

2ej, 102



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO, FABRICACION Y  
EXPERIMENTACION DE UN  
PROCESO DE EXTRUSION**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**JAVIER SOTELO BADILLO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. ARMANDO ORTIZ PRADO**

**México, D. F.**

**1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E .

### I.- INTRODUCCION

### II.- ANTECEDENTES GENERALES.

#### II.1.1 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.

#### II.1.2 EXTRUSION DIRECTA

#### II.1.3 EXTRUSION INDIRECTA.

#### II.1.4 EXTRUSION POR IMPACTO.

#### II.1.5 EXTRUSION EN FRIO.

### II.2 PARAMETROS DE OPERACION.

#### II.2.1 TEMPERATURA DE EXTRUSION

#### II.2.2 COEFICIENTE DE REDUCCION.

#### II.2.3 VELOCIDAD DE EXTRUSION.

#### II.2.4 FRICCION.

#### II.2.5 PRESION DE EXTRUSION.

### II.3 DESCRIPCION DE LAS LINEAS DE TRAYECTORIA.

### II.4 DEFECTOS EN EL MATERIAL EXTRUIDO

#### II.4.1 METALES QUE SON EXTRUIDOS CON ALGUNA IMPORTANCIA COMERCIAL.

### II.5 HERRAMENTAL DEL PROCESO DE EXTRUSION.

### II.6 PRENSAS PARA EXTRUSION.

### II.7 ANALISIS DEL PROCESO.

#### II.7.1 DEMOSTRACION DE LA FORMULA DE SIEBEL.

#### II.7.2 FORMULA GENERAL.

#### II.7.3 EFICIENCIA.

### II.8 EXPLICACION BASICA DE LA MAQUINA INSTRON MODELO 1331.

### III. DISEÑO Y FABRICACION.

#### III.1.1 DISEÑO DEL ARIETE.

#### III.1.2 DISEÑO DEL DISCO DE EMPUJE .

#### III.1.3 DISEÑO DEL CONTENEDOR.

#### III.1.4 DISEÑO DEL SUJETADOR Y LA CONTRAMATRIZ.

III.5 DISEÑO DEL DADO.

III.2 CRITERIOS PARA LA SELECCION DEL MATERIAL.

III.3 TRATAMIENTOS TERMICOS.

III.3.1 DIAGRAMA DEL TRATAMIENTO TERMICO APLICADO.

III.4 PLANOS DE FABRICACION.

III.4.1 PLANO DEL PISTON.

III.4.2 PLANO DEL CONTENEDOR.

III.4.3 PLANO DEL SUJETADOR.

III.4.4 PLANO JUEGO DE DADOS.

III.4.5 PLANO DEL DISCO DE EMPUJE.

IV.- EXPERIMENTACION.

IV.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.

IV.2 INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE REDUCCION.

IV,3 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE EXTRUSION.

IV.4 CALCULO DE LA EFICIENCIA.

V.- CONCLUSIONES.

VI.- BIBLIOGRAFIA.

## INTRODUCCION.

Sin lugar a duda la esencia del universo es el cambio, esa constante dinámica que todo lo transforma.

La ingeniería se encarga de la transformación de la naturaleza aplicando la técnica. Cuando la naturaleza cambia por sí solo, lo hace acorde a sus principios físicos. El cambio que realizan los ingenieros es dirigido, planeado, determinado en el tiempo y en el espacio, y obedece a las necesidades de la sociedad.

Una de las maneras de cambiar la forma de los metales es el proceso conocido como extrusión, éste es el tema de la tesis que a continuación presento.

Este trabajo surge por la necesidad de implementar en la materia de conformado de materiales la práctica sobre extrusión y así complementar el proceso enseñanza-aprendizaje. Se pretende conocer la influencia de varios parámetros importantes del proceso de extrusión y su interdependencia.

Básicamente el proceso de extrusión tiene tres características que han hecho que se desarrolle ampliamente en los últimos años; bajo costo, buen acabado superficial y versatilidad de formas.

Los alcances de éste trabajo son meramente didácticos, se pretende llenar el vacío que existe entre la teoría y la práctica y así cumplir con lo que se dice, "Lo que se ve no se juzga."

## II. ANTECEDENTES GENERALES.

Una de las mejores maneras de conocer la esencia de un objeto consiste en entender que es, y para que es. Por lo cual comenzaré por dar la clasificación de los procesos de manufactura y así, localizar el proceso de extrusión.

### II.1.2 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.

- A.- Procesos usados para cambiar la forma del material.
- B.- Procesos usados para labrar partes a dimensiones fijas.
  - B.1 Arranque mecánico de viruta.
  - B.2 Labrado eléctrico ó químico.
- C.- Procesos para obtener acabado en las superficies.
  - C.1 Arranque de metal.
  - C.2 Pulimento.
  - C.3 Recubrimiento.
- D.- Procesos usados para unir partes ó materiales.
- E.- Procesos usados para cambiar las propiedades mecánicas.

Acontinuación enlistaremos los procesos usados para cambiar la forma de material, son los siguientes:

- 1.- Vaciado.
- 2.- Forjado.
- 3.- Extrusión.
- 4.- Laminado.
- 5.- Estirado.
- 6.- Prensado.
- 7.- Perforado.
- 8.- Recalcado.
- 9.- Doblado.
- 10.- Corte.
- 11.- Rechazado.

## EXTRUSION .

El hombre es un viejo amigo de los metales, aprendió a diferenciarlos y a trabajarlos hace muchos años.

Sería muy difícil imaginar las características de una sociedad moderna, sin la existencia de los metales.

La humanidad tuvo la necesidad de crear procesos de manufactura productivos, económicos y de buena calidad.

A continuación se dará la definición formal del proceso y -- sus características.

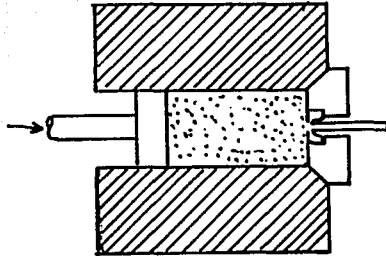
La extrusión ( del latín " extrudere " salir fuera ) es un -- proceso de conformado de metales, haciendolos fluir a presión a través de un orificio. Se define como la transformación que sufre un lingote ó bilette cilíndrico de sección transversal uniforme, el cual es obligado a fluir ( en frío ó en caliente ) a través de una matriz con la forma requerida.

La extrusión en base a la forma como se realiza el proceso - puede clasificarse en:

- DIRECTA
- INDIRECTA
- IMPACTO.

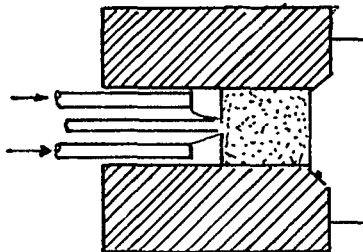
### II.1.2 EXTRUSION DIRECTA.

En éste caso se tiene que el metal extruído fluye en la misma dirección que la del movimiento del pistón.



### II.1.3 EXTRUSION INDIRECTA.

El metal fluye en dirección contraria a la del movimiento del pistón, la matriz ó dado se encuentra montado en el ariete hueco. Debido a que no existe movimiento relativo entre la pared del contenedor y el tocho, entonces las fuerzas de fricción son bajas y la fuerza requerida es menor que para la extrusión directa, por otro lado, la extrusión indirecta tiene limitaciones prácticas, siendo generalmente empleada para producir piezas pequeñas de metales no ferrosos.

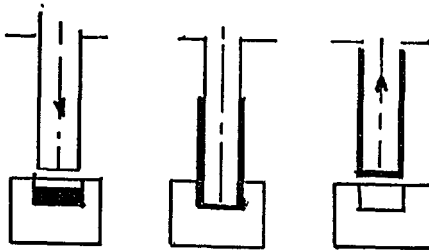




#### II.1.4 EXTRUSION POR IMPACTO.

En éste proceso la aplicación de la carga es muy rápida - empleándose éste para formar tramos cortos de secciones huecas, tales como los tubos para pastas de dientes.

En general el proceso se realiza en frío ya que un calentamiento considerable resulta de las altas velocidades de deformación. En éste tipo de extrusión está restringido a metales -- suaves tales como; zinc, estaño, plomo, aluminio y el cobre, - entre los más comunes.



#### FUERZA NECESARIA PARA LA EXTRUSION EN FRIO.

Según Sachs, el esfuerzo necesario en la extrusión en frío puede calcularse aproximadamente con la siguiente expresión:

$$f = S K \log \left( \frac{S}{s} \right)$$

Donde: S = Sección inicial de la pastilla  
s = La sección de la pieza extruida.  
K = Un coeficiente que es igual a dos veces la carga de ruptura a compresión del material.

En base a la temperatura a la cual se efectúa el proceso se puede clasificar como:

- Extrusión en caliente.
- Extrusión en frío.

#### II.1.5 EXTRUSION EN CALIENTE.

En general éste es el proceso empleado ya que el material no presenta endurecimiento por deformación, además los requerimientos en cuanto a la presión de extrusión son menores, el único problema es no poder tener un mejor control dimensional. Se llama en caliente porque se realiza a una temperatura comprendida entre la temperatura de recristalización y la temperatura de fusión.

#### II.1.6 EXTRUSION EN FRIO.

Este proceso se aplica en la formación de pequeñas partes de maquinaria tales como pernos, flechas, piezas asimétricas. La precisión dimensional que se puede lograr por este método además del endurecimiento por deformación son ventajas que se tienen en el proceso.

## II.2 PARAMETROS DE OPERACION.

### II.2.1 TEMPERATURA DE EXTRUSION.

La temperatura a la cual se realiza el proceso será determinante en cuanto a las cargas requeridas, así como también - en cuanto a las características superficiales del material obtenido y sus tolerancias dimensionales. Tenemos dos límites - de trabajo, a los cuales denominaremos como:

Límite superior.- Es la temperatura a la cual el material comienza a fundir.

Límite inferior.- Es el límite de temperatura al cual es factible tanto desde el punto de vista tecnológico como económico. Se deberá tomar en cuenta que a temperatura de recristalización se presenta el fenómeno de endurecimiento por deformación.

### II.2.2 COEFICIENTE DE REDUCCION.

Se define como:

$$R = \frac{A_0}{A_f}$$

Donde:

R= Coeficiente ó Cociente de reducción.

A<sub>0</sub> = Sección transversal del bilette.

A<sub>f</sub> = Sección transversal del perfil extruído.

En la práctica el cociente de extrusión oscila entre 10 y 60 siendo regla general el fijarlo mayor que 12, ésto se debe a que relaciones entre 4 y 10 producen estructuras orientadas - sin hacer desaparecer por completo la estructura de fundición. En el caso de extrusión en caliente de acero se han llegado a cocientes extremos de 40 y en el caso de aluminio de 400.

### II.2.3 VELOCIDAD DE EXTRUSION.

En general mayores velocidades de extrusión provocan un incremento en la presión de extrusión, el incrementar 10 veces la velocidad de extrusión provoca un incremento en la presión del 50%. La velocidad de extrusión está dada por la capacidad de la máquina y por la temperatura del proceso.

La correcta relación de una determinada temperatura y velocidad de extrusión se realiza mediante ensayo-error, para cada aleación y tamaño del bilette.

La velocidad del producto extruído esta dada por:

$$V_e = V_a \cdot R$$

Donde:

$V_e$  = Velocidad del producto extruído.

$V_a$  = Velocidad del ariete.

$R$  = Coeficiente de reducción.

### II.2.4 FRICCION.

La fricción será fundamentalmente función del tipo de extrusión, en el caso de la indirecta únicamente se tiene con el dado. Dependiendo del material a extruir se emplearan lubricantes de grafito ó vidrio fundido.

Los lubricantes grafiticos son adecuados para producir longitudes relativamente cortas a temperaturas hasta 1100'C, si la operación se realiza a velocidades elevadas.

Al aplicar lubricante se presenta un fuerte problema al elegir la temperatura y la velocidad de extrusión, ésto se debe a que existe una interacción muy compleja entre éstas variables. Para que la lubricación sea adecuada deberá formarse una capa continúa y de pequeño espesor.

## II.2.5 PRESION DE EXTRUSION.

Por presión de extrusión se entiende la presión requerida para hacer fluir el material através del dado, está directamente relacionada con el logaritmo del coeficiente de extrusión.

$$P_e = \sigma \ln R$$

Donde:

$P_e$  = Presión de extrusión.

$\sigma$  = Resistencia a la deformación (esta relacionada con la naturaleza del material).

$R$  = Coeficiente de extrusión ó de reducción.

