



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**“ PROCESO DE EXTRUSION EN CALIENTE
PARA LA ALEACION DE COBRE
UNS C38500 ”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

JAIME BARRIGA MEDINA



GUAYAQUIL

ECUADOR

**AÑO
1994**

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud al Ing. José Pacheco, Director de Tesis, por la asesoría y dirección dada para la realización de este trabajo, así como al personal del Area de Metalurgia, especialmente al Sr. Marco Rojano por la invalorable ayuda proporcionada para efectuar las pruebas experimentales.

Deseo dar también un sincero agradecimiento al Ing. Julio Medina, por las ideas y el financiamiento económico brindado para la construcción del equipo de extrusión.



DEDICATORIA

A DIOS, por la fé que tengo.

Con todo amor y aprecio a mis queridos padres Raúl y Magdalena, quienes supieron brindarme apoyo moral y sabios consejos en los momentos más oportunos.

Con todo cariño y afecto a mis hermanos Holger, Edison y Jennifer.



DECLARACION EXPRESA

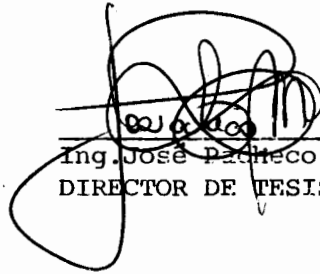
" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).


Jaime Barriga Medina



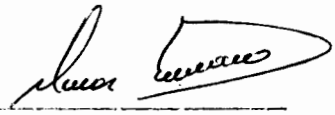
Ing. Eduardo Ribadeneira
SUB-DECANO FAC. ING. MEC.



Ing. José Pacheco M.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Duque R.
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Omar Serrano V.
TRIBUNAL DE GRADO



RESUMEN

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

El presente trabajo tiene como objetivos fundamentales diseñar y construir un prototipo para realizar el proceso de extrusión en caliente, así como, encontrar valores adecuados de los parámetros fundamentales en el proceso de extrusión de la aleación de cobre UNS C38500.

Para una mejor comprensión del tema, primeramente se ha detallado toda la información teórica referente al proceso de conformado.

Considerando la presión teórica requerida para efectuar el proceso de extrusión, se ha diseñado y construido una prensa hidráulica de velocidad variable. El diseño hace énfasis en la selección de los elementos hidráulicos. Se explica también cada una de las operaciones que realiza la prensa con los respectivos circuitos hidráulicos.

Se incluye en un dibujo de conjunto todas las herramientas que forman el cuerpo de extrusión, el acero utilizado y la correspondiente dureza. De igual forma se muestran en los planos respectivos todos los detalles de cada una de las herramientas.

Se extruyen 12 probetas, las cuales se obtienen variando 3 parámetros en el proceso: relación de extrusión, temperatura de precalentamiento de la palanquilla y velocidad de extrusión.

Se realizan ensayos de dureza y tracción en el producto extruido, así como un estudio metalográfico. Finalmente se presentan los resultados con su respectivo análisis, y las conclusiones que conlleva este estudio.



INDICE GENERAL

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEBALLOS"
R. I. M. C. E.

RESUMEN	6
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	12
CAPITULO I: INTRODUCCION	13
CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEORICOS	15
2.1. Generalidades	15
2.2. Tipos de extrusión	15
2.3. Ventajas y desventajas de los distintos tipos de extrusión.....	17
2.4. Equipos para extrusión	18
2.4.1 Prensas para extrusión	18
2.4.2 Accesorios complementarios ..	21
2.5. Variables del proceso	22
2.6. Deformación en la extrusión	41
2.7. Materiales para extrusión en caliente	45
2.8. Defectos de extrusión	48
CAPITULO III: INGENIERIA DEL PROYECTO	52
3.1. Objetivo	52
3.2. Diseño de la prensa	52
3.3. Circuito hidráulico	56
3.4. Herramientas para el cuerpo de extrusión	58
CAPITULO IV: PRUEBAS EXPERIMENTALES	60

4.1. Equipos y materiales utilizados ..	60
4.2. Metodología	60
4.3. Procedimiento	62
4.4. Evaluación de propiedades en los productos extruidos	64
4.5. Resultados obtenidos	64
ANALISIS DE RESULTADOS	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	86
ANEXOS	87



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
E.L.M.C.R.

INDICE DE FIGURAS

1.- Extrusión directa	16
2.- Extrusión indirecta	16
3.- Presión de extrusión vs. Recorrido del vástago .	23
4.- Velocidades de extrusión para aleaciones de Aluminio	32
5.- Variación de la temperatura del producto que emerge con la relación de extrusión en extrusión de plomo	33
6.- Variación de la temperatura del producto que emerge con la velocidad en extrusión de aluminio	34
7.- Variación de la temperatura superficial en productos extruidos con el desplazamiento, para 2 aleaciones de aluminio	35
8.- Interdependencia de la temperatura, presión y velocidad de extrusión	37
9.- Diagrama del flujo en la extrusión.....	42
10.- Cuerpo de extrusión	59
11.- Secuencia de la variación de parámetros para efectuar las pruebas experimentales	61
12.- Probeta extruida 1	65
13.- Probeta extruida 2	65
14.- Probeta extruida 3	66
15.- Probeta extruida 4.....	66
16.- Probeta extruida 5	67

17.- Probeta extruida 6	67
18.- Probeta extruida 7	68
19.- Probeta extruida 8	68
20.- Probeta extruida 9	69
21.- Probeta extruida 10	69
22.- Probeta extruida 11	70
23.- Probeta extruida 12	70
24.- Microestructura de probeta sin extruir	72
25.- Microestructura de probeta extruida 1	73
26.- Microestructura de probeta extruida 2	73
27.- Microestructura de probeta extruida 5	74
28.- Microestructura de probeta extruida 6	74
29.- Microestructura de probeta extruida 7	75
30.- Microestructura de probeta extruida 8	75
31.- Microestructura de probeta extruida 11	78
32.- Microestructura de probeta extruida 12	76



INDICE DE TABLAS

I.- Temperaturas para extrusión 27
II.- Velocidades de extrusión 29
III.- Estado superficial de las probetas extruidas.... 71
IV.- Presión de estrusión 77
V.- Dureza en probetas 78
VI.- Resistencia a la tracción y fluencia 79





CAPITULO I

INTRODUCCION

Los productos que se obtienen en un proceso de extrusión en caliente son utilizados en la actualidad para muchas aplicaciones. Sin embargo en nuestro país se realiza este tipo de proceso solamente con aleaciones de aluminio. Esto se debe a la extraordinaria facilidad que presenta este material para extruirse, así como la buena demanda que presentan sus productos.

Es factible extruir otros materiales manejando adecuadamente las variables del proceso. Nuestro estudio está orientado a realizar un prototipo de equipo y herramientas para efectuar las operaciones de extrusión, manejando relaciones de extrusión pequeñas.

Puesto que en el mercado nacional tienen buena acogida barras extruidas de aleaciones de cobre, así como productos maquinados como uniones o fittings, accesorios para artefactos eléctricos y de gas, tuercas, etc; y considerando además que la importación de estos

implica un costo alto para el consumidor, quiero ejemplificar el proceso de extrusión en la aleación de cobre UNS C38500 obteniendo barras hexagonales de 22.2 mm (7/8") y 17.5 mm (11/16").





CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZEPALLOS

2.1. GENERALIDADES

La extrusión es un proceso de conformación plástica, mediante el cual una palanquilla de metal es reducida de sección forzándola a fluir a través de un molde.

Para efectuar la extrusión se requieren presiones elevadas, por tanto la mayoría de los metales se extrusan en caliente con el fin de disminuir el límite de fluencia.

Este proceso es utilizado para producir piezas de gran longitud y sección transversal constante como barras, perfiles de secciones sólidas y huecas, tubos, alambres, etc.

2.2. TIPOS DE EXTRUSION

Existen dos tipos fundamentales de extrusión:

- Directa
- Indirecta (inversa).

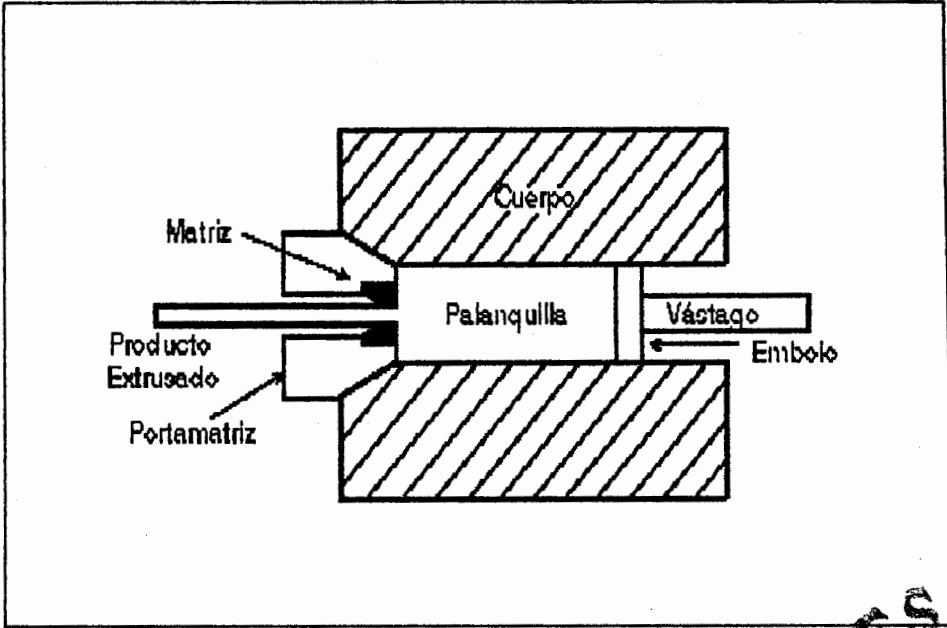


Figura 1: Extrusión directa

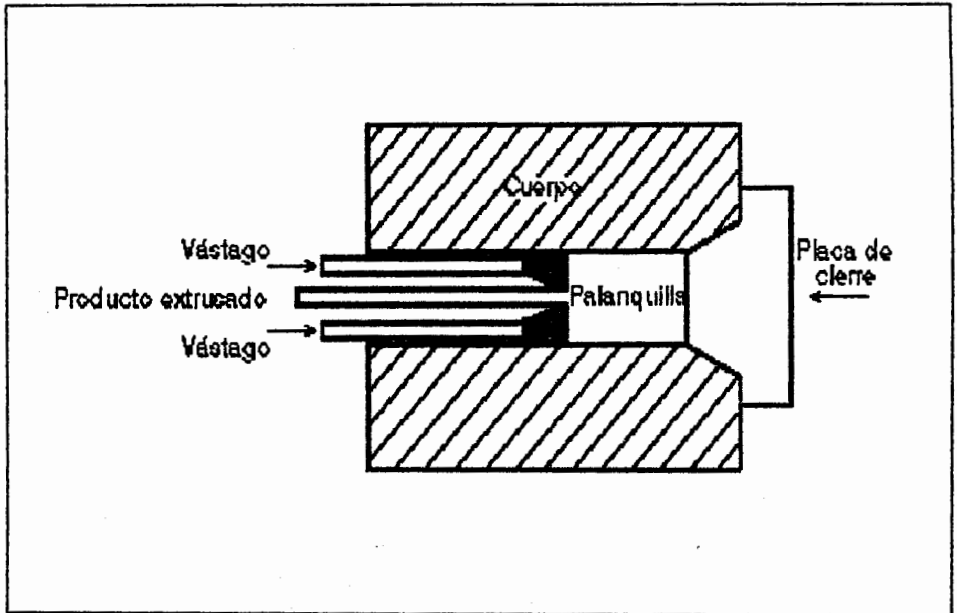


Figura 2: Extrusión indirecta

Extrusión Directa.- Como se muestra en la figura 1 en la extrusión directa se coloca una palanquilla caliente en el contenedor, y mediante un émbolo empujado por un vástago aplicamos la fuerza necesaria contra la palanquilla para que ésta fluya a través de la matriz.

Extrusión indirecta.- En la extrusión indirecta empleamos un vástago hueco el cual empuja a la matriz, mientras el extremo opuesto del cuerpo de extrusión está cerrado con una placa, como se muestra en la figura 2. A veces se mantienen fijos el vástago y la matriz, empujando contra ellos al cuerpo que contiene la palanquilla.

2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE EXTRUSION

La extrusión indirecta ofrece un número de ventajas, entre estas tenemos:

- Una reducción de la máxima carga, relativa a la extrusión directa en un 25 a 30%.
- La presión de extrusión no es función del largo de la palanquilla, porque no hay un movimiento relativo entre la palanquilla y el contenedor. Consecuentemente el largo de la palanquilla no está limitado por la carga requerida para este desplazamiento sino por el largo del cuerpo del

contenedor.

- No se produce demasiado calor por la poca fricción existente entre la palanquilla y el contenedor, por lo tanto no ocurre un gran incremento de temperatura en la superficie de la palanquilla hasta el final de la extrusión, consecuentemente en la extrusión indirecta hay menor tendencia al rompimiento o fisuramiento de las superficies, y por consiguiente pueden utilizarse velocidades de extrusión significativamente más altas.
- El tiempo de vida de las herramientas es mayor por existir menor fricción y menor incremento de temperatura.

La desventaja de la extrusión indirecta es que impurezas o defectos en la superficie de la palanquilla afectan la superficie del producto extruído. Por ello es necesario utilizar palanquillas maquinadas en muchos casos. También el área de la sección transversal para extruir es limitada por el tamaño de el contenedor.

2.4. EQUIPOS PARA EXTRUSION

2.4.1 PRENSAS

La gran parte de los procesos de extrusión en caliente se efectúa en prensas hidráulicas,

que pueden ser horizontales o verticales. Las prensas horizontales son las más comunes. En algunas aplicaciones suele utilizarse prensas mecánicas.

Las prensas verticales presentan las ventajas de una mayor facilidad de alineación del vástago y las herramientas, mayor velocidad de producción y menor exigencia de espacio que las prensas horizontales. En cambio necesitan una gran altura de nave, y cuando han de fabricarse piezas extrusadas largas suele ser necesario excavar un hueco en el suelo del taller.

Las prensas verticales producen también enfriamiento homogéneo de la palanquilla en el cuerpo de la extrusión, logrando con ello una deformación simétricamente uniforme.

En las prensas horizontales la palanquilla reposa directamente sobre el cuerpo, por lo que la parte inferior en contacto con dicho cuerpo se enfriará más rápidamente y la deformación no será uniforme, produciendo alabeo de las barras y espesor no uniforme de los tubos. Esto puede evitarse si el cuerpo se calienta internamente.

Para la fabricación de tuberías de paredes delgadas es recomendable utilizar prensas verticales especialmente cuando se requiere espesores uniformes. Para la mayoría de perfiles, barras y tubos se utiliza prensas horizontales.

Las prensas para extrusión en caliente son seleccionadas en términos de su capacidad de fuerza, esto es la fuerza total que la prensa es capaz de aplicar sobre la palanquilla. Sin embargo el proceso de extrusión en sí depende de la presión ejercida sobre el metal.

La presión máxima usada en muchas prensas para extrusión es aproximadamente 150 Ksi. Esta presión está cerca del límite de la resistencia a la tensión de muchos de los aceros de herramientas usados para extrusión. Presiones de trabajo que sobrepasan este límite pueden causar fallas prematuras en las herramientas.

La presión necesaria para la extrusión es la principal consideración para la selección de la prensa. Es entonces necesario seleccionar una prensa que tenga suficiente capacidad, ya que así podrá trabajarse con temperaturas más

bajas en la palanquilla, velocidades más rápidas y con ello obtener el producto extruido con buenas propiedades.

Las prensas para extrusión requieren una estructura rígida que permitan alinear con precisión el émbolo, la palanquilla y el molde. Prensas modernas proporcionan estos ajustes adecuados, permitiendo dar estabilidad en las herramientas, logrando con ello tener el producto extruido con adecuadas tolerancias.

2.4.2 ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS

Adicionalmente a la prensa se necesitan accesorios complementarios para el proceso de extrusión. Puesto que la mayoría de las operaciones para extrusión se hacen en caliente, se necesitan medios para calentar las palanquillas.

Para grandes producciones se requiere equipos automáticos para transportar las palanquillas calientes al cuerpo de extrusión. Es necesario disponer también de medios para mantener caliente el cuerpo de extrusión, especialmente cuando se trabaja con aleaciones que requieren velocidades de

extrusión pequeñas.

También se requiere una sierra para cortar la forma extrusada, de forma que se pueda expulsar de la matriz un despunte que se desecha. Además se utiliza una mesa transportadora para recoger el producto y una máquina enderezadora para corregir los alabeos del producto extrusado.

