este rectificado puede ser considerado como el método básico de rectificado cilíndrico exterior, resultando con un alto grado de precisión geométrica.

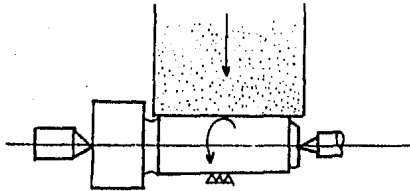
II. Rectificado transversal sujetando la pieza del cabezal de mando.



La precisión de la operación depende de la condición que guarden los baleros ó chumaceras del cabezal de mando, así como de las boquillas o chucks de apriete.

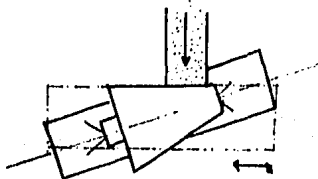
Las piezas deben ser cortas y robustas, necesitándose también apoyos, llamados "lunetas", para restar flexión de la pieza al ser apoyada la rueda abrasiva.

III.- Rectificado en "Plunge" de superficies cilíndricas.



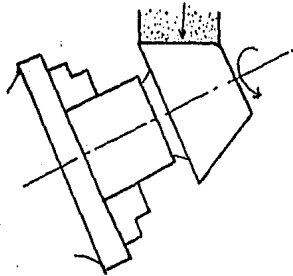
El término "Plunge" es aplicable a secciones de superficie rectificable que no exceden el ancho de la piedra de rectificado. De esta manera se reduce significativamente el tiempo de rectificado - comparado con el rectificado transversal, pero requiere de más partes rígidas y soportes que otro tipo de rectificado. El acabado superficial es pobre en comparación a otros métodos. El rompimiento de la piedra abrasiva al final de la sección impide que se obtenga una buena precisión evitándose ésto con un diamantado frecuente.

IV. Rectificado transversal de piezas moderadamente cónicas:



Aprovechando los desplazamientos de los cabezales de mando y del contrapunto, se puede presentar la pieza angularmente. El ángulo de conicidad está limitado a dos veces la cantidad de desplazamiento de los cabezales. La pieza debe ser sujeta entre puntos muertos y con un dispositivo de sujección apropiado es utilizable en piezas cortas y largas.

V. Rectificado en "Plunge" de piezas severamente cónicas:

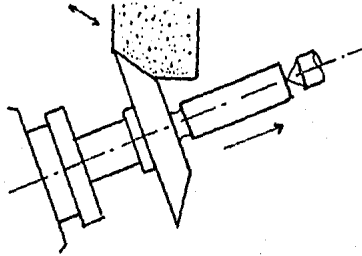


En éste caso, cualquiera de las dos técnicas o combinación de ambas que a continuación describiremos, se puede usar:

- a). Desplazando el cabezal de mando (en piezas voladas solamente) y el contrapunto.
- b). Desplazando el cabezal o a piedra.

La longitud del elemento cónico (generatriz) está limitado al ancho de la rueda abrasiva.

VI.- Rectificado transversal de piezas severamente cónicas.

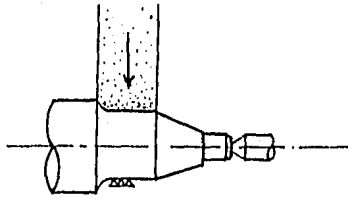


En estas piezas el rectificado debe ser llevado de manera normal, de cualquiera de los métodos siguientes:

En una máquina rectificado universal de doble desplazamiento-angular.

- a). Rectificando con la periferia de una rueda recta ó
- b). Diamantando, es decir dando el ángulo necesario a la piedra y combinando el desplazamiento dado por el corte a la piedra con el de los cabezales, reduciendo la profundidad del corte en la piedra y mejorando el acabado.

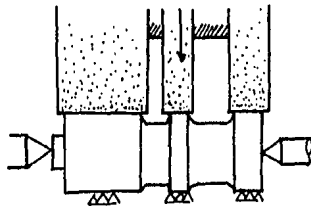
VII.- Rectificado en "Plunge" de una sección cilíndrica con rectificado lateral o radios.



En éste método por el hecho de rectificar el área lateral, se asegura mejor precisión al tener más apoyo la rueda abrasiva, dando mejor concentricidad.

Requiere de un contorno diamantado radial y tangencial.

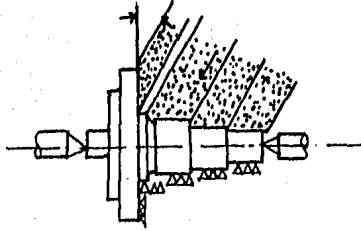
VIII.- Rectificado en "Plunge" de varios diámetros.



Cuando una pieza tiene varios diámetros, por ejemplo: el cuerpo o "macho" de una válvula hidráulica, y la longitud total de los seg

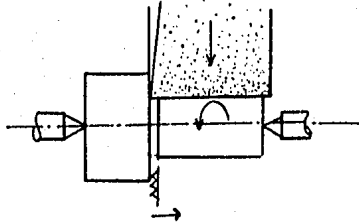
mentos a rectificar o landas, no excede al ancho de la piedra, permitiendo poner varias piedras separadas entre sí por bujes o unidas lado a lado.

IX.- Rectificado Angular por acercamiento periférico y lateral.



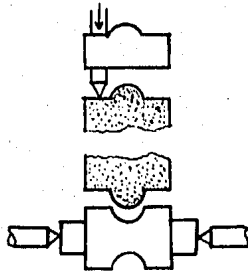
Con un avance en un ángulo (generalmente 30°) en relación al eje de giro, ambos, el lateral y el periférico se efectúan simultáneamente permitiendo efectuar el corte de material en varias superficies las cuales son perpendiculares entre sí o tiene contornos simultáneos. Este tipo de rectificado es bastante complejo, siendo usado básicamente para altos niveles de producción.

X.- Rectificado transversal con rectificado lateral.



Este método se aplica cuando se requiere de una perfecta perpendicularidad, en piezas largas haciendo ambas operaciones con buena--precisión.

XI.- Rectificado en "Plunge" de forma con piedra perfilada.



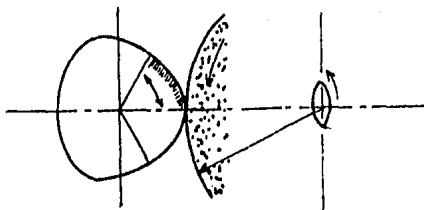
Diamantado o rebajado la rueda abrasiva en forma inversa al contorno que se quiere obtener se generan partes de exteriores sumamente complicados o con ángulos opuestos.

En éste método se utilizan plantillas las cuales mandan o gobiernan el dispositivo diamantador del abrasivo.

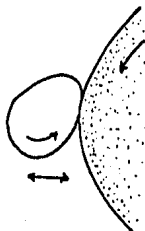
Los grupos citados anteriormente tienen como característica primordial el de generar piezas cuya sección sea circular, es decir, si la pieza no queda circular se considera una mala operación o error del operario (cuando la máquina es manual), pero existen piezas como los lóbulos de los árboles de Levas o simplemente una leva de una máquina dosificadora, o el rotor de una bomba de engranes o un rodillo de fibras, los cuales deben de tener un exterior no circular.

Por lo anterior, mencionaremos unos métodos típicos y a la vez raros de este tipo de rectificado.

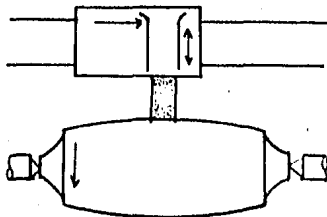
A).= Rectificado Poligonal.



En este tipo de rectificado, la máquina está provista de un desplazante del centro del cabezal portapiedra, que genera la sección transversal poligonal deseada.

B).- Rectificado de Levas.

Viendo los principios del rectificado cilíndrico, es decir, la pieza gira sobre o en su eje, pero controlando el movimiento radial - de la misma contra la rueda abrasiva, combinado con el cambio de - orientación de la pieza, se pueden reproducir contornos no regulares.

C).-Rectificado cilíndrico convexo.

Por lo general, este método se utiliza en piezas largas y pesadas, cuyo perfil es convexo y las máquinas que rectifican estos cilindros, están provistas de un mecanismo que permite acercar ó retirar el abrasivo con relación a una posición predeterminada de la pieza.

Tabla de límites óptimos de tolerancia en micropulgadas (micras) -- del rectificado entre puntos.

CARACTERISTICAS DIMENSIONALES	RECTIFICADO CILINDRICO NORMAL	RECTIFICADO DE PRECISION	RECTIFICADO DE SUPER PRECISION
	LIMITES DE TOLERANCIA OPTIMOS		
	μ in μ m	μ in μ m	μ in μ m
VARIACION EN DIAMETRO	50 (1.25)	25 (.65)	10 (.25)
PRECISION GEOMETRICA TOTAL	75 (1.9)	25 (.65)	6/10 (.15/.25)
ACABADO SUP. AA(Ra)	8 (.2)	2/4 (.05/.1)	1/2 (.25/.05)

Estos valores se entienden en condiciones mecanicas perfectas, de la maquinaria usada durante el rectificado, pocas veces obtenibles en la práctica común.

2.- RECTIFICADO CILINDRICO SIN CENTROS.

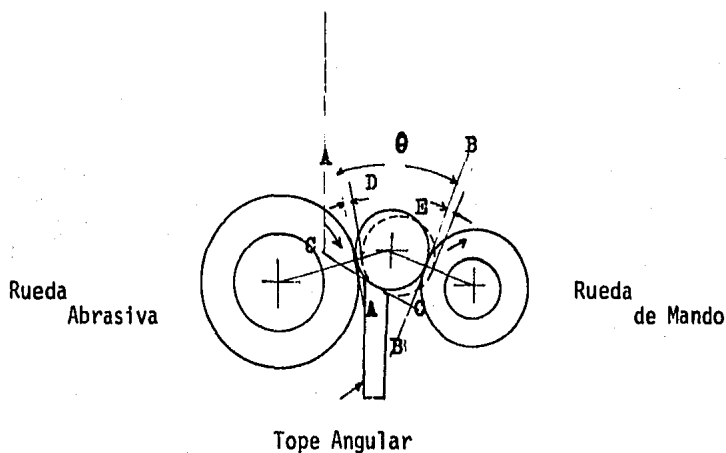
En el rectificado sin centros, la pieza es introducida entre dos -ruedas, la rueda abrasiva y la rueda de regulación ó rueda de mando, ambas giran en la misma dirección pero a diferente velocidad.

Al mismo tiempo, la pieza es soportada por la parte de abajo con--una pieza en forma de cuchilla.

La fuerza de rotación de la rueda abrasiva, actuando en dirección--del soporte de la pieza, tiende a impartir un movimiento de rota--ción en la pieza, la cual está también en contacto con la rueda de mando que gira más despacio. Dicha rueda de mando actúa como freno que evita la rápida rotación de la pieza y al mismo provoca una --disminución en la velocidad periférica. Además de esto último, --existen otros factores que contribuyen a la fuerza friccional ac--tuante en la pieza a rectificar, que además controlan la velocidad rotacional:

- a). La liga de la rueda de mando que es generalmente más elástica--que la rueda abrasiva, haciendo que el área de contacto entre--la pieza y la rueda de mando sea mayor.
- b). El ángulo del soporte de la pieza que presente una cara contra--la rueda de mando. Introduciendo una componente que incrementa--la fricción entre la pieza y la rueda de mando.

Disminuyendo gradualmente la separación entre las dos ruedas, el diámetro de la pieza que gira en medio, es reducido por la acción de raspado de la rueda de rectificado, produciendo una pieza de sección transversal redonda.



$\overline{AA'}$ y $\overline{BB'}$ son los planos tangentes a las ruedas en los puntos de contacto y $\overline{CC'}$ es el plano de contacto del soporte de la pieza.

El ángulo θ formado por los planos $\overline{AA'}$ y $\overline{BB'}$ junto con el ángulo del soporte son los factores que generan una acción de corte circular. D y E no son posiciones diametralmente opuestas.

En el rectificado sin centros, la localización del eje de la pieza, no es constante en relación a los elementos que la soportan en la-

máquina. La pieza está soportada en su superficie exterior a la -- vez que las dos superficies de las ruedas. El cambio de diámetro - en la superficie de soporte provoca un cambio constante del eje de la pieza.

La diferencia es obvia entre el rectificado convencional con la -- pieza girando alrededor de un eje fijo ó generalmente relacionados a éste, por medio de 2 centros en la pieza y el rectificado sin -- centros en el cual el eje de fijación de la pieza es reemplazado - por el diámetro de la pieza, siendo este sistema de rectificado -- sin centros único por poseer un eje flotante.

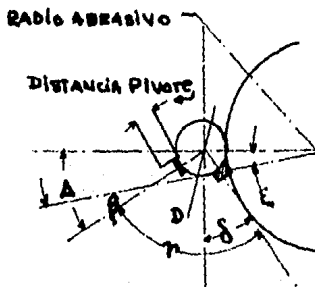
Existen varios métodos de rectificado sin centros:

- A.- Rectificado de Thrufeed.
- B.- Rectificado de Infeed.
- C.- Rectificado de endfeed.
- D.- Rectificado combinado in/thrue.
- E.- Rectificado de zapata.

A.- El rectificado de thrufeed, es el más sencillo, más común en - el que se obtiene mejor eficiencia.

En este proceso, la pieza entra por un lado de la piedra, es - rectificado por ella a lo largo de la piedra, y sale por el -- otro lado.

- B.- En el rectificado de infeed se separan las dos ruedas para colocar la pieza a rectificar, cerrando después con un movimiento de alimentación radial a la pieza.
- C.- El rectificado de endfeed es parecido al thrufeed, pero de pieza no sale por un extremo, el proceso se detiene cuando llega a una posición determinada.
- D.- En el método combinado, se alimenta la máquina, se cierra la distancia entre ruedas y después la pieza sale por un extremo, este sistema se utiliza solamente en piezas cónicas.
- E.- Este método es nuevo, está basado en colocar un apoyo con dos zapatas ajustables que sostiene a la pieza a rectificar. Permite rectificar piezas que por su geometría se hacían en otro tipo de máquina como piezas de sección anular, pistas de balero, etc. El momento se transmite a la pieza a través de un plato-imantado, siendo crítica la posición de las zapatas de apoyo:



Fórmula para calcular el ángulo de la zapata.

$$\xi = \text{Sen}^{-1} \frac{D}{4 \left(\frac{r}{2} + \text{radio abrasivo} \right)}$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1} \frac{D}{4 \left(\frac{r}{2} + \text{distancia pivote} \right)}$$

$$\Delta = \xi + \beta$$

$$\delta = \xi + 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \gamma &= (90^\circ - \Delta) + \delta \\ &= 120^\circ - \beta \end{aligned}$$

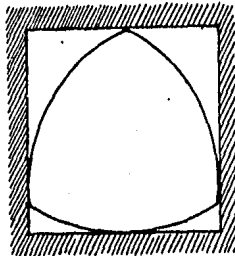
Efecto en la redondez por el rectificado sin centros.

Una de las características más sobresalientes de éste rectificado es la obtención de un diámetro constante en las piezas de trabajo. Sin embargo, no podemos decir lo mismo en relación a la redondez de la pieza.

Un cuerpo de diámetro uniforme, puede tener la forma de un polígono con esquinas redondeadas el cual en cualquier orientación en el espacio toca dos paralelas, cumpliendo la condición geométrica de diámetro.

La palabra redondez describe una condición geométrica en la cual el corte seccional de la pieza está representada por un círculo.

Suponiendo que una pieza fuera de redondez es introducida a una -- rectificadora sin centros, y la pieza está soportada en una superficie plana coincidiendo su centro geométrico con el centro de la -- rueda de mando y de la rueda abrasiva obtenemos un perfil representado por la siguiente figura:



Esto es debido a que cuando existe un punto alto o "chipote" en la pieza redonda (ovalada) al pasar por la rueda de mando, es empujada contra la rueda abrasiva, generándose una depresión exactamente opuesta al punto alto, cuando la pieza gira y la depresión pasa -- por la rueda de mando.

Debido a la distancia entre las dos ruedas, la pieza se empuja contra la rueda de mando, este proceso se repite en diferentes posiciones alrededor de la periferia de la pieza, resultando una pieza de diámetro constante pero no redondo.

3.- RECTIFICADO DE INTERIORES.

El rectificadado de interiores representa la "elite" de los rectificadados por sus características y complejidad.

Para entender mejor las características mencionaremos las condiciones restrictivas que le dan ese aspecto de "operación especial" al rectificadado de interiores.

- A.- El área restringida donde se efectúa el rectificadado del interior de la pieza.
- B.- El acceso al interior de la pieza, el cual es alcanzable por el fondo de la pieza.
- C.- El movimiento del abrasivo montado en una flecha en sentido -- longitudinal y transversal al eje de la pieza.

Además existen varias características funcionales que poseen un efecto de control en los requerimientos funcionales del rectificado de interiores que son los siguientes:

- a).- El gran arco de contacto entre la rueda de abrasivo y la pieza, crea situaciones tales que la rueda abrasiva tiene que ser ajustada a dichas condiciones de trabajo.
- b).- El soporte en "Cantiliver" de la rueda abrasiva en el extremo libre del husillo, cuyo diámetro es reducido en función del diámetro interior de la pieza.
- c).- El diámetro pequeño de la piedra de rectificar que necesita altas velocidades rotacionales que permita operar la piedra con la suficiente velocidad superficial.

En el rectificado de interiores, la pieza se sujeta con una mordaza o con un chuck, a un plato que forma parte del cabezal de mando de la máquina, no tomando en consideración el eje de la pieza como referencia sino su exterior, lo cual lo diferencia de los demás tipos de rectificado anteriores.

La rueda abrasiva, montada en una barra de acero o carburo de tungsteno es sujeta por el cabezal contrapunto o cabezal rectificador, el cual le imprime la velocidad tangencial necesaria e indispensable al abrasivo, a su vez se cuenta con un momento recíproco que cubre la longitud de la pieza.

Dentro de este tipo de rectificado podemos hacer la siguiente división general:

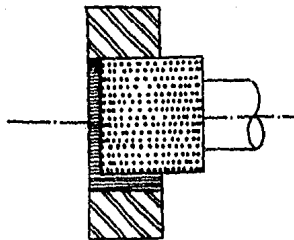
A.- Rectificado de interiores (clásico)

B.- Bruñido.

C.- Lapeado.

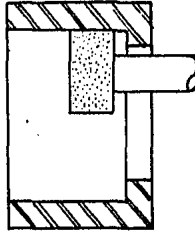
Rectificado cilíndrico interior.

a)



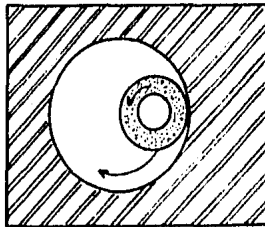
Es la forma clásica, las piezas son agujeros pasados o ciegos, tipo anillo o buje concéntrico el interior con el exterior, la pieza se sujeta por el exterior, siendo esta operación ideal para automatización.

b). Rectificado cilíndrico con recesos.



Agujeros con hombros o recesos necesitan un tipo de proceso más -- elaborado, más carrera de la rueda, controlada automáticamente, se utiliza el corte en "plunge. con pequeñas oscilaciones.

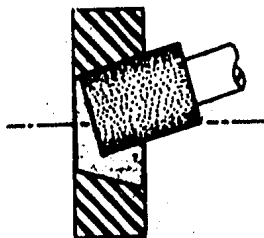
c).- Rectificado cilíndrico Planetario.



Los agujeros en piezas que no puedan girar alrededor del eje del -- agujero se rectifican en máquinas modificadas las cuales tiene un -- movimiento planetario en el cabezal porta piedra sobre el eje de di cho cabezal. El movimiento recíprocante de la piedra es también usa do cuando se necesita de un avance transversal.

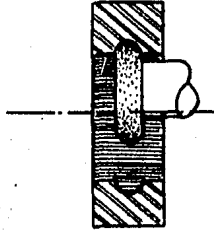
El centro de la rotación planetaria que controla la localización -- del agujero puede ser altamente repetitivo con gran precisión.

d).- Rectificado de interiores cilíndricos cónicos:



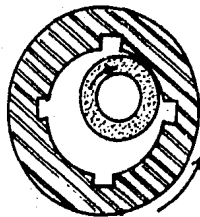
Para poder dar una precisión en este tipo de rectificado se necesita que se cuente con dispositivos mecánicos llamados "Ajustes de -- conicidad" en las máquinas rectificadoras, los cuales nos permiten dar el ángulo especificado, usándose en modelos más sofisticados re glas de senos con blocks patrones.

e).- Rectificado de radios interiores.-



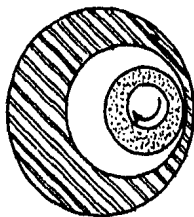
La palabra "radios" es un término común que designa un arco circular en un corte seccional, cuya característica es el radio del círculo. Los radios se generan diamantando la piedra y haciendo el corte en "plunge" ó con un cabezal oscilatorio cuyo eje coincide con el centro del círculo. Ejemplos típicos de éstas piezas son las "pistas" de los baleros de bola.

f).- Rectificado cilíndrico de superficies interrumpidas.



El rectificado de piezas con interrupciones ya sea axiales o radiales se efectúa de manera sencilla, es más, es el método más apropiado para terminarlas. Tratándose de piezas muy comunes como engranes ó cilindros de motores de 2 tiempos, dosificadores, etc., se han desarrollado equipos sofisticados de control para dicha operación.

g).- Rectificado de agujeros excéntricos.



Cuando el eje de un agujero a rectificar no coincide con el centro de la pieza, dicho agujero se puede rectificar en una máquina que tenga cabezales desplazables ó de columpio para llevar la pieza -- hasta el nuevo centro y así hacer coincidir los ejes.

6.- BRUÑIDO

El Bruñido (Honing) es uno de los métodos de rectificación más modernos, preciso y económico, además de generar buen acabado super-

ficial, que existen.

9.- L A P E A D O

El término lapeado designa un método de rectificado que comprende - los siguientes elementos:

- a).- Una herramienta llamada lapeador, sobre la cual se deposita la solución abrasiva.
- b).- Una fuerza, la cual se aplica para lograr contacto entre el lapeador y la pieza a rectificar.
- c).- Una combinación de movimientos aplicados, ya sea a la pieza, o al lapeador.
- d).- Una sustancia abrasiva en suspensión llamada vehículo, la cual es introducida entre las dos superficies.

Todo lo anterior combinado tiene por objeto el impartir características específicas a la pieza de forma (geométrica), tamaño (dimensión) y acabado superficial (textura).

Este método permite quitar poca cantidad de material, pero con gran exactitud.

Entre las principales características del lapeado tenemos:

- A.- La velocidad de remoción del material es lenta, debido a la lenta velocidad de corte y a la poca penetración del abrasivo en - la pieza.

- B.- El lapeado es considerado un rectificado "frío" debido al poco calor generado, no causando daño térmico.
- C.- No se necesita usar grandes fuerzas para sujetar las piezas, lo cual permite que piezas delicadas ó frágiles se fijen fácilmente.
- D.- La geometría de las piezas que se utilizan en este rectificado, está limitada a formas básicas, como superficies planas, cilíndricas y esféricas; excepcionalmente se utilizan otras formas - como por ejemplo: engranes y piezas roscadas.
- D.- La precisión de la geometría obtenible es excelente, en particular en superficies planas, donde el lapeado encuentra su más amplio campo de acción.
- F.- Las superficies con las rugosidades más bajas son las obtenidas con ésta técnica, siendo afectada la rugosidad por el tipo y dureza del material.
- G.- Se añaden además otras características, además de la del acabado superficial, que no se obtienen por otro método, por ejemplo: Un patrón de acabado que permite el estudio microscópico de la estructura del material, una relación muy alta entre la superficie antifricción y el área total.
- H.- Excelente control dimensional debido a la baja pero constante velocidad de corte, lo cual permite controlar la reducción de medidas limitando el tiempo en el cual la acción de lapear es constante.

I.- Desde el punto de vista económico es aceptablemente bueno para obtener superficies muy tersas, pero si se toma en cuenta que debe ser aplicado después de usar otro sistema de rectificación que permita una mayor velocidad de remoción de material.

El lapeado lo podemos dividir en dos grupos:

— Lapeado por igualdad

— Lapeado de forma.

EL LAPEADO POR IGUALDAD.- Se efectúa cuando se trabajan dos piezas iguales trabajando una contra la otra, es decir lapeándose entre sí, por ejemplo, un pistón contra las paredes del cilindro, dos piezas de mármol entre sí, una válvula contra su asiento, etc.

