

01127  
3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Computación  
Trabajo de Investigación

*Jose Luis Amador Vargas*

*13/03/03*

*[Firma]*

DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

P R E S E N T A :

JOSE LUIS AMADOR VARGAS



DIRECTOR: ING. JESUS ROVIROZA LOPEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA,

MARZO DE 2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**A mis padres.**

Por todo el apoyo que me han dado,  
por los valores que me han inculcado  
y  
porque los quiero mucho.

**Gracias.**

**A mi hermano.**

Porque en todo momento estas conmigo  
y  
porque también te quiero mucho.

**Gracias.**

## Agradecimientos

Al Ingeniero Ricardo Baglio, por el apoyo incondicional que me brindó para realizar este trabajo.

Al Ingeniero Eloy Batallar, por su ayuda, apoyo y amistad a lo largo de éste proyecto.

A Neydi, por su valiosa ayuda, su cariño y su porras a lo largo de mi carrera.

Al Ingeniero Jesús Roviroza, por sus consejos y por ayudarme a hacer realidad este trabajo.

A Juan y Gustavo, por compartirme sus conocimientos y por ser grandes amigos.

A Don Rafa y Rafa, dos grandes personas que me apoyaron a lo largo de mi carrera.

A Miguel, Emilio y Miguel, por alentarme durante todo este tiempo.

A mis amigos, que los aprecio demasiado, Carina, Eduardo, Carlos, Roberto Garibay, Enrique, Rafa, Coral, Rodrigo, Alejandro, David, Fredy, Julián, Adrián y Rodrigo, Agustín, Luis Flores, Omar Sósol, Alonso, Jorge, Marco, Armando y Yahvé.

A mis amigos de Mecatrónica, gracias por todo, Germán, Ulises, Sergio, Fernando, Gabriel, Billy, Shair y Axel.

A toda mi familia, por que siempre recibí su apoyo.

A mi Universidad, por inculcarme el espíritu puma.

# ÍNDICE

PRÓLOGO.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
I. HISTORIA DEL TRABAJO DE LOS METALES EN FORMA DE LÁMINAS.....	6
II. PRENSAS.....	8
2.1. Principales tipos de trabajos en prensas.....	8
2.2. Clasificación de las prensas.....	9
2.3. Prensas Mecánicas.....	10
2.3.1. Prensas de simple efecto.....	10
2.3.2. Prensas de doble efecto.....	10
2.3.3. Prensas de triple efecto.....	11
2.4. Prensas hidráulicas.....	12
III. CORTE Y PUNZONADO.....	14
3.1. Ángulo de escape del contorno de la figura.....	15
3.2. Juego entre punzón y matriz.....	15
IV. EMBUTIDO.....	17
4.1. Comportamiento de la chapa.....	17
4.2. Claro entre el punzón y la matriz.....	22
4.3. Radio de embutido.....	24
4.4. Redondeo del punzón.....	26
4.5. Lubricación.....	27
4.6. Velocidad de embutido.....	28
4.7. Fuerza del pisador.....	29
4.8. Secuencia de operaciones.....	32
4.9. Determinación de los desarrollos.....	33
V. MATERIALES Y ENSAYOS.....	35
5.1. Materiales.....	35
5.1.1. Chapa de acero de bajo contenido de carbono.....	35
5.1.2. Aleaciones Cobre-Zinc (Latón).....	37
5.1.3. Aleaciones de Aluminio.....	38

5.1.4.	Aceros inoxidables y refractarios .....	40
5.2.	Ensayos practicados .....	41
5.2.1.	Ensayos de tipo Erichsen .....	42
5.2.2.	Ensayos Sachs y similares .....	43
5.2.3.	Ensayos de plegado .....	44
VI.	DISEÑO Y FABRICACIÓN .....	46
6.1.	Pieza propuesta .....	46
6.2.	Desarrollo del disco primitivo .....	47
6.3.	Parámetros propuestos de los troqueles a fabricar .....	47
6.4.	Cálculo de las fuerzas de corte y embutido .....	48
6.5.	Características de la prensa .....	52
6.6.	Elementos necesarios para la fabricación de un troquel .....	53
6.6.1.	Resortes para troqueles .....	53
6.6.2.	Tornillos guía .....	54
6.6.3.	Postes guía .....	55
6.6.4.	Pernos Prisioneros .....	55
6.7.	Selección de materiales .....	56
6.8.	Maquinados .....	57
6.9.	Tratamiento Térmico .....	58
6.10.	Rectificado de Superficies .....	61
	CONCLUSIONES .....	62
	FUENTES DE INFORMACIÓN .....	65
	ANEXOS	
1.	Propuesta de una práctica de laboratorio para la materia de Conformado de Materiales .....	68
2.	Medidas de seguridad .....	72
3.	Colocación de los útiles en la prensa .....	74
4.	Planos de fabricación .....	84

## PRÓLOGO

Basado en el gusto e interés por la manufactura y en particular por el proceso de embutido; el presente trabajo contempla la adaptación y aprovechamiento de una prensa de troquelado para que sea utilizada con un herramental de embutido. Es así que nace la idea de diseñar y fabricar dos troqueles: uno de corte y otro de embutido.

