

T
621.98
NAV



CIB-ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"REHABILITACION DE PRENSA HIDRAULICA DE
80 TON. Y DISEÑO DE HERRAMENTAL PARA
REALIZAR PRACTICAS DE TRABAJADO MECANICO"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



CIB-ESPOL

GUAYAQUIL - ECUADOR
AÑO 2004



CIB-ESPOL

DEDICATORIA



CIB-ESPOL

A Dios, a mis padres, Marco
Vinicio Navas y Gardenia de
Navas y a mi hermana, Paola.

Quienes me dieron la energía
para seguir adelante

Y que con su paciencia,
comprensión y su apoyo
constante me mostraron que hay
que ponerse por sobre las
dificultades

AGRADECIMIENTO



CIB-ESPOL

Al personal de INTRAMET que colaboró en el desarrollo de este trabajo.

Un especial agradecimiento al Ing Ignacio Wiesner, al Ing. Roberto Mera y a mis amigos Raúl Quito, Mauricio Alba, Mario Hidalgo, Pavel y Carlos Aranda

Quienes con su conocimiento apoyaron al desarrollo de este trabajo.

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



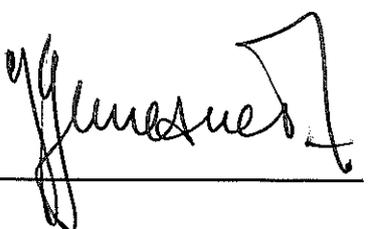
CIB-ESPOL

JAVIER NAVAS SÁENZ

TRIBUNAL DE GRADUACION

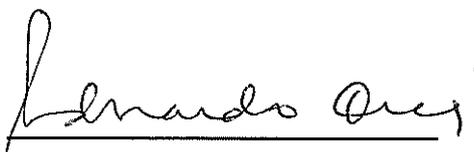
Ing. Eduardo Rivadeneira P.

**DECANO FIMCP
PRESIDENTE**



Ing. Ignacio Wiesner F.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.

VOCAL



CIB-ESPOL

RESUMEN

Este proyecto tiene la finalidad de plantear la factibilidad de los procesos de manufactura, primero habilitando un equipo que no ha sido usado en varios años y luego analizando los procesos de manufactura que se puedan realizar, se desea investigar la versatilidad del equipo, ya que usualmente la maquina se construye con la capacidad de realizar un trabajo especifico veremos que , existirán limitaciones para otros procesos las cuales se investigaran y se determinará el potencial de trabajo y la posibilidad de hacer variaciones en la maquinaria para lograr un objetivo .

Los procesos de manufactura que se analizarán son la embutición, la forja, el plegado, la fundición, la extrusión, el corte y fundición a presión.

También se va a mostrar la factibilidad económica para realizar este proyecto, tomando en cuenta que ya se posee una prensa, la cual esta fuera de operación. Y se determinaran las características mas extremas que un producto terminado o semiterminado puede alcanzar con la fuerza disponible y su forma de aplicación .

La variedad de productos finales semiterminados o terminados esta definida por el rango de espesores que se pueden formar en la prensa.

Otra variable que afecta en este proceso es la matricería. Para lo cual se desea investigar las limitantes que pueden imponer a este proceso las matrices.

Se determinarán las fuerzas empleadas en cada proceso y se dimensionarán matrices para un procedimiento tipo y se espera obtener el rango de operación de la prensa habilitada.



INDICE GENERAL

	PAG
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE GRÁFICOS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1



CIB-ESPOL

CAPITULO 1

1. ESTADO ACTUAL Y PLAN DE REHABILITACIÓN DE LA PRENSA	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PRENSAS.....	4
1.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES DE LA PRENSA.....	8
1.4 PLAN DE REHABILITACIÓN Y UBICACIÓN EN PLANTA	10
1.4.1 REDISEÑO DE MESA INFERIOR FIJA Y REPARACIÓN	14
1.4.2 REDISEÑO Y HABILITACIÓN DEL PANEL ELÉCTRI CO DE MANDOS.....	18

CAPITULO 2

2. ESTUDIO DE OPERACIONES PARA CLASES DE PROCESOS DE MANUFACTURA	22
---	-----------

2.1 CORTE Y PLEGADO.....	29
2.2 EMBUTICIÓN SIMULADA DE METALES.....	43
2.3 FORJA SIMULADA.....	60
2.4 EXTRUSIÓN DE MATERIALES NO FERROSOS.....	83
2.5 FUNDICIÓN CON SOLIDIFICACIÓN A PRESIÓN DE METALES CON BAJO PUNTO DE FUSIÓN.....	95

CAPITULO 3

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
--	----

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA



CIB-ESPOL

INDICE DE FIGURAS

		PAG
FIGURA 1.1	DIAGRAMA DE MOMENTO DOBLE EM POTRAMIENTO.....	15
FIGURA 1.2	COSTOS Y MATERIALES PARA LA RE HABILITACIÓN HIDRÁULICA.....	13
FIGURA 2.1	CIRCULO DE MOHR.....	26
FIGURA 2.2	ESFUERZO REAL VS DEFORMACION REAL.....	28
FIGURA 2.3	PARTES IDENTIFICABLES EN CORTES.....	30
FIGURA 2.4	DISTORCION DE DISCO.....	32
FIGURA 2.5	CORTE	33
FIGURA 2.6	PIERCING.....	34
FIGURA 2.7	DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PARA DE FORMACION PLASTICA.....	38
FIGURA 2.8	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE.....	41
FIGURA 2.9	PROCEDIMIENTO DE EMBUTICION.....	46
FIGURA 2.10	DESPLAZAMIENTO DE LA CHAPA DURANTE LA EMBUTICION.....	50
FIGURA 2.11	RADIO DE LA MATRIZ HEMBRA.....	53
FIGURA 2.12	EMBUTICION SIN FUERZA DE PISADO.....	55
FIGURA 2.13	DESARROLLO DE CHAPA PARA EMBUTICION....	58
FIGURA 2.14	DISTRIBUCION DE PRESION EN UN DISCO AL FORJAR.....	79
FIGURA 2.15	CILINDRO PARA LINGOTE DE EXTRUSION.....	88



CIB-ESPOL



INDICE DE TABLAS

CIB-ESPOL PAG

TABLA 1.1	COMPARACIÓN ENTRE UNA PRENSA HIDRÁULICA Y MECÁNICA.....	7
TABLA 1.2	COSTOS Y MATERIALES PARA LA RE HABILITACIÓN HIDRÁULICA.....	13
TABLA 1.3	COSTOS Y MATERIALES EN LA REHA BILITACIÓN DEL BASTIDOR.....	17
TABLA 1.4	COSTOS Y MATERIALES PARA LA RE HABILITACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO.....	19
TABLA 1.5	COSTOS Y MATERIALES PARA LA INS TALACIÓN EN SITIO DEL EQUIPO.....	21
TABLA 2.1	VALORES TÍPICOS DE K Y n A TEMPERA TURA AMBIENTE.....	24
TABLA 2.2	RANGO DE VALORES APROXIMADOS PARA C Y m PARA VARIOS METALES REVENIDOS A INDICES DE DEFORMACION DE ENTRE 0.2 A 1	25
TABLA 2.3	PRESIÓN MEDIA DE PISADO PARA ANILLO DE EMBUTICIÓN.....	50
TABLA 2.4	VELOCIDADES DE FORMADO PARA EMBUTICIÓN.....	56
TABLA 2.5	COMPOSICIÓN DE MATERIALES PARA HERRAMENTAL DE FORJA.....	69
TABLA 2.6	FORJABILIDAD DE LOS MATERIALES.....	72
TABLA 2.7	TEMPERATURAS DE FORJA.....	73
TABLA 2.8	FORJADO DE ALUMINIO Y SUS TEMPERATURAS.	75
TABLA 2.9	FORJADO DE COBRE Y SUS TEMPERATURAS.....	77

INDICE DE GRAFICOS

	PAG
GRAFICO 2.1 ESPESORES QUE PUEDEN SER PER FORADOS EN PRENSA.....	35
GRAFICO 2.2 AREA VS ABERTURA DE MATRICES.....	13
GRAFICO 2.3 CAPACIDAD DE FORJA CONTRA DEFOR MACION PARA UN ALUMINIO 1100.....	80
GRAFICO 2.4 EXTRUSION DE PLOMO.....	87



CIB-ESPOL

INDICE DE PLANOS

PLANO 1	CONJUNTO EMBUTICION
PLANO 2	MATRIZ HEMBRA EMBUTICION
PLANO 3	PUNZON EMBUTICION
PLANO 4	ANILLO PISADOR EMBUTICION
PLANO 5	CONJUNTO PLEGADO
PLANO 6	PUNZON PLEGADOR
PLANO 7	MATRIZ HEMBRA PLEGADO
PLANO 8	CONJUNTO FORJA
PLANO 9	MATRIZ FORJA
PLANO 10	OPCIONES DE MESA PARA FORJA
PLANO 11	CONJUNTO CORTE
PLANO 12	BASE DE MATRIZ DE CORTE 1
PLANO 13	BASE DE MATRIZ DE CORTE 2
PLANO 14	PUNZON DE CORTE
PLANO 15	PLACA DE SOPORTE CORTE
PLANO 16	CONJUNTO EXTRUSION
PLANO 17	PRESIONADOR EXTRUSION
PLANO 18	SOPORTE DE MATRIZ
PLANO 19	MATRIZ IMPRESIÓN EXTRUSION
PLANO 20	PORTA MATRIZ EXTRUSION
PLANO 21	CILINDRO INTERIOR EXTRUSION
PLANO 22	CILINDRO EXTERIOR EXTRUSION
PLANO 23	CONJUNTO FUNDICION A PRESION
PLANO 24	PRESIONADOR FUNDICION A PRESION
PLANO 25	MATRIZ HEMBRA FUNDICION A PRESION
PLANO 26	EJE DE EXPULSION
PLANO 27	CIRCUITO DE CONTROL ELECTRICO



CIB-ESPOL

CAPITULO 1

1. ESTADO ACTUAL Y PLAN DE REHABILITACIÓN DE LA PRENSA

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad la industria requiere de trabajos de embutición formado corte y manufactura en general para la elaboración de productos, los cuales pueden o no requerir otro tipo de proceso para llegar al consumidor. Este problema, el de transformar una lámina metálica en Un elemento de forma tridimensional o en general cambiar el estado o forma de un material, se lo aborda mediante la aplicación de una fuerza tal, que el material este obligado a ceder, y la forma en que cede o que fluye el material está determinada por el confinamiento o restricción a la dirección de movimiento que se da. Esto se logra mediante matrices.



CIB-ESPOL

El proceso de estampado o embutición requiere menos piezas independientes en el producto final, lo que implica menos tornillería y elementos de sujeción en general. También puede elegirse éste por sobre uno de fundición en condiciones en que la fuerza necesaria está disponible y se desea una resistencia mayor en el material cuando finalice el proceso empleado.

Con la disponibilidad de una prensa se pueden realizar otros tipos de trabajo, dependiendo de la matriz que se utilice, por ejemplo se pueden realizar cortes de formas predeterminadas, existen consideraciones prácticas y económicas por las cuales no se realiza usualmente corte o estampado en una prensa hidráulica, sin embargo, estas, son valaderas cuando el trabajo que se realiza requiere una frecuencia de producción alta lo cual exige menos tiempo de trabajo por pieza; ahora, es deseable que la maquinaria esté funcionando, si es posible, en todo momento, por lo que el aprovechamiento de ésta es fundamental, otro procedimiento que se puede efectuar es el plegado, claro que estos trabajos están limitados por el área efectiva donde actúa la fuerza. Se tratará de abarcar los procedimientos tipo mas representativos que se puedan realizar para poder observar el potencial que se tiene en el taller de metalurgia con una prensa hidráulica.



CIB-ESPOL

La prensa en el taller de metalurgia tiene una capacidad de 80 ton y fue construida en base a la tesis expuesta en 1989 por el Ingeniero Vicente Adum Rodríguez, la prensa no tuvo un uso de consideración. Con el paso de los años se fue deteriorando hasta que ya no fue funcional. El objetivo, entonces, fue, que los estudiantes con el equipo al alcance lleguen al entendimiento de los procesos de transformación de la chapa en frío, en el presente trabajo el objetivo apunta al entendimiento de los procesos de manufactura viendo a la prensa como un equipo que aplica una fuerza en sentido vertical y cuyo herramental puede variarse en función del proceso que se quiere realizar. También se muestra que los procesos se deben particularizar al material que se va a emplear.

Entonces determinaremos el rango de operación en cada proceso según las capacidades, velocidades y configuraciones geométricas que ya existen.

En lo que se refiere al bastidor, solo hay un daño en la mesa fija, la cual se encuentra deformada. La pérdida de espesor que se pudo haber dado por exposición a la atmósfera durante los años no se ha determinado tomando en cuenta que el equipo fue diseñado en base a rigidez, es decir sus deflexiones durante operación son mínimas, entonces lo que se puede haber perdido es la capacidad de realizar trabajos de mayor precisión. Se ha de determinar el estado del motor de las bombas, del equipo de control hidráulico y el panel eléctrico



CIB-ESPOL

1.2 PRENSAS

Para seleccionar la prensa que va a imprimir la fuerza necesaria para el conformado debemos tener en cuenta que no existe una prensa de propósitos generales que provea máxima productividad y economía y usualmente se deben hacer compromisos cuando se desea emplear una de estas maquinarias para más de un propósito.

Esta selección esta enmarcada en algunos factores tales como: los requerimientos de tamaño, de fuerza, de energía, y de velocidad. Una mayor productividad y economía se puede alcanzar orquestando estos factores; La superficie de trabajo debe comprender el espacio suficiente para que se puedan ubicar todos los elementos que hagan falta para la conformación final, La carrera debe ser la suficiente para lograr la profundidad que se desea en el producto final, El tamaño y el tipo de prensa se debe seleccionar según el tipo de alimentación de la lámina, la resistencia de la lámina y su tamaño. La capacidad esta determinada por la fuerza requerida.

Las prensas pueden clasificarse por su fuente de poder en:

- Mecánicas
- Hidráulicas



CIB-ESPOL

Las prensas hidráulicas utilizan la presión hidrostática en contra de uno o más pistones para lograr la fuerza para trabajado mecánico. Las variables se seleccionan de acuerdo a lo que se quiera producir, esta fuerza, al igual que la velocidad de transformación la determina el material y la geometría, en muchos casos éstos datos no se encuentran fácilmente, por lo que es recomendable darle cierta flexibilidad a la prensa. Entonces se selecciona una bomba que dé un caudal a una presión determinada, selección que va de la mano con la dimensión del diámetro interno del cilindro actuador, la bomba también determina la potencia del motor.

Debido a su construcción, las prensas hidráulicas pueden ser fabricadas de formas particulares a bajo costo, pueden ser diseñadas con diferentes direcciones de acción y movimientos. Las prensas hidráulicas usualmente tienen una carrera mas larga que las prensas mecánicas, otra ventaja es que la carrera es ajustable, característica deseable para flexibilizar la operación, y con controles neumáticos podemos evitar el impacto o limitar las fuerzas.

Las prensas mecánicas son comúnmente usadas para embutir pero el uso de prensas hidráulicas se ha incrementado, y existen aplicaciones en las que estas ofrecen algunas ventajas por sobre sus similares mecánicas y en



algunos casos la operación solo puede ser realizada por una prensa hidráulica

Una comparación sería de utilidad

TABLA 1.1 (ref. 5)

COMPARACIÓN ENTRE UNA PRESNA HIDRÁULICA Y MECÁNICA

Fuerza	Capacidad	Velocidad de la mesa	Longitud de la carrera	Control
Mecánica depende de suposición en la carrera	6000Tonf	Mayor que la hidráulica, variable durante la carrera	limitada	La carrera debe terminar
Hidráulica, relativamente constante	50000Tonf	Lenta, constante	Hasta 2.5 mts	La carrera se puede detener y regresar en cualquier punto



CIB-ESPOL

Las prensas mecánicas se prefieren en operaciones que requieren una mayor fuerza al final de la carrera es decir para operaciones de corte y embutido de alturas de 10 cm., son buenas para grandes producciones.

Las prensas hidráulicas se prefieren para operaciones en las que se requiere una presión constante a lo largo de toda la carrera, se prefieren para embutición profunda y operaciones que requieren carreras variables o parciales.

Como en nuestro caso la prensa ya está disponible nos concentraremos en sus elementos para su correcto funcionamiento

Esta constituida por dos pistones los cuales están impulsados por una bomba de alta presión y una bomba de baja presión y estas a su vez están impulsadas por un motor eléctrico de 22380 W (30 Hp)

Al final de cada pistón esta sujeta una mesa que será la que transfiera la fuerza a cada matriz. Tenemos la parte de control hidráulico que está constituido por dos electro válvulas manómetros y mangueras, finalmente tenemos el tanque de aceite y el panel eléctrico.

Entonces ya podemos visualizar los procedimientos a seguir para poner en funcionamiento esta prensa.

1.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES DE LA PRENSA

Antes de continuar es necesario que conozcamos más de cerca las características de los componentes que hacen posible el funcionamiento de nuestro equipo en particular y brevemente describir los criterios que se emplearon para su selección.

Como mencionamos en el capítulo anterior el material que se va a procesar y el proceso son las bases alrededor de las cuales se diseña la prensa. La prensa fue concebida para trabajos de embutición con una velocidad de trabajo de 5 cm./s y una fuerza de 784000 N (80 ton) con un cilindro cojín. Al ser una velocidad relativamente baja permite trabajar con una buena variedad de materiales, entre los cuales podemos mencionar al aluminio al cobre al acero, magnesio, plomo, estaño, zinc. Muchas veces no solo queremos cambiar la forma de un material sino impartirle más resistencia, esto se lo hace con la extrusión, la forja, el trefilado, el rolado o la solidificación a presión entre otros. En general se puede llegar a una resistencia determinada a bajas temperaturas y bajas velocidades de deformación o a altas temperaturas y altas velocidades de deformación.

La bomba con que nos encontramos es una ABEX DENISON que imparte una presión de 27.57MPa (4000 psi) y un caudal total de 20 litros por minuto, funciona en dos etapas una de alta presión que provee 8 litros por minuto y una de baja presión que provee 12 litros por minuto.(ref. 1)

Con la presión antes especificada y la fuerza que necesitamos obtenemos el diámetro interno del cilindro, la carrera está especificada a 60 cm., lo que determina el largo de éste.



Para ésta bomba es suficiente un motor de 18650 W (25 HP) sin embargo tenemos a nuestra disposición uno de 22380 W (30 HP) lo que nos puede llevar a ciertas ineficiencias, pero la disponibilidad del motor hace justificado su uso. No teníamos conocimiento de con que voltaje había estado funcionando la prensa inicialmente

El banco de válvulas consta de una electro válvula de tres posiciones y dos vías, una electro válvula de dos posiciones dos vías, Una válvula de alivio, una de descarga y una antirretorno, todos estos componentes ABEX DENISON. No encontramos mangueras hidráulicas, filtros, ni manómetros. Con este grupo de válvulas podemos controlar la fuerza. Para poder tener control de la longitud de la carrera se necesitan limitadores los cuales tampoco se encontraban en el taller.

1.4 PLAN DE REHABILITACIÓN Y UBICACIÓN EN PLANTA



Una vez que hemos conocido de donde viene nuestra prensa, porque está como la encontramos, sus partes constituyentes iniciales y las que faltan se trazará un plan de trabajo para lograr que funcione.

Empezaremos con los trabajos en elementos hidráulicos:

- Mantenimiento de la bomba
 - Verificar el estado interno
 - Verificar estado de o-rings
- Mantenimiento de electro válvulas
 - Verificación del estado interno
 - Verificación de o-rings
- Mantenimiento de válvulas auxiliares
 - Verificación del estado interno
 - Verificación de o-rings
- Determinar longitudes de las mangueras faltantes



Una vez determinados los trabajos que se debían realizar se debe detallar cada uno de ellos.

Empezaremos con los trabajos para el sistema hidráulico, Lo primero que se realizó fue un desmantelamiento cuidadoso de la bomba. La bomba consiste en un cuerpo que contiene realmente dos bombas, una de alta presión y otra de baja presión para realizar las operaciones necesarias en una embutición común. Se encontró que la integridad del equipo estaba intacta, no se detectó juego de ningún tipo en el eje principal, como la calibración de las válvulas es manual, el estado de los resortes no afecta al funcionamiento a

menos que hayan sufrido un daño realmente grave, los manómetros nos indicarán si es que debemos aumentar o liberar presión en éstos. Los o-rings estaban en condiciones de seguir trabajando, se limpio y rearmó. Para esto se utilizó 1 supervisor y dos trabajadores y se concluyo la operación en 5 horas.

Seguidamente se procedió a observar en que condiciones se encontraban las electro válvulas y las válvulas auxiliares, se encontró que estaban en buen estado pero faltaba una bobina y una mariposa interna. Se rearmó el sistema y se probó el funcionamiento. Este trabajo también se lo realizó con un supervisor y dos trabajadores y tomó otras 5 horas, se hizo una lista de los elementos faltantes y se procedió a cotizar. Se decidió que la mariposa se la haría mediante maquinado.

Las mangueras se las instaló con 2 personas, el detalle de los costos y el tiempo se encuentra en la siguiente tabla

Entonces se puede hacer un resumen de los trabajos y costos que significó esta etapa



CIB-ESPOL

TABLA 1.2

COSTOS Y MATERIALES PARA LA REHABILITACIÓN HIDRÁULICA

Ítem	Horas hombre supervisor	\$\$/HH supervisor	Horas hombre trabajador	\$\$/HH trabajador	Materiales	\$/material
bombas	5	2.5	10	.75		
Electro válvulas y elementos de control	5	2.5	10	.75	1 bobina de 110 voltios	70
					2 manómetros	70
mangueras			7	.75	$\frac{3}{4}$ x 80 cm. con acoples 12-12 FJX	24.58
					$\frac{3}{4}$ x 70 cm. con acoples 12-12 FJX	23.63
					$\frac{3}{4}$ x 250 cm. con acoples 12-12 FJX	84.39
					$\frac{3}{4}$ x 400 cm. con acoples 12-12 FJX	135.03
					$\frac{3}{4}$ x 250 cm. con acoples 12-12 FJX	84.39
Elementos de conexión					7Conectores rectos 12 MJ x 12 MP	18.20
mariposa					2Bushing 8MP-4FP	3.72
Total parcial		25		20.25		513.94
Total						559.19

1.4.1 REDISEÑO DE MESA INFERIOR FIJA Y REPARACIÓN

Trabajos en la estructura metálica

- Enderezar mesa fija
- Reforzar mesa fija
 - Determinar el espesor de los refuerzos y su disposición
 - Pulir la mesa
 - Perforar los refuerzos en los lugares donde traspasan los pernos
 - Soldar los refuerzos
 - Pulir la soldadura
- Realizar agujeros de 39 mm. de diámetro para los pines porta chapa
- Empernar la mesa

A continuación detallaremos los trabajos realizados en la mesa fija; Para esto primero se tenía que determinar mediante que tipo de operación se iba a enderezar la mesa de 50.8 mm (2 pulgadas) de espesor. Las opciones eran el uso de una prensa, una roladora y artesanalmente, golpeándola en el lugar de su deformación luego de un previo calentamiento.



CIB-ESPOL

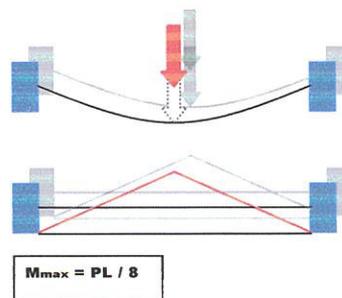
Se optó por el último método puesto que resultaba el más económico y considerando que en el taller se disponía de los medios para realizar este calentamiento.

Debido al peso de la mesa se requirieron de 4 personas y un supervisor y se necesitó repetir la operación tres veces, trabajo que requirió seis horas.

Para determinar el espesor de los refuerzos requeridos se tomó a la placa como una viga empotrada en los extremos. Entonces lo que necesitamos determinar es la sección que soportará el esfuerzo provocado por el momento resultante.

Como ya conocemos para este caso el diagrama de momentos es:

FIGURA 1.1
DIAGRAMA DE MOMENTO DOBLE EMPOTRAMIENTO



Ahora, la carga está proyectada para ser de 784000 N (80 toneladas), carga que no debería soportar la mesa en operación puesto que parte de esta

carga sería absorbida por el cilindro cojín por medio de los pines que comunican la matriz a este.

Pero suponiendo un caso en que no se usen estos pines, ejes o velas como se suelen llamar en la industria, usaremos esta carga, con lo que tenemos:

$$M_{\max} = \frac{PL}{8} = \frac{80000 * 9.8 * 720}{8 * 100} = 705600 : N * m$$

Seguidamente establecemos el módulo de sección, con una resistencia del acero de:

$$\text{Resistencia } A_{36} = 248.21 \text{MPa}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S}$$

$$S = \frac{M}{\sigma} = \frac{705600}{248211262} = 0.0028 \text{m}^3$$



Ahora, lo que requerimos es el espesor de la placa, puesto que las demás dimensiones ya están determinadas.

$$S = \frac{I}{c} = \frac{bh^3}{12} * \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * S}{b}} = \sqrt{\frac{6 * 2842 \text{cm}^3}{720 \text{cm}}} = 4.9 \text{cm}$$

La mesa tiene el espesor adecuado, sin embargo para sostener las matrices se tienen que hacer unas guías que restan área efectiva resistente, la cual se compensará con los refuerzos de área similar.

Para realizar estos trabajos necesito un armador y un soldador. A continuación detallare lo que costó el trabajo en el bastidor en general

TABLA 1.3

MATERIALES Y COSTOS EN LA REHABILITACIÓN DEL BASTIDOR

Ítem	Horas hombre supervisor	\$\$/HH supervisor	Horas hombre trabajador	\$\$/HH trabajador	Materiales	\$\$/material
Calentamiento y enderezada de la mesa	6	2.5	24	.75		
Flejes para refuerzo					5 flejes de 120X30	250
Armar y soldar los flejes	6	2.5	6	.75	½ kilo de palillos 6011	
Total parcial		30		22.5		250
Total						302.5

1.4.2 REDISEÑO Y HABILITACIÓN DE PANEL ELÉCTRICO DE MANDOS

Trabajos en elementos eléctricos:

- Diseño de circuito eléctrico para que funcione manual y automáticamente
- Montaje de elementos de control y conexión de sistemas eléctricos
- Determinar el estado del motor.

Finalmente se requería diseñar un circuito de control, ya que el panel eléctrico estaba totalmente desmantelado y en el diseño original de la prensa no se encontraba esa información.

Se procuró utilizar los elementos hidráulicos ya existentes para no hacer mas compleja la operación y para no incurrir en mas gastos. El motor de 22380 W (30 Hp) requería de una corriente nominal de 75 amperios con un voltaje de 220, se optó por un arranque por devanados parciales para resguardar al motor en el momento del arranque, para esto se requirieron 30 horas hombre de técnico eléctrico. Sin embargo, este sistema se tuvo que modificar a uno de 440 V con un arranque directo debido a que cuando se encendía el motor se apagaban otros equipos en la planta, este cambio tomó 80 horas hombre de técnicos eléctricos. Una vez habilitadas las líneas de 440 para el arranque del motor y de 220 para el panel de control, se procedió a instalar el circuito



de control, El circuito diseñado requirió de materiales cuyos precios se adjuntan en la tabla siguiente.

TABLA 1.4
MATERIALES Y COSTOS PARA REHABILITACIÓN DE SISTEMA
ELÉCTRICO

Ítem	Horas hombre supervisor	\$\$/HH supervisor	Horas hombre trabajador	\$\$/HH trabajador	Materiales	\$\$/material
Cambio de 220 a 440			80	.75	6 terminales talón dobles 350 MCM	15.6
					9 terminales talón sencillos 350 MCM	19.53
Sistema de control			54	.75	Cinta aislante	5
					Limit switch	12
					2 limit switch Telemacaniq ue 1	
					contactor, 1 releo térmico de sobrecarga, 1 breaker, 6 pulsantes, 6 luces piloto. 2 relees con capacidad para manipular 5 Amp	Stock
					25 metros de cable doble 18	10
					5 focos para luces piloto 110 Voltios	6.25
					6 Cartelas de identificación para las botoneras	6
					20 metros de cable 18	2
Total parcial				100.5		86.38
Total						186.88



CIB-ESPOL

TABLA 1.5
COSTOS Y MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN EN SITIO DEL
EQUIPO

Ítem	Horas hombre supervisor	\$\$/HH supervisor	Horas hombre trabajador	\$\$/HH trabajador	Materiales	\$\$/material
Rompimiento del concreto	2	2.5	2	.75	Compresor y martillo neumático	46
Corte de enferradura	0.5	2.5	0.5	.75	Maquina de soldar y 5 palillos 6011	Stock
Remoción de material suave para el foso	10	2.5	16	.75	Pala punta martillo de 20 lb.	Stock
Cementación			16	2	Encofrado clavos Cemento	15
Total Parcial		31.25		45.87		61
Total						138.12

Una vez terminados todos los trabajos de rehabilitación se procedió a probar el equipo y a regular las válvulas y las presiones de trabajo.

El costo de mano de obra asciende a 275.37 dólares y el de materiales a 911.32 dólares, entonces para la rehabilitación del equipo se invirtieron 1186.69 dólares.



CIB-ESPOL

CAPITULO 2

2. ESTUDIO DE OPERACIONES PARA CLASES DE PROCESOS DE MANUFACTURA

Antes de dimensionar las matrices para formado tenemos que determinar las fuerzas que vamos a aplicar y para ello debemos enmarcarnos en la prensa que poseemos y en los procesos que se pueden realizar en ella. Para seleccionar entre procesos de manufactura y obtener un producto terminado debemos considerar el material que vamos a conformar o a transformar, puesto que sus propiedades van a ser importantes para la determinación de los requerimientos físicos del trabajo a realizar; las propiedades finales, ya sea que se requiera mayor o la misma resistencia o si solo es un cambio de forma. El tamaño de la pieza, el grosor y su complejidad nos podrán limitar los procesos que podamos escoger. Las tolerancias, el acabado superficial, el diseño y costo del herramental, la existencia de los equipos, la cantidad que se quiere producir en un tiempo fijo y el costo total. La valoración de todos estos puntos nos inclinará a escoger un proceso por sobre otro.

El comportamiento del material en un proceso de manufactura se encuentra en el rango plástico. Cuando un elemento se empieza a esforzar sufre una elongación su cambio de forma está regido por la ley de Hooke. La cual nos provee una relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación. El conocimiento de los esfuerzos que sufre un material nos dice de la fuerza que provocan los mismos. Pero en el rango plástico el material ya no se comporta linealmente. Su índice de deformación obedece a la siguiente relación (ref. 7):

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \left(\frac{D_0}{D} \right)^2$$

Nosotros deseamos conocer las fuerzas que están involucradas en el proceso de conformado, el esfuerzo de fluencia que encontramos en la mayoría de textos es de uso limitado en procesos de conformado puesto que la mayoría de materiales de ingeniería aumentan su resistencia cuando se los deforma en frío y se necesitan mayores fuerzas para mantener el flujo. La relación entre el índice de deformación y el esfuerzo aplicado es (ref. 7):

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

TABLA 2.1 (ref. 7)

VALORES TÍPICOS DE K Y n A TEMPERATURA AMBIENTE			
MATERIAL	K		n
	psi x 10 ³	Mpa	
Al 1100 O	26	180	0,2
Al 2024 T4	100	690	0,16
Al 5052 O	30	210	0,13
Al 6061 O	30	205	0,2
Al 6061 T6	60	410	0,05
Al 7075 O	58	400	0,17
Brass 60-39-1 Pb revenido	115	800	0,33
Brass 70-30 revenido	130	895	0,49
Aleación de base Cobalto	300	2070	0,5
Cobre Revenido	46	315	0,54
Molibdeno revenido	105	725	0,13
Acero bajo carbono revenido	77	530	0,26
Acero 1045 rolado en caliente	140	965	0,14
Acero 1112 revenido	110	760	0,19
Acero 1112 rolado en frío	110	760	0,08
Acero 4135 revenido	147	1015	0,17
Acero 4135 rolado en frío	160	1100	0,14
Acero 4340 revenido	93	640	0,15
Acero inox 302 revenido	190	1300	0,3
Acero inox 304 revenido	185	1275	0,45
Acero inox 410 revenido	140	960	0,1



CIB-ESPOL

Los valores de K y n son característicos de cada material y su condición, estos valores se los obtiene experimentalmente en pruebas de tensión. El valor de n se puede interpretar como un índice de endurecimiento, pues

mientras más alto es su valor se va a poder esforzar el material a mayor grado antes de que empiece a ocurrir un adelgazamiento de sección o acuellamiento. Cuando el índice de deformación es igual a n es cuando se da la máxima carga en el cuello.

Esta relación nos es útil mientras el material no presente una sensibilidad apreciable a la velocidad de deformación, esta sensibilidad se presenta cuando se aumenta la temperatura.

Entonces debe reconocerse que temperaturas son consideradas altas para cada material y aplicar la relación apropiada. El efecto de la velocidad de deformación es generalmente expresada (ref. 7):

$$\sigma = C \dot{\epsilon}^m$$

$$\dot{\epsilon} = -\frac{v}{l}$$

Podemos realizar un proceso de manufactura a temperatura ambiente y bajo índice de velocidad o a altas temperaturas y altos índices de velocidad y obtener la misma resistencia final.

TABLA 2.2 (ref. 7)

RANGO DE VALORES APROXIMADOS PARA C Y m PARA VARIOS METALES REVENIDOS A INDICES DE DEFORMACIÓN ENTRE 0,2 A 1				
MATERIAL	TEMPERATURA	C		
		psi x 10 ³	Mpa	m
ALUMINIO	200-500	12-2.	82-14	0,07-0,23
ALEACIONES DE Al	200-500	45-5.	310-35	0-0,2
COBRE	300-900	35-3.	240-20	0,06-0,17
ALEACIONES DE Cu	200-800	60-2.	415-14	0,02-0,3
PLOMO	100-300	1,6-0,3	11-2.	0,1-0,2
MAGNESIO	200-400	20-2.	140-14	0,07-0,43
ACERO BAJO C	900-1200	24-7.	165-48	0,08-0,22
ACERO MEDIO C	900-1200	23-7.	160-48	0,07-0,24
ACERO INOXIDABLE	600-1200	60-5.	415-35	0,02-0,4

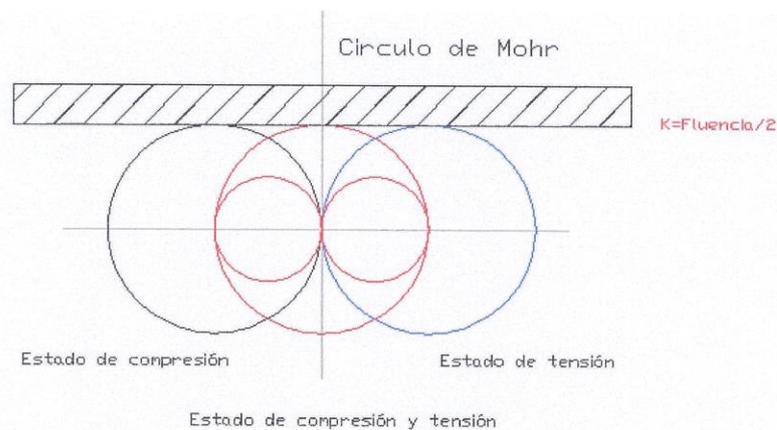
Ahora que ya podemos determinar los esfuerzos, las cargas las obtenemos de los criterios de Von Mises o de Tresca. El criterio de tresca establece (ref. 7):

$$\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{2} = \frac{\tau}{2} \leq 2k$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{2}{3}(\epsilon_1 - \epsilon_3)$$

FIGURA 2.1

CIRCULO DE MOHR



En el esquema podemos observar que cualquier combinación de esfuerzos está limitada por un techo K, sin embargo cuando no se pueden reducir los esfuerzos este techo se puede variar variando la temperatura.

El criterio de Von mises establece que la distorsión es la causa de la fluencia, matemáticamente se expresa (ref. 7,9) :

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_{\text{fluencia_equivalente}}^2$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]^{1/2}$$



CIB-ESPOL

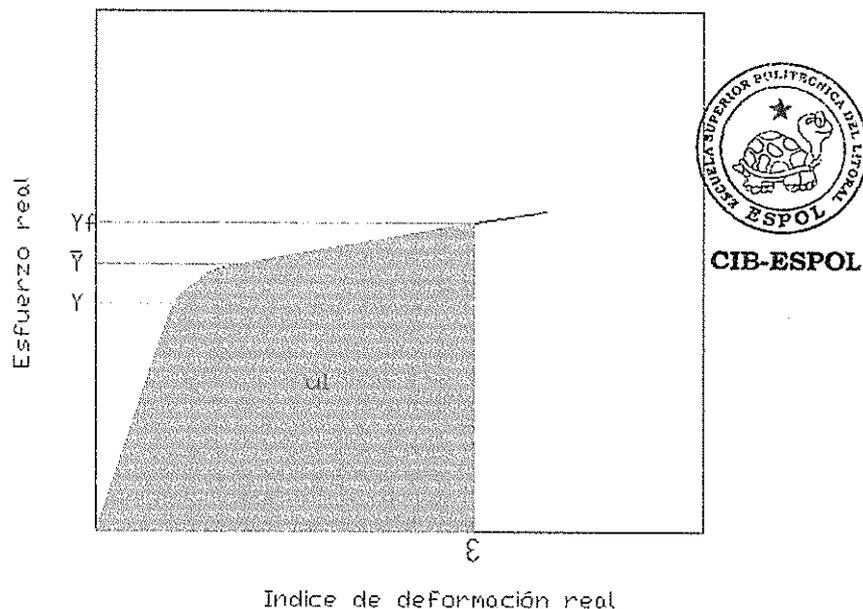
Cabe resaltar que cuando se aplican estos criterios al diseño elástico, el esfuerzo de fluencia resultante se lo denomina esfuerzo efectivo y lo que se desea es representar el estado triaxial de esfuerzos de forma uní axial para contrastarlo con el esfuerzo de fluencia del material obtenido en pruebas de tensión en una dirección, que son los datos que se encuentran mayormente documentados. En el diseño plástico este esfuerzo efectivo se encuentra entre el esfuerzo de fluencia plástico y el límite de fluencia. El esfuerzo de fluencia plástico es el esfuerzo real requerido para provocar una deformación plástica continua a una deformación particular, aunque para materiales endurecibles por deformación hay un esfuerzo de fluencia plástico para cada estado de deformación. También está definido el índice de deformación para un estado mas general.

Los otros factores como las tolerancias el diseño y costo de herramental etc. dependen del proceso en sí y serán discutidos particularmente.

Es importante, la evaluación del trabajo que se debe realizar para deformar un material. El trabajo está definido "fuerza por distancia" en dirección colíndar a la fuerza, una cantidad equivalente de trabajo por unidad de volumen es el producto del esfuerzo por el índice de deformación, como la relación entre estas dos variables en el rango plástico depende de la curva particular esfuerzo-deformación, este trabajo se puede visualizar mejor cuando se observa el gráfico, el área bajo la curva.

