



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

PRUEBAS DE MAQUINADO DE UNA
ALEACION AL-Si 6% AL VARIAR SU
ESTRUCTURA DE COLADA POR
MOVIMIENTO DE ROTACION.

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a

TOMAS ARTURO CAMPOS TELLEZ



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

México, D. F.

1985



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.

C O N T E N I D O

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES.
 - 1.- PRINCIPIOS BASICOS DE SOLIDIFICACION.
 - 1.A NUCLEACION
 - i) HOMOGENEA
 - u) HETEROGENEA
 - 1.B SEGREGACION
 - 2.- MAQUINABILIDAD DE METALES Y ALEACIONES.
 - 3.- PRINCIPIOS BASICOS DE MAQUINADO
 - 3.A GEOMETRIA DE LA HERRAMIENTA
- III.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL
 - 1.- MATERIAL EXPERIMENTAL
 - 2.- CONSTRUCCION DEL MOLDE
 - 3.- METODO EXPERIMENTAL
 - a) PRUEBAS DE MAQUINADO
 - b) EXAMEN METALOGRAFICO
- IV.- PRESENTACION DE RESULTADOS
- V.- DISCUSION
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- APENDICES
 - APENDICE "A"
 - APENDICE "B"
- VIII.- BIBLIOGRAFIA.

I.- I N T R O D U C C I O N

I. INTRODUCCION

La estructura de fundición tiene gran importancia en las propiedades de muchos materiales, especialmente en las propiedades mecánicas y éstas pueden ser modificadas por medio de: uso de aleantes, tratamiento térmico específico y deformaciones mecánicas, de acuerdo al uso que se le dé a dicho material.

El aluminio es un metal de gran aplicación industrial, - debido a su ligereza y además porque es inatacable por el - agua y presenta gran resistencia. Debido a estas propieda-- des se utiliza en la fabricación de muchas aleaciones, sien-- do utilizadas principalmente en las industrias: Naval, Mecá-- nica, Eléctrica, Alimenticia, Aeronáutica, etc.

Por lo tanto, en fundición los motivos de agregar algu-- nos elementos aleantes al aluminio puro son por las siguien-- tes razones:

- a) Obtener las características mecánicas deseadas en los materiales.
- b) Mejorar las características de fusión tales como: aumentar la fluidez y reducir los defectos (contrac-- ciones, rechupes, sopladuras, etc.).

Los elementos aleantes agregados intencionalmente deben caer dentro de un cierto intervalo en la composición quí-- mica. Este intervalo dependerá de las propiedades requeri-- das en la aleación, basado en el diagrama de fases corres-- pondientes.

Los elementos aleantes utilizados con más frecuencia -- son: Silicio (es el que más interesa en este trabajo), Cu, Mo, Ti y B; otros menos comunes son: Zn, Ni, Cr, Sn, Fe, - Na y Be.

Para producir una pieza con las características y propiedades mecánicas requeridas, todos y cada uno de los elementos agregados deben de ser controlados; cuando un elemento ofrece ventajas para una aleación puede ser dañino para otra.

El presente trabajo tiene por objeto determinar las propiedades de maquinado en torno de una serie de estructuras de una aleación Al-Si 6% obtenidas por movimiento de rotación durante la solidificación de esta (1) ver apéndice "A". Las diferentes muestras así obtenidas son sometidas a pruebas de maquinado en el torno, bajo la siguiente condición:

Vel. Alimentación = CTE.

Profundidad de Corte = CTE.

Tiempo = CTE.

Geometría de la Herramienta = CTE.

*Velocidad de Corte = Variable.

La obtención de muestras de maquinado, se realizó utilizando un dispositivo (2) ver el apéndice "B", el cual permite frenar súbitamente la operación de corte.

La prueba de maquinado efectuada en el torno con el dispositivo es la siguiente: Obtención de muestras de parada rápida (virutas) y de buriles a diferentes tiempos.

Con los datos obtenidos en las pruebas efectuadas bajo las condiciones empleadas, se puede afirmar con seguridad, cuál de las diferentes estructuras presentan las mejores condiciones de maquinado en el torno.

II.- G E N E R A L I D A D E S

II. GENERALIDADES

I. PRINCIPIOS BASICOS DE SOLIDIFICACION.

Como se mencionó anteriormente, el tipo de estructura obtenida en las piezas de fundición tiene un papel muy importante en las propiedades mecánicas de los materiales. Y la estructura lograda se debe más que nada a la forma en que se lleva a cabo la solidificación de los metales.

La solidificación es una transformación del estado líquido al estado sólido de algún material. Este proceso se lleva a cabo por medio de nucleación y crecimiento de una fase nueva. A continuación se explicará el fenómeno de nucleación:

1. A NUCLEACION.

La nucleación comienza cuando en el metal líquido se forma un núcleo sólido como respuesta a una fuerza impulsora que provoca el cambio de una posición de equilibrio a otra.

Esta fuerza impulsora es el cambio en la energía libre del sistema.

El proceso de nucleación de un metal o una aleación puede ser por:

I) NUCLEACION HOMOGENEA.

La teoría de nucleación homogénea, considera la formación de una fase por la agregación de componentes de otra fase sin que se presenten cambios de composición y sin inicios influenciados por superficies, externas o impurezas. Está basada en la teoría de -

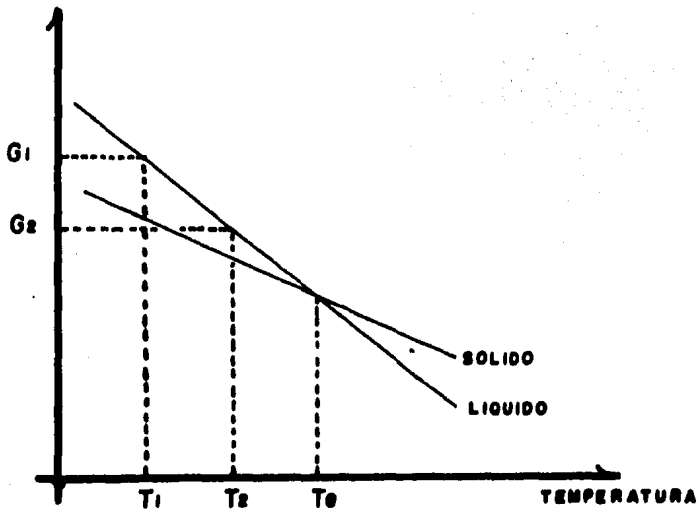
nucleación clásica (3) teoría desarrollada para la formación de líquidos a partir de un vapor puro, desarrollada por Volmer y Weber en 1922.

Para determinar cómo y cuándo acontece la nucleación, es necesario considerar el problema desde el punto de vista tanto de la termodinámica, como de los linderos de cinemática.

En termodinámica existe una temperatura en la que un metal sólido puro puede mantenerse en equilibrio con el metal líquido. A esta temperatura las energías liberadas por las dos fases, son iguales a las descritas en la figura 1.

DIAGRAMA DE ENERGIA LIBRE VS. TEMPERATURA DE UN METAL PURO.

ENERGIA LIBRE
POR UNIDAD DE
VOLUMEN



DONDE

T_e - Temp. de solidificación

Δg - Energía libre.

Abajo de la temperatura de congelación o de fusión - T_e , la fase del sólido es estable puesto que tiene - la energía libre más baja. Arriba de T_e la fase del líquido también es estable. Un metal será sólido --- siempre y cuando esté abajo de la temperatura del -- punto de fusión, porque en la transformación del líquido-sólido hay siempre un descenso asociado con la energía libre.

La nucleación homogénea es de difícil estudio porque no es fácil preparar de tal manera el metal para poder apartar las partículas extrañas que el mismo contiene. Esto se logra, sin embargo, por medio de la - subdivisión del metal en pequeñas gotas que son aisladas entre sí. Puesto que hay un número limitado de partículas impuras, presentes en el conjunto del metal líquido, algunas de las pequeñas gotas no contienen materias extrañas, por lo que la nucleación resulta homogénea.

II) NUCLEACION HETEROGENEA

Si un metal solidifica con sustancias extrañas, ya - sean éstas impurezas indisolubles o procedentes del recipiente, es esencial que la superficie del sus--trato (capa inferior) sea bañada por el metal líquido. Satisfecha esta condición, el siguiente paso en la nucleación es procurar que el líquido solidifique fácilmente en el sustrato. Por esta razón, el ángulo de contacto entre el sustrato y el metal sólido que está siendo depositado, completa el ciclo de un im--

portante concepto teórico de la nucleación, a pesar de que dicha teoría no sea usada ampliamente en la práctica.

La mayoría de los metales comerciales contienen suficiente y variado número de impurezas insolubles por la nucleación, cuando ocurre de 1-10°C de bajo enfriamiento.

I.B SEGREGACION.

Cuando se trata de aleaciones, la solidificación involucra la macro y microsegregación, ya que el sólido formado tiene una composición distinta a la del líquido por tal motivo la segregación puede ser dividida en dos partes:

I) MICROSEGREGACION: Incluye las diferencias de concentración de corto alcance, semejantes a las encontradas entre células, dendritos y granos.

II) MACROSEGREGACION: Se refiere a las variaciones de largo alcance en la composición y en el centro de una fundición o de un lingote.

Cada tipo de segregación, será examinado por separado a continuación:

I) MICROSEGREGACION:

IA) INTERCELULAR.

Una subestructura celular se forma frecuentemente durante la solidificación, como resultado de la interacción del bajo enfriamiento.

Los contornos de una célula, son ricos en solución -

cuando K_0 coeficiente de distribución de equilibrio del sistema, es menor a 1, y muy pobre en solución - cuando K_0 es mayor a 1, $K_0 = S - L = \frac{X_s}{X_l}$.

Xl

Sí es cierto que la célula de la estructura se origina por el enriquecimiento de la solución en la interfase sólido-líquido, cuando K_0 es menor a 1, la segregación de los contornos de la célula es el resultado de la difusión, hacia los lados de la solución, cuya eliminación se inicia en las puntas de la proyección cuando comienza su crecimiento.

La cantidad de solución que llega a los contornos de la célula depende de K_0 y de la profundidad de los - canales intercelulares de la interfase.

I.B) INTERDENDRITICA.

El caso más conocido de microsegregación, es el que existe entre los dendritos llamados "NUCLEADOS" porque su corazón es de diferente composición a la del exterior del dendrito.

La segregación interdendrítica, es el resultado de - la difusión lateral de la solución estancada entre - los ramales de los dendritos.

I.C) INTERGRANULAR.

Al igual que la segregación interdendrítica, la existencia de zonas de alta solución en los límites de - granos ha sido conocida desde hace tiempo.

II) MACROSEGREGACION.

II.A) SEGREGACION NORMAL.

El centro de un lingote puede tener mayor concentración de materia disuelta, que la que tiene la parte exterior, este tipo de segregación se conoce con el nombre de "NORMAL".

La alta concentración en el centro, es el resultado del rechazo que de la materia acumulada disuelta, hace la interfase sólida-líquido durante la última parte de la solidificación del lingote. La distribución de la materia disuelta en el lingote solidificado, depende de varios factores, entre los que se incluyen la estructura del grano considerando un crecimiento unidireccional y que la interfase sólido-líquido sea plana; en caso de ausencia de células o dendritas, las curvas de distancia se calculan por las diferentes condiciones de la solidificación.