Por todo esto, el presente trabajo tiene como objetivo llevar a cabo el diseño y la fabricación de troqueles de corte y de embutido que puedan ser utilizados en la prensa mecánica que se encuentra en los laboratorios de Ingeniería Mecánica "Ingeniero Alberto Camacho Sánchez" de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.. Así mismo, se busca que este herramental quede a disposición de dichos laboratorios para que se utilice con fines didácticos.

De igual forma, se pretende dejar a los alumnos, como material didáctico, el trabajo escrito sobre la elaboración de los troqueles, basado en la recopilación de la información necesaria para el diseño y desarrollo de dicho herramental. En cuanto a los troqueles, se espera que éstos puedan también quedar a disposición de los alumnos.

En el anexo 1 del presente trabajo se podrá encontrar una propuesta de práctica de laboratorio, que le proporcione a los alumnos una visión general y práctica del trabajo de montaje, desmontaje y cálculo de parámetros necesarios en el diseño del herramental. Además se encontrarán en el anexo 2 las medidas de seguridad, en el anexo 3 los pasos a seguir para la correcta operación de la máquina, y en el anexo 4 los planos del herramental.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los procesos de conformado plano siguen siendo una de las actividades más importantes en la industria, debido a su bajo costo, facilidad de manufactura y alta producción. Muchos componentes, o partes de algún producto, son fabricados con estos procesos; mismos de los que se pueden obtener piezas de gran resistencia, mayor ligereza y menor costo de producción, cumpliendo así, con las exigencias actuales de la industria.

El ejemplo más representativo de esto, es la industria automotriz. Prácticamente toda la carrocería de los autos esta hecha de lámina de diferentes calibres y diferentes metales, a la que se le da forma con troqueles y prensas de diferentes tipos, capacidades y dimensiones. Las partes obtenidas logran, en conjunto, obtener estructuras resistentes y ligeras, dando como algunas ventajas importantes, un bajo costo de fabricación y un menor consumo de energía.

Por lo anterior, es que el presente trabajo se suma al interés e importancia en los procesos de conformado plano, dedicándose al diseño y fabricación de troqueles de corte y embutido cilíndrico. En el proceso de la elaboración de éstos, se llevan a la práctica los conocimientos necesarios con los que se logró proponer una serie de pasos que permitieran, de manera sistemática, alcanzar el objetivo de fabricación.

Para el diseño de estos herramientas, es necesario seguir una cierta secuencia de pasos. Lo primero es definir lo que se quiere fabricar con ellos. Una vez determinado esto, se deben obtener los parámetros necesarios para poder calcular la capacidad que debe tener la prensa.<sup>1</sup>

Como segundo paso, se necesita saber las características de la prensa con la que se dispone. Algunas de estas características son: las carreras disponibles, la distancia del carro a la mesa, cuando éste está arriba y abajo; y, las dimensiones de la mesa.

Una vez que se tienen estos datos, es posible comenzar a trazar los bocetos necesarios y así, poder visualizar cómo van a operar los troqueles. Es decir, dibujar los troqueles abiertos y cerrados.

---

<sup>1</sup> La prensa utilizada en este trabajo es de volante de tipo C, con una capacidad de golpe de 25 toneladas



Junto con este paso se deben seleccionar, si es el caso, los resortes necesarios para la correcta operación del troquel. Dichos resortes deben proporcionar la fuerza calculada previamente.

Un aspecto importante que hay que tomar en cuenta para comenzar a fabricar los troqueles, es que el cálculo del desarrollo de la chapa primitiva no es exacto; aunque hay que señalar que ayuda a tener una idea muy cercana de las dimensiones reales de tal desarrollo. Es por ello que se debe fabricar primero el troquel o los troqueles que den la forma final a la pieza, y así poder llevar a cabo el desarrollo real de la chapa primitiva. Por último, se debe fabricar el troquel que corte el desarrollo.

Para la fabricación de los troqueles, se usaron procesos tradicionales de corte de materiales como el fresado, torneado, taladrado, rimado, corte con abrasivos; y demás. Así mismo, el uso de sistemas de control numérico fue imprescindible. Debido a la necesidad de hacer radios en estas piezas, el maquinado del punzón y de la matriz de embutido fueron hechos con este sistema.

La aplicación de tratamientos térmicos también fue necesaria en la fabricación. Las matrices y punzones fueron tratados térmicamente con el fin de obtener las características necesarias que evitaran el rápido desgaste de los mismos. Es decir, que se aumentara la dureza del acero con el que fueron hechos.

Algunos de los componentes del troquel no fueron fabricados. Los resortes, tornillos guía, postes, y tazas; después de haber sido seleccionados en los catálogos correspondientes, considerando las características necesarias, fueron comprados.

Con todo lo anterior se pretende desarrollar un herramental que sea utilizado con fines didácticos, logrando así que los alumnos tengan un acercamiento con los procesos de conformado descritos.

# I. HISTORIA DEL TRABAJO DE LOS METALES EN FORMA DE LÁMINAS <sup>2</sup>

En el transcurso de los siglos, el desarrollo de los procedimientos de conformación de los metales ha estado siempre estrechamente ligado a los progresos de la metalurgia.