FIGURA 2.2 (ref. 7)

ESFUERZO REAL VS DEFORMACION REAL



$$u = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma^* d\varepsilon$$

$$u = K \int_0^{\varepsilon_1} \varepsilon^n d\varepsilon$$

$$u = \frac{K\varepsilon_1^{n+1}}{n+1} = \bar{Y} \varepsilon_1$$

Y par una condición mas general de esfuerzo triaxial

$$u = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}^* d\bar{\varepsilon}$$

Y para obtener el trabajo total multiplico u por el volumen de material. Esta energía es la mínima requerida por el material para ser deformado, no hay que olvidar que también se tienen que vencer las fuerzas de fricción y adicionalmente la energía de corte que se produce en el interior del material, denominada redundante, pues no contribuye a la energía que se necesita para que el material cambie su forma.

$$u_{total} = u_{ideal} + u_{fricción} + u_{redundante}$$

2.1 CORTE Y PLEGADO

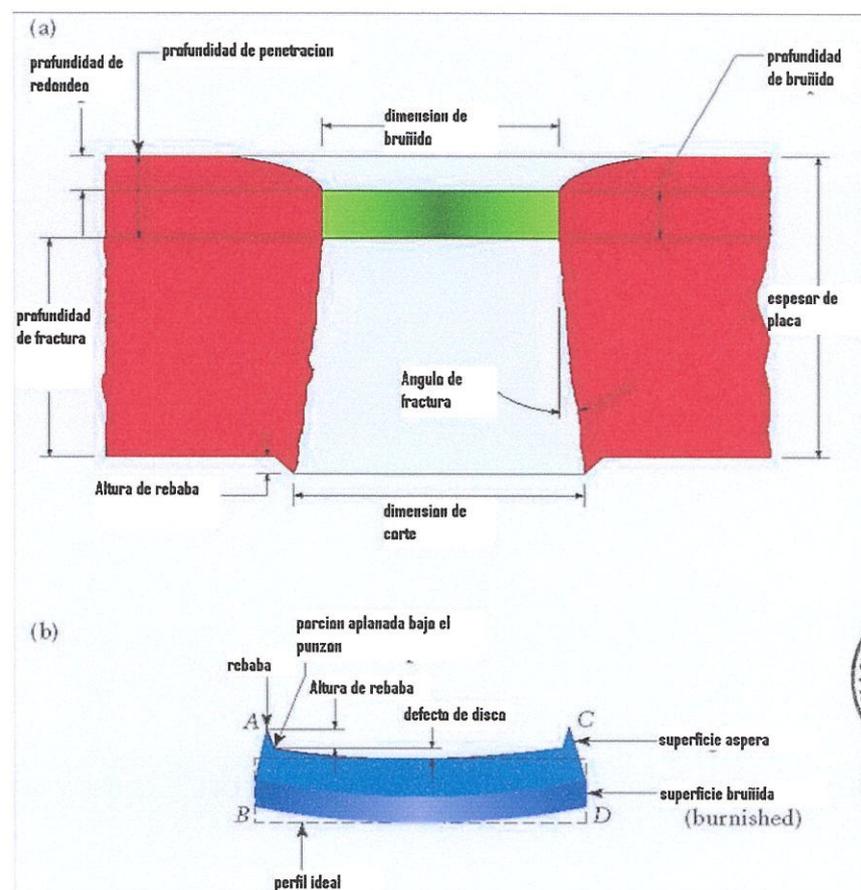
El corte es la operación mas sencillas y generalmente siempre va de la mano con otras operaciones de conformado como operación preliminar, posterior o ambas, como por ejemplo, en las piezas forjadas se requiere cortar el exceso al final, o en una embutición para eliminar los defectos algunas veces

inevitables debido a las heterogeneidades del material en su sentido transversal y axial. etc.

El proceso consiste en la aplicación de fuerzas en sentidos opuestos separadas por un espacio, causando la rotura del material, el espaciado tiene una considerable importancia en la manera en que el metal falla cuando se realiza el corte en matrices y generalmente se lo refiere como un porcentaje del espesor.

FIGURA 2.3

PARTES IDENTIFICABLES EN CORTES



- Redondeado
- Bruñido
- Fractura
- Rebaba

Cuando el espaciamiento es excesivo la chapa se dobla alrededor del radio de las matrices, luego se estira hasta llegar a su resistencia máxima a la tensión para finalmente romperse. Si el espaciamiento es del orden del espesor o hasta un 15% más, entonces se producen regiones en el corte claramente identificadas en la chapa y en el agujero.

Hay que señalar que el material que se encuentra adjunto a la superficie de corte sufre un endurecimiento por trabajo en frío, puesto que las fibras en este sector se van alargando hasta la rotura, cosa que no sucede con el material directamente bajo el punzón debido a que se mueve junto con el y no se deforma.



CIB-ESPOL

Finalmente, con espaciamientos menores al espesor, se producen cortes secundarios, ya que las grietas que se forman en la superficie cercana al punzón y la superficie cercana a la matriz, no se encuentran, estos cortes

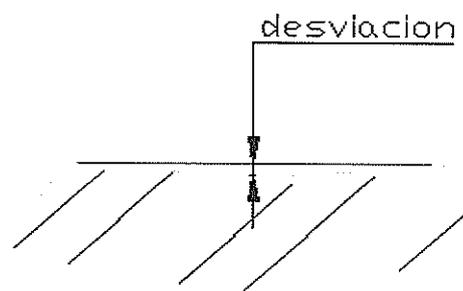
secundarios hacen que el corte desplazado presente desgarramientos irregulares. Por otro lado el agujero presenta un corte totalmente vertical.

Entonces podemos concluir que la selección del espaciamiento va a variar según los resultados que desee obtener. Si el producto de la operación es la chapa, entonces se dimensiona la matriz a esas medidas y según ellas se da el espaciamiento y finalmente las dimensiones del punzón; Si el producto del corte es el agujero, entonces las dimensiones del agujero serán las del punzón y el espaciamiento determinará las dimensiones de la matriz.

Puede ocurrir una distorsión en la parte seccionada debido a que no existe un sostén en la parte inferior de la chapa directamente bajo el punzón.

FIGURA 2.4 (ref. 7)

DISTORSIÓN DE DISCO



CIB-ESPOL

Esto puede remediarse implementando un sistema de resortes debajo del corte o si se posee un cilindro inferior como es nuestro caso.

La fuerza necesaria para realizar un corte está determinada por el área de corte (ref. 9):

$$Fuerza = (Esfuerzo_de_corte)(Perímetro)(espesor)$$



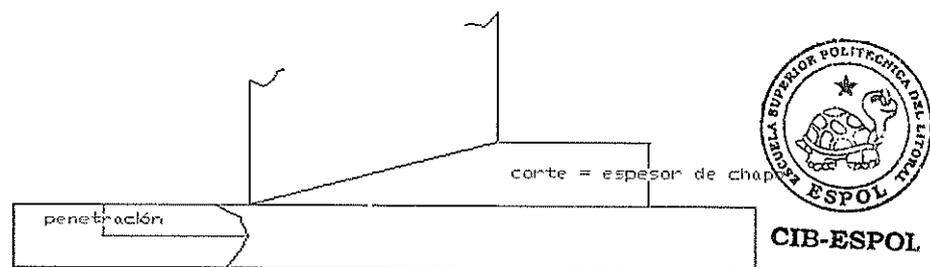
CIB-ESPOL

Esto es cierto siempre y cuando el espaciado entre las matrices no permita que el material se doble y luego se esfuerce a tensión hasta llegar al esfuerzo último y luego romperse.

Un ángulo es deseable si se desea incrementar el rango de trabajo sin aumentar la capacidad de la prensa. A éste ángulo se le denomina shear o ángulo de corte. La pendiente que se forma en la cara que se esfuerza contra el material que se va a cortar ingresa al material de manera progresiva; la ventaja se presenta cuando la herramienta de corte alcanza la penetración del material, entonces la fuerza que se necesitará para el resto del corte disminuirá porque solo sigue la grieta que concentra esfuerzo.

La opción óptima es cuando el corte es igual al espesor, si el corte es igual a la mitad del espesor, el efecto deseado de reducir la fuerza que se tiene que emplear no se logra porque no se alcanza a cortar el material sino con toda la sección del punzón

FIGURA 2.5
CORTE (SHEAR)

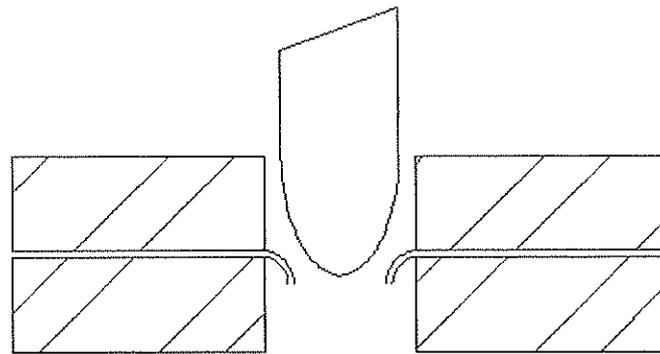


. Si de forma opuesta se aumenta el corte al doble del espesor, la punta del espesor se vuelve muy esbelta y las probabilidades de que se rompan son elevadas, también hay un excesivo desgaste.

Otra operación de corte que podemos emplear en nuestro equipo es el piercing o penetrado en el que lo importante es la forma del agujero, que posee un perfil adecuado para el paso suave de fluidos, para esto se cambia la matriz, que tiene la forma de una bala y que rompe centralmente y después deforma el material.

Con todos los parámetros anteriormente expuestos podemos determinar un rango de operación fijando el diámetro y el material un A36.

FIGURA 2.6
PERFORADO (PIERCING)



Podemos ver, en el gráfico siguiente, que la capacidad de la prensa es suficiente para realizar corte de agujeros en una gran variedad de espesores. Podríamos aprovechar ésta capacidad para realizar múltiples agujeros en un solo ciclo e trabajo.

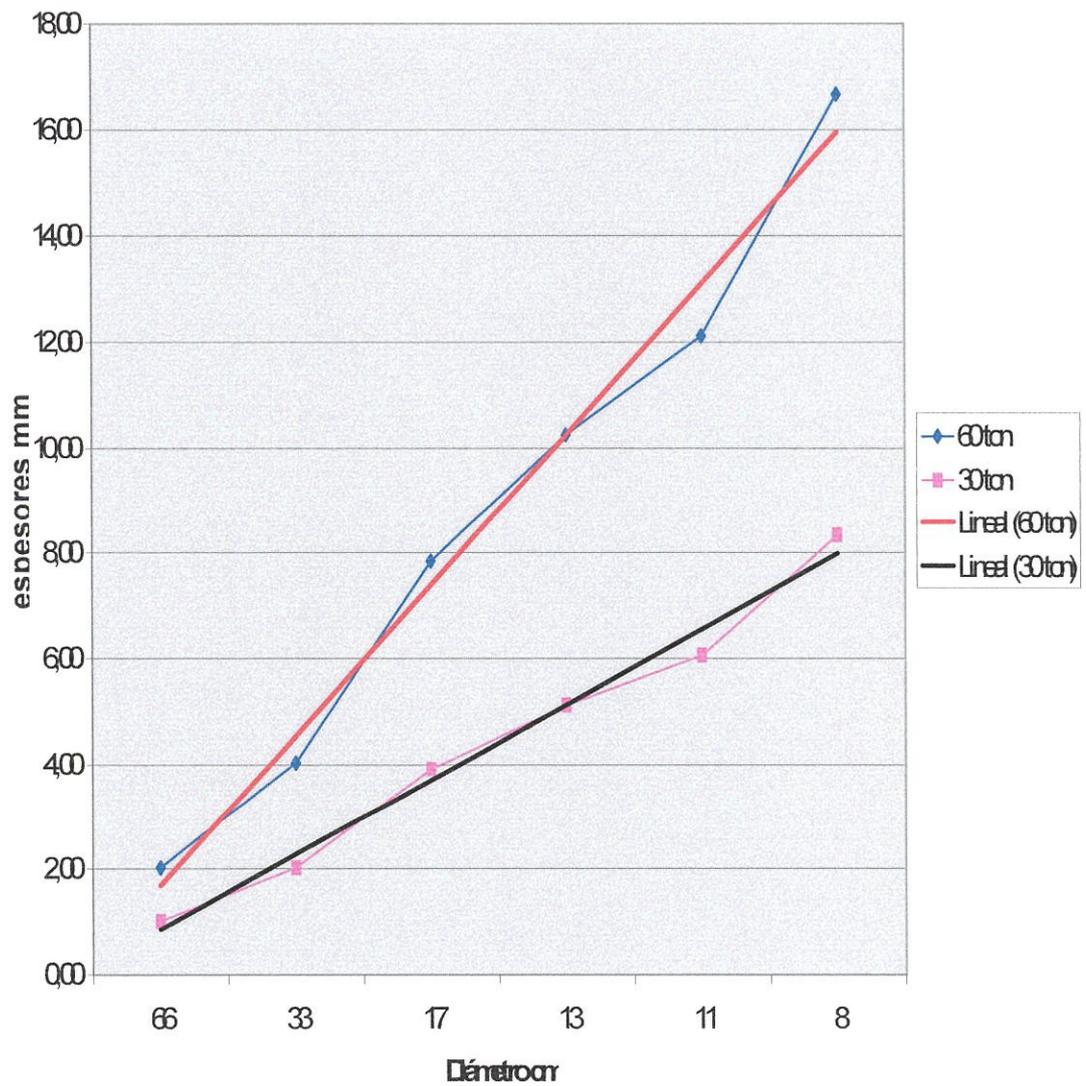
Para el dimensionamiento del herramental tomaremos la curva lineal izada de 294000 N (30 ton), el diámetro de 8 centímetros que perforará un espesor de 8 milímetros como podemos observar en el grafico 2.1.

El plegado o doblado es una operación que puede efectuarse con herramientas manuales en un taller casero, por lo que la prensa en el taller de metalurgia no tendrá problemas para realizar este tipo de trabajo, la forma

que se quiere terminar determina la dificultad del proceso, que radica en la forma de la matriz y como la fuerza se va ejerciendo sobre el metal.

GRAFICO 2.1

ESPEORES QUE PUEDEN SER PERFORADOS EN LA PRENSA





CIB-ESPOL

En cuanto los límites físicos, el espesor y el área efectiva ponen límites a lo que se puede realizar en la prensa.

Las fuerzas aplicadas para plegar son contrarias o en direcciones opuestas, igual que en corte, la diferencia está en el espaciamiento entre ellas, lo que favorece a que las fibras sufran distorsión plástica sin llegar a la falla.

La fuerza así aplicada estresa el material en áreas localizadas, específicamente en el radio de acción, el fleje es esforzado en la parte exterior del radio de curvatura a tensión y en el interior a compresión, y el eje neutro se desplaza hacia el interior en aproximadamente 0.4 el espesor, medido desde el radio interno. Así podemos saber el desarrollo del fleje y cortar la longitud correcta.

Cuando se dobla el metal las fibras mas externas alcanzan el rango plástico, pero en ocasiones las fibras mas internas no lo alcanzan y se mantienen en el rango elástico, éstas fibras tratan de regresar a su posición original y provocan un resorteo, el material se devuelve en dirección opuesta a la que fue deformado. Esto se soluciona diseñando la matriz para un sobre doblado.

Las fuerzas para doblar un material se las obtiene modelando la operación como si fuera una viga, la cual puede ser empotrada o simplemente apoyada según la matriz. En nuestro caso y debido a la variedad de trabajos que se pueden realizar modelaremos una viga simplemente apoyada. La falla en una viga de este tipo esta gobernada por las siguientes relaciones (ref. 9):

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$
$$I = \frac{bh^3}{12}$$
$$M = \frac{PL}{4}$$

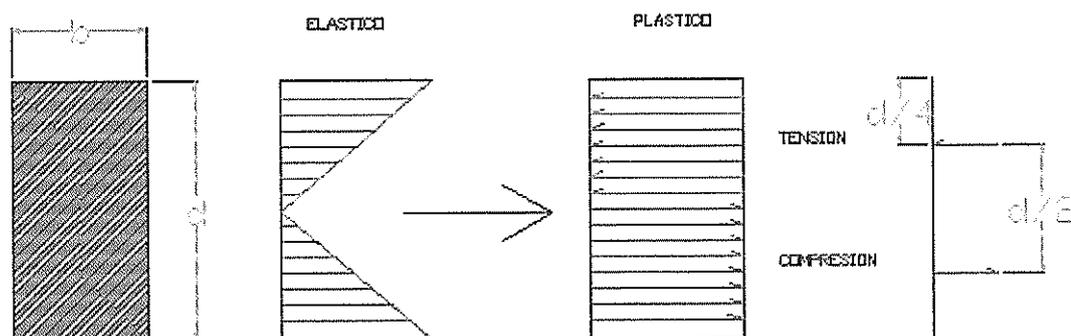
Cuando se reemplaza al esfuerzo por el esfuerzo de fluencia y se cumplen las demás relaciones las fibras exteriores fluyen, nosotros deseamos que todas las fibras alcancen este punto, para ello aumentamos la carga, la cual va a ser soportada por las fibras más interiores ya que las que se encuentran mas lejos ya no pueden resistir mas carga hasta que obtenemos una distribución de la siguiente forma:



CIB-ESPOL

FIGURA 2.7

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS PARA DEFORMACION PLASTICA



Entonces el momento que genera la plasticidad de toda la viga es:

$$M_{plastico} = \frac{\sigma_{fluencia} b d}{2} \left(\frac{d}{2} \right) = \frac{\sigma_{fluencia} d^2 b}{4}$$

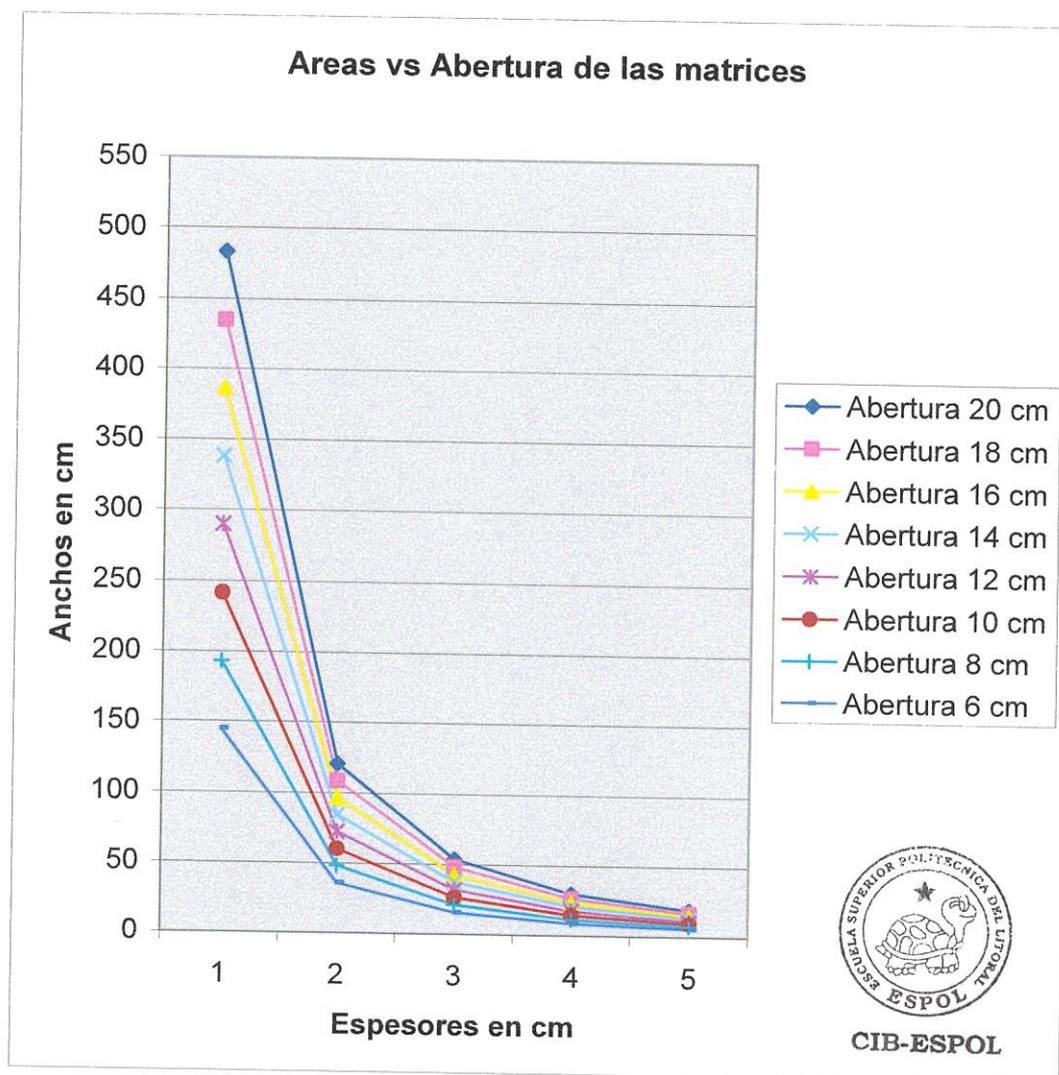
$$\Rightarrow P = \frac{\sigma_{fluencia} d b^2}{4} \left(\frac{4}{L} \right) = \frac{\sigma_{fluencia} d^2 b}{L}$$

Ahora ya podemos saber la fuerza necesaria para plastificar una sección entera. Para tener la capacidad de nuestro equipo en función de lo que puede realizar, fijamos la carga, 588000 N (60 ton), la longitud máxima, 60 cm., y el material, acero A36. Con lo que nos quedan como incógnitas b y d que componen la sección.



CIB-ESPOL

GRAFICO 2.2



Como podemos observar la capacidad no es un problema cuando se trata de doblar espesores comunes, en la práctica se transformará una chapa en un perfil c para lo que necesitamos una matriz en V y un punzón o matriz macho.

Las matrices serán concebidas para doblar espesores de 5 mm a 90 grados para lo que se usarán solo 5 toneladas, la forma de la matriz permitirá doblar hasta 10 mm pero ángulos reducidos y una fuerza de 18375 Kg. Para dimensionar el punzón utilizaremos el criterio de la carga máxima que puede soportar antes de que sobrevenga el pandeo, primero la razón de esbeltez.

$$Sr = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{l * 2.4}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{2.4l}{\sqrt{\frac{b * h^3}{12 * b * h}}} = \frac{2.4l}{\sqrt{\frac{h^2}{12}}} = \frac{2.4l\sqrt{12}}{h}$$

Después de algunas iteraciones selecciono $h = 2$ cm. El cual pudo ser menor en lo que respecta a esfuerzos, sin embargo al doblar un material y dependiendo de éste, hay un radio mínimo de plegado que va de 0.5 a 4 veces el espesor que se puede efectuar sin que se presenten defectos. La matriz se diseña para plegar una placa de 5 mm en un ángulo de 90 grados pero se pueden doblar espesores de hasta 10mm pero menores grados. Con una longitud $l = 10$ cm. debido a que el claro entre la mesa superior y la fija es de 18 cm.

$$Sr = 41.57$$

$$Sr_D = \pi \sqrt{\frac{2 * E}{S_y}} = 126.9$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{Sr * S_y}{2 * \pi} \right)^2$$



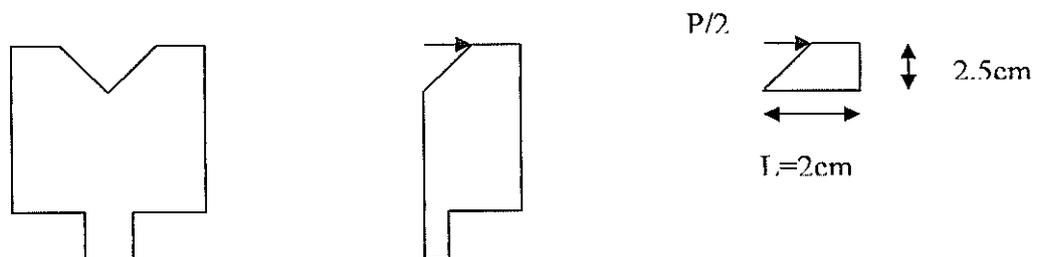
CIB-ESPOL

Comparo los valores de esbeltez y resulta una columna media la cual esta regida por la ecuación de Jonson, el material de prueba para los cálculos es un acero A 36 con una resistencia de 2450 Kg/cm.² y un modulo de rigidez de 207 MPa.

$$P_{cr} = 139ton$$

Lo cual es excesivo sin embargo debido a las limitaciones de forma y a los diseños de más comúnmente empleados en la industria aceptaremos éste valor. El mínimo valor de h es de 5 milímetros para diseños alternos, se mostrará en los planos estas dos opciones. Para el análisis de la matriz hembra necesitamos ver el cuerpo libre

FIGURA 2.8
DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



Estas medidas consideran al punzón y los espesores de lámina que van a embutirse, también toman en cuenta la elasticidad del material, puesto que algunas veces hay que doblar ángulos mayores para contra arrestar lo que se devuelve el material debido a su elasticidad. Podemos modelar la

situación como una viga en voladizo con una carga concentrada en su extremo que es la situación crítica a la que se somete el elemento

$$M = \frac{P * 2.5}{2} = 1.25P$$

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{12 * 1.25PL}{2bL^3} = \frac{1.25 * 6P}{bL^2} = \frac{1.25 * 6(5000) * 9.8 * 10000}{30 * 2^2} = 30.62MPa$$

$$\tau = \frac{P}{Lb} = 8.163MPa$$

$$\sigma_1 = 29.58MPa$$

$$\sigma_3 = -5.086MPa$$

$$\sigma' = 32.28MPa$$

Una vez determinado el esfuerzo equivalente de Von Mises utilizamos un factor de concentración de esfuerzo debido a la unión en la esquina de la matriz $K_t = 1.8$

$$N = \frac{245011262Pa}{1.8 * 32281200Pa} = 4.21$$

El mismo procedimiento es realizado para cuando deseo plegar placas de 10mm de espesor y obtengo un factor de seguridad de 1.07.

Los planos se encuentran en la sección respectiva.

2.2 EMBUTICIÓN SIMULADA DE METALES

La embutición es un proceso de manufactura que transforma una placa plana en un cuerpo hueco mediante la aplicación de una fuerza. Entre los artículos mas comunes producidos por este procedimiento encontramos: bañeras, lavabos de cocina, partes de automóviles, latas (de diferentes tipos de productos y formas) etc.....

Los procesos de conformado se caracterizan por que en ellos no se presenta perdida de material en forma de viruta.

Para llevar a una lámina a una forma final primero hay que cortarla en formas determinadas, esta operación se puede realizar en una prensa o mediante otros procedimientos de corte.

Entonces podemos decir que el proceso de transformar una lámina de un espesor específico en un producto final con una forma determinada tiene que seguir ciertos procedimientos, estos procedimientos, y su cantidad, depende de la complejidad de la forma final.

En general, se pueden mencionar 3 procedimientos comúnmente utilizados:

1. Cortar
2. Doblar
3. Embutir



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Estos procedimientos están sujetos a combinaciones y subdivisiones según lo exija la pieza a conformar.

Cuando mencionamos la complejidad del elemento nos referimos a la cantidad de pliegues o dobleces que pueda presentar, del espesor de la lámina, la cual define la fuerza necesaria para lograr que este fluya por la matriz y también la cantidad de operaciones necesarias para alcanzar las especificaciones.

La calidad del material es otra variable que se debe tomar en cuenta en el proceso de embutición, puesto que, un material más dúctil requerirá menos operaciones que uno que presente más resistencia a ser deformado.

La mayoría de los materiales se pueden embutir con mayor cantidad de procedimientos y tiempo, sometiéndolos a un revenido entre operaciones pero esto queda fuera de límites prácticos y económicos.

Las fuerzas capaces de realizar este tipo de conformado son usualmente aplicadas por prensas de doble acción de ésta manera se puede ejercer una fuerza de sujeción aparte de la de embutición.

La embutición profunda es un término que implica que parte del material que es sujetado en la parte superior de la matriz fluye hacia el interior y éste no

es simplemente estirado. Para el éxito de este tipo de conformado hay que tener en cuenta, aparte de las variables que presenta el producto final que ya fueron discutidas previamente, variables tales como:

1. El radio apropiado de la matriz macho
2. El radio apropiado de la matriz hembra
3. las relaciones máximas de reducción de diámetro de la lámina
4. La fuerza de sujeción de la lámina.
5. la velocidad de conformado.
6. Lubricación



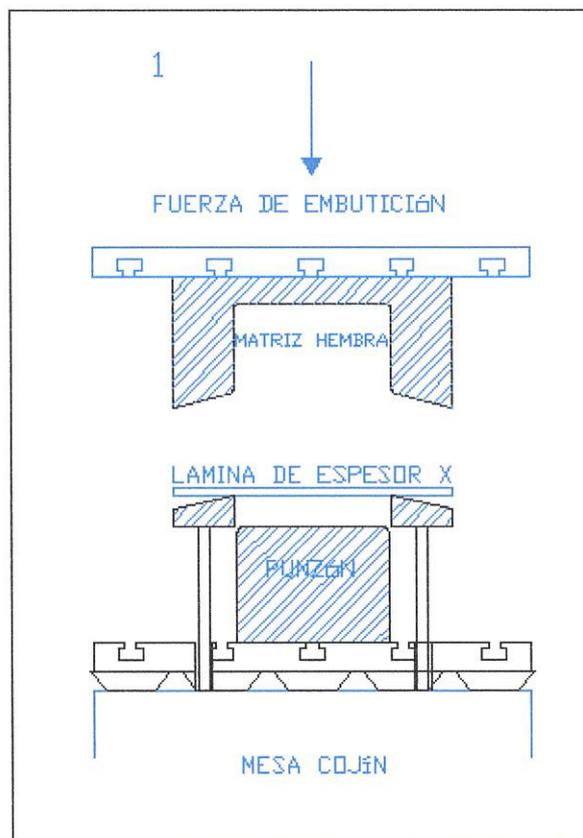
CIB-ESPOL

Los defectos que se pueden presentar cuando no se combinan adecuadamente estas propiedades son:

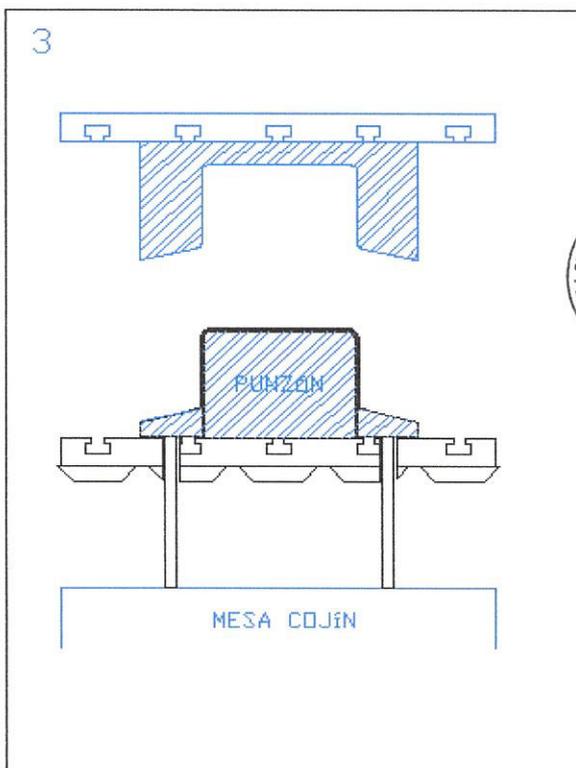
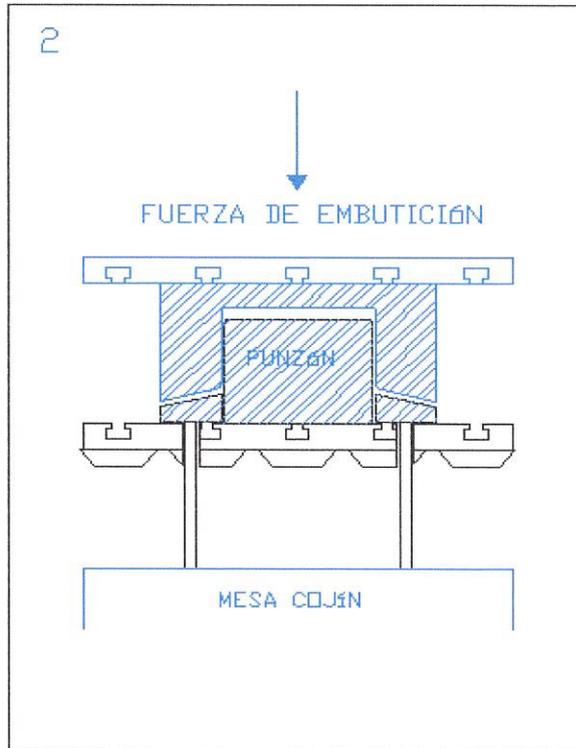
1. El arrugamiento de la lámina en la sección en la que es sujeta, esto se produce debido a que el diámetro exterior de la lámina se reduce y esto provoca un aumento en el esfuerzo circunferencial que si no se limita con una fuerza restrictiva hace que se arrugue el material. Por esta razón también ocurre un aumento en el espesor donde se sujeta la lámina.
2. El rompimiento de la lámina, ocurre cuando se excede el esfuerzo límite permisible en las paredes.

Seguidamente se mostrará un esquema en el cual podemos observar de que manera, en la prensa disponible, podemos dar una forma determinada a una lámina

FIGURA 2.9
PROCEDIMIENTO PARA EMBUTICIÓN



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Posición 4.- Finalmente la mesa cojín regresa a su posición inicial empujando las velas y liberando el material embutido del punzón; culminando con el ciclo.

En este esquema se puede apreciar como la lámina toma la forma del punzón, el éxito de esta acción esta estrechamente ligado a la presión en el anillo de pisado, una excesiva presión impediría que la lámina se vaya desplazando hacia el interior lo que produciría la rotura de ésta y si la presión es escasa los esfuerzos de compresión que se producen cuando las fibras se reacomodan causarían el arrugamiento en la parte exterior de la chapa, estos pliegues interfieren con el proceso mediante el cual se reacomodan las fibras, una vez que éstos ingresan a la sección de las paredes se produce la rotura. Si se registran la formación de pliegues a un solo lado de la pieza, la presión de la pieza no es homogénea, siendo menor en los sitios donde aparecen los pliegues.

La solución está en realizar una alineación del anillo pisador con lanas de algunas décimas de milímetro. Se admiten los siguientes valores de presión media de pisado para calibración de maquinaria:



CIB-ESPOL

TABLA 2.3 (ref. 3)
PRESIÓN MEDIA DE PISADO

Material	Presión(Kg./mm ²)
Aluminio	0,12
Zinc	0,15
Duraluminio	0,16
Latón	0,20
Acero Inoxidable	0,20
Acero	0,25
Chapa estañada	0,30



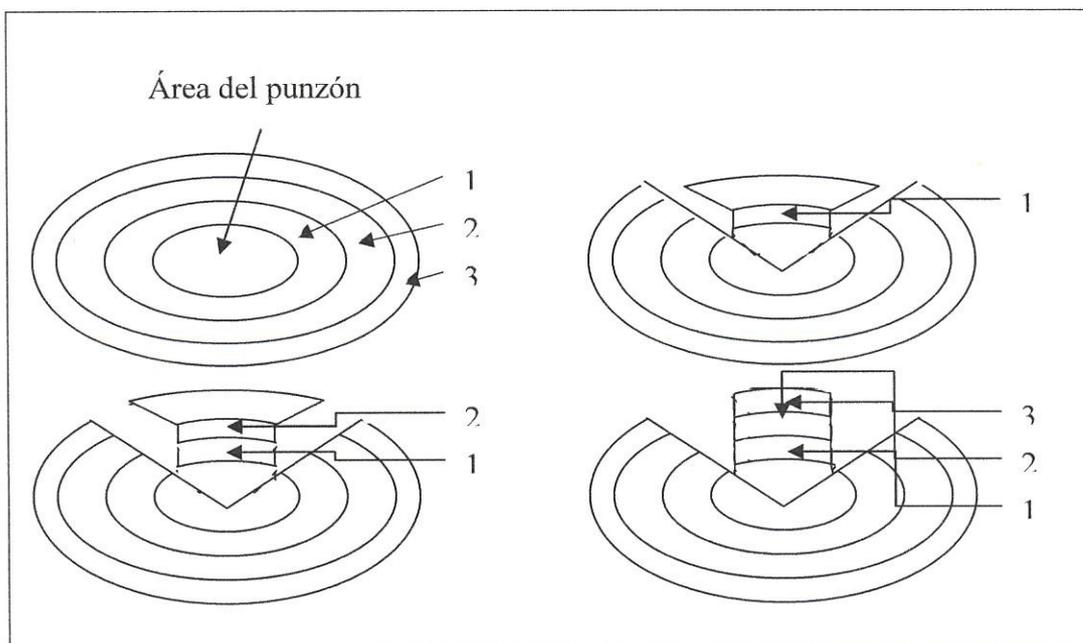
CIB-ESPOL

Se puede pensar que esta presión estira el material y esto es lo que da lugar a las paredes del envase pero no es así, esta influencia existe pero no es muy grande, sin embargo es un poco mayor en el esfuerzo al punzón.

La chapa se desplaza de la siguiente forma:

FIGURA 2.10 (ref. 5)

DESPLAZAMIENTO DE LA CHAPA DURANTE LA EMBUTICIÓN



El área del punzón permanece inalterable durante la aplicación de la fuerza, luego la sección 1 empieza a envolver el punzón dando origen a las paredes y de igual forma lo hacen las secciones 2 y 3 hasta que se conforma un envase de la altura deseada, la sección 2 esta sometida a esfuerzos mayores que la 1 y a su vez la 3 a esfuerzos mayores que la 2.

Las fibras más exteriores se van comprimiendo a medida que van conformando las paredes del cilindro debido a que su diámetro se va reduciendo.

En este proceso se pierde ductilidad la cual puede ser recuperada sometiendo al elemento a un revenido.

Existe una medida de formabilidad la cual puede ser muy útil para determinar si se puede realizar una embutición en una operación.

$$LDR = \frac{\text{Diámetro de lámina mas grande}}{\text{Diámetro del punzón}} = \text{embutición (sin defectos)}$$

Que se ha observado, puede alcanzar hasta valores de 2.5 en metales comúnmente formados, como lo son el bronce, el acero y el acero inoxidable. Ahora bien, se ha hablado de lo importante que es la fuerza de pisado de la chapa, existe también la posibilidad de realizar una embutición exitosa sin esta fuerza, pero la chapa tiene que ser gruesa y no se pueden realizar

reducciones mas allá del 25% lo cual implica que el resultado final tendrá una profundidad menor que si se hubiera utilizado una fuerza resistiva.

La siguiente pregunta a responder sería que fuerza necesito para embutir un espesor específico de material. Para esto se han desarrollado formulas empíricas de las cuales nos valdremos para realizar una prueba.

$$F_{\max} = \pi * n * d * t * Su \text{ (ref. 5)}$$

Relación cuyas variables observamos graficadas en el anexo

Donde n es la razón del esfuerzo de embutición contra la resistencia ultima del material, d es el diámetro del punzón, t es el espesor de la lámina y Su es la resistencia ultima del material



CIB-ESPOL

MATRICES PARA EMBUTICIÓN

La selección de los materiales para el herramental depende de la composición del material a que se va a embutir, su tamaño, su geometría, la cantidad, las tolerancias y el acabado superficial especificado.