II.B) SEGREGACION INVERSA.

El cambio de volúmen durante la solidificación, tiene, prácticamente sus consecuencias. Una de ellas es la tendencia a la segregación, fenómeno conocido como "SEGREGACION INVERSA", en la que la parte exterior del lingote tiene una concentración más alta de la solución que en el centro, aún cuando K_0 es menor a uno.

La segregación ocurre únicamente en aleaciones que sufren contracciones durante la solidificación, ella es favorecida también por el crecimiento columnar en aleaciones de solidificación lenta. Por ejemplo: Una aleación 10% estaño y cobre, que solidifica de adentro hacia afuera.

La segregación inversa puede ser controlada pero no eliminada, mediante la formación de granos finos de estructuras equiaxiales que impiden corrientes de retroceso unidireccionales.

2.- MAQUINABILIDAD DE METALES Y ALEACIONES.

El término "Maquinabilidad" puede ser considerado para implicar que existe una propiedad en el material. Aunque de hecho no -- existe una clara definición del término.

La maquinabilidad puede ser definida como la facilidad o dificultad que presenta el metal ó aleación, para ser removido el material no deseado por medio de un proceso de corte (maquinado), con - el fin de obtener un acabado superficial y dimensional aceptable. - La maquinabilidad de un material de trabajo normalmente puede ser - medida en término del número de componentes producidos por hora y - su costo por pieza ó por la calidad del acabado en la superficie.

Un material puede tener buena maquinabilidad por un criterio - pero mala por el otro:

- A) Cuando varía el tipo de Operación.
- B) Cuando las condiciones de corte o las herramientas - son cambiadas. Para tratar esta situación, el con - cepto de maquinabilidad es evaluado en términos de - los siguientes cinco criterios que actualmente se u - tilizan en la literatura y se intenta explicar el -- comportamiento del metal durante el maquinado en -- términos de la composición y microestructura:

1) DESGASTE DE LA HERRAMIENTA.

Este es el término que regularmente está más relacionado con maquinabilidad. La rapidez con la cual la - herramienta se desgasta, bajo ciertas condiciones de corte (Velocidad y profundidad de corte etc.), deteru

mina la frecuencia con la cual son requeridos ajustes y/o reemplazo de ésta llevando asociado el tiempo necesario para la operación. La vida de la herramienta como medida de maquinabilidad, es la cantidad de material removido por la herramienta, bajo condiciones regulares de corte, antes de que el comportamiento de la herramienta llegue a ser inaceptable, o sea que la herramienta esté desgastada.

2) VIRUTAS.

La longitud de las virutas determinará la facilidad para ser removidas, ya que si éstas son continuas, implica que existe una mayor área de contacto entre la viruta y la herramienta, provocando fricción y -- por consecuencia un desgaste de la herramienta.

3) ACABADO DE SUPERFICIE.

El acabado de superficie es el grado de tersura obtenida en una superficie después de ser maquinada; este acabado superficial está relacionado con el desgaste de la herramienta, la zona acumulada en la punta de corte y con el material por maquinar.

4) ZONA ACUMULADA EN LA PUNTA DE CORTE.

La tendencia del material de la pieza de trabajo a adherirse en la punta de corte de la herramienta -- (también relacionado a ciertas condiciones de maquinado) afecta directamente la capacidad para tener un control dimensional y obtener un buen acabado superficial.

5) REQUERIMIENTOS DE TRABAJO DE LA MAQUINA:

Las fuerzas generadas durante el maquinado afectan la vida de la herramienta y los requerimientos de potencia de la Máquina-Herramienta. Otra vez, los requerimientos de trabajo son afectados por las condiciones de maquinado.

La facilidad con que se puede maquinar un metal o aleación depende principalmente de dos Factores:

- 1.- La Técnica Mecánica Empleada.
- 2.- La microestructura del material que se va a maquinar.

El primero incluye características tales como el diseño de las herramientas y las condiciones en las que es efectuado el maquinado. Las características microestructurales del metal por maquinar son determinadas por factores relacionados con la química del material, el proceso de fabricación que afecta las dimensiones, su solidificación, características de superficie y solidez de la pieza, tratamiento que afectan la pureza del metal fundido, impurezas presentes, metálicas y no metálicas, es decir por factores metalúrgicos por lo que el maquinado de piezas metálicas ha sido erróneamente, solo de interés por los ingenieros mecánicos.

El segundo factor es el que nos interesa, ya que el primero -- solo se mantendrá constante por lo tanto solo se relacionará al segundo.

El maquinado es en realidad una operación de trabajo en frío, en la cual el borde cortante de la herramienta forma rebabas del material maquinado y el proceso se facilita con la formación de pequeñas fisuras inmediatamente adelante del borde cortante, debido a las altas concentraciones de esfuerzo que éste produce. Las aleaciones muy dúctiles no se maquinas bien debido a que la fractura local no ocurre fácilmente bajo la presión de la herramienta cortan

te. En cambio, estas aleaciones producen un esparcimiento bajo la presión de la herramienta con un flujo cerca del borde, de manera que éste se indenta en el metal. Entonces entra en juego la fricción produciendo un sobrecalentamiento y la destrucción eventual del borde.

Por lo tanto una aleación frágil será más adecuado para el maquinado que otra dúctil. La aleación frágil generalmente es inadecuado para el servicio, en particular bajo condiciones de impacto. Sin embargo, se puede encontrar un punto intermedio introduciendo lo que se llama fragilidad local en una aleación, produciendo al mismo tiempo poco o ningún deterioro en la tenacidad al impacto del material en conjunto. Esto se puede lograr de tres maneras:

- A) Por la presencia de un constituyente que exista en formas de partículas aisladas en la microestructura. Tales partículas, ya sea de material duro o blando, tienen el efecto de desarrollar esfuerzos concentrados localmente conforme se les aproxima el borde cortante. Así una fractura diminuta viajará del borde cortante a la partícula en cuestión, reduciendo así la fricción entre la herramienta y el material cortado. Además de la reducción de desgaste de la herramienta existirá una reducción de la potencia requerida para la operación. Por otra parte, debido a la discontinuidad introducida por las partículas, la viruta producida quedará en trozos de tamaños convenientes, en lugar de las virutas alargadas y rizadas que se obtienen cuando se maquina un material dúctil. De hecho en algunos de los materiales de corte fácil, por ejemplo: Latones al plomo, la rebaba producida tiene una naturaleza que se asemeja a un polvo.

La presencia de inclusiones mejora la maquinabilidad

- B) Por tratamiento térmico adecuado del material, antes de llevar a cabo la operación de maquinado. Por ejemplo. los aceros de bajo carbono se maquinan más fácilmente en la condición de normalizado.
- C) Trabajado en frío del material antes de su maquinado. El material que se suministra en forma de barras para operaciones de maquinado generalmente se estira en frío o "Estirado Brillante". Este tratamiento conduce a alguna mejora en la maquinabilidad, reduciendo la ductilidad y causando la producción de cierta fragilidad de la superficie de la varilla.

3. PRINCIPIOS DE MAQUINADO.

En un amplio sentido existen dos diferentes clases de procesos de manufactura en el estado sólido.

- 1) Procesos que producen la configuración requerida con las propiedades mecánicas necesarias, por medio de una deformación plástica en el cual el material es desplazado y su volumen es conservado.
- 2) Procesos de maquinado que producen la forma final requerida removiendo áreas seleccionadas de la pieza de trabajo, al tener un relativo movimiento de la herramienta y la pieza de trabajo, si bien, usualmente se suministra energía mecánica a los procesos de maquinado, algunos de los nuevos procesos emplean energía: Química, Eléctrica y/o Térmica.

Generalmente el maquinado se usa para producir cierta configuración con buena tolerancia dimensional y acabado de superficie y con frecuencia, con una geometría compleja.

El maquinado es una operación secundaria de proceso, puesto

que usualmente es llevado a cabo en una pieza que fué producida por un proceso primario como puede ser laminación en caliente, forja -- y/o fundición.

Las herramientas de maquinado generan superficie en dos cami-- nos:

- A) Usando un tipo de herramienta con la misma forma.
- B) Haciendo recorrer la herramienta a lo largo de la pieza de trabajo aplicando una profundidad de corte.

El movimiento principal o primario dado por la máquina para - causar el movimiento relativo entre la herramienta y la pieza de trabajo ocasiona que la punta de corte de la herramienta se acer-- que a la pieza de trabajo.

El movimiento secundario es el recorrido a lo largo de la pie-- za de trabajo el cual puede ser dado por la herramienta y/o la pie-- za de trabajo que sumado al movimiento primario, da como resultado una acción repetitiva de material removido y la creación de una - nueva superficie con la geometría deseada.

En la mayoría de las operaciones de trabajo de metales la --- geometría es predeterminada, pero en maquinado el plano de corte - no está restringido. La forma del material removido, las fuerzas- de corte y la energía para remover el metal, dependen del ángulo - del plano de corte, el cual también es dependiente del material de trabajo. La siguiente figura nos muestra el proceso de corte:

Sumado a este plano de corte, usualmente hay una región de cor-- te secundario sobre la cara de incidencia de la herramienta y esto-- ejerce una fuerte influencia en el ángulo del plano de corte ϕ ; si-- el ángulo de incidencia de la herramienta se incrementa, el plano - de corte penetra aún más a la pieza de trabajo y removemos material más delgado.

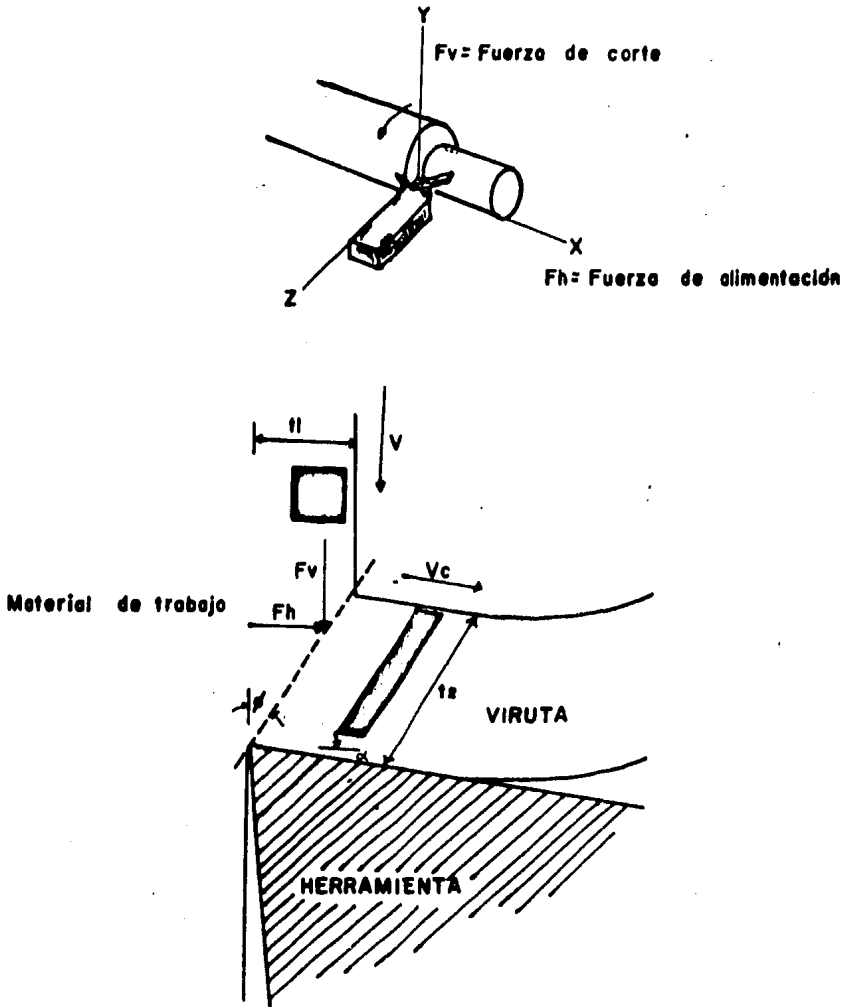


FIGURA No.2 DIAGRAMA DEL PROCESO DE CORTE

GEOMETRIA DE LA HERRAMIENTA.