De una forma completamente neutral, los metales dúctiles fueron los primeros que se trabajaron en frío. El plomo y el estaño fueron transformados en hojas desde la antigüedad. Los descubrimientos arqueológicos incitan a pensar que los griegos utilizaban hace 4000 años moldes de piedra para el martillado de hojas de oro.

Los procedimientos de conformación permanecieron esencialmente manuales hasta la edad media, en que aparecieron los primeros martillos mecánicos. Se levantaban por medio de levas accionadas por el movimiento de ruedas con alabes colocadas en los saltos de agua.

No obstante, el desarrollo del trabajo de los metales en láminas fue principalmente acelerado por el descubrimiento del laminador. Es curioso, sin embargo, que los primeros laminadores fueron destinados en el siglo XVI a la reproducción de efigies sobre monedas. Una banda de cobre, se aplastaba entre dos cilindros sobre los que estaban grabadas las efigies de las dos caras. A continuación se cortaban las piezas de la banda.

Los laminadores fueron perfeccionados lentamente. La primera hojalata fue producida en 1798, en el País de Gales, a partir de chapa laminada. El procedimiento fue guardado en secreto durante muchos años.

Al mismo tiempo, en el siglo XVIII, se pensó en remplazar la energía de los saltos de agua por energía de vapor. Watt patentó un procedimiento para utilizarla en la elevación de una masa de caída, que hasta entonces se había venido realizando penosamente por medio de cuerdas o de correas. El principio de los martillos estaba descubierto.

El siglo XVIII vio enormes progresos en todas las ramas de la metalurgia; los procedimientos de conformación, en particular, sufrieron un desarrollo importante. Mientras que el martillo pilón

<sup>2</sup> Cfr. A. Quercy, Trabajo de los metales en láminas, Traducción: José Luis Salcedo, Ediciones Urmo, Bilbao, 1965, 309 pp.

tomaba su forma definitiva, y era más tarde sustituido por la prensa hidráulica, los laminadores confirmaron su importancia. No obstante, la laminación en caliente de chapa era la única practicada normalmente, generalmente sobre trenes reversibles o trenes tríos.

La idea del tren continuo nació hasta 1892, en Alemania. Las experiencias adquiridas con el uso del primer tren duraron hasta 1907, fecha en que fue abandonado por no haber podido obtener un espesor suficientemente constante en el metal.

Hasta 1923 se continuó fabricando chapas por laminación en caliente, discontinua. Es ésta ciertamente una de las razones que frenaron el desarrollo del trabajo de los metales en láminas, por medio de prensas. Las primeras prensas mecánicas que se lanzaron al mercado hacia 1850 limitaron su empleo a trabajos de plegado, de corte o de conformación muy sencilla. Los comienzos del siglo XX fueron por tanto, el reino de la conformación con martillo.

Se produjo entonces un acontecimiento considerable para la metalurgia: el lanzamiento por Ford, en los Estados Unidos, de la construcción de automóviles en serie. Desde el final de la primera guerra mundial, resultaba evidente que tales métodos exigían el empleo de chapas de buena calidad, y de características constantes, que permitiesen un trabajo en serie en la prensa.

La idea de tren continuo de laminación fue reconsiderada por Armco, quien en 1923 alcanzó a poner a punto su primer tren; el segundo le seguiría en 1926. Fue necesario esperar al final de la segunda guerra mundial, para que se instalasen en Francia trenes análogos.

Naturalmente, la evolución de los laminadores ha ido acompañada por un desarrollo paralelo de los medio de transformación de las láminas, principalmente de las prensas mecánicas y de los útiles de embutido. La calidad de los aceros extradulces obtenidos, permite la realización de piezas embutidas de formas cada vez mas complejas. Bajo este punto de vista, la carrocería de un automóvil es el producto de una técnica particularmente exigente y generadora de progreso.

## II. PRENSAS

Las prensas son, esencialmente, máquinas destinadas a realizar trabajos de corte o de deformación de metales en láminas. Se componen de una estructura fija o bastidor, y de un conjunto móvil. Un mecanismo de accionamiento anima con movimientos rectilíneos alternativos, perpendiculares a la mesa, solidaria al bastidor, a uno o varios carros.

Los útiles, unidos por parte a los carros y por otra parte a la mesa, transmiten a las láminas de metal los esfuerzos necesarios para cortarlas o deformarlas. El trabajo empleado en esta operación procede, bien sea de una parte de la energía cinética de un volante, o bien de la energía producida por una bomba hidráulica.

Generalmente, los movimientos del (o los carros) se interrumpen en la proximidad de sus puntos muertos superiores después de cada descenso, con el fin de permitir la extracción de la pieza obtenida y la introducción de la pieza o chapa siguiente.

Debido a que estas son máquinas con las que se puede sufrir un grave accidente, se encontrará en el anexo 2 las medidas de seguridad necesarias para los alumnos y en el anexo 3 los pasos a seguir para el correcto montaje y desmontaje de los troqueles.

### 2.1. Principales tipos de trabajos en prensas

Se pueden considerar que a estas máquinas se confían dos tipos principales de trabajos:

#### *a) Trabajos de carrera corta*

El esfuerzo se ejerce solamente durante una carrera corta. (Ejemplo: corte, punzonado, contorneado, etc.) El esfuerzo puede ser bastante grande pero el trabajo realizado no es nunca tan grande.