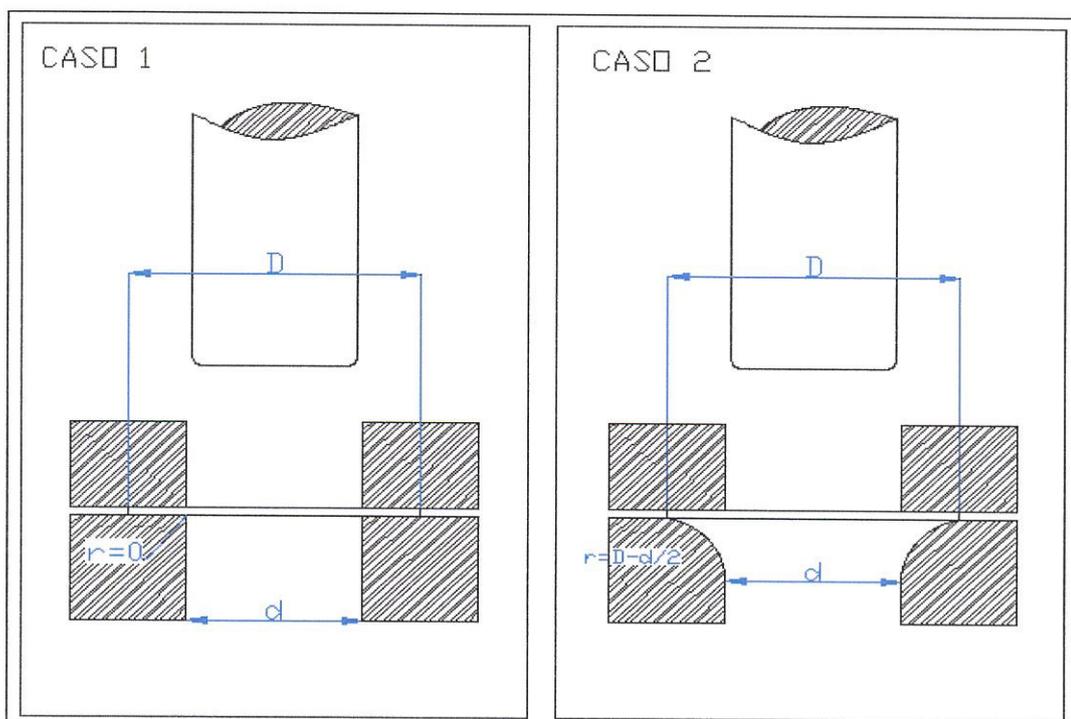
Las variables que influyen ya fueron mencionadas anteriormente, por lo que se discutirán sus efectos. Los radios del punzón y de la matriz junto con el porcentaje de reducción son responsables directos de la carga bajo la cual el fondo se rompe.

Se recomienda que los radios estén en el rango de 5 a 10 veces el espesor de la lámina; este radio tiene una importancia muy grande tanto para la calidad de las piezas como para la distribución de esfuerzos, si las especificaciones de la base obligan a diámetros menores a los mencionados se puede efectuar la embutición a 5 veces el espesor y regolpearlo al radio deseado.

Ejemplifiquemos los casos extremos para la matriz hembra, en los que el radio es cero y en el que el radio es $D-d/2$:

FIGURA 2.11 (ref. 3)

RADIO DE CURVATURA EN LA MATRIZ HEMBRA



Vemos que el caso uno se convierte en una matriz de corte en la que la chapa será simplemente perforada y cuando el radio se hace máximo como en el caso 2 la embutición no es posible debido a la formación de pliegues, lo que nos lleva a la conclusión que el radio óptimo se encuentra:

$$0 < r < \frac{D-d}{2}$$

Se han propuesto algunas teorías, la siguiente por Kackzmarek válida para el acero (ref. 3):

$$r = 0.8\sqrt{(D-d)*e}$$

$$r = 0.9\sqrt{(D-d)*e} \text{ (para aluminio)}$$



En cuanto a la holgura es lógico pensar que mientras mayor sea ésta más fácil de realizar sería la embutición, la experiencia muestra que, efectivamente se torna más fácil la embutición, pero también produce ciertos inconvenientes: un movimiento indeseables del punzón, deformación de las paredes, especialmente en materiales dulces, se recomiendan (ref. 3):

$$\text{holgura} = e + 0.07 * \sqrt{10 * e} \text{ (acero)}$$

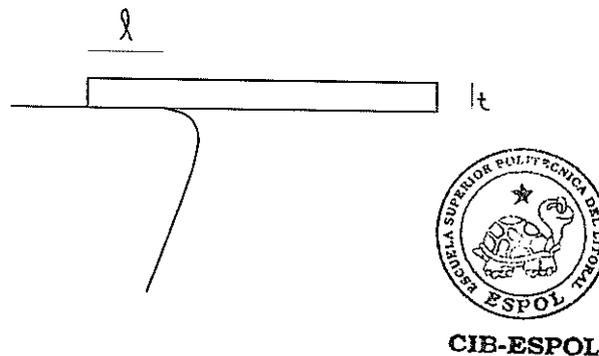
$$\text{holgura} = e + 0.02 * \sqrt{10 * e} \text{ (aluminio)}$$

$$\text{holgura} = e + 0.04 * \sqrt{10 * e} \text{ (demás metales no ferrosos)}$$

El flujo de material hacia el interior de la matriz hembra se controla con un pisador, ésta fuerza debe ser la mínima necesaria pero suficiente para evitar que se produzcan arrugas, usualmente es de un tercio de la fuerza de embutición, pero la regulación precisa del equipo requiere que se realicen pruebas para experimentalmente llegar al valor óptimo.

El radio del punzón se lo hace de 3 a 5 veces mayor que el diámetro determinado para la matriz hembra. Cuando la razón l/t no excede 3 a 1 se pueden embutir aluminio bronce y acero de bajo carbono sin fuerza de pisado.

FIGURA 2.12
EMBUTICIÓN SIN FUERZA DE PISADO



La embutición de láminas gruesa es realizada más comúnmente cuando el diámetro de la chapa no excede 20 veces el espesor

Las velocidades de trabajo en condiciones ideales pueden llegar a 38 cm./seg., normalmente se emplean velocidades de alrededor de 10 a 28 cm./seg. ; las condiciones óptimas son: una buena lubricación, calidad del material que se va a embutir, simetría y geometría de poca severidad, un cuidadoso control de la fuerza de pisado y que la prensa mantenga su integridad durante el trabajo; Si estas condiciones no se alcanzan es mejor realizar el ciclo a bajas velocidades.

La velocidad que tenemos en nuestra prensa, 5 cm./seg. No nos representa un obstáculo para llevar a cabo una embutición con éxito, si lo es, sin embargo, si se quisiese implementar una producción en serie.

Las velocidades recomendadas según los materiales mas comúnmente conformados son:

TABLA 2.4 (ref. 3,7)



VELOCIDADES DE FORMADO PARA EMBUTICIÓN

Material	Velocidad de formado en condiciones ideales(cm./seg)	Velocidad de formado comúnmente empleadas(cm./seg)
Aluminio	76-88	50
Bronce	88-101	75
Cobre	63-76	-
Acero	9-25	25
Acero inoxidable	15-20	20
Zinc	63-76	20

El objetivo de mostrar estos dos valores no es confundir al lector sino, mostrar que más que una regulación de la máquina a valores determinados se debe tratar de alcanzar valores de eficiencia que se reflejan en la velocidad, y al llegar a valores máximos tratar de llevar al proceso a nuevos estándares.

Y finalmente hay que considerar el efecto de la lubricación la cual tiene como función principal evitar que los materiales se suelden en frío.

En la industria se observa el uso de cebo animal, se lo puede conseguir muy barato y ofrece buenos resultados cuando se embute acero inoxidable. Se ha observado que las soluciones de jabón en agua tienen una mayor aptitud que el aceite para retener la chapa. Entonces para grandes reducciones D/d se prefieren los aceites y para pequeñas reducciones soluciones jabonosas. En la literatura encontramos las siguientes recomendaciones: Para el acero una combinación de 25% de grafito en laminillas 25% de cebo de buey 50% de aceite de lardo, la mezcla se debe calentar. Para el latón y en cobre una solución de jabón resinoso o potásico o petróleo grafitado.

Para el aluminio, vaselina de calidad inferior o petróleo grafitado. Para el zinc sebo de buey y para el estaño en seco o petróleo grafitado.

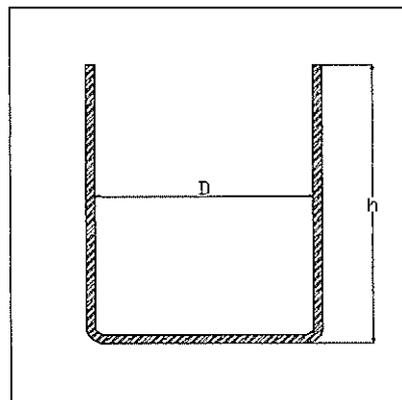
Para la aplicación del lubricante es una mejor práctica hacerlo en la cara opuesta de actuación del punzón y no en toda la superficie, sino solo en la que se espera que haya contacto con la matriz hembra.

PLANEACIÓN DE UNA PRÁCTICA DE EMBUTICIÓN

La reducción máxima que podemos lograr determina la profundidad que alcanzaremos en una operación de embutición. Esto lo podemos observar con el desarrollo del elemento a conformar.

FIGURA 2.13

DESARROLLO



Entonces igualamos las áreas final y la inicial:

Area..chapa..inicial = Area..de..desarrollo..final

$$\frac{\pi D_{chapa}^2}{4} = \frac{\pi D_{fondo}^2}{4} + \pi D_{paredes} h$$

$$D_{chapa}^2 = D_{fondo}^2 + 4 D_{paredes} h$$

$$D_{fondo} \approx D_{paredes} \approx d$$

$$D_{chapa} = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

A este valor se le debe multiplicar un valor que compense el estiramiento.

$$D_{chapa..real} = \sqrt{\alpha} * D_{chapa}$$

En la práctica este valor se lo determina experimentalmente y para la primera prueba se lo toma como 1. El procedimiento es el mismo para perfiles mas elaborados. Los detalles se muestran en los anexos.

Ahora con toda la información podemos formular una práctica. Considerando que la reducción que escojamos determinará el costo de las matrices, como ya habíamos mencionado anteriormente se han alcanzado reducciones de 2.5, Así que empezaremos con una reducción inicial de 1.5, este valor está

y un

diámetro de punzón de 75 mm

$$\frac{D}{d} = 1.5$$

$$75 * 1.5 = 112.5mm$$



CIB-ESPOL

El diámetro de la chapa que necesitamos es de 112.5 mm. Con lo que obtendremos una profundidad de:

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} = \frac{112.5^2 - 75^2}{4 * 75} = 23.4mm.$$

Para conocer la fuerza que necesitamos observamos el gráfico en el anexo, de donde podemos ver que necesitamos 176400 N (18 ton). Para el anillo pisador requiero:

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi(112.5^2 - 75^2)}{4} = 1757.8 * \pi * 0.25 * 9.8 = 13529N$$



CIB-ESPOL

Este es un valor de inicio el cual se lo debe incrementar solo si se presentan pliegues. Y finalmente debemos dimensionar las matrices que necesitamos. Los planos están adjuntados al final.

2.3 FORJA SIMULADA

La forja denota una familia de procesos en la que la deformación plástica se lleva a cabo bajo fuerzas de compresión, es una de las operaciones en metal más antigua, entre los componentes que usualmente encontramos forjados

están los cigüeñales, barras conectoras, engranes, cabezas de pernos, herramientas de mano y gran variedad de elementos estructurales para maquinaria y equipo de transportación. La forja se puede realizar a una gran variedad de temperaturas. Según la cual se dice que el trabajado es en frío, en tibio o en caliente (ref. 7)

$$\begin{aligned} \text{Frio} & \dots \dots \dots \frac{T}{T_{\text{fusión}}} < 0.3 (\text{Kelvin}) \\ \text{Tibio} & \dots \dots \dots \frac{T}{T_{\text{fusión}}} = 0.3 - 0.5 (\text{Kelvin}) \\ \text{Caliente} & \dots \dots \dots \frac{T}{T_{\text{fusión}}} > 0.6 (\text{Kelvin}) \end{aligned}$$



CIB-ESPOL

Se pueden identificar tres formas de forja y sus diferencias radican en las matrices. Las matrices pueden ser abiertas, cerradas o con impresión.

El proceso de forjado consiste en deformar material haciendo uso de la energía cinética de una masa. La habilidad que tienen las prensas mecánicas para provocar un cambio de forma en un material de trabajo depende de la longitud de la carrera y la fuerza disponible en sus diferentes posiciones. En cambio las prensas hidráulicas tienen una capacidad determinada por la fuerza máxima que pueden generar.

Existen algunos tipos de prensas mecánicas las cuales se clasifican según su funcionamiento, el detalle de éstas está fuera del alcance de este trabajo,

por lo que pasaremos directamente a las prensas hidráulicas que es el tipo de prensa que tenemos en el taller de metalurgia.

Existen ventajas y desventajas cuando se selecciona una prensa hidráulica por sobre una mecánica. El problema de selección no existe debido a que ya se dispone de una prensa, sin embargo se mencionaran estos criterios para así tener una visión más general, entre las ventajas tenemos:

1. Que la presión puede ser variada en cualquier punto de la carrera por medio de una válvula
2. Que la velocidad de deformación puede ser controlada en caso de que el material trabajado sea susceptible a ruptura a altas tasas de deformación.
3. Las máximas fuerzas pueden ser limitadas para proteger el herramental

Entre las desventajas tenemos:

1. El costo inicial de una prensa hidráulica es mayor
 2. La acción es mas lenta
 3. El tiempo de contacto del material caliente con la matriz es mayor lo que disminuye la vida útil de las matrices.
-

Las velocidades y capacidades de las prensas hidráulicas que son comúnmente empleadas varían de 1 a 12.5 cm./seg. Y de 200 a 14000 tonf. Como podemos ver la velocidad de nuestra prensa está dentro del rango de velocidades normalmente utilizadas, pero nuestra disponibilidad de fuerza es inferior, lo que nos puede indicar de antemano que los materiales que podremos forjar deberán ser los que presenten una mejor forjabilidad y las geometrías deberán ser simples.

Hay muchas variables que interviene en la forja entre las más importantes debemos observar:

1. La carga requerida
2. La geometría
3. La lubricación.
4. (El material) el esfuerzo de fluencia el cual se va incrementando a medida que la temperatura baja y aumenta la deformación



CIB-ESPOL

Ya que tenemos a disposición lo necesario para aplicar una fuerza, debemos determinar como deben ser las matrices que debemos usar y los materiales que se pueden forjar con la fuerza máxima disponible.

El forjado ayuda a la homogenización, disminuye la porosidad, acaba con la segregación, produce una estructura de grano fibrosa que mejora las propiedades mecánicas en el sentido paralelo al del flujo del grano.

MATRICES PARA FORJAR



CIB-ESPOL

Las matrices que se pueden emplear pueden ser de dos tipos según si se desea una forja de matriz abierta, de impresión o cerrada. Para decidir que tipo de proceso me es conveniente empezar debo tener en consideración los siguientes factores:

1. Es mejor un proceso de matriz abierta cuando el producto final es demasiado grande como para realizarse en una matriz cerrada
2. Cuando las propiedades mecánicas finales solo se puede alcanzar en un proceso de matriz abierta
3. Cuando la cantidad requerida es muy pequeña como para justificar el costo de las matrices cerradas
4. Cuando la fecha de entrega es muy cercana y no hay tiempo para la fabricación de matrices cerradas.

En las matrices cerradas se pueden elaborar formas complejas igual que en las matrices abiertas, sin embargo en las cerradas lo único que se requiere es ubicar el material a la temperatura adecuada. En las matrices abiertas se requiere cierta habilidad de la persona que maneja el material, las formas y la cantidad determinan que conviene utilizar

Las características que deben poseer las matrices para forjar son:

1. El material que las compone debe tener una facilidad para endurecerse
2. Debe ser resistente al desgaste
3. Debe ser resistente a la deformación
4. Debe presentar una resistencia a la fatiga térmica

Si el diseño no es bueno se presenta un desgaste prematuro o se llega al rompimiento;

Mientras mayor sea la capacidad de endurecimiento el material, mayor será la profundidad en que se endurezca, esto depende de la composición, en general mientras mas elementos aleantes, mayor facilidad de endurecimiento.

El desgaste se manifiesta en un cambio gradual de dimensiones causado por corrosión disolución o abrasión, siendo este ultimo el que presenta los

Una vez que la masa ya se encuentra en las proporciones correctas en las posiciones requeridas, entonces se coloca el material en una impresión preliminar a la final, la cual es conveniente que sea mas angosta y profunda y con un volumen que sea igual al que se necesita en la impresión final, minimizando el desgaste

Los insertos a las matrices son una opción conveniente desde el punto de vista práctico y económico ya que reduce el mantenimiento de las matrices a un cambio de insertos que puede realizarse de forma más rápida. Estos se colocan donde el desgaste es excesivo.

Existen algunos inconvenientes operacionales que también se deben tener en mente, La aplicación de la fuerza sobre una matriz con formas que favorecen a deslizamientos obliga a tener cuidado en el diseño de la matriz, tratando de equilibrar las fuerzas sobre ella lo mejor posible, y desalineamientos en la máquina los cuales se pueden compensar con desalineamientos compensatorios en la matriz

DISEÑO DE LA PREFORMA

El material fluye de dos maneras, de forma vertical y horizontal, en algunos casos se mueve en ambas formas combinadas, lo que se desea de una

matriz preliminar a la matriz final es que se llene completamente del material forjado sin fallas.

Algunos lineamientos para lograr un diseño exitoso son:



CIB-ESPOL

1. Las áreas de las secciones transversales a lo largo de las secciones transversales deben ser iguales a las áreas transversales de la forma definitiva con un aumento que corresponde al flashing.
2. Todos los radios cóncavos de la preforma deben ser mayores que los de la parte forjada
3. De preferencia se debe procurar que el material fluya en su mayor parte en forma lateral en ésta última etapa.

Un método para desarrollar esta impresión preliminar es mediante prueba y error determinando que sectores necesitan un mayor maquinado o cambio de forma, éste método es costoso y requiere de tiempo. Otra forma de llegar a un diseño es usar materiales más suaves sobre matrices más económicas; materiales tales como plomo, cera, polímeros; y las matrices pueden hacerse en madera, plásticos duros o metales de baja resistencia que no signifiquen un costo excesivo.

Las matrices pueden ser forjadas o fundidas; las forjadas presentan una mayor resistencia que sus similares fundidas lo que obliga a estas últimas a

tener espesores mayores que a su vez las hace masivas, sin embargo, las matrices fundidas tienen sus ventajas, son más económicas puesto que requieren menos maquinado, poseen una micro estructura con una dispersión de carburos más uniforme y en general propiedades más uniformes.

La composición de los materiales que más comúnmente se emplean en matrices a continuación:



TABLA 2.5 (ref. 5)

CIB-ESPOL

COMPOSICION DE MATERIALES PARA HERRAMENTAL DE FORJA									
Designación	C	Mn	Si	Co	Cr	Mo	Ni	V	W
De base de Cromo									
H10	0,40	0,40	1,00		3,30	2,50		0,50	
H11	0,35	0,30	1,00		5,00	1,50		0,40	
H12	0,35	0,40	1,00		5,00	1,50		0,50	1,00
H13	0,38	0,30	1,00		5,25	1,50		1,00	
H14	0,40	0,35	1,00		5,00				5,00
H19	0,40	0,30	0,30	4,25	4,25	0,40		2,10	4,00
De base de tungsteno									
H21	0,30	0,30	0,30		3,50			0,45	9,00
H22	0,35	0,30	0,30		2,00			0,40	11,00
H23	0,30	0,30	0,30		12,00			1,00	12,00
H24	0,45	0,30	0,30		3,00			0,50	15,00
H25	0,25	0,30	0,30		4,00			0,50	15,00
H26	0,50	0,30	0,30		4,00			1,00	18,00
De baja aleación									
ASM 6G	0,55	0,80	0,25		1,00	0,45		0,10	
ASM 6F2	0,55	0,75	0,25		1,00	0,30	1,00	0,10	
ASM 6F3	0,55	0,60	0,85		1,00	0,75	1,80	0,10	

Las causas por las cuales fallan las matrices son: Sobrecarga, la cual se presenta cuando las propiedades del material de las matrices no son

suficientes para soportar las exigencias del trabajo requerido, entonces con una correcta selección del material y un diseño adecuado se evita esta complicación.

Una sobrecarga debido a una capacidad de la prensa mayor a la que puede soportar la matriz no debería compensarse con un sobrecalentamiento del material.

Otra causa de falla es la abrasión la cual esta presente en forma inherente en el proceso, una forma de controlar esto es teniendo un registro, es decir, medir el desgaste producido después de determinada cantidad de ciclos de forja, y con esto sacar una cantidad aproximada de ciclos en que la matriz todavía se mantenga dentro de un rango de tolerancia, el cual es determinado por el uso de la pieza a producir..

Y finalmente, tenemos el sobrecalentamiento, a medida que la matriz aumenta su temperatura, disminuye su resistencia al desgaste.

Si se desea optar por la opción de una matriz cerrada entonces se pretenderá elaborar formas complicadas en menos ciclos asumiendo un mayor gasto en la fabricación de las matrices. Primero se corta el lingote a la longitud en la cual el volumen de material sea el mismo del de la pieza

terminada añadiéndole el volumen del flash y un excedente adicional para poder maniobrar el material.

Las limitaciones yacen en los tamaños máximos que se pueden calentar, es decir en el equipo de temperatura, también en la capacidad de maniobrar el material caliente, esto puede ser con máquinas o con personal adecuado. En nuestro caso y el mas general se tendrán que planificar tamaños cuyo peso pueda ser manejado por una o dos personas. Es por eso que gran parte de las piezas elaboradas en matrices cerradas no pasan de 1 Kg.

Una recomendación cuando se forja en matrices cerradas es la de realizar un precalentamiento para que no se produzca rotura debido a un calentamiento de forma muy rápida cuando entra en contacto con la masa a ser forjada; este puede ser de entre los 200 grados hasta 315 grados.

MATERIALES A SER FORJADOS

Los materiales usados deben tener una baja resistencia a la fluencia para que las presiones en las matrices se encuentren dentro de los límites prácticos, es decir resistencias alcanzables y facilidad de manufactura otra característica deseable es que no falle al deformarse.

La siguiente lista muestra de arriba hacia abajo los materiales según su forjabilidad

TABLA 2.6 (ref.5)

FORJABILIDAD DE MATERIALES

Aleaciones por orden de dificultad en la forja	
Materiales mas forjables	Temperaturas de forja °C
Aleaciones de aluminio	400-500
Aleaciones de magnesio	250-350
Aleaciones de Cobre	600-900
Acero de bajo contenido de carbono	850-1150
Acero inoxidable martensítico	1100-1250
Acero inoxidable austenítico	1100-1250
Aleaciones de Níquel	1000-1150
Aleaciones de titanio	700-950
Superaleaciones de base de Hierro	1050-1180
Superaleaciones de base Cobalto	1180-1250
Aleaciones de Niobio	950-1150
Aleaciones de tantalio	1050-1350
Aleaciones de molibdeno	1150-1350
Superaleaciones base Níquel	1050-1200
Aleaciones de tungsteno	1100-1300
Materiales menos forjables	

El calentamiento del material a ser forjado debe ser cuidadoso para evitar una descarburización y el cracking debido a un rápido calentamiento.

Abordaremos los cuatro primeros materiales en la lista y luego seleccionaremos uno de ellos. En los aceros al carbono y de baja aleación la temperatura de forjado es influenciada por el contenido de carbono,



CIB-ESPOL

elementos aleantes, rango de temperatura óptima de plasticidad, siendo el contenido de carbono el factor más determinante.

TABLA 2.7 (ref.5)
TEMPERATURAS DE FORJA

Temperaturas de forjado para varios aceros al carbono y aleados		
ACERO	ELEMENTOS ALEANTES	TEMPERATURA DE FORJA °C
1010		1315
1015		1315
1020		1290
1030		1290
1040		1260
1050		1260
1060		1180
1070		1150
1080		1205
1095		1170
ACEROS ALEADOS		
4130	Cromo, molibdeno	1205
4140	Cromo, molibdeno	1230
4320	Níquel, Cromo, Molibdeno	1230
4340	Níquel, Cromo, Molibdeno	1290
4615	Níquel, Molibdeno	1205
5160	Cromo	1205
6150	Cromo, Vanadio	1215
8620	Níquel, Cromo, Molibdeno	1230
9310	Níquel, Cromo, Molibdeno	1230

Para obtener estos valores se somete a una barra a una prueba de torsión a una tasa de deformación constante a diferentes temperaturas hasta la fractura y se determina en que prueba se presenta la mayor cantidad de

deformación, la temperatura de aquella prueba es la temperatura en que el material fluirá mas antes de presentar fallas. Ahora como podemos ver estas son temperaturas que no se pueden alcanzar en un horno de combustión económicamente. Lo que puede hacerse es un forjado a temperaturas menos óptimas, esto implicará una menor velocidad de deformación, que en nuestro caso ya es lo suficientemente baja.

Los requerimientos de presión de forjado aumentan a medida que los porcentajes de reducción de área aumentan, también a mayor cantidad de elementos de aleación y a mayor velocidad de deformación.

Si el material que se espera forjar es el aluminio el rango de presiones necesarias es muy amplio, la razón de esta amplitud es que depende de la composición química de la aleación, el proceso empleado, la tasa de deformación, la lubricación y la temperatura del material y la matriz.

En comparación con el acero, este puede ser más o menos difícil de forjar según como se encuentren los factores arriba ya mencionados.

En general para las aleaciones de aluminio a medida que se aumenta la temperatura aumenta la forjabilidad, un dato que hay que tomar en cuenta es que las series 2XXX y 7XXX son particularmente difíciles de forjar.



La diferencia entre forjar al valor mínimo del rango de la tabla y su valor máximo correspondiente se traduce en un aumento de la resistencia a la fluencia de hasta un 25%, este dato también presenta una variabilidad según la velocidad de deformación a la que se procese el material.

Las aleaciones de aluminio mas comúnmente forjadas son:

TABLA 2.8 (ref. 5)

FORJADO DE ALUMINIO Y SUS TEMPERATURAS

Aleaciones de aluminio en la forja	
Aleacion	Temperaturas de forja °C
1100	315-405
2014	420-460
2025	420-450
2219	425-470
2618	410-455
3003	315-405
4032	415-460
5083	405-460
6061	430-480
7010	370-440
7039	380-440
7049	360-440
7050	360-440
7075	380-440
7079	405-455



CIB-ESPOL

También podemos observar en la tabla que el rango no es muy amplio lo que supone dificultades prácticas puesto que las pérdidas de temperatura al

ambiente se presentan con mayor velocidad cuando el delta T es alto, y de ahí viene la importancia de precalentar las matrices cuando se forja aluminio. En prensas hidráulicas la forja del aluminio se realiza isotérmica mente entre 315 y 430 °C. Se debe tomar en cuenta el espacio debido a la contracción, el cual es mayor que en otros metales, para el diseño de las matrices. La diferencia más significativa, en las matrices, cuando se forja aluminio es que la dureza necesaria no es tan alta como la que se requiere en otros materiales.

Siguiendo con otra opción, nos referiremos al cobre, La aleación de ésta familia que se presenta más fácil de forjar es la C37700 la cual se puede llevar a un producto final con fuerzas substancialmente menores que las que se requieren para forjar la misma pieza en acero. 90% de los productos forjados se los realiza en 1 o 2 ciclos directamente en la impresión final.

La forjabilidad relativa de las aleaciones de cobre en caso de que se desee seleccionar se muestra en Anexos.

Algunas aleaciones de cobre no pueden ser forjadas en grado significativo porque se fracturan, el plomo mejora la fluidez de esta familia. Las temperaturas de forja recomendadas para algunas de estas aleaciones son:



CIB-ESPOL

TABLA 2.9 (ref. 5)

FORJADO DE COBRE Y SUS TEMPERATURAS

Temperaturas recomendadas para forjar cobre	
Aleación	Temperaturas de forja °C
C18200	650-760
C37700	650-760
C46400	595-705
C64200	730-900
C67500	595-705

Se maneja un dato general para las fuerzas requeridas para trabajar el cobre, se estima que por cada pulgada cuadrada de área se necesitará 40 toneladas de fuerza. Al igual que el aluminio también es una práctica usual el precalentar las matrices en un rango de 150 a 315 grados centígrados.

Y finalmente revisaremos al magnesio, la forjabilidad de esta familia de aleaciones depende de tres factores: La temperatura sólida de la aleación, la tasa de deformación, y el tamaño de grano. Se recomienda el uso exclusivo de lingotes forjados

El magnesio fluye mejor lateralmente que longitudinalmente esto es importante considerar antes de diseñar las matrices, las cuales también deber ser precalentadas.

La fricción es importante en la forja debido a que existe un movimiento relativo entre el material y la superficie de la matriz. El efecto barril es la muestra mas clara, se presenta en matrices abiertas y es la transformación de la muestra inicialmente cilíndrica a una forma de barril. Este defecto también se produce cuando la temperatura del material es superior a la ambiental y las matrices no se calientan, el material en contacto con la superficie se enfría más rápido y debido a esto es más resistente que el resto y se deforma en menor medida.

La distribución de fuerzas en una placa forjada, asumiendo que esta restringida de moverse en una de sus direcciones es (ref. 7):

$$P = \frac{2\sigma_{fluencia}}{\sqrt{3}} e^{\frac{2\mu(x-a)}{h}}$$

$$P_{promedio} = \frac{2\sigma_{fluencia}}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{\mu * a}{h} \right)$$

Con la presión promedio podemos calcular las fuerzas que provocaran un cambio de forma, y con el conocimiento de nuestras limitaciones de fuerza podemos obtener las máximas deformaciones. En nuestro caso analizaremos formas cilíndricas ya que solo tendremos dos variables, radio y altura, y no tendremos que fijar una de ellas como en el caso de la placa plana.



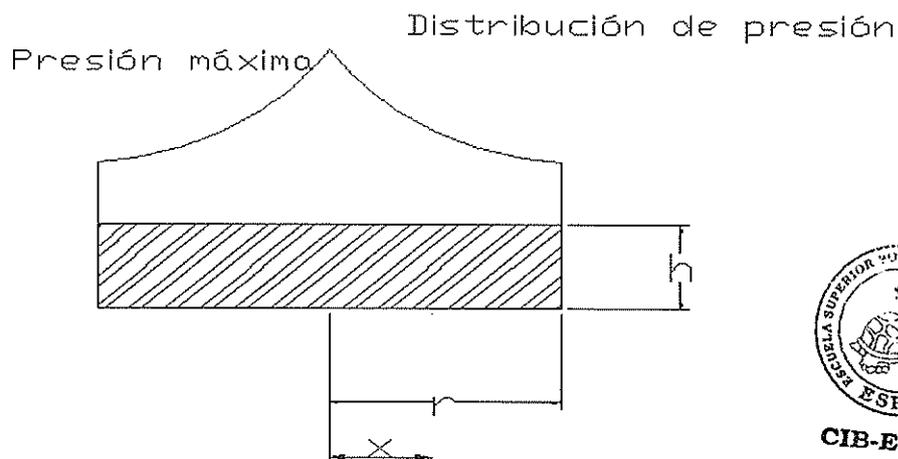
$$P = \sigma_{fluencia} e^{\frac{2\mu(r-x)}{h}}$$

$$P_{promedio} = \sigma_{fluencia} \left(1 + \frac{2\mu * r}{3h} \right)$$

$$F = P_{promedio} \pi * r^2$$

FIGURA 2.14 (ref. 7)

DISTRIBUCION DE PRESION EN UN DISCO AL FORJAR



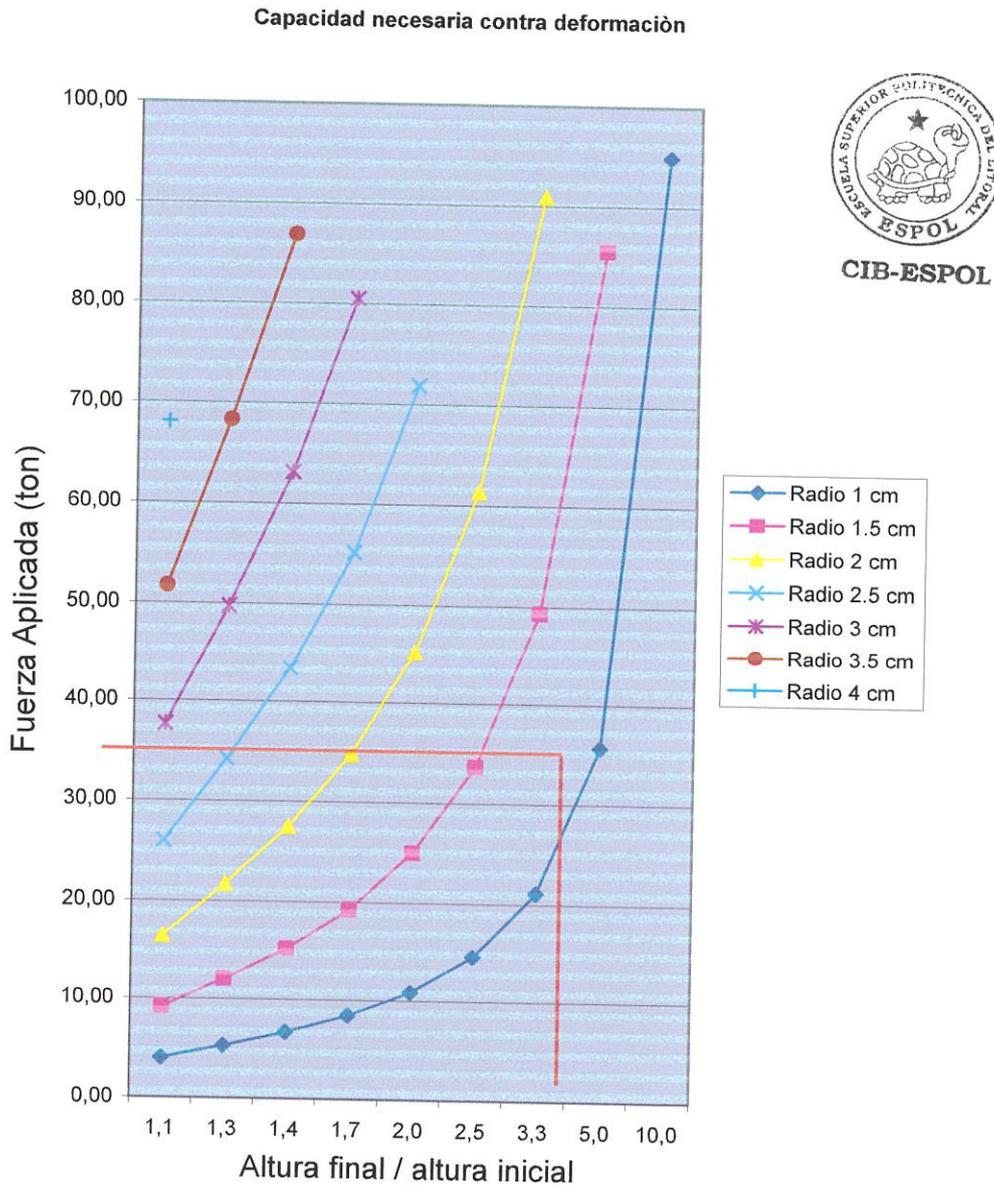
El factor de rozamiento puede estimarse inicialmente entre 0.05 y 0.1 cuando se forja en frío y entre 0.1 y 0.2 cuando la forja se realiza en caliente, estos valores pueden ser mayores si el lubricante no se encuentra uniformemente distribuido o si hay secciones que carecen de éste.

Existe un límite superior de presión, cuando el producto del factor de rozamiento por la presión es mayor a la condición de fluencia ocurre una

fluencia local en la interfase que conduce a una deformación desigual a lo largo de la pieza.

GRAFICO 2.3

CAPACIDAD DE FORJAR UN ALUMINIO 1100 CONTRA DEFORMACION



$$P_{promedio} = \sigma_{fluencia} \left(1 + \frac{2\mu r}{3h} \right)$$

$$\sigma_{fluencia} = K\varepsilon^n$$

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{h}{h_0} \right)$$

$$K = 180 MPa$$

$$n = 0.2$$



CIB-ESPOL

Arriba tenemos una de las curvas de operación de un material aluminio 1100 revenido, para otros materiales sus respectivas tablas están en apéndices

Cuando en la forja se utilizan matrices con impresiones el material adquiere las formas de las cavidades, algo de este material fluye radialmente y fluye fuera de las matrices y forma un flash, el cual debido a su alta razón de largo-espesor, está sometido a altas presiones que se traduce en una resistencia friccional elevada.

Si el forjado se realiza a temperaturas mayores a la del ambiente, el flash se enfría más rápido y muestra mayor resistencia lo que favorece al llenado de las cavidades. Cuando las formas tienen diferentes secciones la resistencia a lo largo de toda la pieza resultante varía puesto que la velocidad de deformación no es igual en todas partes, la variación está en función de los factores n y m . Por todas estas dificultades se optó por una aproximación dependiendo de la complejidad de la pieza

$$F = K_p \sigma_{fluencia} A_{proyectada} \text{ (ref. 7)}$$

Para el diseño del herramental optaremos por matrices abiertas planas para las cuales ya tenemos las fuerzas en la gráfica anterior, tomaremos la curva correspondiente a un radio de 1.5 cm. Con su intersección con una fuerza de 294000 N (30 ton) y al proyectar al eje de las equis tenemos una razón de altura inicial/final de 2.3.

Para el herramental se necesitan dos placas que funcionen a compresión, La altura la determina el espaciamiento entre la mesa fija y la mesa móvil superior y el radio o en nuestro caso el área transversal dependerá de las formas que se deseen forjar, por ejemplo si se desea que el radio final de una sección forjada tenga 20 cm. Entonces las matrices deben tener una sección tal que puedan soportar uniformemente toda la pieza, el acabado superficial es importante debido a que el factor de fricción aumenta la fuerza de forja y produce fallas de forja si no es el adecuado. Los demás detalles dimensionales se encuentran en los planos.



CIB-ESPOL

2.4 EXTRUSIÓN DE MATERIALES NO FERROSOS

La extrusión es un proceso de deformación usado para producir productos metálicos largos y semiterminados como barras de secciones sólidas o huecas, perfiles especiales, con propiedades mecánicas que solo se pueden obtener mediante ésta práctica.

El principio consiste en empujar un material a través de una sección inferior a la que originalmente tiene el lingote que va a ser trabajado. Este proceso puede ser realizado a altas temperaturas o a temperatura ambiente dependiendo de la aleación y el método utilizado.

Los usos de la extrusión parecen infinitos y representan una gran parte del consumo del metal. La industria de la transportación está encontrando nuevos usos, también en la arquitectura se emplea éste proceso con fines decorativos, de igual forma en la industria agrícola y en la milicia.

Los materiales y las facilidades que presentan para ser extruidos dependen de sus propiedades, la longitud del lingote, la lubricación, la forma de la matriz, la calidad que se desea al final, las temperaturas, y la fuerza.

Debido que se busca la aplicabilidad de la prensa en este proceso, nos limitaremos a los materiales que más fácilmente se pueden trabajar, estos

son el plomo, el estaño, algunas aleaciones de aluminio y de magnesio y el zinc. Estos materiales también se pueden clasificar como materiales de extrusión a bajas temperaturas, puesto que son trabajados entre 0°C y 600°C.