2.5. VARIABLES DEL PROCESO

Las principales variables del proceso que determinan la fuerza necesaria para producir la extrusión son:

- Tipo de extrusión (directa e indirecta)
- Lubricación
- Temperatura
- Velocidad de extrusión
- Relación de extrusión

TIPO DE EXTRUSION:

La presión necesaria para efectuar el proceso de extrusión varia considerablemente dependiendo del tipo de extrusión.

La presión de extrusión, es la fuerza de extrusión dividida para el área de la sección transversal de la palanquilla. En la figura 3 puede verse la variación que experimenta la presión en función del

recorrido del vástago tanto para la extrusión directa como para la indirecta.

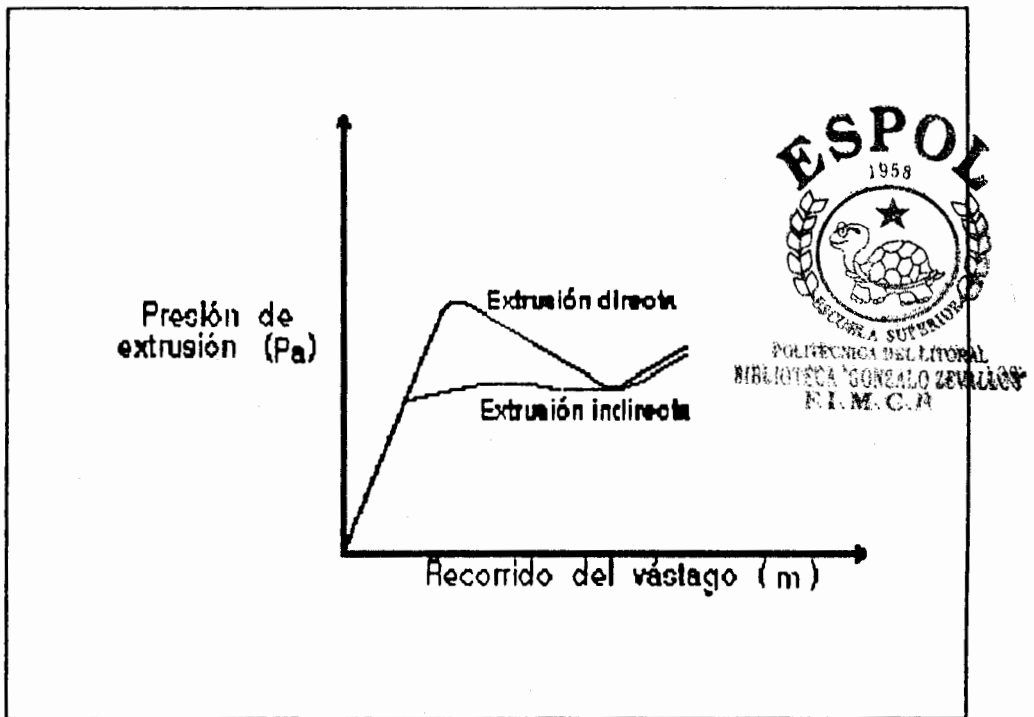


Figura 3: Presión de extrusión vs. Recorrido del vástago

En la extrusión directa como puede apreciarse existe una elevación rápida de la presión al comienzo del recorrido del vástago. Esto se debe a la compresión inicial que se ejerce sobre la palanquilla hasta llenar el cuerpo de extrusión.

Cuando se alcanza el valor máximo de presión, el metal empieza a fluir, decreciendo la presión a medida que la extrusión prosigue ya que disminuye la fuerza de fricción al ser menor la longitud de la

palanquilla que va quedando dentro del cuerpo.

En la extrusión indirecta no hay movimiento relativo de la palanquilla y cuerpo, por lo que la presión de extrusión se mantiene aproximadamente constante a lo largo del recorrido del vástago, y representa la presión necesaria para deformar el metal en la matriz.

La curva de la extrusión directa se aproxima a la de la indirecta cuando la longitud de la palanquilla todavía sin extrusar se aproxima a 0. Las dos curvas se vuelven bruscamente hacia arriba cuando, al final del recorrido del vástago, se intenta extrusar un disco delgado de palanquilla que queda en la matriz.

Puesto que no es económico desarrollar las elevadas presiones que serían necesarias para extrusar totalmente la palanquilla, se desecha un pequeño despunte que es necesario expulsar del cuerpo.

LUBRICACION:

La presión de extrusión disminuye considerablemente con el uso de lubricantes apropiados.

Algunas aleaciones de aluminio son posibles extruir sin utilizar lubricación en la palanquilla, contenedor y la matriz. Se logra incluso producir algunas secciones complejas con gran acabado

superficial y buenas tolerancias dimensionales. La mayoría de aleaciones de otros metales como cobre, titanio, plomo, magnesio, aceros, aceros inoxidable y aceros de herramientas son extruidos con grafito y una variedad de lubricantes de base de vidrio.

Mezclas comerciales de grasa que contienen películas lubricantes sólidas como grafito, a menudo proveen poca o ninguna protección a la matriz cuando se extruye aleaciones de titanio y acero.

El proceso Sejournet es el más usado para la extrusión de aceros y aleaciones de titanio (1). En este proceso, la palanquilla caliente es rodada sobre un lecho de base de vidrio o es rociada con polvo de vidrio a fin de que toda la superficie de la palanquilla quede cubierta. Antes de que la palanquilla sea insertada dentro del contenedor, un sistema de lubricación actúa inmediatamente delante del dado. Este sistema de lubricación puede compactar vidrio, lana de vidrio o ambos, luego la palanquilla es colocada rápidamente en el contenedor. El ciclo de extrusión entonces empieza.

Como lubricante el vidrio, exhibe características únicas como su habilidad para ablandar la palanquilla caliente y simultáneamente para proteger las herramientas. Las herramientas por lo general se

mantienen a una temperatura que es considerablemente más baja que la de la palanquilla.

En la extrusión de titanio y acero, la temperatura de la palanquilla es usualmente de 1000 a 1250 °C, pero la temperatura máxima de la herramienta puede estar entre 500 y 550 °C, por lo tanto la compatibilidad puede conseguirse solamente con el uso de lubricantes apropiados, protegiendo con una película fina el dado, insertando dados cerámicos y diseñando estos para minimizar el desgaste de la herramienta.

Lubricantes de vidrio tienen buenos resultados en una producción básica de longitudes largas.

La selección entre grasas y vidrios están basadas principalmente en la temperatura de extrusión. A temperaturas bajas la lubricación es usada solamente para reducir la fricción. A temperaturas moderadas hay también algún aislamiento entre la palanquilla caliente y la herramienta por la fundición parcial de los lubricantes y formación de vapor. A temperaturas sobre 1000 °C se impide un sobrecalentamiento de la herramienta. La película lubricante puede también impedir la oxidación.

Los lubricantes pueden clasificarse básicamente en dos grupos, los cuales se utilizan de acuerdo a la



temperatura de trabajo.

- Bajo 1000 °C: Grasas lubricantes como grasa, grafito, asfalto, mica, bentonita, disulfato de molibdeno y plásticos (polímeros a altas temperaturas).
- Sobre 1000 °C: Vidrios lubricantes como vidrio, basalto y polvos cristalinos.

TEMPERATURA:

La temperatura necesaria que se da a la palanquilla para realizar el proceso de extrusión depende del tipo de material a ser extruído. Sin embargo esta temperatura varía mucho de acuerdo al tipo de aleación como se muestra en la Tabla I.

TABLA I : TEMPERATURAS PARA EXTRUSION

MATERIAL	TEMPERATURA DE PALANQUILLA °C
<i>Aleaciones de plomo</i>	90 - 260
<i>Aleaciones de magnesio</i>	340 - 430
<i>Aleaciones de aluminio</i>	340 - 510
<i>Aleaciones de cobre</i>	650 - 1100
<i>Aleaciones de titanio</i>	870 - 1040
<i>Aleaciones de níquel</i>	1100 - 1260
<i>Aceros</i>	1100 - 1260

La mayor parte de los metales se extrusan en caliente. Puesto que el trabajo en caliente genera aparición de problemas como oxidación de la

palanquilla, ablandamiento en las herramientas de extrusar, es conveniente trabajar a la temperatura más baja que proporcione al metal suficiente plasticidad.

La temperatura de trabajo más alta es aquella en que aparece la fragilidad en caliente o, en los metales puros, el punto de fusión. Como la deformación producida por la extrusión es muy intensa, se produce considerable calentamiento interno. Por ello la temperatura límite superior de extrusión debe ser bastante más baja que el punto de fusión o el intervalo de fragilidad en caliente, a fin de tener seguridad en los resultados.

Para una deformación determinada, se puede trabajar por extrusión a temperaturas más elevadas que las empleadas en forja o laminación porque las elevadas tensiones de compresión aminoran la posibilidad de agrietamiento. A pesar de ello se puede producir grietas en la extrusión de formas no simétricas, como consecuencia del flujo desigual en las diferentes secciones.

VELOCIDAD DE EXTRUSION:

Las velocidades son esenciales para la extrusión en caliente. Una velocidad excesiva puede causar un sobrecalentamiento de la palanquilla, roturas y

otros defectos superficiales. Una velocidad que es baja reduce la productividad e incrementa la presión a medida que recorre el vástago por el enfriamiento de la palanquilla. Velocidades bajas pueden también disminuir la vida de la herramienta por el prolongado tiempo de contacto entre la palanquilla caliente con la matriz y el contenedor.

Las velocidades de extrusión para algunos materiales se muestra en la Tabla II.

TABLA II: VELOCIDADES DE EXTRUSION

<i>MATERIAL</i>	<i>VELOCIDAD (mm/s)</i>
<i>Aluminio</i>	<i>12.7 - 25.4</i>
<i>Cobre</i>	<i>50.8 - 76.2</i>
<i>Latón</i>	<i>25.4 - 50.8</i>
<i>Acero</i>	<i>152.4 - 203.2</i>

La variación de la velocidad en la prensa se logra utilizando bombas variables o válvulas reguladoras de caudal.

Las velocidades de extrusión se relacionan directamente con las temperaturas desarrolladas durante el proceso.

Una compleja situación térmica se desarrolla cuando la palanquilla calentada es colocada en el interior de el contenedor, y el proceso de extrusión empieza.

Las temperaturas estan influenciadas por algunos factores, entre los que tenemos:

- Generación de calor debido a la deformación plástica.
- Generación de calor debido a la fricción existente entre el material a extrusarse con la matriz y el contenedor.
- Transferencia de calor dentro de la palanquilla.
- Transferencia de calor entre la palanquilla y las herramientas.
- El calor transportado con el producto extruido.

Estos fenómenos ocurren simultáneamente y resultan de una compleja relación entre el material y las variables del proceso, esto es; el material de la palanquilla y las herramientas con la temperatura, fricción, velocidad de extrusión, forma de la sección extruida y reducción en el área.

El porcentaje de producción puede incrementarse aumentando la relación de extrusión (relación del área de la sección transversal de la palanquilla y el área del producto extruido) y la velocidad de extrusión, manteniendo la presión de extrusión en un nivel aceptable.

Para este propósito los esfuerzos en el flujo del material extruido deben conservarse relativamente bajos, esto se logra por ejemplo incrementando la temperatura de precalentamiento de la palanquilla.

La combinación de temperatura alta en la palanquilla y gran reducción en el área, causan un considerable aumento en la temperatura de el material extruido, especialmente cerca de la sección superficial porque la mayor parte de la deformación plástica y la energía producida por la fricción es transformada en calor. Esto puede causar defectos en la superficie o deficiencias en caliente.

Con una razón de extrusión de 40:1, las velocidades del proceso están en el orden de 0.6 a 1.2 m/min. La figura 4 muestra el rango de velocidades encontradas en la extrusión de varias aleaciones de aluminio.

La razón de extrusión depende grandemente de la presión del flujo de la aleación bajo las condiciones del proceso, la cual depende de la temperatura de extrusión y la cantidad de fuerza. Velocidades son relativamente altas para aleaciones suaves, pero son bajas para aleaciones duras como la 7075 y la 2024.

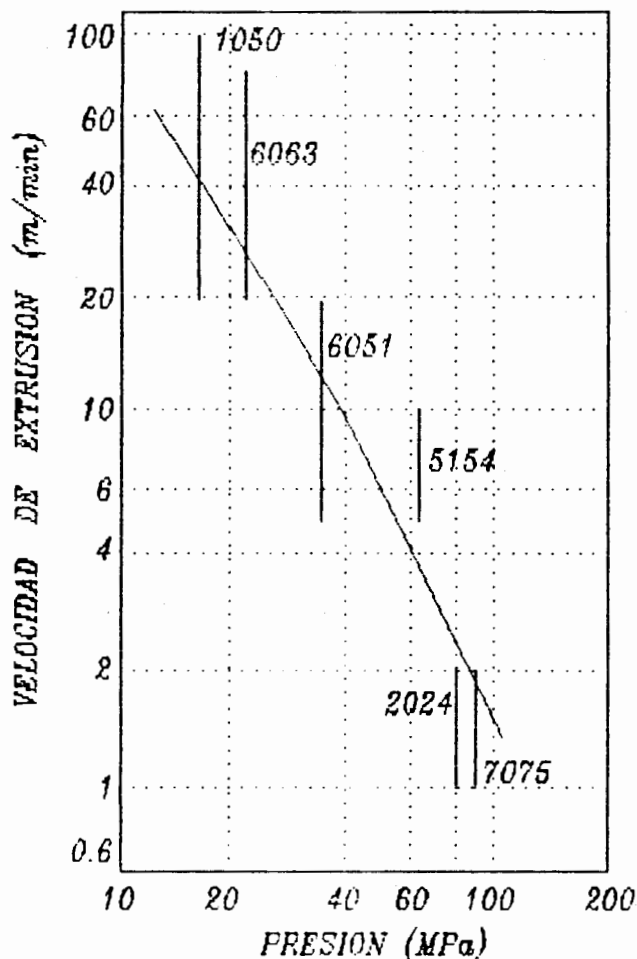


Figura 4: Velocidades de extrusión para aleaciones de aluminio (1).

El incremento de temperatura y la distribución de temperatura ha sido objeto de numerosas investigaciones (1). Las figuras 5 y 6 muestran los efectos de la relación de extrusión y la velocidad en el incremento de la temperatura.

Un simple análisis teórico fué hecho para investigar

el efecto de la velocidad en el incremento de la temperatura.

En este estudio, se asume que la palanquilla tiene largo infinito, la fricción existente entre la palanquilla con el contenedor y la matriz puede ser despreciada y que la temperatura es la misma tanto en el interior del contenedor como en la palanquilla. La temperatura de la palanquilla varía a través de toda la longitud, pero asumimos constante en alguna sección transversal. El modelo predice una relación sigmoïdal entre el logaritmo de la velocidad y la elevación de la temperatura.