La anterior expresión fue desarrollada por Siebel, pero en és te caso no se consideró la fricción del bilette con el contenedor, por lo cual modificándola queda:

$$F_e = \sigma A_o \ln R \text{ Exp } \left( \frac{2f \cdot l}{r_o} \right)$$

Donde:

$f$  = Coeficiente de rozamiento (función de la lubricación).

$l$  = Longitud del contenedor.

$r_o$  = Radio del bilette.

$R$  = Cociente de extrusión.

$A_o$  = Sección transversal del bilette.

$\sigma$  = Resistencia a la deformación no homogénea.

Se ha demostrado experimentalmente que  $f = 0$  cuando se emplea lubricante y  $f = .1$  para aleaciones ligeras.

Otros autores mencionan una fórmula simplificada para la fuerza de extrusión:

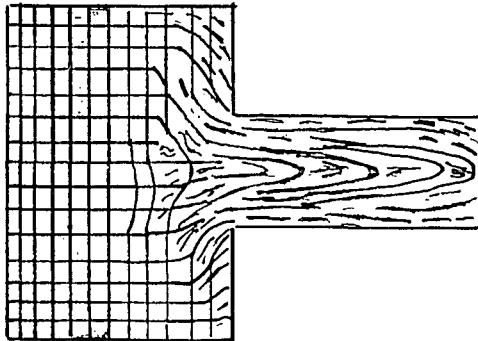
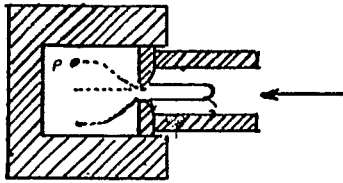
$$F_e = \sigma_m A_o ( .8 + 1.2 \ln R )$$

Donde:  $\sigma_m$  = Esfuerzo promedio del flujo.

### II.3 DESCRIPCION DE LAS LINEAS DE TRAYECTORIA.

En el proceso de extrusión mostrado en la gráfica de abajo la partícula de metal P se moverá a lo largo del camino curvo indicado, a medida que el ariete avanza, el tocho de diámetro D es reducido a una barra de diámetro d.

Otras partículas recorrerán otros caminos y alcanzarán la abertura del dado en distintos instantes de tiempo. Como consecuencia, partículas ubicadas en el tocho en una sección transversal aparecen en diferentes secciones transversales de la barra.



## II.4 DEFECTOS EN EL MATERIAL EXTRUIDO.

**HETEROGENEIDAD.-** En la extrusión directa el centro del tocho fluye más rápido que la periferia, durante el proceso una partícula de material se moverá a lo largo de un camino curvo, - en consecuencia partículas ubicadas en el tocho en una misma sección transversal aparecerán en diversas secciones en la barra.

**DISCONTINUIDAD.-** Generalmente la superficie del bilette se encuentra oxidada, lo cuál provoca que una vez que se ha extruido  $2/3$  partes del bilette la superficie de éste tienda a fluir por el centro de la barra provocando una discontinuidad interna.

**GRIETAS.-** Se presentan generalmente perpendiculares a la línea de extrusión, éste defecto se produce cuando el metal no está a la temperatura adecuada (temperatura del tocho excesiva).

### II.4.1 METALES QUE SON EXTRUIDOS CON ALGUNA IMPORTANCIA COMERCIAL.

Son los siguientes: Zinc, plomo, aluminio, magnesio, cobre latón, estaño, bronce, berilio, níquel, aceros al carbono é - inoxidables, zirconio, titanio, niobio, molibdeno y talio entre otros.

Como se puede observar los metales y aleaciones que son comúnmente conformados por extrusión son unos pocos comparados con los que en un momento dado se pueden formar por otro proceso.

## II.5 HERRAMENTAL DEL PROCESO DE EXTRUSION.

- a.- Cabezal fijo.
- b.- Contenedor.
- c.- Matriz ó dado.
  - c.1.- El porta matriz.
  - c.2.- La contramatriz.
  - c.3.- La boquilla, dado ó matriz propiamente dicho.
- d.- Embolo con arite.

### CABEZAL FIJO.

Es la parte donde se monta el porta matriz y matriz, su resistencia tiene que ser muy elevada ya que va a soportar las cargas generadas por el pistón.

### CONTENEDOR.

Su función es la de mantener la temperatura del billete, además de conducirlo y soportarlo, hasta que se le hace pasar -- a través de la matriz. La resistencia mecánica del contenedor deberá ser muy elevada, ya que soportará las cargas por el material comprimido por el ariete. Además como se requiere buena resistencia al desgaste, por lo cual se eligen aceros para trabajo en caliente.

Las dimensiones del contenedor estarán en función de las del tocho que se pretende extruir y de la capacidad de la máquina. El diámetro (D) mínimo que puede tener el contenedor está dado por la siguiente expresión.

$$D \geq 3.5 P$$

D está en milímetros.

P está en toneladas.



Otra manera de calcular éste diámetro, está dado por la siguiente relación:

$$p = \frac{F}{A}$$

Dado que el área transversal es circular tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{F_e}{P_e}}$$

Donde;  $F_e$ .- La carga que entrega la máquina.

$P_e$ .- La presión de extrusión (Tablas).

#### MATRIZ.

La matriz consta de 3 partes, que son:

- 1.- El porta matriz.
- 2.- La contramatriz.
- 3.- La boquilla ó dado propiamente dicha.

Esta división tiene el fin de poder reemplazar las piezas fácilmente al sufrir daño ó desgaste. De hecho la pieza más crítica será el dado, por lo cual se requiere emplear aceros de alta resistencia para su fabricación.

Un acero que se recomienda para este fin es el H12, lo mismo para el portamatriz. La contramatriz se puede fabricar de un acero de menor calidad, por ejemplo un 4140.

La matriz ó dado puede ser de dos tipos:

- 1.- PLANA.

En este el semiángulo de entrada es igual a 90°; en este caso el metal al entrar al dado forma una zona muerta dando lugar a su propio ángulo de entrada.

- 2.- CONICOS.

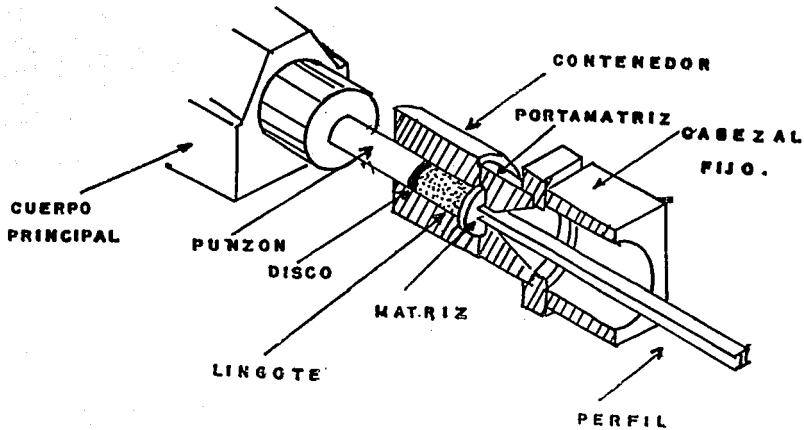
En general en este tipo de dado se tiene una buena lubricación al reducir el semiángulo de entrada, lográndose una mayor homogeneidad en la deformación, además de reducir las presiones de extrusión.

Existe un límite en el ángulo de entrada para el cual se incrementa la fricción en la superficie del dado, es por esto que para la mayoría de las operaciones de extrusión el semiángulo de entrada oscila entre los  $45^\circ$  y  $60^\circ$ .

#### EMBOLO CON ARIETE.

Estos serán los que proveen las cargas necesarias para hacer fluir el metal a través del dado. El ariete deberá ser de diámetro un poco menor que el contenedor para evitar fricción entre éstos, igualmente se deberá fabricar de acero para trabajo en caliente.

A continuación se muestra un dibujo con el instrumental de extrusión.



## II.6 PRENSAS PARA EXTRUSION.

La primera prensa de extrusión hidráulica fue fabricada en Inglaterra por S. BRAMAH en 1797, con la finalidad de extruir tubos de plomo, desde entonces se ha ido aumentando la capacidad y se han modificado las características constructivas de las prensas.

Las prensas hidráulicas de extrusión son clasificadas en horizontales y verticales, dependiendo del movimiento del ariete. Las prensas verticales son generalmente construídas en capacidades que van de 300 a 2000 toneladas. Sus ventajas son:

- 1.- Fácil alineamiento entre el ariete y el dado.
- 2.- Mayores velocidades de trabajo.
- 3.- Requiere menos espacio.

### DESVENTAJAS.

Unicamente se pueden aplicar para producir pequeñas longitudes del producto. Su capacidad oscila entre 1500 y 5000 Tns.

## II.7 ANALISIS DEL PROCESO.

Variables principales que influyen en el proceso de extrusión en cuanto a la fuerza requerida.

- a.- Tipo de extrusión ( Directa ó indirecta ).
- b.- Temperatura de trabajo.
- c.- Cociente de extrusión.
- d.- Velocidad de extrusión.
- e.- Fricción entre la matriz y el contenedor.

## TIPO DE EXTRUSION.

Las curvas típicas para extrusión directa e indirecta se presentan en las figuras de abajo. Se trata de gráficas de presión de extrusión contra desplazamiento del pistón.

La presión de extrusión se define como:

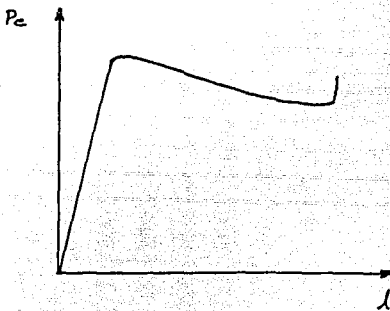
$$P_e = \frac{F_e}{A_o}$$

Donde;

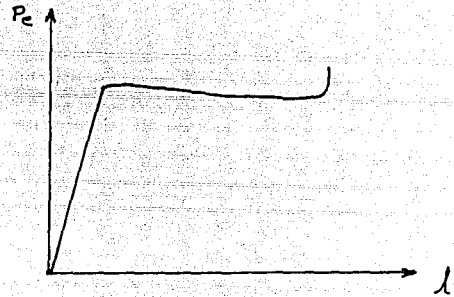
$P_e$  = Presión de extrusión.

$F_e$  = Fuerza de extrusión.

$A_o$  = Sección transversal del tocho ó bilette.



E. DIRECTA



E. INDIRECTA.

Al observar la gráfica para extrusión directa se tiene que la carga aumenta hasta un valor máximo para el cual el material comienza a fluir, además se nota que la presión de extrusión decrece progresivamente, lo cual es debido a la reducción en la longitud del bilette y por lo tanto la fuerza de fricción.

En el caso de extrusión indirecta se observa que la presión de extrusión es relativamente constante, esto se debe a que no existe movimiento relativo entre el tocho y la pared del contenedor.

Se nota en ambas curvas que al final de la carrera del pistón se incrementa la presión de extrusión, ésto se debe a que se intenta extruir un delgado disco, residuo del tocho que queda en el contenedor. Este incremento es fácil de explicar si lo vemos desde las componentes de la fuerza aplicada.

Cuando comienza el proceso de extrusión ( figura A) la componente  $F_x$  es significativa, pero cuando está por terminar (figura B) la componente  $F_x$  es pequeña, de allí que necesitemos más presión para sostener el proceso. Es decir, la fuerza y la velocidad del material tienden a ser perpendiculares.

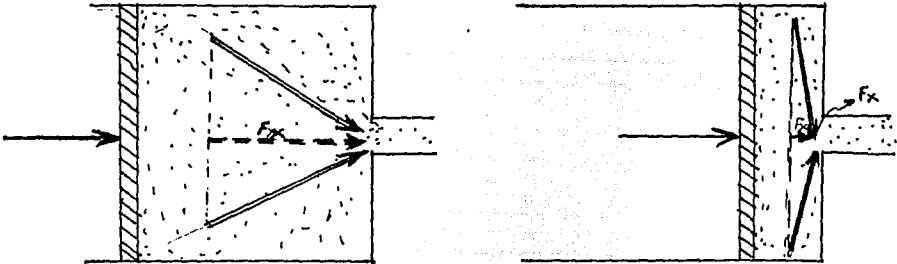


FIGURA A

FIGURA B

### II.7.1 DEMOSTRACION DE LA FORMULA DE SIEBEL.

Utilizaremos el concepto de energía uniforme de deformación y el trabajo de deformación plástica por unidad de volumen.