EL LAPEADO DE FORMA.- Se efectúa usando una herramienta la cual -- lleva la forma deseada, es decir se trata de que la pieza a rectificarse adopte la forma que se le da al lapeador.

Por lo general el material usado para los lapeadores es el fierro - colado con una estructura de grano cerrado y una superficie sin poros libre de defectos.

Los abrasivos usados son en la mayoría de los casos carburos de silicio u óxido de aluminio en granos desde el 90, en algunos casos-- grueso hasta el 1000 para producir acabados extra finos.

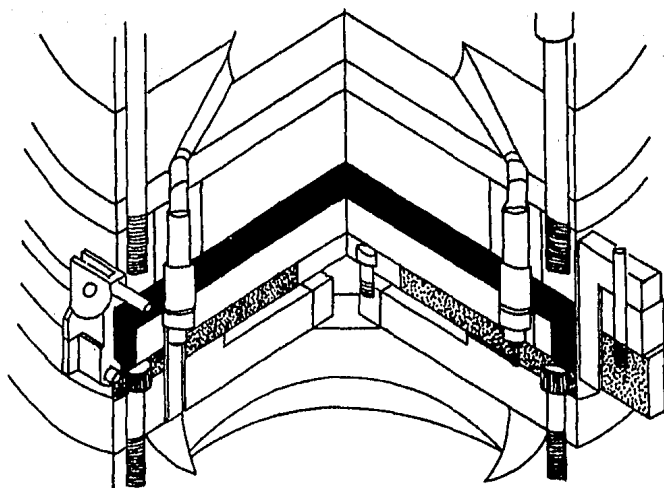
10.- LAPEADO DE EXTRUSION

Este proceso es muy nuevo, aproximadamente 5 años, y único por su forma de operar.

Consiste en una Pasta o "Media", básicamente un polímero que lleva partículas abrasivas y lubricantes para poder extruir, reduciendo fricción de la parte en la pieza a lapear, otros dos factores importantes de esta "media" o pasta es la cohesividad y la reología (cambio de viscosidad), cuando se trabaja a presión en áreas restringidas.

Básicamente se usa para dar el terminado a piezas que, por su geometría es difícil de rectificar, por ejemplo el interior de las cavidades de gas dentro de un soplete, etc.

El polímero con las partículas abrasivas y lubricantes, es forzado a pasar por la pieza ó cavidad que se desea lapear por medio de una fuerza generada por una bomba hidráulica.



II.-RECTIFICADO DE SUPERFICIES PLANAS

Una superficie plana es la más conveniente y confiable referencia para diseñar una simple o compleja forma. En la fabricación de piezas, la superficie plana sirve como base de localización, con la cual se dimensiona y se posiciona cualquier pieza.

Por éstas razones muchas partes mecánicas, ya sean estructuradas básicas ó componentes son diseñados con una o más superficies planas que se usan como superficies de localización en máquinas herramienta.

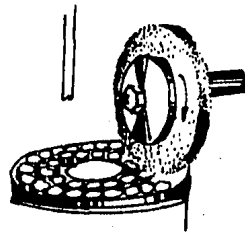
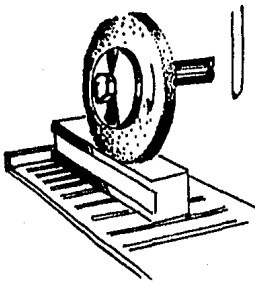
El paralelismo en una superficie significa la condición en que todos los puntos están comprendidos por dos planos paralelos imaginarios.

Esta condición se aplica igualmente a sólidos y a superficies interrumpidas.

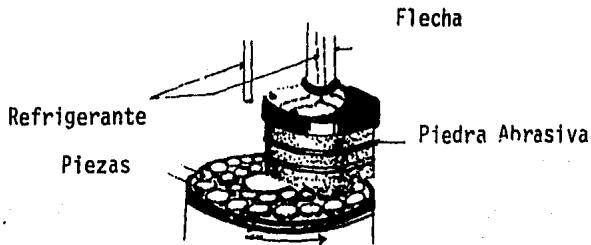
Una superficie plana es producida a nivel rectificado de precisión de las siguientes maneras:

- a).- Con movimientos transversales sobre un plano común.
- b).- Con movimiento de rotación alrededor de un eje normal al plano de la superficie.

En el caso (a), se usa la periferia de la rueda abrasiva, y en el caso (b) se usa la cara de la rueda abrasiva.



La sujeción de la pieza es por lo general magnéticamente, prefiriéndose este sistema por su sencillez a los métodos de fijación tradicionales como tornillos, prensas, etc.



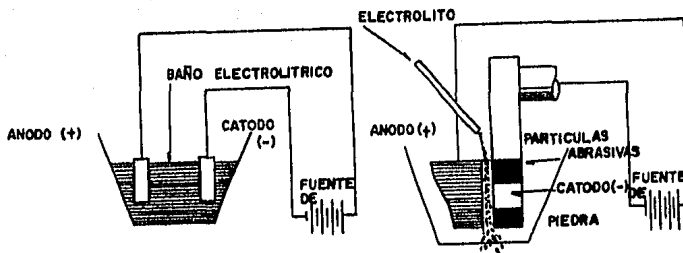
El acabado superficial obtenido por este proceso es sumamente fino, pudiendo además, alcanzar precisiones del orden de las micras o millonésimos de pulgada.

12.- RECTIFICADO ELECTROQUIMICO

El método de rectificado de superficies planas con apoyo electroquímico es muy reciente, siendo introducido hace 10 años o menos. El nombre original del método fué rectificado Electroquímico, siendo el término usado a la fecha.

En este proceso, se utiliza una combinación del proceso electroquímico y el rectificado mecánico, aplicados conjuntamente al desbaste de metales o aleaciones de éstos, preferentemente carburos, usados en herramientas de corte.

En el rectificado electroquímico los elementos básicos son mostrados en la figura siguiente:



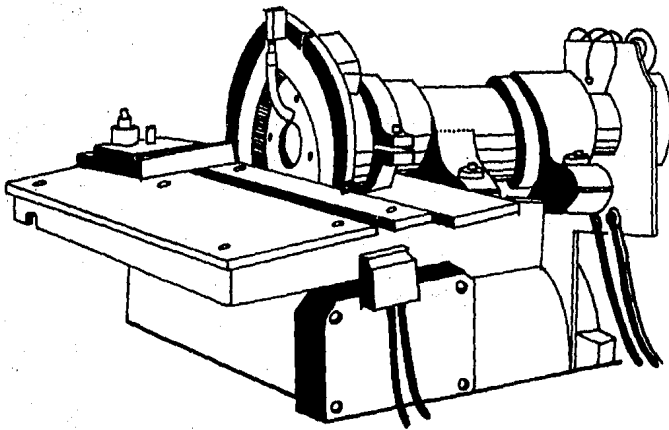
La corriente directa pasa entre la piedra de rectificar (catodo) y la pieza a rectificar (anodo), a través de una solución (electrolito). Por la acción electroquímica, se desprende material de la pieza a rectificar a nivel molecular.

La pieza anódica que se forma en la superficie de la pieza, se comporta como un aislante eléctrico, es continuamente removida por la

acción abrasiva de los granos de la piedra que a la vez expone una superficie nueva a la acción electrolítica, necesitando solamente un 10% o 20% de la fuerza mecánica usada para remover la misma cantidad de material sin el apoyo electroquímico.

DESCRIPCION DEL EQUIPO BASICO:

La ejecución de este método requiere un equipo especial diseñado para esta operación con los siguientes factores.



a).- Corriente eléctrica.- La unidad que provee la corriente eléctrica está diseñada para dar un suministro de voltaje constante, es decir con un sistema de autocompensación integrado. La firma Anocut Engineering Co., se ha especializado en el diseño de estas unidades que proveen un máximo de Amperes en corriente directa, siendo por lo general el rango entre 150 y 3,000-Amperes los usados.

b).- La máquina.- El diseño de este tipo de máquinas difiere de los modelos usados convencionalmente por la instalación de circuitos eléctricos a través del husillo de la piedra, el cual está aislado del resto de la máquina y conectado al sistema eléctrico por medio de escobillas.

Debe tomarse en cuenta el tipo de electrolito usado para escoger el material para la máquina, ya que debe ser resistente a la corrosión.

c).- El suministro de electrolito.- Ha de ser suficiente en volumen y filtrado, suministrado en alta presión, lo cual es muy importante para este tipo de máquinas, siendo lo contrario para las máquinas de electroerosión.

El electrolito es depositado en la superficie de la piedra, -- permitiendo que entre a los granos abrasivos, que trabajan como depósito, siendo comprimido cuando la pieza hace contacto con la piedra abrasiva. El volumen de electrolito necesario, - es mucho menor que el usado de refrigerante en otras máquinas-

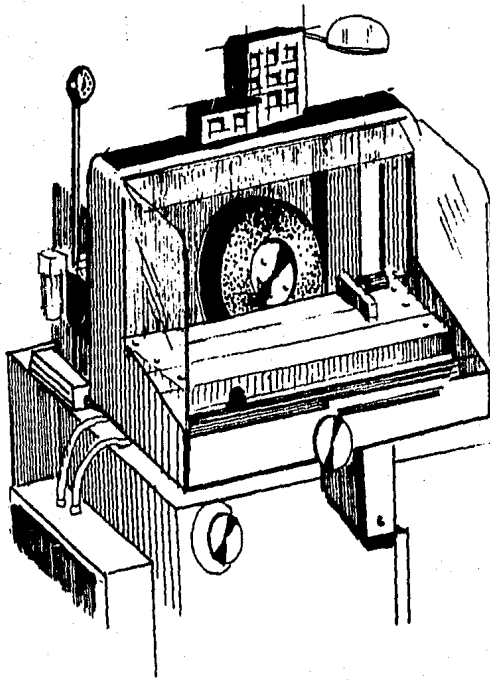
convencionales. El tipo de electrolito, se selecciona de acuerdo a su grado de corrosión, siendo usado un electrolito muy corrosivo para el acero y sus aleaciones y lo menos posible para los carburos.

- d).- La piedra abrasiva.- La piedra debe funcionar como un conductor eléctrico, excepto por los granos abrasivos, que funcionan como separadores para mantener una distancia constante entre la piedra y la pieza. Estos granos son generalmente diamantes unidos ó pegados con una liga, la cual puede ser metálica o resinoide pero con la condición de ser conductora de la electricidad.

La regla de oro para darse una idea de la eficiencia de este proceso, nos indica que por cada 100 amp. tenemos 1.010 in.^3 (0.16 cm^2)- por minuto. La cantidad de corriente que es absorbida antes que la pieza alcance su punto de saturación depende de dos factores:

- a).- La densidad de la corriente, expresada en capacidad de corriente de la pieza, por ejemplo: 800 ó 1000 amp. por in.^2 ó 6.45 cm.^2 para el carburo de tungsteno.
- b).- El área de corte de la pieza a rectificar. A mayor área de corte de la pieza, se recomienda mayor diámetro de rueda abrasiva, según la tabla a continuación:

DIAMETRO DE LA RUEDA ABRASIVA	PULG. (MM).	7 (175)	10 (250)	14 (350)
POTENCIA DEL MOTOR	HP	1	3	7½
CONSUMO DE POTENCIA	AMPS.	300/600	600/1000	1500/3000



VENTAJAS DEL PROCESO.

Las mayores ventajas de este sistema, es especial para aceros muy duros y carburos, son los siguientes:

- 1.- Rápida remoción o desprendimiento del material, siendo varias veces más rápido que cualquier otro tipo de rectificado similar.

- 2.- Economía en el uso de la piedra de diamante, ya que el desgaste producido en la piedra es muy pequeño en relación con el volumen de metal desprendido.
- 3.- El calor generado es muy pequeño, así que no se producen daños a la estructura del metal.
- 4.- Se produce un acabado superficial del orden de 8 a 12 micropulgadas AA ($0.2 - 0.3 \mu\text{Ra}$), el cual es muy aceptable para este tipo de rectificado.
- 5.- No se producen quemaduras en la superficie del metal.

Debido a que la interface entre la piedra y la pieza es el factor que controla la efectividad del proceso de rectificado electroquímico, veremos la aplicación a otros métodos de rectificado.

En el rectificado de superficies planas, es donde más se utiliza el método electroquímico, ya que permite aumentar la velocidad de corte y las superficies que se manejan, al ser en espacios abiertos, - no ofrecen mayor complejidad.

En el rectificado de piezas cilíndricas, es bastante usado sobre todo en "plunge", el cual nos da una buena área de contacto entre las dos piezas.

Y finalmente en el rectificado de interiores no se utiliza por lo general debido a la limitación de espacio dentro de la cavidad a -- rectificar.

CAPITULO II

ANALISIS DE SUPERFICIE

Considerando que una superficie es el área límite de un sólido, las características de esa superficie pueden afectar varias condiciones que contribuyen a determinar las propiedades fundamentales de diseño de una pieza.

La parte de una pieza o área límite que está en contacto con otra pieza es precisamente la superficie, la forma y el tamaño de esa pieza es percibida y medida a través de la superficie o área límite.

Muchas piezas son diseñadas como cuerpos geométricos regulares, o combinación de figuras tridimensionales, teóricamente, éstas piezas están limitadas por superficies de formas definidas, suponiendo que el corte seccional del contorno esté compuesto por líneas rectas y circulares. Sin embargo, es bien recibido que los conceptos teóricos no siempre concuerdan con la práctica en la fabricación de piezas, aunque se aproximen bastante, llamándose a la variación permisible de un estado ideal, "tolerancia".

El concepto de análisis superficial y su metrología serán discutidos a continuación:

...

Comparando una pieza fabricada cualquiera, por ejemplo una esfera, con nuestro planeta, las variaciones de la superficie terrestre en relación a una superficie ideal, lisa es llamada topografía, representada en relieve en los globos terráqueos o en mapas planos e identifica las alturas de las montañas, las mesetas y los valles.

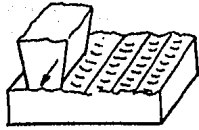
La misma topografía es llamada ondulación en la pieza esférica.

Existen pequeñas irregularidades que no aparecen en detalle en el globo terráqueo pero también son desviaciones de la superficie lisa ideal, llamadas rugosidades.

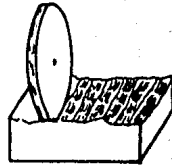
Realmente no es fácil distinguir entre ondulación y rugosidad, pero citando ejemplos prácticos de éstos dos conceptos se puede visualizar mejor.

En el proceso de rectificado, las vibraciones causadas por el husillo de la máquina, tableteo provocado por falta de rigidez, se observan como marcas a lo largo de la superficie asociándolas con el término ondulación.

El tamaño del grano del abrasivo, el arco de contacto con la pieza y la estructura cristalina, provocan pequeñísimas irregularidades en la superficie llamadas rugosidades.



Ejemplo de
Ondulación



Ejemplo de
Rugosidad

La ondulación, técnicamente hablando, es la forma característica de las variaciones topográficas, que son medibles, como el perfil de una pieza en una sección imaginaria.

Esto implica una secuencia repetitiva y regular de fallas topográficas.

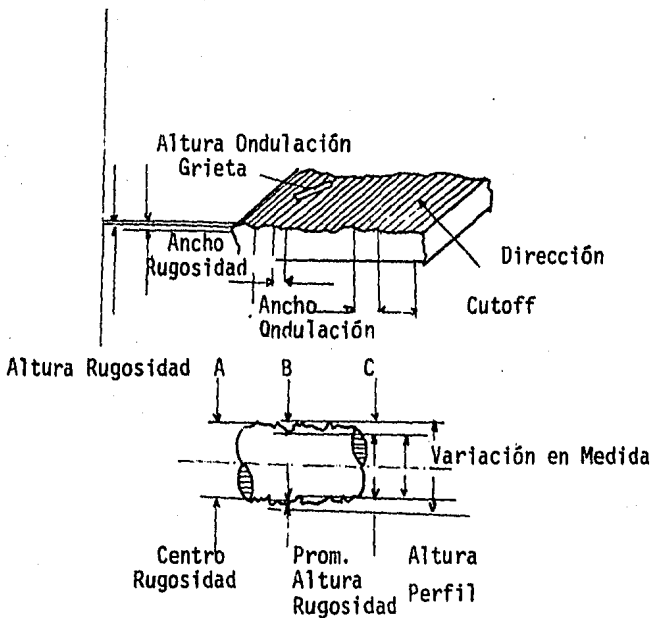
La longitud de la ondulación.- Expresa la distancia entre crestas adyacentes del patrón de ondulación.

La altura de ondulación.- Es la distancia, en dirección normal a la superficie entre las crestas y los valles de las ondas.

La rugosidad.- Expresa la desviación, en un espacio cerrado, de la actual superficie a su forma ideal.

Estas desviaciones son usualmente menos regulares en forma de perfil y espacio al final de la ondulación.

Debido a las circunstancias técnicas que originan la rugosidad, las desviaciones medibles a partir de una línea básica de perfil, son de alta frecuencia (espacio cerrado) sin embargo de poca amplitud (poca altura), que la ondulación sobre la cual la rugosidad es usualmente puesta.



En la figura superior se muestra un patrón característico: se observa una ondulación de paralelismo entre las crestas y los va -

lles, teniendo la misma dirección, lo cual es llamado disposición o arreglo de la textura. Esta disposición o arreglo es --- ilustrada normal al plano seccional en el cual el perfil es observado. Un plano oblicuo de observación nos dará la distancia - entre las tallas consecutivas del perfil y la longitud de la ondulación tendiendo este valor a incrementarse.

Un plano de observación paralelo con el arreglo o forma, por lo general mostrará valores menores de ondulación o no mostrará ningún valor.

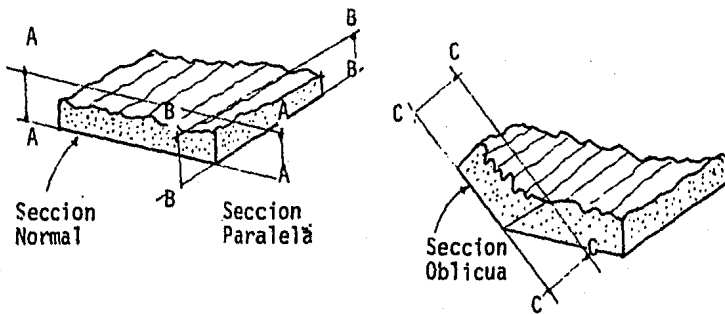
En este diagrama, el plano seccional es mostrado perpendicular - al plano de la superficie a estudiar.

Un plano inclinado a la superficie nos incrementará la distancia entre los niveles de los valles y las crestas.

La textura de una parte cilíndrica como se muestra en el dibujo inferior, es usualmente examinado en un plano axial, perpendicular a la disposición o arreglo considerándose lo anterior como regla ó norma de medida,

Otros aspectos de la interrelación entre la disposición o arreglo de la superficie y la orientación del plano de observación - se muestran en el siguiente diagrama:

...



No hay que olvidar que la textura superficial aquí ilustrada es un ejemplo para tratar de facilitar la explicación.

Actualmente el patrón de la superficie no siempre es regular en repetibilidad y orientación del arreglo, como se muestra en los dibujos. No siempre es posible seleccionar un plano para tomar medidas que sea normal al arreglo o disposición y al plano general de la superficie.

La rugosidad es expresada en micras.

Una micra es la millonésima parte de un metro (0.000 001 m.).

...

Para escribir especificaciones o hacer referencia de acabados su perfciales las micras se abrevian como μm .

Una micropulgada es una millonésima de pulgada (0.000 001 inch). Para escribir especificaciones o hacer referencia de acabados su perfciales, las micropulgadas se abrevian como μin . Una micropulgada (Sistema inglés) es igual a 0.0254 micras (Sistema métrico) $1 \mu\text{in} = 0.0254 \mu\text{m}$.

VALORES DE RUGOSIDAD
PROMEDIO (Ra)

μm	μin	μm	μin
0.012	0.5	1.25	50
0.025*	1*	1.60*	63*
0.050*	2*	2.0	80
0.075*	3	2.5	100
0.10*	4*	3.2*	125
0.125	5	4.0	160
0.15	6	5.0	200
0.20*	8*	6.3*	250
0.25	10	8.0	320
0.32	13	10.0	400
0.40*	16*	12.5*	500*
0.50	20	15	600
0.63	25	20	800
0.80	32*	25*	1000*
1.00	40

* RECOMENDADO

Los valores de rugosidad, se dan en promedio aritmético AA, siendo la desviación de la altura a la línea central el valor obtenido.

La longitud de la ondulación es medida en milímetros o en pulgadas, dependiendo del sistema usado, considerándose como el máximo espacio permisible entre unidades representativas del patrón de la superficie. Este valor sirve para determinar el "cutoff", el cual siempre debe ser mayor que el ancho de la ondulación.

El término "promedio aritmético" ó "AA", también es conocido como promedio de la línea central "CLA" y también como promedio de rugosidad "Ra" .

El promedio aritmético "AA" es el promedio de la desviación de la superficie a una línea recta llamada línea principal (eje XX') .

Esta línea es paralela a la dirección general del perfil a todo lo largo de la longitud de la ondulación, de tal manera que la suma de las áreas contenidas bajo ella y las áreas del otro lado sean iguales. La desviación en promedio aritmético de la línea principal -- (XX') es:

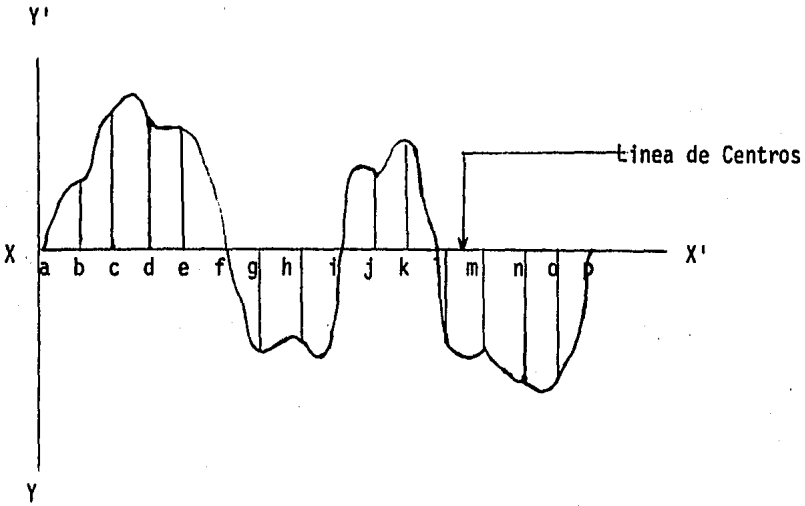
$$Y_{AA} = \frac{1}{L} \int_{X=0}^{X=1} y \, dx$$

Y_{AA} = Desviación de la línea principal
(promedio aritmético AA)

y = ordenada a la curva del perfil

L = longitud donde es medido el promedio.

Una aproximación de la rugosidad es obtenida añadiendo los incrementos de y como se observa en la siguiente figura:



No tomando en cuenta el signo y dividiendo la suma entre el número de incrementos, queda que:

$$Y_{AA} = \frac{Y_a + Y_b + Y_c + Y_d + \dots + Y_n}{n}$$

Los valores de rugosidad también se pueden dar en "RMS" (Root -- Mean Square) o sea la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de una serie de mediciones de la desviación de la línea cen-

tral (XX'), expresada en micras ó en micropulgadas. Matematicamente se le representa asi:

$$Y_{\text{rms}} = \left(\frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=1} y^2 dx \right)^{1/2}$$

Este tipo de promedio geometrico,es comunmente usado en mediciones electricas. Los aparatos para medir la rugosidad,calibrados para "RMS" generalm ente dan lecturas 11% más altas que los aparatos calibrados en "AA" (Promedio Aritmetico).

Como explica la Norma ANSI B46.1-1962,existe un 11% de diferencia teorica entre los promedios. Esta diferencia tiende a facilitar el el uso de dibujos que especificaban medidas o valores en "RMS" y la inspección con instrumentos calibrados en "AA",permitiendo la diferencia de valores hasta un 11% mayor de la especificada.

Esta diferencia,sin embargo es de menor magnitud que la variación de punto a punto en una superficie maquinada y considerablemente menor que la variación esperada de pieza en pieza. Por estas razones,y principalmente porque el limite absoluto de rugosidad para una función determinada,es usualmente indefinido, es-- practica común adoptar promedios aritmeticos para la fabricación-- de piezas.