### *b) Trabajos de carrera larga*

El esfuerzo que se exige a la máquina es muy variable según la pieza a embutir. Generalmente es creciente, hasta llegar a su máximo en las proximidades del punto bajo de la carrera. El conocimiento de la curva esfuerzo-carrera de la operación, permite conocer el trabajo que debe de realizar la prensa; este trabajo puede alcanzar valores importantes. El ejemplo tipo es el embutido.

## **2.2. Clasificación de las prensas**

Es imposible establecer una clasificación única, dado que existen muchos criterios de clasificación. Sin embargo, se enumeran algunos tipos corrientes de clasificación.

### *1. Según la naturaleza del agente motor.*

Prensas mecánicas: transmisión mecánica del movimiento de un motor eléctrico.

Prensas hidráulicas: esfuerzo aplicado por medio de un fluido.

### *2. Según la posición del mecanismo de accionamiento.*

Prensas de accionamiento superior.

Prensas de accionamiento inferior.

### *3. Según la forma del bastidor.*

Prensas de arcada.

Prensas de cuello de cisne.

### *4. Según el número de carros.*

Prensas de simple efecto.

Prensas de doble efecto.

Prensas de triple efecto.

La combinación de estos criterios permite definir el tipo de prensa. Ejemplo: prensa mecánica de simple efecto, de arcada, de accionamiento superior.<sup>3</sup>

## **2.3. Prensas mecánicas**

### **2.3.1. Prensas de simple efecto**

#### *Prensas de cuello de cisne.*

Su bastidor tiene forma de "C" o de cuello de cisne, como indica su nombre. Este bastidor lleva en su parte inferior la mesa y en la superior los órganos móviles, constituidos esencialmente por el volante, arrastrado por un motor eléctrico, los engranajes, el embrague, el freno, la excéntrica o cigüeñal, la biela y el carro.

#### *Prensas de arcada*

Se utilizan para esfuerzos más importantes. En ella se encuentran casi los mismos órganos que en una prensa de cuello de cisne, pero:

1. El bastidor es más rígido y está constituido por una mesa, dos montantes verticales y un capitel que lleva los órganos motores.
2. La regulación del carro por tornillo y tuerca, generalmente es accionada por un motor eléctrico anexo.
3. El carro está unido al cigüeñal, generalmente por varias bielas.
4. El peso del carro es contrapesado por medio de un dispositivo de equilibrado automático.
5. Existe un simple tren de engranes reductor, entre el motor principal y el cigüeñal.

### **2.3.2. Prensas de doble efecto**

Las operaciones de embutido que exigen una presión del plato más eficaz que la obtenida por medio de los cojines, se hacen con prensas de dos carros, deslizándose uno en el interior del otro, llamadas prensas de doble efecto.

---

<sup>3</sup> Se podrían definir otros criterios de clasificación, por ejemplo: fuerza de la prensa, tipo de accionamiento (cigüeñal, excéntrica), número de puntos de aplicación de esfuerzo, carrera del carro, ancho de la mesa entre montantes, etc.

El carro exterior se llama carro del plato de presión, y al interior, se le designa generalmente con el nombre de carro del punzón.

Por consiguiente, la prensa de doble efecto lleva:

1. Los mismos órganos que la prensa de simple efecto. La única modificación es que el guiado del carro de punzón no se realiza a lo largo de los montantes de la prensa, sino en el interior del carro exterior.
2. Un conjunto de órganos mecánicos específicos:
  - El mecanismo del carro del plato de presión. Éste es un sistema que se puede revestir diversas formas, compuesto de rodilleras y destinado a mantener el carro del plato de presión en la parte baja de su carrera durante la acción del punzón.
  - El mecanismo de regulación del plato de presión. Generalmente esta regulación está asegurada por 4 sistemas tornillo-tuerca manuales, situados en los 4 ángulos del carro.
  - Un dispositivo de equilibrado del plato de presión.

### **2.3.3. Prensas de triple efecto**

Empleadas para embutir piezas que tienen contra embutidos profundos, tienen como su nombre lo indica, 3 carros accionados mecánicamente.

Dos carros superiores por encima de la mesa (el carro del plato de presión y el del punzón principal) y un carro inferior por debajo de la mesa, llamado carro del punzón inferior.

El carro del plato de presión es análogo al de una prensa de doble efecto. El punzón principal tiene un movimiento análogo al de un plato de presión de una prensa de doble efecto. El carro inferior va por lo general guiado por guías montadas en la mesa y está animado de un movimiento sinusoidal. Los tres carros son regulables.

## 2.4. prensas hidráulicas

Sus bastidores presentan mucha analogía con los de las prensas mecánicas. El movimiento del carro (o de los carros) está asegurado por el del pistón (o el de los pistones) solidario a él (o ellos). El desplazamiento de estos pistones en los cilindros fijos al capitel está impulsado por la introducción de aceite a presión. La circulación del aceite está asegurada por una bomba accionada por motor eléctrico. Un servomotor controla el sentido de circulación del aceite, de manera que se logre la subida y descenso de los carros.