Para extrusión directa se puede expresar como :

$$U_p = \bar{\sigma}_m \int d\epsilon = \bar{\sigma}_m \int_{A_0}^{A_f} \frac{dA}{A} = \bar{\sigma}_m \ln \frac{A_f}{A_0}$$

$$\text{como } \ln \frac{A_f}{A_0} = - \ln \frac{A_0}{A_f} = - \ln R \quad \therefore U_p = -\bar{\sigma}_m \ln R$$

El trabajo será por lo tanto:

$$W = U_p v$$

$$W = v \bar{\sigma}_m \ln R$$

Por otra parte, el trabajo que realiza el pistón será:

$$W = P_c A_0 l$$

Si suponemos que el trabajo realizado por el pistón es absorbido por el bilette, es decir, no hay pérdidas nos queda la siguiente expresión:

$$P_c A_0 l = v \bar{\sigma}_m \ln R$$

$$P_c = \frac{v}{A_0 l} \bar{\sigma}_m \ln R$$

Haciendo operaciones algebraicas, obtenemos la ecuación de Siebel para extrusión sin fricción.

$$P_c = \bar{\sigma}_m \ln R$$

La ecuación de Siebel nos dice que la carga sólo es función del esfuerzo de cedencia y del coeficiente de reducción.

## II.7.2 FORMULA MAS COMPLETA.

Es fácil suponer que la fuerza de extrusión es igual a la suma de las fuerzas sobre el dado, más la de fricción entre el contenedor y el bilette, más la desarrollada entre el contenedor y el ariete.

$$P_e = P_d + P_{fb} + P_{ff}$$

Donde:

$P_e$  = Fuerza de extrusión.

$P_{ff}$  = Fricción por área unitaria desarrollada entre el ariete y el contenedor, generalmente  $P_{ff} = 0$ .

$P_d$  = Fuerza de fricción sobre la boquilla.

Después de un desarrollo matemático que está fuera del alcance y los objetivos de ésta tesis, obtenemos:

$$P_e = \sqrt{\tau} ( .a + b \ln R ) + \frac{4\tau l}{D}$$

Donde:

$\tau$  .- Esfuerzo cortante de interfase entre el contenedor y el bilette.

l.- Longitud del bilette en el contenedor.

D.- Diámetro del contenedor.

R.- Coeficiente de extrusión.

$\sqrt{\tau}$  .- Esfuerzo de cedencia.

Datos experimentales:  $a = .8$  y  $b = 1.5$

## II.7.3 EFICIENCIA.

Un buen parámetro que nos permite conocer cuanta carga es aprovechada para la deformación y cuanta carga se pierde por fricción, es lo que se conoce como eficiencia.

$$N = \frac{\text{Carga teórica}}{\text{Carga real.}} = \frac{F_t}{F_r}$$

## II.8 EXPLICACION BASICA DE LA MAQUINA DINAMICA INSTRON MODELO 1331.

Como el herramental que diseñé va a estar montado sobre la máquina dinámica Instron 1331, consideré conveniente dar una explicación somera sobre su funcionamiento.

### PARTES DEL SISTEMA.

#### SERVOVALVULA.

Regula el flujo del fluido entre la fuente de presión hidráulica y el actuador. La válvula abre ó cierra cualquiera de sus dos compuertas dependiendo de la polaridad de la señal eléctrica de entrada. Cuando el sistema está en condiciones estáticas; es decir, la señal eléctrica es cero, la válvula permanece cerrada (el fluido no entra ni sale del actuador).

La válvula se abre proporcionalmente a la magnitud de la señal de entrada, y permanece totalmente abierta cuando la señal se excede.

#### ACTUADOR HIDRAULICO.

Este elemento es el que tiene la máxima fuerza estática y está determinada por el área efectiva del pistón (área del cilindro menos la del vástago) y la presión que actúa.

Si queremos una fuerza de compresión, la fuerza debe considerarse negativa, si se quiere de tensión, la fuerza debe considerarse positiva.

#### ESPECIMEN.

Puede ser acero, aluminio, plástico ó cualquier otro material de interés. En nuestro caso éste espécimen es el herramental para extruir.

#### TRANSDUCTOR DE RETROALIMENTACION.

Es un transductor que sensa una cantidad que se quiere controlar, en éste caso la fuerza.



## EL CONDICIONADOR DE SIGNO.

Es una parte integrada del servocontrolador y está asociada con la señal de retroalimentación y la señal de mando. El --  
condicionador de signo administra la excitación (voltaje) al transductor de la celda de carga. La señal de salida de la -  
celda de carga (retroalimentación) se suma al condicionador de signo.

## COMANDO

Para mantener el sistema en un rango de operación.

## EL SERVOCONTROLADOR.

Acciona la servoválvula en función de la diferencia de la se  
ñal de mando y la señal de retroalimentación.

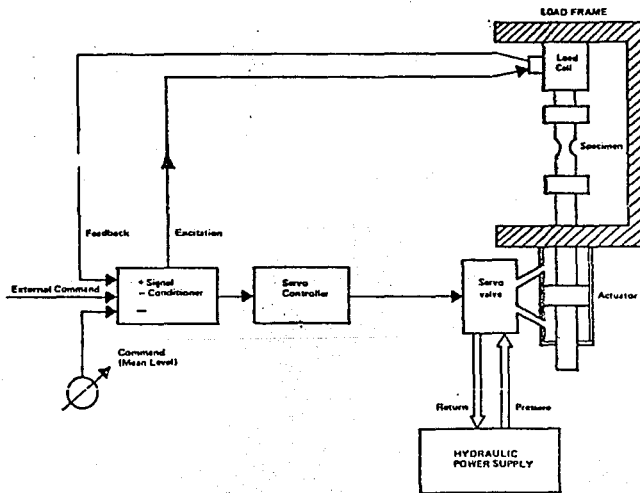


DIAGRAMA.

### III. DISEÑO Y FABRICACION DEL HERRAMENTAL DE EXTRUSION.

En todo trabajo de diseño en ingeniería compiten varios elementos importantes a considerar, como son los siguientes;

- 1.- Propiedades mecánicas.
- 2.- Costo.
- 3.- Disponibilidad.
- 4.- Factibilidad en la fabricación.
- 5.- Tiempo.

#### PROPIEDADES MECANICAS.

Son importantes las propiedades mecánicas de los materiales empleados, porque de éstas dependen que soporten las condiciones de trabajo; esfuerzo, temperatura, corrosión, desgaste, etc.

#### COSTO.

El factor costo en la actualidad ha tomado mucha mayor importancia que los anteriores factores, tan es cierto que cualquier diseño (por muy bueno que sea) debe ser económicamente realizable.

#### DISPONIBILIDAD.

El factor disponibilidad es importante dado que tenemos que ajustarnos (en la medida que sea posible) a lo que el mercado puede ofrecernos.

#### FACTIBILIDAD EN LA FABRICACION.

Es importante dejar claro el abismo existente entre la idea y su realización. El diseñador debe tomar en cuenta los elementos que se tienen para llevar a cabo la fabricación y debe apearse a las normas estandarizadas para evitar la creación de máquinas que requieran instrumentación que no existe en el mercado.

## TIEMPO.

La realización de la idea debe estar comprendida en un tiempo razonable. Con ésto quiero decir, ni tan corto que no se hayan pensado otras alternativas, ni tan largo que nuestro producto sea obsoleto una vez realizado.

## DIMENSIONAMIENTO DEL HERRAMENTAL.

La primer pregunta que se debe contestar es la siguiente, con la carga que entrega el equipo, ¿cuál es el diámetro máximo que podemos extruir?. Claro que la respuesta va a estar en -- función de lo que queramos extruir.

Dado que tenemos la restricción de la carga de 10 toneladas que entrega el equipo, calcularemos el diámetro máximo que podríamos extruir si el material fuera aluminio.

La presión de extrusión del aluminio se tiene que es de 50 kg/mm<sup>2</sup> a 80 kg/mm<sup>2</sup>, dependiendo de la temperatura a la que se extruya.

$$P_e = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

Despejando nuestra incógnita que es D y utilizando la máquina al 80% de su capacidad .

$$D = \sqrt{\frac{F \times 4}{P_e \times \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 8500}{80 \times \pi}} = 11.63 \text{ mm}$$

Este diámetro lo único que nos dice es que el herramental -- va a ser muy pequeño y esto traería una serie de complicaciones, por lo tanto decidimos extruir plomo y zinalco para extruir diámetros mayores. Acontinuación se calculará el diámetro que podemos extruir con plomo, el equipo se utilizará al 80% de su capacidad.

Datos del plomo;  $P_e = 5 \text{ kg/mm}$  ( tablas )

Sustituyendo.

$$D = \sqrt{\frac{8500 \times 4}{\pi \times 5}} = 16.52 \text{ mm}$$

### III.1.1 DISEÑO DEL ARIETE.

Para la selección de elementos estructurales y de máquinas se basa en tres características, resistencia, rigidez y estabilidad. Como ejemplo sencillo consideremos una barra de diámetro  $D$  sometida a una fuerza axial de compresión. Si la barra actuando como columna fuera de longitud  $D$  no surgiría ninguna cuestión acerca de la inestabilidad y este miembro corto podría soportar una fuerza considerable.

Por otro lado, si la misma barra tuviera una longitud de varios diámetros, al ser sometida a una fuerza axial podría presentarse el fenómeno de pandeo y podría fallar.

Es decir, la consideración de la sola resistencia del material no es suficiente para predecir el comportamiento de tal miembro.

Para encontrar la carga máxima que soportará nuestro ariete - podemos hacer las siguientes suposiciones;

- 1.- Existe empotramiento en un extremo.
- 2.- El material se comporta de una manera linealmente elástica
- 3.- El módulo de elasticidad y el momento de inercia se mantienen constantes.
- 4.- La columna esta cargada concéntricamente.

Utilizaremos la ecuación de Euler para cálculo de la carga crítica.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{4 L^2}$$

Donde:

$L$  = Longitud de la columna.

$E$  = Módulo de elasticidad.

$I$  = Momento de inercia del área transversal mínima.

En nuestro caso el área transversal es un círculo y el material es acero, por lo cual tenemos:

$$I = \frac{\pi R^4}{4} = 639.117 \text{ mm}^4$$

$$E = 2.1092 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Sabemos que el diámetro del ariete debe ser menor que el diámetro interno del contenedor ( 20 mm ). Suponemos como primer aproximación un valor de diámetro del ariete de 19 mm. Como queremos extruir tochos de 2 pulgadas, daremos como longitud del ariete 90 mm.

Datos;

$$E = 2.1092 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$$

$$L = 90 \text{ mm}$$

$$I = 6397.117 \text{ mm}^4$$

$$P_{maq} = 10000 \text{ kg.}$$

Sustituyendo en la ecuación de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (2.1092 \times 10^4) (6397.117)}{4 (90)^2} = 39333.82 \text{ Kg.}$$

Por lo tanto tenemos un coeficiente de seguridad de:

$$C.F. = \frac{P_{cr}}{P_{maq}} = \frac{39333.82}{10000.00} = 3.933$$

Esto nos lleva a la conclusión de que con éstas dimensiones el ariete no va a fallar por pandeo.

Como el ariete no va a estar en contacto con la superficie interna del contenedor, se recomienda en el maquinado un desbaste simple. Evitar las variaciones bruscas de área para no tener concentradores de esfuerzos.

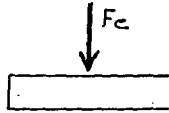
El ariete tiene que estar sujeto y el medio de sujeción será una cuerda externa con 14 hilos por pulgada, la longitud de la cuerda será de 22 mm (condiciones del equipo). El dibujo proporcionará toda la información suficiente para su fabricación.

### III.1.2 DISEÑO DEL DISCO DE EMPUJE.

El disco de empuje es el encargado de hacer fluir el material a través del dado ó matriz. Para su diseño se debe tomar en cuenta que debe evitar el reflujo del material, por lo cual se recomienda tolerancias muy estrechas. En este caso no hay duda sobre si va a fallar por pandeo, dada su relación de diámetro a longitud.

El criterio que utilizaré a continuación, consiste en no sobrepasar el esfuerzo de cedencia del acero H-13.

DIAGRAMA.



$$P_e = \frac{F_c}{A_o}$$

Donde:

$F_c$  = Carga máxima del equipo.

$A_o$  = Area transversal del dado =  $1256.63 \text{ mm}^2$

$\sqrt{\quad}$  = Esfuerzo de cedencia del H-13 =  $60 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

SUSTITUYENDO

$$P_e = \frac{10,000 \text{ kg}}{1,256.63 \text{ mm}^2} = 7.9577 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculando el coeficiente de seguridad:

$$C.F. = \frac{\sqrt{\quad}}{P_e} = \frac{60}{7.9577} = 7.5398$$

Lo anterior nos lleva a que el disco de empuje no va a fallar.