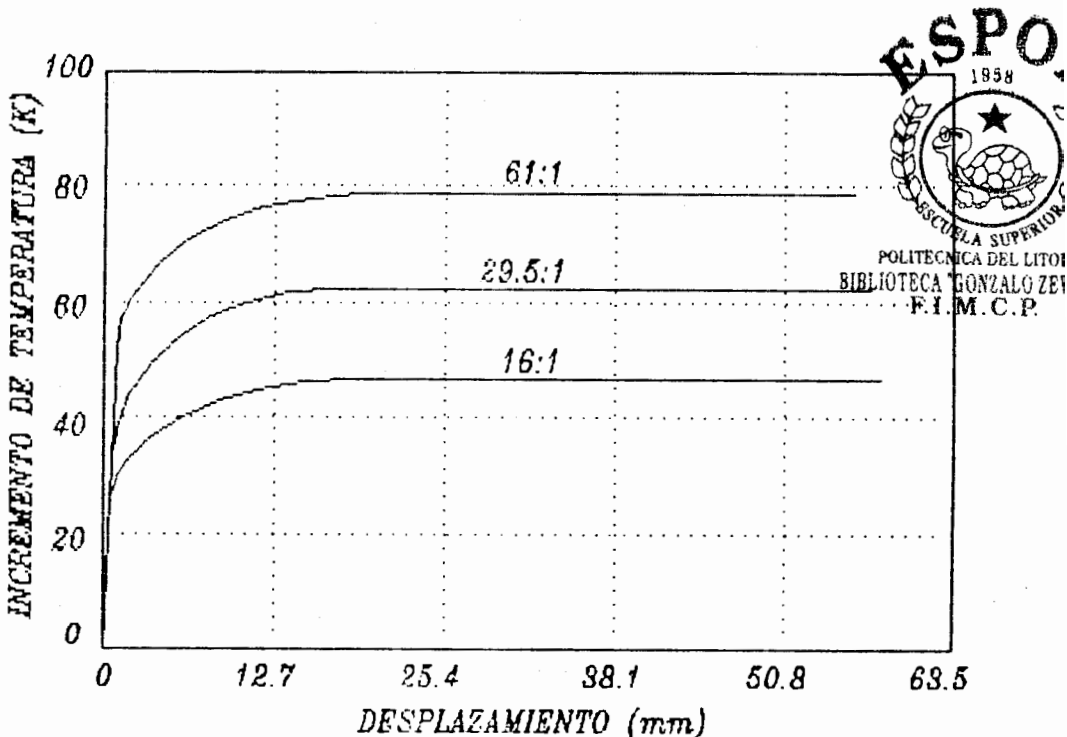


Figura 5: Variación de la temperatura del producto que emerge con la relación de extrusión en extrusión de plomo. Velocidad= 76mm/min
 ϕ palanquilla = 51mm, largo = 64mm (1)

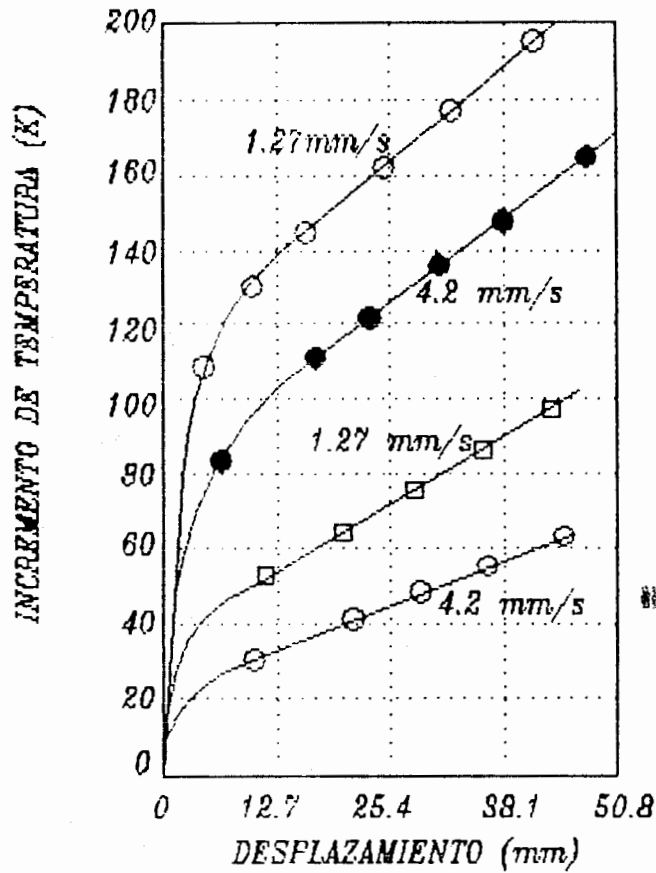


Figura 6: Variación de la temperatura del producto que emerge con la velocidad en extrusión de aluminio. Relación de extrusión 16:1 ϕ palanquilla = 38 mm, largo = 51 mm (1).

Teórica y prácticamente, estudios de la distribución de temperatura en la extrusión de aleaciones de aluminio fueron realizadas bajo condiciones en las cuales el contenedor y las herramientas estaban inicialmente a igual temperatura que la palanquilla; en este caso se dedujo que el incremento de temperatura fué de 95 °C.

Para propósitos prácticos, puede estimarse que en la extrusión de aleaciones fuertes, el incremento

máximo de temperatura encontrado no excedía de 100 °C. Con aleaciones suaves, para las cuales se requieren presiones más bajas el incremento de temperatura bajo condiciones normales no excedía de 50 °C. Como se ve en la figura 7 basada en predicciones teóricas y evidencias experimentales, la temperatura del producto aumenta al incrementar la velocidad de extrusión.

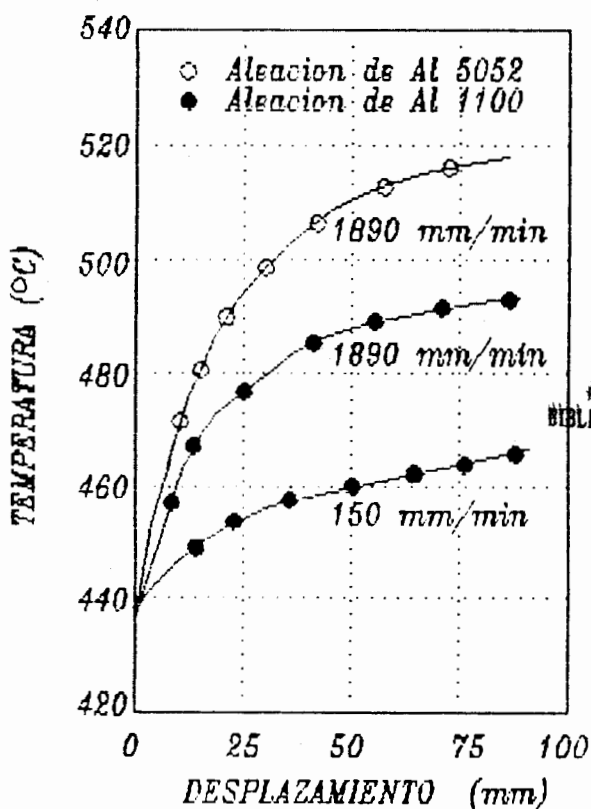


Figura 7: Variación de la temperatura superficial en productos con el desplazamiento para 2 aleaciones de aluminio. (1)

La temperatura en la superficie es más alta que en el centro del producto, por consiguiente la

temperatura superficial del producto puede acercarse a la temperatura crítica en la que la deficiencia en caliente puede ocurrir solamente hacia el final del ciclo de extrusión.

La temperatura del producto extruído que está emergiendo desde el dado es uno de los factores esenciales que influyen la calidad del producto. Por consiguiente, un procedimiento ideal para establecer la máxima velocidad de extrusión en todo el tiempo es medir esta temperatura y usarla para controlar la velocidad.

Interdependencia de la temperatura, velocidad de extrusión y presión.- Cuando se aumenta la velocidad de extrusión, se incrementa la presión. Aumentando aproximadamente 10 veces la velocidad, el incremento de presión es alrededor del 50%. Las palanquillas se enfrían más a velocidades de extrusión más bajas. Cuando este efecto es pronunciado se presenta un aumento real de la presión de extrusión con el recorrido del vástago, por el aumento del límite elástico a medida que la palanquilla se enfría.

La consecuencia es que se necesitan velocidades de extrusión elevadas para las aleaciones de alta resistencia que necesitan altas temperaturas de extrusión, ya que en este caso, aumenta el efecto de

la baja velocidad de extrusión en el enfriamiento de la palanquilla. El aumento de temperatura producido por la deformación del metal es mayor a velocidades de extrusión elevadas y pueden acentuarse las dificultades relacionadas con la fragilidad en caliente.

La selección de velocidades de extrusión y temperatura adecuadas ha de hacerse por tanteos para cada aleación y dimensiones de palanquilla. La interdependencia de estos factores se muestra esquemáticamente en la figura 8.

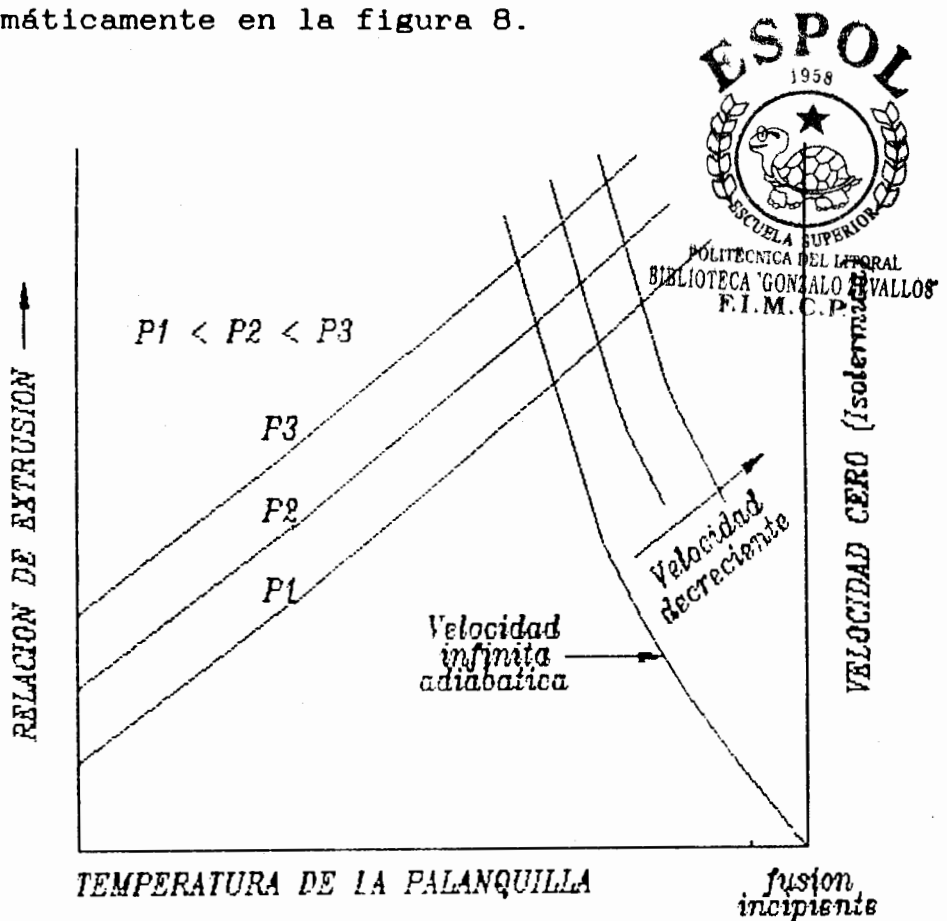


Figura 8: Interdependencia de la temperatura, presión y velocidad de extrusión (2)

Para una presión de extrusión determinada se puede obtener una relación de extrusión más elevada empleando una temperatura más elevada. Para una temperatura determinada es posible conseguir una mayor relación de extrusión trabajando a presión más alta.

La temperatura máxima de la palanquilla en el supuesto de que no existan limitaciones debidas a la resistencia mecánica de las herramientas y la matriz debe ser inferior a la temperatura a que se puedan producir fusión incipiente o fragilidad en caliente durante la extrusión.

La elevación de temperatura en la extrusión está determinada por la velocidad de extrusión y la magnitud de la deformación, por lo que las curvas que representan el límite de seguridad en la extrusión se elevan hacia la izquierda. La peor situación corresponde a una velocidad de extrusión infinita, para la cual no hay disipación de calor engendrado en la deformación.

A velocidades más bajas es mayor la disipación de calor y aumenta la relación de extrusión admisible para una temperatura determinada de precalentamiento. El intervalo de extrusión en que se puede operar corresponde a la región que queda

bajo las curvas de presión constante y velocidad de extrusión.

RELACION DE EXTRUSION:

La relación de extrusión es la existente entre las secciones transversales de la palanquilla y el producto extruido. $R = A_o/A_f$.

La presión que se necesita para extrusión en caliente es de importante consideración, pues en base a esta se selecciona la prensa. La determinación de la presión requerida es difícil para la extrusión de formas y secciones complicadas especialmente aquellas que tienen paredes delgadas.

Criterios cuidadosos basados en experiencias pasadas se han tomado en cuenta para hacer estimaciones. Fórmulas han sido desarrolladas para estimar la presión requerida, usando la fricción, la forma y otros parámetros. Sin embargo, para formas sencillas como barras redondas y tubos una aproximación justa predice que la presión de extrusión es una función aproximadamente lineal del logaritmo natural de la relación de extrusión. La fuerza de extrusión está dada por ecuación 1 (2).

$$F = \sigma A_o \ln (R) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

σ es el límite elástico en las condiciones de

temperatura y velocidad de deformación empleadas en la extrusión.

R es la relación de extrusión.

La presión requerida para la extrusión es determinada mediante la ecuación 1, pero los valores obtenidos son solamente aproximaciones. Esta ecuación predice una fuerza de extrusión que es más baja que la observada realmente, porque no tiene en cuenta factores como la deformación no homogénea de la palanquilla, configuración del producto extruido. El largo de la palanquilla así como la fricción entre la palanquilla con las herramientas tiene influencia en la fuerza requerida.

El tratamiento analítico completo de estos factores es muy difícil e imposibilita el cálculo exacto de la fuerza de extrusión y la presión. Es frecuente que el límite elástico efectivo, o constante de extrusión, se calcule mediante una operación de extrusión, a partir de una presión observada y la relación de extrusión empleando la ecuación.

Para un tamaño dado de la palanquilla y un juego determinado de condiciones de extrusión, habrá un límite superior de la relación de extrusión que se puede obtener con una prensa de capacidad fija.

Cuando la variación de dimensiones producida por

extrusión se expresa como tanto por ciento de reducción de sección, se ve enseguida que pequeños incrementos en el porcentaje de reducción, en la región del 90 %, van acompañados de grandes aumentos de la presión de extrusión. Así por ejemplo. casi se duplica la presión de extrusión cuando se aumenta el porcentaje de reducción del 95 al 99% Esto equivale a un aumento del 20% en la relación de extrusión.

Los metales de fácil extrusión como el latón o el zinc, pueden trabajarse con relaciones de extrusión mayores de 100, mientras que las aleaciones difíciles de extrusar, como las aleaciones a base de níquel para temperatura elevada no pueden extrusarse a relaciones superiores a 20.

2.6. DEFORMACION EN LA EXTRUSION

La presión que se requiere para efectuar el proceso de extrusión depende de la forma en que el metal fluya en el cuerpo de la extrusión así como en la matriz.

En algunos casos los defectos que se presentan en las piezas extrusadas se relacionen directamente con la manera en que el metal se deforma durante el proceso.

Se han llevado a cabo investigaciones minuciosas

sobre las características del flujo de los metales blandos, tales como el plomo, el estaño, y el aluminio empleando la técnica de la palanquilla partida (2). Hay que tener en cuenta la deformación del metal tanto en el cuerpo de extrusión así como en la matriz.

La figura 9 muestra el diagrama de flujo, obtenido con una retícula cuadrada en la extrusión directa con matriz plana.

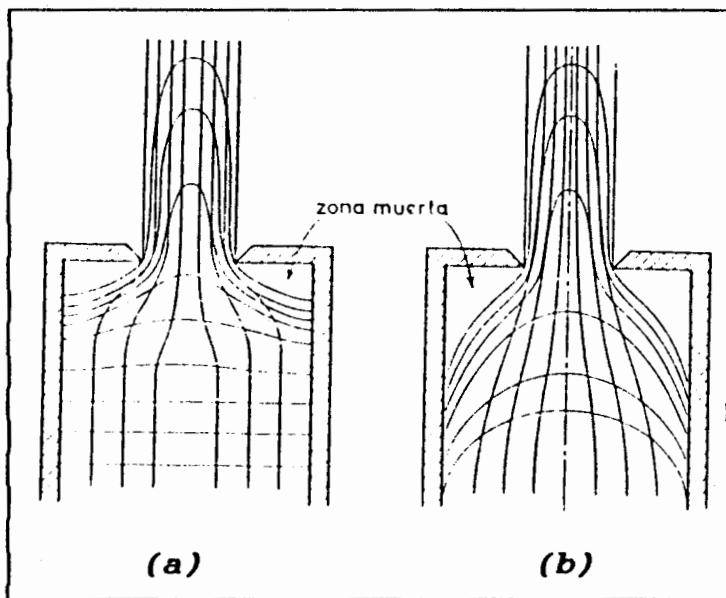


Figura 9: Diagrama de flujo en la extrusión
(a) Con lubricación adecuada
(b) Sin lubricación adecuada

La figura 9.a corresponde al caso de la extrusión de una palanquilla bien lubricada, que se desliza a lo largo de las paredes del cuerpo. La deformación es relativamente uniforme hasta las inmediaciones de la

entrada de la matriz, donde el metal fluye más fácilmente a través de esta última que a lo largo de las paredes del cuerpo.

En las esquinas de la matriz hay una zona muerta de metal estancado que sufre poca deformación. Los elementos del centro de la palanquilla soportan casi exclusivamente un alargamiento puro hacia la varilla extrusada, que corresponde al cambio en la sección transversal de la palanquilla al producto extrusado.