No se presenta un aumento en la resistencia del plomo ni del estaño puesto que éstos poseen temperaturas de recristalización inferiores a la temperatura ambiente. El factor limitante en este proceso generalmente lo determinan los esfuerzos en el herramental.

El aluminio presenta aún mas posibilidades en lo que se refiere a productos utilizables y a resistencia, entre las aleaciones mas empleadas se encuentran las de Aluminio-magnesio-Silicio, Aluminio-Magnesio, Aluminio-Cobre. Las principales áreas de aplicación son las de arquitectura y construcción de vehículos. Los lingotes utilizados son homogeneizados debido a que la condición de fundición no resulta en una calidad satisfactoria.

Las aleaciones que se recomienda utilizar para pruebas en la prensa son las de alta pureza de aluminio, AA1060, AA1100, AA3003, AA6061, AA6063, AA6101, AA6463.



CIB-ESPOL

Y los tratamientos que se pueden emplear para mejorar la calidad del lingote y así mejorar la calidad del producto final están especificados en el apéndice junto con aleaciones seleccionadas.

Cuando se extruye un material, éste forma un patrón de flujo en el contenedor. Mientras mas área muerta se presente en las cercanías de la sección reductora mayor será la cantidad de defectos que encontremos en el producto terminado. Esto sucede porque las fibras exteriores del lingote entran el flujo de conformado y van a formar parte del producto extruido. Esta sección de material muerto se puede reducir mediante una buena lubricación o aumentando la temperatura de la matriz. Se puede investigar el patrón con materiales de prueba suaves como el plomo o el estaño; partiendo el lingote a la mitad, rayando una matriz en su parte media y posteriormente uniendo nuevamente éste lingote.

Se pueden adoptar tres enfoques para la obtención de la fuerza necesaria para extruir, cuando la deformación es ideal, cuando la deformación es ideal y se considera la fricción y la forma empírica. Cuando la deformación no es homogénea, las expresiones analíticas con todas las variables que intervienen, fricción, trabajo redundante y ángulo de la matriz, pueden ser difíciles de encontrar. Por lo que inicialmente aplicaremos la relación que



CIB-ESPOL

incluye la fricción y se propondrá el pasar a la formula empirica para tener una curva de funcionamiento mas cercana a la realidad.

$$p = \sigma_{fluencia_plástico} \left(\frac{2 * L}{D_0} + 1.7 \ln(R) \right)$$

$$\frac{2 * L}{D_0} = a \quad (\text{ref. 7})$$

$$1.7 = b$$



CIB-ESPOL

Para materiales que aumentan su resistencia con la deformación el esfuerzo de fluencia plástico debe ser promedio, hemos agrupado valores y variables y les hemos asignado el valor de a y b, que empíricamente fluctúan entre 0.8 y 1.3 respectivamente.

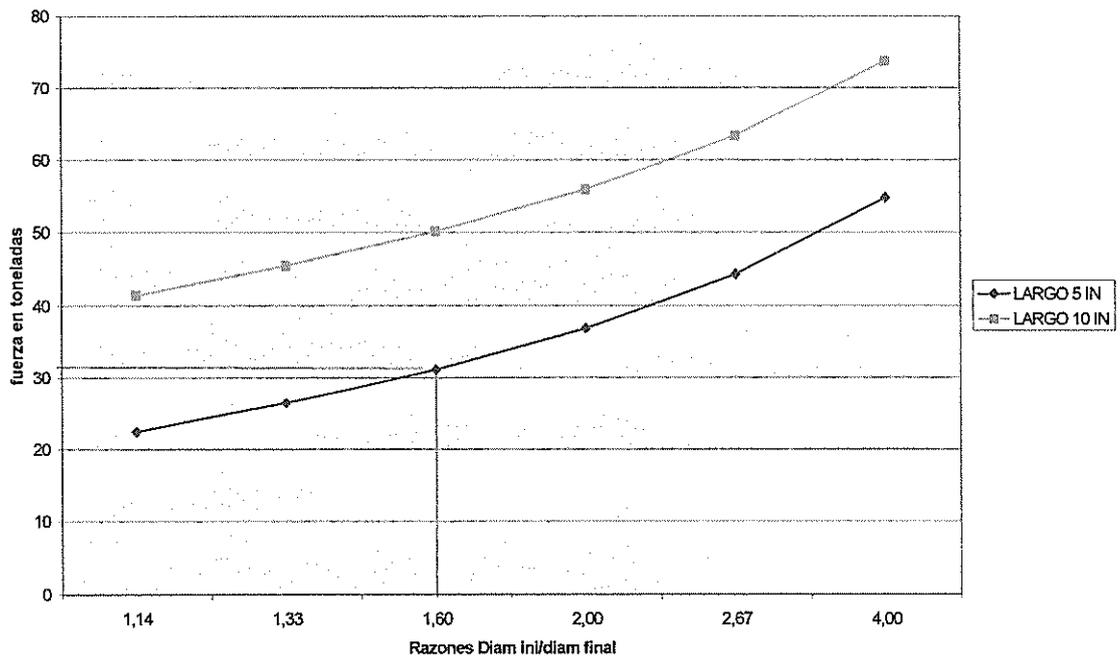
Aunque la extrusión en caliente es preferible puesto que las fuerzas son menores, modelaremos un procedimiento de extrusión de plomo a temperatura ambiente dejando abierta la posibilidad de realizar una variación y efectuar el proceso en caliente que en el plomo son 250 °C. Con la ayuda de la formula obtendremos una tabla de las posibles reducciones y longitudes de lingotes.

Para el diseño del herramental tomo el punto medio de operación para un lingote de 122mm(5pulg.) de largo y una reducción de 1.6 por conveniencia. La fuerza requerida es de 303800 N (31 ton) y la presión ejercida es de 38MPa(5582 psi) Con esta información podemos dimensionar el herramental.

Las matrices para extrusión están conformadas por un contenedor para el lingote, una cabeza para presionar el lingote y un conjunto matriz que esta conformada por el elemento que va a tener la impresión a la que se desea llegar y los soportes de este elemento que tiene la función de distribuir los esfuerzos en un mayor volumen y también que sea mas económico el mantenimiento, pues solo se necesitaran cambiar pequeñas partes y no todo el conjunto.

GRAFICO 2.4 EXTRUSION DE PLOMO

Rango de operación de la prensa para lingotes de plomo

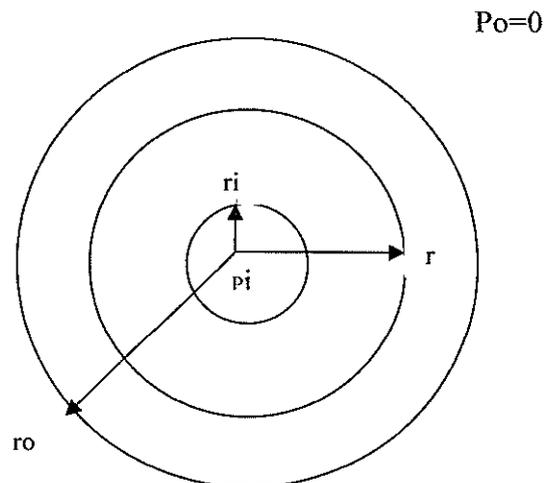


Para el contenedor del lingote se ha adoptado uno que está compuesto en tres cilindros concéntricos ensamblados con interferencia, esta interferencia produce una presión que contrarresta la presión interior, que es la que causa los esfuerzos críticos, y reduce el volumen del herramental, también tiene la ventaja de que se puede cambiar la parte interior cuando el desgaste de este elemento lo mande.

Se utilizarán las ecuaciones para cilindros de pared gruesa para evaluar los esfuerzos.

FIGURA 2.15

CILINDRO PARA CONTENER LINGOTE DE EXTRUSION



CIB-ESPOL

Para el cilindro interior, en el radio interior, que es la parte más crítica.

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_o^2 P_i}{r_o^2 - r_i^2} = \frac{P_i (r_i^2 - r_o^2)}{r_o^2 - r_i^2} = -P_i$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_o^2 P_i}{r_o^2 - r_i^2} = \frac{P_i (r_i^2 + r_o^2)}{r_o^2 - r_i^2}$$

Estos esfuerzos son debidos a la presión interna, ahora se deben superponer los esfuerzos provocados por la presión externa a causa d la interferencia de los cilindros, Los esfuerzos axiales son nulos porque los extremos del cilindro se encuentran libres.

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_s r^2}{r^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r^2 (P_i - P_s)}{r_x^2 (r^2 - r_i^2)} = -\frac{P_s r^2}{r^2 - r_i^2} + \frac{r^2 P_s}{r^2 - r_i^2} = 0$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2 - P_s r^2}{r^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r^2 (P_i - P_s)}{r_x^2 (r^2 - r_i^2)} = -\frac{P_s r^2}{r^2 - r_i^2} - \frac{r^2 P_s}{r^2 - r_i^2} = -\frac{2r^2 P_s}{r^2 - r_i^2}$$

Entonces los esfuerzos en la pared interior son el resultado de la suma

$$\sigma_r = -P_i$$

$$\sigma_t = \frac{P_i (r_i^2 + r_o^2)}{(r_o^2 - r_i^2)} - \frac{2P_s r^2}{r^2 - r_i^2}$$

El mismo procedimiento se repite para las demás superficies y obtenemos los siguientes resultados

Para la pared exterior del cilindro interior



CIB-ESPOL

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) - P_s$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) - \frac{P_s (r^2 + r_i^2)}{r^2 - r_i^2}$$

Para la pared interior del cilindro exterior

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) - P_s$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) + \frac{P_s (r^2 + r_i^2)}{r^2 - r_i^2}$$

Para la pared exterior del cilindro exterior

$$\sigma_r = 0$$

$$\sigma_t = \frac{2P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{2P_s r^2}{r_o^2 - r^2}$$

El valor numérico de P_s es función de la interferencia diametral de los radios y de las rigideces de los materiales

$$P_s = \frac{0.5\zeta}{\frac{r}{E_o} \left(\frac{r_o^2 - r^2}{r_o^2 + r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} \left(\frac{r^2 - r_i^2}{r^2 + r_i^2} - \nu_i \right)}$$

Después de algunas iteraciones se optó que los cilindros sean del mismo material con un módulo de rigidez de 207 MPa un módulo de poisson de 0.27 y una interferencia FN1 la cual está especificada en el plano, hay que tener especial cuidado con esta medida pues una interferencia mayor ocasionaría



la falla en el radio interior del cilindro exterior. La presión interna se la redondeo a 37.92MPa (5500 Psi). Los radios son 5, 5.3 y 6 cm.

Con todos estos valores y obteniendo el esfuerzo efectivo de von Mises resultan:

$$\sigma'_{i1} = 164.7MPa$$

$$\sigma'_{e1} = 148.5MPa$$

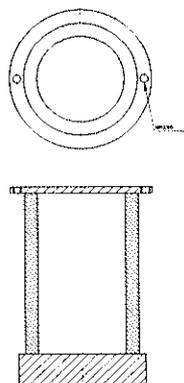
$$\sigma'_{i2} = 235.4MPa$$

$$\sigma'_{e1} = 193.4MPa$$

Estos valores se dan cuando la interferencia es máxima, es decir 0.004572 cm. Con un material A36 con una resistencia de 245 MPa, Factor de seguridad 1.01.

Hay que resaltar que el radio interior va unido con la necesidad de los 37.92MPa (5500 Psi) fijando una fuerza de 303800N (31ton)

Para presionar el lingote en el cilindro se utilizaran dos placas circulares unidas por un cilindro.



CIB-ESPOL

$$Area = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi * (5.7^2 - 3.9^2)}{4} = 27 \text{ cm}^2$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi(D^4 - d^4)4}{64 * \pi(D^2 - d^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(D^4 - d^4)}{(D^2 - d^2)}} = 2.835 \text{ cm}$$

$$S_{r_d} = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}} = 129.1$$

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{1 * 13}{1.72} = 4.6$$

$$P_{cr} = A \left(S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_r * S_y}{2\pi} \right)^2 \right) = 646800 \text{ N}$$

$$N = 1.1$$



CIB-ESPOL

Tomando en cuenta el diámetro interior del contenedor de 100 realizo los cálculos con un diámetro de cilindro de 90 milímetros al exterior para que haya espacio para soldadura. La longitud es de 13 cm. para cubrir la longitud del contenedor y el espacio entre la mesa móvil superior y la mesa fija inferior.

El diámetro interior resulta 69 mm, el espesor de la pared 1.08 cm.

En lo que se refiere a la matriz se modelo el elemento como si se lo forjara esto permite que el elemento no presente problemas en lo que se refiere a esfuerzos, sin embargo se puso especial atención en la forma y se siguieron las recomendaciones según el material que se utilizara, el plomo. Los detalles se encuentran en los planos adjuntos.

2.5 FUNDICIÓN CON SOLIDIFICACIÓN A PRESIÓN DE METALES CON BAJO PUNTO DE FUSIÓN.

También se la conoce como formado de metal líquido, es un proceso en el cual el metal fundido se solidifica bajo presión dentro de matrices cerradas en una prensa hidráulica.

La presión aplicada y el contacto instantáneo del metal fundido con la superficie de la matriz producen una condición de transferencia de calor que resulta en una constitución de grano fino con propiedades mecánicas cercanas a las que se obtienen en los productos forjados. En este proceso se pueden obtener las mejores propiedades mecánicas posibles en un proceso de fundición.

El procedimiento no es complicado, primero se vierte la colada en una matriz, la presión se aplica poco después de que el material ha empezado a solidificarse y ésta se mantiene hasta que todo el material se haya solidificado por completo. Las presiones para evitar poros producto de los gases van de 55 a 100 MPa (8 a 15 Ksi) . Las aleaciones que poseen amplios rangos de temperaturas de solidificación son las que mejor se acomodan para éste proceso de fundición a presión.



CIB-ESPOL

Las variables que se deben controlar para lograr un producto de buena calidad son:

- Volumen de la colada.- Se vierte el volumen adecuado de material para evitar que se den extrusiones locales
- La temperatura de la colada.- La colada está de 6 a 55 °C por sobre las temperatura líquida
- Temperatura de las matrices.- Se mantiene las temperaturas entre 190 y 315 °C (375 a 600 °F) en la matriz hembra y el punzón a una temperatura de 15 a 30°C por debajo de las primeras. En la matriz hembra no se recomiendan temperaturas superiores debido a que resulta en defectos en la superficie o soldado entre las piezas
- Tiempo de retraso.- Es el lapso de tiempo que transcurre desde que se vierte la colada hasta que el punzón empieza a ejercer un trabajo sobre ella.
- Los niveles de presión.- Estos varían de 50 a 140 MPa (7.5 a 20 Ksi), y se determinan experimentalmente. Es importante mencionar que existe una presión óptima por sobre la cual no se logra ninguna ventaja mecánica adicional.
- Duración de la aplicación de la presión.- Se ha encontrado que tiempos de 30 a 120 segundos son satisfactorios para 9 kilos de material, pero esto también está sujeto a la forma de la pieza y el material. Esta variable también presenta un valor óptimo por sobre el

cual no se logran ventajas. Otra regla que se suele usar y puede ser útil como un punto de partida es un segundo por milímetro de sección de espesor

- Lubricación.- Para el aluminio, magnesio y cobre el grafito se ha mostrado como un buen lubricante, Para materiales ferrosos se recomienda un recubrimiento cerámico.

Una ventaja que se puede observar en éste proceso de fundición bajo presión son las temperaturas de trabajo, las cuales son menores a las que se deben alcanzar en la fundición convencional, la cual necesita que el material adquiera cierta fluidez para llenar el molde. Y la micro estructura lograda la cual puede llegar a las calidades de los productos de forja.

Para el diseño del herramental se limitará la presión que se puede alcanzar a 10 Ksi y se modelará el elemento como un recipiente cilíndrico de paredes gruesas.

Por conveniencia fijo una fuerza de 30 toneladas, entonces puedo calcular el área interna de la sección que me de la presión antes mencionada.

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{30000}{690} = 43.47 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 43.47}{3.1416}} = 7.44 \text{ cm}$$



Ahora que tenemos el diámetro interior, falta determinar el exterior que soporte la presión máxima requerida. El valor, después de algunas iteraciones, es de 10.6 cm. Con un factor de seguridad de 1.01

$$\sigma_a = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} = 0$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_o^2 r_i^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = 64.27 MPa + 131.8 MPa = 196.08 MPa$$

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_o^2 r_i^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = 64.27 MPa - 131.81 MPa = -67.54 MPa$$

El esfuerzo axial es cero debido a que la sección no está restringida en los extremos, los esfuerzos tangencial y radial son a su vez esfuerzos principales ya que no hay esfuerzos cortantes aplicados. Entonces el esfuerzo equivalente de Von Mises es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_3} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \sigma_r} = 237.1 MPa$$



CIB-ESPOL

Con esto tengo el espesor mínimo de la sección, como se puede ver en el plano las demás secciones tienen un mayor espesor por lo que están dentro de la resistencia del material.

Con estas especificaciones se pretende dar un rango razonable de prueba para la determinación de la presión óptima de trabajo, la que se puede variar, variando la fuerza hasta un máximo de 30 toneladas, después de que se ha identificado ésta presión se puede continuar con la identificación del tiempo mínimo de aplicación de la presión.

Para aplicar la presión se usará una sección tubular y dos placas redondas, esto con el fin de que no sea tan masiva y se transmita de forma efectiva la fuerza a la meza móvil.

Después de varias iteraciones y limitando el diámetro exterior a 57 milímetros obtengo el resto de variables con el siguiente procedimiento.

$$Area = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi * (5.7^2 - 3.9^2)}{4} = 13.5 \text{ cm}^2$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi (D^4 - d^4) 4}{64 * \pi (D^2 - d^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(D^4 - d^4)}{(D^2 - d^2)}} = 1.72 \text{ cm}$$

$$Sr_d = \pi \sqrt{\frac{2E}{Sy}} = 129.1$$

$$Sr = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{1 * 13}{1.72} = 7.6$$

$$P_{cr} = A \left(Sy - \frac{1}{E} \left(\frac{Sr * Sy}{2\pi} \right)^2 \right) = 323576.4 \text{ N}$$

$$N = 1.1$$

El diámetro interior resulta 39 mm.



CIB-ESPOL

CAPITULO 3



CIB-ESPOL

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El hecho de poseer una prensa hidráulica, sin importar el tonelaje, implica un gran potencial para trabajos mecánicos, mientras mayor es la capacidad, mayor es el rango de acción. Entonces una rehabilitación es justificable, y los costos que esto implica no son elevados comparados con el costo de una prensa nueva.

Para poner en actividad nuevamente a la prensa en el taller de metalurgia se siguieron las especificaciones del fabricante las cuales se pueden encontrar en el banco de tesis de la ESPOL, lo que no estaba especificado se lo implementó y probó.

El diseño de una prensa a partir de un producto con especificaciones particulares es recomendable, sin embargo, se nota que en ocasiones el exceso de particularización de las herramientas y los equipos hace que los

proyectos se atrasen o paraliquen debido a que para cada acción se ha estandarizado un procedimiento.

Lo que yo he tratado de establecer en este documento es que tengamos en cuenta el principio de la operación, observemos si las condiciones básicas de trabajo son alcanzables, experimentemos y luego saquemos nuestras propias conclusiones en base a los resultados obtenidos, y poco a poco acercarnos más a las recomendaciones de las normas con las cuales obtendremos los mejores resultados, y no echarnos para atrás al principio porque no alcanzamos las especificaciones de trabajo.

En la industria todos buscan la excelencia, a veces un trabajo bueno es preferible a uno excelente si se consideran los costos y el tiempo.

Para el diseño del herramental se hicieron asunciones que simplificaban el dimensionamiento, sin embargo el uso de la tecnología es necesario si se desea un mejoramiento continuo que poco a poco nos lleve a la reducción de costos y ser mas competitivos.

Las simulaciones de los procesos de manufactura son puntos de partida, no se ha intentado generalizar los procesos, El desarrollo de la calidad del producto se obtiene variando los parámetros, que en algunos procesos son la



CIB-ESPOL

lubricación, velocidad de formado, tiempo de aplicación de la fuerza, temperaturas alcanzadas e incluso la geometría del herramental.

Entonces el equipo puede verse como una prensa de embutición o como un potencial de trabajo, la particularización hace que los costos disminuyan, pero el tener en mente todos los trabajos que puedo realizar es beneficioso y puede convertir una adversidad en una oportunidad y una complicación en una ventaja ante un competidor.

Entre las recomendaciones para aprovechar el potencial del equipo podemos mencionar la variación del herramental, como por ejemplo para forja se puede cambiar la mesa fija para que durante la aplicación de la fuerza la deflexión sea mínima, si se desea modificar la velocidad en forma significativa, se puede cambiar la bomba a una que provea una mayor cantidad de galones por minuto y desarrolle presiones similares, incluso si se desea obtener mayores fuerzas, se puede optar por la aplicación de presiones superiores cambiando las mangueras los manómetros siempre dentro de los límites que permite el espesor de los cilindros, también se puede multiplicar la fuerza con dos cilindros de diferentes áreas, conectados por mangueras hidráulicas. Todas estas variaciones pueden verse como implementación de accesorios los cuales podrían desmontarse a voluntad y así lograr una mayor versatilidad.



ANEXOS.

**Matriz para inyección de botellas plásticas
(Vista frontal, lateral y superior)**

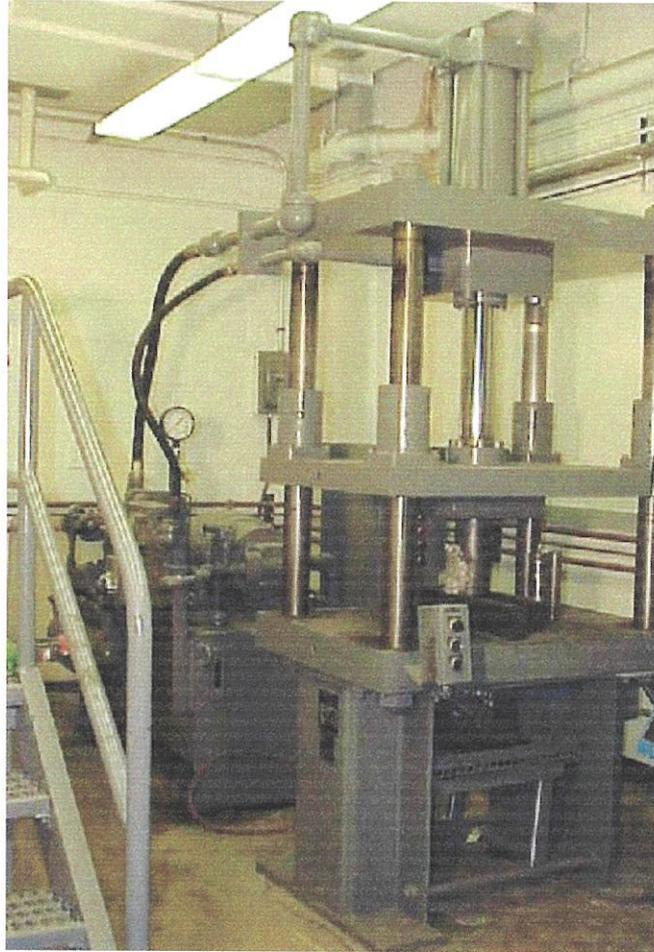


CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Maquina de fundición con solidificación a presión



APENDICES.



CIB-ESPOL

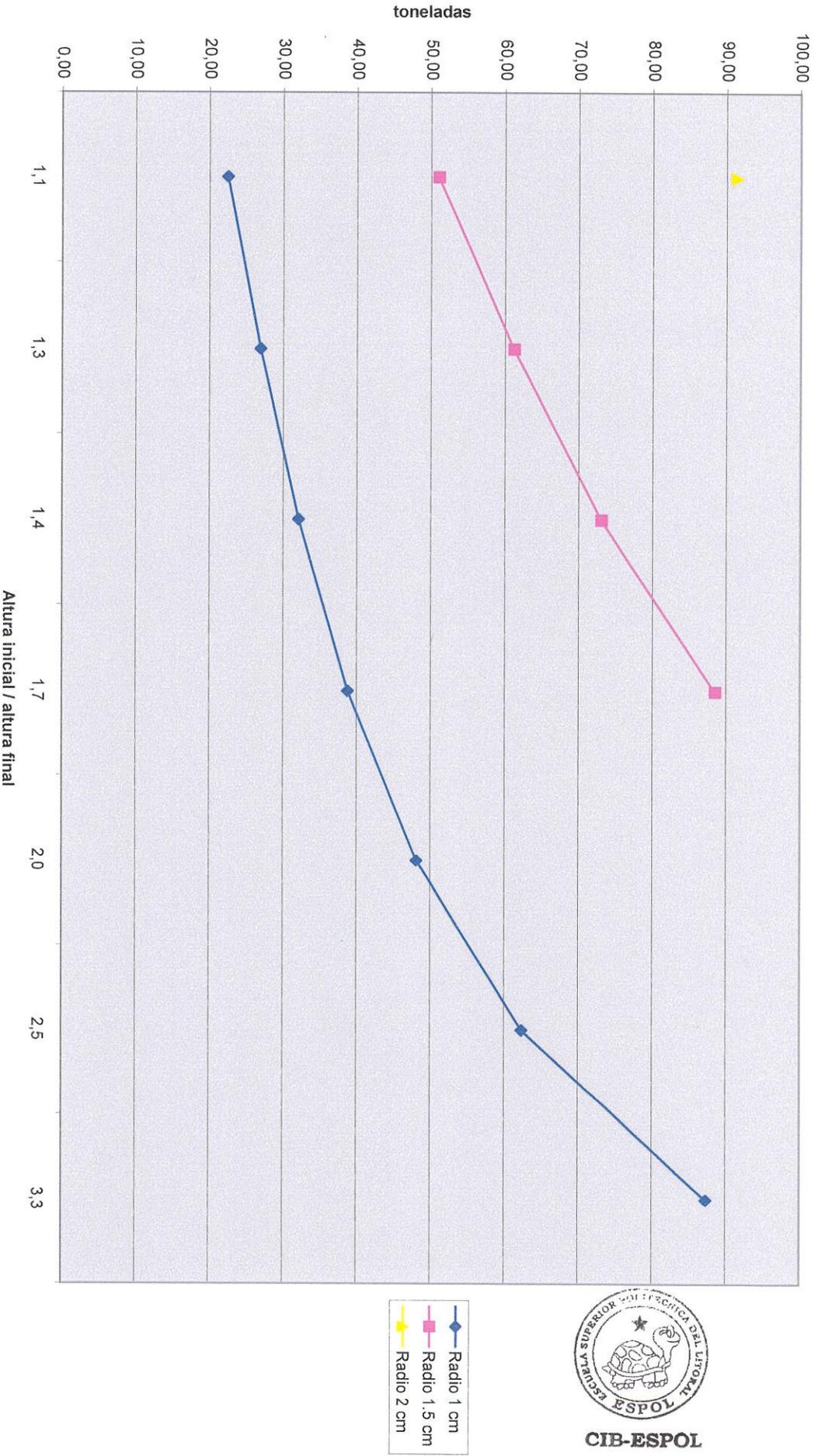
APENDICE A

Forjabilidad relativa de las aleaciones de cobre		
ALAECIÓN	COMPOSICIÓN NOMINAL	FORJABILIDAD RELATIVA
C10200	90.95 MIN Cu	65
C10400	Cu-0,027Ag	65
C11000	99,9 MIN Cu	65
C11300	Cu-0,027Ag+O	65
C14500	Cu-0,65Te-0,008P	65
C18200	Cu-0,1Fe-0,9Cr-0,1Si-0,05Pb	80
C37700	Cu-38Zn-2Pb	100
C46400	Cu-39,2Zn-0,85Sn	90
C48200	Cu-38Zn-0.8Sn0,7Pb	90
C48500	Cu-37,5Zn-1,8Pb-0,7Sn	90
C62300	Cu-10Al-3Fe	75
C63000	Cu-10Al-5Ni-3Fe	75
C63200	Cu-9Al-5Ni-4Fe	70
C64200	Cu-7Al-1,8Si	80
C65500	Cu-3Si	40
C67500	Cu-39Zn-1.4Fe-1Si-0.1Mn	80



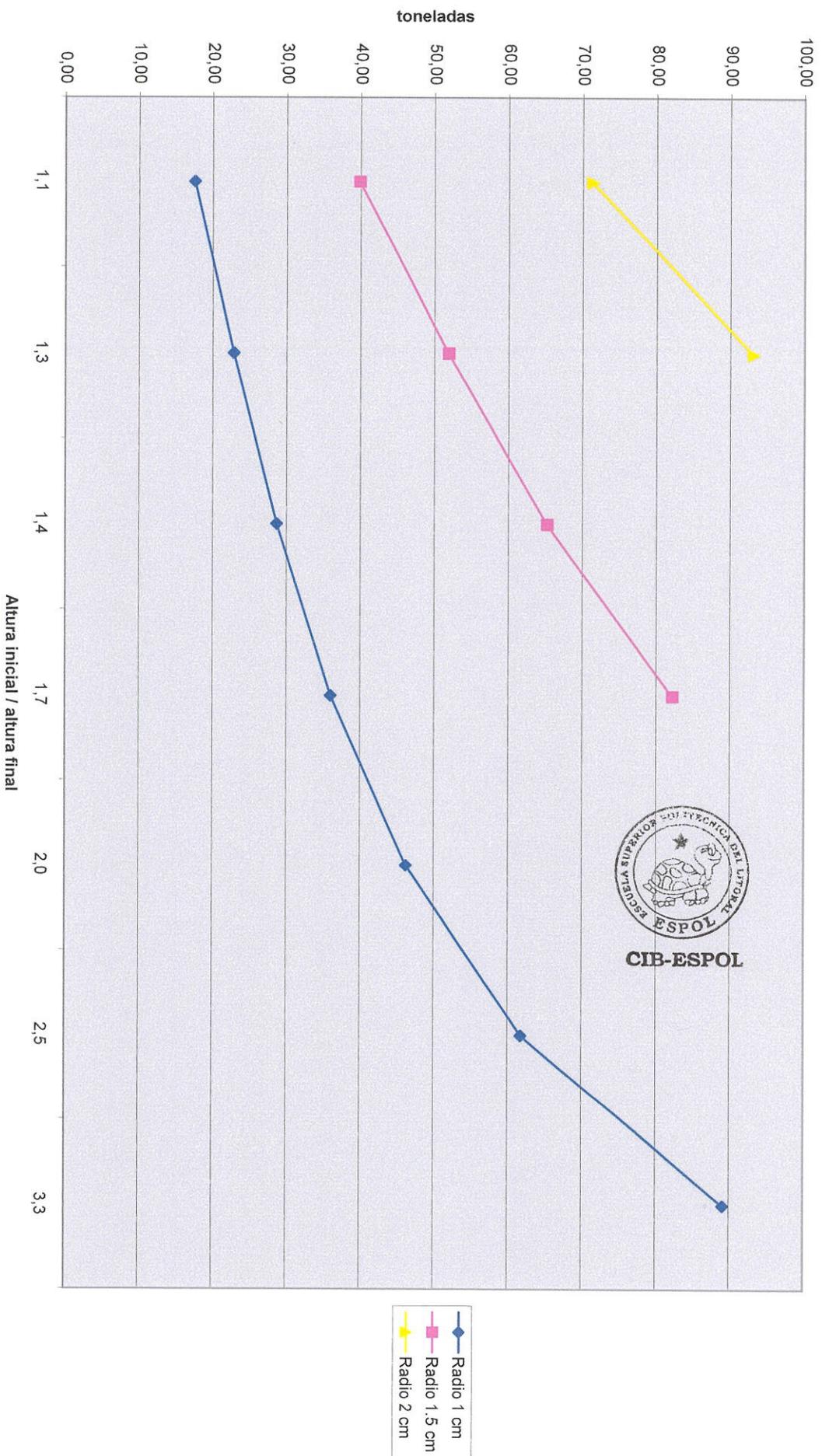
CIB-ESPOL

Capacidad necesaria contra deformación Acero 11112 rolado en frio

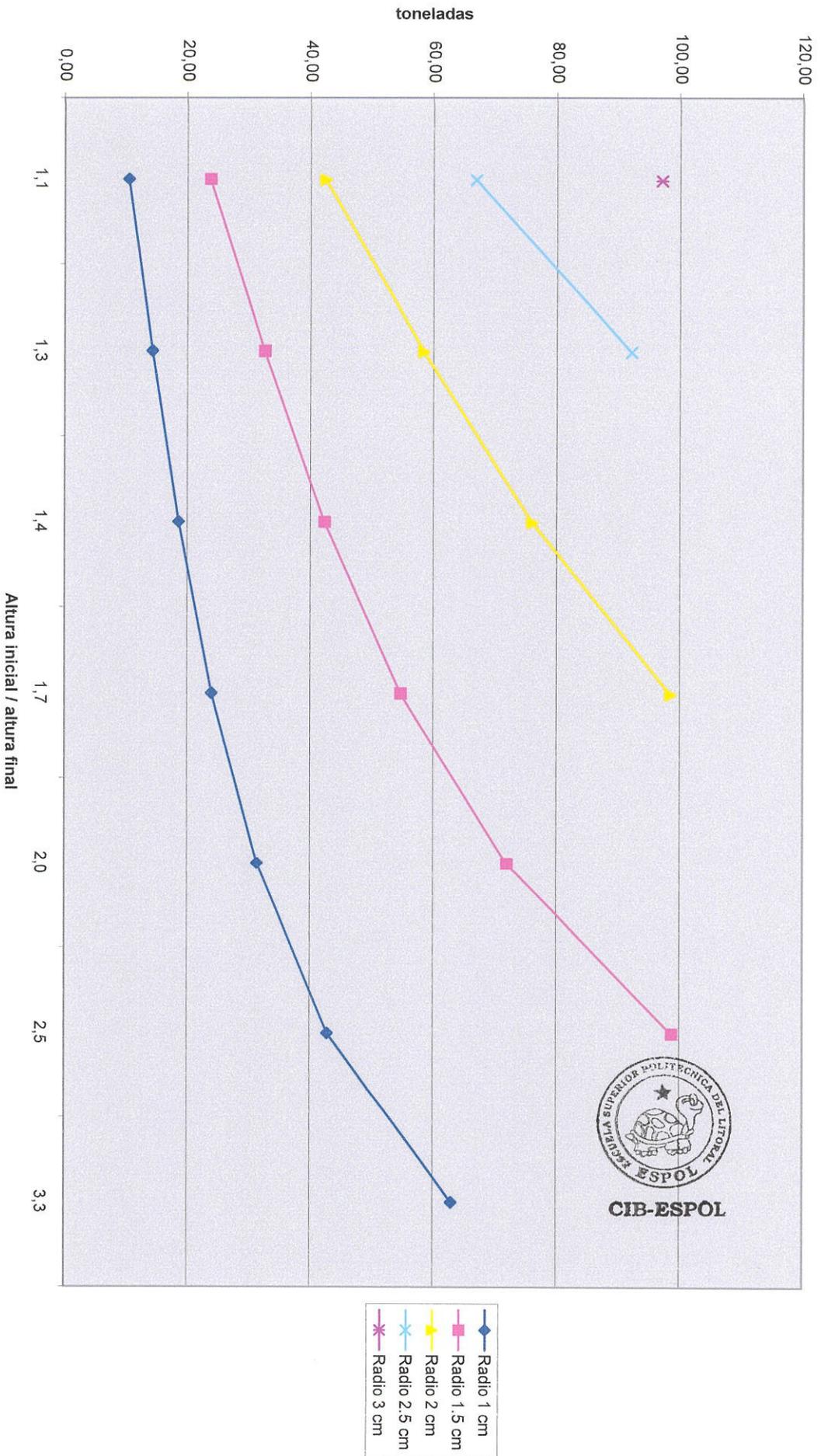


- ◆— Radio 1 cm
- Radio 1.5 cm
- ▲— Radio 2 cm

Capacidad necesaria contra deformación Acero 11112 revenido



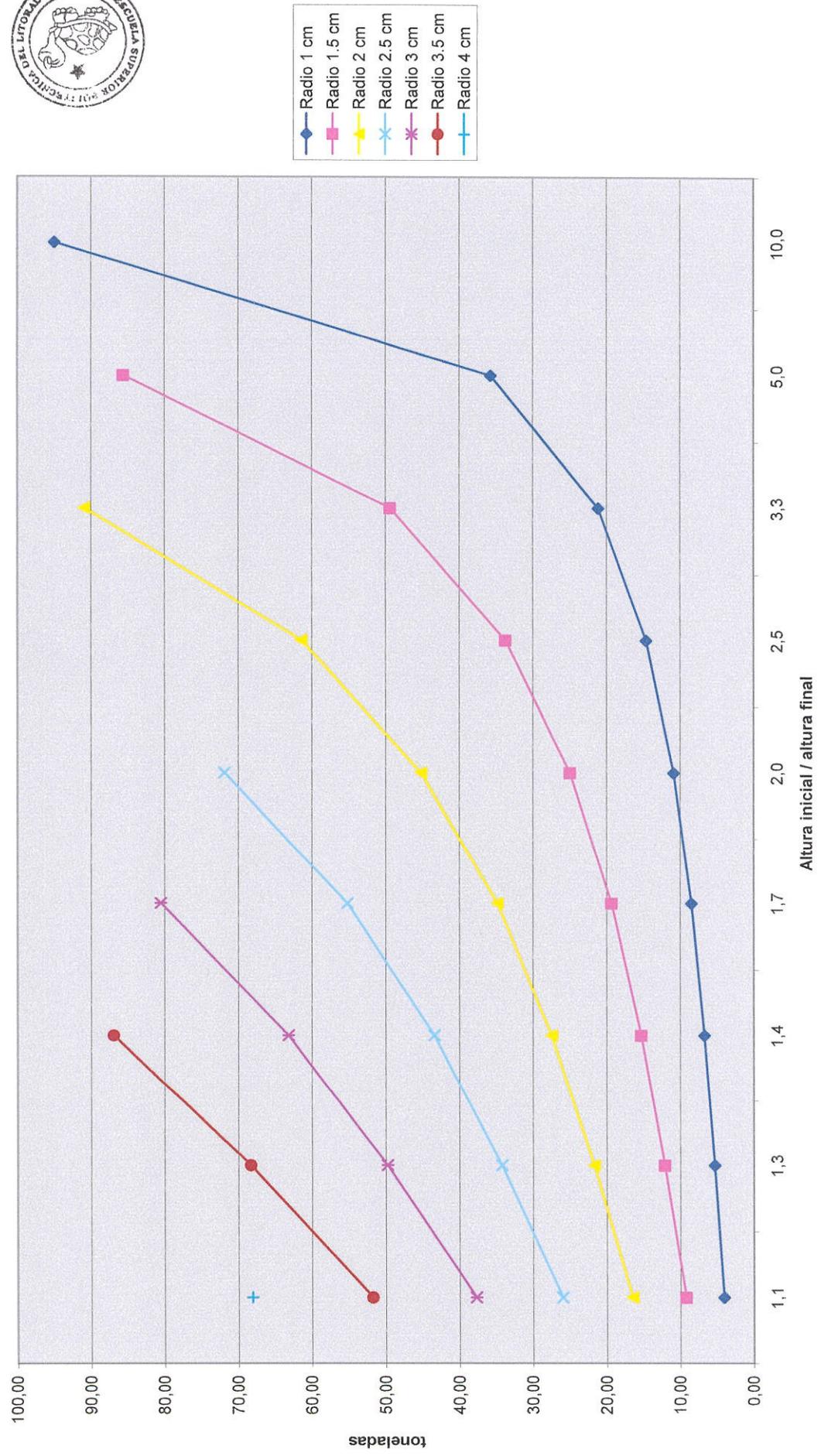
Capacidad necesaria contra deformación Acero bajo carbono



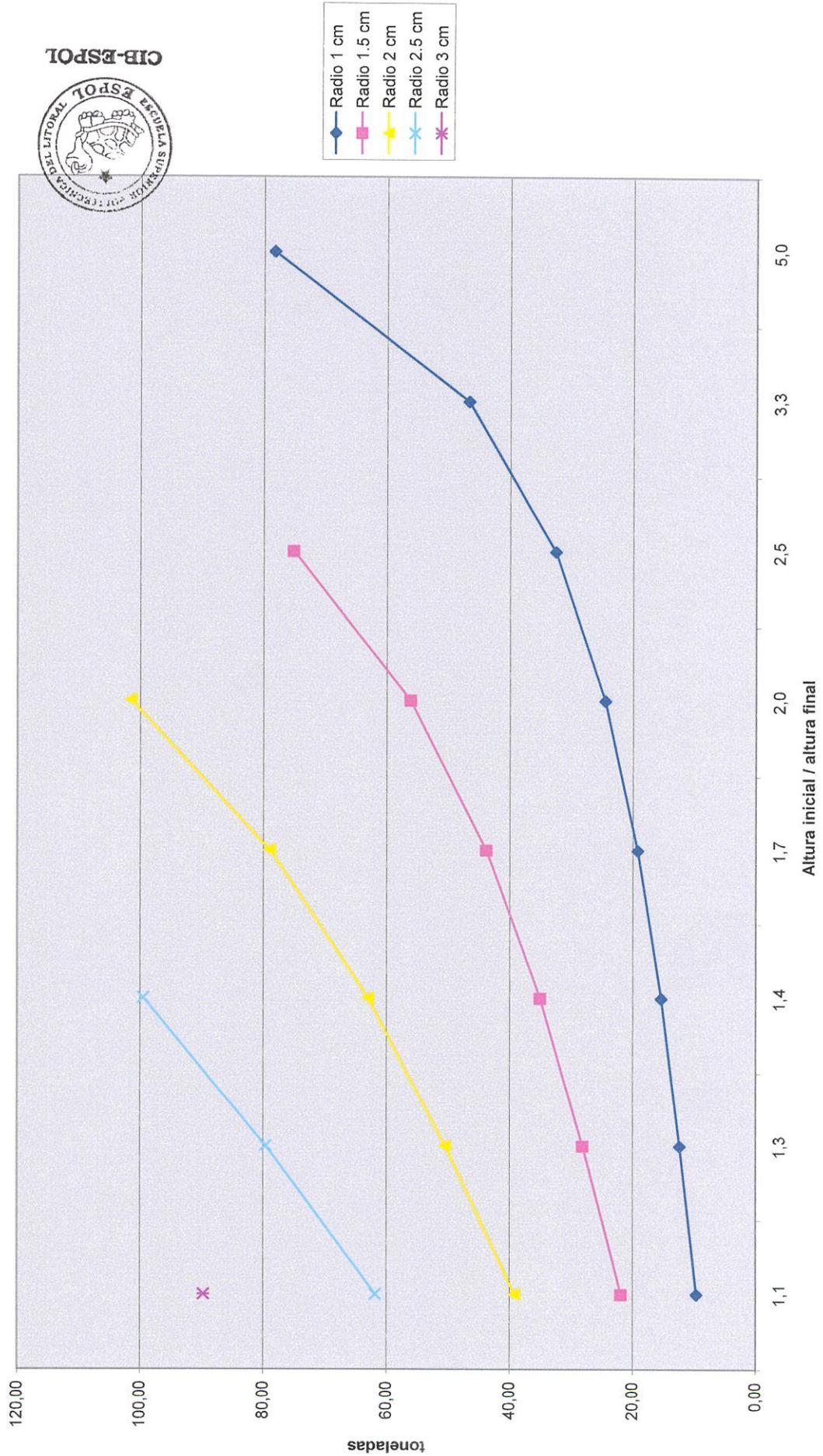
CIB-ESPOL



Capacidad necesaria contra deformación Aluminio 1100 revenido



Capacidad necesaria contra deformación Aluminio 7075 revenido



CIB-ESPOL

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) - P_s$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) - \frac{P_s (r^2 + r_i^2)}{r^2 - r_i^2}$$

Para la pared interior del cilindro exterior

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) - P_s$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) + \frac{P_s (r^2 + r_i^2)}{r^2 - r_i^2}$$

Para la pared exterior del cilindro exterior

$$\sigma_r = 0$$

$$\sigma_t = \frac{2P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{2P_s r^2}{r_o^2 - r^2}$$

El valor numérico de P_s es función de la interferencia diametral de los radios y de las rigideces de los materiales

$$P_s = \frac{0.5\zeta}{\frac{r}{E_o} \left(\frac{r_o^2 - r^2}{r_o^2 + r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} \left(\frac{r^2 - r_i^2}{r^2 + r_i^2} - \nu_i \right)}$$

Después de algunas iteraciones se optó que los cilindros sean del mismo material con un módulo de rigidez de 207 MPa un módulo de poisson de 0.27 y una interferencia FN1 la cual está especificada en el plano, hay que tener especial cuidado con esta medida pues una interferencia mayor ocasionaría



la falla en el radio interior del cilindro exterior. La presión interna se la redondeo a 37.92MPa (5500 Psi). Los radios son 5, 5.3 y 6 cm.