Una aproximación al promedio geométrico es obtenida por la adición de los cuadrados de los incrementos de y , dividiendo la --

...

suma por el número de incrementos y aplicando la raíz cuadrada -- quedando:

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{y_a^2 + y_b^2 + y_c^2 + \dots + y_n^2}{n}}$$

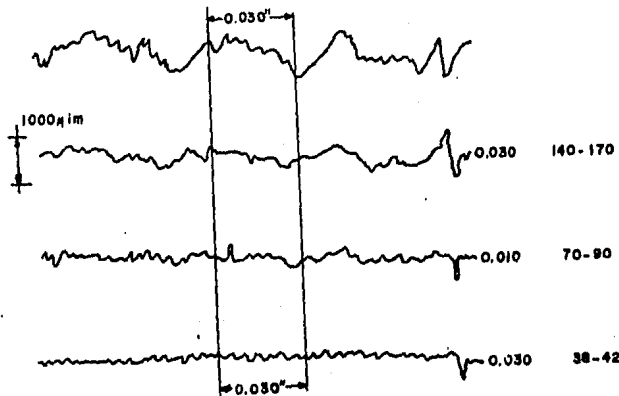
Entendiéndose que mientras más valores de Δy tengamos, el valor de la rugosidad será más exacto, cosa que los modernos equipos electrónicos, detectan infinidad de valores de Δy .

La ondulación, se refiere a aquellas irregularidades de la superficie nominal en el cual el espacio es mayor que la rugosidad. Estas irregularidades resultan de factores como vibración, flecciones, tratamiento, etc.

La altura es medida de cresta a valle y la longitud de la ondulación es medida entre ondas adyacentes.

El término "cutoff" es la máxima longitud medible (o ancho) de las irregularidades de la superficie, en la cual va incluida la altura de la irregularidad.

Los efectos de la variación del "cutoff" pueden entenderse mejor haciendo referencia en la siguiente gráfica.



El primer perfil es un trazo representativo de la superficie sin "cutoff", correspondiendo los siguientes perfiles a la misma superficie con diferentes valores entre 0.030" y 0.003". Se puede observar que el trazo con un valor de 0.030" incluye la mayor -- parte de las irregularidades mayores así como las pequeñas irregularidades de la superficie.

El trazo hecho con un valor de 0.010" excluye las grandes irregularidades, pero muestra las medianas y pequeñas; y el trazo de - 0.003" permite observar solamente las pequeñas irregularidades.- En este ejemplo el efecto de reducir el valor del "cutoff" ha re- ducido el valor de la altura de la rugosidad. Sin embargo, te -- niendo la superficie irregularidades no mayores que los del últi- mo trazo, las medidas de altura son las mismas para los tres va- lores de cutoff.

Es decir, todas las irregularidades teniendo un espacio menor -- que el valor del cutoff prefijado son incluidas en la medición.- Es obvio que si dicho valor es muy pequeño, no podrá incluir --- irregularidades de la superficie y los valores obtenidos no co- rresponderán con los valores de una lectura con un cutoff mas am- plio. Por ésta razón es muy importante seleccionar el valor de - cutoff para poder detectar todas las irregularidades superficia- les.

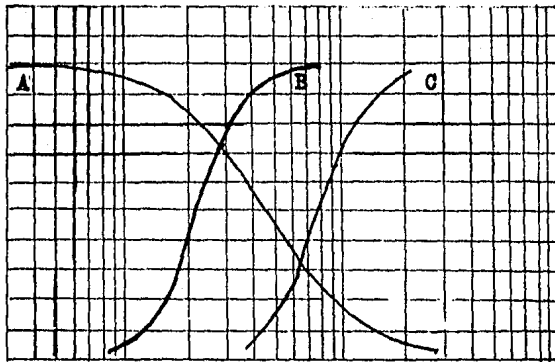
Los valores standars de cutoff son los siguientes:

...

0.003", 0.010", 0.030", 0.100"
0.300", 1.000"

El valor de 0.030" es preferido para casi todas las superficies-
y es el usado salvo que se especifique algún otro valor.

Usando un instrumento eléctrico, la rugosidad es separada de la-
ondulación por medio de un filtro de onda con una transmisión --
del tipo mostrado en la curva A de la siguiente figura:



Estos filtros aceptan o rechazan señales de acuerdo a la frecuencia, trabajan de acuerdo a la velocidad de traslación del sensor de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Velocidad de trazo}}{\text{Espacio de Crestas}}$$

Por ejemplo: Con una velocidad de trazo de 1 in/sec y el filtro solo permite el paso de marcas de herramientas con una distancia de 0.03 in rechazando las ondulaciones más espaciadas, obtenemos la frecuencia de 33 ciclos/seg.


La ondulación también es separada de la rugosidad por medio de filtros que atenúan las ondulaciones muy largas.

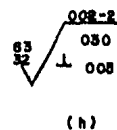
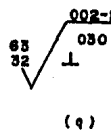
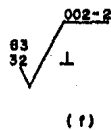
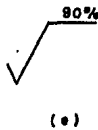
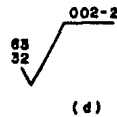
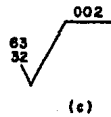
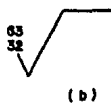
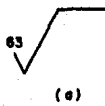
Como se observa en la curva B. Los filtros de ondulación difieren a los filtros de rugosidad en que los primeros transmiten los armónicos de ondulación sin interferir en los movimientos de rugosidad. Uno de los mayores problemas existen cuando el rugosímetro dá las lecturas, por medio de un switch que selecciona la escala.

Tomando en cuenta la disposición observada, un valor termina donde el otro empieza como se observa en las curvas A y C que se translapan o sobre enciman y a pesar de la atenuación hecha por el filtro, una superficie normal con distancia entre crestas cerca del valor de cutoff tendrá una lectura máxima de ondulación y rugosidad, por lo tanto es recomendable dejar un espacio entre la lectura de ondulación (final) y el principio de lectura de la rugosidad (inicial).

NOMENCLATURA

El símbolo adoptado para representar el acabado superficial es -

 siendo posible incorporar toda una serie de datos - o especificaciones en dicho símbolo, por ejemplo:



- a).- La rugosidad está escrita a la izquierda de la línea corta.
La especificación solo pide el máximo promedio. cualquier otro valor menor es aceptable.
- b).- Se especifica un valor alto y un valor bajo, indicando que el promedio de rugosidad debe quedar entre dichos valores.
- c).- Se especifica un valor máximo de ondulación (Cresta-Valle) altura en la parte superior del símbolo, permitiéndose cualquier valor menor.

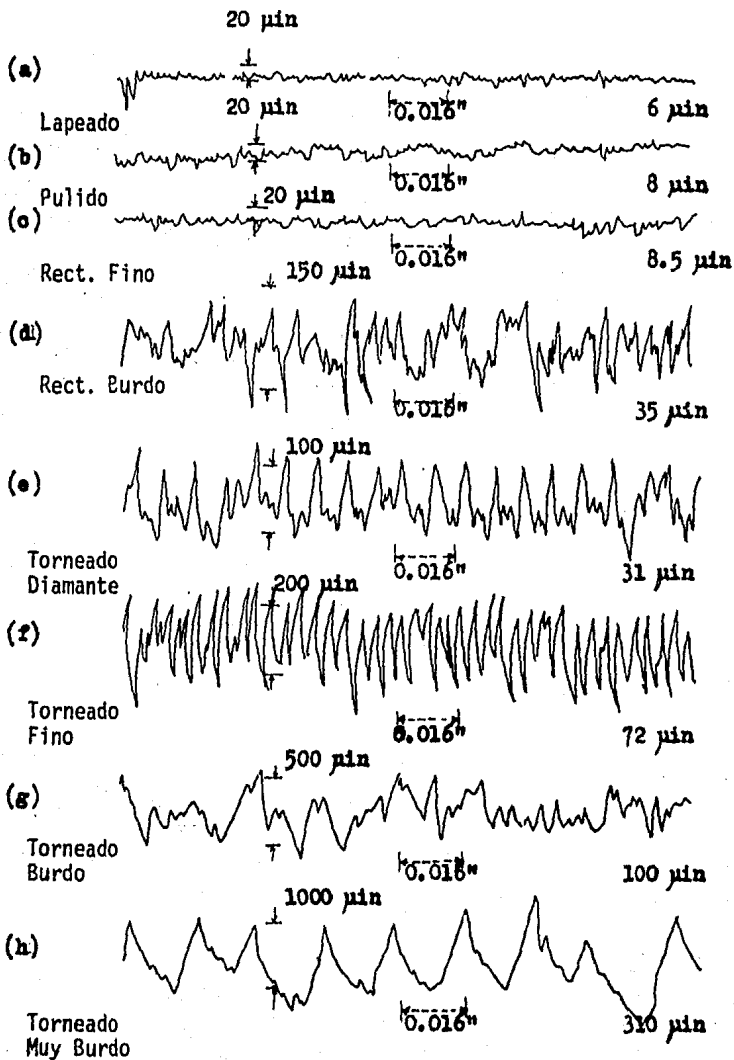
- d).- Se especifica un valor máximo de ondulación (longitud) a la derecha del valor de ondulación (altura). Cualquier valor menor es permisible.
- e).- Cuando se necesita controlar la ondulación, se especifica un valor en porcentaje.
- f).- El sentido ó orientación del acabado es indicado en el interior del símbolo.
- g).- El valor del cutoff es añadido al lado del símbolo de orientación.
- h).- Cuando se especifica, el valor máximo de la longitud de ondulación se expresa a la derecha del símbolo de orientación y abajo del valor del cutoff.

Por ejemplo, la figura h significa lo siguiente:

La rugosidad medida transversalmente al sentido de orientación con un valor de cutoff de 0.030" debe ser entre 63 y - 32 micropulgadas AA, y no debe tener una longitud ó anchura de rugosidad mayor de 0.005".

La altura de la ondulación medida en valle-cresta, no debe de exceder de un valor de 0.002" y la longitud ó ancho de la ondulación debe ser menor de 2.000".

Los perfiles mostrados en la siguiente figura señalan las diferencias entre los acabados superficiales obtenidos por diferentes métodos. El perfil clásico de irregularidades es usualmente cambiado según el método de acabado que se seleccione.



...

El perfil (a) muestra el acabado obtenido por el lapeado, el - cual es muy parecido al bruñido, considerándose los dos métodos, los más comunes para la obtención de acabados superficiales muy finos.

La calidad de una superficie maquinada debe ser incrementada de una manera crítica para poder cumplir con las normas que actualmente exigen los componentes tipo "superior" en calidad, longevidad y confianza. Piezas delicadas como partes de avión, automóvil, vehículos espaciales, órganos artificiales, etc., son sujetos a las más desfavorables condiciones de tensión, temperatura y ataque por la misma naturaleza, cumpliendo al mismo tiempo la función para la cual fueron diseñadas; se demuestra que el acabado superficial en especial en piezas sujetas a fatiga, es de vital importancia, tanto en el aspecto de medida topográfica superficial como en los aspectos de superficie metalúrgica, siendo ésta última un estudio de la configuración estructural producida por el maquinado.

La naturaleza del acabado superficial tiene fuerte influencia en la fatiga y en otras propiedades de la pieza.

Los requerimientos de acabado superficial, son muchas veces específicos para cada pieza, tomando en cuenta los factores antes mencionados, (temperatura, área de contacto, etc.), los podemos clasificar en dos grupos:

...

Rodamientos (Baleros) Levas y Engranes.-

Éstos componentes son objeto de rozamiento o fricción, muchas veces bajo condiciones de poca o ninguna lubricación. En particular los rodamientos antifricción son llamados así por la dureza de su superficie, su textura y en especial, por la inclinación y radio de la curvatura de las asperezas. La falla de un rodamiento ocurre por lo general cerca o en la superficie de contacto. La eliminación de los esfuerzos residuales también es importante para este tipo de piezas.

Componentes Estructurales.-

Estos incluyen ejes, bielas, turbinas, discos, estructuras de avión, alas, alerones, timones y engranes del tren de aterrizaje.

En componentes estructurales, el acabado superficial está entre los 16 $\mu\text{in AA}$ y 100 $\mu\text{in AA}$. Estos componentes estructurales están expuestos a la falla por fatiga o tensión por corrosión, siendo necesario para estas partes, el tener un acabado superficial sin puntos de ruptura en la superficie.

Acabados superficiales producidos por diferentes maquinados:

Los rangos comerciales de los acabados superficiales producidos por varios tipos de maquinado, son mostrados en la siguiente figura:

TIPO DE SUPERFICIE	RUGOSIDAD (UIN)	ARREGLO DISPOSICION	CUTOFF MIN. (IN)
Bruñido Lapeado	2	Paralelo a la mayor di mensión	0.030
Rectificado Rueda periférica	4	Paralelo a la mayor di mensión	0.030
Rectificado Rueda plana	4	Angular	0.030

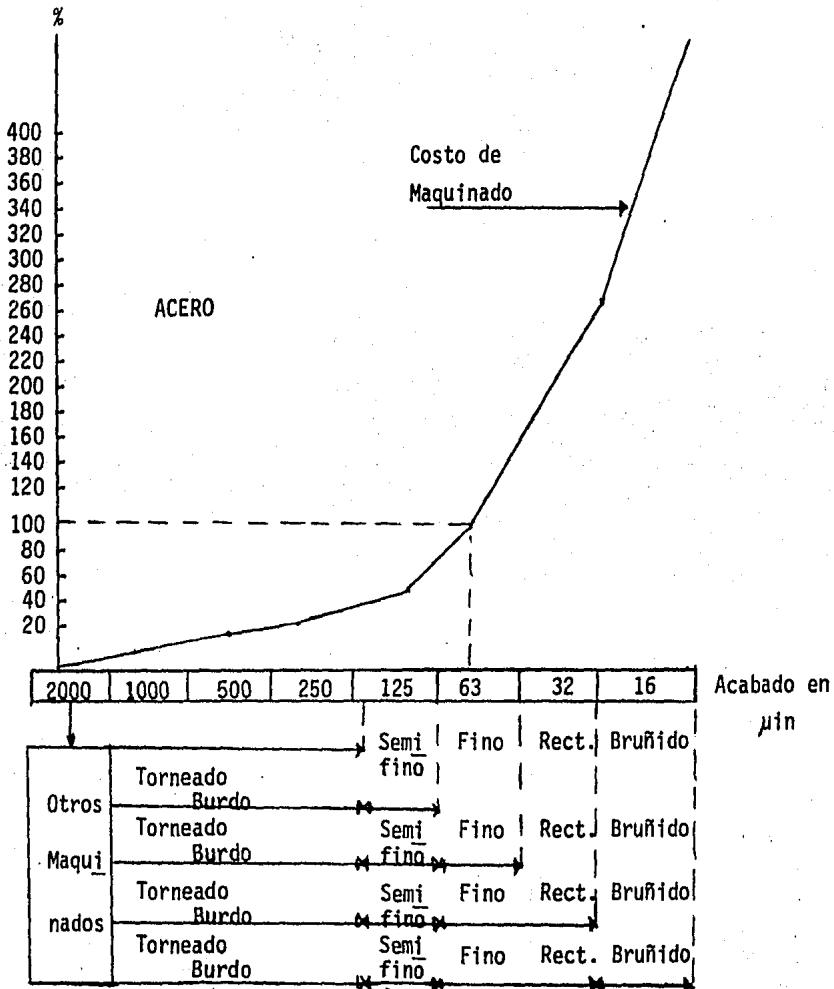
En la cual se puede apreciar que el bruñido, junto al lapeado -- produce el mejor acabado superficial obtenible comercialmente.

Costo de maquinado / Acabado superficial.

El costo de producir una superficie maquinada se incrementa según se incremente el acabado superficial. Ciertas operaciones como un torneado burdo o un fresado son necesarios para generar el contorno de la pieza, pero para darle un acabado superficial son necesarias operaciones adicionales.

En la tabla mostrada a continuación, los acabados hasta 63 μ IN o más burdos pueden ser obtenidos a un costo razonable, en el caso del acero, por operaciones de semiacabado.

Al necesitarse operaciones de acabado, el costo se incrementa rápidamente, y debe ser justificado por el uso que se le asigne a la pieza en cuestión.



CAPITULO III

BRUNIDO

El Bruñido es un método abrasivo de baja velocidad, las herramientas usadas son blocks de dimensiones controladas fabricadas de granos abrasivos unidos entre sí, las cuales se forzan contra la superficie con un movimiento combinado de rotación y traslación.

La anterior definición se considera como de "uso industrial"; de hecho la palabra bruñido se usa para definir un proceso para generar superficies planas por la acción rotativa del abrasivo con la superficie a rectificar.

En el bruñido la herramienta abrasiva o segmento no cubre la totalidad de la superficie a trabajar, teniendo solamente una línea de contacto y la posición de la herramienta es controlada en dos sentidos: a) la orientación para producir el contorno axial correcto de la pieza y b) la localización para asegurar el correcto cruzado (redondez) y tamaño (diámetro) de la superficie a trabajar.

De acuerdo a lo anterior, otros métodos de rectificado han sido desarrollados, los cuales trabajan también con segmentos abrasivos que atacan las paredes de la pieza, acompañados con un movimiento relativo entre la pieza y

la herramienta.

Estos métodos parecidos al bruñido difieren por lo menos en dos aspectos importantes:

- a) la localización radial de los segmentos es controlada externamente y no por el contorno de la pieza como en el bruñido de interiores. y
- b) un rápido, corto movimiento recíprocante es sustituido por el lento y largo movimiento recíprocante del bruñido.

Estas diferencias en la operación de los dos sistemas, algunas veces se confunden en las características de diseño de un equipo en particular, combinando las capacidades de los métodos mencionados.

La localización de los segmentos abrasivos con respecto a la superficie, asegura un excelente efecto de redondez cuando se utiliza en interiores, lo cual representa el principal campo de acción de este rectificado.

Por el otro lado, el rápido y corto movimiento recíprocante de los segmentos abrasivos generan un magnífico acabado superficial. Esta capacidad es considerada la característica principal de ese método, por lo que se le designa con el nombre de "micro bruñido" el cual será mencionado posteriormente.

El bruñido es un rectificado relativamente nuevo, diseñado originalmente para reacondicionar los cilindros de los motores y posteriormente otra serie de piezas como son por ejemplo: cilindros hidráulicos, válvulas de control, alimentadores de tolva, etc.

El proceso original para reparar los cilindros de motores consistía en montar una cabeza bruñidora compuesta de varios segmentos abrasivos en disposición radial y paralelos entre sí, con ajuste de tipo manual para lograr la expansión de la herramienta.

Dicho cabezal es introducido en el cilindro, expandiendo los segmentos abrasivos hasta quedar finalmente sujetos en las paredes metálicas; y con una unidad de fuerza que puede ser un motor eléctrico o un taladro, se aplica una fuerza de rotación a través de un conjunto de juntas universales. Desplazando dicha cabeza en el sentido axial del cilindro, se genera un ángulo de cruzamiento en la superficie de la pieza, siendo éste el acabado superficial clásico del bruñido.

Los principios básicos de este método introducido en 1920, se mantienen actualmente pasando por modificaciones, como hasta la fecha se le conoce.

El bruñido lo podemos clasificar de la siguiente manera:

- 1.- Interiores
- 2.- Exteriores
- 3.- Micro Bruñido
- 4.- Bruñido Electroquímico
- 5.- Bruñido de Forma.

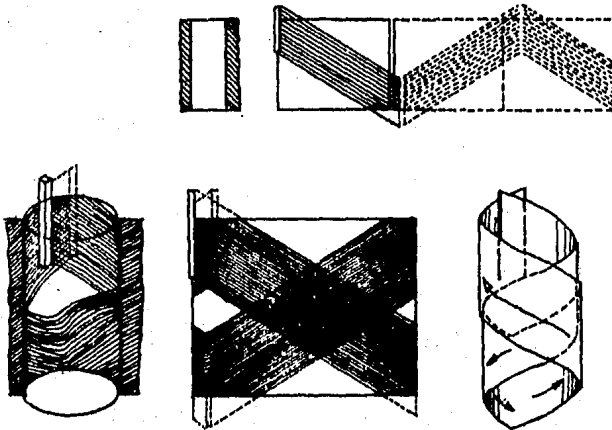
...

1.-BRUNIDO DE INTERIORES.-

En las aplicaciones del más común método de bruñido de interiores, los segmentos abrasivos son forzados contra la superficie de trabajo con una combinación de movimientos rotatorios y transversales sucesivos entre los segmentos y la pieza.

El movimiento rotatorio es generalmente aplicado a los segmentos los cuales son retenidos en el cabezal el cual está diseñado para ejercer la fuerza necesaria para desgastar el abrasivo contra las paredes.

Las marcas de contacto son inclinadas hacia el eje de la pieza y cruzándose simultáneamente, produciendo un rayado típico del método y generalmente llamado "cruzado".



Este método, si bien usando herramienta abrasiva en forma de segmentos, es muy similar en su composición con las ruedas abrasivas, difiere en varios aspectos: la velocidad de operación, la cual es muy lenta, aproximadamente en una relación de 1:50 en comparación a la velocidad de la rueda abrasiva en el rectificado de interiores.

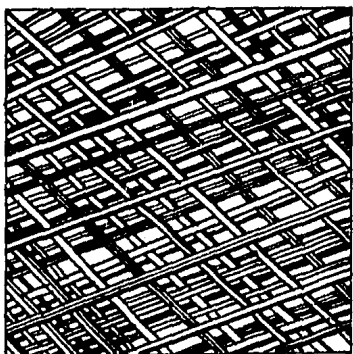
La similitud entre el bruñido y el rectificado es la formación de viruta, sacando ambos procedimientos material en forma de rebaba, los cuales son más largos en el bruñido que en el rectificado. Esta diferencia en la longitud relativa de la rebaba es debida al continuo contacto de los granos abrasivos con la superficie.

La velocidad de corte la cual resulta de dos componentes, la rotacional y la recíproca debe mantenerse para conservar las propiedades de corte de los segmentos abrasivos.

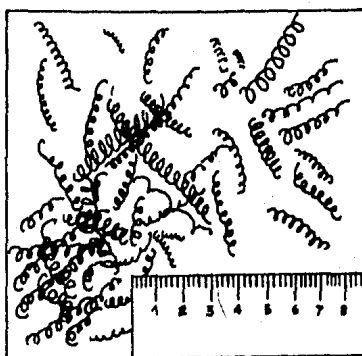
En general las velocidades aplicadas en el bruñido están en los siguientes rangos:

Para rotación:	50-140 fspm	15.25-42.70 mspm
Para movimiento alternante:	5-80 fspm	1.52-24.4 mspm

...



Acabado Superficial generado
en una superficie metálica.



Rebabas obtenidas durante
el bruído.

La velocidad rotacional deberá incrementarse:

- a) para material suave
- b) para superficies que no posean una acción de afilado en los abrasivos, como un acabado burdo proveniente de la operación anterior, o interrupciones del barre no o deformaciones por el tratamiento térmico.

La velocidad rotacional deberá disminuirse:

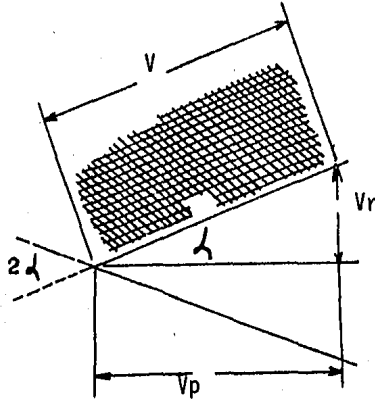
- a) Proporcionalmente al área del abrasivo (área del --- abrasivo por número de abrasivos), en relación con -

el área de la pieza a rectificar.

A mayor porcentaje de área de la pieza, en contacto con los abrasivos, menor debe ser la velocidad rotacional.

La velocidad del movimiento recíprocante tiene el efecto de afilar los abrasivos, a mayor velocidad se incrementa la acción de afilado, ocasionando un poco de acabado rugoso. La velocidad recíprocante en relación a la velocidad rotacional es sin embargo usualmente determinada con el objeto de producir el ángulo de cruzamiento en la superficie. Por lo general un ángulo de 20° a 40° genera una superficie con buenas cualidades para retener aceite.

La figura muestra como la relación entre la velocidad periférica y la velocidad recíprocante determina el ángulo del acabado cruzado del bruñido.



$$\tan \alpha = \frac{V_r}{V_p}$$

La velocidad de corte resultante de éstos dos componentes puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{V_p^2 + V_r^2}$$

donde: V = Velocidad de Corte.

V_p = Velocidad Periférica.

V_r = Velocidad Reciprocante.

La longitud de la carrera es usualmente seleccionada para asegurar que una porción de la piedra, alrededor de 1/3 ó 1/4, de su longitud sobresalga del agujero al finalizar un ciclo.