Las prensas hidráulicas de doble efecto se emplean corrientemente para el embutido con pisador. Las prensas oleodinámicas de cuello de cisne, poseen todas las ventajas expuestas anteriormente. En la mesa va aplicado un extractor hidráulico combinado con el cojín prensa-chapa y con el extractor mecánico superior de plato móvil. Tanto la presión de la prensa-chapa, como la del punzón de embutir, se regulan independientemente mediante un volante.

También el émbolo es regulable e su carrera con el fin de variar la altura del útil. Se puede aplicar el dispositivo para el funcionamiento automático de marcha continua, o bien el mando a pedal; ésta última aplicación está condicionada a otras garantías de seguridad para el operario. Dicho mando va montado con un dispositivo de llave que permite excluirlo.

La prensa con la que se cuenta en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., es mecánica de simple efecto de tipo cuello de cisne o también llamada en "C", con una capacidad de 25 toneladas.



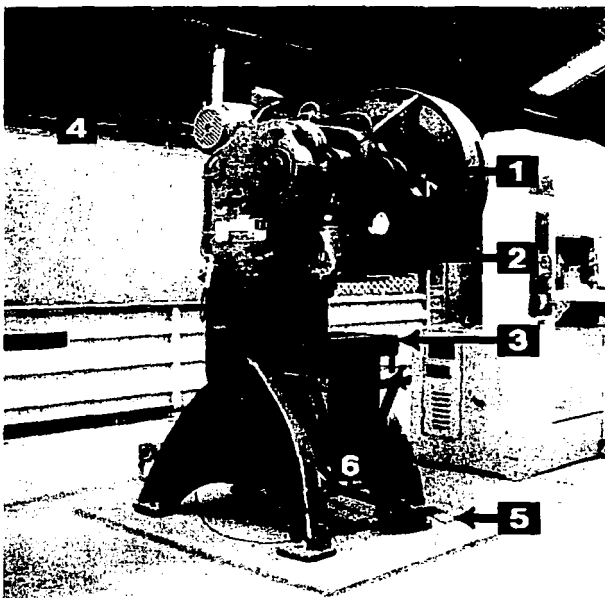


Fig. 2.1 Prensa mecánica de cuello de cisne o en "C" de simple efecto  
1. Volante, 2. Carro, 3. Mesa, 4. Motor, 5. Pedal, 6. Seguros

### III. CORTE Y PUNZONADO

El punzonado es una operación mecánica con la cual, mediante herramientas especiales aptas para el corte, se consigue separar una parte metálica de otra obteniéndose instantáneamente una figura determinada.

Esta operación va unida a los fenómenos de la transformación plástica que, por otra parte; en la práctica, resulta casi siempre ligada al proceso del estampado propiamente dicho. El punzón, en el primer tiempo, y prosiguiendo la presión que ejerce sobre la plancha, completa su labor con una compresión del material; lo que da lugar a una deformación plástica del medio interpuesto. En esta primera fase se origina un vientre cóncavo. Luego, el punzón, encontrando libre el camino de la matriz, prosigue su acción ocasionando una expansión lateral del medio plástico sin remontar el material.

El esfuerzo de compresión se convierte, en un instante, igual al esfuerzo de corte. En estas condiciones, sobreviene un brusco desgarre y el trozo de la plancha sujeto al punzón se separa del resto y cae al fondo de la matriz. Así, se ha realizado un trabajo de corte.

Durante el punzonado se ha comprobado que en la proximidad de los filos cortantes de las herramientas, las fibras de la chapa se doblan hacia abajo siguiendo, por breves instantes, el movimiento del punzón (como si inicialmente quisieran escapar a la separación) y después, reaccionan para oponerse a la acción del corte; pero, siendo la acción superior a la reacción, vence toda resistencia pasiva y origina, como ya se ha dicho anteriormente, la escisión de las fibras. Estas fibras, por haber sido castigadas, quedan deformadas y comprimidas a lo largo de todo el perfil cortado.

Debido a la elasticidad del material, tienen lugar reacciones internas que se manifiestan en las fibras cortadas con lo que se produce un frotamiento dentro de las paredes de deslizamiento. Como es natural, tal frotamiento dificulta la salida del disco cortado de la matriz y la extracción del punzón del agujero de la chapa.

### **3.1. Ángulo de escape del contorno de la figura**

Se ha visto anteriormente que las piezas antes de ser cortadas sufren una deformación seguida, inmediatamente después del corte, de una recuperación elástica tan vigorosa que las piezas quedan retenidas lateralmente dentro del contorno de la figura matriz.

Fácilmente se comprende que la acción del corte de una segunda pieza presionará sobre la primera facilitando su expulsión; sin embargo, el esfuerzo requerido en el segundo corte será superior al primero, ya que se suma al esfuerzo cortante la resistencia lateral resultado de la fricción. Repitiendo esto varias veces se puede llegar a tener un gran esfuerzo lateral que podría causar la rotura de la matriz.

Con el fin de eliminar este problema, el contorno de la matriz va experimentando un aumento paulatino conforme aumenta el espesor de la misma manera que al descender las piezas a lo largo de ésta, la resistencia de fricción lateral va disminuyendo; logrando que las piezas sean despedidas por el fondo. De esta manera, el punzón trabaja nada más en la parte superior de la placa, y sólo fricciona en la arista superior de la matriz. Con este aumento paulatino se obtendrá en la geometría final de la matriz el ángulo de escape de las piezas.