Con todos estos valores y obteniendo el esfuerzo efectivo de von Mises resultan:

$$\sigma'_{i1} = 164.7MPa$$

$$\sigma'_{e1} = 148.5MPa$$

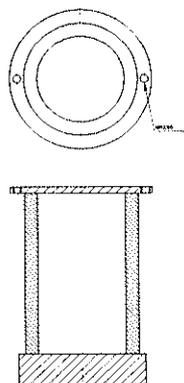
$$\sigma'_{i2} = 235.4MPa$$

$$\sigma'_{e1} = 193.4MPa$$

Estos valores se dan cuando la interferencia es máxima, es decir 0.004572 cm. Con un material A36 con una resistencia de 245 MPa, Factor de seguridad 1.01.

Hay que resaltar que el radio interior va unido con la necesidad de los 37.92MPa (5500 Psi) fijando una fuerza de 303800N (31ton)

Para presionar el lingote en el cilindro se utilizaran dos placas circulares unidas por un cilindro.



CIB-ESPOL

$$Area = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi * (5.7^2 - 3.9^2)}{4} = 27 \text{ cm}^2$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi(D^4 - d^4)4}{64 * \pi(D^2 - d^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(D^4 - d^4)}{(D^2 - d^2)}} = 2.835 \text{ cm}$$

$$S_{r_d} = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}} = 129.1$$

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{1 * 13}{1.72} = 4.6$$

$$P_{cr} = A \left(S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_r * S_y}{2\pi} \right)^2 \right) = 646800 \text{ N}$$

$$N = 1.1$$



Tomando en cuenta el diámetro interior del contenedor de 100 realizo los cálculos con un diámetro de cilindro de 90 milímetros al exterior para que haya espacio para soldadura. La longitud es de 13 cm. para cubrir la longitud del contenedor y el espacio entre la mesa móvil superior y la mesa fija inferior.

El diámetro interior resulta 69 mm, el espesor de la pared 1.08 cm.

En lo que se refiere a la matriz se modelo el elemento como si se lo forjara esto permite que el elemento no presente problemas en lo que se refiere a esfuerzos, sin embargo se puso especial atención en la forma y se siguieron las recomendaciones según el material que se utilizara, el plomo. Los detalles se encuentran en los planos adjuntos.

2.5 FUNDICIÓN CON SOLIDIFICACIÓN A PRESIÓN DE METALES CON BAJO PUNTO DE FUSIÓN.

También se la conoce como formado de metal líquido, es un proceso en el cual el metal fundido se solidifica bajo presión dentro de matrices cerradas en una prensa hidráulica.

La presión aplicada y el contacto instantáneo del metal fundido con la superficie de la matriz producen una condición de transferencia de calor que resulta en una constitución de grano fino con propiedades mecánicas cercanas a las que se obtienen en los productos forjados. En este proceso se pueden obtener las mejores propiedades mecánicas posibles en un proceso de fundición.

El procedimiento no es complicado, primero se vierte la colada en una matriz, la presión se aplica poco después de que el material ha empezado a solidificarse y ésta se mantiene hasta que todo el material se haya solidificado por completo. Las presiones para evitar poros producto de los gases van de 55 a 100 MPa (8 a 15 Ksi) . Las aleaciones que poseen amplios rangos de temperaturas de solidificación son las que mejor se acomodan para éste proceso de fundición a presión.



CIB-ESPOL

Las variables que se deben controlar para lograr un producto de buena calidad son:

- Volumen de la colada.- Se vierte el volumen adecuado de material para evitar que se den extrusiones locales
- La temperatura de la colada.- La colada está de 6 a 55 °C por sobre las temperatura líquida
- Temperatura de las matrices.- Se mantiene las temperaturas entre 190 y 315 °C (375 a 600 °F) en la matriz hembra y el punzón a una temperatura de 15 a 30°C por debajo de las primeras. En la matriz hembra no se recomiendan temperaturas superiores debido a que resulta en defectos en la superficie o soldado entre las piezas
- Tiempo de retraso.- Es el lapso de tiempo que transcurre desde que se vierte la colada hasta que el punzón empieza a ejercer un trabajo sobre ella.
- Los niveles de presión.- Estos varían de 50 a 140 MPa (7.5 a 20 Ksi), y se determinan experimentalmente. Es importante mencionar que existe una presión óptima por sobre la cual no se logra ninguna ventaja mecánica adicional.
- Duración de la aplicación de la presión.- Se ha encontrado que tiempos de 30 a 120 segundos son satisfactorios para 9 kilos de material, pero esto también está sujeto a la forma de la pieza y el material. Esta variable también presenta un valor óptimo por sobre el

cual no se logran ventajas. Otra regla que se suele usar y puede ser útil como un punto de partida es un segundo por milímetro de sección de espesor

- Lubricación.- Para el aluminio, magnesio y cobre el grafito se ha mostrado como un buen lubricante, Para materiales ferrosos se recomienda un recubrimiento cerámico.

Una ventaja que se puede observar en éste proceso de fundición bajo presión son las temperaturas de trabajo, las cuales son menores a las que se deben alcanzar en la fundición convencional, la cual necesita que el material adquiera cierta fluidez para llenar el molde. Y la micro estructura lograda la cual puede llegar a las calidades de los productos de forja.

Para el diseño del herramental se limitará la presión que se puede alcanzar a 10 Ksi y se modelará el elemento como un recipiente cilíndrico de paredes gruesas.

Por conveniencia fijo una fuerza de 30 toneladas, entonces puedo calcular el área interna de la sección que me de la presión antes mencionada.

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{30000}{690} = 43.47 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 43.47}{3.1416}} = 7.44 \text{ cm}$$



Ahora que tenemos el diámetro interior, falta determinar el exterior que soporte la presión máxima requerida. El valor, después de algunas iteraciones, es de 10.6 cm. Con un factor de seguridad de 1.01

$$\sigma_a = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} = 0$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_o^2 r_i^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = 64.27 MPa + 131.8 MPa = 196.08 MPa$$

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_o^2 r_i^2 (P_i - P_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} = 64.27 MPa - 131.81 MPa = -67.54 MPa$$

El esfuerzo axial es cero debido a que la sección no está restringida en los extremos, los esfuerzos tangencial y radial son a su vez esfuerzos principales ya que no hay esfuerzos cortantes aplicados. Entonces el esfuerzo equivalente de Von Mises es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_3} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \sigma_r} = 237.1 MPa$$



CIB-ESPOL

Con esto tengo el espesor mínimo de la sección, como se puede ver en el plano las demás secciones tienen un mayor espesor por lo que están dentro de la resistencia del material.

Con estas especificaciones se pretende dar un rango razonable de prueba para la determinación de la presión óptima de trabajo, la que se puede variar, variando la fuerza hasta un máximo de 30 toneladas, después de que se ha identificado ésta presión se puede continuar con la identificación del tiempo mínimo de aplicación de la presión.

Para aplicar la presión se usará una sección tubular y dos placas redondas, esto con el fin de que no sea tan masiva y se transmita de forma efectiva la fuerza a la meza móvil.

Después de varias iteraciones y limitando el diámetro exterior a 57 milímetros obtengo el resto de variables con el siguiente procedimiento.

$$Area = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi * (5.7^2 - 3.9^2)}{4} = 13.5 \text{ cm}^2$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi (D^4 - d^4) 4}{64 * \pi (D^2 - d^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(D^4 - d^4)}{(D^2 - d^2)}} = 1.72 \text{ cm}$$

$$Sr_d = \pi \sqrt{\frac{2E}{Sy}} = 129.1$$

$$Sr = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{1 * 13}{1.72} = 7.6$$

$$P_{cr} = A \left(Sy - \frac{1}{E} \left(\frac{Sr * Sy}{2\pi} \right)^2 \right) = 323576.4 \text{ N}$$

$$N = 1.1$$

El diámetro interior resulta 39 mm.



CIB-ESPOL

CAPITULO 3



CIB-ESPOL

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El hecho de poseer una prensa hidráulica, sin importar el tonelaje, implica un gran potencial para trabajos mecánicos, mientras mayor es la capacidad, mayor es el rango de acción. Entonces una rehabilitación es justificable, y los costos que esto implica no son elevados comparados con el costo de una prensa nueva.

Para poner en actividad nuevamente a la prensa en el taller de metalurgia se siguieron las especificaciones del fabricante las cuales se pueden encontrar en el banco de tesis de la ESPOL, lo que no estaba especificado se lo implementó y probó.

El diseño de una prensa a partir de un producto con especificaciones particulares es recomendable, sin embargo, se nota que en ocasiones el exceso de particularización de las herramientas y los equipos hace que los

proyectos se atrasen o paraliquen debido a que para cada acción se ha estandarizado un procedimiento.

Lo que yo he tratado de establecer en este documento es que tengamos en cuenta el principio de la operación, observemos si las condiciones básicas de trabajo son alcanzables, experimentemos y luego saquemos nuestras propias conclusiones en base a los resultados obtenidos, y poco a poco acercarnos más a las recomendaciones de las normas con las cuales obtendremos los mejores resultados, y no echarnos para atrás al principio porque no alcanzamos las especificaciones de trabajo.

En la industria todos buscan la excelencia, a veces un trabajo bueno es preferible a uno excelente si se consideran los costos y el tiempo.

Para el diseño del herramental se hicieron asunciones que simplificaban el dimensionamiento, sin embargo el uso de la tecnología es necesario si se desea un mejoramiento continuo que poco a poco nos lleve a la reducción de costos y ser mas competitivos.

Las simulaciones de los procesos de manufactura son puntos de partida, no se ha intentado generalizar los procesos, El desarrollo de la calidad del producto se obtiene variando los parámetros, que en algunos procesos son la



CIB-ESPOL

lubricación, velocidad de formado, tiempo de aplicación de la fuerza, temperaturas alcanzadas e incluso la geometría del herramental.

Entonces el equipo puede verse como una prensa de embutición o como un potencial de trabajo, la particularización hace que los costos disminuyan, pero el tener en mente todos los trabajos que puedo realizar es beneficioso y puede convertir una adversidad en una oportunidad y una complicación en una ventaja ante un competidor.

Entre las recomendaciones para aprovechar el potencial del equipo podemos mencionar la variación del herramental, como por ejemplo para forja se puede cambiar la mesa fija para que durante la aplicación de la fuerza la deflexión sea mínima, si se desea modificar la velocidad en forma significativa, se puede cambiar la bomba a una que provea una mayor cantidad de galones por minuto y desarrolle presiones similares, incluso si se desea obtener mayores fuerzas, se puede optar por la aplicación de presiones superiores cambiando las mangueras los manómetros siempre dentro de los límites que permite el espesor de los cilindros, también se puede multiplicar la fuerza con dos cilindros de diferentes áreas, conectados por mangueras hidráulicas. Todas estas variaciones pueden verse como implementación de accesorios los cuales podrían desmontarse a voluntad y así lograr una mayor versatilidad.



ANEXOS.

**Matriz para inyección de botellas plásticas
(Vista frontal, lateral y superior)**

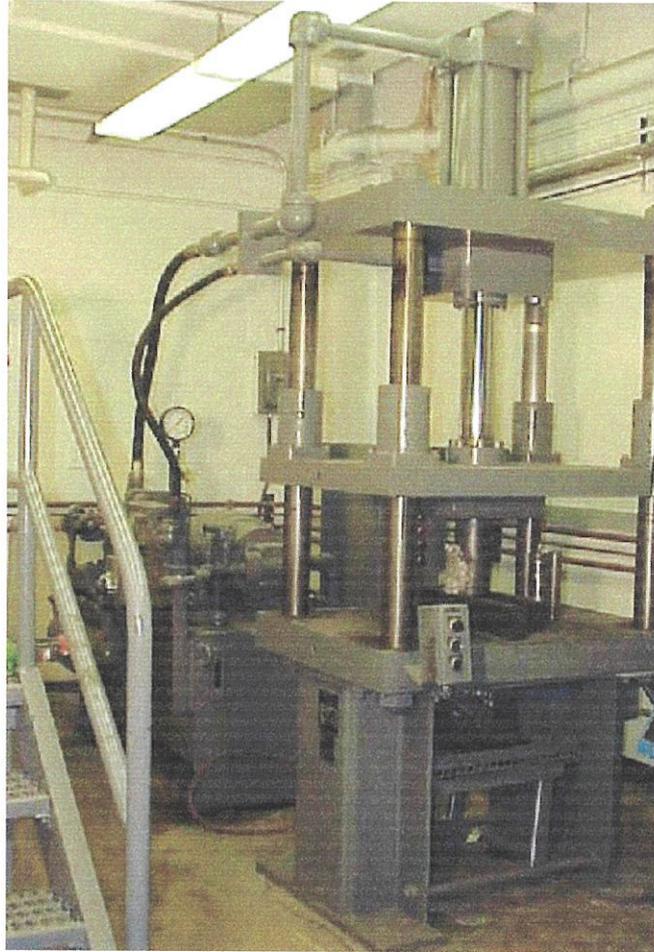


CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Maquina de fundición con solidificación a presión



APENDICES.



CIB-ESPOL

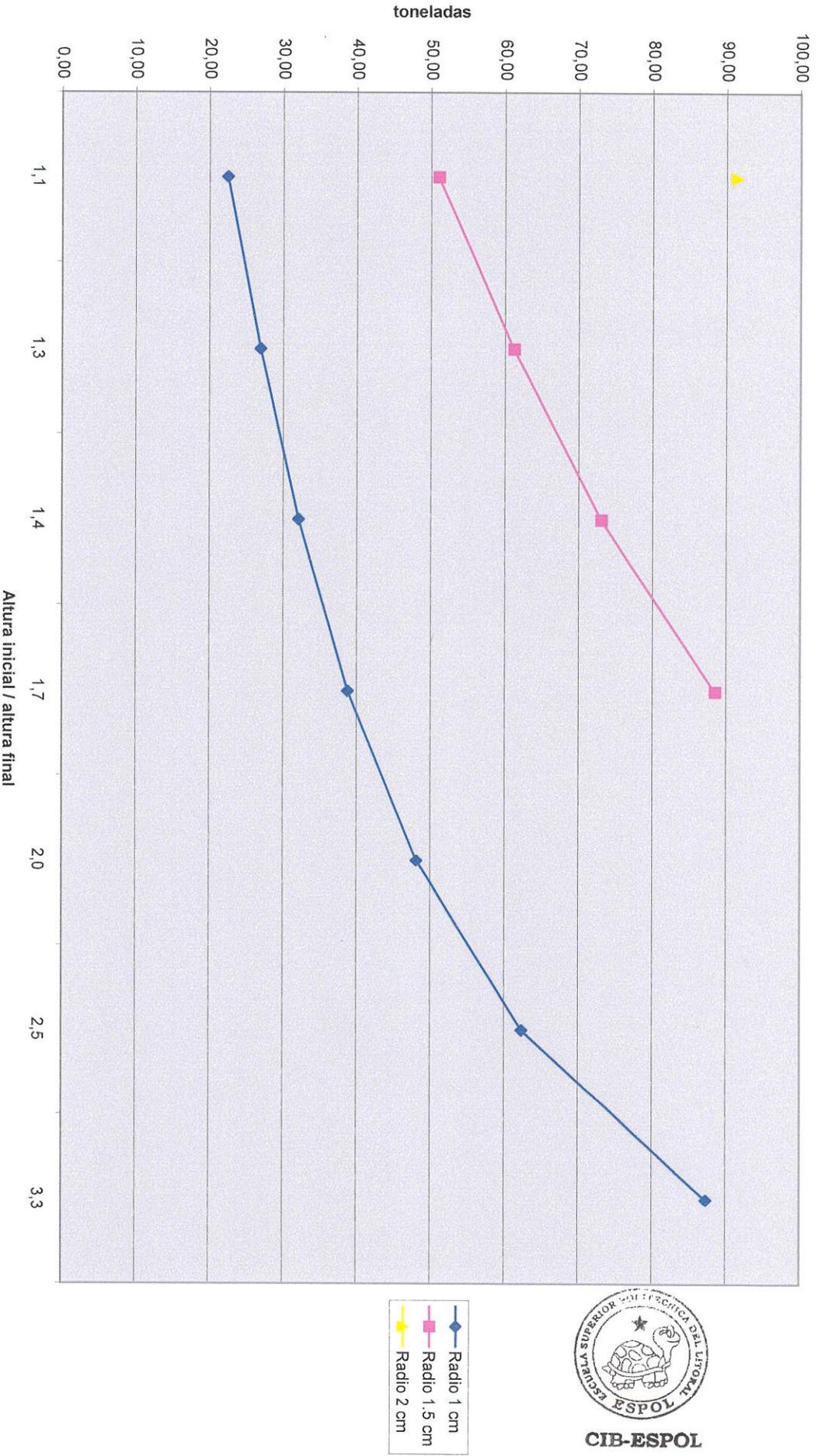
APENDICE A

Forjabilidad relativa de las aleaciones de cobre		
ALAECIÓN	COMPOSICIÓN NOMINAL	FORJABILIDAD RELATIVA
C10200	90.95 MIN Cu	65
C10400	Cu-0,027Ag	65
C11000	99,9 MIN Cu	65
C11300	Cu-0,027Ag+O	65
C14500	Cu-0,65Te-0,008P	65
C18200	Cu-0,1Fe-0,9Cr-0,1Si-0,05Pb	80
C37700	Cu-38Zn-2Pb	100
C46400	Cu-39,2Zn-0,85Sn	90
C48200	Cu-38Zn-0.8Sn0,7Pb	90
C48500	Cu-37,5Zn-1,8Pb-0,7Sn	90
C62300	Cu-10Al-3Fe	75
C63000	Cu-10Al-5Ni-3Fe	75
C63200	Cu-9Al-5Ni-4Fe	70
C64200	Cu-7Al-1,8Si	80
C65500	Cu-3Si	40
C67500	Cu-39Zn-1.4Fe-1Si-0.1Mn	80



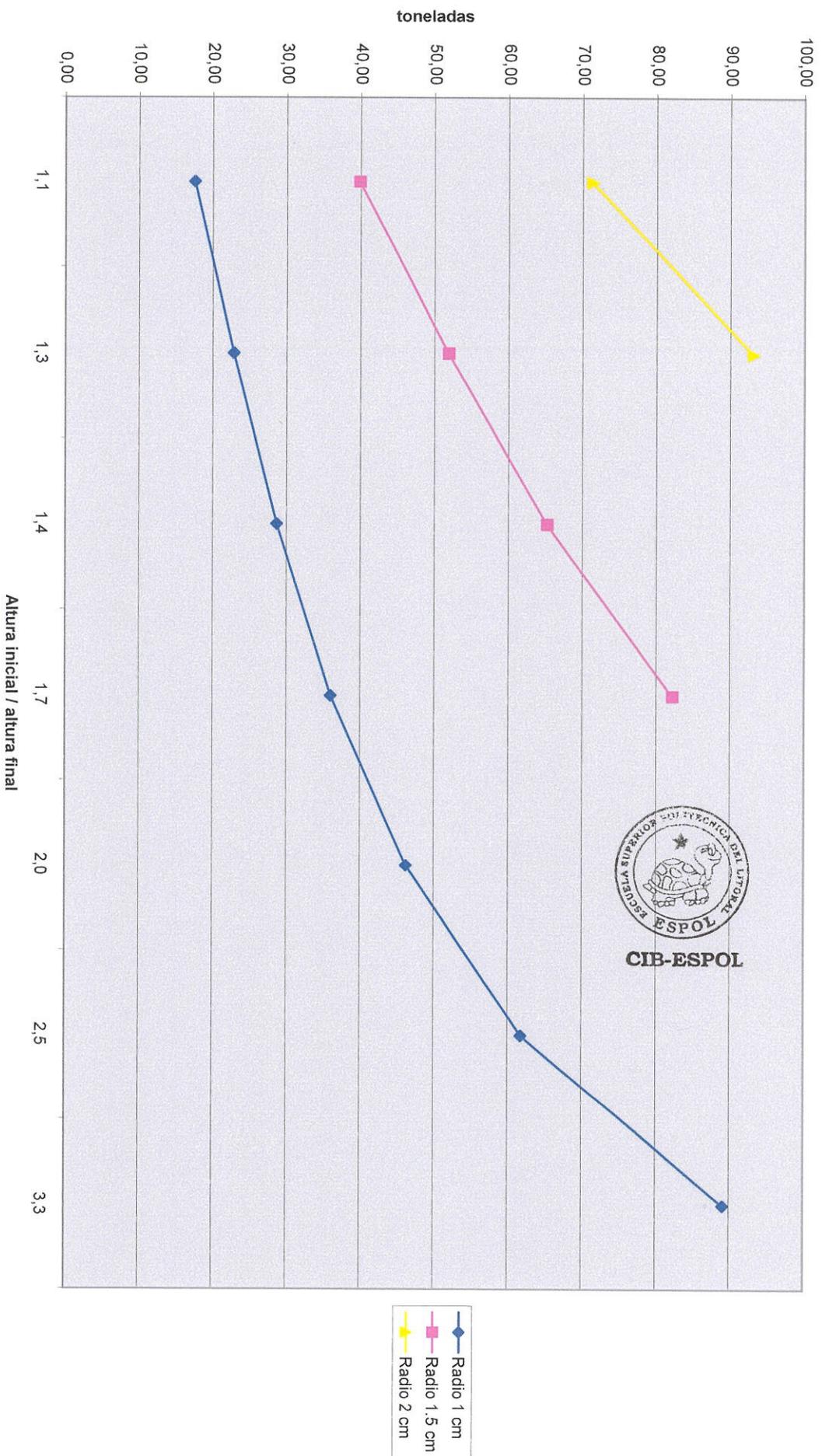
CIB-ESPOL

Capacidad necesaria contra deformación Acero 11112 rolado en frio

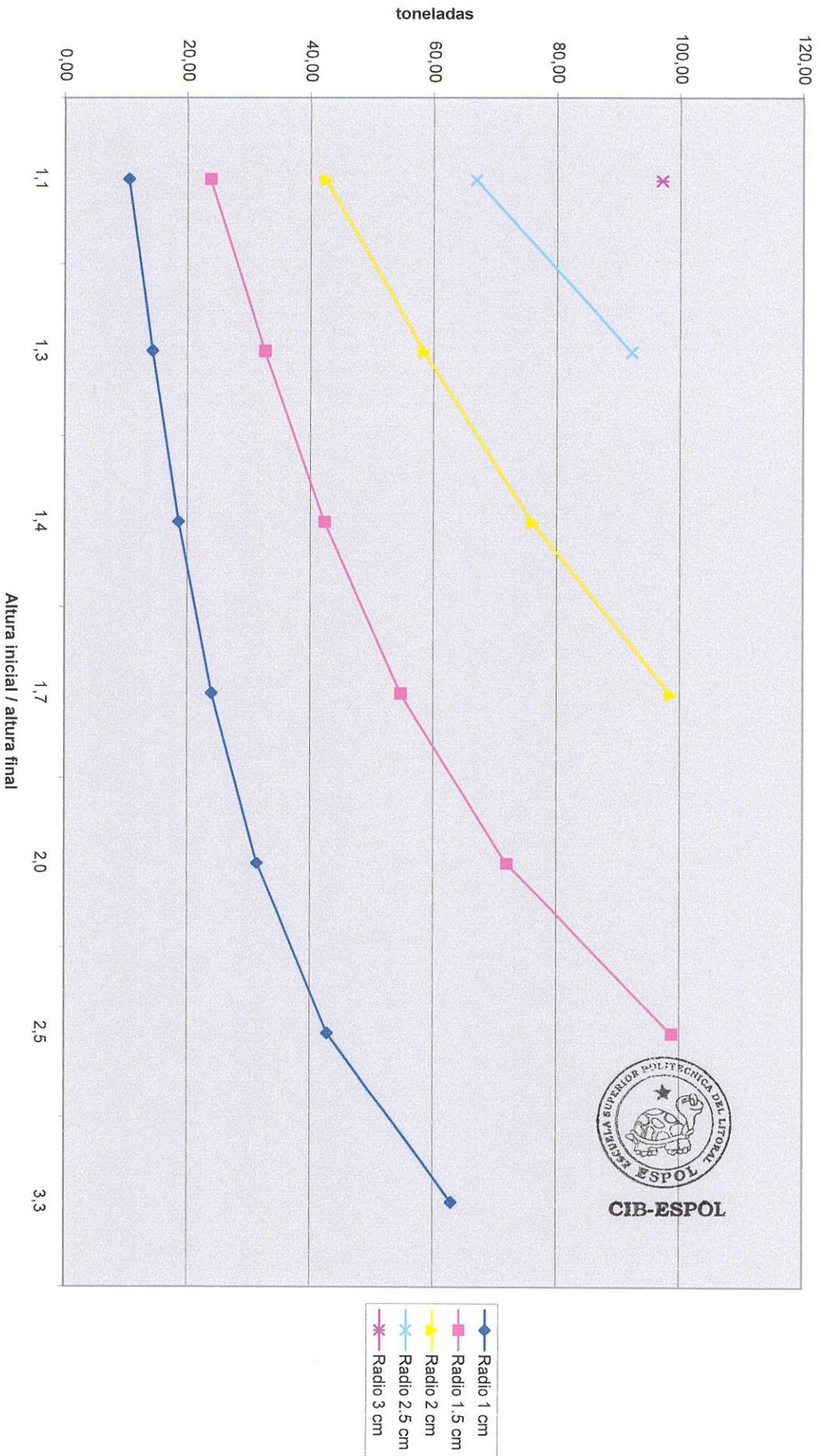


- ◆— Radio 1 cm
- Radio 1.5 cm
- ▲— Radio 2 cm

Capacidad necesaria contra deformación Acero 11112 revenido



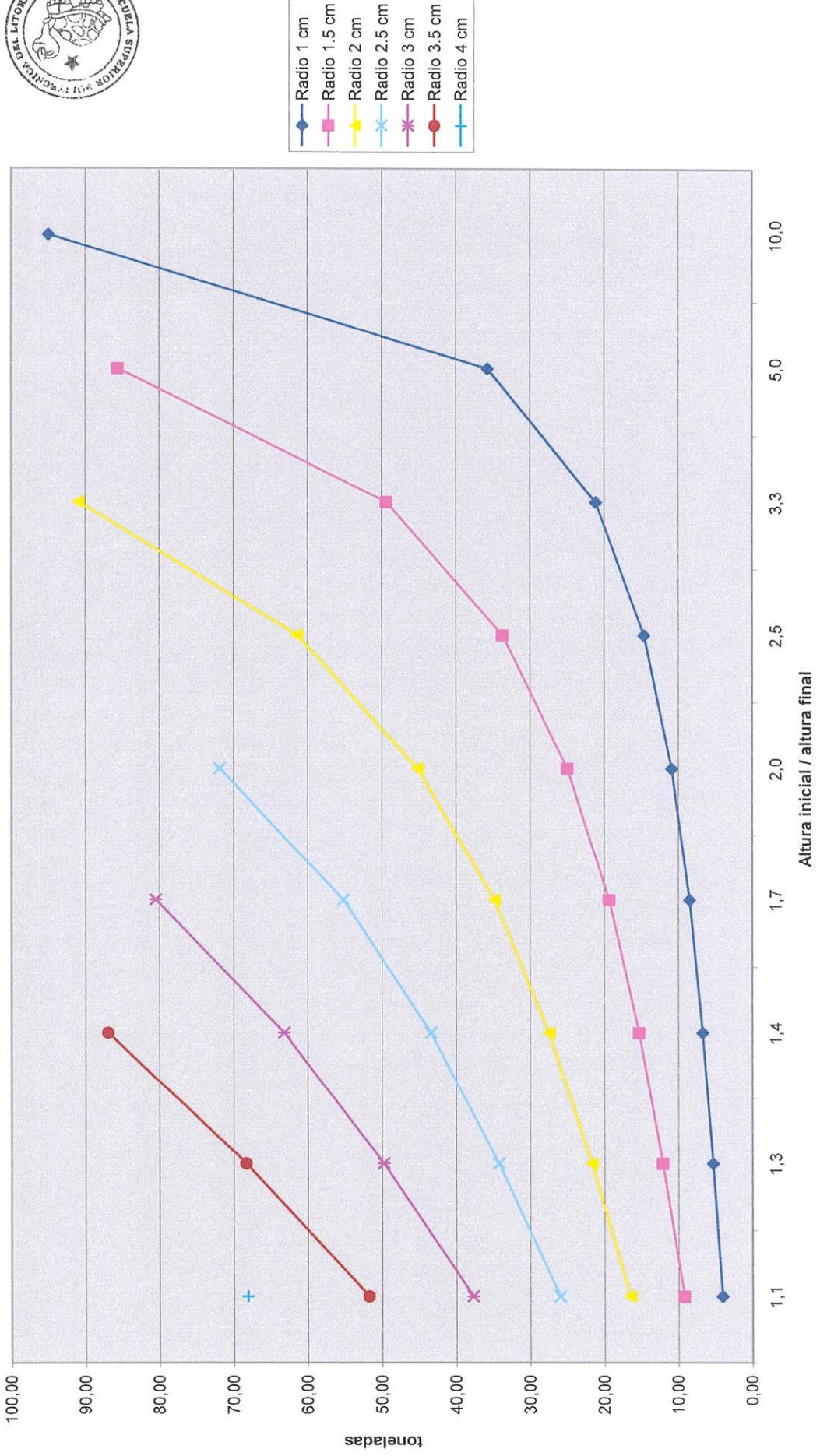
Capacidad necesaria contra deformación Acero bajo carbono



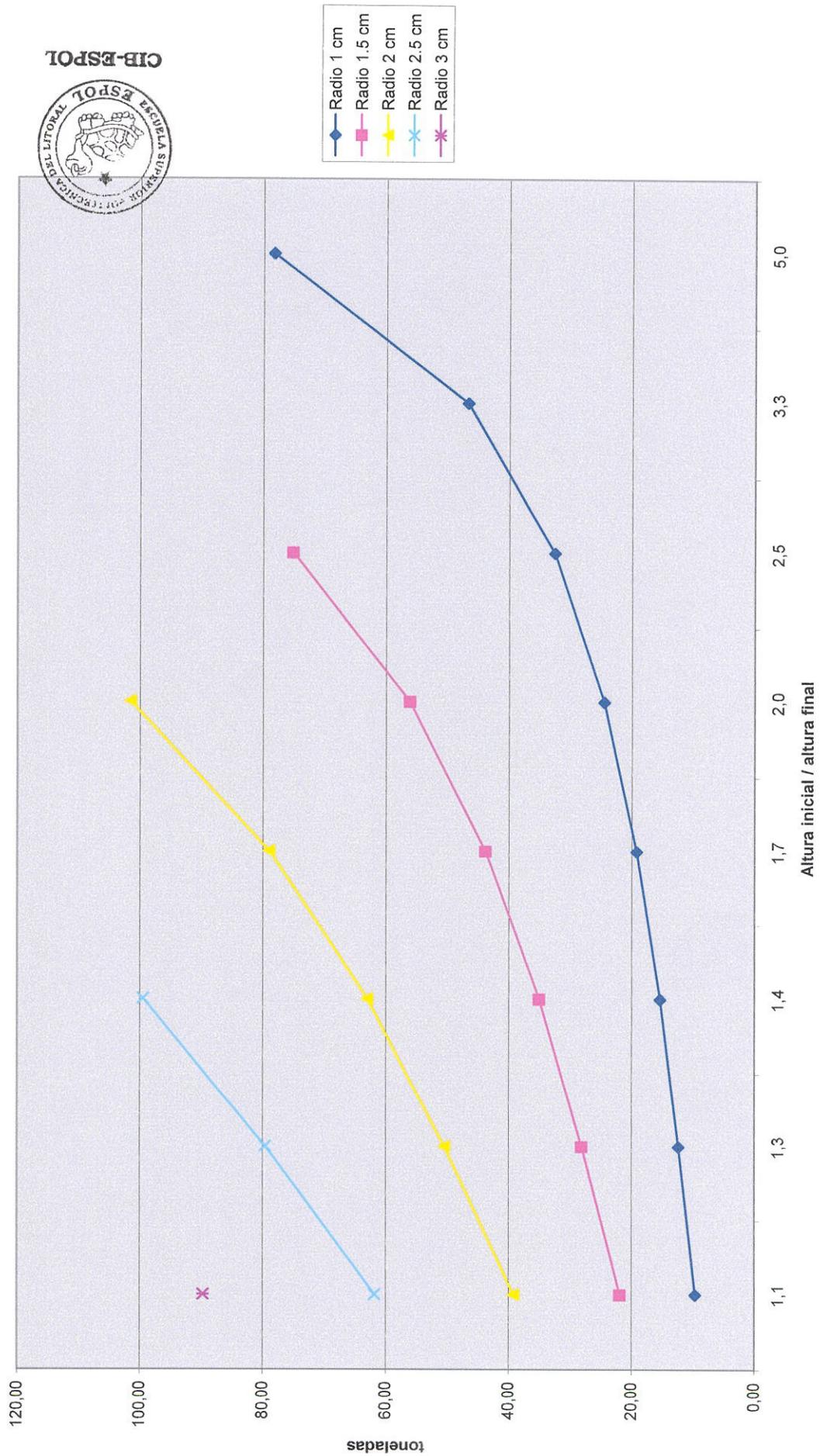
CIB-ESPOL



Capacidad necesaria contra deformación Aluminio 1100 revenido

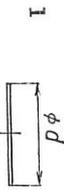
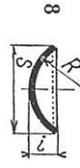
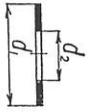
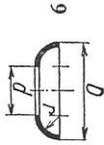
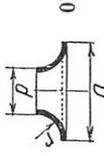
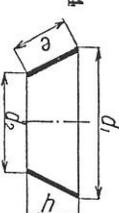
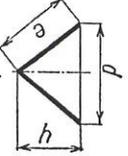
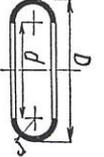
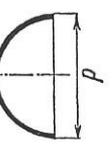
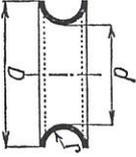
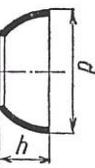


Capacidad necesaria contra deformación Aluminio 7075 revenido



CIB-ESPOL

TABLA IV

Elemento	$\frac{4}{\pi} S$	Elemento	$\frac{4}{\pi} S$
1 	d^2	8 	$4d \cdot i$ o bien $8Ri$ o bien $(S^2 + 4i^2)$
2 	$d^2 - d_2^2$	9 	$2\pi r(d + 1,3r)$ o bien $2\pi r(D - 0,7r)$
3 	$4d \cdot h$	10 	$2\pi r(d + 0,7r)$ o bien $2\pi r(D - 1,3r)$
4 	$2e(d_1 + d_2)$ o bien $\frac{2(d_1 + d_2) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}}{4}$	11 	$4\pi r d$
5 	$\frac{2d \sqrt{d_2^2 + h^2}}{4}$ o bien $2d \cdot e$	12 	$4\pi r(d + 0,58r)$ o bien $4\pi r(D - 1,42r)$
6 	$2d^2$	13 	$4\pi r(d + 0,58r)$ o bien $4\pi r(D - 1,42r)$
7 	$4dh$		

PRINCIPIOS GENERALES

determinar el diámetro de la chapa primitiva partiendo del principio de Arquímedes. Se une la muestra a una balanza por

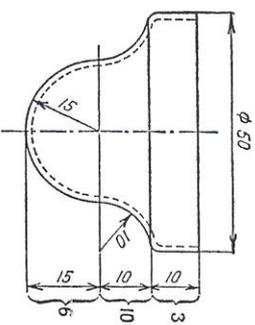


Fig. 14.—Descomposición de una superficie de revolución en elementos según la tabla IV.

medio de un hilo y se pesa; luego se coloca debajo de la muestra un recipiente conteniendo agua, en la que se sumerge la pieza embutida. Se pesa de nuevo. Como la densidad del agua es 1, la diferencia $P - P_1$ de los pesos antes y después de la inmersión representa el volumen de la pieza embutida. Conociendo el espesor de la chapa, se encuentra el diámetro del desarrollo (en mm.):

$$\frac{\pi D^2}{4} e = P - P_1 \quad \text{de donde} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{P - P_1}{e}}$$

expresando P y P_1 en miligramos y e en milímetros.