### III.1.5 DISEÑO DEL JUEGO DE DADOS.

El elemento que estará sometido a las condiciones más críticas de trabajo es el dado. Va ha estar sometido a presión, - temperatura y desgaste. Para encontrar el espesor del dado - que soporte el cortante al que va ha estar sometido, utilizare mos la siguiente expresión:

$$T = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D x h}$$

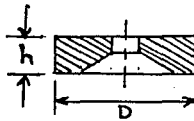
Donde:

T = Cortante que soporta el H-13 =  $60 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$

F = Carga que entrega el equipo. =  $10,000 \text{ kg}$

A = Area efectiva que soporta el cortante.

DIAGRAMA



Despejando el espesor h.

$$h = \frac{F}{T \times \pi \times D} = \frac{10,000}{[60][\pi][19]} = 2.792 \text{ mm}$$

Este es el espesor mínimo que tiene que tener nuestro dado, - por lo cual daremos un espesor por arriba de éste.

### III.1.4 DISEÑO DEL SUJETADOR Y LA CONTRAMATRIZ.

Como el sujetador y la contramatriz realmente no estan sometidos a condiciones críticas de trabajo, sino que realizan - una labor de acoplamiento, su diseño consistió en dar un di- mensionamiento usando el sentido común.

### III.2 CRITERIOS PARA LA SELECCION DEL MATERIAL.

Para la selección del material podemos partir de las condiciones de trabajo a las que va a estar sometido el material.

En nuestro caso estas condiciones son las siguientes:

- 1.- Alta temperatura ( . 450°).
- 2.- Elevadas presiones.
- 3.- Resistencia al desgaste.
- 4.- Resistencia a la corrosión.

Estas condiciones nos hacen pensar inmediatamente en un acero especial, que contenga ciertos elementos aleantes que le den las propiedades deseadas.

Tipos de aleantes ideales que debe tener nuestro material:

#### CROMO.

- 1.- Aumenta la resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- 2.- Aumenta la templabilidad.
- 3.- Añade resistencia a altas temperaturas.

#### MOLIBDENO.

- 1.- Profundiza el endurecimiento.
- 2.- Aumenta la resistencia a altas temperaturas y da dureza - al rojo.
- 3.- Forma partículas resistentes a la abrasión.
- 4.- Disminuye la fragilidad.

#### VANADIO.

- 1.- Aumenta la templabilidad.
- 2.- Resiste el revenido y produce un marcado endurecimiento.

#### TUGSTENO

- 1.- Forma partículas duras y resistentes a la abrasión.
- 2.- Promueve la dureza y la resistencia a altas temperaturas.



Ahora en términos globales los aleantes tienen los siguientes propósitos:

- 1.- Aumentar la templabilidad.
- 2.- Mejorar la resistencia a temperatura ambiente.
- 3.- Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
- 4.- Mejorar la tenacidad.
- 5.- Aumentar la resistencia al desgaste.
- 6.- Mejorar las propiedades magnéticas.
- 7.- Mejorar la resistencia a la corrosión.

Lo anterior nos lleva a pensar en un acero para herramientas y dadas las condiciones de trabajo es fácil concluir que los aceros de la serie H son los que tienen en su composición los anteriores aleantes.

Para seleccionar que acero de la serie H es el más adecuado, - recurrimos al Metal Handbook, este libro nos recomienda el acero H-13, cuya composición es la siguiente: .35C, 1%W, 1.2V, 1.5Mo.

Una vez escogido el material hay que ver si lo podemos conseguir en el mercado nacional; encontramos una respuesta favorable.

Casas comerciales que fabrican acero H-13.

- 1.- Solar.
- 2.- Anglo.
- 3.- Campo.

### III.3 TRATAMIENTOS TERMICOS.

Dado que nuestros dispositivos van a estar sometidos a condiciones de trabajo muy específicas, hay que modificar las propiedades del material que nos entrega el proveedor. Esto lo vamos a conseguir con un tratamiento térmico.

#### TRATAMIENTO TERMICO.

Es un proceso por medio del cual modificamos las propiedades de un material sometiéndolo a variaciones de temperatura. El tratamiento que necesitamos aplicar al disco de empuje y contenedor debe ser un proceso que endurezca al material, este proceso es el temple.

#### TEMPLE.

Tratamiento térmico de endurecimiento que consiste en llevar el material a temperatura arriba de la temperatura de austenización y enfriar súbitamente.

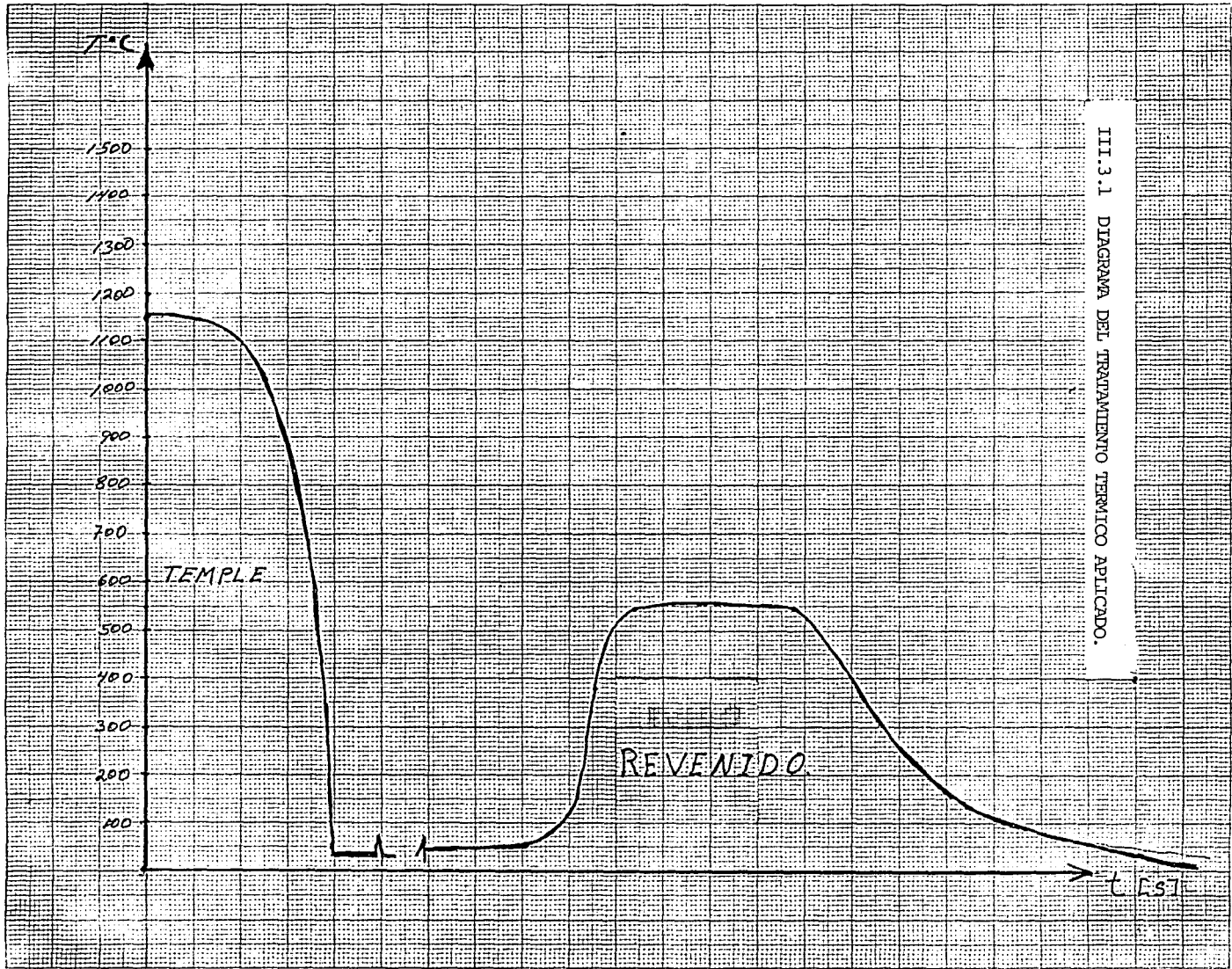
En nuestro caso el proveedor nos aconseja llevar el material a temperaturas de 995 °C a 1100 °C y usar un medio enfriante como el aceite.

Dado que el material templado queda con altos esfuerzos internos, hay que aplicar un proceso que disminuya esas tensiones internas, para lo cual aplicaremos un tratamiento térmico conocido como revenido.

#### REVENIDO.

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura adecuada y enfriar al aire.

III.3.1 DIAGRAMA DEL TRATAMIENTO TERMICO APLICADO.



### III.4 PLANOS DE FABRICACION

El hombre tuvo que inventar el lenguaje para poder comunicar sus ideas a los demás, éste ha sido uno de los avances más - extraordinarios en el progreso de la humanidad.

Un buen ejemplo de lo que pasa si no se conoce el mismo lenguaje es el pasaje bíblico de la torre de Babel.

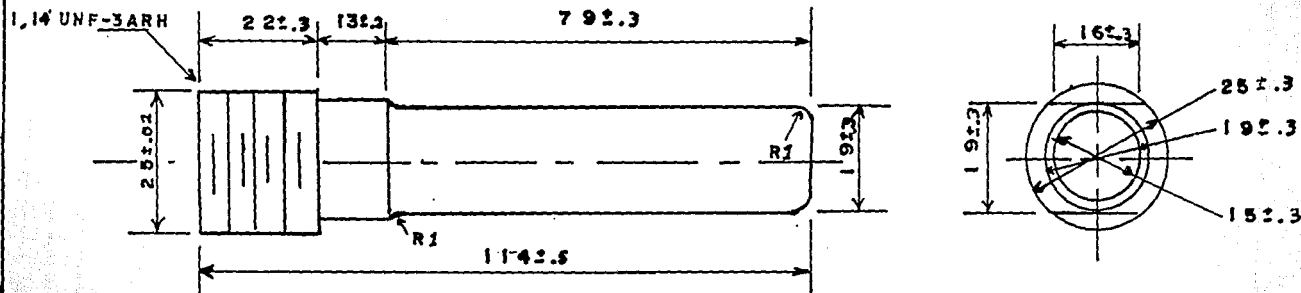
Los planos de fabricación son una buena muestra del lenguaje técnico, éste tiene la ventaja de estar normalizado, lo que permite poder ser interpretado en cualquier parte del mundo.

Los planos deben de contener la información necesaria y suficiente para poder fabricar un objeto deseado. Además permiten (por medio de sus vistas) darnos una idea de cómo serán físicamente los objetos. Los planos son el puente que une la idea y la realidad.

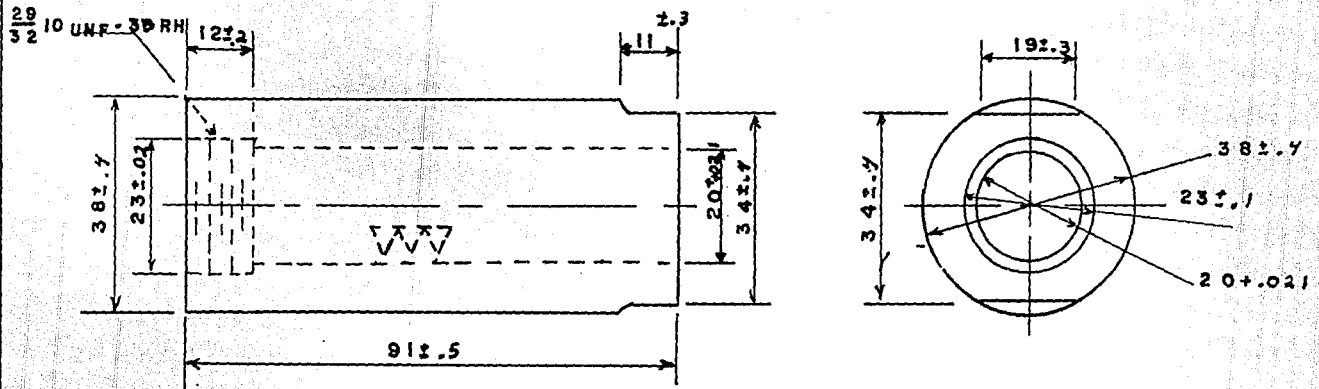
En los que a continuación se presentan se dan las características fundamentales para su fabricación, como son: material, forma, tolerancias, acabados, escala, tratamientos, etc.