Este procedimiento asegura un desgaste uniforme en los abrasivos y evita la deformación de la pieza.

Cuando se bruñen piezas con agujeros ciegos, es decir, no tienen salida, este método de ajuste no es aplicable, necesitando la pieza un desahogo aproximadamente de 2/3 partes de la longitud de la pieza, y generalmente los abrasivos se montan en un portapiedra modificado, llegando el abrasivo hasta el extremo.

Es recomendable empezar el rectificado de éstas piezas, en la parte cerrada e ir ampliando la longitud de la carrera hacia la parte abierta, para lo cual la mayoría de las máquinas cuentan con ajustes de carrera.

La presión de corte mantiene los abrasivos o piedras contra la superficie de trabajo. Esto asegura la penetración de los granos abrasivos dentro del material a rectificar y ayudar a mantener las piedras abrasivas en condiciones de corte.

La presión puede fijarse fácilmente en la operación de rectificado, ya sea desde un simple resorte o más complicado como un sistema hidráulico.

La expansión del abrasivo puede ser controlado manualmente o en máquinas más complejas de una manera automática. En cualquier sistema la cantidad total de alimentación debe fijarse antes de empezar la operación para asegurar un control dimensional adecuado.

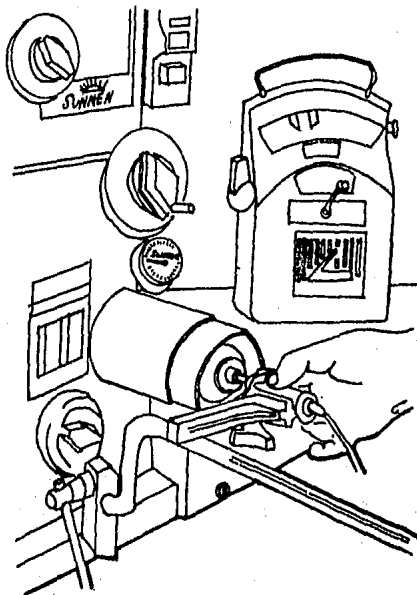
La compensación por el desgaste del abrasivo ya sea manual o automático es por lo general integral a un equipo de medición el cual mide el tamaño actual del barreno durante la operación de bruñido.

La alineación de la herramienta y la pieza por lo general se efectúa por un sistema de auto centrado similar -

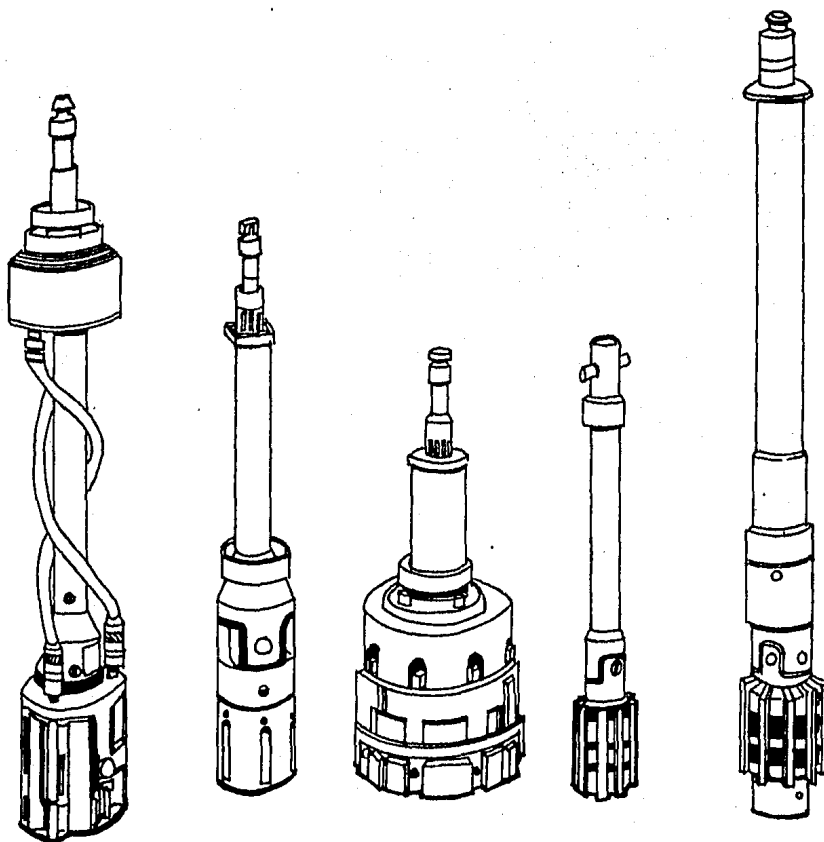
al usado en la operación de rimado, en el cual el eje rotacional de la herramienta es alineado con el eje de sujeción del barreno a rectificar.

Al decir eje de sujeción del barreno nos referimos al eje del barreno no terminado independiente de su localización y orientación con respecto a otras referencias de la pieza. Varios métodos alternativos son usados según el tipo de máquina que se utilice para proporcionar las condiciones de auto alineación entre la herramienta y la pieza de trabajo.

a) En el bruñido con movimiento recíprocante manual, la herramienta gira alrededor de un eje fijo, pero la pieza tiene movimiento lateral libre y es guiada por el mandril.

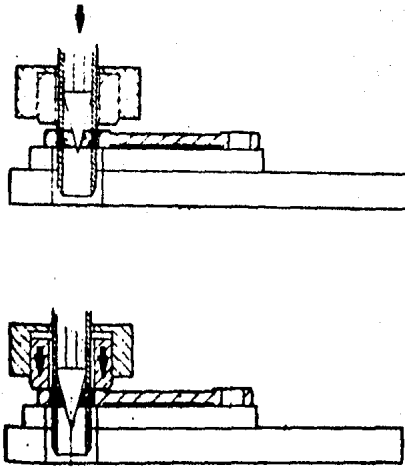


b) Piezas pesadas las cuales debido al volumen o al peso no pueden mantenerse sobre el mandril o herramienta, - rectificándose en máquinas con cabezas montadas en flechas contando con movimiento de rotación y traslación y juntas universales.



- Cabezales Bruñidores mas usados, modtrando los segmentos abrasivos en arreglo radial.

- c) Los principios de un sistema de localización para asegurar una correcta alineación entre la herramienta de bruñido y la pieza a rectificar en un dispositivo rígido, son mostrados en la siguiente figura. Este sistema combina la acción flotante con un poco de fricción; la pieza es localizada por la alineación del barreno con la cabeza de bruñido y fijada solamente después de la correcta alineación.



Características operacionales del Bruñido.

Una gran cantidad de material a remover y un acabado fino son ejemplos por los cuales es necesario subdividir el proceso de bruñido en desbaste y pulido.

Las propiedades inherentes del proceso pueden involucrar un método automático de control el cual es adecuado para

muchas operaciones. La característica de auto afilado - en el abrasivo de un grado determinado son factores importantes de control. Cuando la operación empieza con abrasivos afilados y la presión de corte se mantiene a un nivel constante, los granos abrasivos primero penetran fácilmente en el material resultando un buen desbaste.

Esta condición se mantiene hasta que se eliminan las irregularidades del barreno abajo del maquinado anterior, en donde la gran área de contacto reduce la acción de afilado y la superficie de la piedra se vidrea.

En ésta condición las piedras cortan menos pero producen un mejor acabado superficial, lo cual es lo deseable en el bruñido.

En alta producción, este control no es lo suficientemente consistente obligando a tener dos operaciones, desbaste y pulido con abrasivos de diferentes especificaciones, diferente presión de corte y velocidad.

Dichas operaciones son frecuentemente llevadas a cabo en máquinas de dos husillos usando dispositivos para la transferencia de la pieza desbastada a la posición de pulido, sin necesidad de volver a sujetar.

HERRAMIENTAS DE BRUNIDO

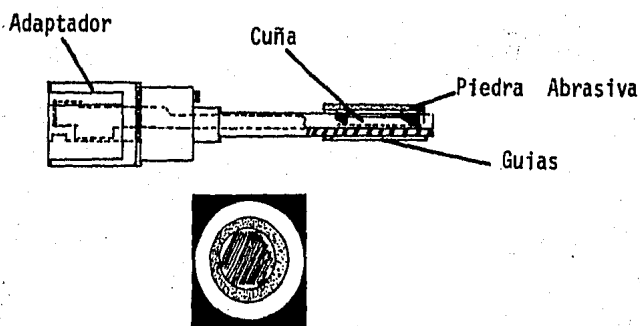
La remoción de material en el bruñido, se efectúa por el arranque de virutas de pequeñas dimensiones debido a la acción de los segmentos abrasivos o piedras. La piedra es mantenida en un mandril un cabezal, variando el número de piedras de una a ocho o más de acuerdo al sistema y al diámetro a rectificar.

Las piedras son abrasivas en polvo unidas entre sí por medio de una liga (Resinoide, Vitrificada, etc.), de ciertas dimensiones, o están montadas en un portapiedras de metal o plástico.

Las piedras están sujetadas en el mandril o cabezal de manera que permita la rápida sustitución, dando además una segura retención y precisa orientación.

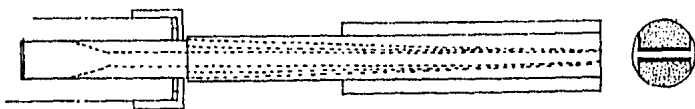
Las piedras descansan sobre una superficie cónica, la cual es una cuña o un cono. El movimiento axial de éstos soportes cónicos controlan el diámetro efectivo de la herramienta.

Cuando se usa una sola piedra como se aprecia en la siguiente figura:

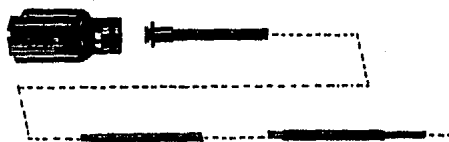


Se observa que está en posición radial con respecto a la superficie a rectificar, debiéndose de contar con dos guías, localizadas en posición no simétrica con relación a la piedra en un acomodo que corrige el ovalamiento de la pieza.

El sistema de dos piedras, usado en la figura siguiente proporciona una área de contacto grande, el cual con las piedras de grano adecuado y ajustado a las condiciones de contacto se puede usar en un rango de 0.250" hasta 3.0" (6.4 mm. a 76.2 mm.) de diámetro.

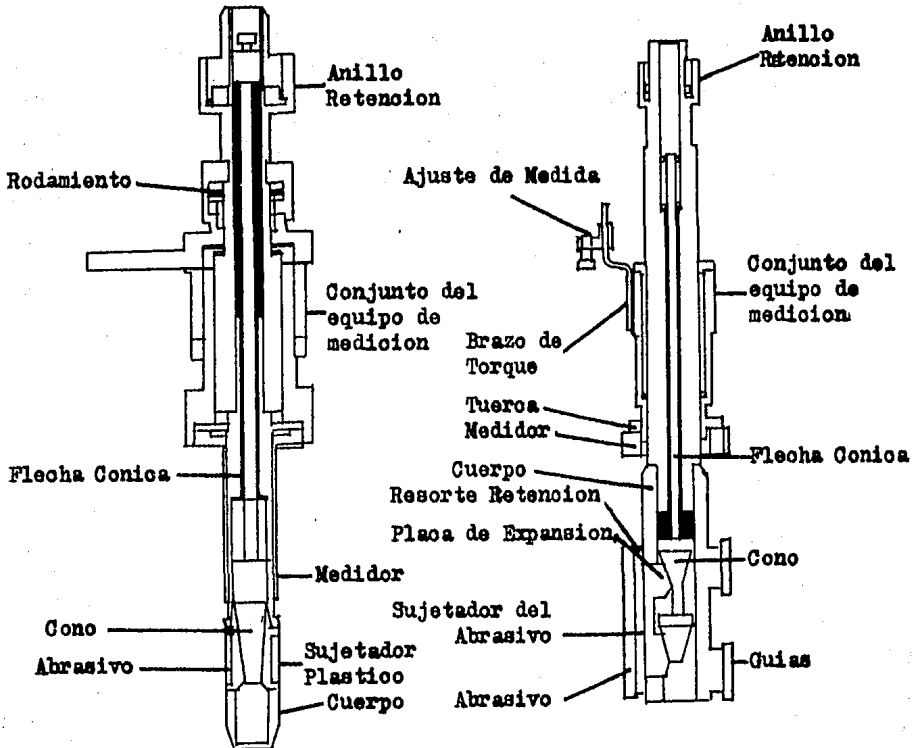


El Cabezal mostrado en la siguiente figura es muy similar en diseño a las herramientas manuales originales. Esta herramienta tiene cuatro piedras en soportes individuales mantenidos en su lugar por resortes los cuales permiten ajustarla a la medida necesaria por medio de un anillo graduado.



En la siguiente figura se muestra el diagrama de dos tipos de cabezal bruñidor, uno con un solo cono y el otro con dos conos, lo cual permite montar piedras más largas. Estos cabezales son usados en máquinas de alta producción tomando en cuenta que el cabezal sencillo puede trabajar hasta 3.500" (88mm) y el cabezal doble desde 2.500" (63 mm) hasta 20.000" (508 mm).

El número de piedras usado en éstos cabezales varía de acuerdo a las dimensiones del barreno y demás condiciones, siendo lo más común usar de cuatro a ocho piedras.



Las piedras abrasivas osticks usadas en el bruñido son fabricadas con ligas vitrificadas, resinoides o especiales, como el carbón o bronce en dureza determinada cuidadosamente para dar las propiedades de corte y acabado superficial en condiciones determinadas.

Los abrasivos comunmente usados son: Oxido de Aluminio (Al_2O_3), -- Carburo de Silicio (SiC), Diamante y Nitruro de Boro (Borazón). El óxido de aluminio se utiliza para aceros suaves ó templados; el carburo de silicio para fierro colado y materiales muy duros; el -- diamante para el carburo de tungsteno y el borazón para aceros templados muy especiales.

La siguiente tabla marca las durezas recomendadas para el bruñido - de acero.

PROCESO	ACERO TEMPLADO	ACERO SUAVE
DESBASTE	L - M	P - R
PULIDO	I - K	O

La dureza en los segmentos abrasivos se identifica de la manera siguiente:

A = Suave

Z = Duro

Por lo que se entiende que un abrasivo marcado con la letra K ó M - tendrá una dureza media.

La relación entre el tamaño del grano y el acabado superficial obtenido se muestra en la siguiente tabla, haciendose notar que estos - valores pueden variar debido a la presión aplicada en el abrasivo.

Tamaño del grano	ACABADO	SUPERFICIAL
	Micropulgadas AA	Micras Ra
150	20	0.5
220	18	0.45
280	12	0.30
320	10	0.25
400	5	0.125
600	2	0.05

Estos valores son aplicables en acero templado. Los mismos abrasivos cuando se usan para bruñir acero suave o hierro colado producen un -- acabado 50% mayor que el indicado para el acero templado.

Control de medida en ciclos automáticos.

Las máquinas bruñidoras de ciclo automático operan con dispositivos - de control de medida integrales a la operación de rectificado.

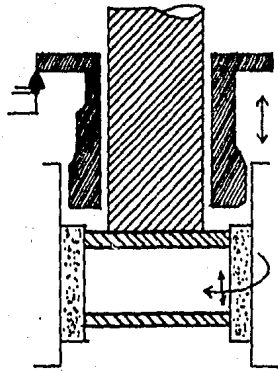
Estos dispositivos miden continuamente el tamaño del barreno durante - la operación de bruñido. Cuando la medida final se alcanza la máquina pone en marcha un mecanismo que detiene la expansión de las piedras.

Dicho mecanismo frecuentemente incluye el abatimiento de las piedras y la salida del cabezal del agujero rectificado.

Diferentes métodos de control son usados para las máquinas de ciclo-automático, ofreciendo cada uno ventajas para casos particulares.

Dispositivos mecánicos.-

El principio de este sistema es comparable al usado en un rectificado de interiores usando un probador con movimiento lateral libre o de flotación y un deslizamiento axial pero no rotativo, instalado en el cabezal bruñidor arriba de las piedras como lo muestra la siguiente figura:



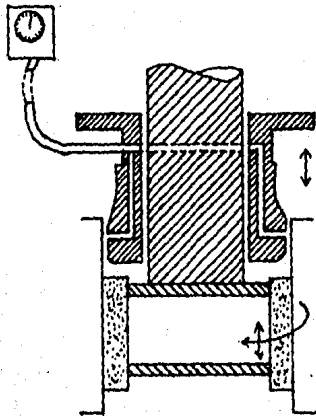
El probador está bajo la acción de un resorte tratando de entrar al -
barreno al final de cada movimiento recíprocante. Tan pronto el barre-
no alcanza la medida que acepta al probador, la entrada de éste produ-
ce una señal que detiene el proceso.

Este proceso se usa para controlar piezas en un diámetro de 0.375" --
(9.525 mm) a 12,000" (304.8 mm) con una repetibilidad de 0.00015" ---
(0.0038 mm) y bajo condiciones bien controladas se pueden obtener va-
lores menores.

Una de las ventajas de este tipo de control es que la operación no es
afectada por interrupciones del barreno como cuñeros o lumbreras, los
cuales interfieren con los mecanismos de control neumáticos.

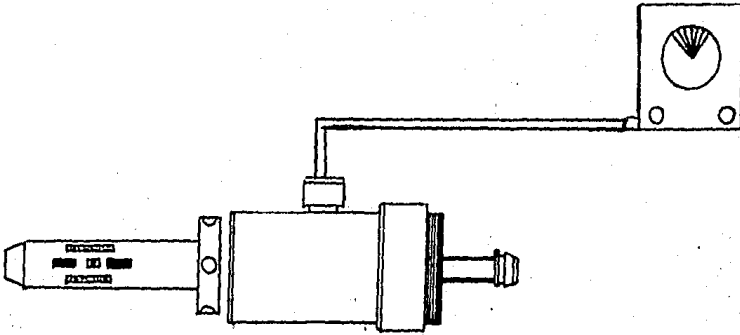
Dispositivos de control Neumáticos.-

Estos dispositivos son instalados de manera similar a los dispositi-
vos mecánicos en la cabeza bruñidora arriba de las piedras, en una po-
sición que asegure que el medidor entre al barreno con cada movimien-
to recíprocante de acuerdo al siguiente diagrama:



Este dispositivo permite además medir de una manera continua el desarrollo de la operación.

Otro sistema de medición neumática usado en el bruñido con sistema-automático de control, es limitado a aplicaciones especiales en equipos que incorporan control de fluidos. En este sistema las boquillas del equipo neumático de medición, están interconstruidas en el cuerpo del cabezal de bruñido. La señal de paro de la operación es registrada al momento de obtener la adecuada diferencia entre el diámetro del agujero y las boquillas.

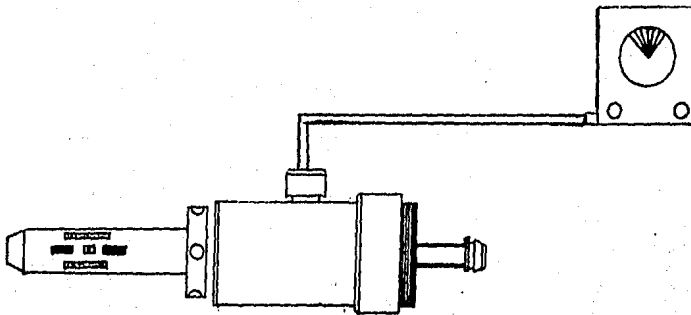


Anillos patrones

Los anillos instalados a una altura determinada por arriba del agujero y entrando al final de cada carrera de la herramienta de bruñido, se utilizan en equipos que tienen piedras abrasivas moldeadas en guías de plástico, que se gastan junto a las piedras abrasivas. La parte de la guía de las piedras entra en el anillo patrón y cuando la expansión de las piedras alcanza el diámetro correspondiente a la medida final del agujero, el contacto hacerirar el anillo, mandando la señal que termina el proceso.

Este dispositivo permite además medir de una manera continua el desarrollo de la operación.

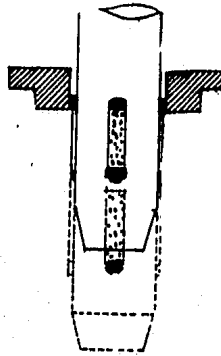
Otro sistema de medición neumática usado en el bruñido con sistema automático de control, es limitado a aplicaciones especiales en equipos que incorporan control de fluidos. En este sistema las boquillas del equipo neumático de medición, están interconstruidas en el cuerpo del cabezal de bruñido. La señal de paro de la operación es registrada al momento de obtener la adecuada diferencia entre el diámetro del agujero y las boquillas.



Anillos patrones

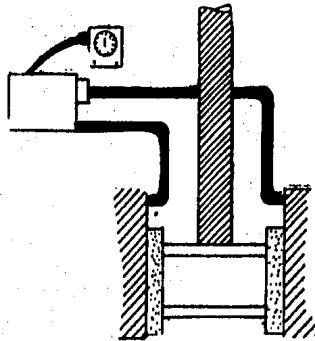
Los anillos instalados a una altura determinada por arriba del agujero y entrando al final de cada carrera de la herramienta de bruñido, se utilizan en equipos que tienen piedras abrasivas moldeadas en guías de plástico, que se gastan junto a las piedras abrasivas. La parte de la guía de las piedras entra en el anillo patrón y cuando la expansión de las piedras alcanza el diámetro correspondiente a la medida final del agujero, el contacto hace girar el anillo, mandando la señal que termina el proceso.

Este sistema se muestra en la siguiente figura y es muy utilizado en diámetros pequeños.



Los equipos electrónicos cuyos principios de operación se muestran en la siguiente figura, usan dos palpadores en posición simétricamente-opuesta, para hacer contacto con las paredes de agujero e ir registrando cada variación a medida continuamente.

Limitando la retracción de los palpadores, el rango de movimiento de los mismos es menor, permitiendo mayor respuesta aunado a una mayor precisión en la determinación de la medida del barreno.



Eficiencia del proceso.-

Uno de los aspectos más importantes de cada maquinado es la eficiencia, generalmente medida por la cantidad de material removido; considerando solo este aspecto el bruñido no es muy eficiente, más --- bien está lejos de serlo en comparación de otros métodos como son - el mandrinado, el rimado y el rectificado. Sin embargo cuando se -- trata de acabados superficiales muy estrictos, en aceros templados, ú otro tipo de material la lista de operaciones se reduce solamente al lapeado y al bruñido.

La cantidad removida de material, sin embargo es solamente la manera por el cual el objetivo final, además de producir un acabado superficial y un control dimensional en la pieza, es obtenido. El volumen de material, que debe ser removido en la operación de maquinado y el tipo de maquinaria, es determinado por los requerimientos del proceso de fabricación. El bruñido, tiene ventajas muy positivas -- sobre el rectificado, debido a las diferencias tecnológicas entre - si, siendo que el bruñido reduce la disponibilidad del equipo, comparado con el que se necesitaría para un proceso de rectificado.

Por ejemplo:

El bruñido es auto-centrable, compensado automáticamente en las variaciones geométricas de la pieza.

El rectificado no es auto-centrable, dependiendo de la geometría alo largo del eje de referencia, requiriendo ajustes para compen---

sar las variaciones en la posición del eje con respecto al eje de la pieza a rectificar.

En el rectificado de interiores la flexión del husillo se refleja en una variación en la precisión, siendo un factor que se incrementa de acuerdo al diámetro y a la longitud de la pieza. Dicho efecto se -- considera cuando se establece el proceso de fabricación.

La cabeza de bruñido, es auto soportada por las paredes del barreno, no presentando ningún tipo de flexión.

Los errores geométricos en las piezas, antes de la operación de rec tificado, como son el ovalamiento, falta de alineación, o de paralelismo, las cuales causan un contacto intermitente en la fase del principio del rectificado, contribuyendo a vibraciones del husillo, las cuales no causan efecto en la estabilidad de las cabezas bruñidoras, las cuales son auto-centrables y piloteables en el barreno, - absorbiendo las irregularidades del maquinado.

Lo anterior mencionado, y ocasionalmente otras características favorables, permiten quitar relativas cantidades de material en piezas de acero templado. Es una práctica común el especificar la cantidad a remover al diámetro como el doble de la irregularidad más --- grande que se detecta para que sea corregida por el bruñido.

La cantidad de material a remover por el bruñido, tomando en cuenta una producción regular es indicada en la tabla siguiente:

LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN PULGADAS Y MILIMETROS (mm).