Los elementos próximos a los lados de la palanquilla sufren un intenso cizallamiento. La deformación por cizallamiento, que se produce en una sección transversal mucho mayor que la de la barra extrusada, requiere un consumo de energía que no está en relación con el cambio en dimensiones experimentado por la palanquilla al formar el producto extrusado. Este trabajo superfluo es la causa principal de la discrepancia que se encuentra entre las presiones de extrusión reales y las calculadas sobre la base de una deformación ideal.

Cuando la fricción entre la palanquilla y el cuerpo de la extrusión es elevada, se produce un intenso cizallamiento tanto en la palanquilla como en el flujo del metal a través de la matriz, lo que origina una zona muerta mayor como se ve en la

figura 9.b.

Como la velocidad del metal en el centro es más elevada que cerca a la superficie, hay tendencia a la acumulación del metal sobre las paredes y eventualmente se moverá hacia el centro de la palanquilla. Esto da lugar al llamado defecto de extrusión.

Si el metal tiene una resistencia al cizallamiento a lo largo de las paredes, menor que las tensiones de fricción, se producirá una separación a lo largo de esas paredes y quedará una delgada película de metal en el cuerpo de extrusión.

El flujo no homogéneo a través de una matriz de extrusión se puede modificar variando el ángulo de la matriz. Haciendo disminuir el ángulo de una matriz cónica, para que se aproxime al ángulo natural de flujo frente a una matriz plana, es menor la deformación de cizallamiento, pero aunque el flujo sea más uniforme con las matrices de ángulo pequeño, las fuerzas de fricción son más elevadas. Por esta razón no se puede llegar a la conclusión de que la presión de extrusión sea más pequeña cuando el flujo es más uniforme. Para muchas operaciones de extrusión el óptimo ángulo de operación está entre 45 y 60° (2).

En la extrusión indirecta no hay fricción entre la palanquilla y las paredes del cuerpo de extrusión. Con una matriz plana existe una zona muerta, como la de la figura 9.a y el flujo no es uniforme.

2.7. MATERIALES PARA EXTRUSION EN CALIENTE

Dependiendo del material usado, el proceso de extrusión permite obtener productos que suelen utilizarse en la transportación, contrucciones mecánicas, construcciones civiles, industrias eléctricas, etc.

Prácticamente todos los metales pueden ser extruídos, pero la facilidad para la extrusión varía con las propiedades de deformación del metal.

Plomo y Estaño:

Presentan alta ductilidad y son fáciles para extruir. La adición de elementos aleantes incrementa la fuerza requerida pero la extrusión no presenta problema y es realizada calentando la palanquilla a una temperatura máxima de 300 °C.

Aplicaciones principales incluyen tubos, alambre, barras. Prensas verticales son usadas algunas veces para producir conductores eléctricos.

Aluminio y aleaciones de aluminio:

Son probablemente los materiales más ideales para

extrusión y estos son los que más comunmente se extruyen. Comercialmente muchas aleaciones de aluminio existen para extruir. Las temperaturas de la palanquilla generalmente se calientan hasta una temperatura que fluctua entre 300 y 595 °C dependiendo de la aleación.

Las principales aplicaciones están en la industria aeroespacial, partes para aviones, tubos, alambre, barras, varillas, perfiles huecos, secciones estructurales para arquitectura, en la industria automotriz. Al producto extruido a menudo se le efectua un tratamiento térmico con el fin de mejorar las propiedades.

Magnesio y aleaciones de magnesio:

Productos extruidos de magnesio y aleaciones de magnesio son usados en la industria aeroespacial y plantas nucleares. Con similares temperaturas de la palanquilla la capacidad de extrusión de estos materiales es similar a la del aluminio, pero períodos más largos de calentamiento son usualmente necesarios para mantener uniforme la temperatura de la palanquilla.

Zinc y aleaciones de zinc:

La extrusión de zinc y aleaciones de zinc requiere presiones que son generalmente más altas que las

utilizadas para plomo, aluminio y magnesio. La temperatura de la palanquilla generalmente está en un rango de 205 a 345 °C.

Las aplicaciones principales incluyen tubos, varillas, barras, componentes de armamento, aparatos de electrodomésticos.

Cobre y aleaciones de cobre:

El proceso de extrusión es ampliamente usada para producir alambres, barras, tubos, varillas, conductores eléctricos, conectores y electrodos de soldadura. Perfiles para arquitectura utilizando latón son extruidos pero usualmente en cantidades limitadas.

Temperaturas de la palanquilla varían dependiendo de la aleación en un rango de 595 a 995 °C.

Aceros:

Para la extrusión de acero es necesario utilizar vidrio o algún lubricante para alta temperatura. Con ello se evita un excesivo calentamiento en las herramientas como consecuencia de la temperatura elevada de la palanquilla (995 a 1300 °C). Además se requieren altas velocidades para minimizar el contacto entre la palanquilla y las herramientas.

Los productos incluyen secciones estructurales

(generalmente requeridas en cantidades pequeñas) y tubos con pequeños huecos. Por razones económicas formas estructurales de aceros, especialmente las que se requieren en grandes cantidades son conformadas por procesos de rolado.

2.8. DEFECTOS DE EXTRUSION

Debido a la deformación heterogénea en la extrusión directa, el centro de la palanquilla se mueve más rápidamente que la periferia y el resultado es la aparición de una zona muerta que se extiende a lo largo de la superficie externa.

Después que se han extrusado los dos tercios aproximadamente de la palanquilla, el metal externo de la superficie se desplaza hacia el centro y fluye a través de la matriz en las proximidades del eje de la barra. Como la superficie de la palanquilla suele estar cubierta de una película de óxido, el tipo indicado de flujo origina óxidos internos en la dirección de extrusión. Este defecto puede considerarse como análogo a un rechupe interno y se denomina defecto de extrusión. En la sección transversal del producto extrusado aparecerá como un anillo de óxido.

La tendencia del defecto de extrusión aumenta por la fricción con las paredes del cuerpo. Si la

palanquilla caliente se coloca en un cuerpo de extrusión más frío, se puede endurecer la capa superficial y aumentar su resistencia al flujo. Con ello es mayor la tendencia del centro de la palanquilla a extrusarse antes que la capa superficial e incrementa la posibilidad de formación del defecto de extrusión.

Una forma de evitar el defecto de extrusión es realizar esta solamente hasta el momento en que el óxido de la superficie comienza a entrar en la matriz, y entonces desechar el resto de la palanquilla. Este procedimiento sin embargo tiene serios inconvenientes económicos, porque el defecto de extrusión puede aparecer cuando aún queda en el cuerpo el 30% aproximadamente de la palanquilla.

Otro procedimiento empleado con frecuencia en la extrusión de latón, consiste en emplear un émbolo de diámetro ligeramente inferior al del cuerpo. Cuando el vástago empuja el émbolo hacia adelante, este corta circularmente a la palanquilla y deja la superficie oxidada dentro del cuerpo.

Una solución parecida que se emplea para el níquel y las aleaciones de alta temperatura, es mecanizar la superficie de la palanquilla antes de introducirla en el cuerpo de extrusión. Para que

este procedimiento tenga éxito es necesario evitar que la palanquilla mecanizada se oxide al calentarla a la temperatura de extrusión.

En la extrusión indirecta, por la forma del flujo, la superficie oxidada de la palanquilla se acumula en la superficie del producto extrusado, produciendo lo que suele llamarse un rechupe externo; este defecto se puede eliminar empleando un émbolo de diámetro ligeramente más pequeño que el interno del cuerpo, a fin de que corte circularmente la capa oxidada y la del eje dentro del cuerpo de extrusión.

Cuando se continúa la extrusión hasta que solo queda dentro del cuerpo de extrusión una longitud de palanquilla aproximadamente igual a la cuarta parte de su diámetro, el rápido flujo radial hacia la matriz origina un orificio interno, o embudo, en el extremo posterior del producto extrusado. Este orificio puede extenderse hasta alguna distancia del extremo posterior del producto extrusado y es necesario despuntar este y desechar el metal afectado. La longitud de este defecto puede aminorarse considerablemente si la cara de la herramienta que empuja al metal forma cierto ángulo respecto al eje del vástago.

Se puede producir agrietamiento superficial por

extrusar a demasiada velocidad o a excesiva temperatura.

La deformación no uniforme que se produce en la extrusión da lugar a una considerable variación de la estructura y las propiedades desde el extremo frontal al posterior, en la dirección longitudinal del producto extrusado, y desde la superficie al centro, en la sección transversal.

La fuerte deformación de cizalladura de las capas superficiales del producto extrusado hace que estas capas estén mucho más deformadas que el centro. Si se calienta el producto extrusado, después que éste abandona la prensa, las capas superficiales y el centro responden de manera diferente. Cuando se produce recristalización, el tamaño de grano de las capas superficiales será mayor.

CAPITULO III
INGENIERIA DEL PROYECTO



3.1. OBJETIVO

Nuestro objetivo es el de producir barras hexagonales de 17.5 mm (11/16") y 22.2 (7/8") de la aleación de cobre UNS C38500. Para ello partimos de palanquillas cilíndricas de 30.2 mm (1 3/16") de diámetro y 76.2 mm (3") de largo.

3.2. DISEÑO DE LA PRENSA

El diseño de la prensa en su totalidad se ha realizado tomando como guía la referencia (4). Por lo que solo voy a detallar la selección de los elementos hidráulicos.

La fuerza necesaria para extruir el material viene dado por la ecuación

$$F = \sigma A_o \ln (A_o/A_f)$$

El valor de σ es el límite elástico en las condiciones de temperatura y velocidad de

deformación empleadas de en la extrusión. Sin embargo esta ecuación nos permite calcular un valor aproximado de la fuerza requerida. Puesto que no se tiene certeza de cuanto es la disminución de σ con el incremento de temperatura, y considerando que la fuerza aumenta por otros factores como el flujo no homogéneo del material, la fricción existente entre la palanquilla con la matriz y el contenedor, vamos a considerar el valor de σ a la temperatura ambiente.

Se van a producir 2 barras de distinto diámetro. La fuerza necesaria para extruir se calcula considerando la mayor relación de extrusión.

Aleación de cobre C38500 $\sigma=138$ Mpa (3) (20000 psi)

$$F = 138 \text{ MPa} * A_o * \ln (A_o/A_f)$$

$$A_o = \pi * r^2 = \pi * (0.015 \text{ m})^2$$

$$A_o = 0.00071 \text{ m}^2$$

$$A_f = 6 * ((b * h)/2)$$

$$b = (2 * h) / \tan 60^\circ$$

$$A_f = (6 * h^2) / \tan 60^\circ$$

$$A_f = 0.00026 \text{ m}^2$$

$$F = 138 \text{ Mpa} * 0.00071 \text{ m}^2 * \ln (0.00071/0.00026)$$

$$F = 96742 \text{ N} (21711 \text{ lb}).$$

Caudal de la bomba:

El caudal requerido por la bomba viene dado por la



expresión:

$$Q = A * V \quad \text{donde:}$$

A = Area interior del cilindro.

V = Velocidad del vástago.

La velocidad máxima del vástago será el límite superior de la velocidad requerida para la extrusión; en nuestro caso es de 50.8 mm/s (2 pulg/s).

El cilindro tiene un diámetro interior de 120.65 mm (4.75 pul)

$$Q = \pi * r^2 * V$$

$$Q = \pi * (0.06m)^2 * 0.0508 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.00058 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (9.2 gpm)}$$

En la prensa se utilizará una válvula de alivio con el fin de regular la presión de la bomba. Si regulamos la válvula de alivio a 10.4 MPa (1500 psi), tendremos una fuerza máxima en el vástago de:

$$F1 = P_b * A, \quad \text{donde}$$

P_b = Presión de trabajo de la bomba

A = Area del cilindro

$$F1 = 10.4 \text{ MPa} * \pi * (0.06 \text{ m})^2$$

$$F1 = 117133 \text{ N} \text{ (26580.8 lb)}.$$

Puesto que esta fuerza es mayor que la requerida ($F1 > F$), el material si va ser posible extruirlo.

Potencia del motor:

La potencia requerida por el motor viene dada por la expresión:

$$W = P_b * Q \quad \text{donde:}$$

P_b = Presión de trabajo de la bomba

Q = Caudal de la bomba.

$$W = 10.4 \text{ MPa} * 0.00058 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W = 6007 \text{ w}$$

$$W = 8.05 \text{ HP}$$

Con todos estos cálculos realizados podemos escoger los dispositivos hidráulicos en base a nuestras necesidades.

Caudal requerido: 0.00058 m³/s (9.2 gpm)

Presión requerida: 10.4 MPa (1500 psi)

Potencia requerida: 8.05 HP

Bomba:

De (5), seleccionamos una bomba PV10 cuyo caudal de operación es 0.0006 m³/s (10 gpm) y presión máxima de operación es 24.2 Mpa (3500 psi).

Válvula de alivio:

De (5), seleccionamos una válvula R4V 03 (.0095 m) cuya presión y caudal máximo de operación son respectivamente: 34.5 Mpa (5000 psi) y 0.0015 m³/s

(24 gpm).

Válvula reguladora de caudal:

La válvula reguladora de caudal utilizada para este fin es una válvula marca PARKER, modelo F1200 S-11GE cuyos parámetros máximos de operación son:

Presión: 20.7 MPa (3000 psi)

Caudal: 0.0016 m³/s (25 gpm)

Válvula direccional:

De (5), escogemos una válvula de 4 vías, 3 posiciones.

El modelo es 4D01 - 35 401 03 - 04 - 00A1

La presión máxima de operación es 34.5 Mpa

El caudal máximo de operación es 0.001 m³/s

Motor:

Considerando la potencia requerida y tomando en cuenta que la eficiencia tanto de la bomba como del motor no es del 100% se ha escogido un motor con las siguientes características:

Potencia: 10 HP.

Velocidad: 1760 rpm

Tensión: 220 V

Frecuencia: 60 Hz.

3.3. CIRCUITO HIDRAULICO

El circuito hidráulico de la prensa muestra

los siguientes elementos:

- 1.- Bomba
- 2.- Manómetro
- 3.- Válvula de alivio
- 4.- Válvula direccional
- 5.- Válvula reguladora de caudal
- 6.- Cilindro
- 7.- Motor
- 8.- Tanque
- 9.- Manómetro

Las operaciones que realiza la prensa son:

- Función en vacío
- Carrera de trabajo
- Carrera de retroceso.

Función en vacío.- Para la función en vacío, como se muestra en el plano # 7 del anexo # 1, la válvula direccional está en la posición neutra, de modo que el fluido proveniente de la bomba pasa por el cuerpo de la válvula con dirección al tanque.

Carrera de trabajo.- Como se muestra en el plano # 8 del anexo # 1, la válvula direccional desvía el fluido a la parte superior del cilindro, descendiendo este a la velocidad que se requiera con la variación de la válvula reguladora de caudal.

Si la presión de trabajo alcanza el valor al que se ha calibrado la válvula de alivio, esta desvía el fluido al reservorio. Cuando termina la carrera del vástago, el fluido regresa al tanque por medio de la otra vía de la válvula direccional.

Carrera de retroceso.- En la carrera de retroceso, como se muestra en el plano # 9 del anexo # 1, la válvula direccional desvía el fluido a la parte inferior del cilindro. Al terminar la carrera del vástago el fluido se regresa al tanque por medio de la vía alterna.

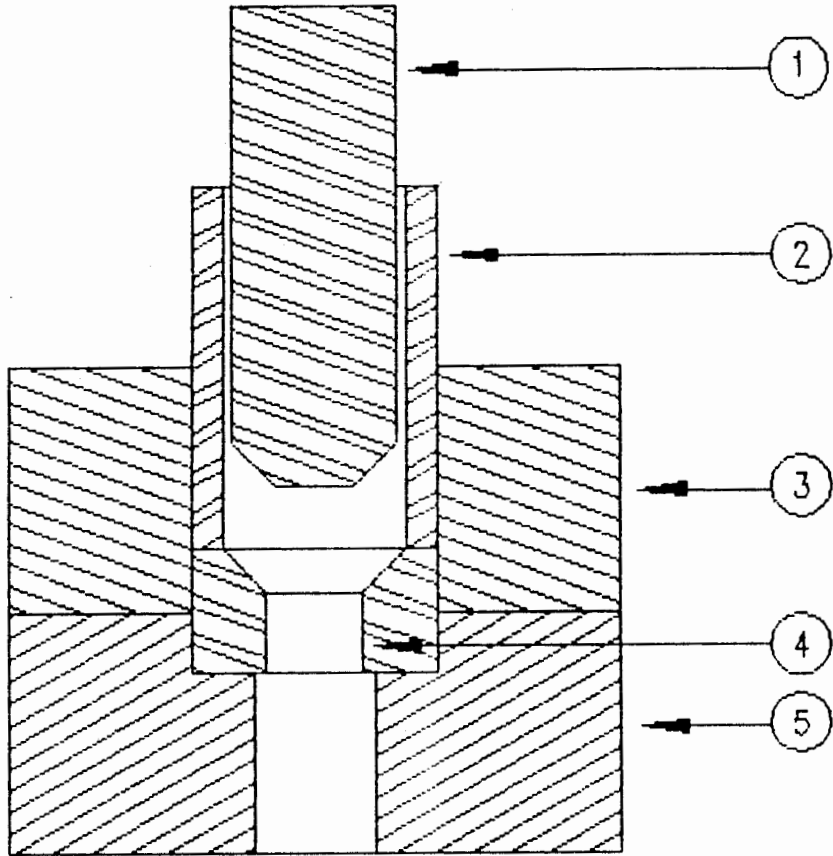
3.3. HERRAMIENTAS PARA EL CUERPO DE EXTRUSION

Para efectuar las pruebas experimentales correspondientes, además de construir la prensa también se diseñó las herramientas necesarias para efectuar este proceso.