Los planos que presentaré son los siguientes: Plano de la -- Contramatriz, Plano del Pistón, Plano del Contenedor, Plano del Sujetador, Plano de los dados, Plano del disco de empuje.

Todos ellos en su conjunto forman el instrumental necesario - para desarrollar un proceso de extrusión.

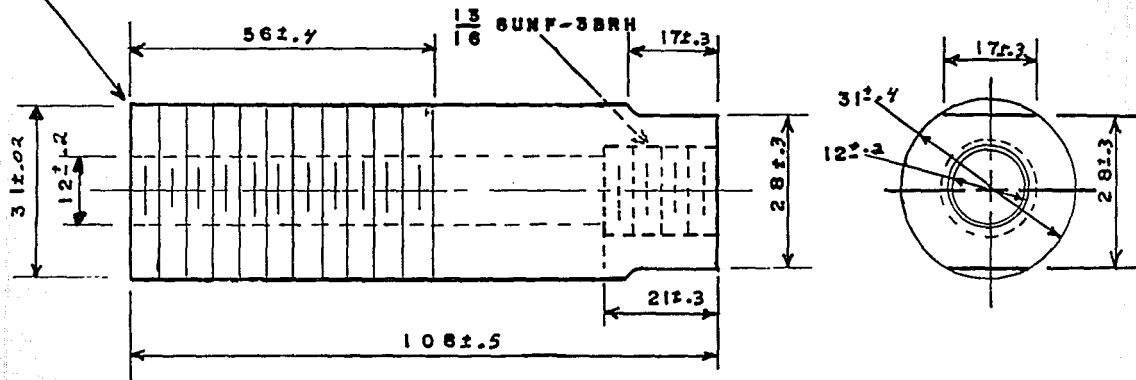


PROYECTO: HERRAMENTAL DE EXTRUSION .		NOMBRE DE LA PIEZA: ARIETE		ESCALA: 1=1	ACOTACION: mm
DISEÑO: JAVIER SOTELO BADILLO		DIBUJO: JAVIER SOTELO BADILLO		APROBO: ING. ARMANDO ORTIZ PRADO.	
PROCESO: MAQUINADO	MATERIAL: ACERO H=13	CANTIDAD: 1	NO.	TRAT. TERMICO: TEMPLE Y REV.	FECHA: 4-VI-88,

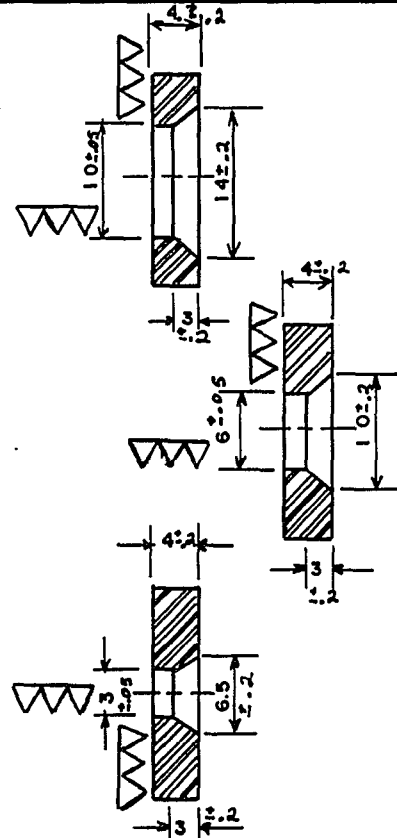
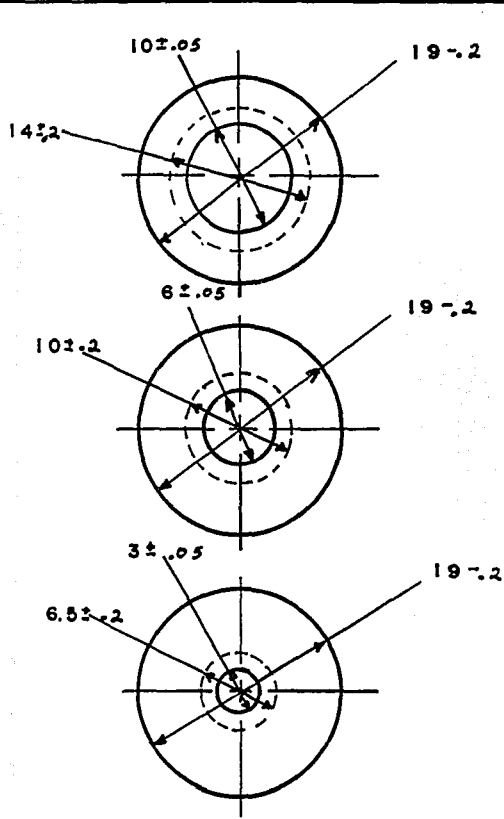


PROYECTO: HERRAMENTAL DE EXTRUSION.		NOMBRE DE LA PIEZA: CONTENEDOR.		ESCALA: 1:1	ACOTACION: mm
DISEÑO: JAVIER SOTELO BADILLO.		DIBUJO: JAVIER SOTELO BADILLO		APROBO: ING. ARMANDO ORTIZ P.	
PROCESO: MAQUINADO	MATERIAL: ACERO H-13	CANTIDAD: 1	NO.	TRAT. TERMICO: TEMPLE Y REVEN.	FECHA: 4-VI-88.

$\frac{1}{32}$  12 UNF-3ARH



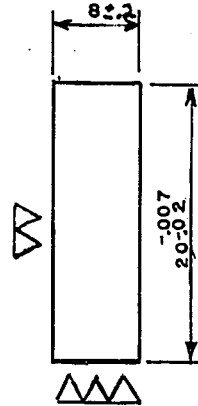
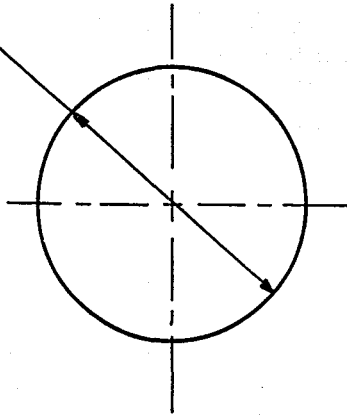
PROYECTO: HERRAMENTAL DE EXTRUSION		NOMBRE DE LA PIEZA: SUJETADOR .		ESCALA : 1:1	ACOTACION: mm
DISEÑO: JAVIER SOTELO BADILLO .		DIBUJO: JAVIER SOTELO BADILLO .		APROBO: ING. ARMANDO ORTIZ PRADO .	
PROCESO : MAQUINADO .	MATERIAL: ACERO H-13	CANTIDAD: 1	NO.	TRAT. TER.: TEMPLE Y REVENIDO	FECHA: 4-VI-88 .



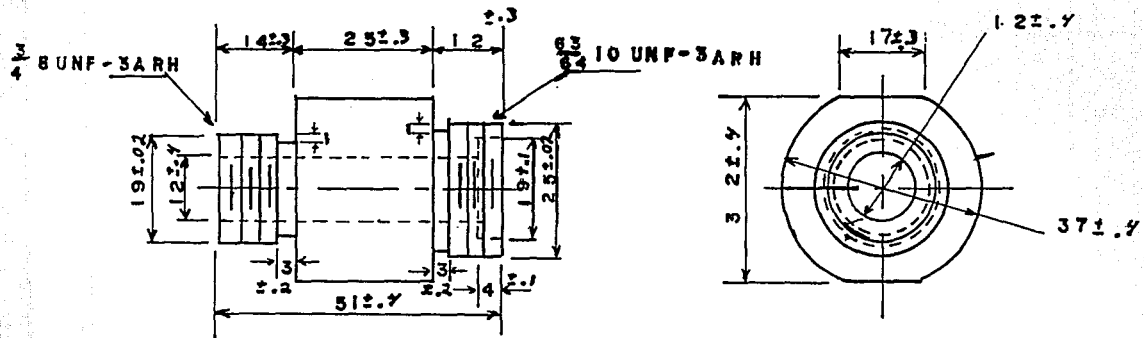
<b>PROYECTO:</b> HERRAMENTAL DE EXTRUSION.		<b>NOMBRE DE LA PIEZA:</b> JUEGO DE DADOS.		<b>ESCALA:</b> 1:2	<b>ACOTACION:</b> mm
<b>DISEÑO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO.		<b>DIBUJO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO.		<b>APROBO:</b> ING. ARMANDO ORTIZ PRADO.	
<b>PROCESO:</b> MAQUINADO	<b>MATERIAL:</b> ACEÑO H-13	<b>CANTIDAD:</b> 1	<b>NO:</b>	<b>TRAT. TERMICO:</b> TEMPLE Y REV.	<b>FECHA:</b> 4-VI-88.



-007  
20:02



<b>PROYECTO:</b> HERRAMENTAL DE EXTRUSION:		<b>NOMBRE DE LA PIEZA:</b> DISCO DE EMPUJE		<b>ESCALA:</b> 1:2	<b>ACOTACION:</b> mm
<b>DISEÑO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO		<b>DIBUJO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO		<b>APROBO:</b> ING. ARMANDO ORTIZ PRADO	
<b>PROCESO:</b> MAQUINADO	<b>MATERIAL:</b> ACERO H=13	<b>CANTIDAD:</b> 1	<b>NO.</b>	<b>TRAT. TERMICO:</b> TEMPLE Y REV.	<b>FECHA:</b> 4-VI-88



<b>PROYECTO:</b> HERRAMENTAL DE EXTRUSION		<b>NOMBRE DE LA PIEZA:</b> CONTRAMATRIZ		<b>ESCALA:</b> 1 = 1	<b>ACOTACION:</b> mm
<b>DISEÑO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO		<b>DIBUJO:</b> JAVIER SOTELO BADILLO		<b>APROBO:</b> ING. ARMANDO ORTIZ PRADO.	
<b>PROCESO:</b> MAQUINADO	<b>MATERIAL:</b> ACERO H-13	<b>CANTIDAD:</b> 1	<b>NO:</b>	<b>TRAT. TERMICO:</b> TEMPLE Y REV.	<b>FECHA:</b> 4-VI-88,

#### IV. EXPERIMENTACION.

Alguna vez Einstein comentó, " Si la teoría más elevada no está respaldada por la experimentación y no está de acuerdo con lo observable, esa teoría no vale, ni lo que vale el papel -- donde está escrita ".

La experimentación es quizá, el paso más importante del método científico, esto es cierto si pensamos en los trabajos de Galileo, Copérnico y Kepler. Estos defensores de lo que " Veían " nos señalaron el rumbo, un camino lleno de esperanza y de sinsabores.

El análisis matemático de la deformación plástica de los metales es muy compleja; y los modelos más sofisticados apenas -- predicen el comportamiento real. Conocer la influencia de todos los parámetros y su interdependencia es harto difícil; lo que sí podemos hacer es conocer la influencia de cada parámetro manteniendo a los demás constantes.

Esta parte de la tesis esta enfocada a determinar la influencia de la temperatura, la longitud y el coeficiente de reducción.

Los siguientes experimentos fueron realizados con plomo. El enfoque que se les dió es meramente demostrativo.

#### IV.1 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.

En estos dos experimentos mantendremos constantes longitud de extrusión, coeficiente de reducción, velocidad y variaremos la temperatura. Con el fin de conocer la influencia de la temperatura sobre la carga. Los resultados se muestran en las gráficas A.1 y A.2. De estas gráficas podemos notar que el simple hecho de aumentar la temperatura de extrusión nos disminuye la carga. Es importante mencionar que obtuvimos un mejor acabado superficial a la temperatura de 20 °C que a la de 100 °C.

#### IV.2 INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE REDUCCION.

En estos tres experimentos haremos modificaciones del coeficiente de reducción de 4, 11 y 44. Los resultados se muestran en las gráficas C.1, C.2 y C.3. Analizando estas gráficas notamos un considerable aumento de la carga de extrusión al aumentar el coeficiente de reducción. Este incremento se debe a que el plomo tiene que pasar por un orificio más pequeño.