DIMENSIONES DIAMETRO X LONGITUD	ACERO TEMPLADO	ACERO SUAVE	FIERRO COLADO
	VELOCIDAD DE REMOCION DEL MATERIAL POR MINUTO / DIAMETRO		
3/8 X 1 3/8 (9.52X34.9)	0.010 (0.254)	0.021 (0.534)	0.032 (0.81)
5/8 X 2 1/8 (15.9X54.0)	0.006 (0.15)	0.014 (0.36)	0.019 (0.44)
7/8 X 2 7/8 (22.2X73.0)	0.004 (0.10)	0.009 (0.23)	0.014 (0.36)

Los valores mostrados se consideran como penetración en "metal base". Este término significa que es metal al cual se le han quitado las -- irregularidades naturales del maquinado y las piedras abrasivas hacen contacto totalmente en la superficie del barreno.

En alta producción, usando cabezas con múltiples portapiedras y dispositivos mecánicos de sujeción, éstos valores son incrementados.

Algunos fabricantes de éstos equipos recomiendan usar el bruñido en suave como técnica alternativa de otros métodos como el mandrinado o rimado.

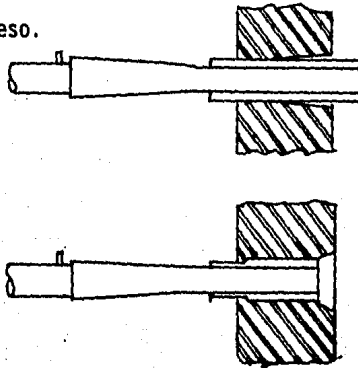
Capacidades del Bruñido.-

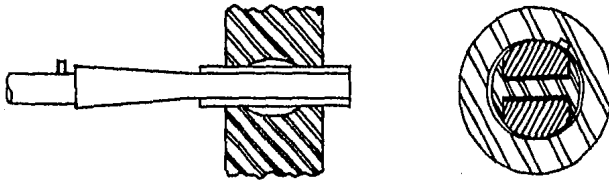
El término capacidades lo usaremos como sinónimo del potencial del bruñido de generar superficies, particularmente agujeros cilíndricos de acuerdo a requerimientos específicos.

La geometría de forma.- El paralelismo y redondez de los agujeros redondos, es un parámetro de gran importancia para el funcionamiento de partes mecánicas. Los principios del bruñido, con el auto-centrado automático que localiza el eje neutral del agujero y genera una nueva superficie en relación a ese eje, son particularmente usados para generar paralelismo y redondez removiendo la mínima cantidad de material en un tiempo muy corto.

La relativa gran longitud de las piedras abrasivas, capaz de saltar secciones cóncavas de la superficie y de concentrar efectos abrasivos en áreas protuberantes es una característica de éste método, en particular cuando se necesita una corrección en la forma del barreno.

Los cuatro diagramas de la siguiente figura, muestran unos cuantos tipos de irregularidades en los cuales se ha comprobado la calidad de éste proceso.





La gran área de contacto de las piedras, combinada con el uso de -- múltiples piedras ó de posiciones no-simétricas de los zapatas de -- apoyo en los mandriles de una sola piedra, son características de -- diseño que generan agujeros redondos. Ejemplos de formas irregula -- res pueden ser corregidas por éste efecto de redondez como son la -- elipse, la forma de huevo, lobulares, y las ondulaciones periféri -- cas, de baja y alta frecuencia, incluyendo las marcas de vibración.

Acabado superficial.- La gran versatilidad de controlar el proceso -- de bruñido, como es el cambiar el tamaño del grano, y el grado de -- la liga de las piedras, la presión de las piedras contra las pare -- des de la pieza, la cual puede ser constante ó el bruñido, el cual -- opera a baja velocidad y a una presión específica.

Control Dimensional.-

En discusiones previas hemos establecido que el control dimensio -- nal es variable según el método de bruñido usado. En operaciones -- manuales el diámetro comprendido entre 1/2" y 2" (13 mm y 50 mm) -- puede ser mantenido con una variación de 0.0002" (0.005 mm).

Siendo el control dimensional más preciso en sistemas automáticos, las tolerancias son menores y más fácilmente alcanzables. Estas tolerancias pueden compararse con las del rectificado de interiores, pero por lo general se requieren máquinas diseñadas especialmente para disminuir al final del ciclo, y las diferentes velocidades -- del movimiento recíprocante y rotacional, todo aunado, permite generar el tipo de acabado superficial requerido.

Este acabado superficial puede variar desde 64 a 32 micro pulgadas AA (1.6 a 0.8 micras R A) en desbaste y 4 micropulgadas AA (0.01 - micras R A) o menos para un acabado de alta calidad.

Integridad Superficial.-

El bruñido es un proceso llamado "frío" y opuesto al rectificado - el cual localiza el calor en una zona, afectando la integridad de la superficie. Los esfuerzos tensionales subsuperficiales y el patrón de una superficie descarburizada clásicos del rectificado, no aparecen en el bruñido, siendo una de sus características más importantes.

Otra importante circunstancia que debe ser tomada en cuenta entre estos métodos, es la excelente redondez y paralelismo de los agujeros bruñidos con longitudes varias veces más que el diámetro. Cuando la tolerancia del diámetro es mantenida a lo largo del barrenado el paralelismo se puede mantener en el orden de 0.000050" (0.00125 mm). Estas especificaciones son sencillas de dar en el bruñido, -- pero extremadamente difícil para el rectificado por la longitud.

Aplicaciones del bruñido.-

El bruñido es un maquinado de alta precisión usado frecuentemente para terminar agujeros o barrenos de piezas que por su función o finalidad necesitan gran perfección.

Condiciones óptimas para el Bruñido.-

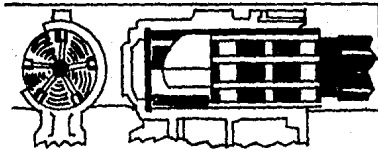
a).- Las dimensiones generales del agujero a rectificarse son más allá o en la línea de lo permitido para el rectificado de interiores, este es el caso particular de:

- 1.- Agujeros con diámetros muy pequeños y relativa gran profundidad.
- 2.- Agujeros profundos de cualquier medida, cuando la longitudes varias veces el diámetro.
- 3.- Agujeros muy largos con longitudes varias veces mayores que los diámetros, como el caso de un tubo.

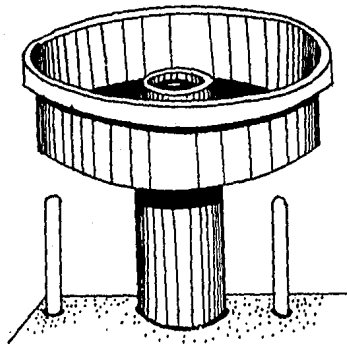
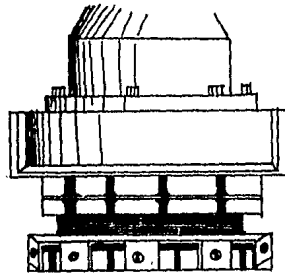
b).- La forma del agujero ó su geometría exterior no se adapta para el rectificado ó requiere del diseño de máquinas especiales, -- siendo que en el bruñido usado se diseña la herramienta.

Ejemplos de formas especiales donde se requiere herramienta sobre diseño son:

- 1.- Agujeros ininterrumpidos, se pueden bruñir con herramientas donde se contienen piedras abrasivas y calzas en varios grupos, localizados en posiciones de cruzamiento.
- 2.- Agujeros ciegos con desahogo axial como se muestra en la siguiente figura:



- 3.- Agujeros elípticos donde la herramienta se diseña con porta piedras de expansión para seguir las posiciones radiales -- del contorno de la pieza.
- 4.- Piezas de gran diámetro pero ciegas, como el caso de un tambor de freno, éstas piezas son mostradas en la figura siguiente:



- c).- La configuración de la pieza que contiene en su interior los ba
rrenos a terminar y por lo mismo no se puede montar fácilmente
en una máquina de rectificado.
- d).- La alta precisión que requiere la pieza determina el tipo de ma
quinado a usar, siendo por lo general usado el bruñido.
- e).- Características particulares de la pieza, las cuales afectan la
localización del barreno o su número, por ejemplo:
- 1.- Agujeros en diferentes localizaciones, algunos alineados so
bre el mismo eje como el cuerpo del tren de aterrizaje de -
los aviones.

2.- Múltiples agujeros como el motor de un automóvil, los cuales pueden ser terminados simultáneamente en máquinas especiales que se mencionarán posteriormente.

f).- Costo aproximado, el cual justifica en casos particulares - el uso del bruñido para desbaste ó para acabados como método alternativo, Ejemplos de lo anterior son los siguientes:

- 1.- El bruñido puede demostrar en algunos casos que es más barato en operaciones de desbaste con una cantidad de remoción de material considerable, en el orden de 0.020" a 0.030" (0.50 mm. a 0.70 mm) ó más, cuando la operación se controla desde los maquinados anteriores para aproximarse a las tolerancias requeridas por la pieza.
- 2.- En operaciones donde se utiliza una máquina que trabaja al límite de su precisión, es más conveniente usarla en condiciones normales, dejando el acabado de la pieza al bruñido, y siendo la combinación de los dos maquinados más costeaible que uno solo.

Estos ejemplos no agotan las condiciones donde el bruñido demuestra ser el maquinado más apropiado o donde sea el único método de acabar una pieza. Areas adicionales se abren en función de tipo de máquina usado, describiendo a continuación varios tipos de las mismas.

Mecanismos y funciones fundamentales de las máquinas de bruñido.-

Olvidándonos del proceso de bruñido en sí, que comprende la ejecución de diferentes funciones de una manera que difiere a los -

otros tipos de maquinado, podemos clasificarlos en tres principales funciones:

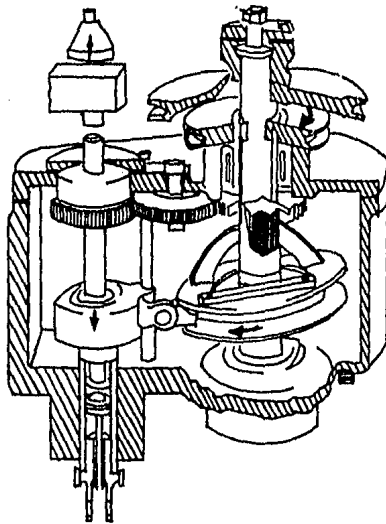
- a).- La rotación de la cabeza bruñidora en la cual la velocidad debe ser ajustada y mantenida constantemente para producir una velocidad periférica constante, cuyo diámetro es determinado por -- diámetro del barreno.
- b).- El movimiento recíprocante del cabezal, el cual se le conoce como "stroke" siendo la velocidad del stroke en combinación con - la velocidad rotacional los determinantes del ángulo de bruñido y la profundidad de corte de los granos abrasivos. La longitud del stroke debe ser controlada para asegurar el desgaste de los abrasivos a lo largo de su longitud, así como para controlar el diámetro final del barreno. El control de inversión del --- stroke es muy importante de controlar para cuando se rectifican piezas ciegas.
- c).- La alimentación de los abrasivos es producida por la expansión de los porta-piedras del cabezal. Esta función debe ser llevada a cabo incrementándose en intervalos específicos o de manera -- continua por acción de una fuerza constante actuando sobre el - mecanismo de expansión.

La rotación del cabezal es siempre por transmisión de fuerza; - sin embargo el stroke y la alimentación puede ser manual, para peque

ños lotes de piezas o piezas de tamaño medio, o completamente automá-
ticos para alta o media producción, pudiéndose aplicar independiente-
mente cada uno de ellos según el tipo de especificaciones a cumplir.

El diseño de los elementos de las máquinas bruñidoras que coordinan-
éstas funciones varía ampliamente. El diseño varía según las prefe-
rencias de los fabricantes.

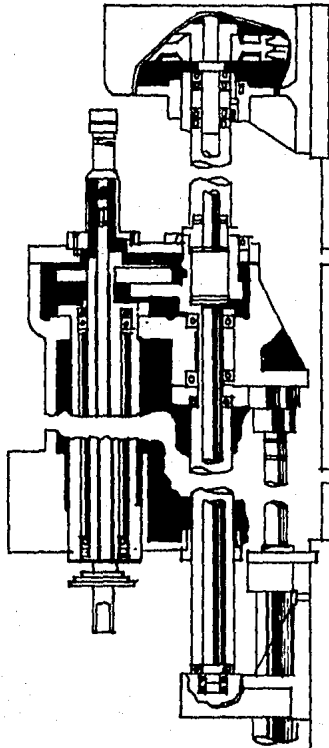
El movimiento de stroke puede ser proporcionado por el mecanismo mos-
trado en la siguiente figura:



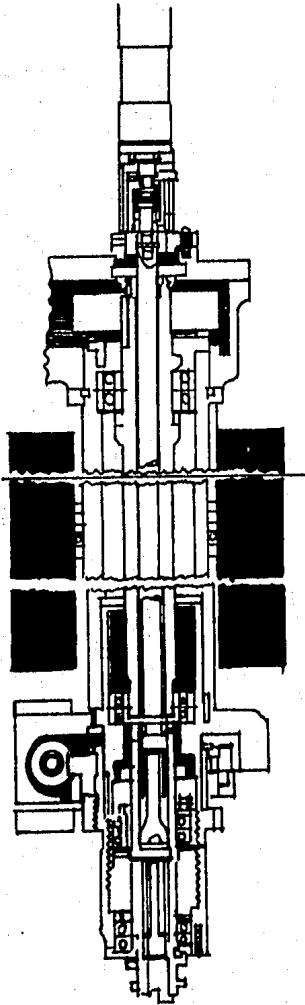
La capacidad de los sistemas mecánicos es usualmente limitado a aque-
jeros cortos y de pequeño diámetro, siendo más comúnmente sin embargo --
la producción de máquinas con sistema hidráulico el cual suministra --
una gran variedad de ajustes en la longitud del stroke. El movimiento
hidráulico es controlado por una válvula direccional, la cual --

es puesta en reversa por una leva ajustable de la máquina. Los mandos hidráulicos actuales, permiten ajustar con mucha precisión la carrera, así como el punto de inversión de la carrera.

La figura siguiente muestra un corte seccional del cabezal de la máquina, el cual es soportado en barras guías, siendo éste un diseño que permite dar una separación entre la columna de la máquina y el husillo del cabezal bruñidor. Este diseño es preferido para las máquinas de cabezales múltiples que requieren ajustes independientes para cada uno de los husillos.



La siguiente figura muestra la sección transversal de una máquina --
bruñidora, la cual contiene los elementos básicos de operación en --
arreglo concéntrico uno a otro, reduciendo el peso del conjunto per-
mitiendo un movimiento recíprocante más exacto el cual se refleja en-
la precisión obtenida en el acabado del agujero.



Los principales sistemas de alimentación, ambos actuando por expansión sobre los portapiedras son:

- 1.- Presión continua por acción hidráulica.
- 2.- Ajuste manual, ó en máquinas de ciclo automático, por dispositivos independientes. Este último sistema ha demostrado ser más preciso en algunas aplicaciones que el de presión continua.

Los dos sistemas actúan sobre un cono dentro del cabezal de bruñido el cual expande los portapiedras primero de una manera rápida al entrar al barreno y después de forma gradual. Completando el proceso, y contando con un sistema apropiado de medición, el desplazamiento del sistema es puesto en reversa para provocar un colapso de los portapiedras, permitiendo la salida del cabezal bruñidor.

Máquinas Bruñidoras .-

Los fabricantes de este tipo de maquinaria, ofrecen varios modelos de máquinas bruñidoras en un rango de tipos y medidas, que varían desde máquinas sencillas, hasta equipos altamente sofisticados.

Máquinas Bruñidoras con movimiento recíprocante de la pieza a rectificar.

La característica principal de este tipo de equipo, también llamado

"manual", es el movimiento recíprocante de la pieza a lo largo de la herramienta bruñidora, la cual tiene movimiento de rotación, pero no axial. El uso de éstas máquinas está limitado a piezas en las cuales el peso, dimensiones y geometría en general son adaptables a ser movidas a lo largo de la herramienta en posición horizontal, absorbiéndose la fuerza resultante por una barra lateral. Esto está limitado al peso de la pieza y su tamaño.

La posición estacionaria del husillo que sostiene el mandril, facilita el diseño y la ejecución de varios elementos de éste tipo de máquina con la ventaja de ser uno de los tipos de máquina más barato.

Estos elementos incluyen el mando del husillo con velocidades usualmente variables para poder bruñir un rango de diámetros y longitudes, así como el mecanismo de la expansión de los portapiedras durante la operación de bruñido.

Las máquinas de éste tipo son comunmente operadas manualmente en el movimiento recíprocante, siendo ideales para piezas ligeras particularmente donde el proceso comprende un número limitado de piezas y cuando se requiera de la "sensibilidad" del operador.

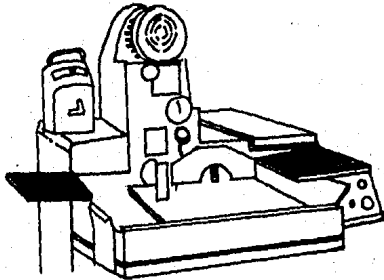
De otra manera, el uso del movimiento recíprocante automático, ofrece la ventaja de relevar al operador del esfuerzo físico, con un movimiento más uniforme, y cuando se necesita, a mayor velocidad que la alcanzable manualmente, reduciendo la operación a una tercera parte o menos.

En la siguiente figura, se muestra una máquina comúnmente usada con el diseño de la pieza reciprocante.

El área de trabajo es la misma, que las máquinas manuales. La capacidad de éstas máquinas expresada en diámetro y longitud de la pieza es desde 0.125" hasta 3.750" (3 mm - 95 mm) y dependiendo del diámetro hasta 16" (400 mm).

Las velocidades del stroke o movimiento reciprocante son: 80, 110, 160, 220 y 310 strokes/minuto. La velocidad del husillo varía desde 200 hasta 1600 RPM .

Estas máquinas están equipadas con sistemas de filtración para el aceite de enfriamiento.



Máquinas Bruñidoras con cabezal recíprocante.-

Cuando no se cuenta con una pieza adaptable a recorrer la herramienta de bruñido, se requiere una máquina diseñada para que la pieza -- permanezca fija, moviéndose la herramienta hacia los barrenos de la misma.

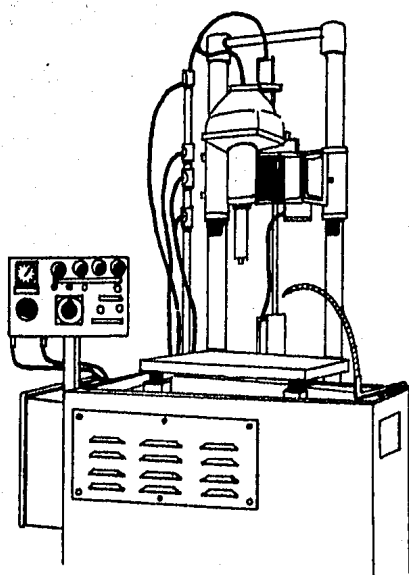
Estas máquinas suministran los movimientos de rotación, recíprocante y alimentación del abrasivo a la herramienta bruñidora o cabezal, -- permaneciendo la pieza en un dispositivo de sujeción que puede ser de tipo único, o revolver.

Estas máquinas pueden trabajar según los siguientes datos técnicos:

Diámetro máximo: 6" (150 mm).

Longitud: Hasta 12" (300 mm)
opcional hasta 30" (450 mm).

Versiones de éstas máquinas pueden rectificar piezas hasta 24" y 36" de largo (600 mm y 900 mm).



La mesa de sujeción, por lo general es de 18" x 24" (450 mm x 600 - mm), plana y ajustable. Las dos barras guías del cabezal están montadas en la base de la máquina. El husillo tiene velocidades variables desde 150 hasta 350 R P M. La localización y longitud del stroke están dadas por "switches límite" y la alimentación a los porta - piedras es controlado hidráulicamente.

El ciclo de bruñido está controlado por un timer del rango de 6 a -- 240 seg.

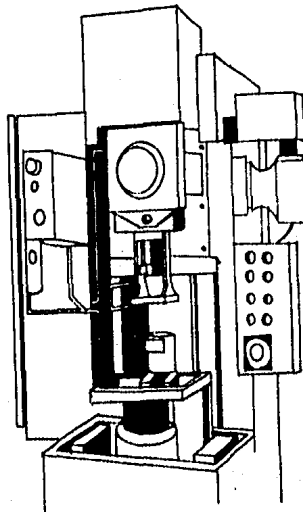
Máquinas Verticales de Producción.-

Estas máquinas son preferidas para trabajar media producción en agujeros cortos y de diámetro pequeño. En la siguiente figura se observa una máquina de éste tipo, con stroke mecánico y con capacidad hasta 1.250" (32 mm) y hasta 3" (76 mm) de logitud.

Para alta producción se utiliza el stroke hidráulico de media carrera, con las siguientes características técnicas:

Capacidad diámetro	1.250" (32 mm)	4" (100 mm)
MAX Stroke	15" (381 mm)	12" (304 mm)
Motor Husillo	1 H P	3 H P
Motor Hidráulico	5 H P	7.5 H P
Peso Máquina	4.700 lb (2,130 Kg)	5,400 lb (2,450 Kg)

Estas medidas ofrecen las ventajas de tener un peso de la unidad reciprocante menor, aunado a la distancia entre la columna y el husillo de 14" (362 mm), lo cual permite el montaje de varias piezas, contando con todos los dispositivos mencionados para el control dimensional de la pieza.



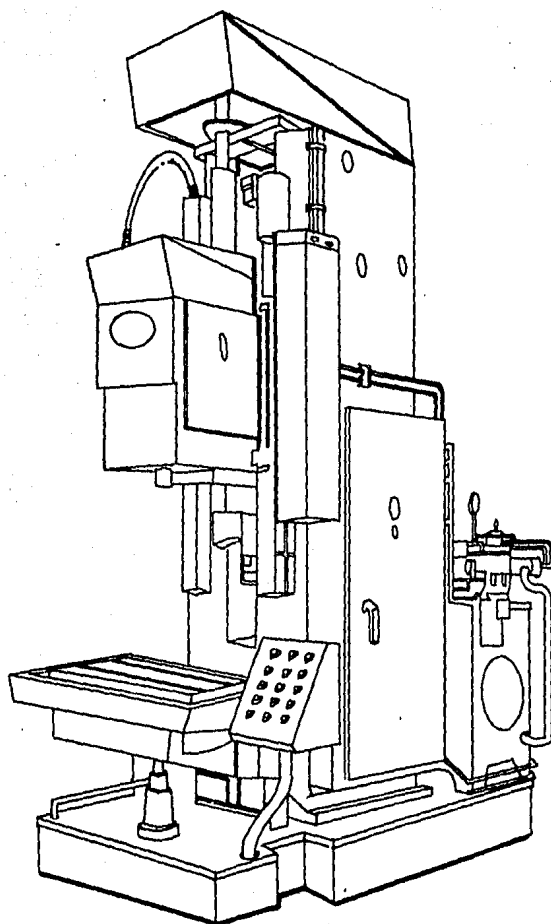
Máquinas de Bruñido para piezas grandes.-

La siguiente figura ilustra una máquina vertical que por sus dimensiones y capacidad permite el montaje de piezas grandes y pesadas. - Este tipo de máquina puede ser equipada con motores de 10 y 25 H P y puede ser surtida con una longitud de stroke desde 25" hasta 70" --- (635 mm hasta 1780 mm).

Estas máquinas pueden bruñir diámetros desde 0.375" hasta 16" (10 - mm hasta 400 mm), dependiendo del motor del husillo.

La velocidad del husillo puede variar desde 75 hasta 409 RPM, cambiando engranes y la velocidad del stroke, la cual es controlada hidráulicamente, varía desde 10 hasta 70 f pm, (3.05 hasta 21.3 m/min).

Este tipo de máquina opera con una cabeza reciprocante, la cual está diseñada para flotar en un colchón de aire lubricado a través de dos correderas. Debido a lo favorable del diseño del rodamiento neumático, el movimiento del cabezal requiere solamente una pequeña fuerza para desplazarse y el aire presurizado evita la penetración de polvo abrasivo entre el cabezal y las correderas.



Máquinas Verticales de Stroke Largo.-

Algunas piezas con agujeros muy largos, frecuentemente requieren que se monten en mesas horizontales y se rectifique en sentido vertical. Para estos casos, se construyen máquinas verticales que pueden trabajar en diámetro hasta 12" (305 mm) y se surten en siete diferentes modelos con 25, 30, 40, 50, 65, 80 y 100 pulgadas de longitud de stroke (635, 762, 1016, 1270, 1651, 2032 y 2540 mm), respectivamente.