La herramienta es la pieza final de una cadena cinemática -- que, comenzando en el motor eléctrico, comprende todos los elementos de la máquina, los cuales han sido proyectados y realizados para obtener una determinada relación de movimiento entre la pieza que se mecaniza y la herramienta. Esta última es, por consiguiente, junto con el movimiento, el medio de que se vale la máquina para cumplir con su trabajo, y como tal, puede ser, según su naturaleza y su forma un factor determinante del rendimiento de la máquina.

Hasta hace poco más de cincuenta años, era sólo el criterio personal de cada operador el que determinaba la forma más apropiada de la herramienta. Se comprende que los resultados fueron inexactos como fruto de factores individuales.

Hoy ya no es empírica la elección de los datos de trabajo; es obligado el respeto a determinadas características geométricas asignadas a la herramienta en el acto de su nacimiento y mantenerlas inalteradas en los sucesivos afilados, que deberán confiarse a personal especializado que disponga de maquinaria adecuada. La herramienta puede modificar la forma de la pieza mecanizada mediante la eliminación de materia en forma de viruta (máquinas de torneear, fresadoras, rectificadoras, etc.), o bien mediante sección en partes (cortadoras, cizallas, punzonadoras), o también por último, mediante deformaciones, es decir, sometiendo la pieza a una carga unitaria superior al límite de elasticidad, pero naturalmente, inferior al límite de ruptura (prensas, martillos, pilones, etc.).

A continuación solo se darán algunas definiciones geométricas y la nomenclatura relativa de la herramienta que produce viruta. La figuran no. 3 nos muestra la terminología de una herramienta de corte.

r = radio de la punta de corte = 0.38 mm
 θ_s = ángulo de claro lateral = 6°
 θ_c = ángulo de claro frontal = 6°
 α_b = áng. de incidencia frontal = 14°
 α_s = áng. de incidencia lateral = 0°
 C_b = " " " viaje frontal = 6°
 C_s = " " " viaje lateral = 6°
 ϕ = ángulo de ataque = 84°

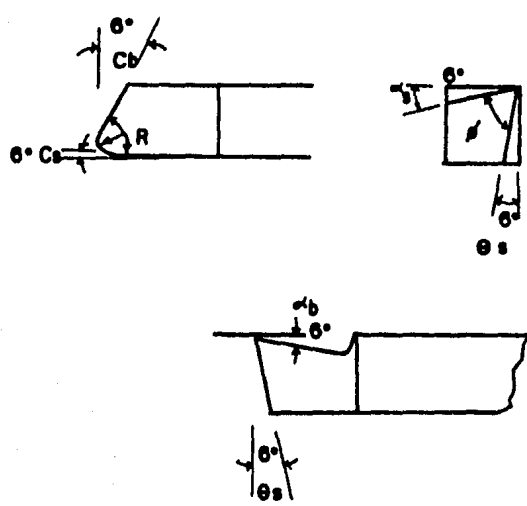
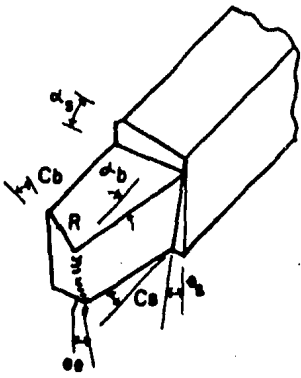


FIGURA No.3 TERMINOLOGIA DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE

III.- P R O C E D I M I E N T O
E X P E R I M E N T A L

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1.- MATERIAL EXPERIMENTAL.

Las aleaciones de Al-Si tiene una gran variedad de usos en las industrias y se emplea considerablemente en la industria aérea, automotriz, electrónica, en la industria alimenticia y en general se emplea en las diferentes industrias en gran escala. En este tipo de aleaciones el contenido de silicio juega un papel muy importante en las características del material, las cuales dependen directamente del uso que se les dé, ya que cada uno presenta propiedades específicas. Así por ejemplo, las aleaciones de Al-Si 6 % se utilizan en la fabricación de piezas, tales como pistones para coches, hélices, etc.

Este tipo de aleaciones comprende una importante familia con una estructura de fundición de alta resistencia y encuentran gran aplicación como materiales resistentes aún a altas temperaturas.

Por este motivo, el material que se utilizó fue una aleación de Al-Si 6%, el cual es el mismo al del trabajo anterior (1), en cuanto a composición química se refiere, siendo los demás factores diferentes.

En el trabajo anterior el punto de interés se centró en la influencia del movimiento de rotación en la estructura obtenida manteniendo los demás factores constantes. Así, las muestras obtenidas cambiando la dirección de giro presentan granos equiaxiales y sopladuras en todas las muestras.

Macroscópicamente se observa un refinamiento de grano y sopladuras directamente proporcional al número de revoluciones por minuto. Microscópicamente las fases presentes en la solidificación resultan afectadas en comparación con la

estructura en equilibrio. Así mismo encuentra la destrucción de las dendritas de la Fase α , por lo que esta aparece sin orientación dentro del eutéctico.

Las muestras obtenidas sin cambio de giro, presentan la formación de sopladuras y orientación preferencial de los granos, por lo tanto únicamente nos ocuparemos de la estructura obtenida sin cambio de giro y concluimos que a medida que aumenta el No. RPM, la cantidad de sopladuras aumenta, disminuyendo el tamaño de estas. Así como también el tamaño de grano equiaxial es pequeño y con una orientación preferencial.

Un grano equiaxial, bajo condiciones usuales de solidificación (estático), sufre el efecto de esfuerzos que le permiten tomar una forma irregular. Esta irregularidad se ve incrementada con el movimiento de rotación. Por tal motivo, las muestras obtenidas presentan muchos defectos debido a las condiciones en que se realizaron y considerando que estos defectos podrían disminuirse modificando algunos factores, tales como: tamaño del molde y la camisa, forma del molde y la camisa, tiempo de rotación, camisa de arena, revoluciones seleccionadas, pintura, temperatura de colada, etc.

Se procedió a seleccionar el mismo material, con el fin de obtener las mismas estructuras y observar cuales de estas muestras presentan las mejores condiciones de maquinado.

2.- CONSTRUCCION DEL MOLDE.

Se modificó el diseño del molde empleado en el trabajo anterior (1), el cual era pequeño y rectangular; ocasionando con esto muchos defectos en los vertices del lingote. - El material utilizado para el molde fue un acero inoxidable 304 L.

Para tratar de disminuir problemas en el maquinado se ideó la forma del molde y se optó por escogerlo más grande y de forma cilíndrica. A continuación se presentan las dimensiones del molde (ver la figura No. 4)*.

Después de construir nuestro molde se procedió a efectuar algunas pruebas preliminares, para ver si iban a resultar estas modificaciones y observar si los resultados eran satisfactorios. De esta forma se detectaron las fallas de las cuales la más importante era la adherencia que sufría el material entre las paredes del molde y la camisa, ocasionando con esto dificultades para extraer el molde de la camisa.

Para solucionar este problema se optó por colocar una capa de arena de fundición entre la pared del molde y la camisa, tal y como se muestra en la figura NO. 5.

* NOTA: Las figuras de este capítulo se presentan al final de éste.

3.- METODO EXPERIMENTAL.

El material fue fundido en un horno vertical de resistencia marca "Linderberg"; éste fue sacado del horno a --- 850°C (Termopar cromel-alumel) y posteriormente colado en el dispositivo a una temperatura de 800°C considerando que durante el manipuleo llegará el momento de iniciar el experimento a la temperatura de vaciado (800°C).

Se deja en el dispositivo durante 5 minutos girando--- éste a las revoluciones seleccionadas, se desmoldea y así se obtuvieron las muestras. Las figuras 6 y 7 indican el equipo completo utilizado para moldear.

La siguiente tabla nos indica las muestras obtenidas--- bajo las siguientes condiciones:

$$T_{\text{vaciado}} = 800^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{de rotación}} = 5 \text{ min.}$$

T A B L A No. 1

M U E S T R A	RPM	OBSERVACIONES
0	0	Solidificación normal -- (estática).
1	90	Se vacía el metal estando el molde en movimiento.
2	90	Se vacía el metal cuando el molde está estático -- una vez vaciado el metal inmediatamente se pone en movimiento el molde.
3	230	Se vacía el metal estando el molde en movimiento.
4	230	Se vacía el metal cuando el molde está estático; una vez vaciado el metal inmediatamente se pone en movimiento el molde.

A las muestras así obtenidas se les efectuaron las siguientes pruebas:

- a) Pruebas de Maquinado.
- b) Exámen Metalográfico.
- a) PRUEBAS DE MAQUINADO

Las pruebas se efectuaron en un torno horizontal, con velocidad variable de 75 a 1325 rpm.

Las condiciones de maquinado utilizadas para obtener las muestras de "PARADA RAPIDA", son las siguientes:

Velocidad de corte (Vc): 75-480 RPM.

Velocidad de Avance (Vav): 1.75 mm/rev.(cte).

Profundidad de Corte : 0.6 mm (cte).

Tiempo de Corte: 30 seg. (para permitir que se normalice el corte).

El material de la herramienta de corte utilizado fué en acero de alta velocidad al cobalto designación M-34 y a ésta herramienta se le dió la siguiente geometría:

Radio de la punta de corte = 0.38 mm

Angulo de claro lateral = 6°.

Angulo de claro frontal = 6°.

Angulo de incidencia frontal = 14°.

Angulo de incidencia lateral = 0°.

Angulo de viaje frontal = 6°.

Angulo de viaje lateral = 6°.

Angulo de ataque = 84°.

Esta se mantuvo constante en todas las pruebas.

Las figuras 8 y 9 nos muestran el proceso de maquinado y el dispositivo utilizado para obtener las muestras de "parada rápida".

Estas condiciones han sido reportadas como las más adecuadas para la mejor observación de la formación de la viruta (3) ver la referencia número 10.