OBSERVACIÓN: Para la pieza de la figura 12, (forma fundamental en la embutición) el diámetro del desarrollo será

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} \dots \dots \quad (6)$$

y la profundidad de la pieza embutida

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} \dots \dots \quad (7)$$

Tabla 8-7 Ajustes de fuerza y por encogimiento (FN)

Rango de tamaño nominal (")	Clase FN1			Clase FN2			Clase FN3			Clase FN4			Clase FN5		
	Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar	
		Hasta	Orificio		Eje	Orificio		Eje	Orificio		Eje	Orificio		Eje	Orificio
0-0.12	0.05 0.5	+0.25 -0	+0.5 +0.3	0.2 0.85	+0.4 -0	+0.85 +0.6				0.3 0.95	+0.4 -0	+0.95 +0.7	0.3 1.3	+0.6 -0	+1.3 +0.9
0.12-0.24	0.1 0.6	+0.3 -0	+0.6 +0.4	0.2 1.0	+0.5 -0	+1.0 +0.7				0.4 1.2	+0.5 -0	+1.2 +0.9	0.5 1.7	+0.7 -0	+1.7 +1.2
0.24-0.40	0.1 0.75	+0.4 -0	+0.75 +0.5	0.4 1.4	+0.6 -0	+1.4 +1.0				0.6 1.6	+0.6 -0	+1.6 +1.2	0.5 2.0	+0.9 -0	+2.0 +1.4
0.40-0.56	0.1 0.8	+0.4 -0	+0.8 +0.5	0.5 1.6	+0.7 -0	+1.6 +1.2				0.7 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.4	0.6 2.3	+1.0 -0	+2.3 +1.6
0.56-0.71	0.2 0.9	+0.4 -0	+0.9 +0.6	0.5 1.6	+0.7 -0	+1.6 +1.2				0.7 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.4	0.8 2.5	+1.0 -0	+2.5 +1.8
0.71-0.95	0.2 1.1	+0.5 -0	+1.1 +0.7	0.6 1.9	+0.8 -0	+1.9 +1.4				0.8 2.1	+0.8 -0	+2.1 +1.6	1.0 3.0	+1.2 -0	+3.0 +2.2
0.95-1.19	0.3 1.2	+0.5 -0	+1.2 +0.8	0.6 1.9	+0.8 -0	+1.9 +1.4	0.8 2.1	+0.8 -0	+2.1 +1.6	1.0 2.3	+0.8 -0	+2.3 +1.8	1.3 3.3	+1.2 -0	+3.3 +2.5
1.19-1.58	0.3 1.3	+0.6 -0	+1.3 +0.9	0.8 2.4	+1.0 -0	+2.4 +1.8	1.0 2.6	+1.0 -0	+2.6 +2.0	1.5 3.1	+1.0 -0	+3.1 +2.5	1.4 4.0	+1.6 -0	+4.0 +3.0
1.58-1.97	0.4 1.4	+0.6 -0	+1.4 +1.0	0.8 2.4	+1.0 -0	+2.4 +1.8	1.2 2.8	+1.0 -0	+2.8 +2.2	1.8 3.4	+1.0 -0	+3.4 +2.8	2.4 5.0	+1.6 -0	+5.0 +4.0
1.97-2.56	0.6 1.8	+0.7 -0	+1.8 +1.3	0.8 2.7	+1.2 -0	+2.7 +2.0	1.3 3.2	+1.2 -0	+3.2 +2.5	2.3 4.2	+1.2 -0	+4.2 +3.5	3.2 6.2	+1.8 -0	+6.2 +5.0
2.56-3.15	0.7 1.9	+0.7 -0	+1.9 +1.4	1.0 2.9	+1.2 -0	+2.9 +2.2	1.8 3.7	+1.2 -0	+3.7 +3.0	2.8 4.7	+1.2 -0	+4.7 +4.0	4.2 7.2	+1.8 -0	+7.2 +6.0
3.15-3.94	0.9 2.4	+0.9 -0	+2.4 +1.8	1.4 3.7	+1.4 -0	+3.7 +2.8	2.1 4.4	+1.4 -0	+4.4 +3.5	3.6 5.9	+1.4 -0	+5.9 +5.0	4.8 8.4	+2.2 -0	+8.4 +7.0
3.94-4.73	1.1 2.6	+0.9 -0	+2.6 +2.0	1.6 3.9	+1.4 -0	+3.9 +3.0	2.6 4.9	+1.4 -0	+4.9 +4.0	4.6 6.9	+1.4 -0	+6.9 +6.0	5.8 9.4	+2.2 -0	+9.4 +8.0
4.73-5.52	1.2 2.9	+1.0 -0	+2.9 +2.2	1.9 4.5	+1.6 -0	+4.5 +3.5	3.4 6.0	+1.6 -0	+6.0 +5.0	5.4 8.0	+1.6 -0	+8.0 +7.0	7.5 11.6	+2.5 -0	+11.6 +10.0
5.52-6.30	1.5 3.2	+1.0 -0	+3.2 +2.5	2.4 5.0	+1.6 -0	+5.0 +4.0	3.4 6.0	+1.6 -0	+6.0 +5.0	5.4 8.0	+1.6 -0	+8.0 +7.0	9.5 13.6	+2.5 -0	+13.6 +12.0

Nota: los límites se dan en milésimas de pulgada.

Fuente: ANSI Standard B4.1—1967 (revisión 1979), *Preferred Limits and Fits for Cylindrical Parts* (American Society of Mechanical Engineers, Nueva York).

8-7 AJUSTE



CIB-ESPOL

Table 3.5. Typical Values for Billet Heat Treatment and Extrusion of Aluminum Alloys

Material	Homogenizing temp, °C	Min holding time, h	Container temp, °C	Billet temp, °C	Exit speed(a), m/min
Al99.8 to 99.9	580 to 600	6	380	420	50 to 100
Al99.9Mg0.5 to 0.2	560 to 580	6	390	430	50 to 80
AlMn	600 to 620	6	430	450 to 480	30 to 70
AlMg1	550 to 560	12	390	430	30 to 75
AlMg3	530 to 540	12	425	460	3 to 6
AlMg5	500 to 520	12	410	460	1.5 to 3
AlMgMn	550 to 560	12	420	450	6 to 15
AlMg4.5Mn	520 to 540	12	410	450	2 to 6
AlMgSi0.5	560 to 580	6	410	460 to 480	35 to 80
AlMgSi1	560 to 570	6	430	450 to 500	5 to 30
AlMgSiPb	430 to 450	12	360	350 to 400	22 to 5
AlCuBiPb	420 to 440	12	360	350 to 380	3 to 15
AlCuMgPb	430 to 450	12	360	350 to 420	1.5 to 3
AlCuMg1	480 to 490	12	400	420 to 450	1.5 to 3
AlZnMg1	460 to 480	12	480	500 to 530	5 to 25
AlZnMgCu0.5 to 1.5	470 to 480	12	400	420 to 430	0.8 to 2

(a) Depending on the degree of difficulty.

Fig. 3.
(From

but ar
press
N
the bil
tempe
9), rai
press
T
tempe
tempe
plastic
exit sp
by Ak
A
extruc
(a) A
(b) I
(c) I

These effects can be partly or completely eliminated by heat treatment of the cast billets. However, the purpose of the billet heat treatment varies according to quality and economic requirements and can involve dissolution, precipitation, or uniform distribution of the alloying components. The choice of homogenization, heterogenization or a combined heat treatment depends on each individual case. The process used for the different aluminum alloys is related to the extrusion technology of the material in question. Commercial heat treatments are given in Table 3.5. High-temperature heat treatment, which is not necessarily homogenization, is generally carried out at the aluminum smelter, where the billets are continuously cast. The homogenization furnaces are designed for the heat treatment of complete logs up to 7 m long. In the case of age-hardening materials (in particular, AlMgSi0.5 for bright-finish anodizing), rapid cooling from the heat treatment temperature is needed to suppress precipitation of the secondary phase, which impairs the quality of the bright finish. Quenching chambers with water sprays are very suitable because the cradles with the hot logs can be rapidly transported into them. The cradles provide a constant air gap between the logs, and the charge can be rapidly and uniformly cooled. The logs are most often cut into billets



CIB-ESPOL

Técnica	micrómetros (μm)												
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012
	Micropulgadas (μ'')												
	2 000	1 000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	0.5
Cortado a flama	█	█	█										
Forjado			█	█	█								
Cortado con sierra	█	█	█	█	█	█							
Pulido, dar forma			█	█	█	█	█						
Barrenado o perforado				█	█	█	█						
Fresado químico				█	█	█	█						
Maquinado por descarga					█	█	█						
Fresado				█	█	█	█	█					
Escariado					█	█	█	█					
Taladrado				█	█	█	█	█	█				
Torneado				█	█	█	█	█	█	█			
Lijado electrolítico								█	█	█			
Bruñido								█	█	█			
Lijado							█	█	█	█	█		
Rectificado							█	█	█	█	█	█	
Pulido									█	█	█	█	
Pulimentado									█	█	█	█	
Superacabado										█	█	█	█

█ = Aplicación industrial promedio (los valores pueden variar bajo condiciones especiales)

Figura 8-3 Acabados que se obtienen mediante distintas técnicas (promedio de rugosidad, R_a)



CID-ESPOL

Tabla 8-1 Grados de tolerancia

<i>Aplicación</i>	<i>Grados de tolerancia</i>									
Herramientas de medición	01	0	1	2	3	4	5	6	7	
Ajustes de partes maquinadas	4	5	6	7	8	9	10	11		
Material, como lo entrega el proveedor	8	9	10	11	12	13	14			
Formas en bruto (fundidas, aserradas o cortadas, forjadas, etcétera.)	12	13	14	15	16					

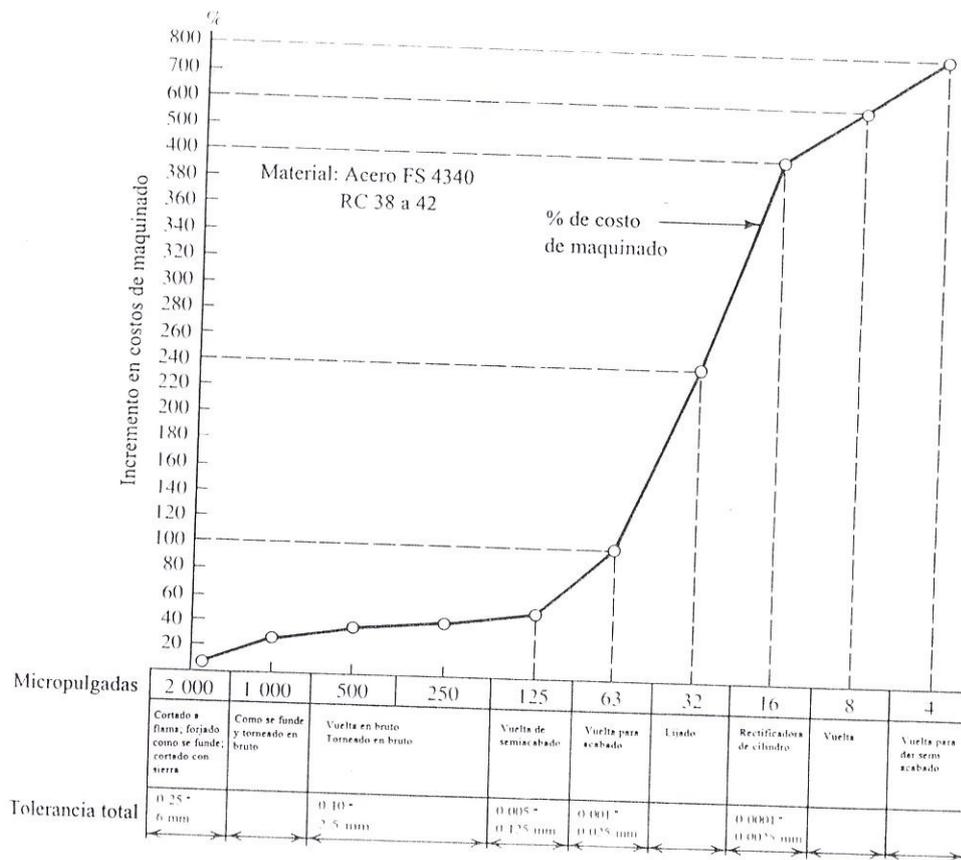


Figura 8-2 Costos de maquinado contra acabado superficial especificado. (Reimpreso con licencia de Association for Integrated Manufacturing Technology, Asociación para la Tecnología de Fabricación Integrada, [originalmente Numerical Control Society, Sociedad para el Control Numérico]).

métrica para límites y ajustes en la Recomendación 286 (ISO R286), que se utiliza en Europa y muchos otros países.

El término *grado de tolerancia* se refiere a un conjunto de tolerancias que pueden obtenerse con una capacidad de producción aproximadamente igual. La tolerancia total real permitida dentro de cada grado, depende del tamaño nominal de la dimensión. Se pueden obtener tolerancias más pequeñas para dimensiones más pequeñas y viceversa. Las normas ISO R286 y ANSI B4.1 incluyen información completa para grados de tolerancia de 01 hasta 16, como muestra la tabla 8-1. La tolerancia es más pequeña para el grado más pequeño.



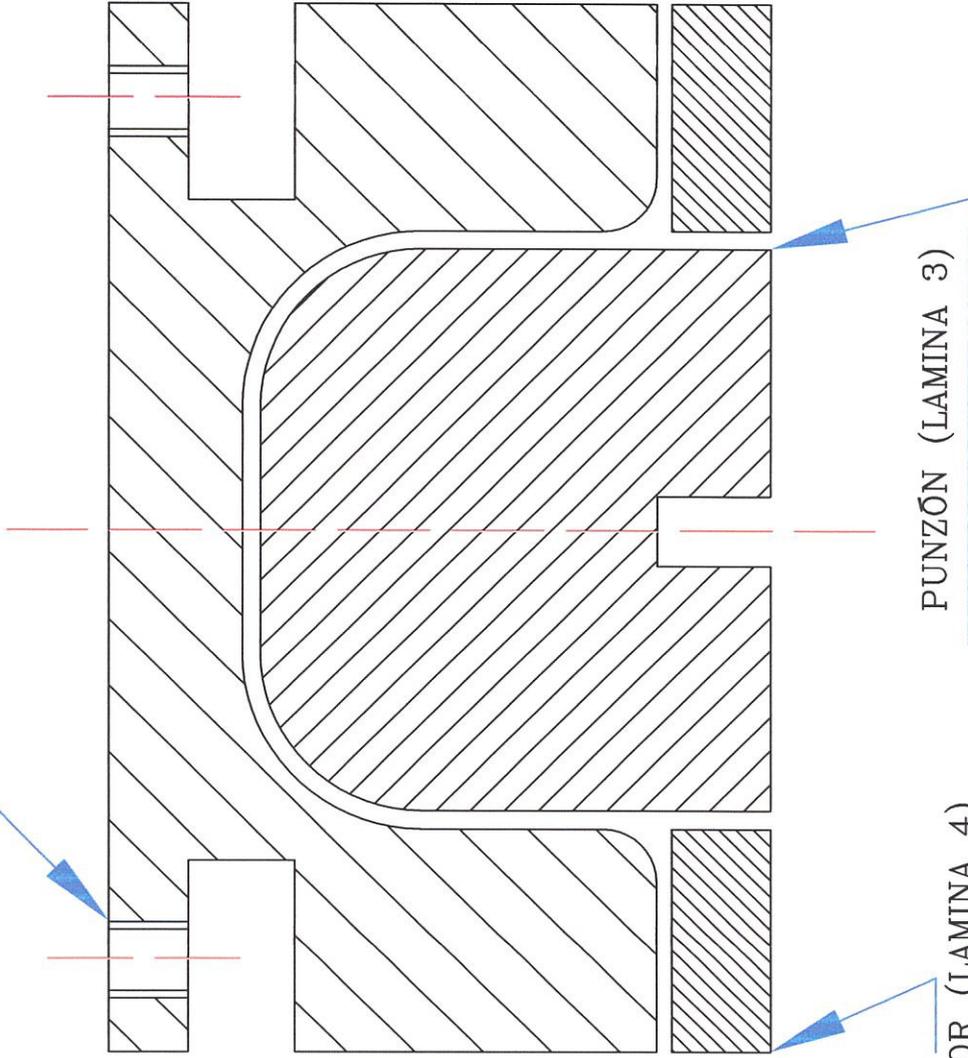
CIB-ESPOL

PLANOS



CIB-ESPOL

MATRIZ HEMBRA (LAMINA 2)



PUNZÓN (LAMINA 3)

ANILLO PISADOR (LAMINA 4)



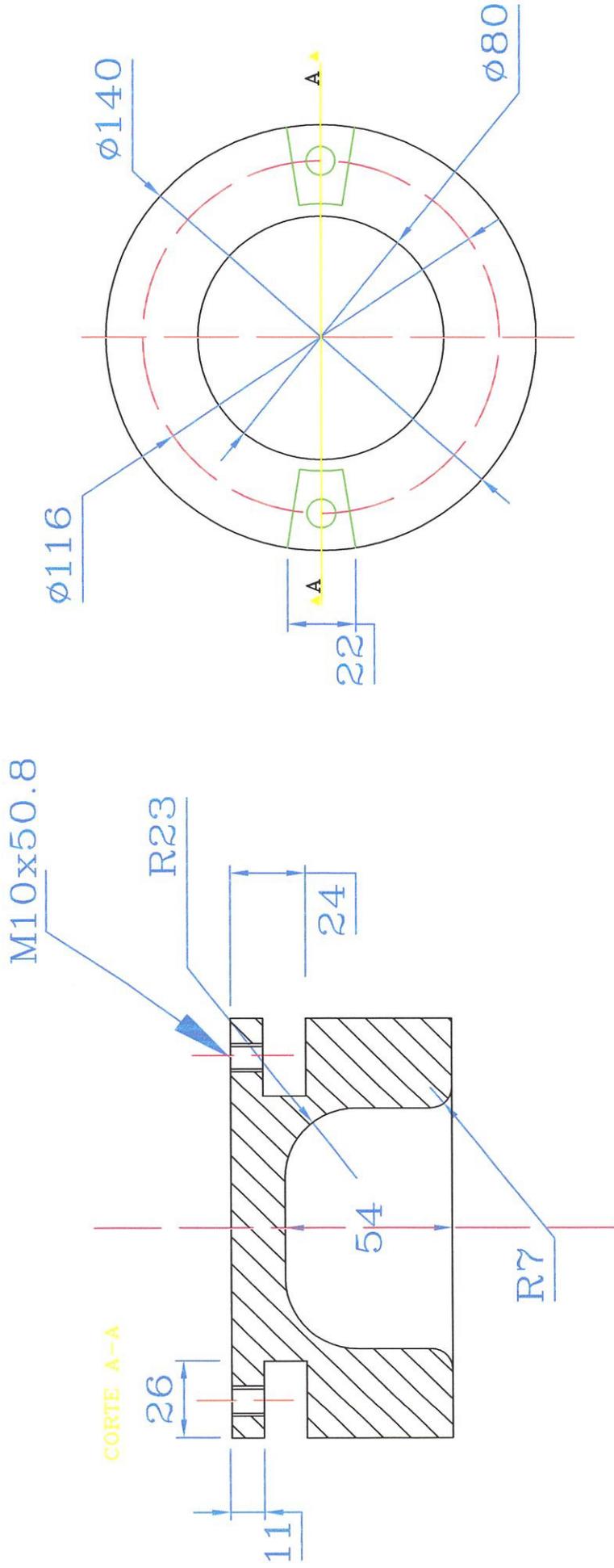
CIB-ESPOL

ESCALA
1:1

CONJUNTO EMBUTICION

U.DIM: mm

ESPOL



OBSERVACIONES

Las alturas han sido aumentadas del valor original con el objeto de observar hasta que límites se puede llevar al material. La carrera de la máquina debe ser regulada inicialmente para una longitud de 23.4 mm y luego llevarla hasta 54 y observar el grado de éxito y como aumenta el requerimiento de fuerza en el pisador

2

ESCALA

2:1

U.DIM mm

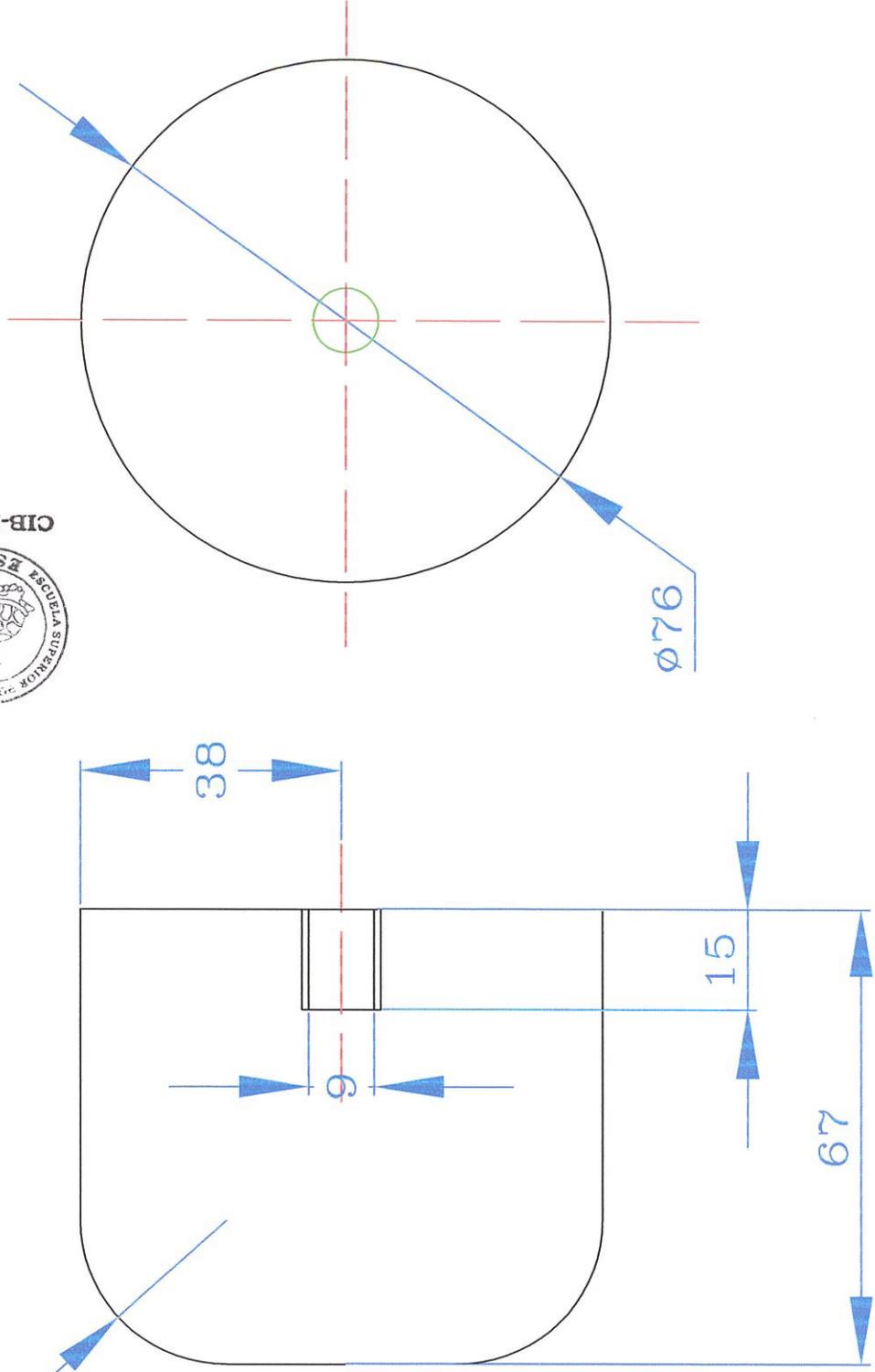
FSPOL

MATRIZ HEMBRA

R21



CIB-ESPOL



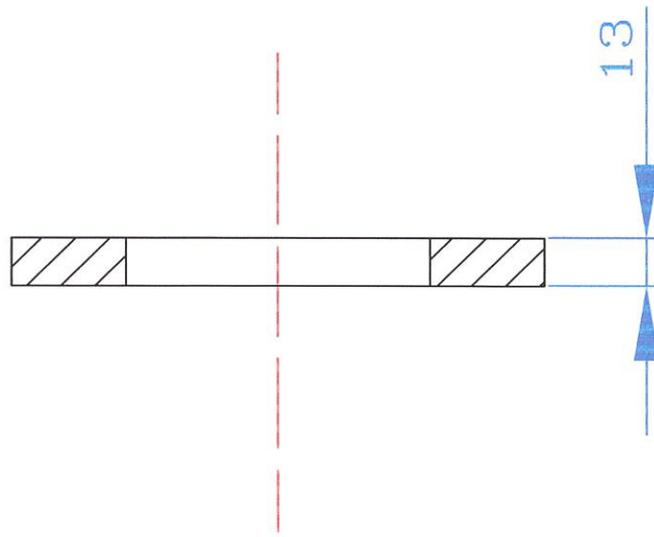
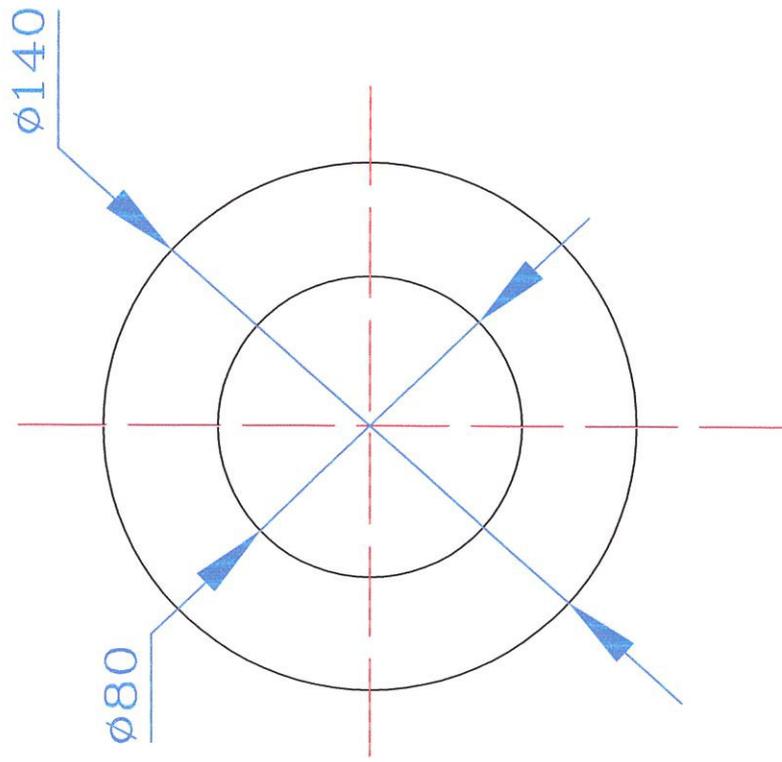
ESPOL

ESCALA
1:1

U.DIM: mm

PUNZÓN

3

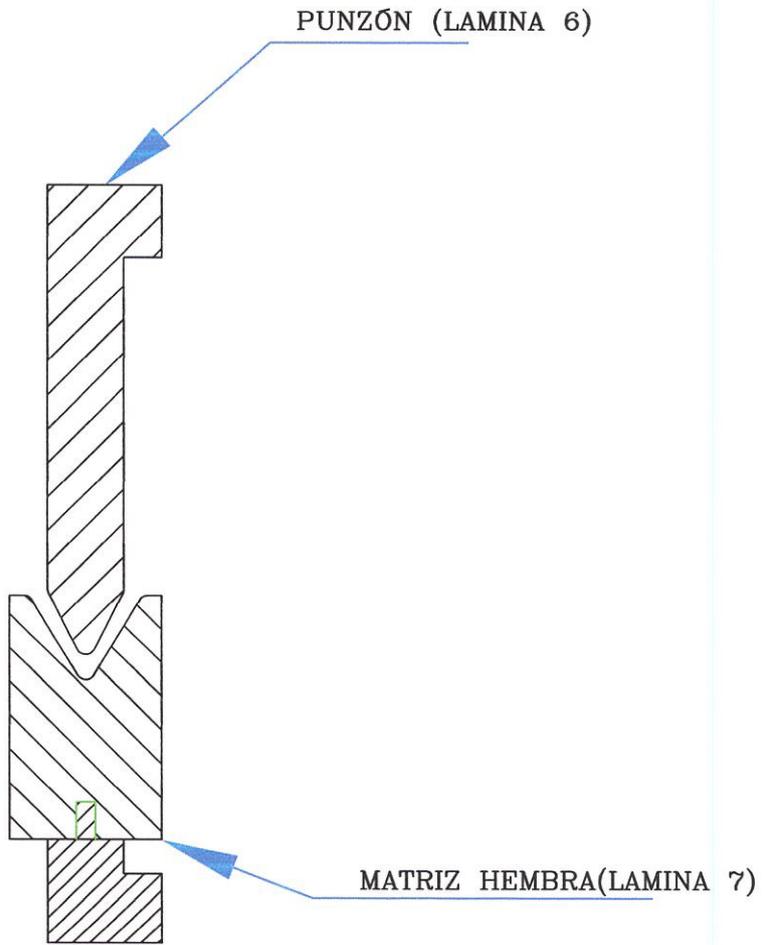


ESPOL

ESCALA
2:1

U.DIM: mm

ANILLO PISADOR



5

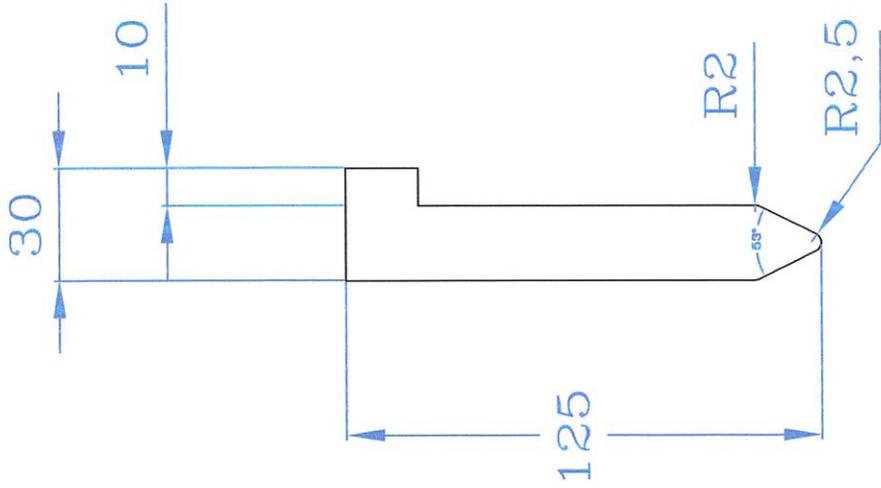
ESPOL

ESCALA
1:1
U.DIM: mm

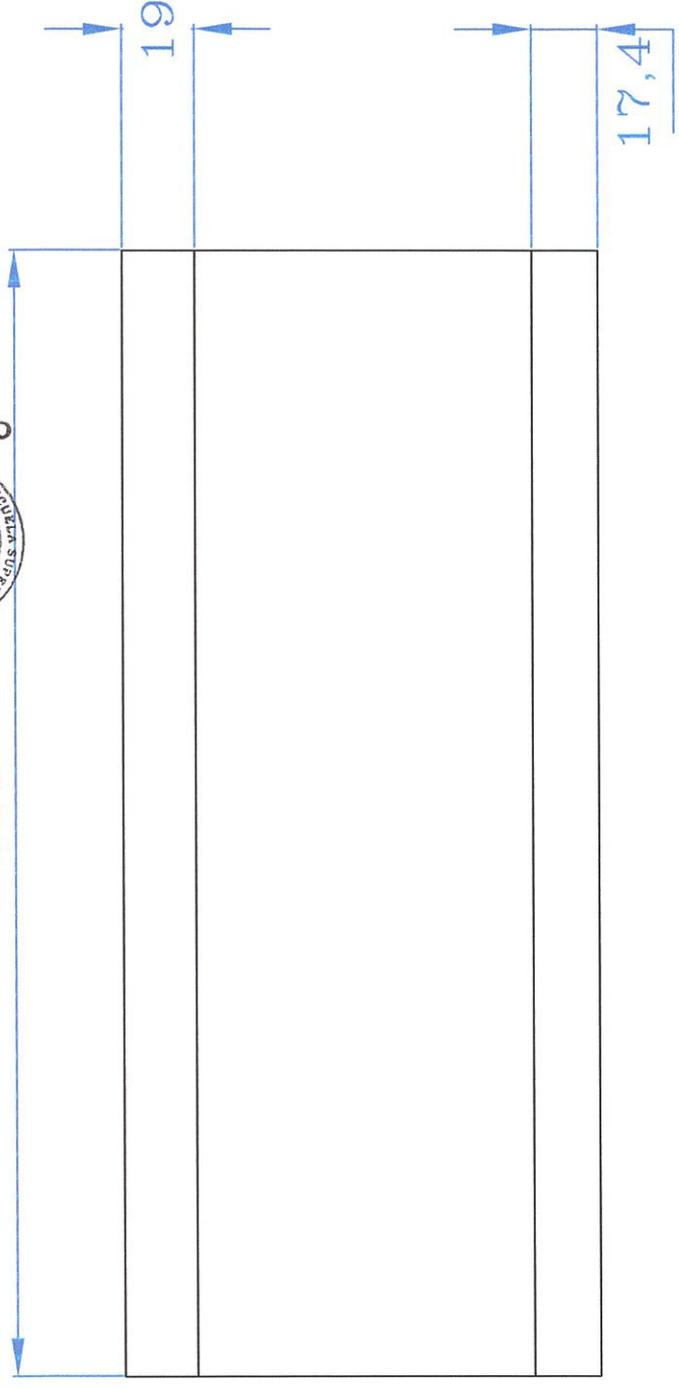
CONJUNTO PLEGADO



NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



300



ESPOL

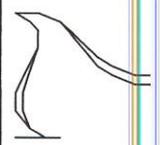
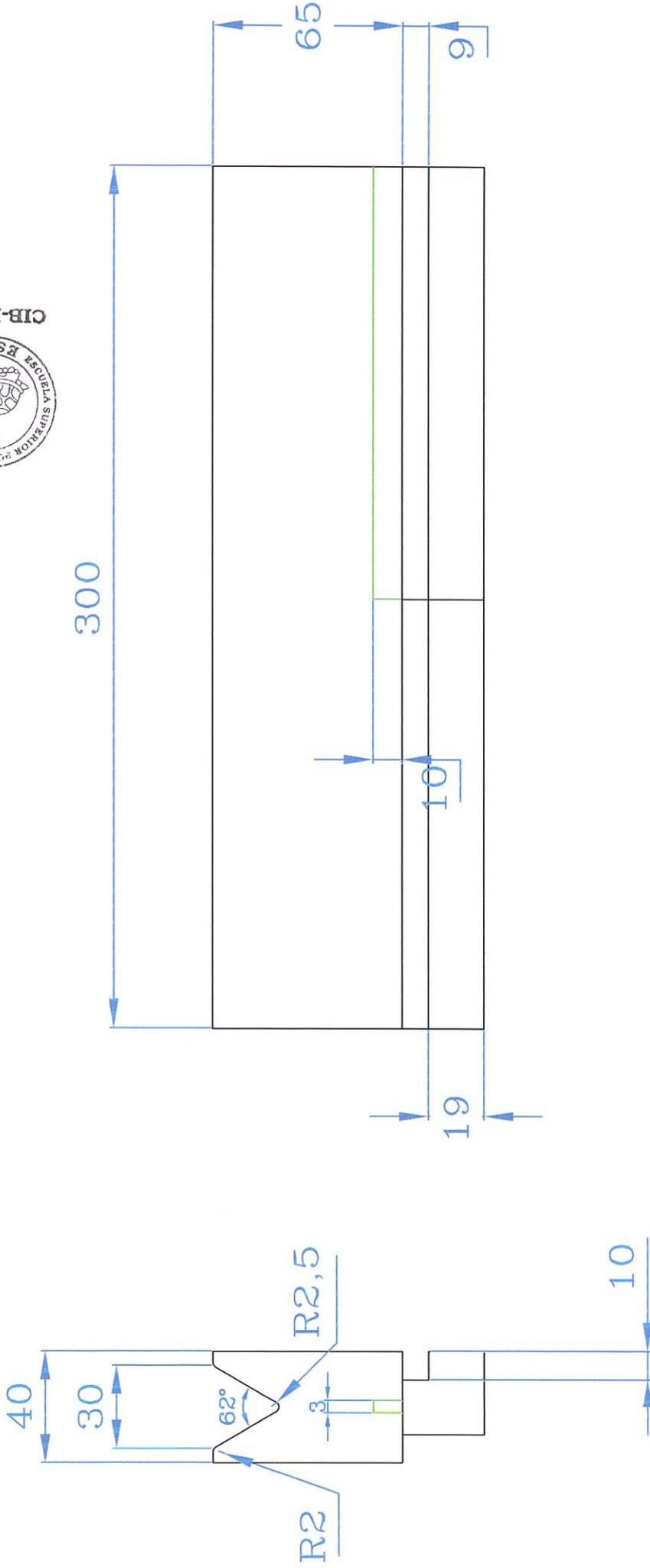
ESCALA
1:1