Estas máquinas se surten con dispositivos automáticos de operación, incluyendo un sistema que indica cuando hay que cambiar las piedras.

Las máquinas de éste tipo son fabricadas en el diseño de una sola columna, siendo la distancia entre la columna y el husillo (Garganta) de 22" (560 mm), siendo a veces necesario aumentar dicha distancia modificando el diseño con el llamado diseño de tunel que permite mayor garganta en la máquina.

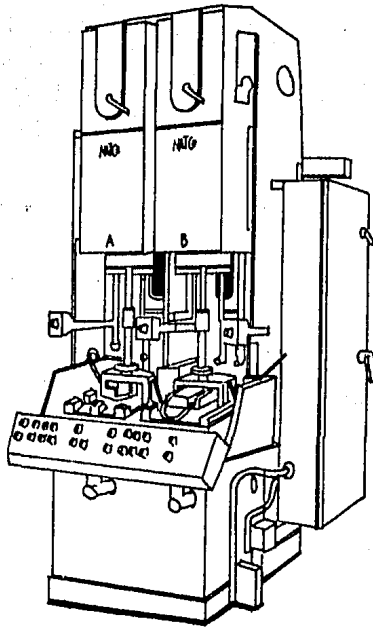
Un modelo representativo de éstas máquinas, tiene una capacidad en diámetro hasta 18" (457 mm) y una longitud de 72" (1.829 mm) la longitud del stroke es ajustable desde 30" hasta 80" (762 mm hasta 2.032 mm). El peso neto de éste equipo es de 70,000 lb (31,750 Kg.).

Máquinas Verticales de Doble Husillo.

Existen piezas que requieren, por la precisión que necesitan, dos operaciones de bruñido, siendo la primera de desbaste y la segunda de acabado o pulido, tomando en cuenta los tiempos de cada operación,

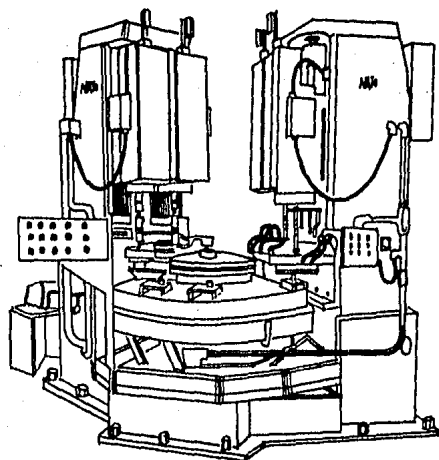
es más conveniente contar con una máquina de doble husillo que permite pasar la pieza de una operación a la otra de una manera continua.

La máquina de doble husillo como se muestra en la siguiente figura:



Está adaptada a dos operaciones simultáneas como son las bielas de -
automóvil, cuerpos de válvulas hidráulicas, engranes, etc., la máqui
na ilustrada tiene stroke mecánico que permite un rápido movimiento-
reciprocante que se adapta perfectamente a ese tipo de piezas.

Otro tipo de alta producción de las máquinas de doble husillo se muestra en la figura siguiente:



En este caso, dos de las maquinas, cada una con dos usillos estan-- combinadas en una sola unidad con una mesa rotatoria. La mesa permi te la alimentación continua en sincronia con el proceso automático- de bruñido.

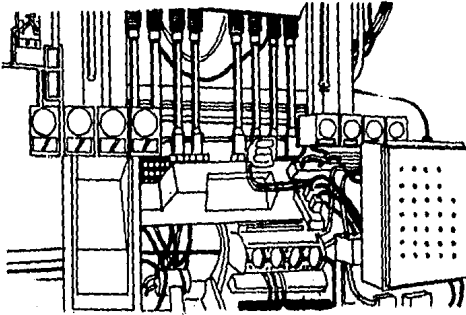
Este tipo de maquinas puede ser usado efectivamente en piezas con - dos diferentes barrenos, ó dos piezas independientes una de otra.

Maquinas Verticales de Multiples Husillos.-

Los cilindros de los motores de combustión interna, son ejemplos ti picos de piezas con series de agujeros en paralelo, que requieren - ser rectificadas por el bruñido.

La productividad de estas operaciones puede ser muy alta cuando el- maquinado se hace simultaneamente, fabricandose maquinas para este- fin, ya sea en linea ó en disposición de "V".

La siguiente figura, muestra una maquina de multiples husillos, --- construida en disposición de tunel, proporcionando mayor presición- en la alineación y gran resistencia para la vibración. Está máquina tiene un stroke máximo de 20" (508 mm.) y una distancia entre ba--- rras de 64" (1626 mm.). Este modelo puede operar con alimentación - programada de dos ciclos, uno para desbaste y otro para pulido con- el mismo cabezal.

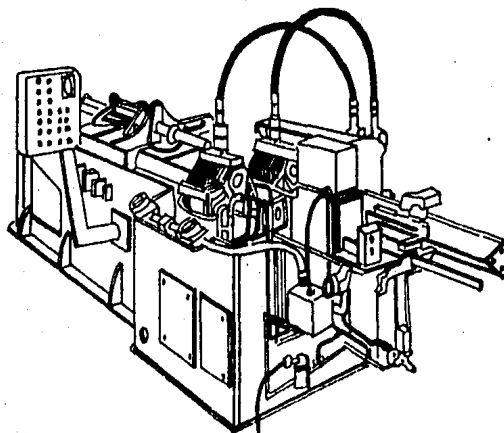


Máquinas horizontales de Producción.-

Aparte del arreglo general del sistema recíprocante, tanto en diseño, como operación, éstas máquinas mantienen las características fundamentales de las máquinas verticales de bruñido, como son los elementos - hidráulicos, tanto para el stroke, como para la expansión del cabezal.

Un modelo pequeño de éste tipo, con 12" (305mm) de longitud, tiene - el husillo montado en un carro recíprocante, en cambio los modelos grandes, tienen el husillo en un dispositivo de montaje. El diseño de éste equipo, concentra la mayor parte de los mecanismos a lo largo del eje - del husillo, Colocando varias piezas en serie, es un modo de aumentar - la productividad de éstas máquinas.

La máquina ilustrada tienen 16" (406 mm) de carrera (stroke), pudiendo - verse en el mercado máquina hasta 48" (1219 mm).



Máquinas Horizontales de Carrera Larga.-

Para el acabado de agujeros muy largos; con un alto grado de redondez, alta precisión en el control adimensional y buen acabado superficial, se fabrican actualmente máquinas excepcionalmente largas, en las cuales el movimiento hidráulico está dado por un cilindro de 16 f t ---- (4.572 mm) y cuando se necesita pasar de este punto se utiliza una cadena activada por un motor hidráulico.

Los componentes reciprocantes de la máquina ilustrada dentro que posee una gran rigidez, es relativamente ligera para mantener la inercia al mínimo, lo que permite alcanzar altas velocidades reciprocantes. La velocidad del stroke es ajustable desde 10 hasta 100 sfpm. (3.05 a 30.5 m/min).

La reversa del stroke, es activada por una leva unida a la cabeza, -- controlando el punto de inversión del equipo.

Este equipo permite detener la carrera en un punto a lo largo de la - pieza, para corregir concidad u ovalamiento.

La máquina está equipada con control automático de medida neumático - el cual permite controlar el desarrollo del rectificado de la pieza.

Bruñido de Exteriores.-

Tomando en cuenta las características del bruñido de interiores, se - ha desarrollado la construcción de máquinas que permitan el bruñido - de superficies exteriores, aunque se considera que dichas superficies son clásicas del rectificado cilíndrico de exteriores o del center -- less, las ventajas ya platicadas ampliamente del bruñido, favorece el uso ocasional de éste maquinado.

En muchos casos el bruñido exterior se lleva a cabo con herramientas- especiales usando máquinas que pueden trabajar alternativamente, es - decir en interiores o exteriores.

Piezas cilíndricas cortas de diámetro entre 1" y 3" (25 mm y 75 mm) - pueden ser rectificadas con herramientas exteriores en máquinas verti- cales, así como piezas muy largas y de diámetros mayores.

El bruñido de exteriores se lleva a cabo en una máquina de tipo verti- cal; desplazándose la pieza a través de la herramienta que soporta -- las piedras abrasivas.

Micro Bruñido.-

El Microbruñido es un nombre que se le asigna a un maquinado de acabado superficial excepcionalmente fino, utilizándose la escala de micras - para determinar las magnitudes generadas.

Básicamente, el método es aplicado a superficies redondas, interiores o exteriores, cilíndricas, cónicas, o de formas esféricas menos frecuente en superficies planas de áreas limitadas.

Este maquinado opera con herramientas hechas de abrasivo con liga, -- donde las superficies activas tienen formas complejas en contacto con el área de trabajo.

Las herramientas abrasivas están haciendo contacto contra la superficie de la pieza que está girando con una pequeña fuerza generalmente acompañada de un movimiento de oscilación (pequeño stroke) en dirección paralela a los elementos de la superficie que se rectifica.

Comparación entre el Microbruñido y el Bruñido.-

Características comunes entre ambos métodos:

- a).- El uso de piedras abrasivas.-
- b).- Operación con pequeñas velocidades de corte y ligeras fuerzas de corte.

- c).- La combinación de un movimiento relativamente rotacional con un lineal entre la herramienta y la pieza, ambos métodos producen un patrón cruzado de acabado, pero en el microbruñido es menos apreciado.
- d).- Los objetivos del proceso, mejoran la forma, tamaño y acabado su perficie de la pieza sin causar daño metalúrgico.

Diferencias entre el bruñido y el microbruñido.-

a).- Longitud del stroke.-

- 1.- El bruñido es un método de stroke largo, capaz de cubrir la longitud del área varias veces. Durante el proceso las piedras abrasivas viajan una distancia considerable sobre los extremos de la su perficie.
- 2.- En el microbruñido el desplazante de la piedra es muy corto, típicamente en el orden de 0.040" y 0.160" (1 mm y 4 mm), mejor conocido como oscilación.

b).- La frecuencia del stroke.-

En el bruñido el número de strokes por minuto varía por lo general entre 100 y 200 strokes por minuto.

En el microbruñido la velocidad del stroke es muy alta, variando entre 300 y 2500 ciclos por minuto, siendo del tipo mecánico o neumático.

c).- El elemento rotativo.-

- 1.- En el bruñido es la herramienta la que gira.
- 2.- En el microbruñido es siempre la pieza la que gira enfrente de la herramienta que se mueve a lo largo del eje de la pieza.

d).- El área de Contacto.-

- 1.- En el bruñido siempre se utilizan varias piedras, dispuestas radialmente, cada una cortando material.
- 2.- En el microbruñido, se utiliza una piedra, cubriendo una parte -- (el ancho de la piedra), produciendo un efecto de "envoltura" en la sección de pieza.

e).- Configuración de la superficie.

- 1.- En el bruñido el movimiento recíprocante es siempre a lo largo -- del eje de la pieza, lo cual limita la forma general de la superficie. Limitándose a piezas abiertas por los extremos.
- 2.- El microbruñido, el cual opera con pequeños strokes puede ser --- aplicado a superficies con contornos de sección circular, así como esféricos o toroidales. Igualmente adaptable a interiores como exteriores, el stroke corto también permite el acabado de superficies unidas por hombros en ambos lados, necesitando solamente un poco de escape para la herramienta.

f).- Cantidad de material a quitar.-

- 1.- El bruñido puede ser usado eficientemente para quitar material en el orden de 0.010" - 0.030" (0.25 mm - 0.75 mm) en desbaste y enpulido del orden de 0.002" a 0.006" (0.05 mm a 0.15 mm).

2.- El Microbruñido, la cantidad a remover es usualmente en el órden-- de 0.0001 a 0.0003" (0.0025 mm a 0.0075mm) de la superficie.

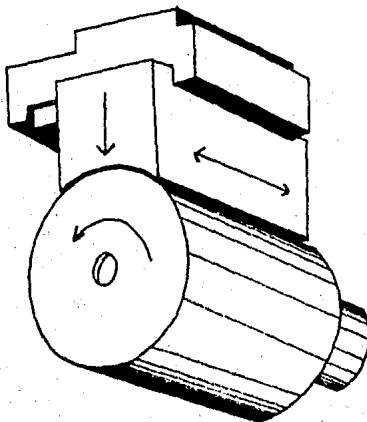
g).- Acabado Superficial.-

El bruñido es generalmente usado para producir acabados superfi-- ciales en el rango de 32 a 8 micropulgadas A A (0.8 a 0.2 micras R A), pudiéndose producir acabados más finos con 4 micropulga-- das AA (0.10 micras R A) o mejores, pero perdiendo productividad.

2.- El microbruñido puede producir en condiciones normales de opera - ción, acabados superficiales del órden de 4 a 2 micropulgadas AA- (0.1 a 0.05 micras R A) o mejor.

Principios operaciones del Microbruñido.-

Los principios operaciones son explicados fácilmente en la siguiente figura:



Donde el diagrama ilustra una piedra abrasiva que tiene el perfil de la pieza, que es forzada contra la misma pieza que gira con una presión específica llevando además un movimiento recíprocante.

La piedra abrasiva hace contacto con las protuberancias de la superficie. Las protuberancias pueden resultar de irregularidades como son el lóbulo, marcas de vitrición, ondulaciones, etc. y pueden constituir las vallas y crestas de una superficie áspera.

Generalmente las irregularidades de ambas fuentes están presentes, estando la rugosidad superficial sobre impuesta a las protuberancias.

Eliminando las protuberancias por la acción del microbruñido, la superficie se equaliza corrigiendo las marcas de maquinado anteriores.

La mayor protuberancia de la superficie es eliminada por la acción concentrada de la piedra abrasiva. Conforme se amplía el área de contacto la acción de la piedra es menor debido a la pérdida de presión en ciertas áreas altas y parte a que la piedra pierde sus filos o tiende a "vidrearse".

Características Superficiales Producidas por el Microbruñido.-

El objeto principal de éste proceso es el de generar superficies muy finas que cumplen con ciertas características según las normas comerciales, en especial las pistas de rodamiento de los baleros.

La rugosidad superficial (llamada frecuentemente "Acabado Superficial") es comúnmente medida por el promedio de desviaciones de una --

línea imaginaria a lo largo de un corte seccional de la superficie.---
 Esta condición puede ser medida convenientemente con instrumentos electrónicos que trazan el perfil de la superficie con una punta de diamante a lo largo de una línea recta y manda la señal a una parte de registro.

Un típico ejemplo del acabado superficial dado por el microbruñido, lo tenemos en la siguiente figura:



Relación antifricción.-

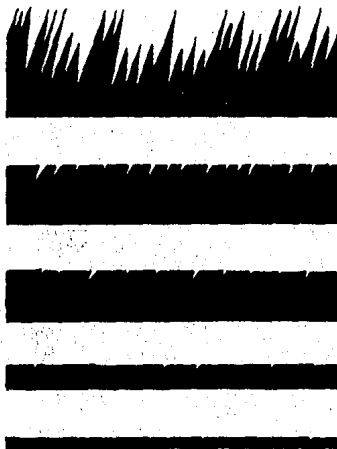
Una superficie rugosa que hace contacto con una superficie plana a través de sus crestas no posee la característica de antifricción.

Cuando el contacto está hecho con cierta fuerza, como es el caso de un ajuste por interferencia o por soporte, la presión específica en el -- área limitada, es mayor que la que sería distribuida en toda el área.

Esta presión localizada presenta varios efectos adversos, como son el prematuro desgaste, acentuado por la falla de lubricante, con aumento en la fricción, etc.

Reduciendo la rugosidad de la superficie sin cambiar las crestas y valles, solamente se mejorará un poco las condiciones desfavorables.

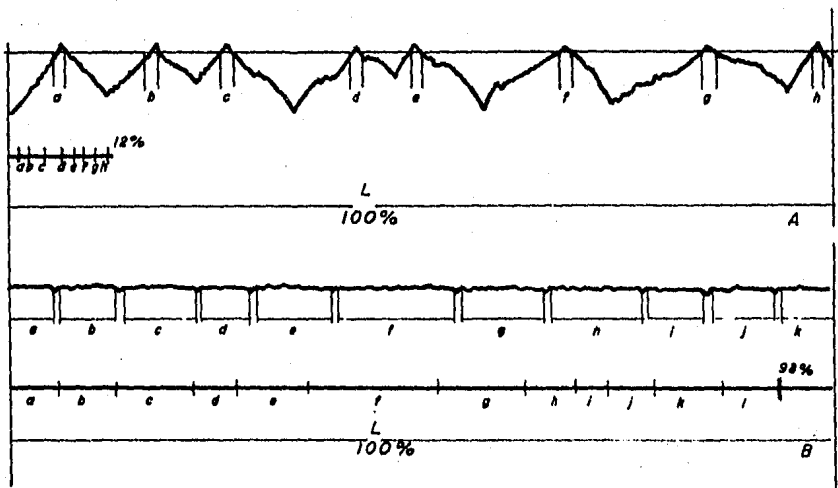
La condición óptima de contacto es creada cortando las crestas y transformándolas en superficies planas, a través del proceso de microbruñido. El efecto del microbruñido en la superficie originalmente burda se --- aprecia en la siguiente figura:



Ilustrando en cinco pasos consecutivos la manera en que el perfil de la superficie va cambiando.

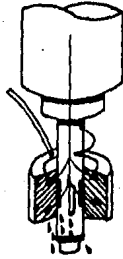
La relación entre la porción de superficie que hace contacto y el resto de la superficie se llama "Relación antifricción". Dicha relación puede calcularse analizando el perfil trazado en la superficie como lo muestra la siguiente figura.

La experiencia nos demuestra que mientras mayor sea, mejor son las condiciones de trabajo entre dos piezas.



Bruñido Electroquímico.-

El bruñido electroquímico es similar al rectificado electroquímico en el que se cambian la remoción electrolítica del metal con la acción abrasiva del segmento abrasivo. El bruñido electroquímico, sin embargo, utiliza los movimientos rotativos y reciprocos de las piedras--abrasivas, las cuales no son conductoras de la corriente, a diferencia de la rueda de liga metálica en el rectificado electroquímico. El --- Electrolyte es introducido en la separación entre el cabezal catódico y la pieza anódica, como se aprecia en la siguiente figura:



Donde la corriente directa pasa a través de la separación y la herramienta actúa contra la pieza.

La separación entre los electrodos debe ser del orden de 0.004" a 0.010"

(0.01 a 0.02) al principio del proceso y se incrementa durante el ciclo. Si la cantidad de material a quitar es grande, se requiere un cátodo de expansión, que permita mantener la separación constante a lo largo del proceso.

Varias perforaciones en el cabezal permiten la salida del electrolito durante la operación de bruñido, velocidades hasta 25 Gal/min. y presiones hasta de 150 lb/in² son usadas, dependiendo del tamaño de la pieza.

Debido a que las piedras abrasivas mantienen la superficie limpia, el electrolito no es necesario que sea corrosivo.

Se puede usar soluciones de nitrato de sodio en lugar de cloruro de sodio o ácidos electrolíticos. La densidad de la corriente es del orden de 100 a 200 A/in².

Las piedras abrasivas asisten a la acción de quitar material y generan superficies redondas y paralelas, limpiando los residuos que deja la acción electroquímica, manteniendo una superficie limpia para la acción de electrolisis.

Si se especifica un acabado superficial éste se logra quitando la corriente eléctrica primero, para dejar las piedras que terminen después, tolerancias de 0.0005" al diámetro pueden ser mantenidas.

La velocidad de remoción de material puede ser 10 veces superior que la del bruñido por medios convencionales.

Este proceso es particularmente aceptado en piezas que se distorsionan fácilmente, manteniéndolas sin deformación y fríos.

Bruñido de Forma.-

Una modificación del proceso anterior llamado Bruñido de forma, ha sido recientemente por la firma Micromatic Industries permite de una manera simultánea rectificar y depositar material. El rectificado genera la geometría, forma y acabado superficial necesarios contando con el electroformado que hace posible producir superficies con varias características metalúrgicas (dureza, resistencia a la abrasión, densidad, etc.) El depósito de material, 50 veces más rápido que los métodos convencionales y el maquinado son combinados en una operación simultánea.

Como se muestra en la siguiente figura, el equipo usado para éste proceso incluye una máquina para soportar el dispositivo de sujeción y accionar la herramienta, un rectificador que provee la corriente directa, un tanque con la solución y el sistema de bombeo. Un anodo insoluble conectado al polo positivo del rectificador es parte de la herramienta.

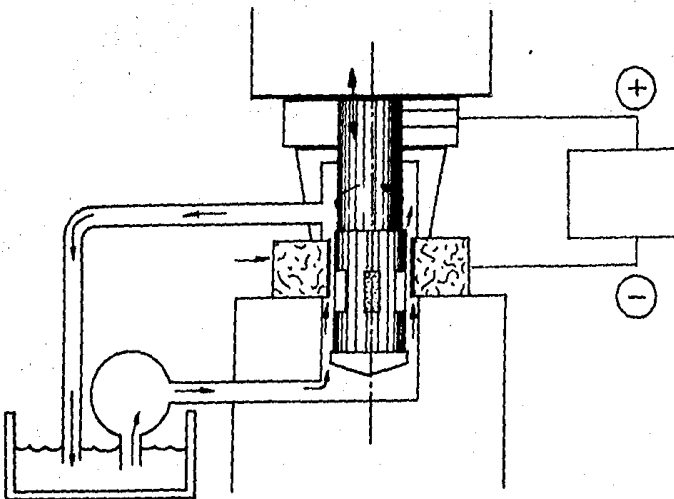
La separación entre anodo y catodo se mantiene constante. La densidad de corriente usada es varios mayor que la usada en otros sistemas de electrodeposición.

Un sistema sellado evita las fugas de solución y vapores venenosos.

El material es removido por la acción de las piedras abrasivas al principio del ciclo, entonces la corriente es aplicada para depositar el -

material, reduciendo la presión de las piedras abrasivas a mantener -- la superficie limpia.

Las aplicaciones de éste proceso permiten salvar piezas fuera de medida, reacondicionar piezas gastadas y recubrir especiales de materiales. La velocidad de depósito es del orden de 0.0007"/minuto y hasta 0.025" de metal se han depositado sin problema.



CAPITULO IV

METODOLOGIA

Este capítulo consta de numerosos reportes técnicos sobre el maquinado por rectificación de varias piezas, las cuales se escogieron de acuerdo a su complejidad, ya sea por geometría, acabado, material, etc.

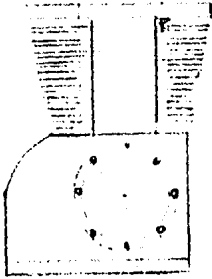
Todos los reportes son ejemplos clásicos de piezas que el Ingeniero Químico, dedicado en áreas como el diseño de equipo, producción, mantenimiento, compras, etc., encuentra normalmente durante el desarrollo de sus actividades sea directa ó indirectamente como lo es un motor eléctrico, una chumacera de ciqueñal de molino, un llenador de plástico, etc.

La metodología de cada pieza, es decir el procedimiento utilizado se amplía con comentarios sobre las desviaciones que se efectuaron cuando se considera necesario hacerlo.

REPORTE DE BRUÑIDO

PROBLEMA

Motor de Combustion.



Fue necesario dar una pasada con un abrasivo mas burdo para limpiar las marcas del maquinado anterior. Se utilizo un compuesto a base de silicon para impregnar las zapatas y lograr dar el acabado solicitado. El tiempo, la vida util del abrasivo, puede ser mejor usando la piedra C24-C05, en lugar de la C24-C03. El tiempo de rectificado y la vida del abrasivo se incrementa aumentando las RPM 310. La longitud del stroke es recortada a 1-1/8" para dar el acabado, con un saliente de 1/16"

material Aluminio 390 dureza -
 operación previa Madrinado
 diámetro y tolerancia 2.4685/2.4695"
 paralelismo -
 material a remover - acabado Lap

METODOLOGIA

maquina CV-616
 aceite MB-30
 R P M 230
 longitud stroke 3.500"
 strokes/min 80
 alimentación 3
 abrasivo C24-J85; C24-C03

RESULTADOS

MATERIAL REMOVIDO	TIEMPO	PIEZAS PUR ABRASIVO
0.0060	1 min	200
0.0007	1.5min	200
0.0001	1.5 min	200

Piezas recibidas: Desviación de: 2.469"

diam. mfn.	diam. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.
-.0040	-.0015	.0025	.0025	300
-.0040	-.0010	.0020	.0025	130
-.0045	-.0020	.0020	.0025	186
-.0040	-.0020	.0020	.0015	100
-.0040	-.0025	.0010	.0015	210
-.0050	-.0055	.0010	.0020	220

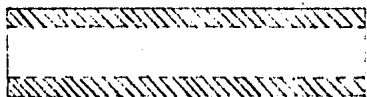
Piezas entregadas: Desviación de: 2.469

diam. mfn.	diam. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.
+.0028	+.0030	.0001	.0002	30
+.0021	+.0023	.0001	.0002	32
+.0022	+.0023	.0001	.0001	30
+.0024	+.0025	.0001	.0001	35
+.0022	+.0023	.0001	.0001	28
+.0027	+.0028	.0001	.0001	32

REPORTE DE BRUÑIDO

PROBLEMA

Tubo



material Acero 1025 dureza suave
 operación previa Mandrinado
 diámetro y tolerancia 1.500"/1.502"
 paralelismo _____
 material a remover _____ acabado 2U

METODOLOGIA

maquina CV-616
 aceite Mb-30
 R P M 310
 longitud stroke 9"
 strokes/min 57
 alimentación _____
 abrasivo _____

Una de las piezas fue marcada "30" y otra fue marcada "16". La pieza de "30" significa un acabado superficial de 30 micropulgadas y fue rectificada solamente con piedra de desbaste. El cliente prefiere esto para evitar una segunda operación.