### **3.2. Juego entre punzón y matriz**

La precisión de los objetos fabricados mediante corte o punzonado depende de la exactitud con la que ha sido fabricado el útil. Bajo estas condiciones puede regularse la holgura o juego que debe existir entre el punzón y la matriz hasta el orden de centésimas de milímetro en los trabajos de precisión. La razón de fabricar los útiles con la holgura indicada viene impuesta por la necesidad de reducir, en la medida de lo posible, la presión requerida para el corte.

La determinación de la holgura o claro depende de factores tales como el espesor del material, la clase y la calidad del mismo, que podrá ser duro, dulce o pastoso. Para punzones pequeños, el juego prácticamente no debe existir, siempre y cuando el espesor del material sea pequeño. Sin embargo, para punzones de tamaño mayor y con un espesor de chapa que sea ya considerable

(mayor a 1 mm), la holgura es un factor importante. Esta holgura deberá ser mayor para el acero laminado duro que para el acero dulce y el latón.

El valor del juego entre punzón y la matriz es muy variable, desde el 5 al 13% del espesor de la chapa, o en algunos casos se hace para el latón  $0.05 \times e$ , siendo  $e$  el espesor de la chapa, de  $0.07 \times e$  para el hierro dulce, y de  $0.10 \times e$  para el acero dúctil.<sup>4</sup>

La calidad de las piezas fabricadas estará entonces relacionada con el claro de corte. Un claro muy pequeño provocará que se forme un rebaba próxima a la mitad del espesor de la chapa. Un claro excesivo provocará una deformación plástica en la zona de corte de la pieza.

---

<sup>4</sup> Tomás López Navarro. Troquelado y estampación con aplicaciones al punzonado, doblado, embutición y extrusión, Editorial Gustavo Gili, 5ta edición, Barcelona, 1976, p. 21

## IV. EMBUTIDO

El término "embutición" no responde exactamente al fenómeno, o grupo de fenómenos, que experimentan los materiales cuando, aprovechando sus cualidades plásticas, se les somete a un proceso de deformación, en el cual se parte de una superficie plana. El término "embutición" proviene del verbo embutir, por la lejana semejanza que existe entre este procedimiento de trabajo y la acción de rellenar con exceso un recipiente con una materia moldeable, adquiriendo ésta la forma de aquél. Para efectos de este trabajo se hará referencia a el término "embutido".

El proceso consiste en el alargamiento del plano neutro, que tiene como consecuencia la inmediata deformación del mismo. Este procedimiento se denomina "de estirado", por el efecto de alargamiento que experimentan las fibras al ser sometido un material al mismo.

La operación de embutido o estirado consiste, generalmente, en transformar una chapa plana de metal laminado en un cuerpo de revolución o prismático; procediendo para ello al uso de una o más operaciones. Con el simple proceso de embutido, el espesor del laminado no debe variar; de lo cual se deriva que la superficie de la pieza debe ser, teóricamente, igual a la de la misma superficie desarrollada. Sin embargo, en la práctica, esto no sucede con exactitud.

Durante esta transformación, en el caso de pieza cilíndrica, el diámetro  $D$  del disco inicial (desarrollo) se reduce al diámetro  $d$  del cilindro.

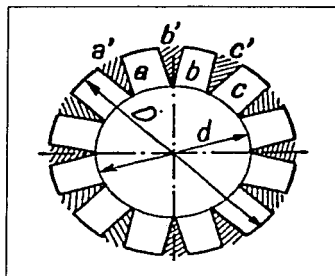


Fig. 4.1 Disco primitivo

Para lograr este resultado sería suficiente plegar las partes a, b, c..., pudiendo decirse que los pequeños triángulos a', b', c'... resultan superfluos. Durante la transformación, el material existente en estas zonas triangulares se comprime y ocasiona la formación de pliegues. Para evitar la formación de estos pliegues, se utiliza una placa llamada pisador. Si la relación entre los diámetros  $d/D$  es próxima a uno, la cantidad de material en exceso es pequeña y, en este caso, la transformación de la chapa primitiva en cuerpo hueco puede hacerse sin pisador.<sup>5</sup> En otros casos se considera para el uso del pisador que:  $e < 0.2(D-d)$ , donde  $e$  es el espesor de la chapa.<sup>6</sup>

Pero en la mayoría de los casos, a causa de la gran diferencia entre los diámetros  $d$  y  $D$ , el embutido de una chapa requiere de varias operaciones sucesivas y el empleo del pisador.