U.DIM: mm

PUNZÓN



CIB-ESPOL



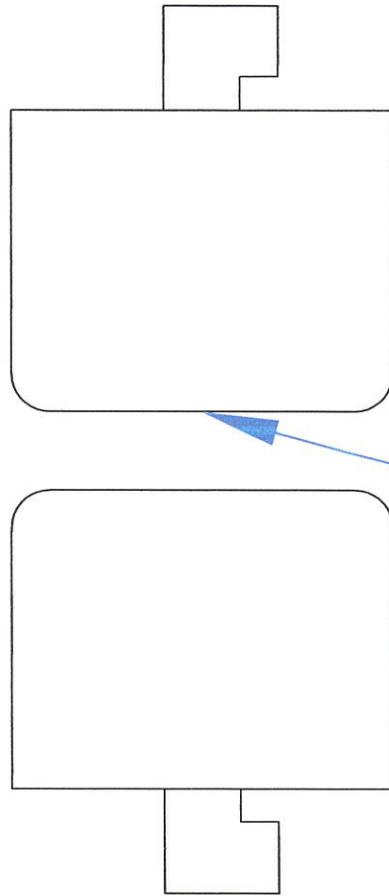
ESPOL

MATRIZ HEMBRA

ESCALA
1:1
U.DIM: mm

NUMERO: 1411005 EMPLEADO: NAVIAC CAEM17

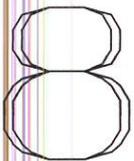
Nº



PUNZÓN(LAMINA 9)



CIB-ESPOL



ESPOL

ESCALA
1:1

U.DIM: mm

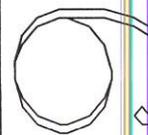
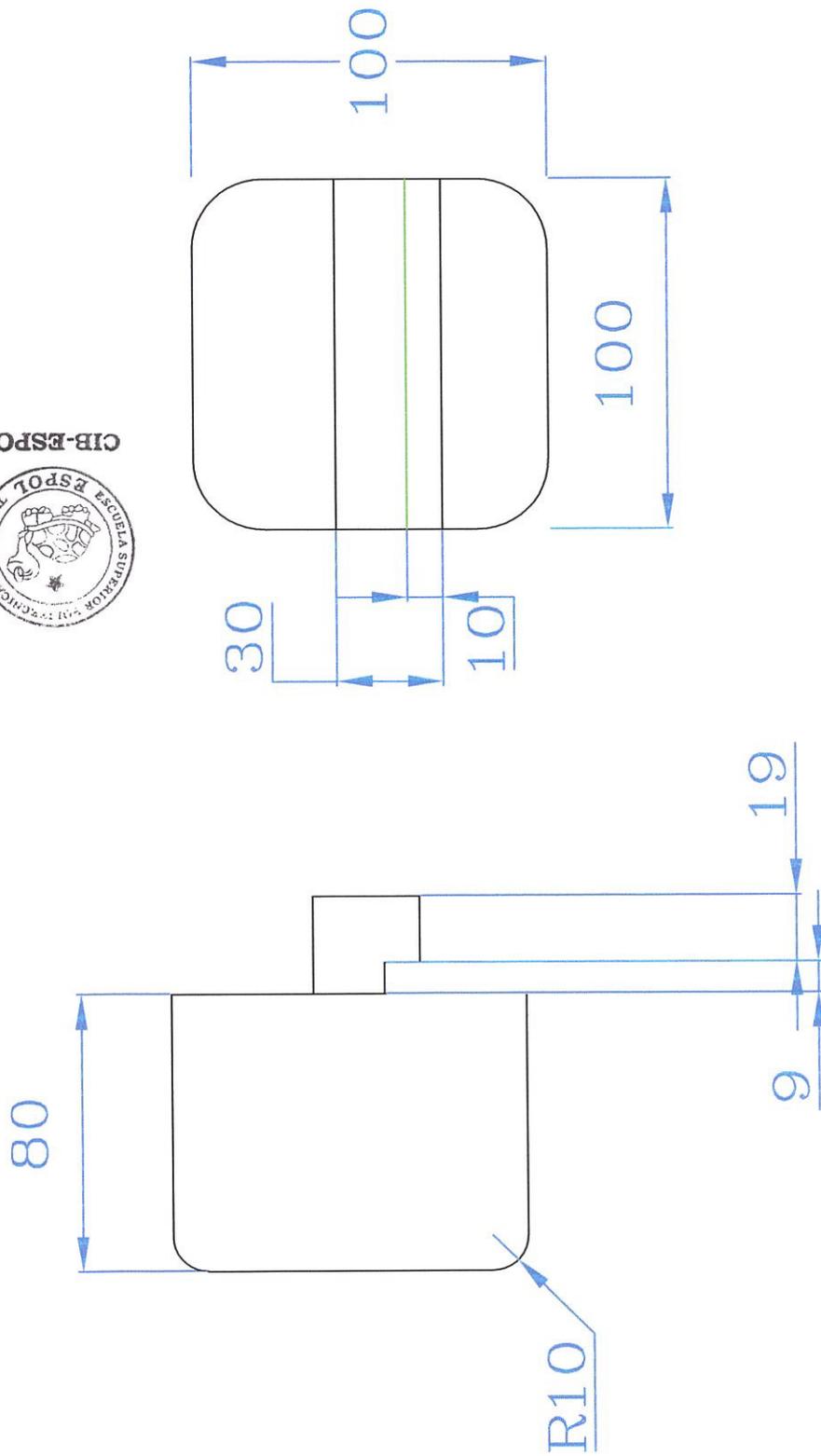
CONJUNTO FORJA



NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



CIB-ESPOL

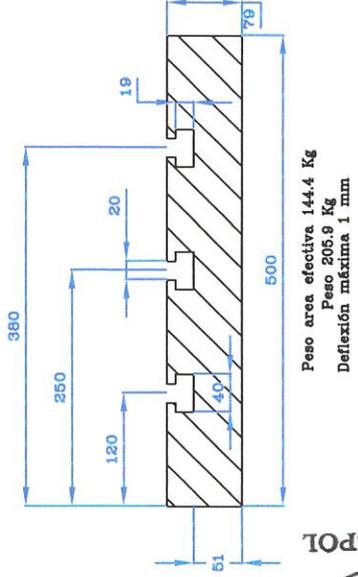
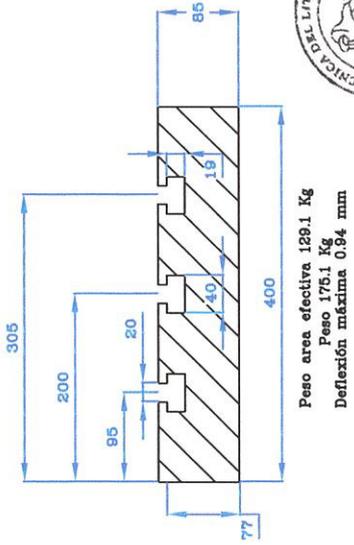
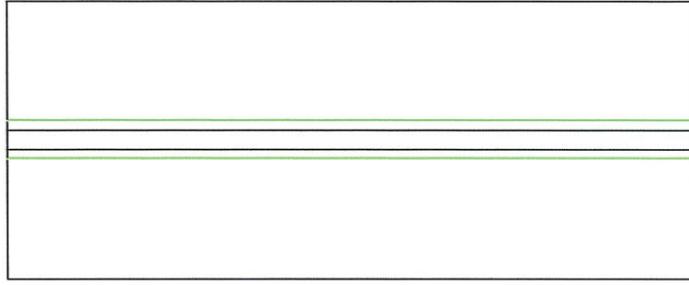
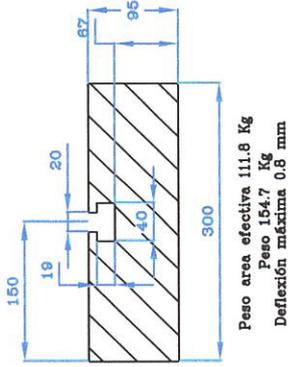
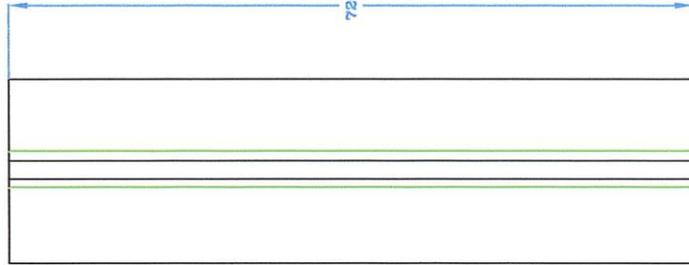
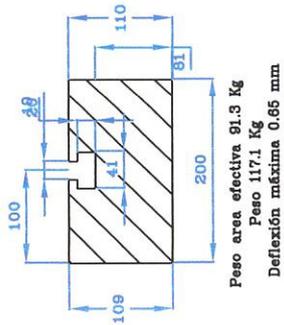


ESPOL

ESCALA
1:1

U.DIM: mm

MATRIZ DE FORJA



ESCALA
 1:1

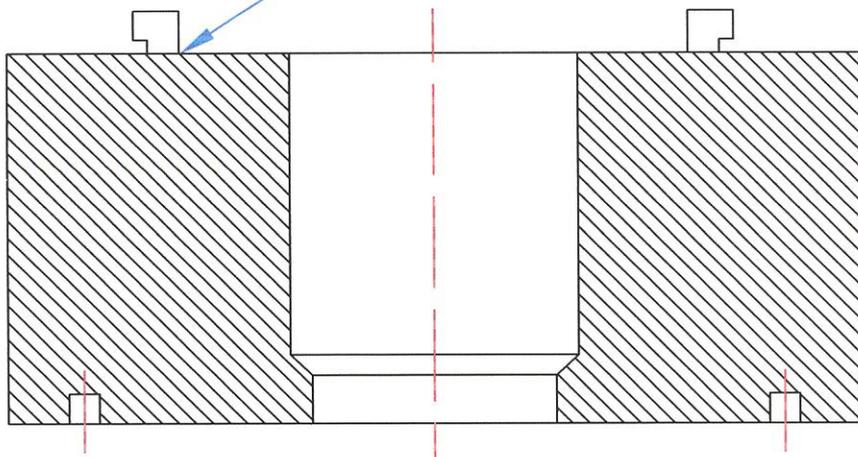
U.DIM: mm

ESPOL

10

MESA PARA FORJA

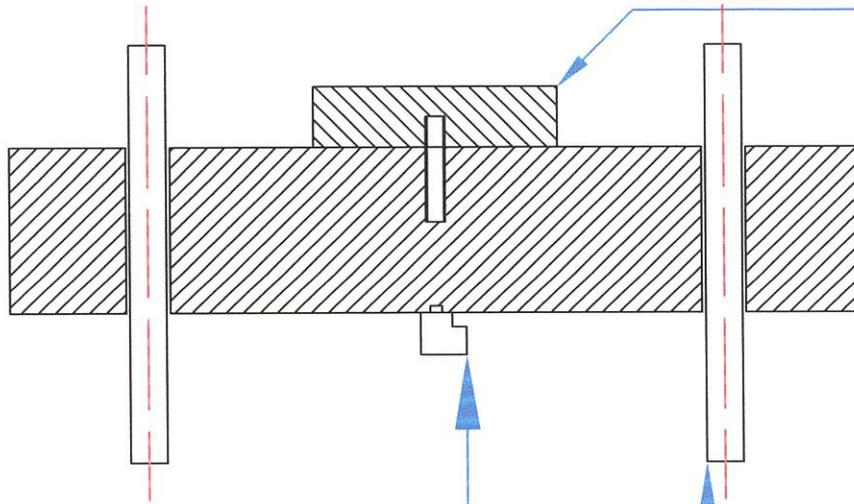
BASE DE MATRIZ DE CORTE 2 (LAMINA 13)



PLACA DE SOPORTE (LAMINA 16)



PUNZON DE CORTE LAMINA 15



BASE DE MATRIZ DE CORTE 1 LAMINA 12

EMPUJADORES LAMINA 14

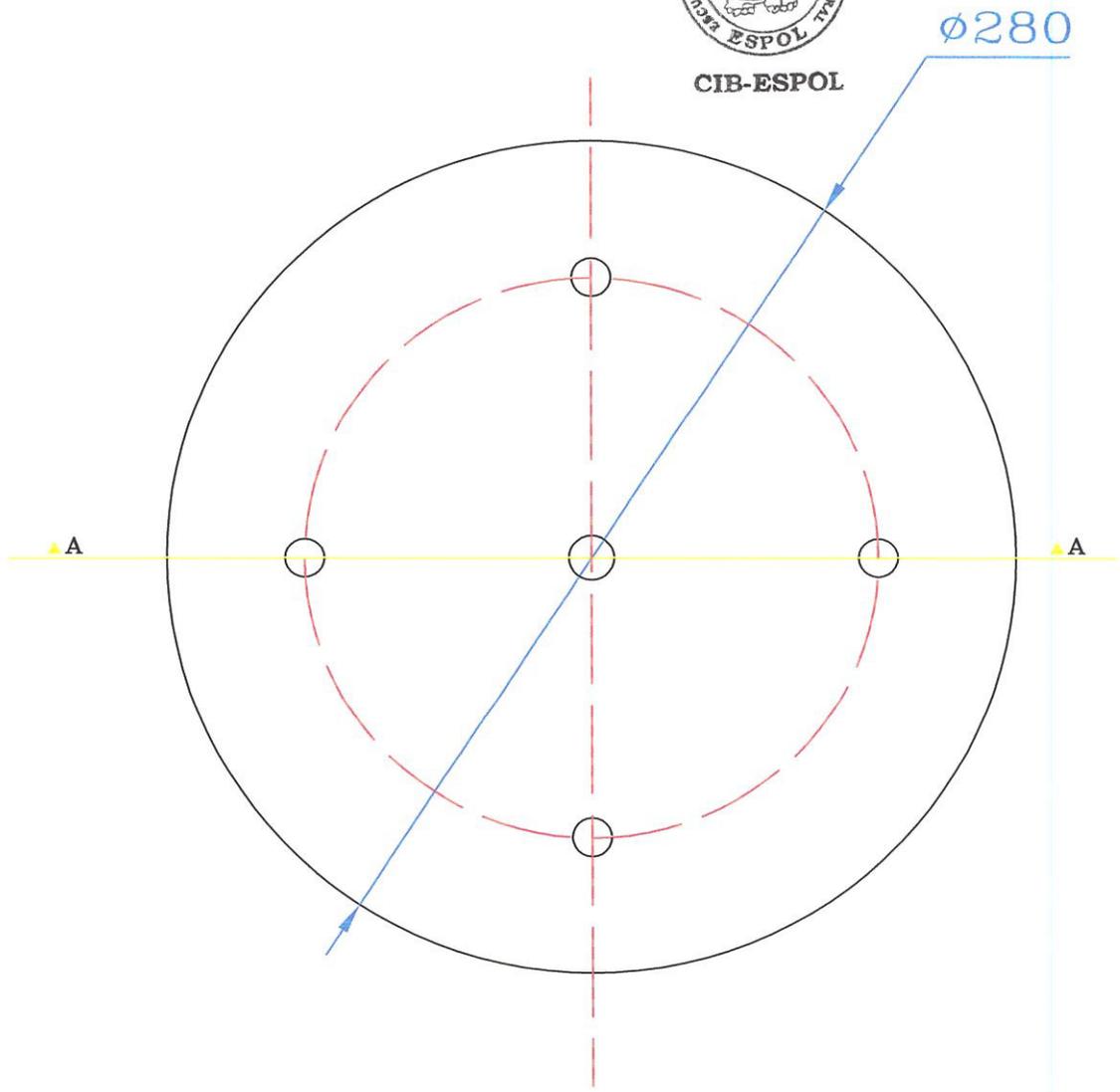
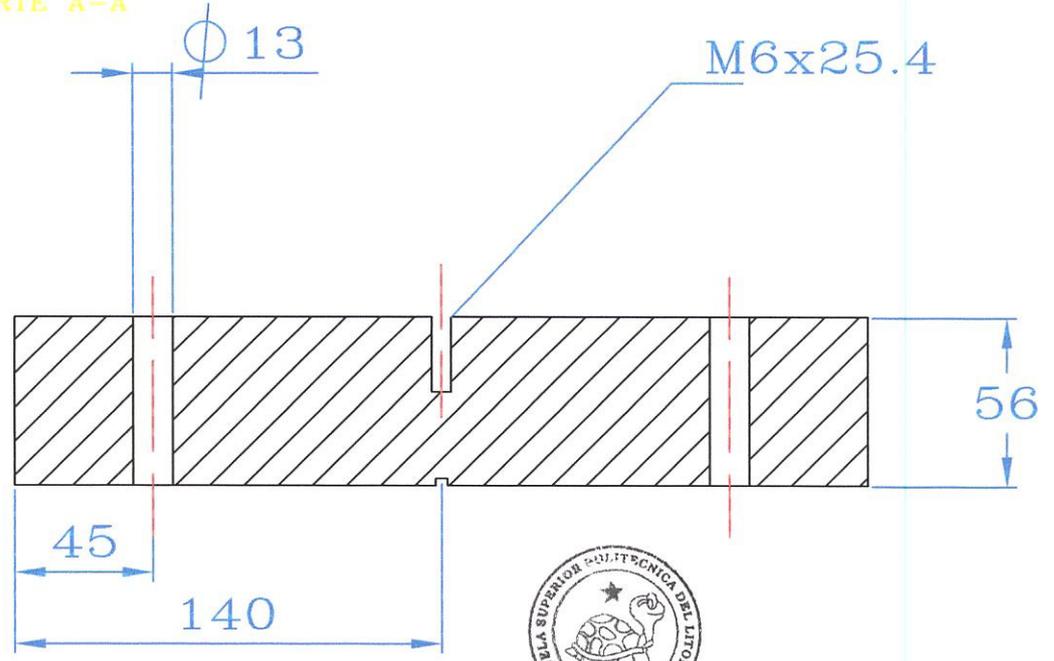


12

ESPOL
ESCALA
1:2.5
U.DIM: mm

BASE DE MATRIZ DE CORTE

CORTE A-A



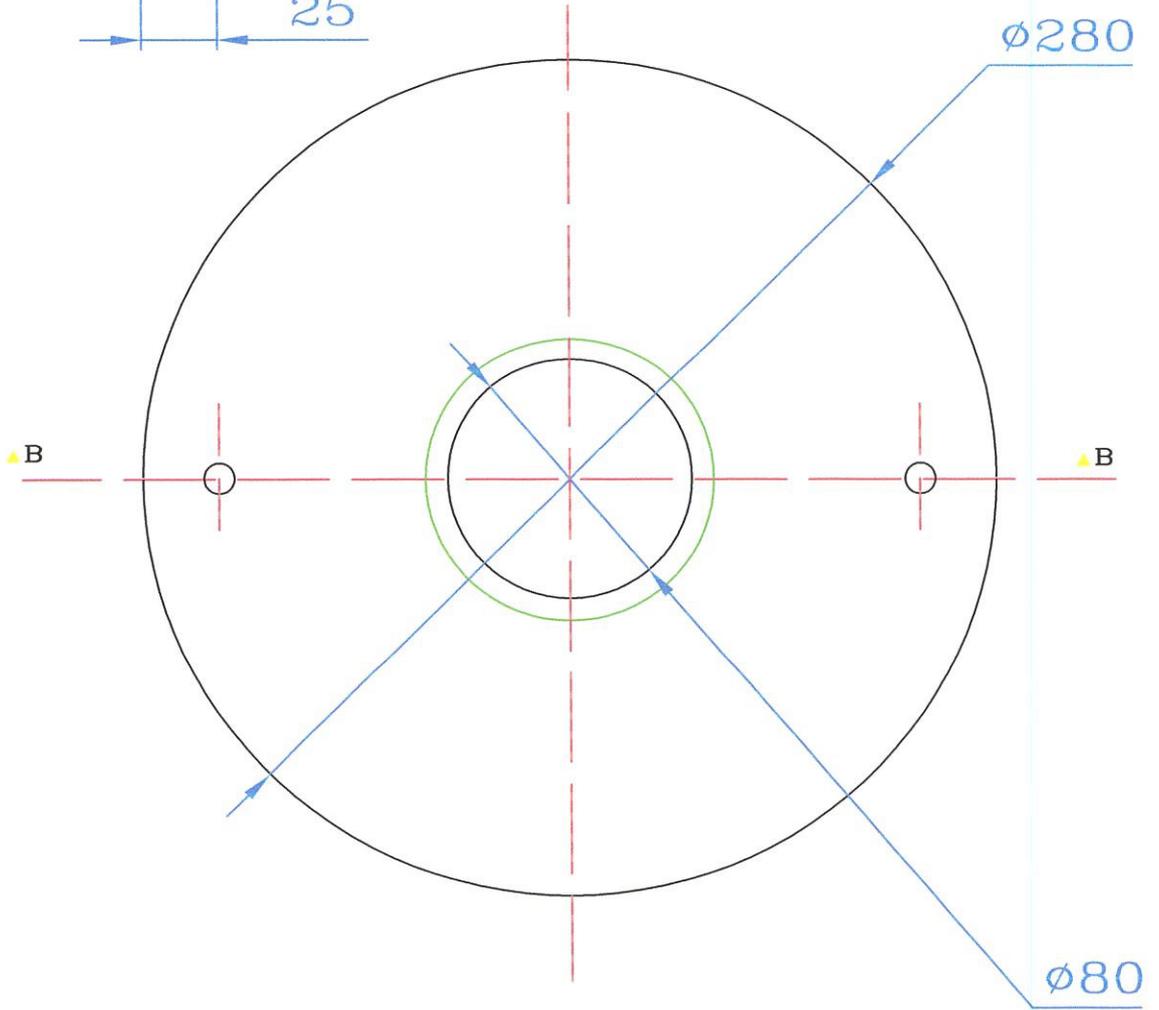
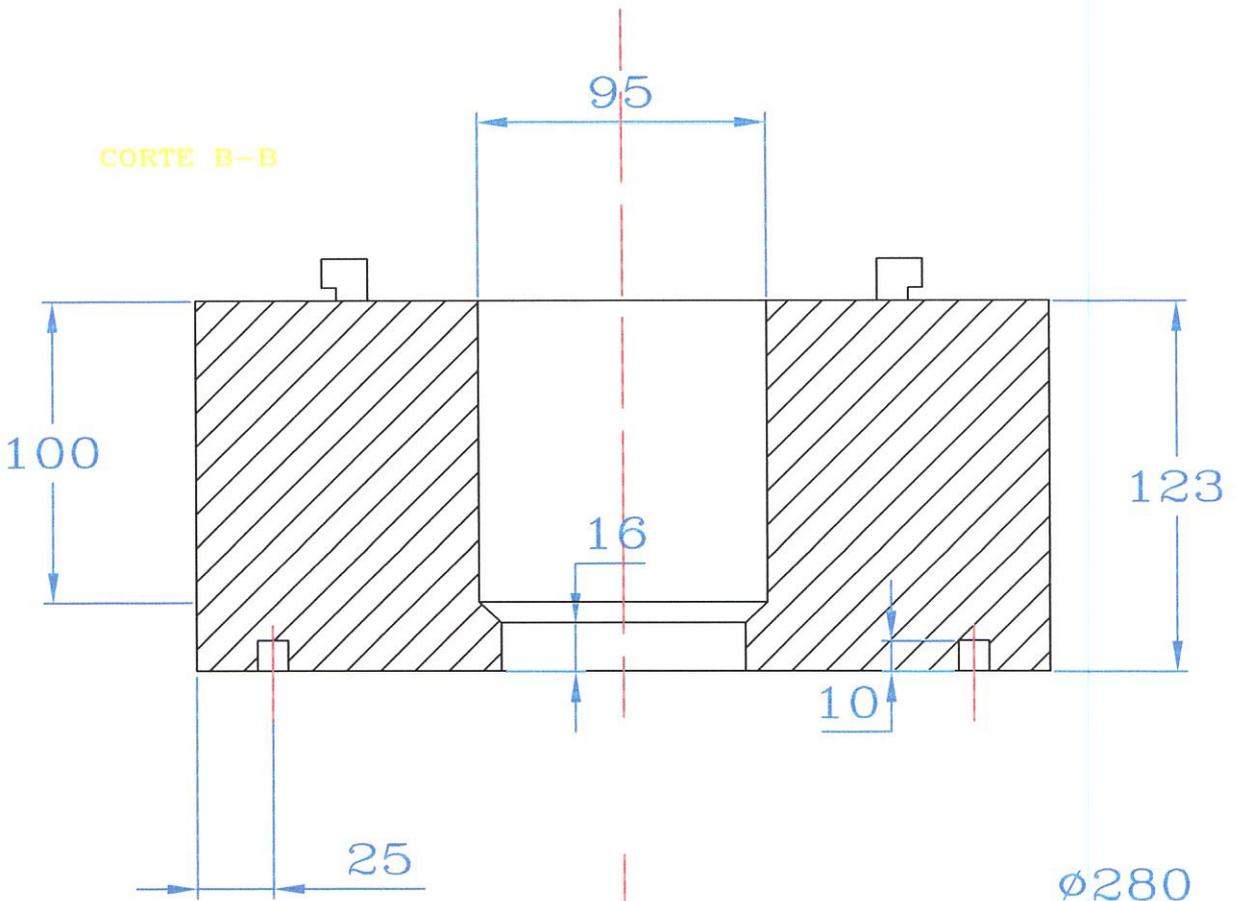
13

ESPOL

ESCALA
1:2.5
U.DIM: mm

BASE DE MATRIZ DE CORTE

CORTE B-B

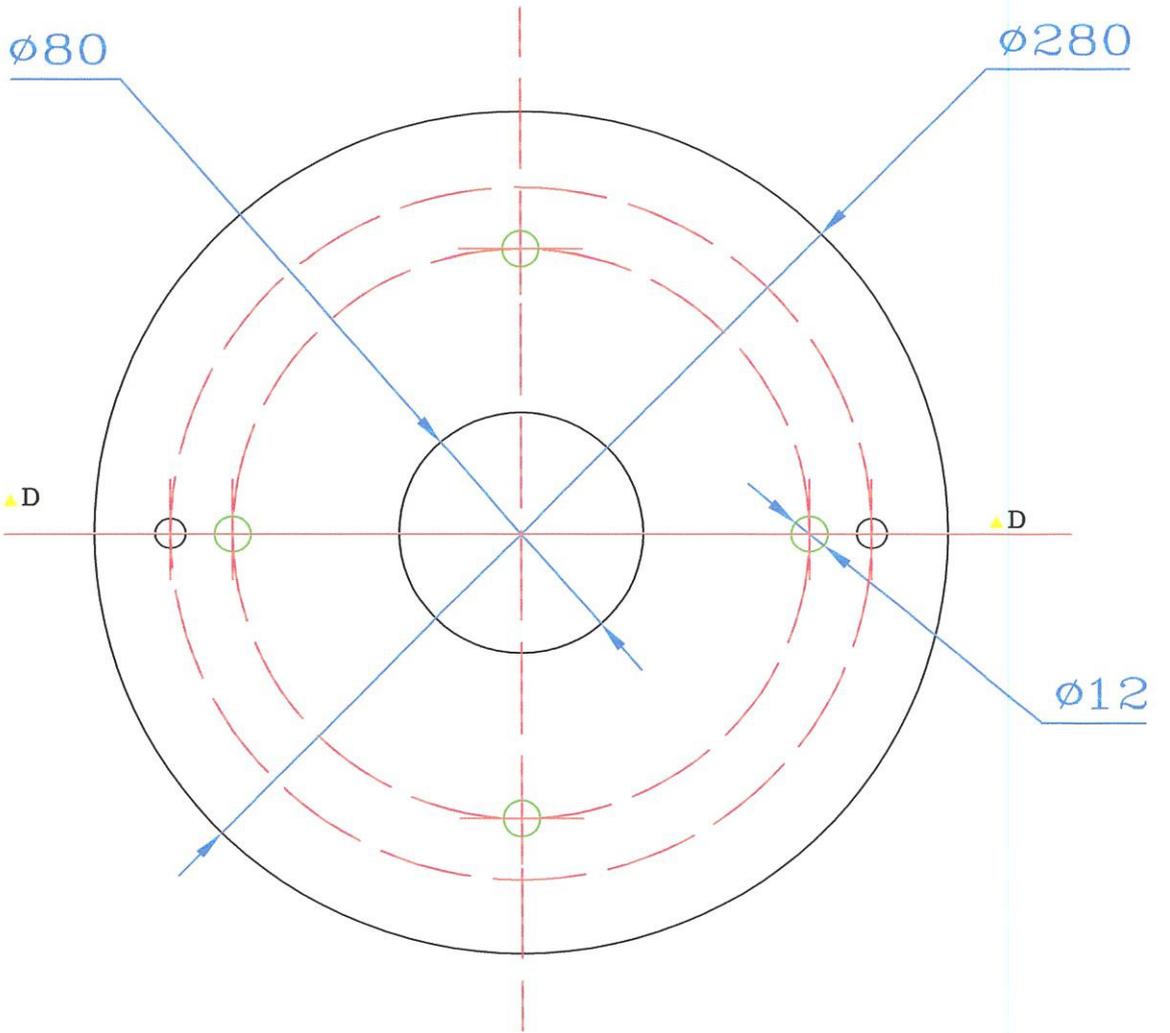


15

ESPOL

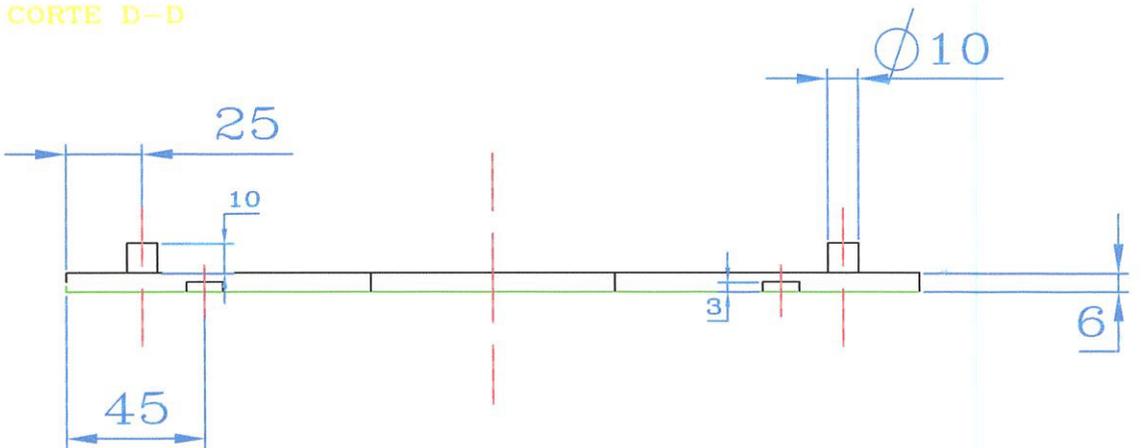
ESCALA
1:2.5
U.DIM: mm

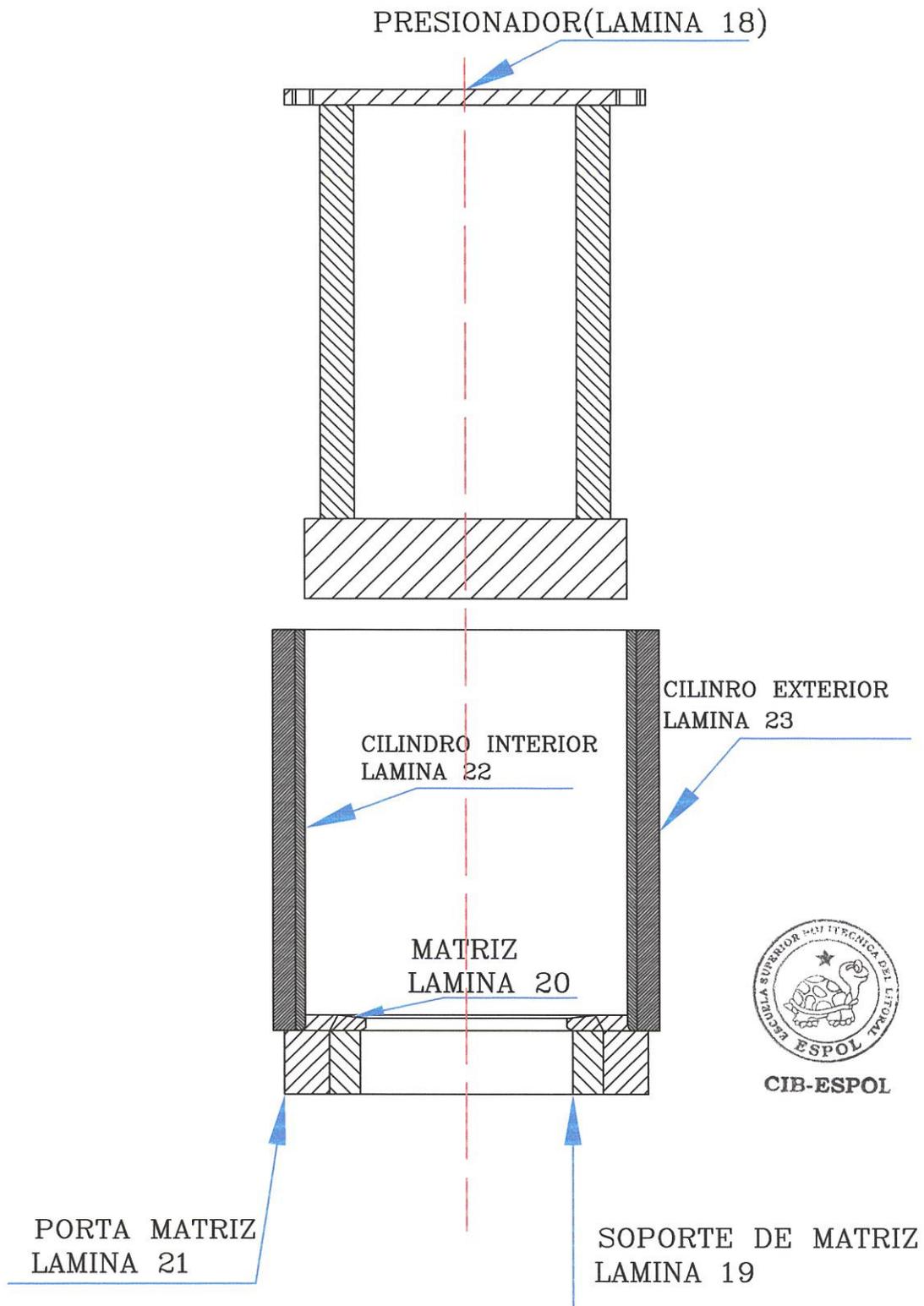
PLACA DE SOPORTE



CIB-ESPOL

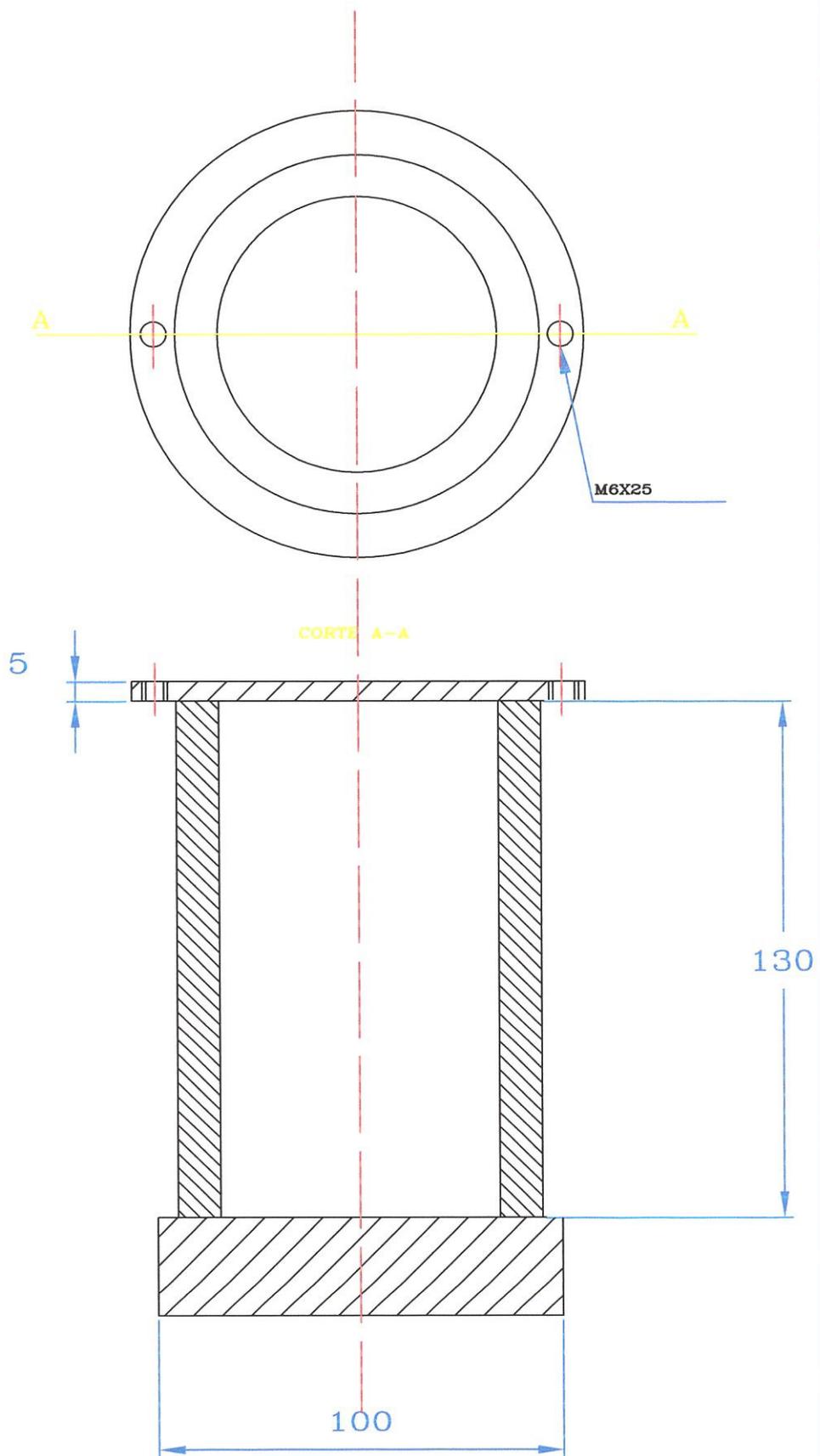
CORTE D-D



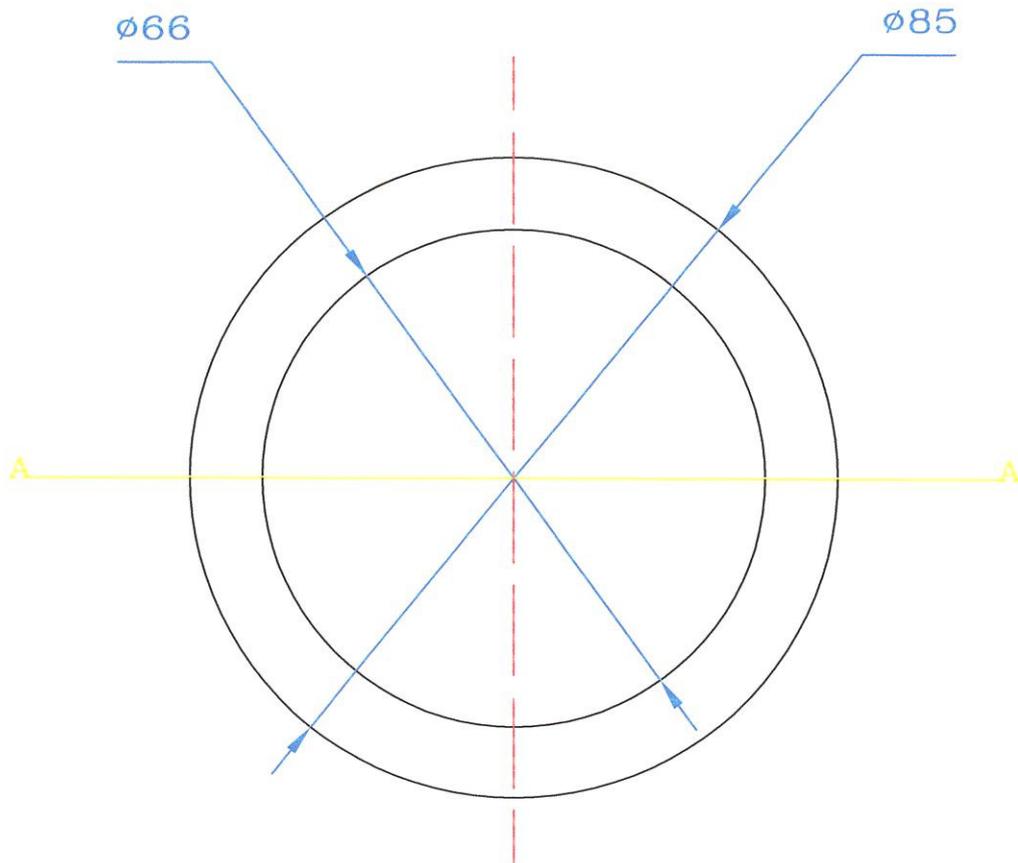


CIB-ESPOL

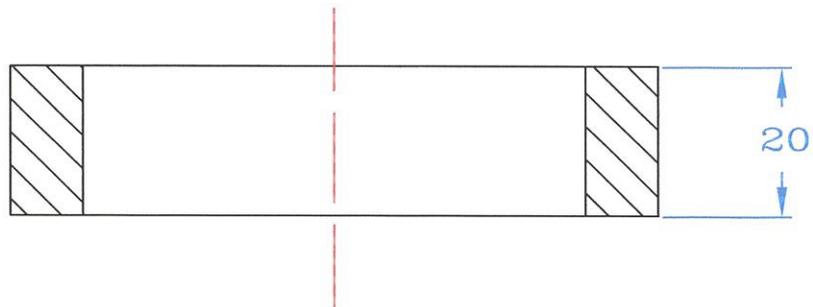
16	ESPOL	ESCALA	CONJUNTO EXTRUSION
		1:2	
		U.DIM: mm	
			NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