#### IV.3 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE EXTRUSION.

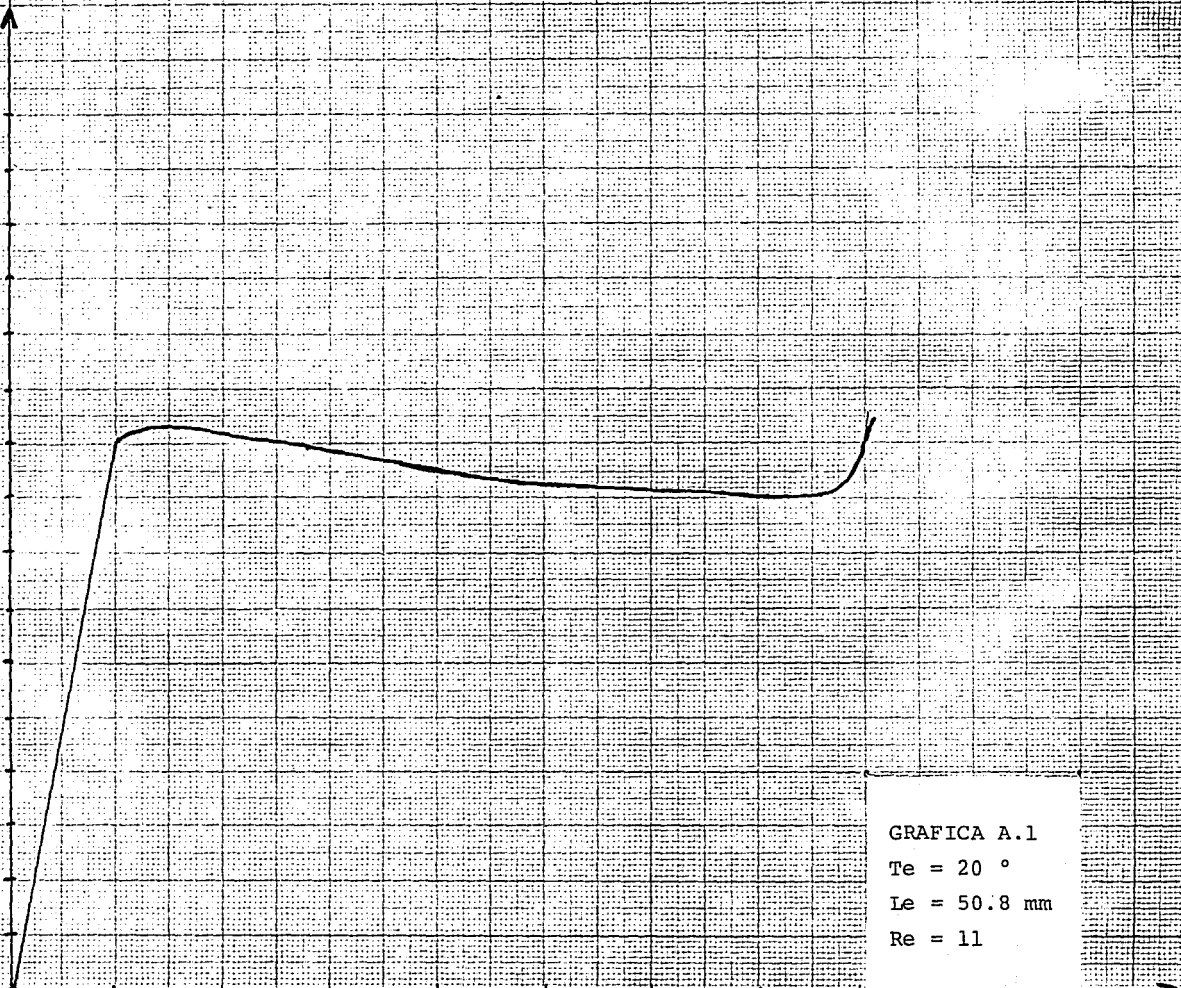
En estos tres experimentos haremos variaciones de longitud de 50.8 mm, 39.9 mm y 25.4 mm. Los resultados se muestran en las gráficas D.1, D.2 y D.3. Comparando D.1 y D.2 vemos que hay un decremento en la carga y esto se explica por la disminución del área de contacto entre el lingote y la pared interna del contenedor, por lo cual hay una disminución de la fricción. Comparando las gráficas D.2 y D.3, vemos que aun cuando hay una disminución en la longitud se presenta un incremento en la carga. Esto se explica porque la trayectoria del material que está siendo extruido tiende a ser perpendicular a la carga aplicada.

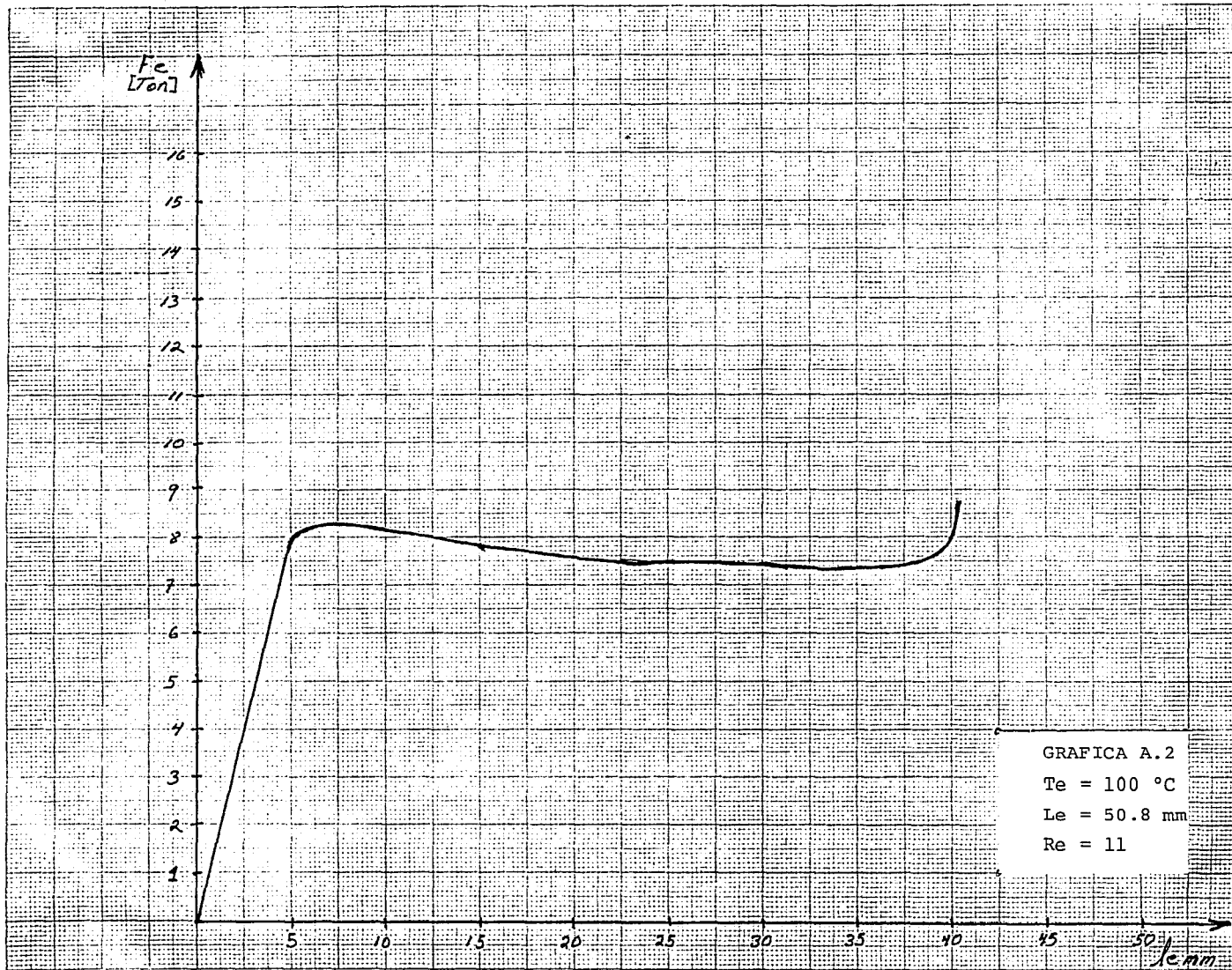
$F_e$   
ctn

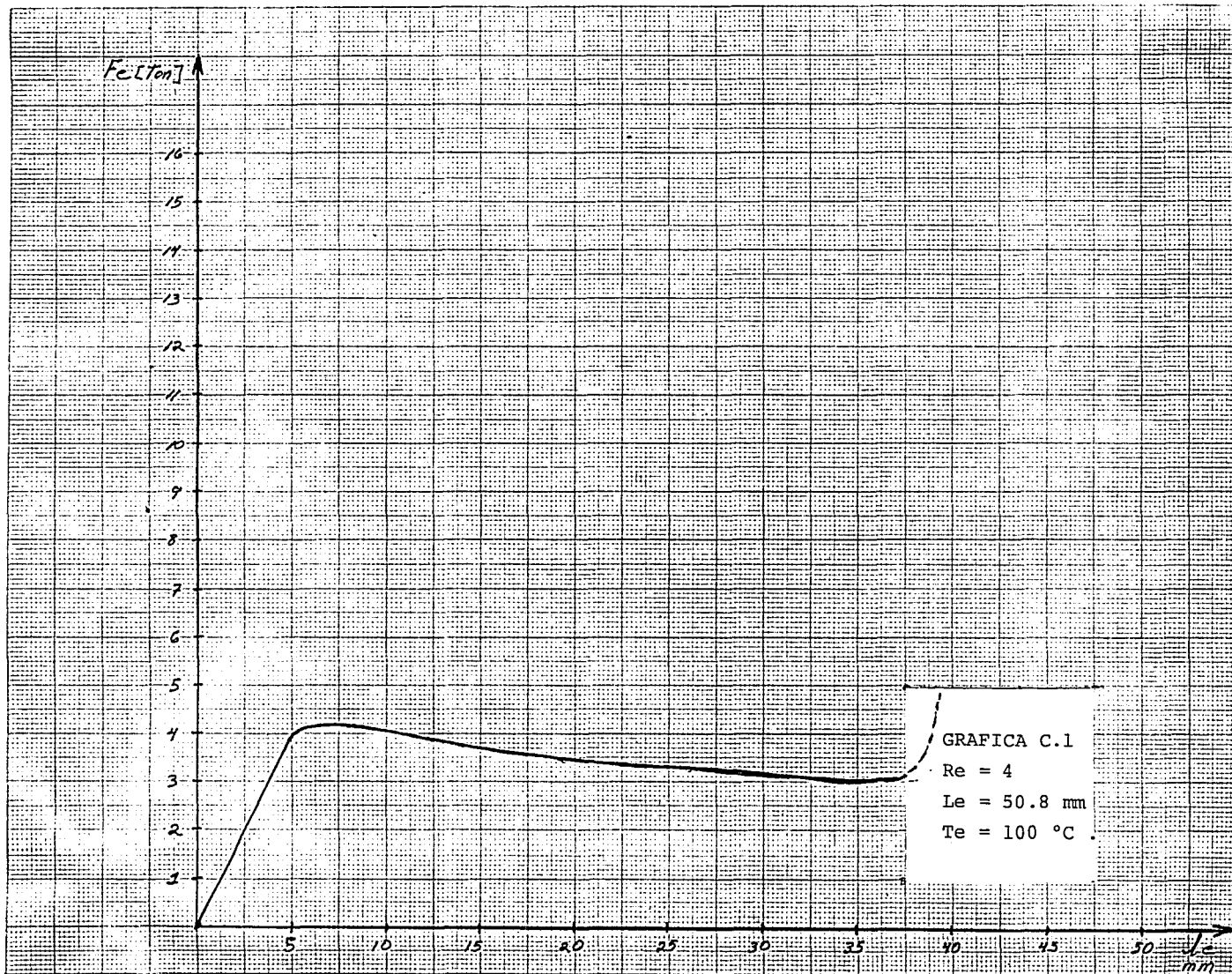
16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