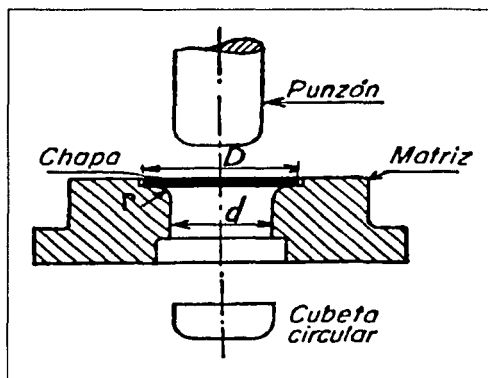


Fig. 4.2 Esquema de un embutido

En el embutido con pisador, la operación de estirado en una dirección, va acompañado de una compresión normal a esta dirección. Tal condición representa un estirado de cizallamiento puro, suponiendo que las cargas de tracción y compresión sean iguales. A pesar de que esta condición ideal es difícil de alcanzar en los procesos de embutido, es posible acercarse a ella hasta un punto que permita mucho mayores alargamientos que los normales.

<sup>5</sup> Wassilieff, B. Embutición, traducción: Enrique Añños Domingo, Editorial Hispano Europea, Biblioteca Técnica, Barcelona, 1966, p. 8

<sup>6</sup> *Ibidem*, p.27

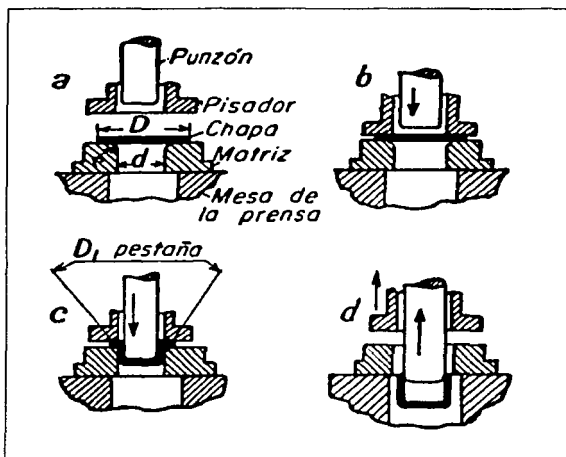


Fig. 4.3 Secuencia de embutido

El embutido de plancha con pisador es un proceso conocido y bien desarrollado en muchas industrias. El proceso en sí se puede representar de la mejor manera por el embutido de un vaso con pisador partiendo de un disco plano.

#### 4.1. Comportamiento de la chapa

Las mediciones realizadas en una pieza embutida demuestran que el volumen y densidad del material son los mismos que en la chapa primitiva. Por el contrario, el espesor de la chapa sufre variaciones sensibles, según la zona considerada, en la pieza embutida y, por consiguiente, la superficie de ésta no tiene la misma magnitud que la del desarrollo.

Mediciones exactas efectuadas sobre piezas embutidas demuestran que el espesor del fondo permanece invariable. Desde las cercanías del fondo y hasta una cierta altura, el espesor de la pared disminuye, mientras que en la parte superior este espesor llega a superar al primitivo de la chapa.

Se designa a  $e_m$  la media aritmética de los espesores en la pieza embutida y a  $e$ , el espesor primitivo de la chapa. La relación:

$$\alpha = \frac{e_m}{e}$$

$\alpha$  representa el coeficiente de adelgazamiento de la chapa durante el embutido. Este coeficiente interviene en la determinación exacta de las dimensiones del desarrollo. Cuando descendiendo con una cierta velocidad  $V$ , el punzón toca la chapa, la parte  $a$  (Fig. 4.4) de la misma queda sometida a un esfuerzo de tracción; esto, debido a la inercia de la chapa y al rozamiento de ésta con el pisador y la matriz. Ello explica el adelgazamiento alrededor del fondo.

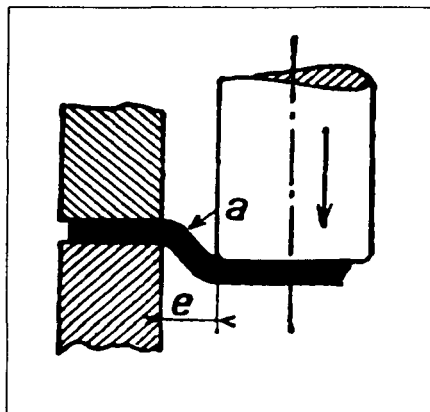


Fig.4.4

En el momento en que empieza el deslizamiento de la chapa bajo el pisador, tienden a formarse pliegues; de ello se derivan unas fuerzas de aplastamiento que ponen al metal en estado de fluencia (estado plástico).



Las partículas metálicas comienzan a desplazarse en el sentido radial de la chapa o desarrollo, tanto en el espacio (o juego) existente entre el punzón y la matriz, como hacia la periferia de la chapa.

Sin embargo, cuando el espacio entre el punzón y la matriz es teóricamente igual al espesor de la chapa, se produce un almacenamiento de energía potencial de las partículas que se manifiesta, después del embutido, por un aumento del espesor de la pared.