Con estas condiciones de maquinado se obtuvieron las muestras de "parada rápida", las cuales se clasificarán de acuerdo a las condiciones en que se obtuvieron. La siguiente tabla nos muestra dicha relación:

T A B L A No. 2

M U E S T R A	R P M	VELOCIDAD DE CORTE (m/min)
00	75	13
01	160	28
02	265	46
03	480	83
* 10	75	13
11	160	28
12	265	46
13	480	83
20	75	13
* 21	160	28
22	265	46
23	480	83
30	75	13
31	160	28
* 32	265	46
33	480	83
40	75	13
41	160	28
42	265	46
* 43	480	83

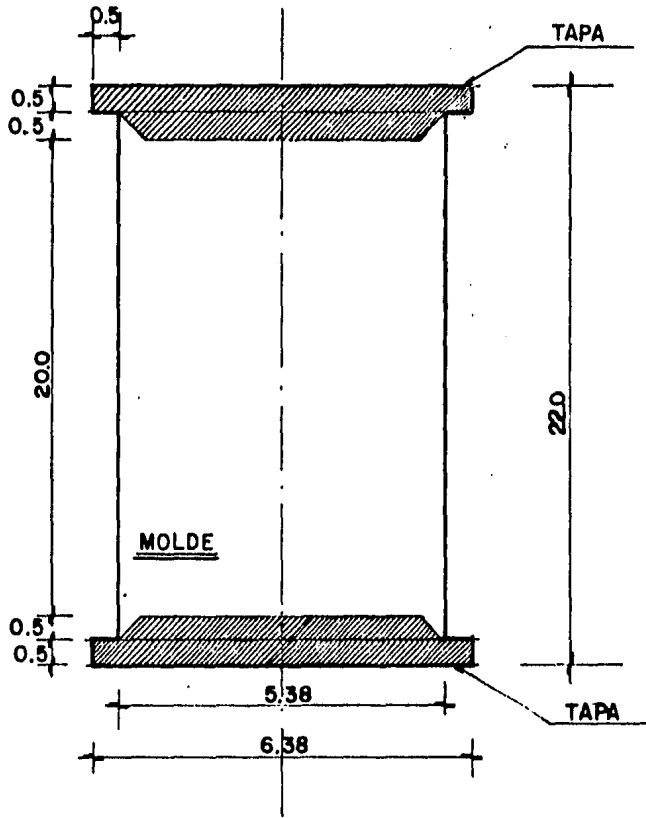
El primer dígito indica las condiciones en que se obtuvieron los lingotes, según la tabla 1, el segundo dígito -- nos indica las condiciones de maquinado utilizadas particularmente. Por ejemplo: La 01 nos indica que:

0 la muestra fué solidificada normalmente.

1 las condiciones de maquinado utilizadas, según la tabla No. 2, en este caso la velocidad de corte es 28-m/min.

b) EXAMEN METALOGRAFICO.

Las diferentes muestras de maquinado obtenidas, son -- montadas en probetas para realizar su metalografía empleando como reactivo de ataque HF (conc) que fue el que dió mejores resultados, de acuerdo a las diversas pruebas realizadas con otros reactivos y con soluciones de HF+NaOH a diferentes concentraciones.



COTAS EN cm.

FIGURA No. 4

Forma y dimensiones del molde.

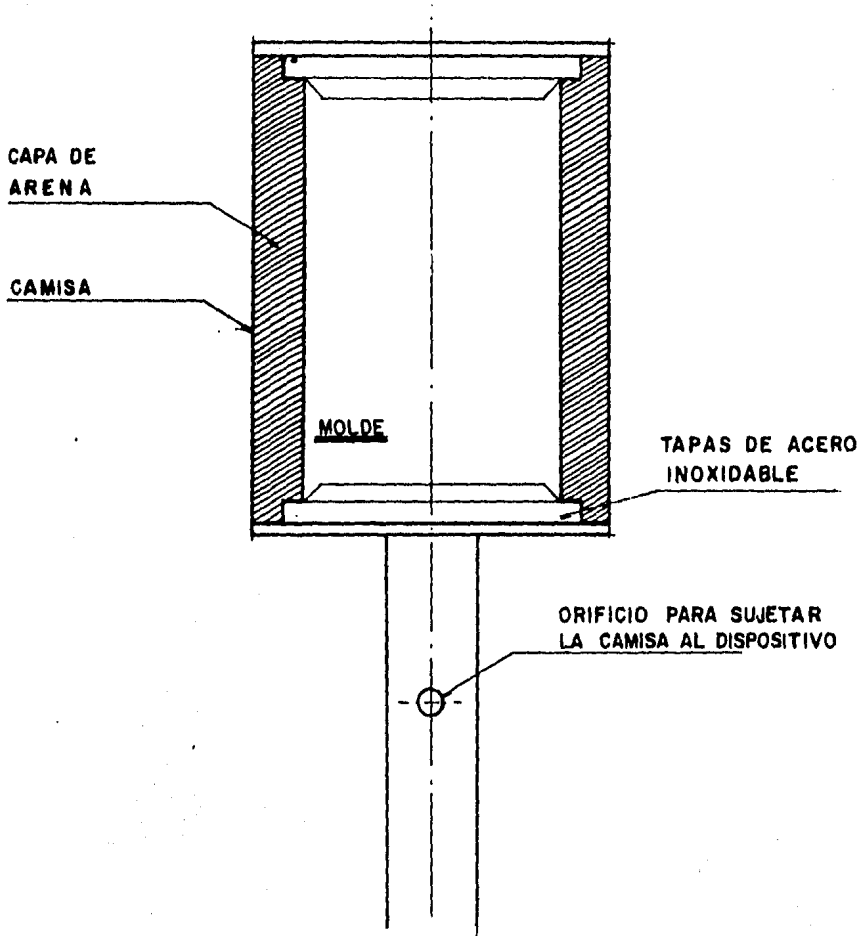


FIGURA No. 5

Forma en que se coloca el molde sobre la camisa.



FIGURA No. 6.
Horno, Amperímetro y Registrador de
Temperatura.

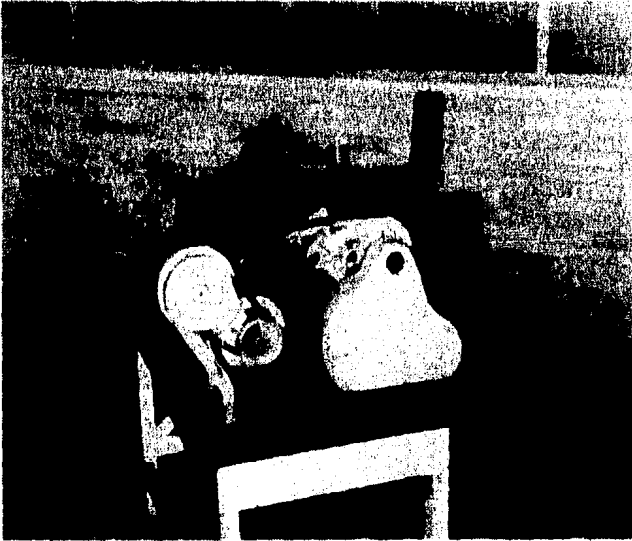


FIGURA No. 7

Dispositivo conectado al torno para
moldear.



FIGURA No. 8
Dispositivo utilizado para obtener las
muestras de "parada rápida"



FIGURA No. 9.
Otra vista del dispositivo utilizado
adaptado al torno.

IV.- PRESENTACION DE RESULTADOS.

IV.- RESULTADOS.

Las estructuras obtenidas con las modificaciones que se le hicieron al dispositivo para solidificar con movimientos de rotación son parecidas a aquellas del trabajo anterior (Apéndice A), ya que todas presentan sopladuras, excepto la muestra de la solidificación normal. Con las muestras obtenidas en las pruebas de maquinado se pudo observar el proceso de deformación que sufre el material cuando este está sujeto al proceso de maquinado.

En el apéndice B se menciona que las diferentes condiciones escogidas para observar el proceso de deformación a medida que los ángulos disminuyen, las deformaciones de la viruta se incrementan (ver figura No. 2, pág. 16).

Otro factor importante es el tiempo de corte, ya que éste dá lugar a que el proceso de corte se estabilice y evite que la herramienta de corte sufra un desgaste excesivo tal que la geometría del buril, cambie ocasionando con esto que las condiciones de corte establecidas al principio varíen con el tiempo (desgaste excesivo).

En las diferentes pruebas de maquinado y posterior examen metalográfico se pudo observar como se forma un borde acumulado en la punta de la herramienta. Por lo tanto, para analizar el proceso de corte en la aleación Al - Si - 6% y como ya se mencionó que las muestras no presentaron grandes diferencias con respecto a su forma de solidificación, se seleccionaron cuatro muestras obtenidas a diferente velocidad de corte, las cuales están señaladas con un asterisco en la Tabla No. 2 (Condiciones de maquinado).

A continuación se dá una descripción general de cada una de las muestras seleccionadas:

MUESTRA No. 10.

Esta muestra fué obtenida a una velocidad de corte de 13m/min. (75 RPM); en las figuras 10 y 11 se presenta el proceso de corte observado bajo un microscopio electrónico de barrido, la figura 12 muestra lo mismo, pero a diferencia de las anteriores, ésta fué desbastada hasta la mitad de la profundidad de corte.

En las figuras se puede apreciar el plano de corte ó de cizallamiento el cual queda bien delimitado y esto es bosquejado en la figura 13 (Formación de la viruta).

MUESTRA No. 21

Esta muestra fue obtenida a una velocidad de corte de 28 m/min. (160 RPM), nótese que el borde acumulado tiende a desaparecer al ir aumentando la velocidad de corte; esto es, a baja V_c se tiene un borde acumulado alto y pequeño y al ir aumentando la velocidad (V_c) el borde acumulado se hace más alargado y disminuye de altura: lo que nos indica que si aumentamos aún más la V_c el borde acumulado desaparecerá por completo dejando una zona de flujo secundario puro. En las figuras 14, 15 y 16 se observan éstas deformaciones.

MUESTRA No. 32

Esta muestra fué obtenida a una velocidad de corte de 46 m/min. (265 RPM), a diferencia de las muestras anteriores, aquí únicamente se presentan dos figuras: la fig. 17 vista en un SEM y en la cual se aprecia una mayor deformación en el material debido a que casi ha desaparecido totalmente el borde acumulado a esta velocidad de corte. En la figura 18 se observa la microestructura del material de trabajo y la zona de flujo puro.

MUESTRA No. 43

Fue obtenida a una velocidad de corte de 83 m/min. --- (480 RPM). En la figura 19 se observa la deformación del -- material a esta velocidad de corte, además se aprecia la -- formación de un collar debido a que el material es muy dúctil y tiende a adherirse en la punta de la herramienta, se nota, como se mencionó anteriormente que el proceso de formación de virutas no está constriñido (restringido) en su -- dirección de flujo plástico y que las "placas" de la viruta no tienen un ancho constante. En la figura 20 se observa lo mismo pero a mayores aumentos. En la figura 21 se aprecia -- perfectamente como ha desaparecido el borde acumulado para dar lugar a la zona de flujo puro, la cual nos proporciona un buen acabado dimensional.

Resumiendo lo anterior, en las primeras dos fotomicro -- graffias de cada muestra se observan las deformaciones que sufre la viruta a diferentes aumentos siendo tomadas en un microscopio electrónico de barrido (SEM) y la tercera presenta la microestructura observada bajo un microscopio óp -- tico metalúrgico. Hay que hacer notar que en la muestra -- No. 3 únicamente se presentan dos figuras una de cada mi -- croscopio utilizado.