Todo el conjunto de herramientas forman el cuerpo de extrusión como se puede observar en la figura 10; en esta se indica además el material y la dureza de cada una de ellas. Las herramientas son:

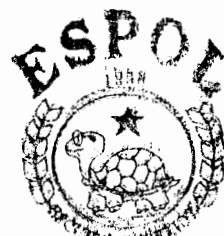
- 1.- Embolo
- 2.- Contenedor
- 3.- Envolvente
- 4.- Matriz
- 5.- Portamatriz

Todas las herramientas se muestran detalladas en el anexo # 1, en los planos #1 a #6.



#	COMPONENTE	ACERO	DUREZA (HRC)
1	Embolo	H13	52
2	Contenedor	H13	52
3	Envolvente	H13	52
4	Matriz	H13	56
5	Portamatriz	H13	52

Figura 10: Cuerpo de extrusión



CAPITULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZEVALLOS
E.P.L.

4.1. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS

Los equipos y materiales utilizados para la realizar las pruebas son:

- Prensa hidráulica de velocidad variable.
- Resistencia eléctrica.
- Horno.
- Termómetro digital (termocupla tipo K).
- Cuerpo de extrusión.
- Lubricante (disulfato de molibdeno).
- Tenazas.

4.2. METODOLOGIA

Nuestras pruebas experimentales se van a realizar variando 3 parámetros fundamentales que intervienen en el proceso de extrusión:

- Relación de extrusión
- Temperatura
- Velocidad de extrusión.

En la figura 11 se muestra la secuencia de la variación de parámetros para realizar la experimentación.



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZEVALLOS
F.I.M.C.P.

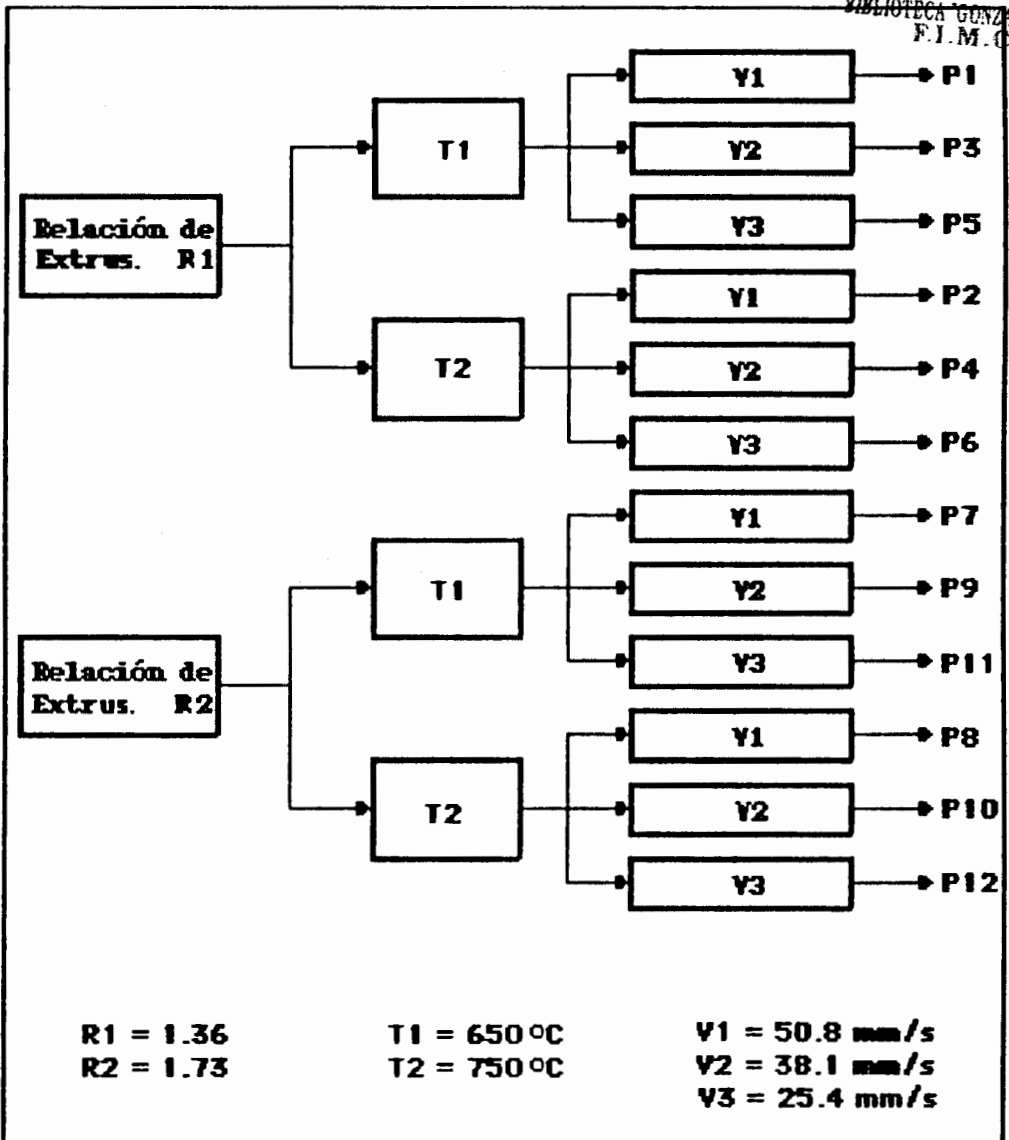


Figura 11: Secuencia de la variación de parámetros para efectuar las pruebas experimentales

Para efectuar las pruebas, se ha diseñado 2 matrices con distinta relación de extrusión. Utilizando una relación de extrusión fija, va a trabajarse con 2 temperaturas de precalentamiento de la palanquilla, y con cada una de estas se variará la velocidad de extrusión trabajando a la velocidad máxima, intermedia y mínima, obteniendo en total 12 probetas.

4.3. PROCEDIMIENTO

- Armamos el cuerpo de extrusión con la matriz 1 (relación de extrusión = 1.36)
- Luego colocamos la resistencia eléctrica alrededor del cuerpo de extrusión, y conectamos sus terminales a los de una máquina de soldar (220V); el amperaje de la máquina es fijado en 100 amperios. El cuerpo de extrusión en el interior alcanza una temperatura de 350 °C.
- Regulamos la válvula de alivio de presión a 10.4 Mpa (1500 psi).
- Variando la válvula reguladora de caudal, fijamos la velocidad de la prensa en 50.8 mm/s.
- Introducimos la palanquilla en un horno de gas, y procedemos a realizar el precalentamiento hasta alcanzar la temperatura de 750 °C. La medición

- realizamos con un termómetro digital (termocupla tipo K).
- Justamente antes de sacar la palanquilla del horno procedemos a lubricar las paredes de la matriz y el contenedor con disulfato de molibdeno.
 - Con las tenazas sacamos la palanquilla del horno, la ubicamos en el contenedor, y colocando el émbolo sobre la palanquilla procedemos a bajar el vástago de la prensa para efectuar el proceso de extrusión.
 - Registramos la presión en el manómetro colocado a la entrada del cilindro justo en el instante que se está efectuando el proceso de extrusión.
 - Terminado el proceso sacamos el producto extruido del cuerpo de extrusión.
 - Repetimos el procedimiento para las otras 5 palanquillas, de acuerdo a los valores requeridos de las variables del proceso.
 - Terminadas las 6 palanquillas sacamos la matriz 1 del cuerpo de extrusión, y cambiamos con la matriz 2 (relación de extrusión = 1.73). Repetimos el proceso igual que para las palanquillas que se obtuvieron con la matriz 1.



4.4. EVALUACION DE PROPIEDADES

EXTRUIDO

Estado superficial.- El estado superficial de las probetas se reportará viéndolas macroscópicamente.

Dureza.- Esta se medirá con el probador de dureza Brinell, de acuerdo a la norma ASTM E6. La medición se la hará longitudinalmente tanto en la probeta original como en las probetas extruidas.

Metalografía.- Para realizar el análisis metalográfico, se procedió a sacar una muestra de la sección transversal de todas las probetas excepto de las que se trabajaron a la velocidad media.

Primeramente se realizó el pulido de las muestras en una lijadora eléctrica, luego se pulió hasta una lija 600. El pulido final se realizó en el disco con paño utilizando pasta de diamante; una vez que la superficie estaba lista se procedió a atacarla con dicromato de potasio. Todas las las microestructuras se han fotografiado con un aumento de 226X.

Tracción.- El ensayo de tracción se realizó en las probetas 8 y 11. Estas se les ensayó de acuerdo a las normas ASTM E8.

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Estado superficial.- El estado superficial de las probetas, se muestran en las figuras 12 a 23.

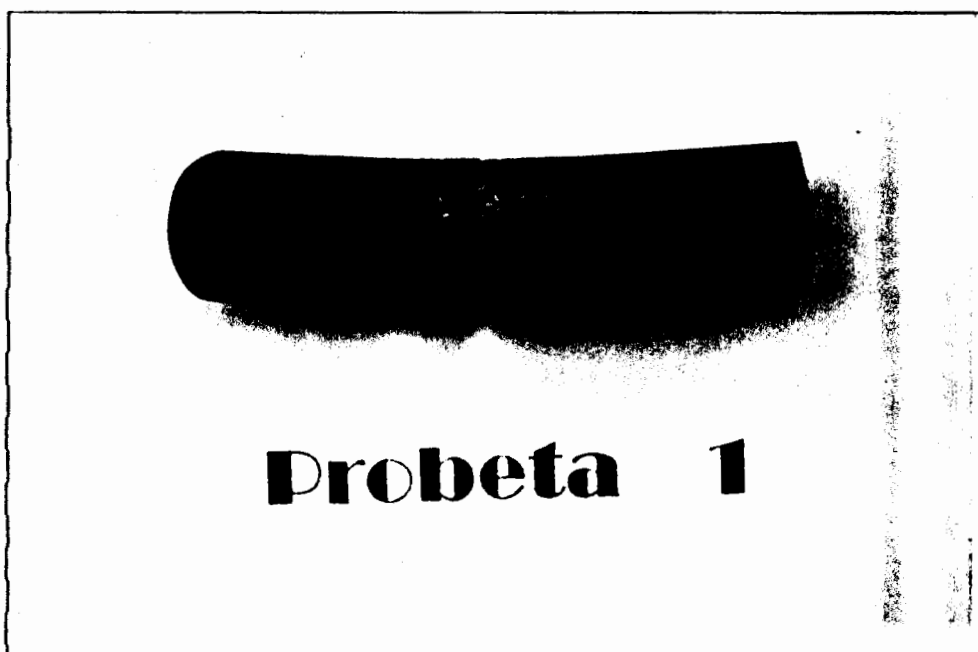


Figura 12 : Probeta extruida 1

R = 1.36
T = 650 °C
V = 50.8 mm/s



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZE
R.I.M.C.º

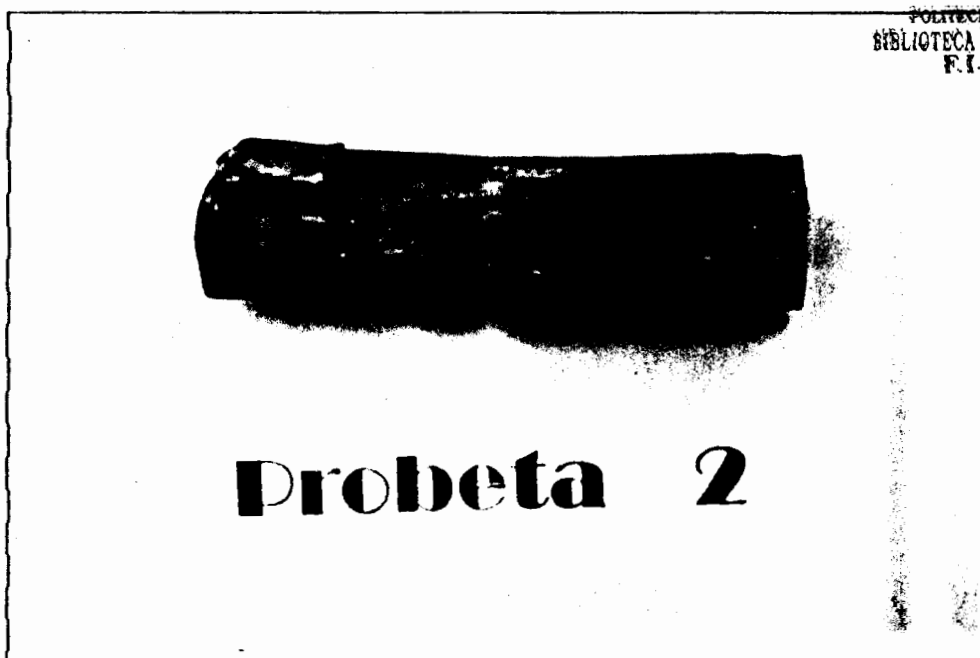


Figura 13 : Probeta extruida 2

R = 1.36
T = 750 °C
V = 50.8 mm/s

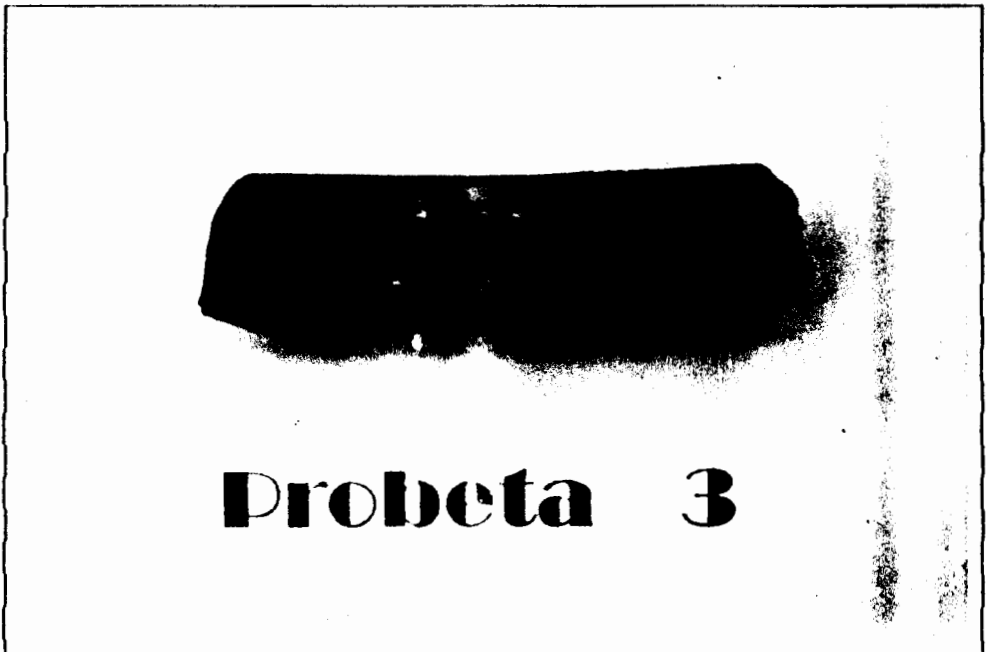


Figura 14 : Probeta extruida 3

R = 1.36

T = 650 °C

V = 38.1 mm/s



POLITECNICA DE LOJA
BIBLIOTECA GONZALO ZAVALLON
P.I. M. C. F.