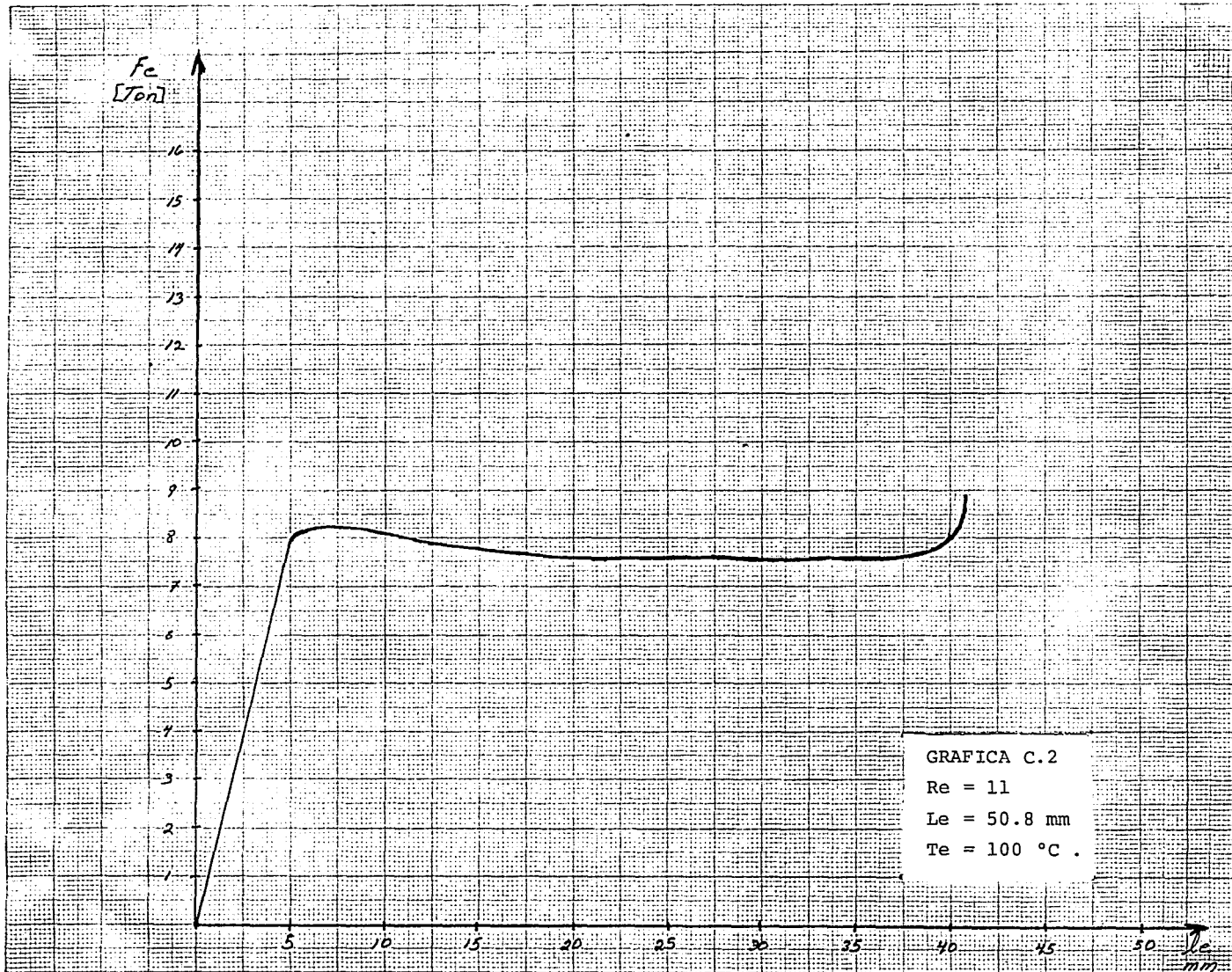
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50  $l_e$   
mm

GRAFICA A.1  
 $T_e = 20^\circ$   
 $l_e = 50.8 \text{ mm}$   
 $Re = 11$









GRAFICA C.2

Re = 11

Le = 50.8 mm

Te = 100 °C .

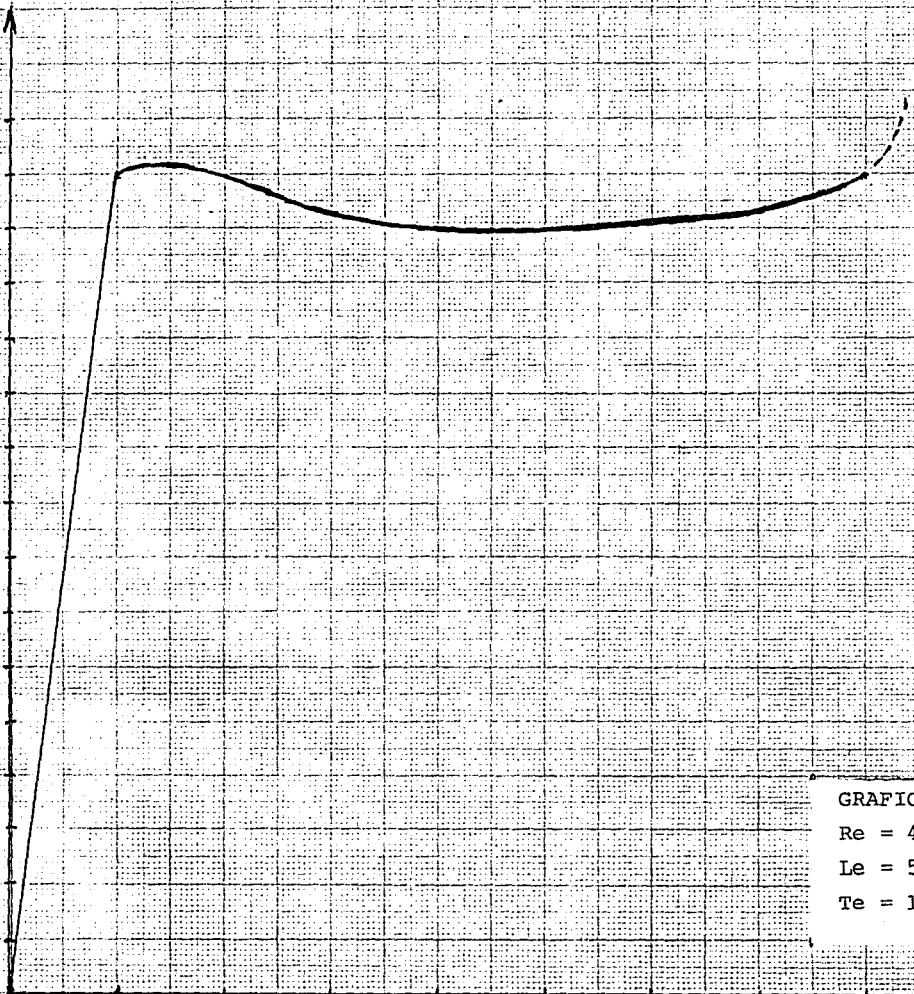


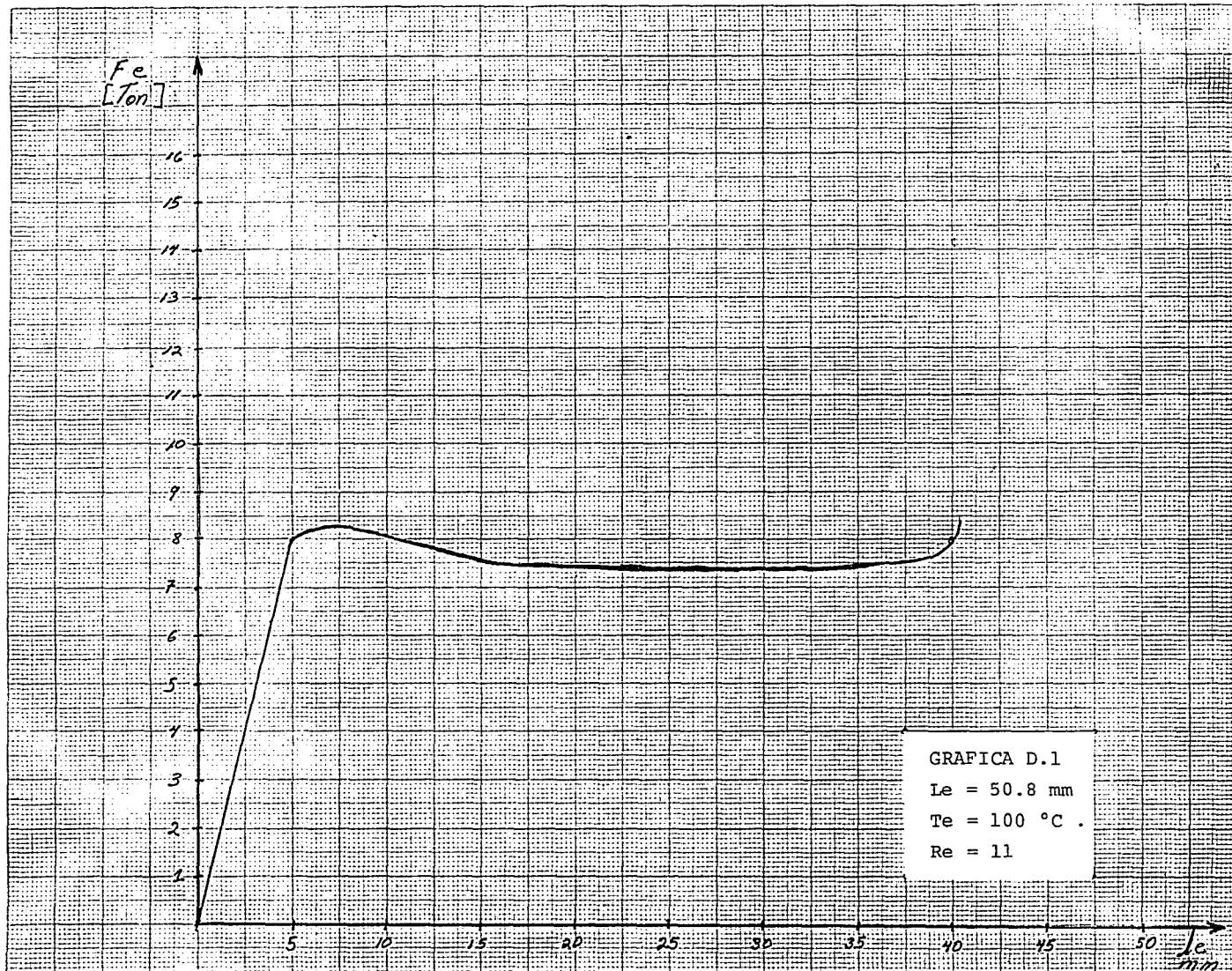
Fe  
[Ton]

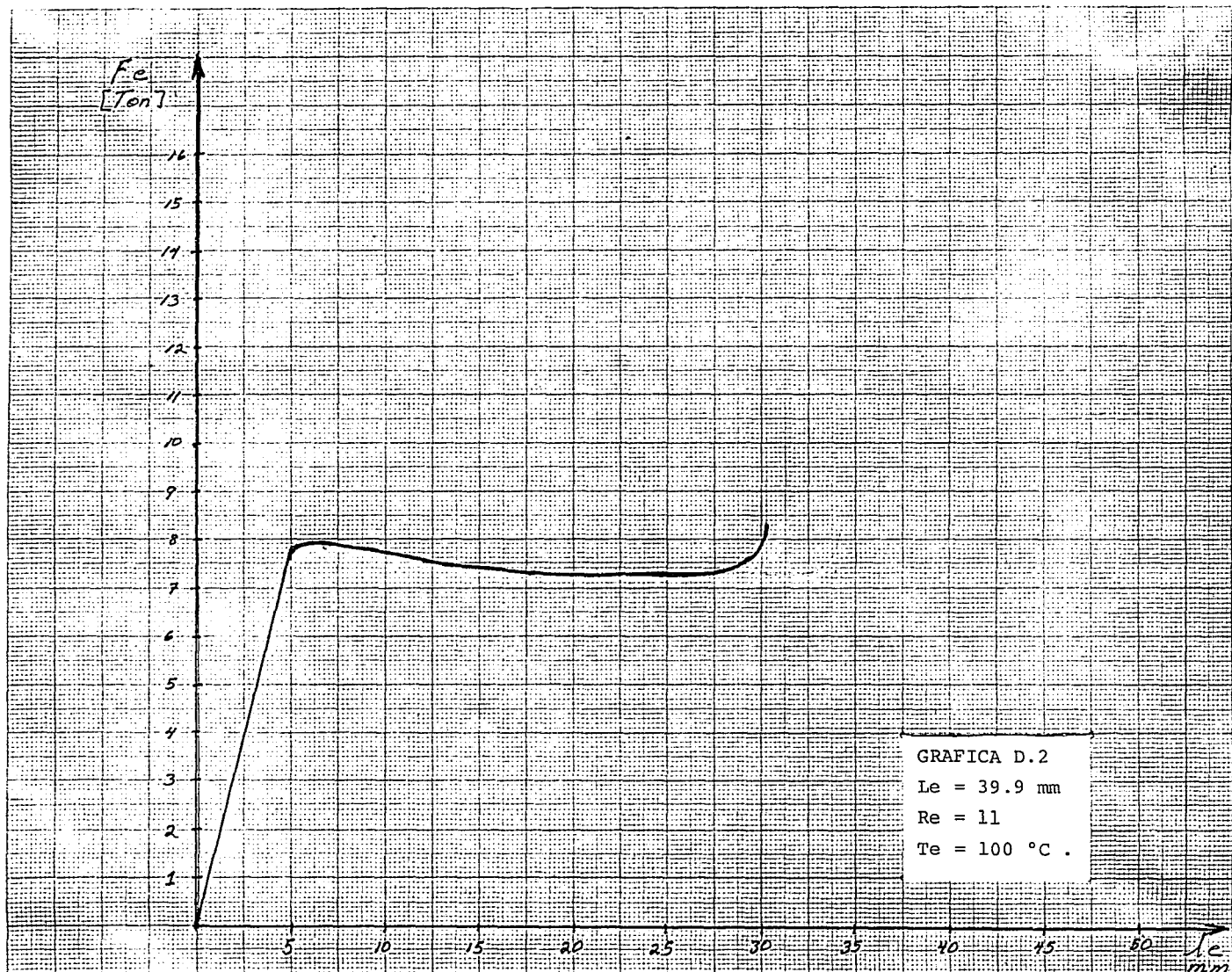
16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50  $l_e$   
mm

GRAFICA C.3  
Re = 44  
Le = 50.8 mm  
Te = 100 °C .