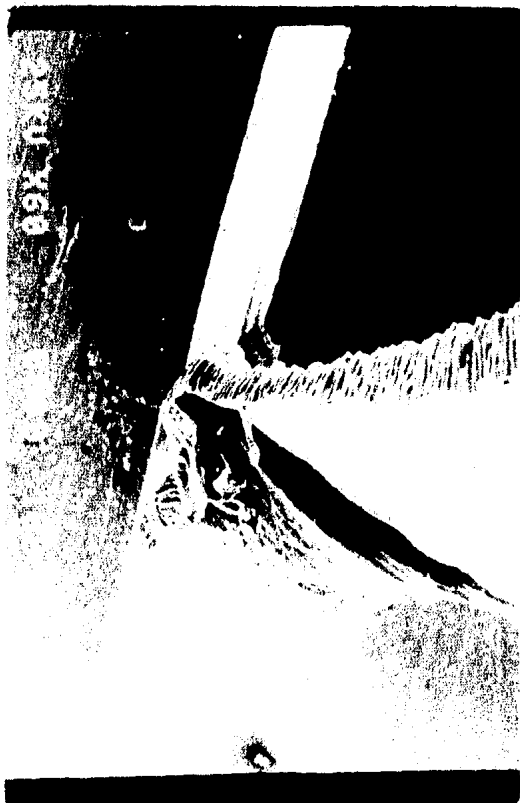


FIGURA No. 10

Fotomicrografia (SEM) X 60
MUESTRA 10 (13m/min.); se aprecia la
presencia del borde acumulado.

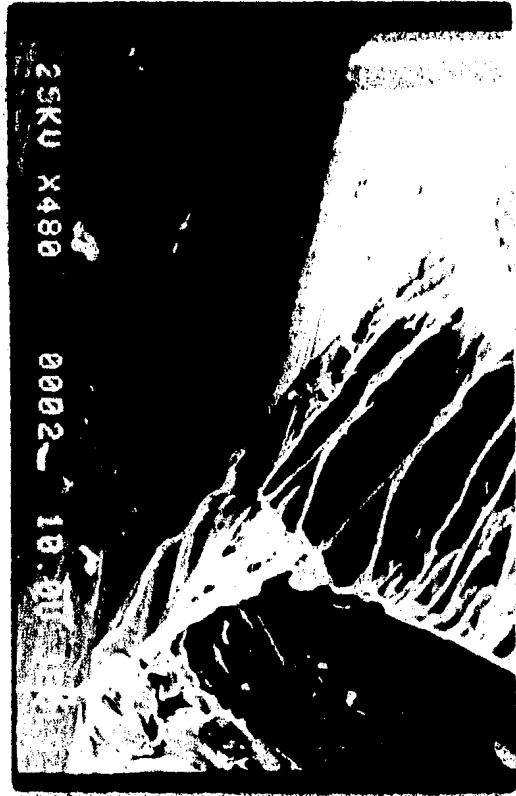


FIGURA No. 11

Fotomicrografia (SEM) X 480
IDEM a 10 pero a mayores aumentos.

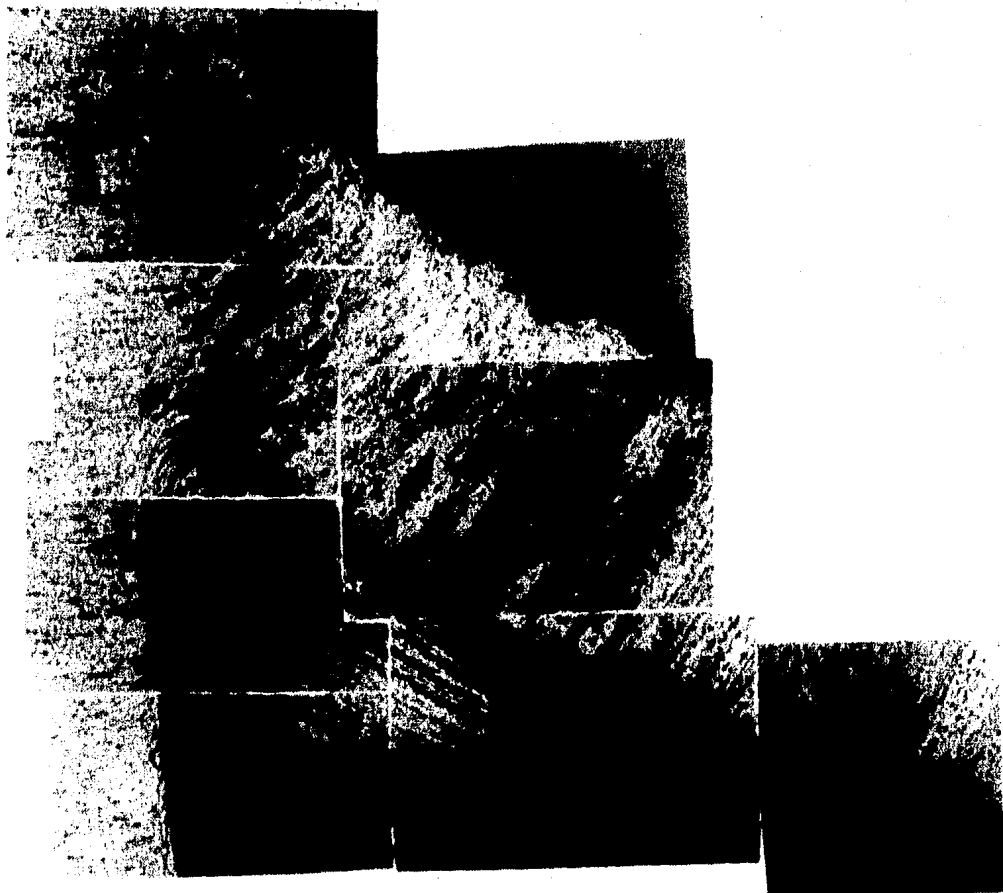


FIGURA No. 12.

Fotomicrografía observada en un microscopio óptico metalúrgico MUESTRA 10 (13m/min); se aprecia claramente la formación de la viruta en la punta de corte de la herramienta y además la presencia del borde acumulado.

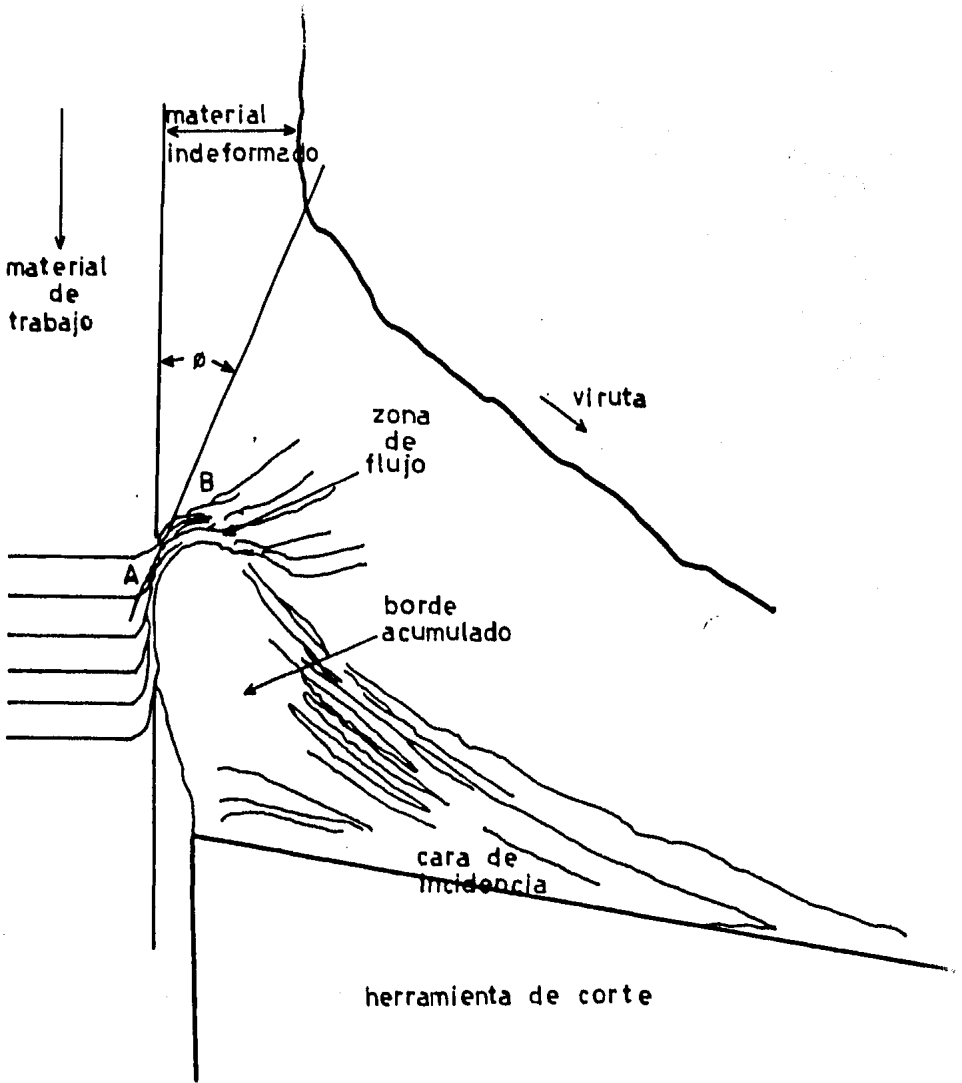


FIGURA No. 13

Representación grafica mostrando las principales características del proceso de corte en presencia de un bor de acumulado observando en la figura 12.



FIGURA No. 14

Fotomicrografia (SEM) X 60
MUESTRA 21 (28m/min.); se aprecia como
la longitud y la altura del borde acu-
mulado varían a esta velocidad de cor-
te con respecto a la figura 10.



FIGURA No. 15

FOTOMICROGRAFIA (SEM) X 200

IDEM a 14 pero a mayores aumentos.

*** Ver apéndice B.**

Se debe notar que al existir borde acumulado en la punta, de corte de la barra, el cambio de dirección del material de trabajo no es tan severo como cuando existe zona de flujo puro.

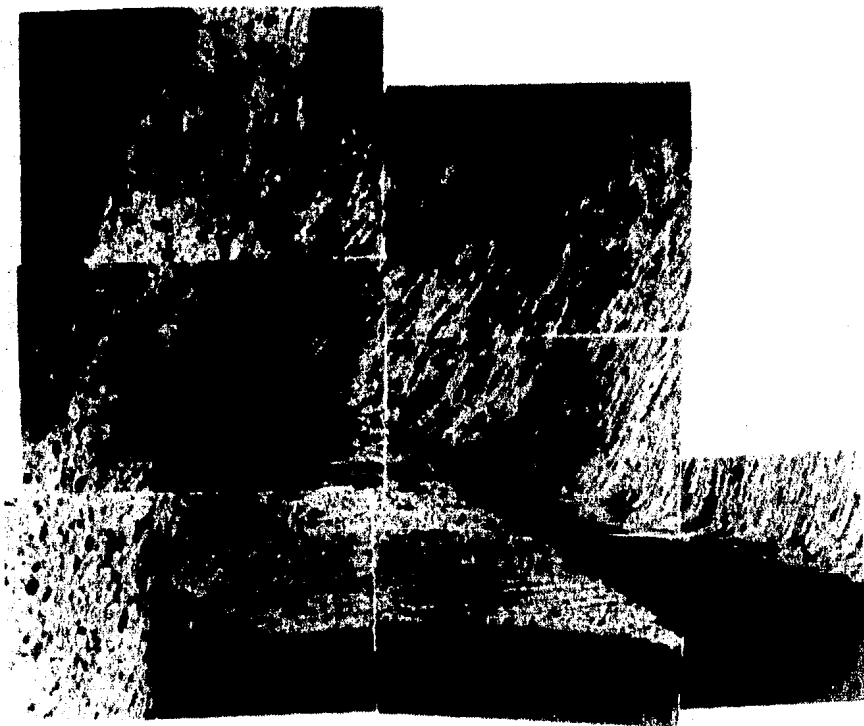


FIGURA No. 16

IDEM a 12
MUESTRA 21 (28m/min.); se aprecia como el -
tamaño del borde ha disminuido y la longi--
tud de este se incrementa.