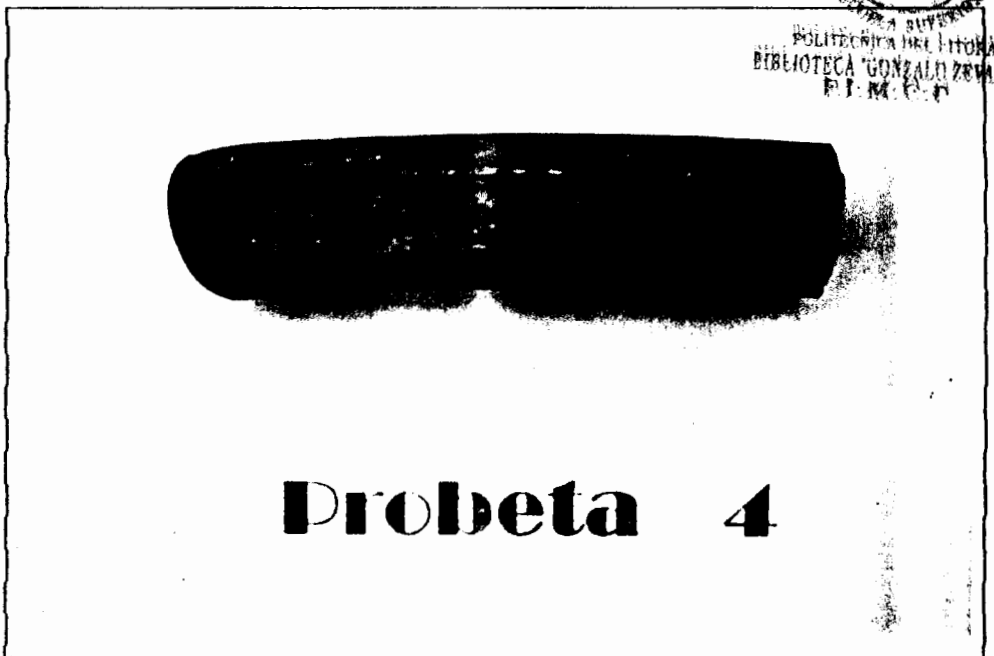


Figura 15 : Probeta extruida 4

R = 1.36

T = 750 °C

V = 38.1 mm/s



Probeta 5

Figura 16 : Probeta extruida 5

R = 1.36

T = 650 °C

V = 25.4 mm/s



Probeta 6

Figura 17 : Probeta extruida 6

R = 1.36

T = 750 °C

V = 25.4 mm/s

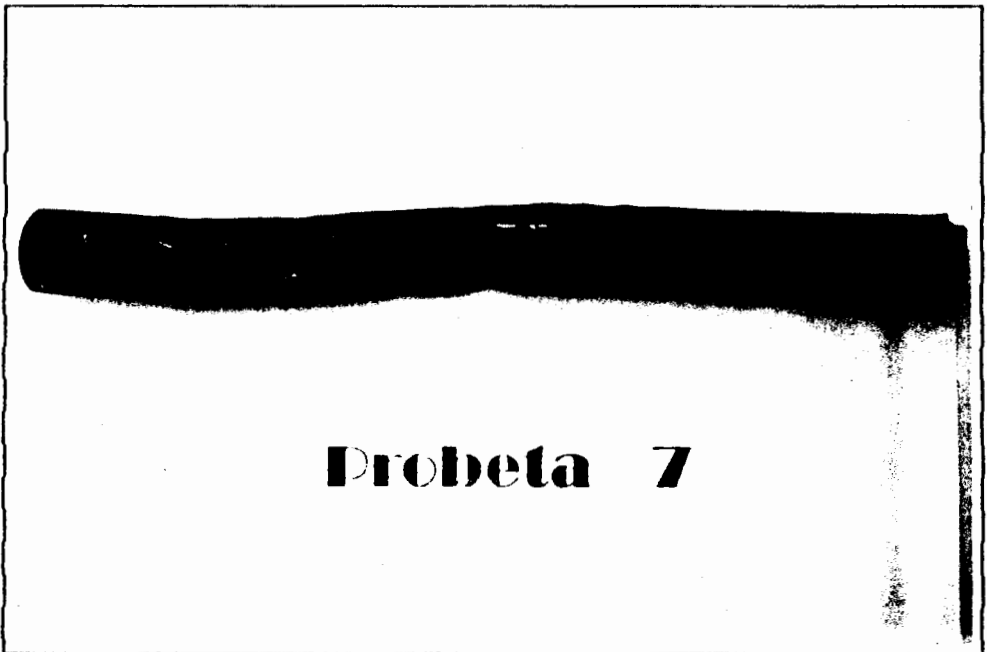


Figura 18 : Probeta extruida 7

R = 1.73

T = 650 °C

V = 50.8 mm/s



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVAL
F.I.M.C.P.

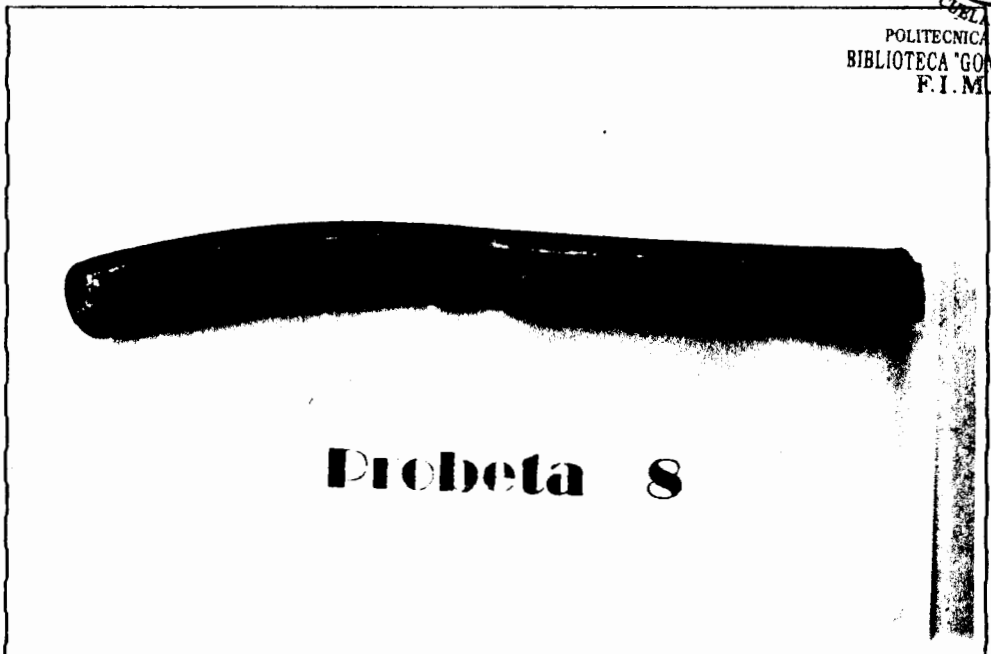


Figura 19 : Probeta extruida 8

R = 1.73

T = 750 °C

V = 50.8 mm/s

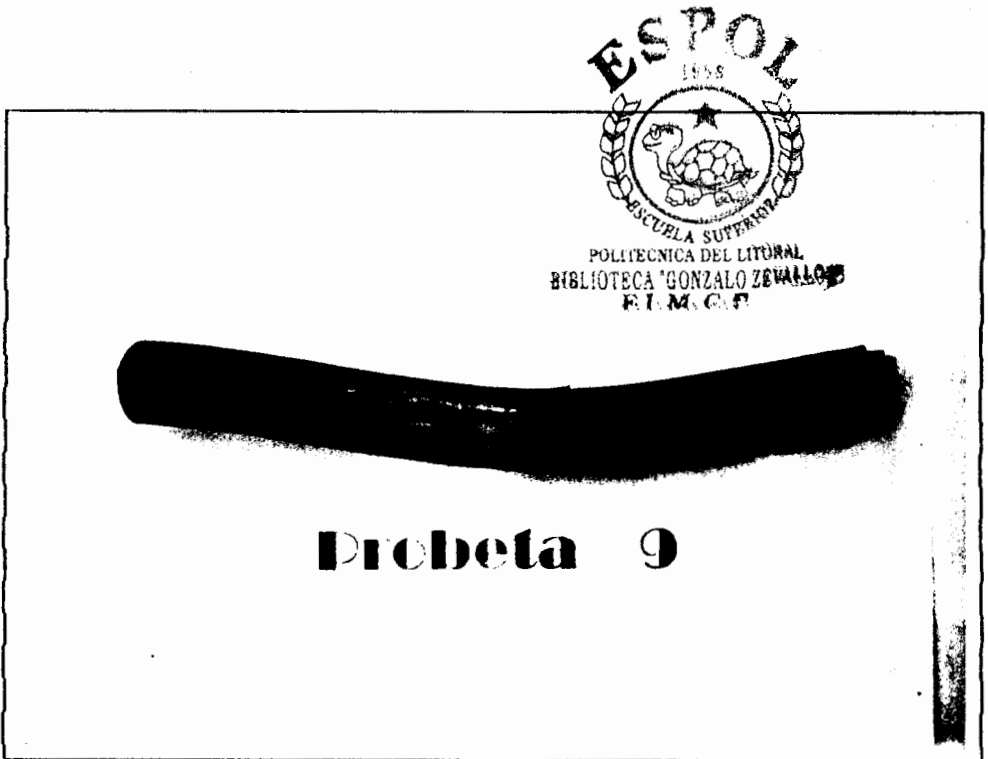


Figura 20 : Probeta extruida 9

R = 1.73

T = 650 °C

V = 38.1 mm/s

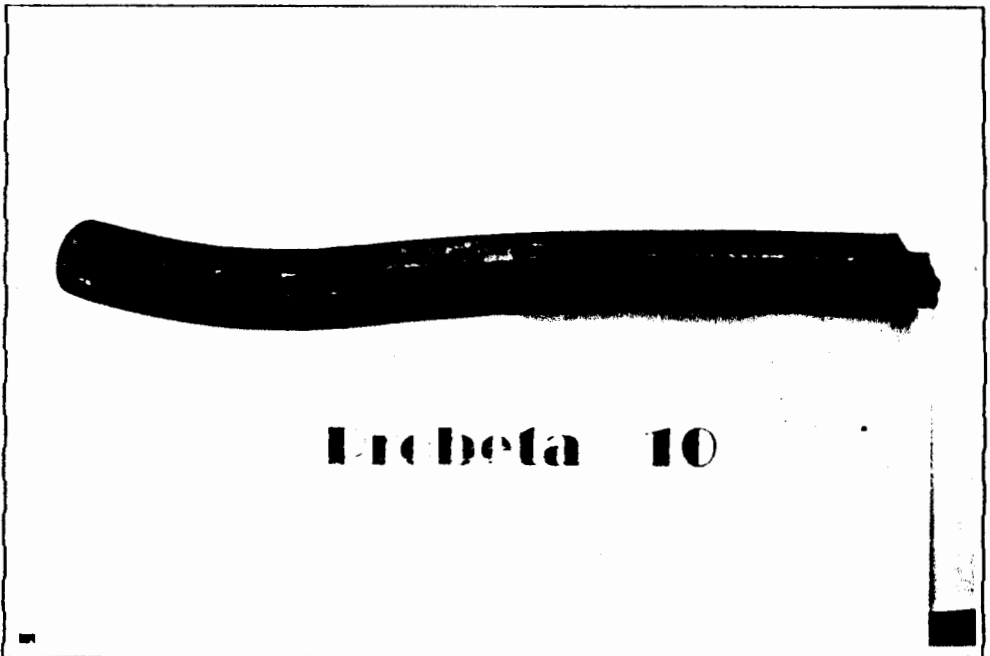


Figura 21 : Probeta extruida 10

R = 1.73

T = 750 °C

V = 38.1 mm/s

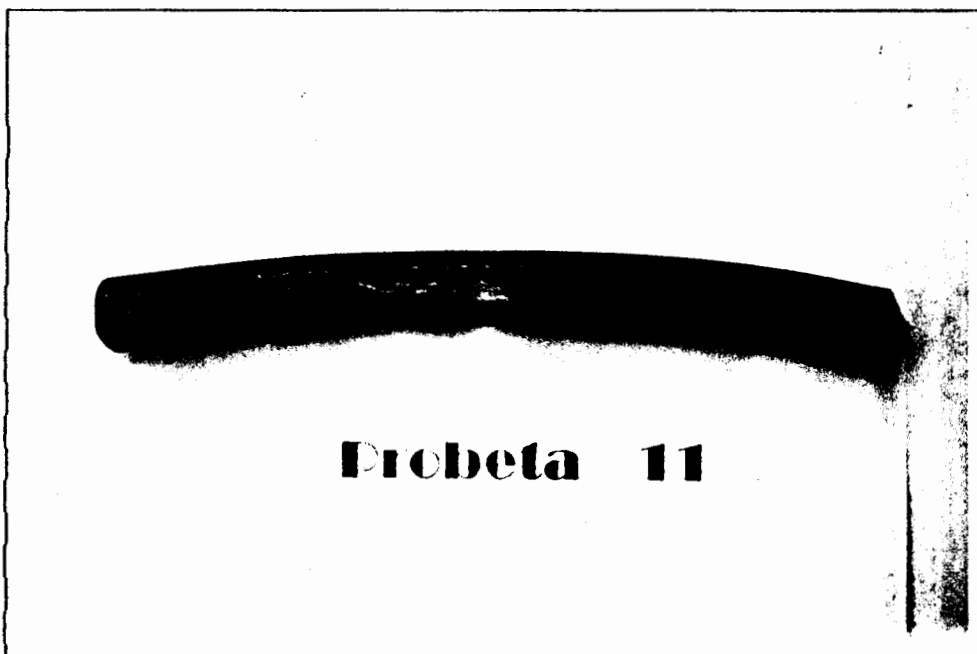


Figura 22 : Probeta extruida 11

R = 1.73
 T = 650 °C
 V = 25.4 mm/s



PROFESORADO DEL LITORAL
 BIBLIOTECA GONZALO ZEVALLOS
 R.I.M.C.P.

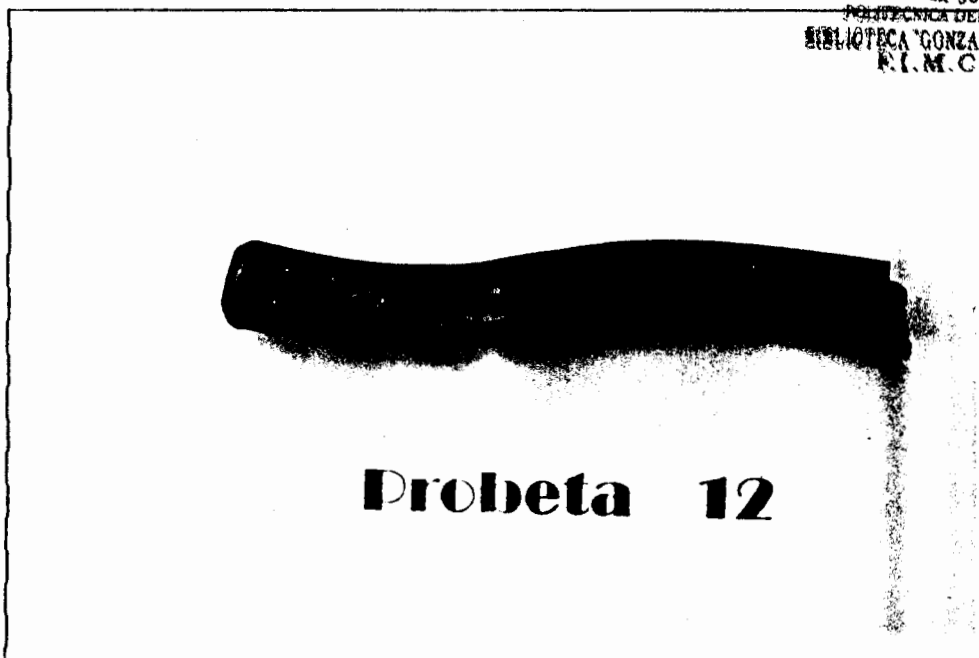


Figura 23 : Probeta extruida 12

R = 1.73
 T = 750 °C
 V = 25.4 mm/s

Los defectos presentes en el estado superficial de cada una de las probetas extruidas se muestran en la tabla III.

TABLA III: Estado Superficial en las probetas extruidas

PROBETA	PARAMETROS				ESTADO SUPERFICIAL			
	V (mm/s)	T (°C)	R Extr.	Oxidación	Exfoliaciones	Grietas longitudinales		
1	50.8	650	1.36	Si	Si	Si		Si
2	50.8	750	1.36	Si	Si	Si		Si
3	38.1	650	1.36	Si	No	No		No
4	38.1	750	1.36	Si	No	No		No
5	25.4	650	1.36	Si	No	No		No
6	25.4	750	1.36	Si	No	No		No
7	50.8	650	1.73	Si	No	No		Si
8	50.8	750	1.73	Si	No	No		Si
9	38.1	650	1.73	Si	Si	No		No
10	38.1	750	1.73	Si	No	No		No
11	25.4	650	1.73	Si	No	No		No
12	25.4	750	1.73	Si	No	No		No



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZERVALA
F.I.M. C.P.