GRAFICA D.2  
Le = 39.9 mm  
Re = 11  
Te = 100 °C .

l\_e  
mm

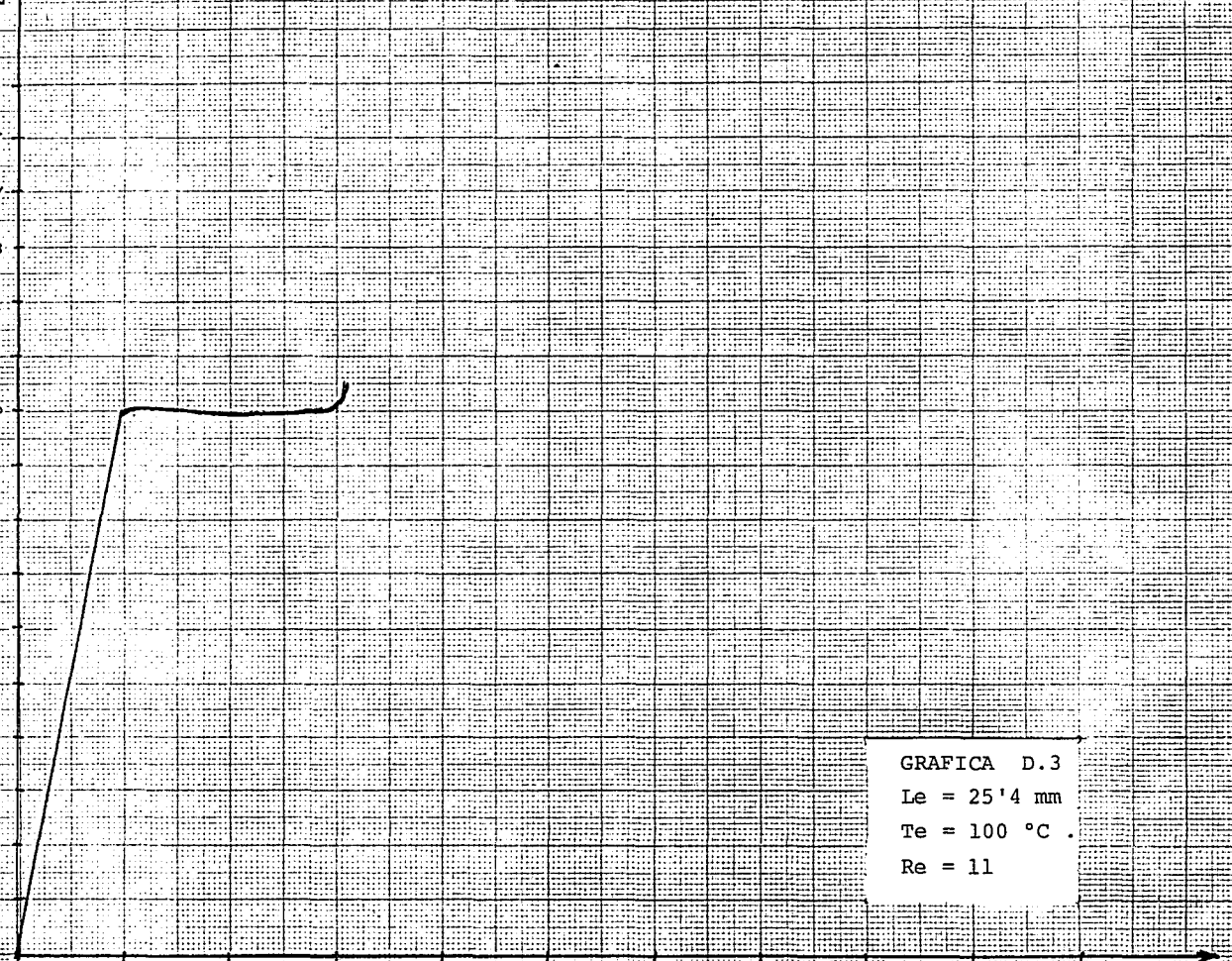
Fc  
[Ton]

16  
15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

$\frac{l_e}{mm}$

GRAFICA D.3  
Le = 25'4 mm  
Te = 100 °C  
Re = 11



#### IV.4. CALCULO DE LA EFICIENCIA.

Como pudimos observar, los dos parámetros que más influyen en la carga de extrusión son el coeficiente de reducción y la temperatura. A continuación calcularé la eficiencia de cada reducción de extrusión. La eficiencia se define como la presión ideal entre la presión real.

$$N = \frac{P_t}{P_r}$$

Donde:

$$P_t = \bar{\sigma} \ln R$$

$\bar{\sigma}$  = Esfuerzo medio de cedencia a la temperatura de trabajo.

R = Coeficiente de reducción.

P<sub>r</sub> = Presión real (obtenida de la gráfica).

A.- Para R = 44

Datos:

A<sub>o</sub> .- 1256.63 mm<sup>2</sup>

Fr .- 15000 Kg, (De la gráfica).

$\bar{\sigma}$  .- 2 kg/mm<sup>2</sup>

$$P_t = 2 \ln 44 = 7.5683 \text{ Kg/mm}^2$$

$$P_r = F_r / A_o = 1500 / 1256.63 = 11.936 \text{ Kg/mm}^2$$

$$N = P_t / P_r = 7.5683 / 11.936 = .6340$$

$$N = 63.40 \%$$

B.- Para R = 11

Datos:

$$A_o = 1256.63 \text{ mm}^2$$

$$F_r = 8000 \text{ Kg (gráfica)}$$

$$\bar{V} = 2 \text{ Kg / mm}^2$$

$$P_t = 2 \ln 11 = 4.7957 \text{ Kg / mm}^2$$

$$P_r = F_r / A_o = 8000/1256.63 = 6.366 \text{ Kg / mm}^2$$

$$N = P_t / P_r = 4.7957 / 6.366 = .7533$$

$$N = 75.33 \%$$

C.- Para R = 4

Datos:

$$A_o = 1256.63 \text{ mm}^2$$

$$F_r = 4000 \text{ Kg (Gráfica)}$$

$$= 2 \text{ Kg / mm}^2$$

$$P_t = 2 \ln 4 = 2.772 \text{ Kg / mm}^2$$

$$P_r = F_r / A_o = 4000 / 1256.63 = 3.1831 \text{ Kg / mm}^2$$

$$N = P_t / P_r = 2.7725 / 3.183 = .8710$$

$$N = 87.10 \%$$

Podemos concluir que en la medida que aumentemos el coeficiente de reducción la eficiencia del proceso disminuye.

## V. CONCLUSIONES.

Todo trabajo, suceso ó experiencia no valdrían de mucho sino sacamos conclusiones que nos permitan entender y así, ser capaces de generar nuevas ideas.

El mérito de Newton no fue que le cayera una manzana en la cabeza, sino que supo concluir que caía por la atracción gravitacional.

Tratando de resumir sólo mencionaré los aspectos de mayor --- trascendencia que se presentaron.

1.- El acabado superficial de las piezas extruídas depende de de la temperatura.

Esto fue muy notorio cuando se experimentó con plomo y a -- temperatura ambiente. Se obtuvo un excelente acabado superficial mucho mejor que en caliente. Es importante mencionar que cuando se extruyó en caliente el acabado era muy bueno, pero como salía con alta temperatura, el material se oxidaba perdiendo brillo.

2.- La carga depende de la longitud del lingote.

Esta dependencia fue muy notoria, pero lo sobresaliente es -- que hay un valor de longitud por extruir, en el cual la carga se dispara, ésto se presenta aproximadamente (para éste caso) cuando falta un centímetro por extruir. En ése punto paramos el proceso, para no forzar a la máquina.

3.- La carga depende de la temperatura.

La carga que se requiere para extruir, disminuye al aumentar la temperatura. Esto se debe a que el esfuerzo de cedencia -- del material disminuye con la temperatura.

4.- La carga depende del coeficiente de extrusión.

A mayores relaciones de extrusión se requiere más carga. Esto se debe a que tenemos que hacer fluir el material por un orificio más pequeño. Es importante mencionar que no pudimos extruir con un coeficiente de reducción de 44 a temperatura ambiente, ésta es la condición más crítica de trabajo. Altos -- coeficiente de reducción y bajas temperaturas.

5.- La carga depende del precalentamiento del contenedor.

La carga que queremos aplicar cuando precalentamos el contenedor con una serie de resistencias eléctricas fué menor que sin precalentamiento. Esto aparte de reducir la carga, tiene la ventaja de evitar los choques térmicos.

6.- La compactibilidad del material depende de la temperatura.

Cuando se extruyó a temperaturas elevadas (muy arriba de la temperatura de recristalización ) se presentaron una serie de grietas en el material extruído. Las grietas no son muy notorias, pero alteran las propiedades mecánicas del material.

7.- Se presentaron impurezas en el material extruído, cuando

se extruyó arriba de 2/3 partes de la longitud del tocho.

Esto se debe a que la cáscara de óxido que cubre al material comienza a ser extruída.

8.- La deformación que sufre el material extruído depende de la velocidad.

Todo material extruído debe ser sometido a un proceso de estirado, para recobrar la linealidad.

En nuestro caso, noté que el material se tendía a doblar en la medida que aumentábamos la velocidad de extrusión.

Cuando el material se doblaba demasiado llegaba a tocar la pared interna del contenedor, adheriéndose y congestionando el flujo en la contramatriz.



9.- Cuando tratamos de extruir tochos menores en diámetro al del contenedor, la gráfica se modificaba un poco. Primero se presentaba el abarrilamiento del tocho y luego el proceso propiamente dicho.

10.- Cuando se quiere extruir el último centímetro del tocho la carga se dispara, cuando ésto se presenta el material tiende a fluir por el espacio existente entre el disco de empuje y la pared interna del contenedor. Aparece el proceso conocido como reflujo. Este fenómeno aumenta las pérdidas por fricción.

11.- Las piezas que tienden a desgastarse rápidamente son los dados.

Los dados cuando salieron de fabricación estaban pulidos a espejo y después de la experimentación presentaban en sus caras notorios rayados. Estas rayas se producen por la alta fric---ción a la que son sometidos.

## VI. BIBLIOGRAFIA.

- PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION Y CONTROL  
JOSE MA. LASHERAS ESTEBAN
- MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION.  
PAUL DEGARMO
- CONFORMADO DE LOS METALES.  
GEOFFREY W. ROWE.
- MECHANICAL METALLURGY.  
GEORGE E. DIETER.
- DEFORMATION PROCESSING .  
BACKOFEN
- MANUAL DE FORMULAS TECNICAS.  
KURT GIECK.
- METAL FORMING: PROCESSES AND ANALYSIS.  
MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING SERIES.
- METAL FORMING.  
T.Z. BLAYNSKY.
- METALS HANDBOOK.  
ASM. ED. 8 EJ. 1
- METALURGIA MECANICA.  
AVNER.
- RESISTENCIA DE MATERIALES.  
GREGOR POPOV.
- TRATAMIENTOS TERMICOS Y ACABADOS SUPERFICIALES.  
DRA. DORA MARIA KRASNOPOLSKY DE G.
- ALREDEDOR DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS.  
GERLING.
- AJUSTES Y TOLERANCIAS.  
APUNTES.

- PRINCIPIOS DE METALURGIA FISICA.  
REED-HILL
- MANUFACTURING METHODS AND PROCESSES.  
ASLEY
- MANUFACTURING MANAGEMENT.  
MOORE.
- MODERN MANUFACTURING.  
PATTON.
- MECHANICAL ENGINEERS HANDBOOK.  
LIONEL S. MARKS.
- DIE DESIGN HANDBOOK.  
ASTME.
- TEMPLE DEL ACERO .  
WANKE SCHARAMM.