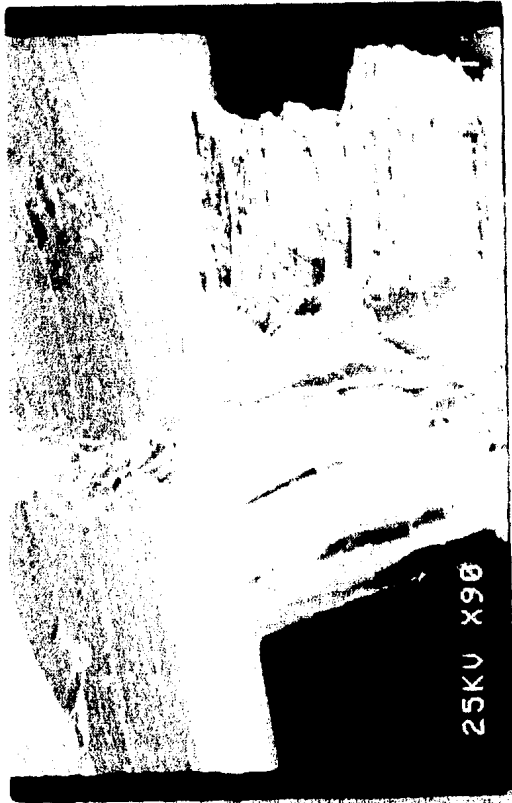


FIGURA No. 17

IDEM a 10, 14

MUESTA 32 (46m/min.); se aprecia la deformación de la viruta, la cual presenta la forma de capas transversales muy dispares.

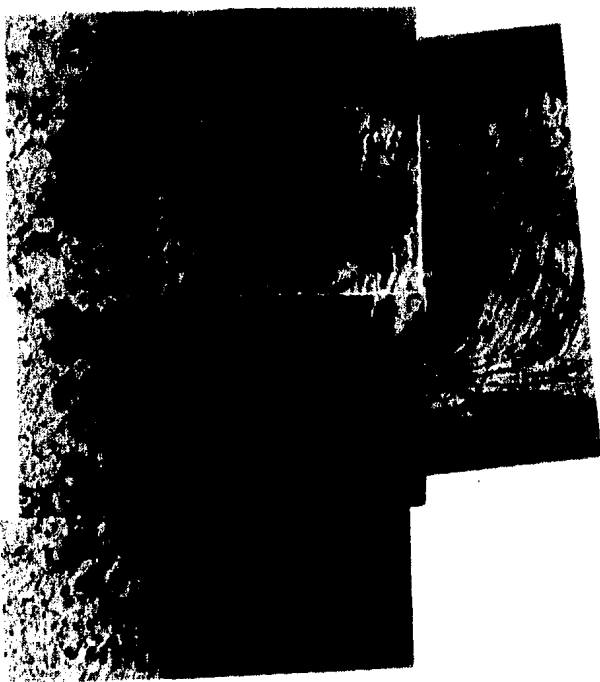


FIGURA No. 18

IDEM a 12, 15

MUESTRA 32 (46m/min); se aprecia como el tamaño del borde acumulado ha desaparecido a esta velocidad de corte, dando lugar a la zona secundaria de flujo puro.



FIGURA No. 19

IDEM 10, 14 17

Fotomicrografía (SEM) X 24

MUESTRA 43 (83 m/min.); se aprecia como la deformación de la viruta es muy grande en comparación con las figuras mencionadas, debido a la zona de flujo puro.



FIGURA No. 20
Fotomicrografia (SEM) X 90
IDEM a 11, 15 pero a mayores aumentos.

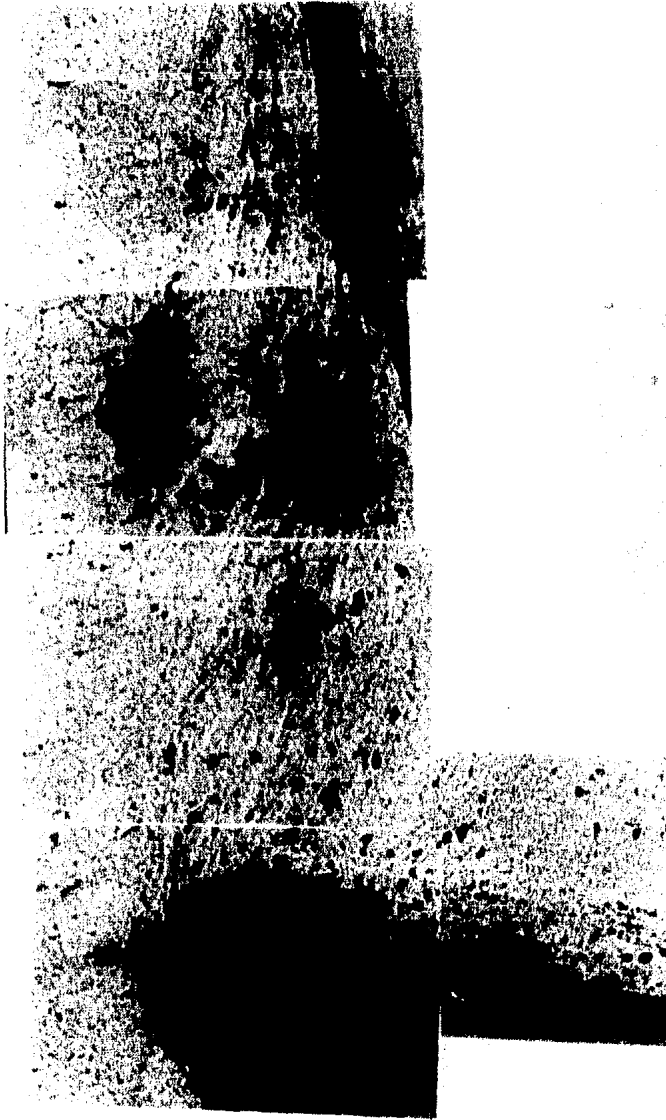


FIGURA No. 21

IDEM a 12, 15, 18
MUESTRA 43 (83 m/min.); se aprecia como ha
desaparecido el borde acumulado a esta ve-
locidad de corte, obteniendo con esto un -
buen acabado superficial.

V.- D I S C U S I O N

V.- DISCUSION.

Para llevar a cabo la discusión de los resultados obtenidos, es necesario analizar como se lleva a cabo al formación de la viruta en particular y posteriormente el borde acumulado.

La Formación de virutas es un proceso ineficiente que normalmente provoca efectos laterales no deseados, se desperdicia material y aún la disposición de la virutas frecuentemente presenta problemas.

Si efectuamos un bosquejo que nos proporcione una relación básica entre la herramienta y la pieza de trabajo para un corte ortogonal (Suponiendo una barra cilíndrica), podemos considerar algunas condiciones importantes asociadas con el mecanismo generalizada de la formación de la viruta.

1) La altas tensiones de compresión y cizallamiento alcanzan niveles altos para causar deformación plástica al pasar por la zona de cizallamiento y también para exceder la resistencia del material localmente cerca de la punta de corte.

2) La acción involucrada en la formación de la viruta también causa distorsión en la pieza de trabajo y la superficie maquinada no es suave (tersa), pero si en cambio desgarrada y fragmentada. Estos efectos pueden ser dañinos y pueden afectar adversamente el comportamiento en servicio a menos que sean eliminadas.

3) El movimiento del buril y la pieza de trabajo y también por la fricción entre la viruta y la superficie de la herramienta de corte genera una cantidad considerable de calor en la zona de corte. Algunos estudios indican que una operación de corte típico desarrolla alrededor de 75% de

calor generado el cual es causado por la deformación plástica y cizallamiento del metal y cerca del 25% por fricción.

Por lo anterior, el corte de metales es un mecanismo de deformación por cizallamiento localizado, resultando de la falla del material de trabajo inmediatamente adelante de la punta de corte. la deformación por cizallamiento ó deformación plástica ocurre en una zona angosta que se extiende desde la punta de corte a la superficie de la pieza de trabajo. (Ver la figura No. 22)* .

CALCULO DE LA DEFORMACION:

Para calcular el valor de la deformación sufrida por el material de trabajo al cruzar el plano de corte, se usará la siguiente ecuación:

$$\text{Deformación} = \frac{\cos \alpha}{\text{Sen } \phi \cos (\phi - \alpha)}$$

Donde: α - ángulo de incidencia = 6
 ϕ - ángulo del plano de corte

$$\text{Tan } \phi = \frac{t_1 / t_2 \cos \alpha}{1 - t_1 / t_2 \text{ sen } \alpha}$$

t_1 - Espesor de la viruta no deformada (alimentación)

t_2 - Espesor promedio de la viruta.

Tomando como referencia la figura No. 2 (diagrama del proceso de corte). Se determinaron los siguientes valores, los cuales se indican en la siguiente tabla:

T A B L A No. 3

MUESTRA	t_2/t_1	\varnothing	DEFORMACION.
1	2.0	27.69°	230 %
2	2.33	24.08°	256 %
3	3.20	17.81°	332 %
4	3.90	14.68°	397 %

FORMACION DE LA ZONA ACUMULADA EN LA PUNTA DE CORTE

Las condiciones de corte en el intervalo de velocidad empleadas en las pruebas de maquinado, producen la formación de un borde acumulado en la punta de corte de la herramienta. Esta es la condición cuando se captura material endurecido que se adhiere a la punta de corte, cambiando la geometría de esta a lo largo de la cara de incidencia de la herramienta ocasionando con esto una superficie rugosa en el material no deformado, lo cual es indeseable. Este borde se acumula para desplazar la viruta de un contacto inmediato con la herramienta y no es un cuerpo separado de metal durante la operación de maquinado. Diagramáticamente este fenómeno puede ser observado en la figura No. 13.

La nueva superficie de trabajo se empieza a formar en el punto "A" y la superficie inferior en el punto "B", pero entre estos dos puntos el borde acumulado y el material de trabajo son un cuerpo continuo, no separado por superficie libres. En efecto, la zona de cizallamiento ha sido transferida de la superficie de la herramienta a la parte más alta del borde acumulado. Esto ilustra el principio de que bajo condiciones de adherencia no necesariamente tiene lugar movimiento relativo con la herramienta, inmediatamente

adyacente a la interfase del borde acumulado.

La zona acumulada consiste de capas sucesivas de material de trabajo altamente endurecido por una deformación -- extremadamente severa al soportar esfuerzos de tensión y -- compresión impuestos por la acción del corte. El tamaño del borde acumulado no puede crecer indefinidamente, las tensiones cortantes aumentan hasta que parte de la estructura es cizallada y expulsada hacia abajo de la cara lateral y/o -- por la parte de abajo de la viruta.