Microestructura.- La microestructura de la muestra de cada probeta se observa en figuras 24 a 32. Todas estas han sido atacadas con Dicromato de Potasio, y observadas en el microscopio con un aumento de 226X.

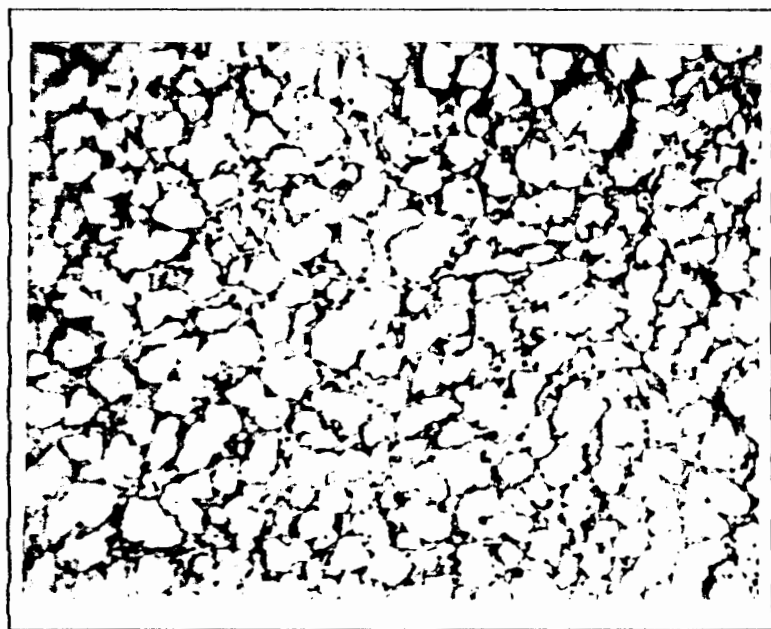


Figura 24: Microestructura de probeta sin extruir. Se observa 2 fases α y β con inclusiones de Plomo.

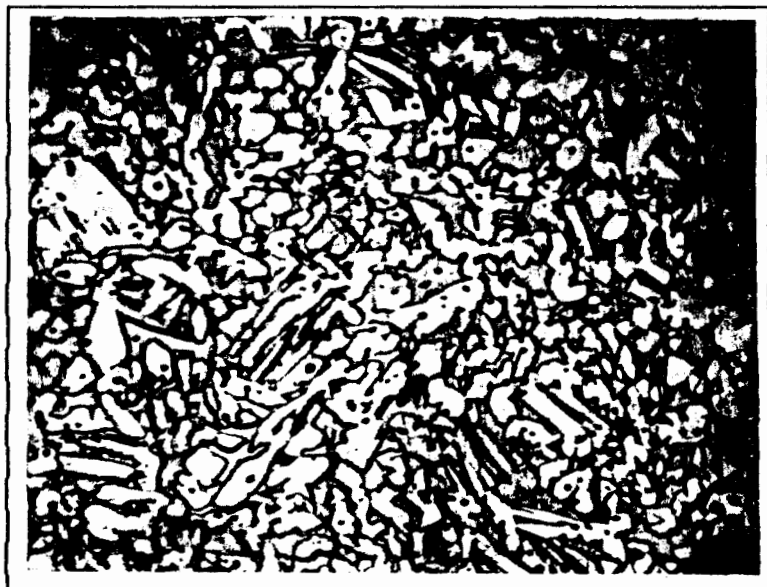


Figura 25: Microestructura de probeta extruida 1. $V : 50.8 \text{ mm/s}$, $T : 650 \text{ C}$, $R : 1.36$. Dureza: 87.4 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo



Figura 26: Microestructura de probeta extruida 2. $V : 50.8 \text{ mm/s}$, $T : 750 \text{ C}$, $R : 1.36$. Dureza: 89.8 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo



Figura 27: Microestructura de probeta extruida 5. V : 25.4 mm/s, T : 650 C, R : 1.36. Dureza: 87.7 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo



Figura 28: Microestructura de probeta extruida 6. V : 25.4 mm/s, T : 750 C, R : 1.36. Dureza: 87.7 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo





Figura 29: Microestructura de probeta extruida 7. V : 50.8 mm/s, T : 650 C, R : 1.73. Dureza: 87.7 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo



Figura 30: Microestructura de probeta extruida 8. V : 50.8 mm/s, T : 750 C, R : 1.73. Dureza: 88.5 Brinell. Se divide en 2 fases α y β con inclusiones de Plomo

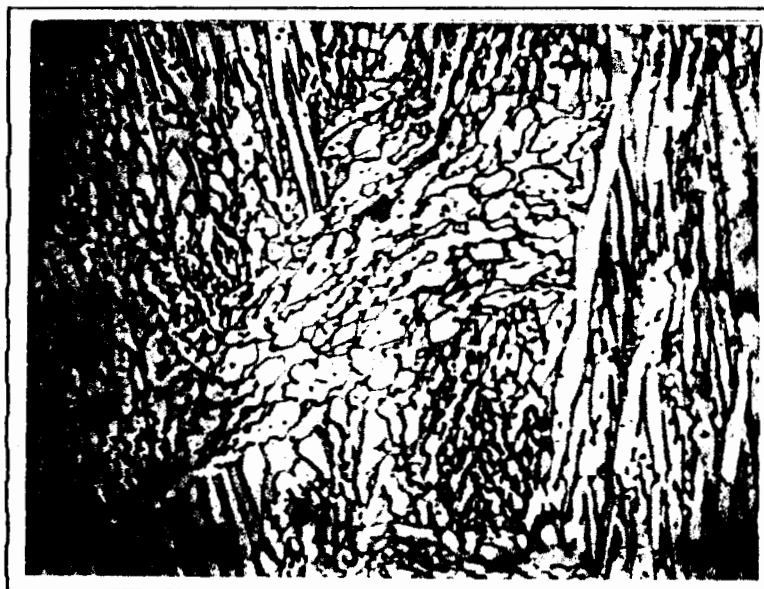


Figura 31: Microestructura de probeta extruida 11. $V : 25.4 \text{ mm/s}$, $T : 650 \text{ C}$, $R : 1.36$. Dureza: 87.7 Brinell. Se divisa 2 fases α y β con inclusiones de Plomo



Figura 32: Microestructura de probeta extruida 12. $V : 25.4 \text{ mm/s}$, $T : 750 \text{ C}$, $R : 1.36$. Dureza: 89.7 Brinell. Se divisa 2 fases α y β con inclusiones de Plomo

Presión de extrusión.- La presión medida en el manómetro, así como la requerida para extruir las probetas se muestra en la Tabla IV.

De las condiciones de diseño de la prensa, la presión de extrusión se calcula por la siguiente ecuación: $P_e = 16 P_m$, donde:

P_e = Presión de extrusión

P_m = Presión del manómetro.



TABLA IV: PRESION DE EXTRUSION

PROBETA	V (mm/s)	T (°C)	R Extr.	P. ma (MPa)	P. ex (MPa)
1	60.8	650	1.36	5.2	82.8
2	60.8	750	1.36	4.8	77.3
3	38.1	650	1.36	5.2	82.8
4	38.1	750	1.36	4.8	77.3
5	25.4	650	1.36	5.2	82.8
6	25.4	750	1.36	4.8	77.3
7	60.8	650	1.73	7.6	122
8	60.8	750	1.73	7.2	116
9	38.1	650	1.73	7.6	122
10	38.1	750	1.73	7.2	116
11	25.4	650	1.73	7.6	122
12	25.4	750	1.73	7.2	116

Dureza.- La dureza promedio de cada una de las probetas se muestra en la Tabla V.

TABLA V : DUREZA EN PROBETAS



POLITÉCNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA GONZALO ZEVALLOS
E. I. C. P.

PROBETA	V (mm/s)	T (°C)	R Extru.	Dureza Brinell
Original	----	----	----	100
1	60.8	650	1.36	87.4
2	60.8	750	1.36	89.8
3	38.1	650	1.36	87.7
4	38.1	750	1.36	88.2
5	25.4	650	1.36	87.7
6	25.4	750	1.36	87.7
7	60.8	650	1.73	87.7
8	60.8	750	1.73	88.6
9	38.1	650	1.73	88.1
10	38.1	750	1.73	89.1
11	25.4	650	1.73	87.7
12	25.4	750	1.73	89.7

Ensayo de tracción.- La resistencia a la tracción fluencia y elongación se muestran en la tabla VI.

TABLA VI : RESISTENCIA A LA TRACCION Y FLUENCIA

PROBETA	V (mm/s)	T (°C)	Rt (MPa)	Rf (MPa)	• %
8	50.8	750	412	132	30.6
11	25.4	650	408	128	32.4



CAPITULO V
ANALISIS DE RESULTADOS



Basándonos en la Tabla III acerca del estado superficial de las probetas, notamos que el problema principal que se observa es la oxidación que se presenta en todas las palanquillas, como puede observarse en las figuras 12 a 23, la cual aparece en todas las palanquillas puesto que no se controló la atmósfera del horno durante el período de calentamiento.

Otros problemas que aparecen en las palanquillas son las exfoliaciones (desprendimiento de capas superficiales en sectores localizados) y las grietas superficiales.

Las primeras aparecen producto de la oxidación localizada o cuando no se tiene una continuidad en la capa lubricante. En estos casos, la fricción se eleva considerablemente, por lo que existe adhesión del metal a las paredes de la matriz. Además estos fenómenos también ocasionarían un aumento de la presión para extruir.

Las grietas como puede apreciarse en la Tabla III aparecen cuando se trabaja a la velocidad máxima. Cuando se trabaja con mayor velocidad se retiene más el calor engendrado producto de la deformación, lo que origina elevación mayor de la temperatura del producto extruido.

La presión requerida para realizar el proceso de extrusión, varía sustancialmente al trabajar a distintas temperaturas como se muestra en la tabla IV, siendo mayor cuando se trabaja a la temperatura inferior. Este resultado como era lógico se debe a que la presión depende del límite elástico, el cual a su vez disminuye con el incremento de la temperatura.

No se nota variación de la presión con la velocidad para una relación de extrusión y temperatura dada, tal como se observa en la tabla IV, lo cual no acontece en los procesos de extrusión a nivel industrial. Esto se debe a que estamos extruyendo una longitud relativamente corta (76.2 mm) por lo que al extruir el material con velocidades altas, el tiempo que demora el proceso es relativamente corto y no es posible apreciar ese cambio de presión.

De acuerdo a la composición química de nuestro material, 58% Cu, 39% Zn y 3% Pb; la microestructura de las probetas muestra claramente la existencia de dos fases marcadas α y β con inclusiones de plomo a lo largo



de toda la superficie como puede observarse en las figuras 24 a 32. Esta microestructura es característica de este tipo de aleación como puede verse en el diagrama de fase Cu - Zn del anexo # 2.

La estructura de la probeta original es de forma equiaxial, mientras que la de las probetas extruidas muestran una estructura característica de este proceso de conformado en caliente.

La dureza de las probetas extruidas no varia mucho entre cada una de estas como puede observarse en la tabla V, pero sí disminuye respecto a la original. La dureza disminuye puesto que al trabajar con temperaturas superiores a la de recristalización existe un ligero aumento y redistribución de las fases existentes que hacen disminuir la dureza del producto extruido.

La resistencia a la tracción, fluencia, y el alargamiento como puede apreciarse en la tabla VI no difieren significativamente entre una y otra probeta. La resistencia a la tracción es un poco menor a la teórica cuyo valor es 415 Mpa (1). Esto es lógico ya que el trabajo en caliente disminuye la dureza del material, por ende la resistencia a la tracción.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

* La temperatura adecuada para efectuar el proceso de extrusión es la menor posible a la cual puede producirse el proceso de recristalización. Para el caso de nuestra aleación UNS C38500 es 650 °C.

Hay que considerar sin embargo que esta temperatura es adecuada para las condiciones de experimentación ya que se esta extruyendo longitudes cortas y relaciones de extrusión pequeñas. La temperatura en sí dependerá de factores como la magnitud de deformación y el tiempo de permanencia a dicha temperatura. El tiempo evidentemente estará entonces relacionado con la longitud de la palanquilla y la velocidad a la que se efectúe el proceso de extrusión. La magnitud de deformación dependerá principalmente de la relación de extrusión.

* La selección de la velocidad adecuada para realizar un proceso de extrusión debe ser determinada a través

de experimentaciones como las que se ha realizado; la velocidad aconsejable para nuestro tipo de aleación en nuestras condiciones de trabajo es la mínima 25.4 mm/s, puesto que el estado superficial presenta menor defectología.

- * Es necesario tomar correctivos al precalentar la palanquilla, con el fin de minimizar el problema de oxidación que se tiene en las probetas. Se sugiere utilizar un horno con atmósfera controlada, aislar el material de modo que no tenga contacto con la atmósfera del horno, o también utilizar un émbolo de diámetro ligeramente menor al del contenedor, de modo que corte circularmente la capa superficial oxidada y esta quede en el contenedor.
- * Si se realiza el proceso de extrusión a partir de palanquillas fundidas, se recomienda que para fundir se seleccione apropiadamente la materia prima, realizar cálculos de pérdidas, con el objeto de tener una composición química adecuada del material, ya que este factor determina la factibilidad que tiene un material para trabajarse en caliente.
- * Es factible también pensar en la posibilidad de instalar una planta extrusora que trabaje no solamente con aleaciones de aluminio, sino también con otros materiales como aleaciones de cobre, ya que los

productos que pueden obtenerse con este proceso tienen gran demanda en el mercado nacional.

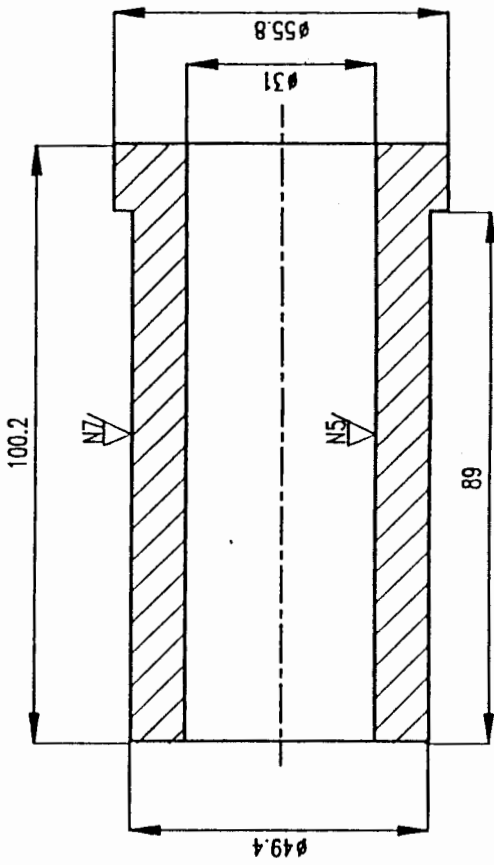


BIBLIOGRAFIA

1. **AMERICAN SOCIETY FOR METALS**, Metals Handbook. Forming and Forming. 9TH Edition, Metal Parts, Ohio, 1979, pp 315 - 326
2. **DIETER GEORGE**. Mechanical Metallurgy. 3TH Edition, McGraw-Hill, New York, 1986, pp 528 y 616 - 634
3. **AMERICAN SOCIETY FOR METALS**, Metals Handbook. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals. 9TH Edition; Metal Parts, Ohio, 1979, pp 342
4. **ADUM VICENTE**. Construcción de una prensa hidráulica de 60 toneladas para los talleres de Metalurgia de la ESPOL. Tesis de Grado, ESPOL, Guayaquil, 1989.
5. **ABEX DENISON**. Directory of Products Hidraulics. USA 1993.
5. **CASTILLO MARCELO**. Estudio del envejecimiento de las aleaciones de aluminio extruido. Tesis de Grado, Espol, Guayaquil, 1982.
6. **BOHLER**. Manual de aceros industriales.
7. **AVNER SIDNEY**. Introducción a la Metalurgia Física. Segunda Edición, México, 1988.
8. **COLANGELO AND HEISER**. Analysis of Metallurgical Failures. John Wiley & Sons, New York, 1973.