Algunas piezas fueron rectificadas en una maquina mas pequeña (MBB-1670) y el tiempo utilizado fue de 4 min. por pieza.

RESULTADOS

MATERIAL REMOVIDO	TIEMPO	PIEZAS POR ABRASIVO
0.410"	2-1/2 min	25
0.001"	1/2 min	

Piezas recibidas: Desviación de:

diám. mfn.	diám. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.
-.0083	-.0078	.0005		
-.0085	-.0080	.0005		
-.0085	-.0080	.0005		
-.0083	-.0078	.0005		
-.0084	-.0079	.0005		

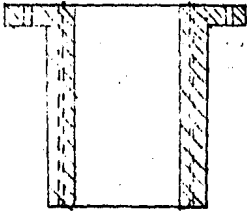
Piezas entregadas: Desviación de:

diám. mfn.	diám. máx.	dif. redondz	dif. paralel	acab. sup.
				16
				"
				"
				"

REPORTE DE BRUÑIDO

PROBLEMA

Camisa Bomba de Lodos

material Acero-Mo-Cr. dureza 60 Kcoperación previa Mandinadodiámetro y tolerancia 2.6001/2.6005

paralelismo _____

material a remover _____ acabado _____

Debe empezarse el rectificando con la piedra P28-A47 hasta que limpie cambiandose por la piedra P28-A43 Las piezas tienden a abrirse aproximadamente .0003 en el area cercana al extremo,provocando un abocinamiento dentro de la tolerancia exigida.

METODOLOGIA

maquina CV-616aceite Mb-30R P M 230longitud stroke 6"strokes/min 57alimentación 3abrasivo P28-A47; P28-A43

RESULTADOS

MATERIAL REMOVIDO	TIEMPO	PIEZAS-POR ABRASIVO
.010	15 min.	50

Piezas recibidas: Desviación de:

diám. mín.	diám. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.
2.5896	2.5916	.0020	.0005	
2.5905	2.5929	.0024	.0003	

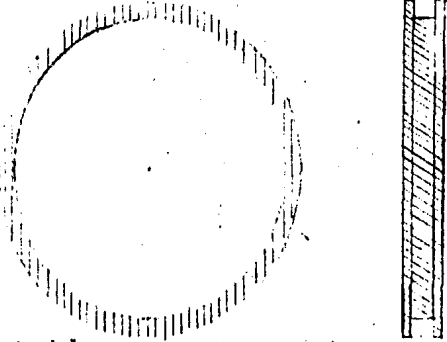
Piezas entregadas: Desviación de:

diám. mín.	diám. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.
2.6002	2.6003	.0001	.0001	
2.6001	2.6001	.0001	.0001	

REPORTE DE BRUÑIDO

PROBLEMA

Anillo de Sujecion



material Acero Cromo Duro dureza Alta
 operación previa Cromo Duro
 diámetro y tolerancia .142"/.146" Pelicula
 paralelismo _____
 material a remover .004/.006" acabado 63

Por ser una pieza tan delgada estos anillos deben montarse en conjuntos de 22 en un cargador hecho especial para el caso.

La rectificadora fue equipada con un alimentador de corte de 1/2 paso para estos test. Las piedras nunca generaron el radio correspondiente al diámetro de la pieza, por lo que se usaron alimentaciones de 3 y 4.

El tiempo necesario para remover .006 fue de 15 min. con una alimentación de 2, de 7 min en 3 y de 4-3/4 en 4.

METODOLOGIA

maquina CV-616
 aceite MR-30
 R P M 230
 longitud stroke 3 7/8"
 strokes/min 41
 alimentación *
 abrasivo Diamante

RESULTADOS

MATERIAL REMOVIDO	TIEMPO	PIEZAS PUR ABRASIVO
.006	5 min	1000

Piezas recibidas: Desviación de:

Piezas entregadas: Desviación de:

diám. mín.	diám. máx.	dif. redondez	dif. paralel	acab. sup.	diám. mín.	diám. máx.	dif. redondz	dif. paralel	acab. sup.

La pared venia en 146 a .148

Se mantuvo en .144 a .145 25

El tubo de llenado Technapac para llenadora automática de cerveza de alta producción marca "Simonazzi", se caracteriza por la precisión de sus componentes y su acabado superficial. Lo riguroso de las normas exigidas en la fabricación de este tipo de válvula llenadora es debido a varios elementos, como son: la alta velocidad de llenado de las botellas (600 unidades por minuto), las características del líquido que se maneja, el cual por el contenido de gas que contiene lo hace muy inestable, además del manejo de materiales, como son: el acero inoxidable y el titanio en la fabricación de dicha válvula llenadora.

La operación de la válvula llenadora se describe de la siguiente manera: la botella llega por medio de una banda transportadora de las máquinas lavadoras, la cual la coloca en el pistón que la levanta hasta el sello del cuerpo de llenado. A continuación se igualan presiones, ya que la cerveza se maneja a una presión de 2 Kg/cm^2 y 4°C en la taza de llenado, llenándose por gravedad la botella, para lo cual se inyecta aire filtrado por el tubo de venteo de la válvula hasta que queden las presiones iguales.

Una vez ocurrido lo anterior, la cerveza fluye por el interior del tubo desplazando un volumen de aire constante, el cual sale por los orificios de venteo de la válvula, debiendo ser de un diámetro muy exacto en función de la velocidad de salida del aire.

Posteriormente la cerveza sube hasta el orificio donde se encuentra alojado un balín de titanio, el cual al ser desplazado sella la entrada de cerveza a la botella y dejando una altura uniforme en cada botella. El resto del aire es expulsado por un venteo mecánico que efectúa la máquina posteriormente, pasando la botella a cerrarse en el coronador.

Debido a la precisión de las áreas de flujo, tanto de la cerveza como del aire, se procedió a rectificas los siguientes orificios:

Orificio 6 del plano adjunto

Diámetro: 0.067" (1.7 mm)

Longitud: 0.987" (25.06mm)

Material: Acero Inoxidable

Acabado

Superficial: 7 Micropulgadas AA

Se utilizó un mandril D6B-066Cs que permite cubrir el rango de 0.066" (1.6mm) a 0.068" (1.7mm), buscando principalmente lograr una geometría dentro del tubo, ya que por ahí se busca la salida del aire; manejándose una cantidad de aire fija a una velocidad muy alta. El abrasivo utilizado fue un D6-J97 de Carburo de Silicio que cumple con las especificaciones solicitadas.

Orificio 9

Diámetro: 0.500" (12.7 mm)
 Longitud: 3.750" (95.25mm)
 Material: Inox 306
 Acabado
 Superficial: 7 Micropulgadas AA

El herramienta utilizado es un mandril K16-495AS, con un abrasivo K16-J97, el cual genera un acabado superficial - de 4 micropulgadas, inferior al acabado solicitado por el proceso. En esta sección del tubo pasa la cerveza, necesitando que la rugosidad sea mínima para evitar se forme una turbulencia en el llenado de la botella.

Orificio 8 Alojamiento del sello de titanio

Diámetro: 0.244" (96.2mm) -0.00 + 0.0005"
 Material: Fundición Inoxidable 306
 Acabado
 Superficial: 3 Micropulgadas AA

Esta sección de la válvula es la más importante debido a que regula, por medio del sello de titanio la cantidad de cerveza que se deposita en la botella, controlando la cantidad exacta durante la operación de envasado. El mandril porta piedra fue modificado en su zanco, lográndose que rectificara hasta la parte inferior del asiento de titanio.

Un mandril JK6-240CB de Bronce para poder dar un pulido -
final más fino, es utilizado con objeto de no presentar -
un aumento en el coeficiente de fricción entre el acero -
inoxidable y el titanio, manteniendo la velocidad de se--
llado de la válvula.

CAPITULO V

DATOS EXPERIMENTALES

A continuación se anexan datos obtenidos de una variedad de piezas de diferentes materiales y formas geométricas, las cuales fueron rectificadas por el procedimiento de bruñido.

Para mejor comprensión de las columnas enlistadas, se explica la nomenclatura utilizada.

Material.- Nombre comercial ó genérico de la substancia de la que esta formada la pieza rectificada.

Dureza.- Propiedad de la pieza, debido a su estructura y material, medido en escala de Rockwell " C ".

Abrasivo.- Se utilizó los abrasivos de la marca SUNNEN, los cuales se ordenan de la siguiente manera.

A	Oxido de aluminio
B	Borazon
C	Corcho
D,Z	Diamante
J	Carburo de Silicio

Grano.- Tamaño de la partícula del abrasivo.

1	70 Mallas
2	80 Mallas
4	150 Mallas
5	220 Mallas
6	280 Mallas
7	320 Mallas
8	400 Mallas
9	500 Mallas
0	600 Mallas

Grado de la Liga.- Es la dureza del abrasivo.

SUAVE	DURA
1	13

Material removido.- Es la cantidad de material de la pieza que el abrasivo remueve por minuto.

Desgaste del abrasivo.- Es la cantidad de abrasivo que se gasta por la fricción contra el material de la pieza rectificada.

Diámetro.- Diámetro interior de la pieza rectificada.

Presión.- Fuerza de expansión del abrasivo contra las paredes de la pieza rectificada.

Velocidad.- Número de revoluciones por minuto de la herramienta --
abrasiva.

Acabado.- Acabado superficial obtenido en la pieza después de la -
rectificación, medido en $\mu\text{in AA}$.

Los datos que a continuación se presentan, fueron proporcionados --
por la Compañía Sunnen Products Company, obtenidos en su laborato--
rio de investigación, y tiene por objeto proporcionar una orienta--
ción clara y precisa del tipo de abrasivo, de la velocidad de ope--
ración y el acabado superficial en un sinúmero de materiales.

Para facilitar el uso de dichas tablas citaremos un ejemplo.

Se desea saber que tipo de abrasivo es el adecuado para -
rectificar un acero 1010, debiendolo de localizar en la clasifica--
ción numérica de aceros, encontrandose los siguientes datos:

Acero:	1010
Dureza:	48 Rc°
Abrasivo:	K16-A57
Material Removido:	.003" (.07 mm)
Desgaste del Abrasivo por .001" (.02 mm) de Material:	.001" (.02mm)
Velocidad:	1270 RPM
Acabado Superficial:	30/40 μin (.80/1.00 μm)

Lo anterior establece lo siguiente:

El abrasivo que se utilizó fué un óxido de aluminio, indicado por la
letra "A", de grano 220, según el #5 y con una dureza intermedia de 7;
se removieron .003" (.07mm) y el desgaste del abrasivo por cada .001"
(.02mm) de material fué de .001" (.02mm); a una velocidad de 1270 RPM
obteniendose en esas condiciones un acabado superficial de 30/40 μin
(.80/1.00 μm).

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Presión	170. Velocidad	Acabado en <i>µin</i>
ALNICO	54	L8-J67	.003	.005	.280	.600	2 1/2	650	
ALUMINIO		P20-J63	.005		3/4	6"	1 1/2	450	
ALUMINIO		P20-J63	.005		1.062	.930	1	300	
ALUMINA (AL ₂ O ₃)		X16-257	.006		.595	1/2"	2	650	
ALUMINIO 356-T6		K20-J55-61A	.008		.816	1 7/8	2	450	7WJ93
ALUMINIO OXIDO (SINTERIZADO)		M27-257	.0035		2.750	2 3/4	3	1600	25
ALUMINIO	70?	W47-J63	.001		5.750	10"		300	
ACRILICO PLASTICO		L8-J55	.0016		.250	4"	1	1600	10WJ83
ALUMINIO 7075T6		FD48-AA93	.003		1.800	5"		300	15
ALUMINIO 2017-T4	SUA-VE	M27-J43 71A	.004	.0001	4"	4 1/2"	3	200	10WJ85
ALUMINIO	SUA-VE	P28-J23	.001	.002	2.359	8"	5	320	60WJ63
ARMCO	SUA-VE	K6-J69-85	.0013	.0005	.188	5/8"	1	1600	9-12
ALUMINIO 6061-T6	SUA-VE	K20-J55	.0065	.0005	.811	1.4"	2 1/2	640	8WJ85
ALNICO 5-7	68-7	K12-A47	.003	.0003	.375	1 1/2"	4	1600	10
ALUMINIO 7075-T651 ANODIZADO DURO		FB19-AA95	.0015		.735	1 1/4"		500	4CC05 8AA95
ALUMINA AL-90		P28-Z47	.004	.0001	1.324	1.1"	1 1/2	800	
ALNICO VI	58	K12-A67	.004	.0006	.469	1 1/2"	3	1270	
ALNICO VIII	DURO	K20-A45 K20-J45	.0035 .004	.0015 .002	1.025	2"	5	640	10
ALUMINIO 6061-T61	SUA-VE	P28-J47	.003	.0002	1.070	7 1/2"	5	800	6-8WJ95
ALNICO # 8		K5-A65	.0028	.0006	.161	7/16	1 1/2	1600	2-4
ACERO A-2	60	K10-B5AA-85	.0040	.00003	.312	7/8"	2 1/2	2500	0-13
ALUMINIO 06061	SUA-VE	P28-J57	.001	.002	2.362	6"	2 3/4	320	0WC05
AL 2 ⁰ ₃ (CRISTAL)	8.9 MOHS	K8-V007	.00053	.00145	.250	1 5/8"	4 1/2	1600	1 1/2
ALUMINIO		P28-Z57 P28-Z07	.0006 .0005		1.1875	4 1/4"		640	6-8
ALUMINIO		P28-J23	.003	.00027	1.1883	4 1/4"	4	640	
ALUMINIO 6061T3	SUA-VE	L8-J83	.0025	.00012	.253	2 1/2	-3/4	2000	7-10
ACERO ALTA VELOCIDAD 18-4-1		K12-A63	.0007	.005	.381	3"	2 1/2	450	

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Pre-sión	172. Velocidad	Acabado en <i>µin</i>
CARBURO DE TUNGSTENO		K12-Z57	.004		.433	3/4	2	650	
CARBURO DE TUNGSTENO		K4-M47	.0025		.135	5/8"	1/4	1600	4wM07
CARBURO DE TUNGSTENO		L4-M47	.004	.0004	.140	15/32	4	1600	15wM47
CARBURO DE TUNGSTENO		K4-M47-55	.003	.0003	.125	.125	1 1/4	800	
CARBURO DE TUNGSTENO	DURO	K8-Z57	.007	.00005	.277	5/8"		1600	
CARBURO DE TUNGSTENO 15% COBALTO		P28-Z47 P28-Z07	.0018 .0005	.00004 .0002	1.824	7/16	1cv	310	6wZ07
CARBURO DE TUNGSTENO HC-295	DURO	P28-Z57	.001	.000001	2.570	2 3/4	1-1/2	250	21
CARBURO DE TUNGSTENO FLAMEADO	DURO	K12-Z87 75	.0002	.00003	.3765	7/16	2-1/4	2500	
CARBURO DE TUNGSTENO	DURO	K20-Z87 55	.002	.0008	.7300	11/16	4-1/2	1000	5-7
CARBON		Y12-J85	.015		.475	1-1/4"	1 1/2	650	
CARBON		K20-J63	.002		.940	5/8	1	450	30
CARBON		M27-J43			3.500	3 1/2	2 1/2	300	
CARBON	SUAVE	P20-J23	.009	0	.860	11"	1	800	150
CARBON	SUAVE	P20-J43	.010	.00003	.780	7 1/4"	1 1/4	800	5-15w CU5
CARBON	SUAVE	Y20-J43	.015	0	.833	1 5/8"	2	1000	60-90
CARBON IMPREGNADO DE COBRE	SUAVE	P28-J21	.009	0	1 1/2	2 11/16	3	500	
CARBON (METALIZADO)	SUAVE	P28-A61	.016	.00002	1.223	1.500	4	500	50-60
CARBON IMPREGNADO DE SILICON	DURO	P20-Z07	.0100	.00005	.934	9"	1/2	800	15-20
CARBOLOY		K8-Z57-55	.010	.0001	.265	1/8"	1 1/2	650	6wZ87
CARBOLOY GRADO 190	DURO	L8-Z47	.0012	.00001	.271	2.42"	1	1600	
CARPENTER 610	59	FB13-Z57 FB13-AA78	.0003		.482	12 1/2"		450	8wAA73
CARPENTER KW		K10-Z57	.005	.0002	.500	3"	1/2	300	
CARPENTER KW	62-64	K10-Z57	.0008	.0002	.340	2"	2	650	
CARPENTER 610	60-62	K10-A57	.008	.0002	.312	3/8"	1/2	800	6
CARPENTER C11 ACERO ESPECIAL	61-62	D6-A67	.0006	.0005	.061	.9"	1/8	1600	
CARPENTER II ACERO ESPECIAL	62-64	L5-A67	.001	.001	.175	2 3/4"	1 1/4	1600	5-7
CARPENTER KW ACERO	60-65	K12-Z57	.0012	.0002	.493	2 7/8"	5	1000	8
CARPENTER 883	50	Y104-J55	.002	.002	3.500	4 1/8	44cv	155	10-15
CARPENTER KW	66Rc	P28-B5AA	.001	.0009	1.7815	1 1/4"	4	400	

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgadas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Pre-sión	173. Velocidad	Acabado en <i>lin</i>
CARPENTER #158	89-90	L5-A67	.012	.00025	.157	2 1/2"	1 1/4	2500	8-15
CARPENTER 883 6 H13	SUA-VE	K10-J47	.004	.0006	.331	.218	1 1/2	3 1600	4wJ95
CARPENTER KW	66	P28-B5AA	.001	.00018	1.7815	1 1/4"	4	400	
CARPENTER KW	60H	P28-B5AA	.0035	.00005	1.4995		1/4-1 1/2	500	
CARPENTER #158	157	L5-A67	.012	.00012	.157	2 1/2"	1 1/4"	2500	8-15
CARMENT CA10 (CARBUR)	DURO	FC26-Z87	.0015	.000062	1.115	5"		640	4
		FC26-Z07	.0005	.0002					
COLADO HIERRO	SUA-VE	C40-J26	.0022	.0012	5.750	13"	CV 4	170	40-60
COLADO HIERRO	SUA-VE	C24-J57	.004	.0007	2.750	3.8"	CV 6	310	27
COLADO HIERRO		K12-J89			.375	2 1/8"	1 1/2	650	7
COLADO HIERRO		FC64-AA75	.001		2.375	12"		300	3-4wAA 95
COLADO HIERRO	SUA-VE	M27-J47	.002		3.500	3 1/2"	3	300	
COLADO HIERRO	SUA-VE	K16-J47	.005	.0002	.562	3.7"	3	1000	20-30
COLADO HIERRO	SUA-VE	C30-J27	.005	.0003	3.635	3 1/2"	3	125	25wJ57
COLADO HIERRO	SUA-VE	P28-J56	.0025	.001	1.625	11"	4	500	20-30
CERAMICA		FEC26-757	.003		.875	7"			
CERAMICA		K8-Z57	.010	0	.250	1"	3	1600	50 15wZ07
CERAMICA	DURO	K20-Z47	.010	.00003	1.180	13/16	1 1/2	1000	30
CERAMICA	DURO	D6-V07	.0032	.0008	.600	7/8"	0	2500	
CERAMICA MAGNETICA		K20-A413	.0045		.875	5/8"	1	450	25-15 wJ99
CELCON CC-25		K20-A63	.006	.00048	.750	2.450	2 1/2	800	20-40
		71							
CROMO RECUBIERTO		K20-Z57	.0005		.681			650	
CROMO RECUBIERTO		P28-Z57	.0005		4"	3 1/8"	4	300	40
CROMO RECUBIERTO		P28-A53	.0002		1.250	9 1/8"	3	450	
CROMO RECUBIERTO EN BRONCE		K20-Z47	.0005	.001	.844	2 5/8"	6	650	70
CROMO RECUBIERTO EN ACERO INOXIDABLE		P28-A45	.0005		1.250	9 1/2"	5	400	6wJ95
CROMO RECUBIERTO	DURO	FB12-AA73	.0001		.561	3/4"		400	
CROMO RECUBIERTO	DURO	FB13-Z57							
CROMO RECUBIERTO	DURO	K20-A43	.001	.010	.750	2 7/8"	4	450	
CROMO RECUBIERTO	DURO	K20-A55	.001	.002	.800	1.2"	4	1600	3

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Presión	174. Velocidad	Acabado en <i>Min</i>
CROMO RECUBIERTO	DURO	P20-A43	.0003		.625	11"	7	640	
CROMO RECUBIERTO	DURO	FC26-Z57 FC26-AA73	.0002		.875	9 1/2"		400	5-8
CROMO RECUBIERTO	DURO	FC26-88	.0002		.993	9 1/4"		400	30wZ57 5wZ07
CROMO	DURO	P28-Z57	.00046	.00017	1.828	7 3/4	8	500	20-25
CROMO NIQUEL HIERRO COLADO	SUAVE	P28-J47	.001	.002	1	9"	4	640	15-25
CROMO OX100	DURO	K20-Z07	.010	.00002	.752	3/4"	2	800	6
CARBURO DE CROMO		K20-Z57	.0044	.00003	.928		3-7	1270	9wZ07
CROMO RECUBIERTO	DURO	P28-J99	.002	.00009	1.750	3 5/16	7-31	400	45-55
COBALTO SIMONS #81	DURO	Y104-A45	.001	.0008	3.506	1 1/16	3-8	200	13-15
COLOMONOY #6		FC26-Z57	.001		1"	10"		450	4-5wZ07
COLOMONOY #6		K12-Z57	.003	.0002		2"	2	650	
COLOMONOY #6	55-60	FB19-Z57	.001	0	.625	2-3/16		450	9-10wZ8
COLOMONOY #20		K20-A47	.002	0	.750	2 1/2"	4	300	
COLOMONOY #5		P28-Z57	.001	0	1 1/16	2 1/8"	4	300	
COLOMONOY #4		P28-Z57	.002	.0001	1 1/4	7/8	4	300	
COLOMONOY #6		P28-Z57	.0008	0	1 3/8	2"	4	300	
COLUMBIUM MUY DURO	SUAVE	L20-A49	.0013	.0002	.867	6"	2	800	15
COLUMBIUM MUY DURO	SUAVE	FC36-AA49	.0015		1.237	6"		250	13-17
COLUMBIUM	SUAVE	K12-A69			.420	2 1/2"	1	650	7wC05
COBRE	SUAVE	F064-AA93			2.250	2 1/4"		300	1-2w
COBRE	SUAVE	P28-J67	.006	.001	1.875	3"	3	400	
CRUCIBLE REX 49		K12-J63	.0033	.0029	.375	7"	4	1210	
C-15	56-60	K5-XD35-54	.0036	.00005	.157	.748	1/2	2500	10-13
CERAMICA 96% ALUMINA +20MOHS		K16-Z57	.019	.00001	.5500	3/4	1 1/2	1270	20-25
COBALTO TIERRA RARA	60rc	K8-A63	.0048	.00025	.285	7/16	1/4	1600	20-25
CARBURO		K12-Z57-55 K12-Z07-55	.003 .002	.0030 .0041	.435	1 1/2	1 1/2	2000	13
CERAMICA		K3-Z57-55 K3-Z57-55 K4-Z07-55	.0037 .0053 .004	.0007 .00175 .0021	.125	1 1/2	1 1/2	2500	14