El borde acumulado varía de acuerdo con la velocidad de corte; a baja velocidad el borde acumulado es corto pero alto y cuando la velocidad se incrementa, la parte más alta de esta se desplaza hacia atrás y resulta un borde más largo, tendiendo a desaparecer a medida que la velocidad de corte se incrementa para ser reemplazado finalmente por una zona de flujo en la cara de incidencia de la herramienta.

En las pruebas efectuadas se presenta como variable la velocidad de corte, y su influencia con la formación del -- borde acumulado se muestra en la figura No. 23. Aquí podemos también concluir que a mayor velocidad de corte implica una mayor severidad de corte, lo que también influye en la generación de calor.

En las figuras mostradas de las muestras 10 y 21 se -- puede apreciar el borde acumulado. Para mejor ilustración -- acerca de la formación del borde y el desplazamiento de la viruta se puede observar la figura No. 13, en la cual se -- muestra gráficamente las principales características del -- proceso de maquinado en presencia de un borde acumulado.

Este borde ocasiona un cambio en el ángulo del plano de corte, debido a que no se puede controlar la geometría del corte con la presencia de éste en la punta de la herramienta del corte.

De hecho, el borde acumulado toma el papel de la punta de corte y trae como primera consecuencia el menor desgaste de la herramienta al no haber contacto entre la viruta y ésta; pero por otro lado, el acabado superficial es pobre debido a que pequeños trozos del borde acumulado son desprendidos y arrastrados por la viruta lo que produce el desgarro de la nueva superficie generada.

Hay que hacer mención que el borde acumulado reduce el área de contacto sobre la cual la zona de cizallamiento -- tiene lugar.

En las figuras de las muestras 32 y 43 se aprecia como el borde acumulado ha desaparecido por completo para dar lugar finalmente a la zona de flujo puro en la cara de incidencia de la herramienta, el cual es deseado debido a que existe una mayor área de contacto entre la pieza de trabajo y la herramienta. Ocasionando con esto un buen acabado superficial.

Por todo lo anterior, podemos considerar esencialmente que la formación y desaparición del borde acumulado esta en función de la velocidad de corte.

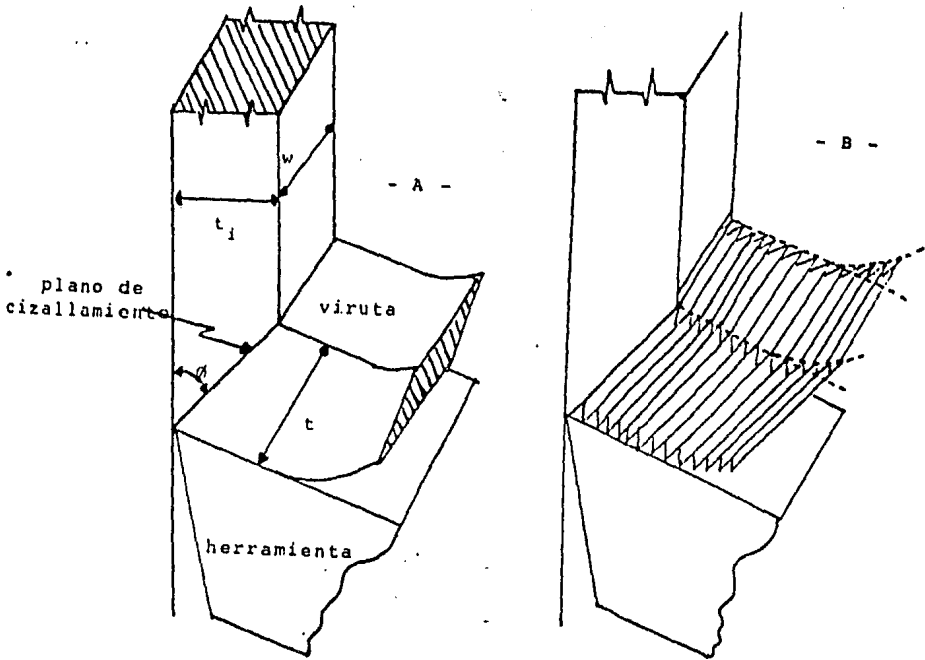


FIGURA No. 22

- A) Relación de la Herramienta y el material de trabajo - en la formación de la viruta.
- B) Representación esquemática del mecanismo de la formación de la viruta.

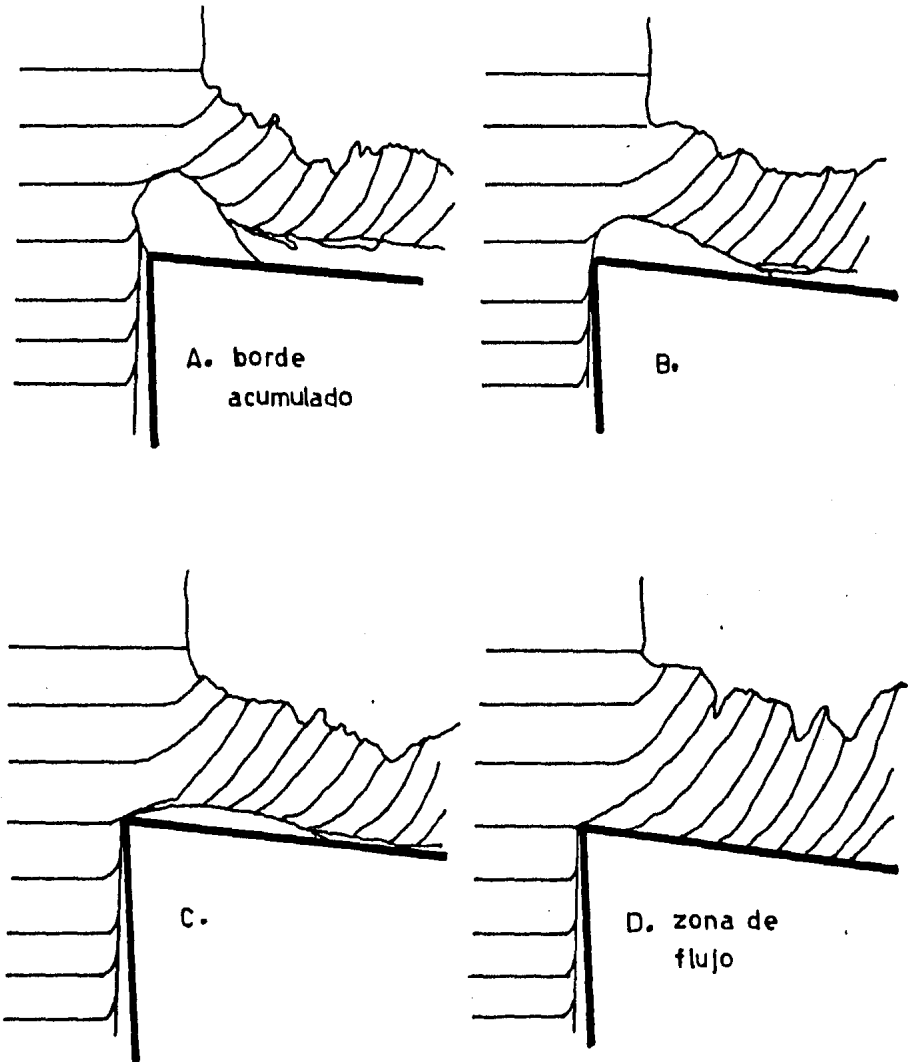


FIGURA No. 23

Transición de borde acumulado a zona de flujo aumentando la velocidad de corte
A. Bajo velocidad
D. Alta velocidad

VI.- C O N C L U S I O N E S

VI.- CONCLUSIONES.

El objetivo de este trabajo es el de observar como afecta la microestructura del material durante el maquinado. Para lograr ésto se obtuvieron diferentes muestras modificando el proceso de solidificación por medio de movimiento de rotación. Así las microestructuras obtenidas no presentan diferencias apreciables entre sí con respecto a las obtenidas en el trabajo anterior (Ver apéndice A).

Hay que hacer mención que la facilidad de un material para ser maquinado depende de su estructura final, siendo las características microestructurales las que relacionan o predicen las cualidades de maquinado de un material dado.

Para considerar tal efecto ciertos materiales durante el proceso de maquinado presentan un borde acumulado el cual varía en su forma con la velocidad de corte, siendo éste más pronunciado cuando la velocidad es baja y desaparece al aumentar la velocidad de corte, quedando una zona de flujo puro.

Para éste caso en particular, en las condiciones de corte empleadas se presentó dicho borde tendiendo a desaparecer al aumentar la velocidad. La presencia del borde acumulado ocasiona que la deformación sufrida por la viruta sea menor que cuando no existe. Por lo anterior podemos afirmar con seguridad, cual de las muestras obtenidas presentan una buena maquinabilidad y para este caso son aquellas muestras que se obtuvieron a velocidades de corte grandes dando lugar a un buen acabado superficial y dimensional de la pieza de trabajo que es lo que se desea a fin de cuentas.

De aquí concluimos que la velocidad de corte es un parámetro importante a considerar en la selección de las condiciones de corte de cualquier material.

R E C O M E N D A C I O N E S :

- 1.- Mantener variable la geometría de la herramienta y -- las condiciones de corte, tales como: Velocidad de alimentación, profundidad de corte, tiempo de corte, velocidad de corte, utilizar fluidos; y relacionarlos entre sí para reducir ó eliminar por completo el borde-acumulado.

- 2.- Es muy importante eliminar el borde acumulado durante el proceso de maquinado, para obtener una buena superficie. Ocasionando con ésto un buen acabado dimensional en la pieza de trabajo, que es lo que se desea a-fin de cuentas.

VII.- A P E N D I C E S

VII.- APENDICES.

Este trabajo se basó primordialmente en las tesis que se mencionan a continuación, por lo que se hace un breve resumen de cada una de ellas.

TESIS 1 APENDICE A

VARIACION DE LA ESTRUCTURA DE COLADA DE UNA ALEACION -
Al-Si 6% POR MOVIMIENTO DE ROTACION.
I.Q.M. ALFONSO BARRERA ARENAS.
FACULTAD DE QUIMICA .
MEXICO, D.F. 1982.

TESIS 2 APENDICE B

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA MEDICION DE LA MAQUI-
NABILIDAD DE LOS METALES.
I.Q.M. GERARDO LOPEZ PEÑA.
FACULTAD DE QUIMICA.
MEXICO, D.F. 1981.

TESIS I APENDICE A

VARIACION DE LA ESTRUCTURA DE COLADA DE UNA ALEACION -
Al-Si 6% POR MOVIMIENTO DE ROTACION.

I.Q.M. ALFONSO BARRERA ARENAS.

DISEÑO DEL EQUIPO.