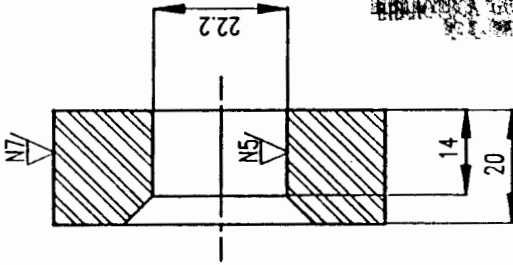
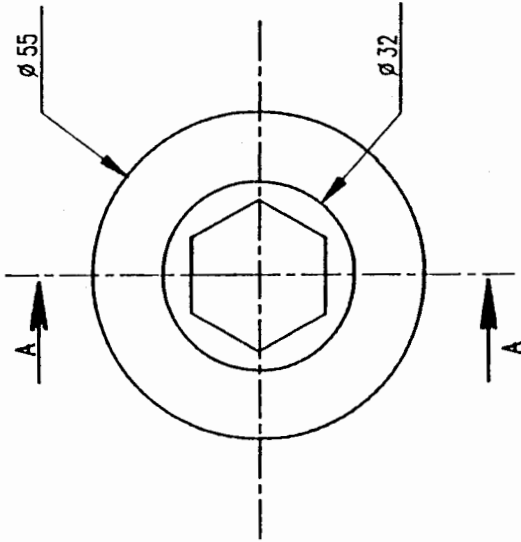
ANEXOS

1: PLANOS

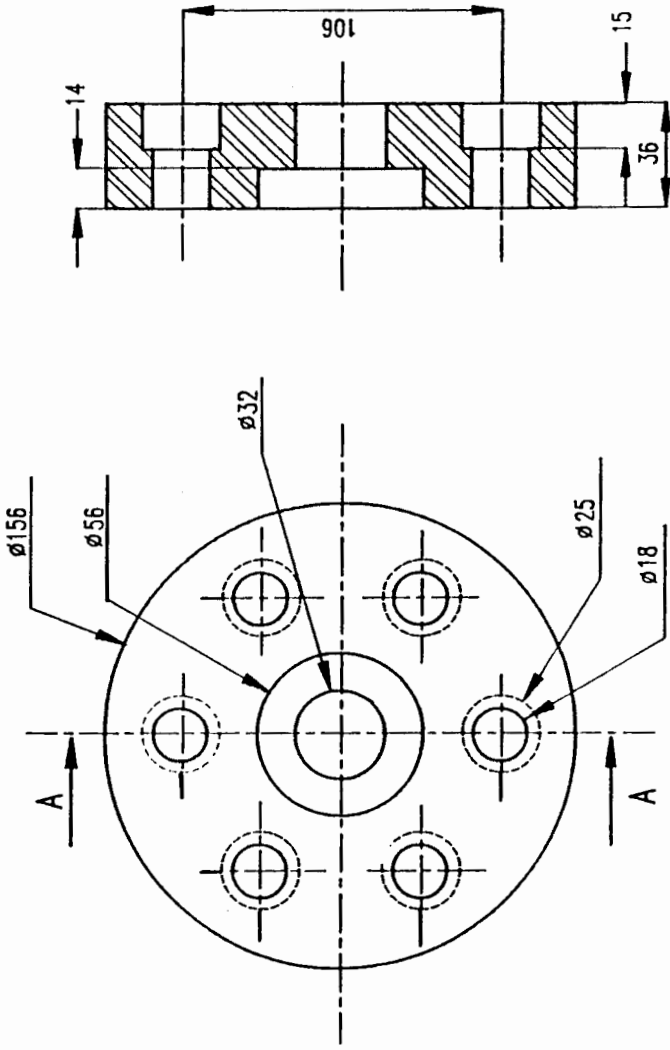


Material: ACERO AISI H13		ESCALA 1:1	
Material: ACERO AISI H13		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
TOLERANCIA	PESO	FECHA	NOMBRE
		DIB. 20-10-94	J. Barriga
		REV. 05-11-94	Ing J Pacheco
		APRO.	
ESPOL		CONTENEDOR	
ESPOL		PLANO No:1	
EDI. MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	

Sección A-A

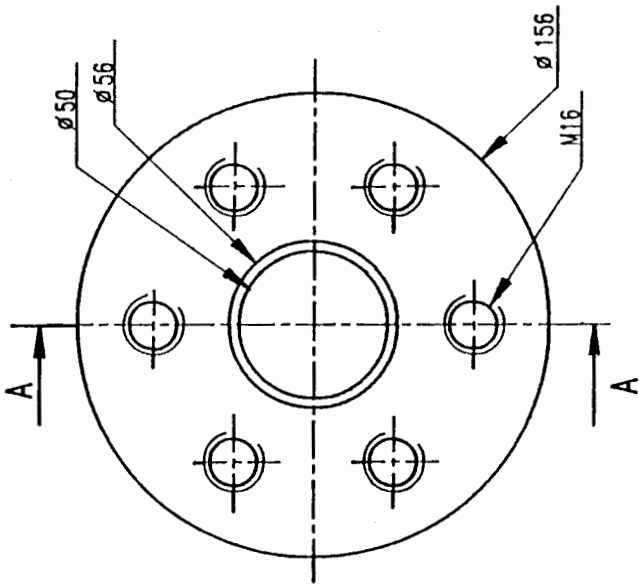
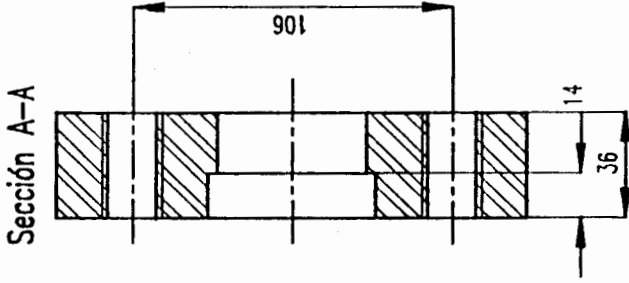


TOLERANCIA		PISO		Material: ACERO AISI H13	
FECHA	NOMBRE	DIB.		ESCALA	
20-10-94	J. Barriga	REV. 05-11-94 Ing. J. Pacheco		1:1	
APRO.		ESPOL		MATRIZ	
MODIFICACION		FECHA		PLANO No: 3	
NOMBRE		NOMBRE		NOMBRE	



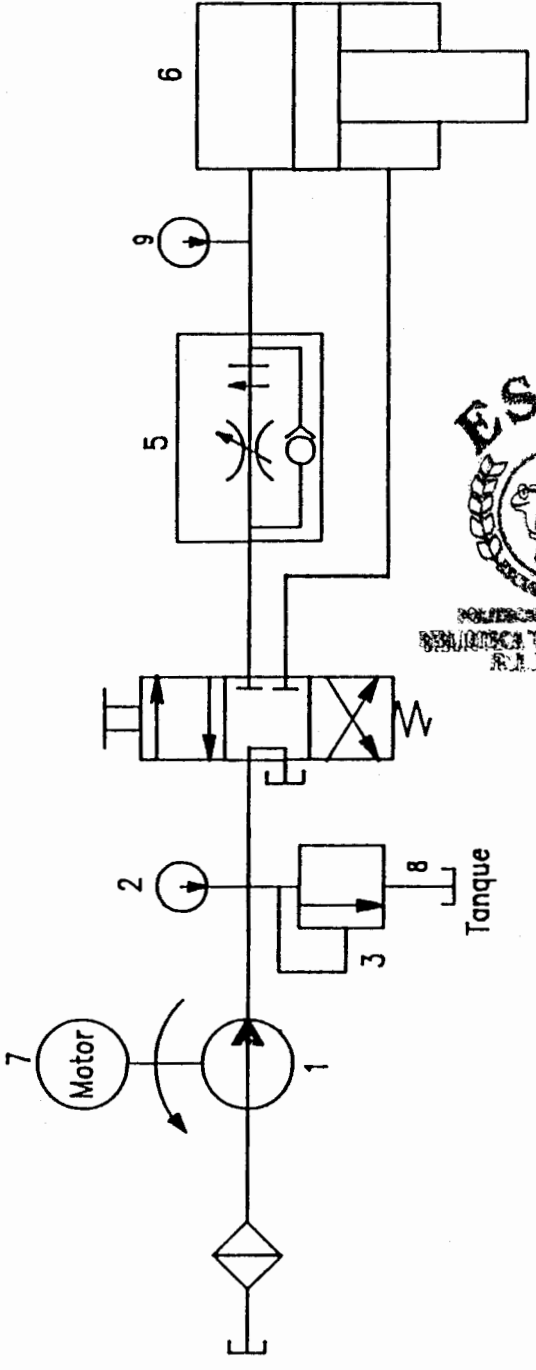
Todas las superficies

MATERIAL: ACERO AISI H13		ESCALA 1:2	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		PORTAMATRIZ	
PLANO No: 5			
TOLERANCIA	PTSO	FECHA	NOMBRE
		DIB. 20-10-94	J. Barriga
		REV. 05-11-94	Ing. J. Pacheco
		APRO.	
<h1>ESPOL</h1>			
EDI.	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE



∇ N7 Todas las superficies

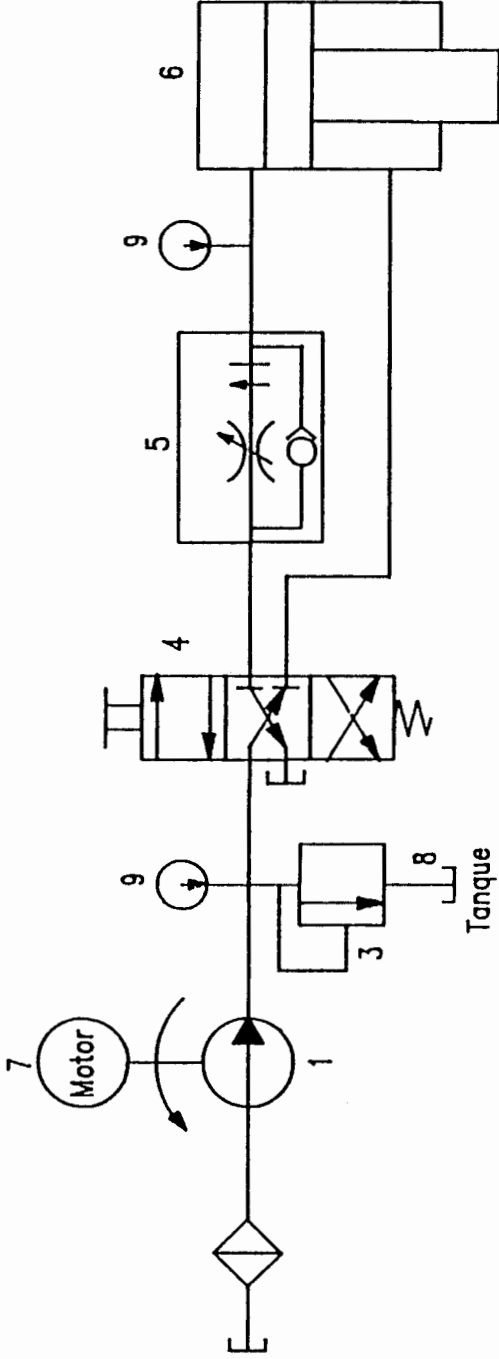
		Material: ACERO AISI H13		ESCALA 1:2	
TOLERANCIA		PESO		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
		FECHA		ENVOLVENTE	
		NOMBRE		PLANO No: 6	
		DIB. 20-10-94 J. Barriga		ESPOL	
		REV. 05-11-94 Ing. J. Pacheco			
		APRO.			
EDL	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE		




INGENIERIA DEL TITULO
INGENIERIA GENZAGO ZEVALLOS
E.L.M.C.P.

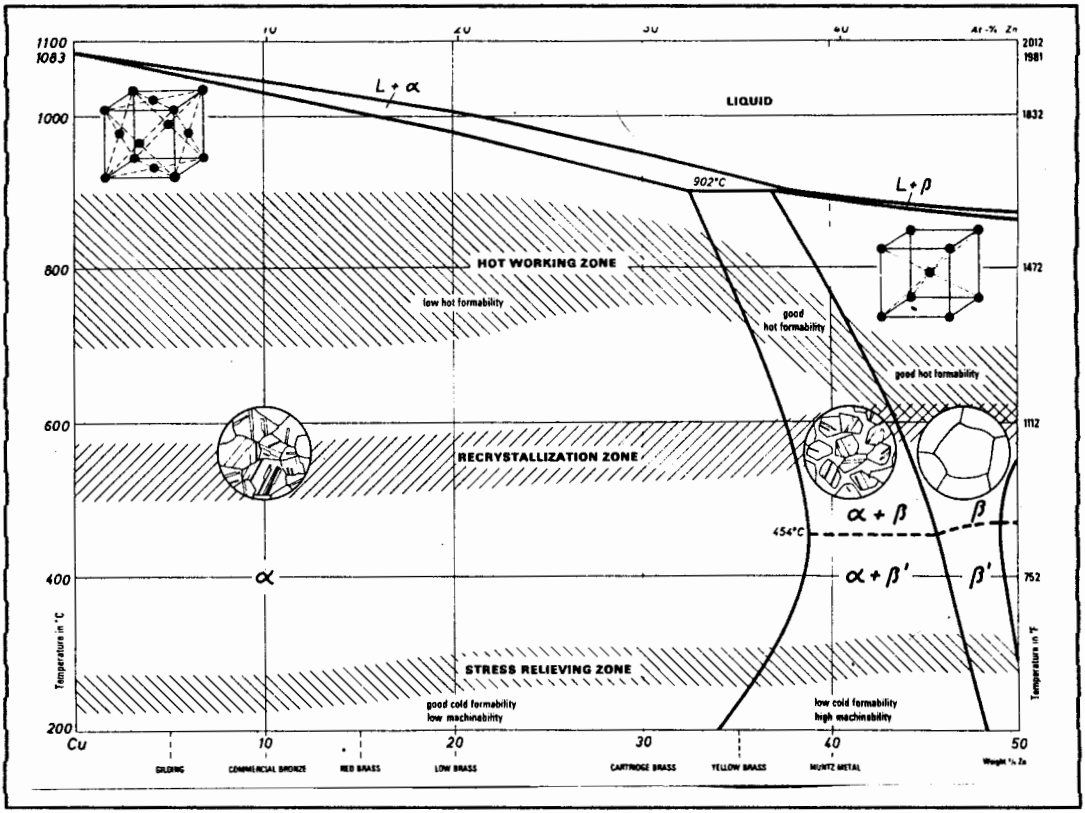
TOLERANCIA	PESO	ESCALA
FECHA: NOMBRE: DIB: 20-10-94 J. Barriga REV: 05-11-94 Ing. J. Pacheco APRO:		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
EDI. MODIFICACION FECHA NOMBRE		CIRCUITO HIDRAULICO Función en vacío PLANO No:7

ESPOL



TOLERANCIA	PESO	FACULTAD DE INGENIERIA		ESCALA
		MECANICA		
		FECHA	NOMBRE	CIRCUITO HIDRAULICO Carrera de retoces
		DIB.	J. Barriga	
		REV.	J. Pacheco	
		APRO.		PLANO No: 9
		ESPOL		
MOD.	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	

2: DIAGRAMA DE FASE Cu - ZESPOL



3: ACERO DE HERRAMIENTAS DEL CUERPO DE EXTRUSION

DENOMINACION: AISI H13

ALEACION: C: 0.39% Cr: 5.2% Mn: 0.4%
Mo: 1.3% V: 1% Si: 1.1%

CARACTERISTICAS: Acero para trabajar en caliente, fabricado por le proceso especial ISODISCO que le confiere gran homogeneidad, sin orientación de fibra y es prácticamente isótropo. De gran resistencia a la temperatura y al desgaste en caliente, de buena tenacidad y resistencia a las fisuras por recalentamiento. Refrigeración por agua.

APLICACIONES: Herramientas para trabajar en caliente sometidas a grandes exigencias, especialmente para la transformación de metales ligeros, como contenedores, liners, punzones y matrices para extrusión de barras, tubos y perfiles.

Matrices para la extrusión de perfiles de aluminio. Herramientas de extrusión por impacto en caliente. Herramientas para fundición a presión, matrices para la fabricación de tuercas, tornillos, remaches, etc. Cuchillas para corte en caliente, moldes para plásticos y elementos para matrices.

Por su estructura ISODISCO, este acero es especial para herramientas y piezas de formas complicadas.

TRATAMIENTO TERMICO:

Temple:	1020 - 1080 °C
Enfriamiento : Aceite, baño de sal, aire comprimido o aire quieto.	500 - 550 °C
Dureza Obtenible: al aceite	52 - 56 Rc
al aire	50 - 54 Rc
Revenido:	520 - 620 °C