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgadas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Pre-sión	Velocidad	Acabado en <i>µin</i>
FERRITA		K12-J97	.010		.375	.300	1	650	
FERRO-TIC GRADO C	73-74	P28-Z47	.0007		2.445	1"	3 1/2	200	14wJ93 3wZ07
FERRO-TIC C	SUAVE	P28-Z47	.001	.0003	2.172	1 1/2"	3	250	30
FERRO-TIC C	DURO	K6-Z57	.0035		.240	7/16"	1	1600	
FERRO-TIC-C	40-41	K12-Z47	.0035	.0001	.392	1 3/8"	1 1/2	1270	60-80
FERRO-TIC C	69-71	K16-Z57	.0025	.0001	.571	1"	1	800	20-30 19wZ47
FERRO-TIC C	DURO	K20-Z47	.0015		.720	1"	3	800	4wZ07
FERRITA		K16-J99	.008	.00005	.555	.265	3/4	1270	20-35
FIBRA DE VIDRIO LAMINADA		K12-J59	.007	.0002	.375	3/4"	1	800	30wJ59
FLEXOR ACERO	32	R28-A59-01A	.004	.0009	1.877	3.5	5	310	8-10
FLEXOR ACERO	32	R28-A79	.001	.015	1.8775	3.5	5	310	8-10
FLINT VIDRIO		K12-Z47 K12-J93	.001	.0002	.370	1 1/8"	1/4	1600	50-80 20710 15wJ93
FLORAGREEN (TEFLON) & FIBRA DE VIDRIO	SUAVE	P28-J63	.006	.0001	1.234	5/8"	2 1/2	450	50wJ63 20wJ93
PRIMER PLATEADO	63-64	K16-J63 K16-B5AA	.0007		.584	1 1/2"	3 1/4	800	14wJ93
FIERRO (ARMCU)	DURO	P28-B5AA	.0017	.0002	2"	2 3/8"	4	500	10-15
FIERRO #2 HORNO ELECTRICO	42-44	28-J66	.001	.0004	1.750	7 3/8"	5	310	15-20
FIERRO MODULAR	SUAVE	12-J67	.0068	.00015	.4378	2"	2 1/4	1270	10-20
FIERRO SINTERIZADO, INFILTRADO CON SUP. TRATADO CON NIQUEL	MIN	K10-Z47	.018	.000005	.320	5/8"	3/4	1600	80wZ47 20wA47

MATERIAL	ure za en Rock well "C"	Abrasivo	Material removido en pulga das por minuto	Desgaste del abra sivo por milésima de mate- rial.	Diámetro	Longitud	Pre- sion	181. Velocidad	Acaba- do en <i>min</i>
M2 ATSI ACERO	60-62	L10-A63	.0006		.530	2 5/8"	2 1/2	650	
M2 ACERO ALTA VELOCIDAD	DURO	L3-J63	.0005	.004	.115	2 3/8"	1	1600	8
M2 AAV	64	P28-A55	.003	.001	1.113	1"	4 1/2	640	5-7
M2 AAV	63-65	L4-J65	.001	.0017	.125	1 1/16"	3/4	1600	3-10
M2 ACERO	DURO	F813-JJ83	.0002		.500	3"		1000	2-5
M2 ACERO	60	YY32-J55	.0012		1.250	4"	5 cv	311	8
M2 ACERO	62	Y104-J55	.0015	.0004	4"	4 1/2"	2 cv	125	14
M2 ACERO	62-64	P20-J45	.00045	.0067	.985	10 1/4"	4	310	1-12
M2 ACERO	60	YY32-B5AA	.0025	.00007	1.250	3"	CV2	310	
M2 ACERO	DURO	YY32-B5AA	.003	.00014	1.250	4"	CV2	230	
M2 ACERO	65	P2B-B5AA	.0035	.00002	1.250	1"	5	310	
M2 ACERO	64-66	L5-A69	.006	.00075	.1562	1 3/8"	1/4	2500	
M2 ACERO	64-66	D8-A67	.0016	.0005	.0938	3 1/8"	3/8	2500	
M2 ACERO	63-65	YY32- XB98-44	.002	.000005	1.2500	1/2"	2	310	
M3 ACERO HERRAMIENTA	63-65	K12-J55	.0025	.0005	.392	.720	3 1/2	1600	6-8
M4 AAV	DURO	K20-B5AA	.0016	.00006	.700	2-1/2"	5 1/2	1270	15
M4 ACERO HERRAMIENTA	DURO	K20-B5AA	.0025	.00003	1.190	1-3/4"	4 1/2	640	25
M4 ACERO HERRAMIENTA	DURO	K20-B5AA	.0054	.00012	.750	1-3/4"	4 1/2	800	30
MAGNESIO	SUAVE	FB19-CC05							
MALEABLE FIERRO	SUAVE	K20-A47	.007	.0002	1"	1 5/8"	3	800	12-16
MALLORY 1000 90% W. 4% 62N		K6-A57	.005		.218	3/4"	1 1/2	650	30-4w 393
M10 ACERO	60	L6-J57	.001	.0005	.240	3 1/4"	4 1/2	1600	4-7
MAR-100	DURO	K16-J47	.0008	.0055	.500	3 3/4"	5	1000	4w(BMA)
MAR-200	SUAVE	L12-J47	.0008	.001	.487	3 3/4"	5	1000	10
MAXEL	60	Y32-A63	.002	.001	1.125	1 7/8"	4 1/2	300	10-15
MEHANITA	SUAVE	L20-J59	.002	.0002	.750	4"	1 1/2	450	6wJ97
MEHANITA	50-52	P28-A49	.002	.0001	1.625	6 3/4"	3	650	13
MEHANITA STENNOUS C. MOLYBDENO	50-55	J57							
	SUAVE	L4-A69	.0007	.0004	.125	2"	1 1/2	1600	20

MATERIAL	ure za en Rock well "C"	Abrasivo	Material removido en pulga das por minuto	Desgaste del abra sivo por milésima de mate rial.	Díametro	Longitud	Pre- sion	102. Velocidad	Acaba- do en <i>min</i>
MOLYBDENO	SUA VE	L4-A69	.0008	.003	.125	2 5/8	1	1600	6wJ99
MOLYBDENO	SUA- VE	L16-A413	.0005	.007	.552	7"	1	200	8-12w
MOLYBDENO	SUA- VE	K20-A413 J47 J87	.001	.015	.700	3 1/4"	2	1000	J 97 9
MONEL ECLIPSOLOY 23B		K16-A57	.0025	.0008	.500	.970	2 1/2	650	
MONEL		K20-J95			1"			450	4
MONEL	SUA- VE	K20-A65	.002		.616	1.8	1/2	800	2wJ95 2wC05
MONEL	SUA- VE	M27-A45	.0025	.0004	3"	3 7/8"	2 1/2	200	25-30
M3	65	K12-B5AA	.0048	.00015	.437	1 3/4"	1/2	1000	17
MONEL	32-34	L8-A57	.004	.0005	.250	q.7"	3/4	1600	16
MONEL		P20-A57	.003	.0008	.750	5 3/8"	2 1/2	800	
MONEL TIPO R-405	SUA- VE	L3-A75	.004	.00054	.112	1 1/8"	1/4	2500	4
M-3617	30RC	R-28-B5AA 51	.001	.0004	1.398	2 5/16"	3-2	500	12-16
M-1	62	K20-B5AA	.005	.000011	.7503	.0325	7	800	
M3 AAV	67	K20-B5AA	.0015	.00003	.650	2 7/8"	5 1/2	1000	18

MATERIAL	Grado za en Rock well "C"	Abrasivo	Material removido en pulga das por minuto	Desgaste del abra sivo por milésima de mate rial.	Diámetro	Longitud	Pre sión	188. Velocidad	do en <i>min</i>
S. NOMEI	32-42	K12-J35	.0015		.410	1.3"	1½	1270	2-3wJ83
SILICON		FB19-AA75	.006		1.125	4"		250	2-3wC05
SILICON	74	FC36-AA75	.009	.0001	1.250	2.8"		500	16wAA/5
SILEALITE		K12-Z57	.004		.435	2½"	2½	450	50
STEALITE 221		H4-M07	.016		.123	9/16"	1	1600	25-35
STELLITE # 3 (HAYNES)		L8-J63	.0005	.005	.302	1 11/16"	2	800	
STELLITE		K20-A55 55	.008		1"	.220	2	300	
STELLITE # 19	45-55	K20-J56	.005	.001	.625	2 9/32"	3	650	6wJ85
STELLITE # 4		K10-A57	.0045	.0002	.325	.750	2	450	
STELLITE # 1		P28-J63	.001	.001	1.125	100	2	450	3wJ95
STELLITE # 6		P28-J45	.005	.005	1.750	7/8"	2	300	13wJ45 3wJ95
STELLITE		K8-J93-75			.250	.450	1½-3	1600	1-1½
STELLITE		K8-CD575			.250	.450	1½-3	1600	1-1½
STELLITE	DURO	K20-J23	.0009	.0015	.775	2 5/8"	6	800	7-9
STELLITE # 3	50	K4-Z57	.0035	.00002	.128	.4	3/4	1600	20
STELLITE 6B	SUAVE	K20-J45	.0013	.002	.890	2.7	5	800	7-9
STELLITE J	SUAVE	K20-J47	.006	.006	1.000	.7	4	640	5-10
STELLITE 100	60	K20-J63	.0007	.0003	1.145	3½"	7	400	6
STELLITE 6B		K10-J63	.0008	.0003	.311	5/8"	2½	1600	2-3
STELLITE # 6	DURO	K16-B6AA	.0076	.00003	.550	1 7/8"	5½	1270	10-20
ACERO NITRURADO	DURO	YY48-A63	.0015	3	2.375	4 5/8"	5	230	5-8
ACERO NITRURADO	DURO	YY48-B5AA	.0011	100	2.375	4 5/8"	1	230	13-15
SINIALOY F 1003	37	P28-B5AA	.0057	.0001	1.205	5/16"	5½	800	14
SAE 6145 ACERO	88-42	C30-A46	.008	.00024	3.936	2"	3	310	20
SCM 21		63K20-A61	.00082	.00075	24mm	96.5	1	800	8-9

MATERIAL	en Rockwell "C"	Abrasivo	removido en pulgas por minuto	del abrasi-vo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Pre-sión	190. Velocidad	do en <i>lin</i>
TANTALUM	SUAVE	K20-A59-11	.002		.810	.39	1	640	10w195
TANTALUM	SUAVE	P28-A413	.001	.003	1.046	6"	5	400	25-30
TANTALUM	SUAVE	P28-A413	.00025	.090	1.5	48"	1-3	450	30
TEFLON		K16-J45	.002		.500	1 3/4"	2	450	12-18
TEFLON	SUAVE	FB13-AA73	.001		.500	2"		640	25-35
TEFLON	SUAVE	P28-J63 P28-J23	.0015 .006	.0002	1.000	6"	4	640	20w16; 8w18;
TELNIC		K8-J95						650	6-12
TELNIC	SUAVE	K12-J65	.0025		.4375	2"	1-1	650	5w195
THERMO J ACERO	50	L20-A57	.0005	.004	1"	6"	3 1/2	450	
TITANIUM RC-70	26	K-16-J57	.001	.001	.500	7/8	2	300	20-35
TITANIUM RC-130A	31	K12-J55	.0015	.0003	.437	1 3/8"		450	10-15
TITANIUM		K20-J56	.0005		1"	3"		450	
TITANIUM	SUAVE	K12-J59	.0025	.0025	.405	.20	1	1270	30-50
TITANIUM	SUAVE	FAB-JJ83	.0004		.250	2.8		500	10-6w
TITANIUM FPS-009	SUAVE	K16-J67	.003	.0004	.567	1 1/2	1 1/2	800	10
TITANIUM 167A2983		L5-J69 L5-J95	.0018 .0015	.0035 .0135	.157	1 11/16	1	1270	6-8
TIMKEN 52100	62-6	KD48-AA73	.0005		1.869	8"		300	21w AA93
TUNGSTENO CARBURO +4775		FD48-247 796	.0001		3.621	16"		200	10-15
TUNGSTENO CARBURO		K8-V57	.0012	.0003	.089	1 1/2	0	1600	20
TUNGSTENO CARBURO		L4-M47	.003	.000025	.120	3/4	1	1600	10-20
TUNGSTENO CARBURO		L6-M47	.002	.00005	.230	2 1/2	1	1600	20wM4 2wMO
TUNGSTENO CARBURO CA12 9% COBALTO	DURO	K12-Z47	.003	.0002	.437	7/8"	1 1/2	1600	15-20
TUNGSTENO CARBURO KENNOMETAL GR 173	DURO	H57-M57	.005	.0001	.187	11/32	1	1600	15-25
TUNGSTENO CARBURO #883	DURO	K8-V55	.0035	.00005	.096	3/8"	1	2500	
TUNGSTENO CARBURO	DURO	P28-Z57	.0003	.0002	2.494	15"	CV	310	2-4w Z07
TUNGSTENO CARBURO	DURO	K8-Z47	.0058	.000005	.280	.400	1	1600	
TUNGSTENO CARBURO		C30-Z57	.008	.000008	3.6	2.2	2	125	10-15

MATERIAL	za en Rock well "C"	Abrasivo	Material removido en pulga das por minuto	Desgaste del abra sivo por milésima de mate rial.	Diámetro	Longitud	Pre- sión	197. Velocidad	Acaba- do en <i>min</i>
1020 ROLADO EN FRIO		P28-A45	.0005		2 1/4	8"	2	300	
1020 TUBERIA		P28-A49 A57	.004		1 1/4	8 1/2"	3	450	
1020 TUBERIA ACERO	SAJAVE	M27-A45	.002	.0025	3"	12"	PESA DO	400	
C1025 ACERO	SAJAVE	P28-A59	.003						
1010 TUBERIA ACERO	SAJAVE	K16-A57	.003	.001	.525	4"	3	1270	30-40
1015 ACERO	SAJAVE	Y20-J81	.0003	.002	.8746	2 3/16	1/8	800	5-10
1018 ACERO	50-62	YY32-A49	.0045	.00008	1.3870	4.534	3	500	
1113 CARGADO		K20-A57	.004		1"	1 1/32	1	650	40
1113 ACERO		K20-A79	.0025	.0001	.687	3 3/16	2 1/4	800	10
C1117	DURO	K20-B5AA	.004	.00004	.9665	1 1/4	4	1000	20
1144 L ACERO	50	K20-A57	.003	.0007	.983	2.3	3 1/4	800	10
1144 C ACERO	52-60	YY32-A45	.008	.0003	1.000	2 1/4"	4	1000	15-22
1144 C ACERO	55-60	Y20-A45	.0045	.00018	.751	1 3/8	4	1000	22-28
1117 TUBERIA	61	Y16X-c4095	.0004	.00002	5/8	15/16	3 1/4	1270	8
1118 ACERO	58-62	P28-B5AA	.002	.00007	1.2506	3 1/4	3 1/4	1000	
1118 ACERO	50-62	P28-B5AA P28-J85	.0012 .0004	.00004 .021	1.8775	6"	5-3- 5	230	3-4
17-4PH ACERO INOXIDABLE	SAJAVE	R28-A45	.001	.002	2 1/4	8 1/4	6	320	20wA45
17-4PH ACERO INOXIDABLE	42-48	P28-A45 P28-J96	.0015 .0006	.0004 .0005	1.500	3/4"	1 1/4	570	20wA45
17-7 INOXIDABLE	SAJAVE	K20-A47	.0025	.001	.625	3"	3 1/4	1000	16
17-7 INOXIDABLE	40-45	K20-J57	.0025	.002	.625	3"	3 1/4	1000	16
17-4 PH	43 R	K3-J95	.0013	.00055	.105	3/4"	3/4	1600	5-6
15-5 5PH, AMS 5659		R28-A49	.001	.001	1.7370	12 1/4"	3	170	20-25
C1213	58-60	K6-A65	.010	.0001	.233	.190	5/8	2500	10-15
1855 SODERFORS 16	DURO	K12-B5AA	.007	.0002	.470	2-1/8"	2-1/4	1600	50
ACERO SAE 1330	2-60	K20-A56	.006	.0003	.810	2 1/8"	6 1/4	1000	7-10
AISI MT-1020-C	58	P28-787 P28-A59	.0023 .002	.0003 .0012	1.000	7 1/4	6 1/4	640	8-10
1117-SAE & AISI	58	P28-Z87	.0048	.00009	1.015	2 1/4"	4	640	8wJ97
12L14 ACERO	ASO	K8-A53	.0075	.0007	.282	15/16"	1 1/4	2500	10-15
1113 SAE	63	K12-B5AA	.0112	.0001	.448	5/8	3 1/4	1270	50
1018 ROLADO EN FRIO	ACTS	C40-A24 C40-J87	.0006 .00066	.0055	7.500	13"	2	170	

MATERIAL	Dureza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgadas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Pre-sión	200. Velocidad	Acatado en <i>min</i>
0 INOXIDABLE	30	L6-A57	.0002	.015	.219	32"	3/4	1000	
416 INOXIDABLE	SUAVE	K20-A57	.0025	.002	.650	3"	2 1/2	450	
416 INOXIDABLE	30-40	K20-A58	.004	.003	.8125	1 3/32	3	640	38
416 INOXIDABLE	SUAVE	K20-A65-35	.004	.00033	.9450	3/8"	1 1/2	800	3-16
416 ACERO INOXIDABLE	SUAVE	K10-A57	.0001	.00002	.3126	1 3/16	1-1/2	2000	4-6
4130 TUBERIA	30-35	P28-A55	.0005		1"	12"		450	
4130 TUBERIA	SUAVE	P28-A57	.0008		1.032	12 1/2	5	300	
4130	33-38	R28-A47	.001		1.125	9 1/2	5	450	60
4130 ACERO	55-60	P28-A55	.002	.004	1.750	3"	4	400	15
4130 ACERO	38	Y72-A67	.001	.0003	2.5		1 1/2	320	16-35
4140	SUAVE	L20-A45	.0015		.875	5 1/2	3	650	25
4140	32	L20-A45	.0015		.875	5 1/2	3	650	25
4140	34-38	Y10-A49	.002	.0005	.346	4'	1 1/2	800	
4140 ACERO	SUAVE	P28-A57	.0009	.002	1.750	8 1/2"	5	400	9wJ87
4140 -4142	285	C30-A26	.005	.0005	2.690		CV3	310	40-55
HRS 4140	52-55	L10-257	.0016	.0001	.343	2 3/8"	3	1600	10-15
4140 ACERO	40-45	C30-A23	.0029	.0020	5.000	5 7/8	2	230	30-35
4150 ACERO	DURO	Y32-A43	.0045	.0005	1"	2"	3 3/4	800	20-25
420	DURO	K20-H5AA	.005	.0001	.641	5 1/2	3 1/2	1000	8
420 F	SUAVE	K12-A57	.004	.00019	.3755	2"	1	1600	4wJ95
430 INOXIDABLE	SUAVE	F813-AA7B	.0007	.0011	1/2"	3 3/4		450	25
431 ACERO INOXIDABLE	SUAVE	K16-J67-01A	.002	.003	.560	4 3/16	4-1/2	800	10
431 ACERO INOXIDABLE	38	K16-A411	.001	.002	.563	4 1/8"	3 1/2	1000	2-5
4340	40	R28-A47	.0008	.0004	2.190	11"	4-5	300	50
4340	200KSI	P28-A45	.001		3.869	17 1/2	CV4	310	4
4340	40	P28-A45	.002	.002	1.114	13	7 1/2	800	33
440C INOXIDABLE	50-54	L16-J65							
440C INOXIDABLE	50-60	P28-A73 B5AA	.0004		1.375	6"	4	300	8
440 INOXIDABLE	SUAVE	K12-A57	.0012	.0003	.486	4 1/2	2 1/2	450	
440c INOXIDABLE	59-61	K16-J45	.0011	.0016	.500	2 7/8"	3 1/2	1000	

MATERIAL	Durza en Rockwell "C"	Abrasivo	Material removido en pulgadas por minuto	Desgaste del abrasivo por milésima de material.	Diámetro	Longitud	Presión	203. Velocidad	Acabado er <i>µin</i>
501 INOXIDABLE	DURO	L8-B8AA	.0014	.0001	.250	1 1/2	1	2500	6
515C ACERO	57-65	K6-B6AB	.0024	.00012	.236	.812	1	1600	8-10
52100	58-60	K12-A65	.0016	.004	.485	1/2	4	650	
52100	58-64	K20-A65	.001	.0003	.688	3"			8
52100	15	K20-A57	.0025	.001	.375	3/4	2	650	
52100	58-60	M27-A45	.001		3.1875	10"	2 1/2	300	
52100	58-60	(4) P28-A43	.0009	.0024	2.500	13-5/8	CV4	230	
52100	52-65	K16-B5AA	.002	.00004	.531	2 1/2	3 1/2-5	1270	8-11
52100	56-58	P28-A45	.0032	.0012	2.7490	14"	CV-9	310	15-25
52100	DURO	K12-B5AA	.0045	.00007	.4300	2 1/2"	4	1600	18-21
52100	62	P28-B5AA	.008	.00009	1.125	2"	5	1270	25
52100 ACERO	62	C30-A53	.001	.002	4.9998	8"	3-5	230	5
52100 AIST	50-62	P28-A63	.002	.003	1.502	2.000	2-3-	500	8-10
5640.C.D. INOXIDABLE	5UAVE	K20-A58	.002	.001	.900	.588	1	450	
5643 A.M.S.	45	K20-J56	.004	.0004	.764	1 1/2"	4	800	10
AMS 5707	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	5UAVE	Y32-J83	.0004		1.375	1.180	2	400	2-3
AMS 5735	DURO	K12-B5AA	.002	.0001	.375	3"	4	1600	30
52132 ACERO	54-66	YY32-XB98 48	.0016	.000008	1.250	5"	2	310	20
52100 TUBERIA	54-58	L5-A65	.0034	.00077	.170	2 3/4"	1/2	2500	12-15
52100	50Rc	K20-XD34-54	.008	.000028	.625	11/16"	1 1/2	1000	4
52100	50Rc	K20-J87	.002	.005					
		K8-XU-3554-55	.0096	.00028	.2495	7/16	1	2500	6-8
		RB-J87-55	.003	.0025			2		

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

El bruñido es un maquinado de alta precisión, que por sus características es utilizable en la fabricación de cualquier tipo de piezas metálicas ó similares, donde se necesite un grado de precisión más alla de la convencional obtenible por medios clásicos.

Al no generar las altas temperaturas y deformaciones comunes en otros medios de rectificado, el bruñido mantiene las propiedades metalurgicas originales de las superficies tratadas.

Es el medio más adecuado para generar superficies propicias para la retención de películas de aceite y depositos de metales como el níquel y el cromo, como es el caso de piezas sujetas a condiciones extremas de corrosión.

Debido a lo anterior y el buen acabado superficial obtenible, los ensambles hechos con piezas bruñidas, permiten mantener un excelente control de calidad de manera repetitiva.

El bruñido se justifica en piezas cuya relación de longitud a diámetro sea mayor de dos veces, por existir otros medios, como el rectificado de interiores, el cual permite obtener mejores resultados.

Debido al costo que representa obtener mejores tolerancias y acabados superficiales, es recomendable observar un criterio valorativo en el sentido de justificación del proceso, no cayendo en el error de aplicarlo a piezas ó ensambles en los cuales no es necesario, no reportando mejoras notorias pero sí elevando su costo.

El bruñido electroquímico es una técnica muy nueva, recientemente aplicada en la industria, con muy buenos resultados que viene a abrir el camino a un proceso clásico como el bruñido bajando de una manera impresionante los costos por concepto de tiempo/pieza sin menoscabo de la precisión y acabado superficial.

En conclusión, el bruñido permite la fabricación de piezas de alta precisión a un costo bajo, debido en su mayor parte a la gran velocidad de remoción de material, manejándose un promedio de 18 a 40 seg/pieza en condiciones normales, sin pérdida de tolerancia en la geometría y en el acabado superficial de una manera repetitiva.

B I B L I O G R A F I A

DALLAS, D

1949

Tool and Manufacturing Engineers Hand Book

Mc Graw-Hill Book Company

3a. Edición 1976

Dearborn, Michigan E.U.A.

FARAGO, F.

1976

Abrasive Methods Engineering (Vol. 1, 2)

Industrial Press Inc.

2a. Edición 1980

New York, N.Y. E.U.A.

FARAGO, F.

1968

Handbook of Dimensional Measurement

Industrial Press Inc.

7a. Edición

New York, N.Y. E.U.A.

OBERG E.; F. JONES; H. NORTON

1914

Machinery's Handbook

Industrial Press Inc.

21 Edición 1980

New York, N.Y. E.U.A.