17	ESPOL	ESCALA 1:1.6	PRESIONADOR
		U.DIM: mm	
			NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



CORTE A-A



CIB-ESPOL

18

ESPOL

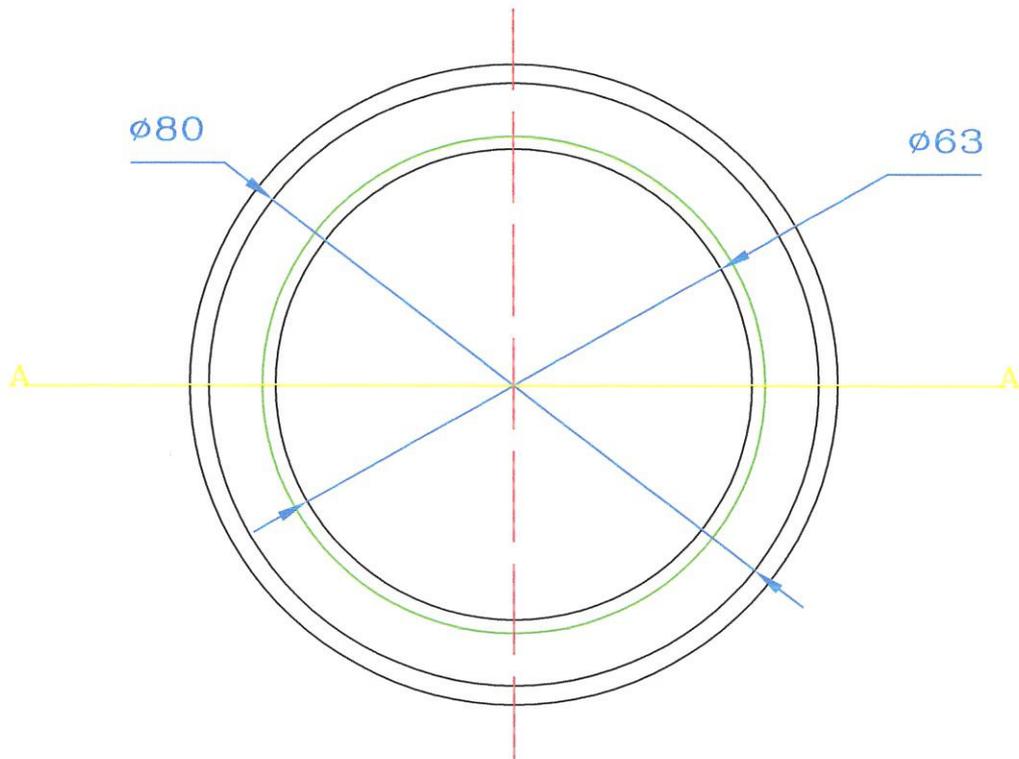
ESCALA
1:1

U.DIM: mm

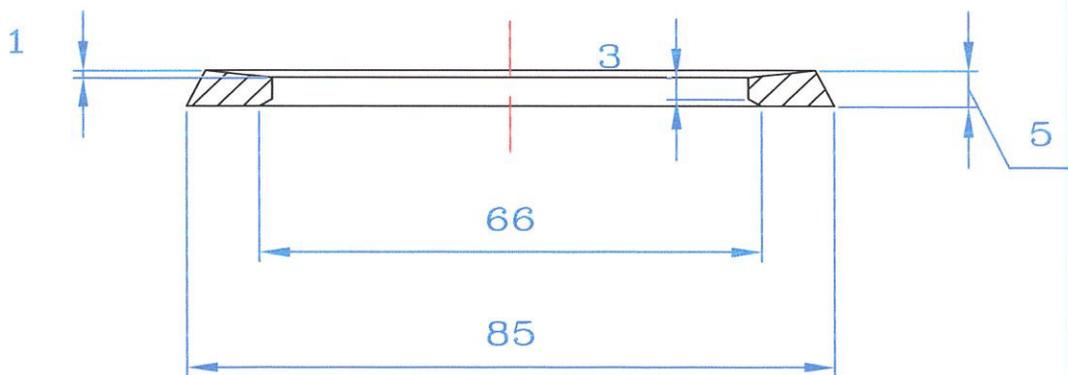
SOPORTE DE MATRIZ



NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



CORTE A-A



CIB-ESPOL

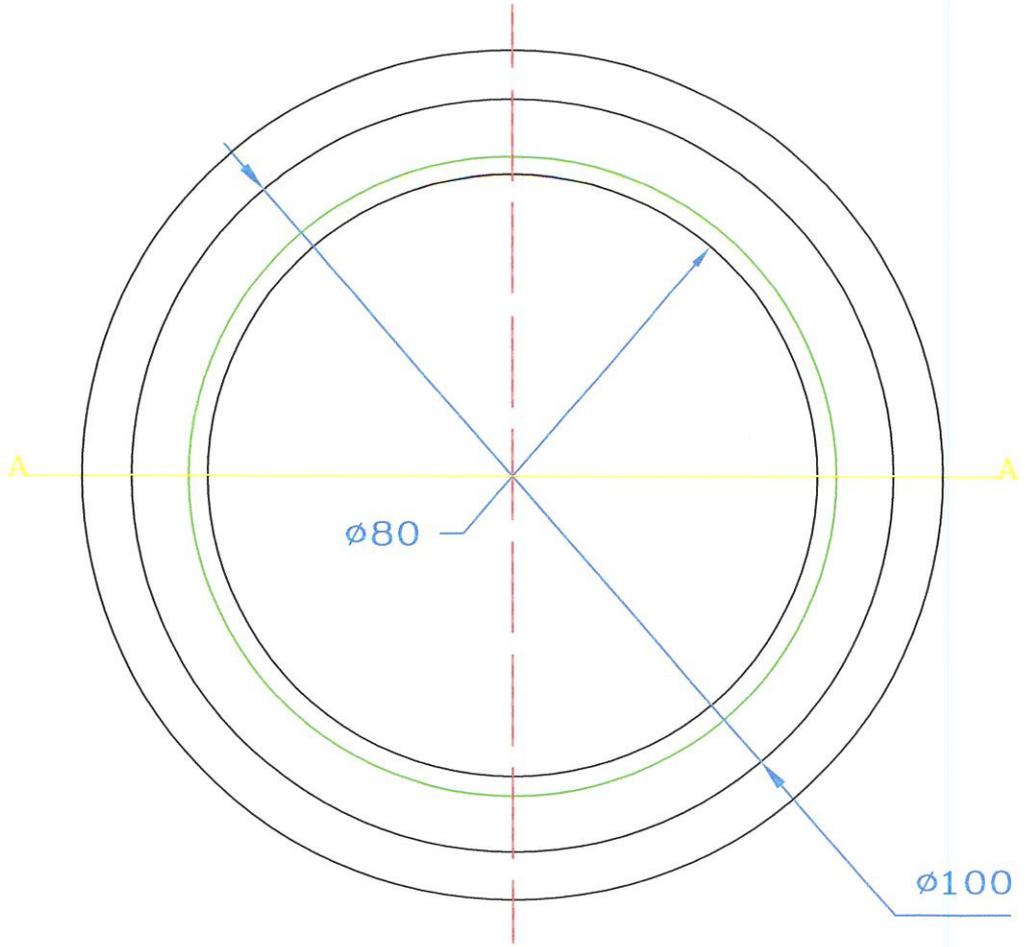
19	ESPOL	ESCALA 1:1	MATRIZ
		U.DIM: mm	
			NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ

20

ESPOL

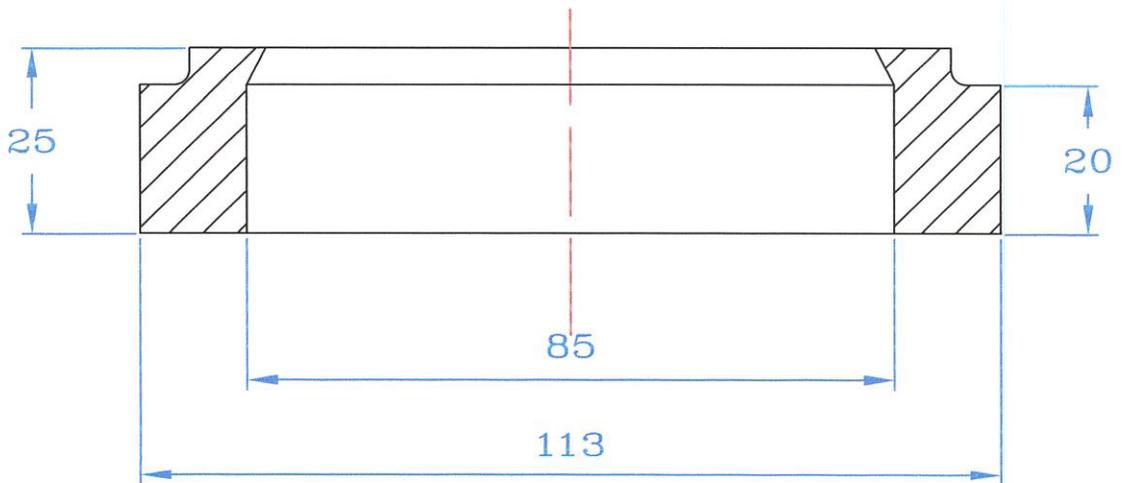
ESCALA
1:1
U.DIM: mm

PORTA MATRIZ

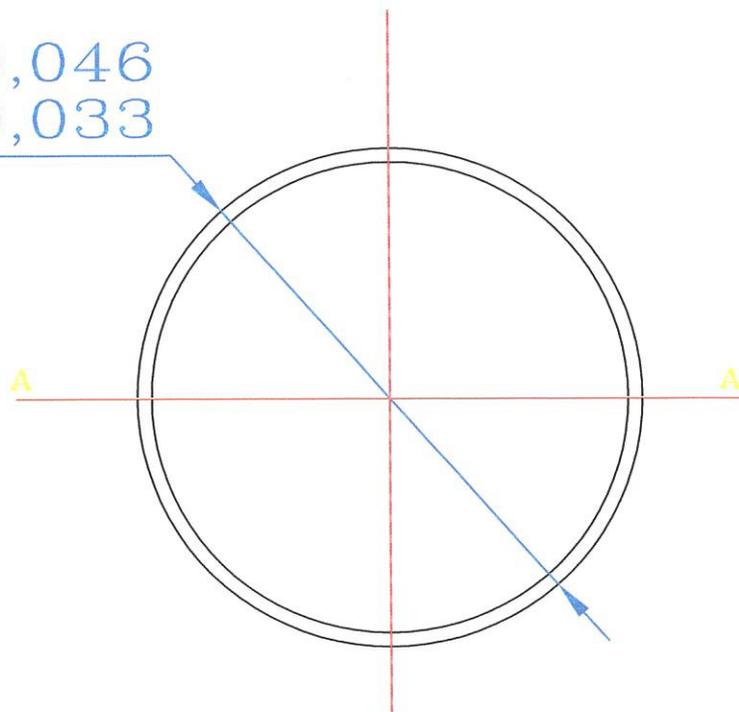


CIB-ESPOL

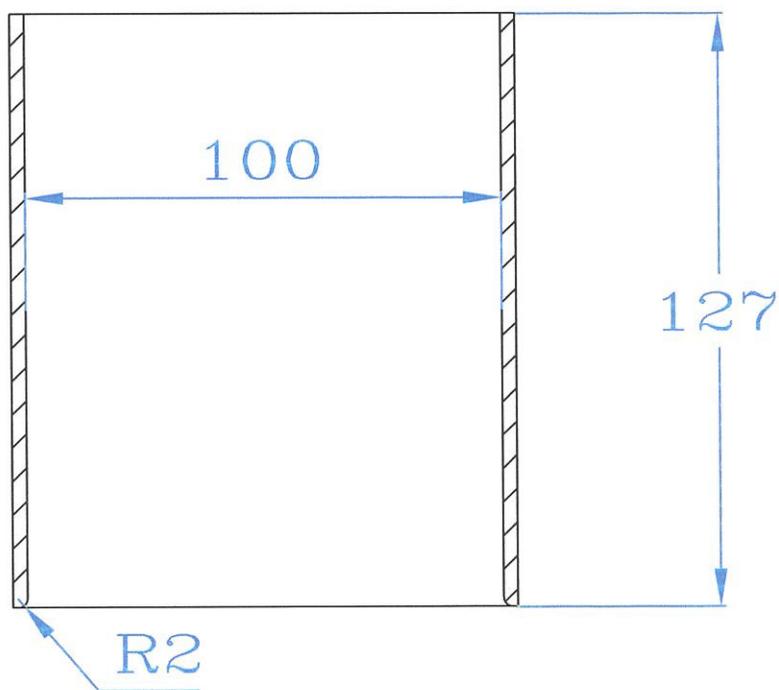
CORTE A-A



+0,046
 $\varnothing 106 - 0,033$



CORTE A-A



21

ESPOL

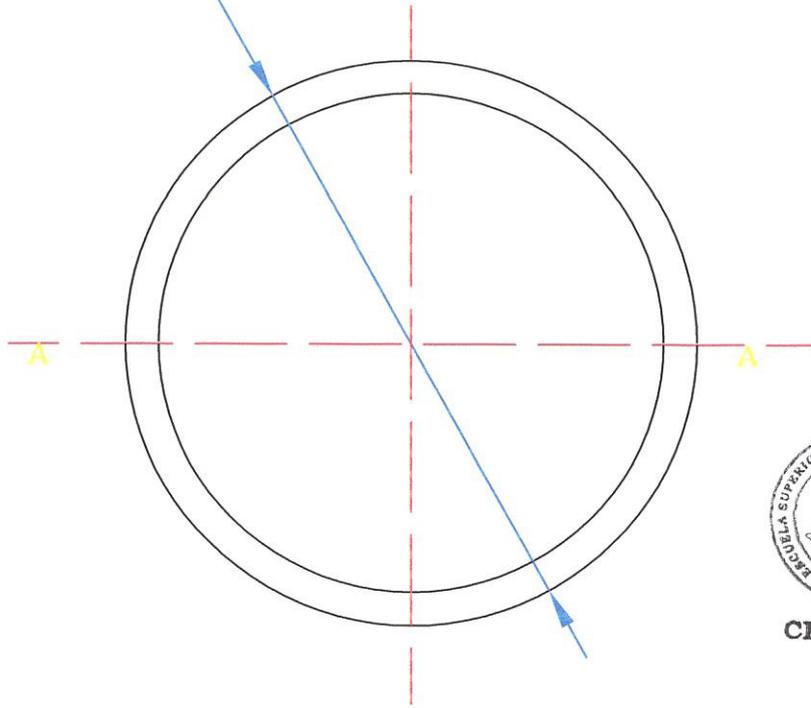
ESCALA
1:1.6
U.DIM: mm

CILINDRO INTERIOR

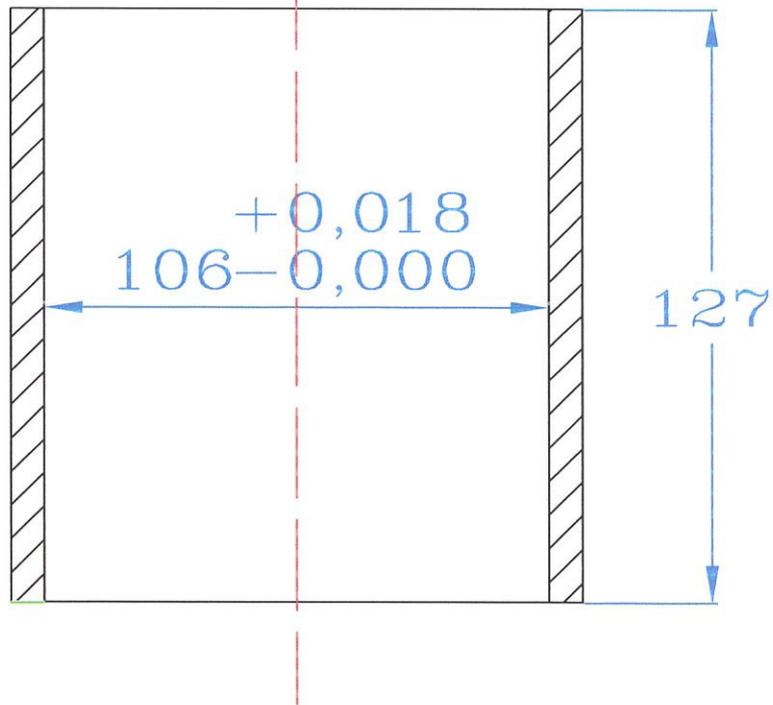


NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ

Ø120



CORTE A-A



22

ESPOL

ESCALA
1:1.6

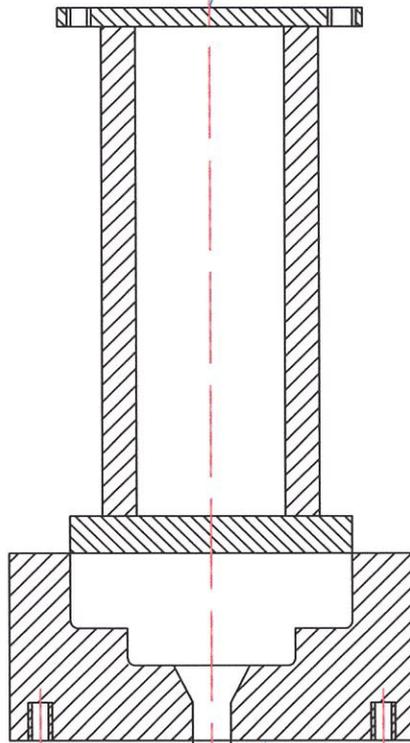
U.DIM: mm

CILINRO EXTERIOR



NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ

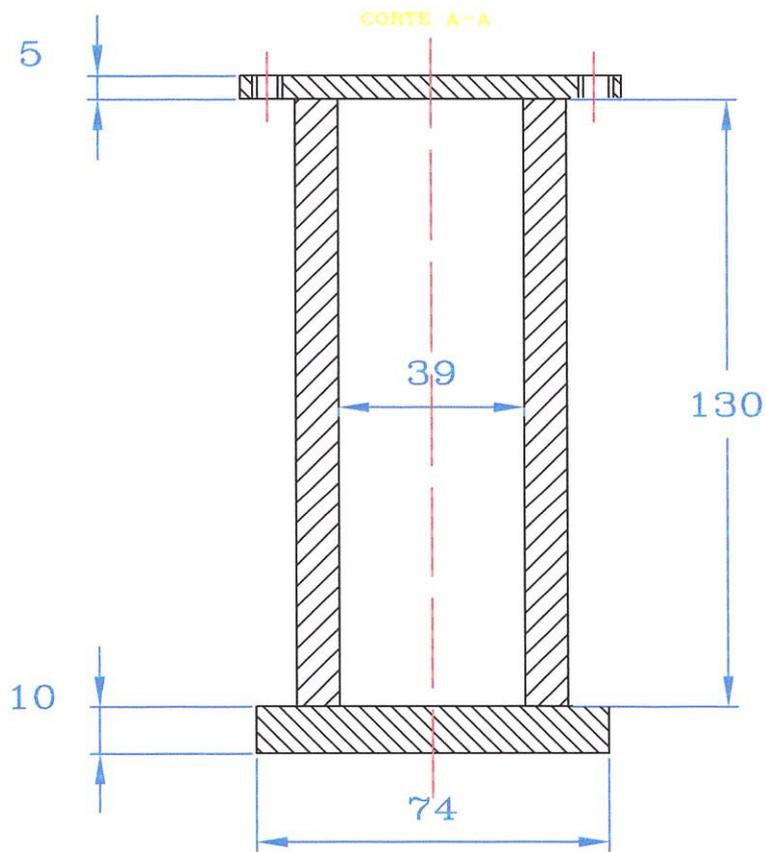
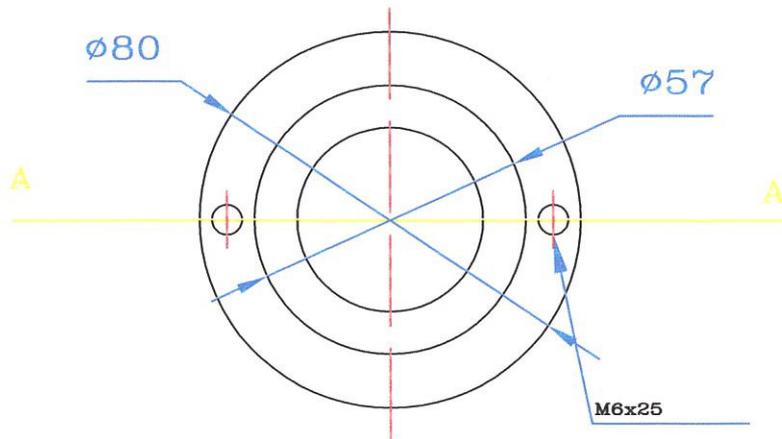
PRESIONADOR
LAMINA 24



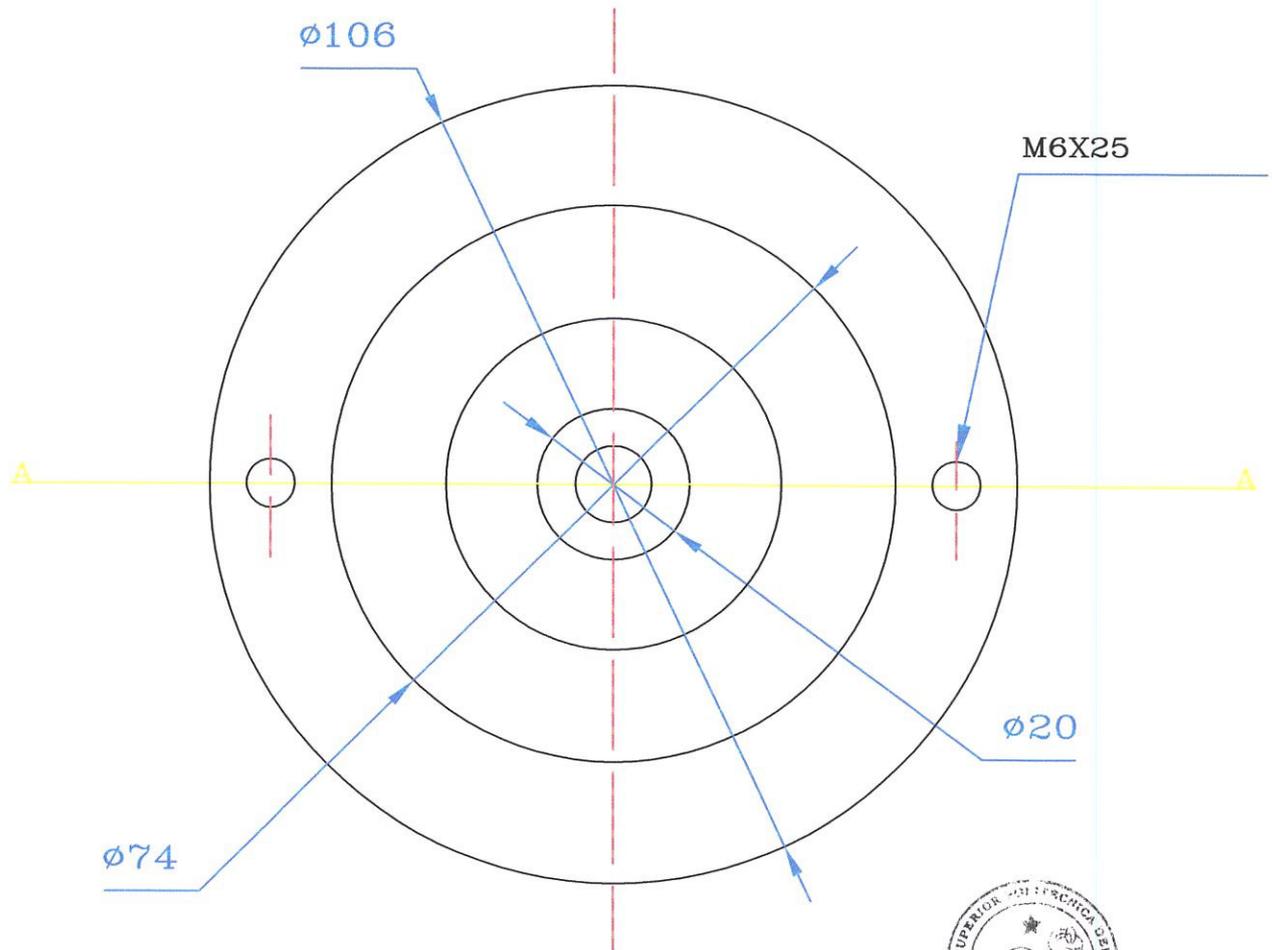
CIB-ESPOL

MATRIZ HEMBRA
LAMINA 25

EJE DE EXPULSIÓN
LAMINA 26



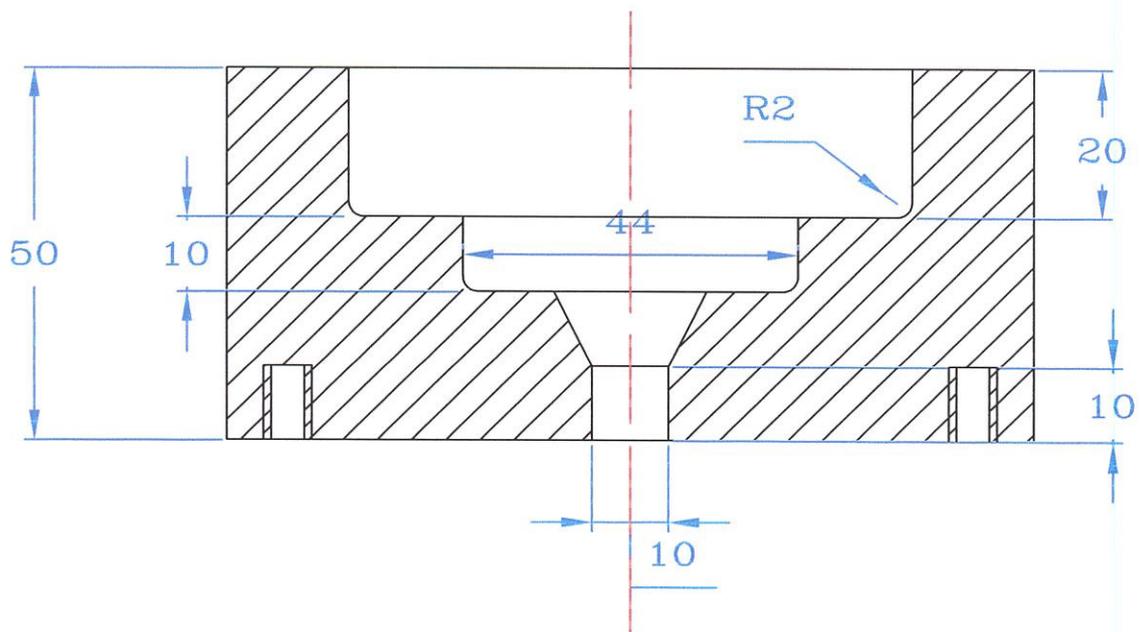
24	ESPOL	ESCALA 1:1.6	PRESIONADOR
		U.DIM: mm	
			NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



CORTE A-A



CIB-ESPOL



25

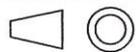
ESPOL

ESCALA

1:1

U.DIM: mm

MATRIZ HEMBRA



NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ

26

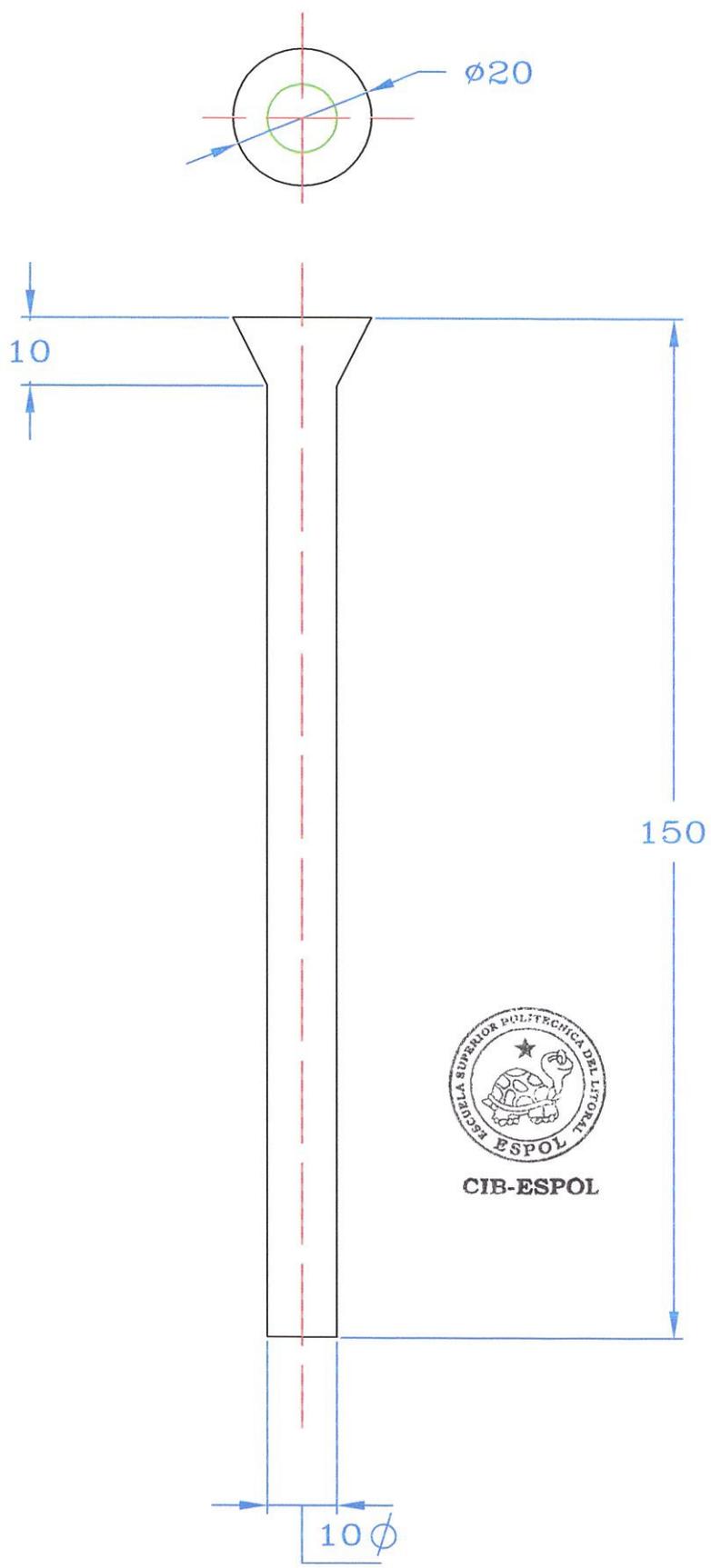
ESPOL

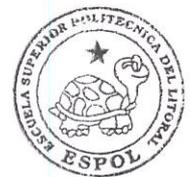
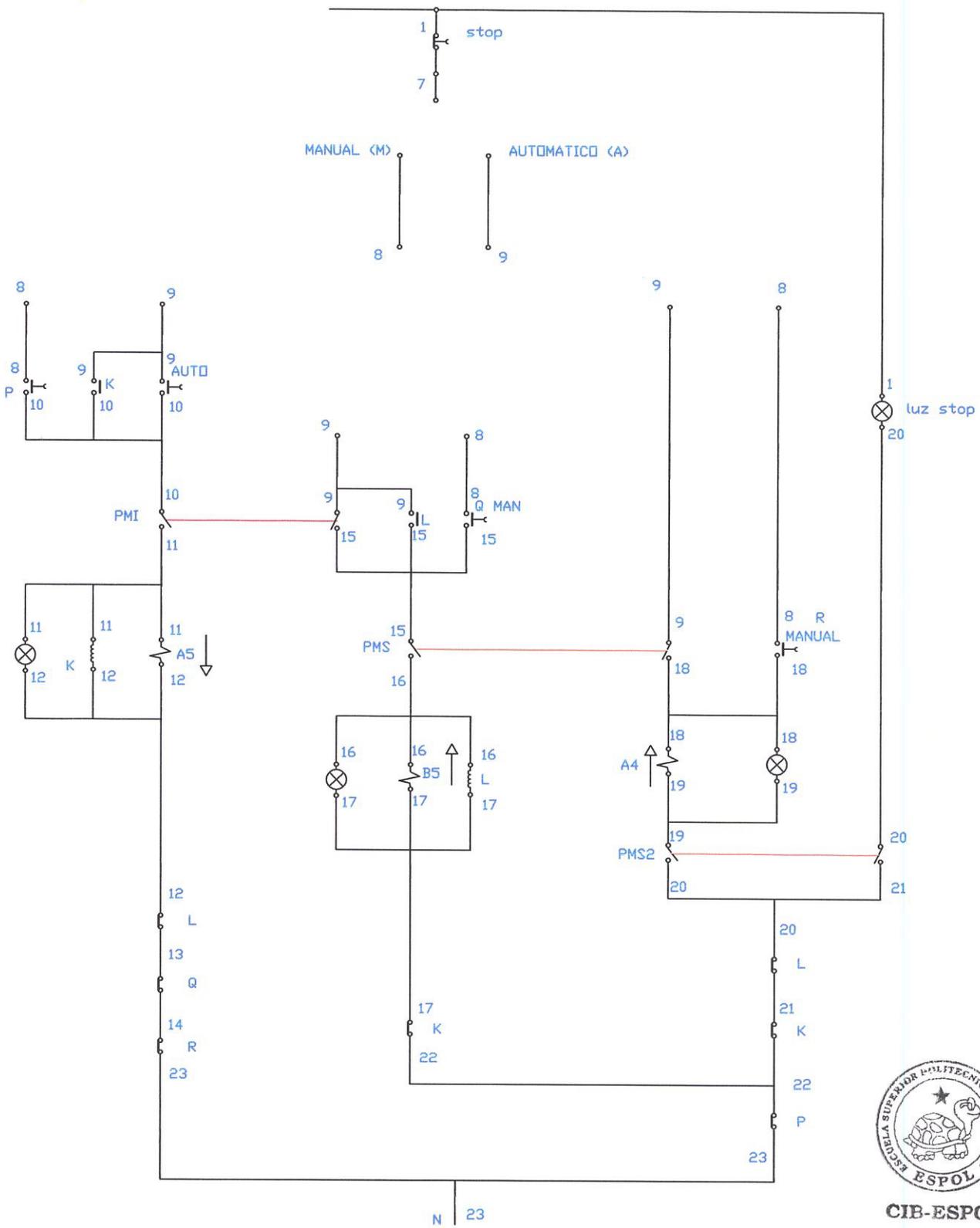
ESCALA
1:1
U.DIM: mm

EJE DE EXPULSION

MAQUINARIA Y EQUIPO MECANICO

Nº





CIB-ESPOL

27

ESPOL

ESCALA

U.DIM



CIRCUITO DE CONTROL

NOMBRE: JAVIER ENRIQUE NAVAS SAENZ



BIBLIOGRAFIA CIB-ESPOL

1. Tesis Vicente Adum Rodríguez “CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA HIDRÁULICA DE 60 TONELADAS PARA EL TALLER DE METALURGIA DE LA ESPOL” 1989
2. Dr. Ing KURT LAUE, Dr Ing HELMUT STENGER. “EXTRUSION Processes, Machinery, Tooling” second printing
3. . Donald F Eary, Edward a Reed “TECHNIQUES OF PRESSWORKING SHEET METAL”. An engineering approach to die designs second edition.
4. METALS HANDBOOK, NINTH EDITION Volume 15 Casting
5. METALS HANDBOOK, NINTH EDITION Volume 13 Casting
6. TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, Third Edition, Society of Manufacturing engineers.

7. Serope Kalpakjian MANUFACTURING PROCESSES FOR ENGINEERING MATERIALS
8. www.osti.gov/dublincore/ecd/servlets/purl/801193-16DxFj/native/801193.pdf
9. Robert L Norton “DISEÑO DE MÁQUINAS” Prentice Hall, México, 1999
10. Robert L Mott “Diseño de elementos de Máquinas” Prentice Hall, segunda Edición

10aSa 110