Se construyó un equipo para suministrar movimiento de rotación y ver como afectaba la solidificación de un metal líquido. El siguiente dibujo nos muestra el dispositivo completo:

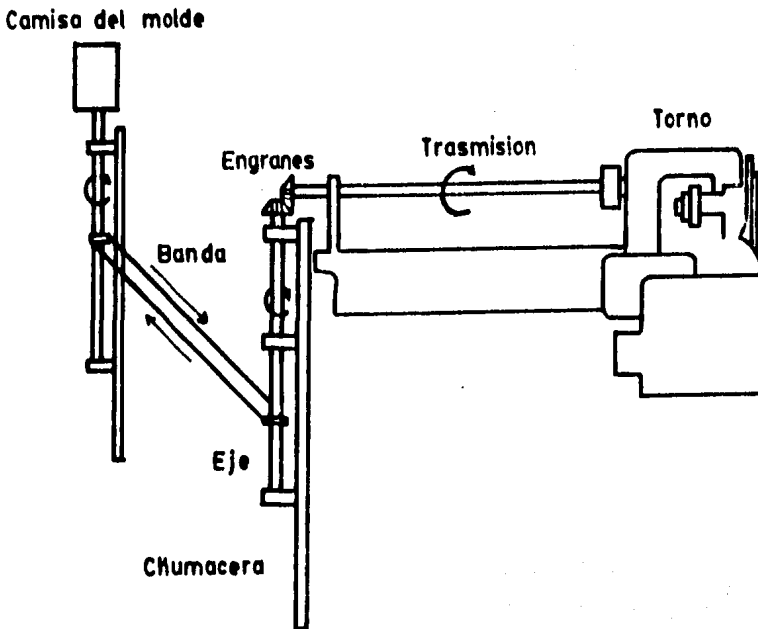


FIGURA No. 24

EQUIPO UTILIZADO EN LA SOLIDIFICACION

R E S U M E N.

Se utilizó un torno del laboratorio de Metalurgia, adaptándole una estructura de madera capaz de montarse fácilmente. Se conectaron por medio de una flecha de transmisión a un juego de engranes soportado por un juego de chumaceras, las cuales sostenían los ejes de las poleas que, por medio de una banda, transmitían el movimiento directamente al sistema del molde.

Se fundieron muestras de una aleación de Al-Si 6%, una sin movimiento, cinco aumentando el número de revoluciones y cambiando la dirección de giro y dos muestras sin cambio de dirección de giro.

Las cinco muestras obtenidas cambiando la dirección de giro presentan granos equiaxiales y sopladuras en todas las muestras. Se observa microscópicamente un refinamiento de grano y sopladuras directamente proporcional al número de revoluciones por minuto. Microscópicamente las fases presentes en la solidificación resultan afectados, en comparación con la estructura en el equilibrio. Así mismo encontramos la destrucción de las dendritas de la fase α , por lo que esta aparece sin orientación dentro del eutéctico.

Nuestro punto de interés se centraba en la influencia del movimiento de rotación. Por lo tanto todos los demás parámetros que puedan influir en la estructura se mantienen constantes.

Se efectuó una macrografía de los cortes longitudinales y transversal de todas las muestras.

En base a esta macrografía con cambio de giro, conforme aumentaba el número de revoluciones por minuto, aumentaba el número de granos por unidad de área y disminuía el tamaño de grano.

Para las muestras sin cambio de giro, el tamaño de grano es mayor en las probetas longitudinales que en las probetas transversales.

Un grano equiaxial, bajo condiciones usuales de solidificación (estático), sufre el efecto de esfuerzos que le permiten tomar una forma irregular. Esta irregularidad se ve incrementada con el movimiento de rotación.

CONCLUSIONES.

1.- La estructura encontrada en las muestras con giro es diferente al encontrado en el modelo estático, debido a:

- a) El movimiento causa un refinamiento de grano.
- b) Se observa la presencia de sopladuras, conforme aumenta las RPM, aumenta el número de sopladuras.
- c) Al aumentar las RPM disminuye el tamaño de las sopladuras.
- d) A mayor número de RPM, se favorece el crecimiento -- de la fase α en dirección perpendicular al giro -- ó sea cambia la forma de grano.

- e) Existen dendritas con diferente orientación dentro del grano, causadas por el movimiento de rotación..
- f) La cantidad de fase eutéctica varía en forma sinusoidal en función del No. R.P.M.

TESIS 2 APENDICE B

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA MEDICION DE LA MAQUINABILIDAD DE LOS METALES.

I.Q.M. GERARDO LOPEZ PEÑA.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL DISPOSITIVO.

El diseño del dispositivo es esencialmente un soporte de la herramienta de corte que está sujeta a la presión de un resorte y detenido por un seguro, el cual, al ser liberado permite que la herramienta de corte se desplace lejos del punto de corte con la suficiente velocidad para dejar la viruta adherida a la pieza de trabajo.

El material empleado para la construcción del dispositivo fue un acero 1040 en la condición de laminado en frío. El diagrama del dispositivo es mostrado en la figura No. 25, la cual se anexa en la siguiente hoja.

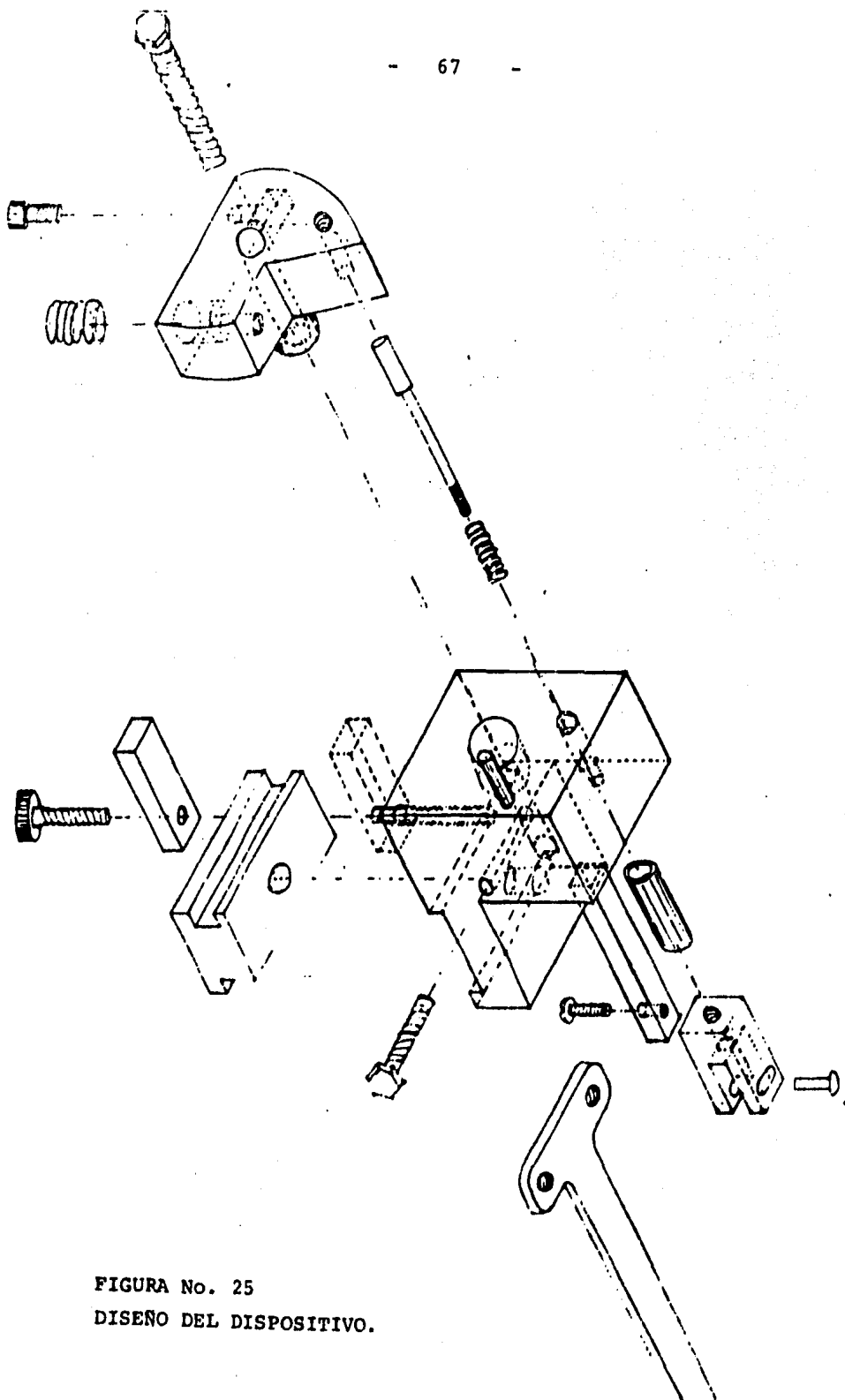


FIGURA No. 25
DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

VIII.- B I B L I O G R A F I A

VIII.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- TESIS 1 (APENDICE A)
VARIACION DE LA ESTRUCTURA DE COLADA DE UNA ALEACION-
Al-Si 6% POR MOVIMIENTO DE ROTACION.
I.Q.M. ALFONSO BARRERA ARENAS.
FACULTAD DE QUIMICA MEXICO, D.F. 1982.
- 2.- TESIS 2 (APENDICE B)
DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA MEDICION DE LA MAQUI
NABILIDAD DE LOS METALES.
IQ.M. GERARDO LOPEZ PEÑA.
FACULTAD DE QUIMICA.
MEXICO, D.F. 1981
- 3.- MAQUINAS HERRAMIENTA PARA EL TRABAJO DE METALES.
DR. GEROLAMO MEMBRETTI.
EDIT. GUSTAVO GILI, S.A.
EDICION: BARCELONA, ESPAÑA.
- 4.- AFILADO DE HERRAMIENTAS DE CORTE.
ANGEL SAN JUAN MARCIEL.
EDIT. EVEREST.
EDICION: LEON ESPAÑA.
- 5.- FUNDAMENTALS OF PHYSICAL METALLURGY..
VERHOEVEN, J. (CAPITULOS 8 y 9).
EDIT. JOHN WILEY AND SONS.
- 6.- PHASE TRANSFORMATION.
SHEWMONS.
EDIT. MC GRAW-HILL.
- 7.- FUNDAMENTOS DE METALURGIA FISICA.
REED-HILL.
EDIT. CECSA.
- 8.- INGENIERIA METALURGICA.
RAYMOND A. HIGGINS VOL. I y II.
EDITORIAL CECSA.
- 9.- G.S. COLE INTERACTIONS OF HYDRODYNAMICS WITH THE SOLIDI
FICATION OF CAST IRON. FORD MOTOR COMPANY, SCIENTI -
FIC RESEARCH LABORATORY 2000 ROTUNDA DRIVE, DEARBORN,
MICHIGAN 48121, U. S. A.
- 10.- E.C. ROLLASON METALLURGICAL RESEARCH AND MACHENING AT
THE UNIVERSITY OF BIRMINGHAM.
IRON AND STEEL INST. AND METALS INST.
CONFERENCE, LONDON 1965.
- 11.- DR.A VOGEL, SOLIDIFICATION SCIENCE HELPS DEVELOP NEW-
FOUNDRY TECHNOLOGY". COSWORCH AND DEVELOPMENT LTD --
(FORMERLY WITH FULMER RESEARCH INSTITUTE).

- 12.- JOHN C. FISHER "THE FRACTURE OF LIQUIDS" GENERAL ELECTRIC RESEARCH LABORATORY SCHENECTADY. NEW YORK (RECEIVED JUNE 21, 1948) JOURNAL OF APPLIED PHYSICS.
- 13.- INTRODUCCION A LA SOLIDIFICACION DE METALES.
W.C. WINEGARD, M. A., Sc., Ph. D.
EDITORIAL: CECSA
EDICION: 1a. EDICION, BARCELONA, ESPAÑA.