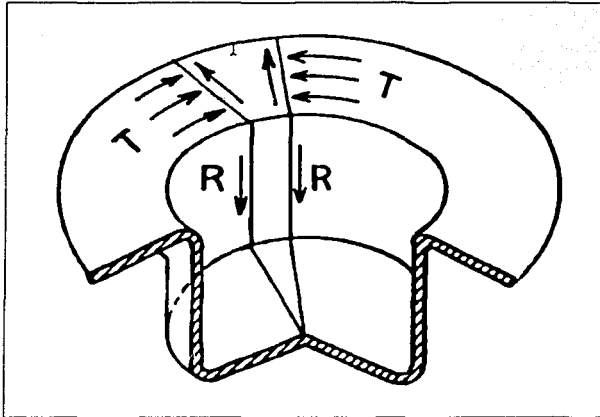


Fig. 4.5 Comportamiento de la chapa

## 4.2. Claro entre el punzón y la matriz

Debido a lo explicado anteriormente, se pone en evidencia qué pasa con la separación entre el punzón y la matriz. La experiencia demuestra que el aumento del claro tiene una influencia favorable sobre el esfuerzo del punzón, pero, produce inconvenientes:

1.- El aumento sensible del claro provoca la deformación del perfil de la pared, sobre todo en el caso de un material dulce como el latón. Fig. 4.6.

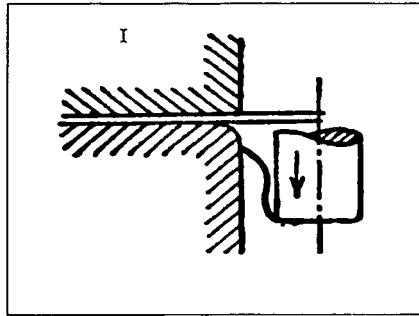


Fig. 4.6 Juego excesivo

2.- Además, si el claro es demasiado grande, puede producirse desviación del punzón. Lo que provoca la formación de ondulaciones o "lengüetas" en el borde de la pieza embutida.

3.- Pueden producirse pliegues en la pared de la pieza embutida.

Por otra parte, si el claro es menor que el espesor de la chapa, puede tener lugar un estiramiento o un adelgazamiento indeseable de la pared. Por lo tanto, el valor del claro debe estar bien determinado.

Se pueden aplicar las fórmulas siguientes:

$$W = e + 0.07 \sqrt{10e}$$

para el acero.

$$W = e + 0.02 \sqrt{10e}$$

para el aluminio.

$$W = e + 0.04 \sqrt{10e}$$

para los demás metales no férricos.

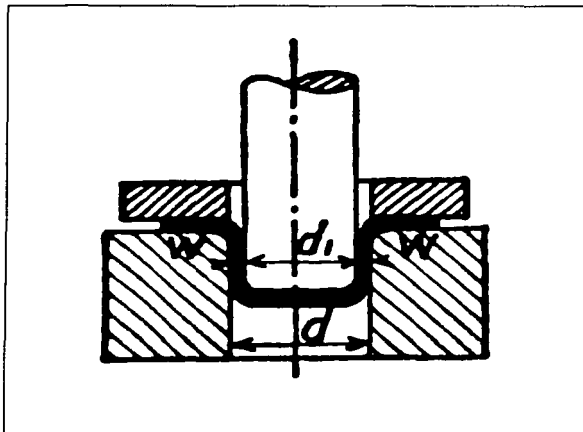


Fig 4.7 Juego entre matriz y punzón

Donde  $W$  es el claro y  $e$  está en milímetros.

### 4.3. Radio de embutido

Para el buen funcionamiento de un útil de embutido, el radio del canto de la matriz, o radio de embutido, tiene una importancia fundamental, tanto para la calidad de las piezas como, para la distribución de los esfuerzos. La influencia del radio de embutido se verá más clara comparando casos extremos.

1.- Haciendo  $r = 0$  se observa que la matriz de embutido se convierte en matriz de corte. Esta chapa será simplemente penetrada por el punzón, sin sufrir deformación alguna.

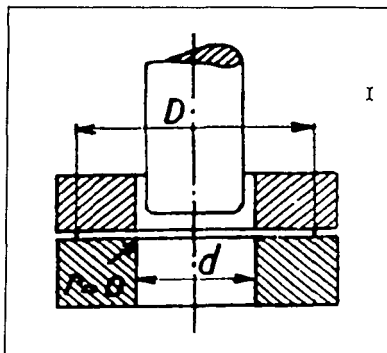


Fig. 4.8 Radio de embutido igual a cero

2.- Haciendo el radio  $r$  máximo, es decir:

$$r = \frac{(D-d)}{2}$$

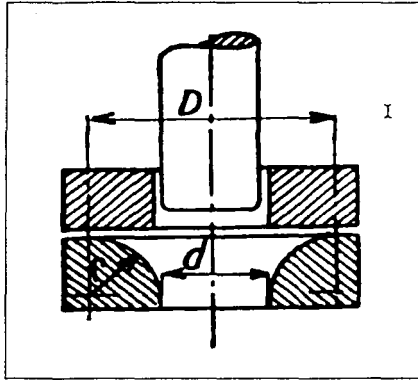


Fig. 4.9 Radio de embutido máximo

La chapa no será retenida por el pisador y el embutido no será posible a causa de la formación de pliegues.

Por tanto, el valor debe estar entre estos dos límites.

Sin estar resuelto el problema de manera teórica, pues interviene en este caso la plasticidad del material y no la elasticidad, las soluciones son propuestas experimentalmente. Una de estas propuestas es de Kaczmarek, y es la siguiente: <sup>7</sup>

$$r = 0.8 \sqrt{(D-d)e} \quad \text{para el acero.}$$

Para el aluminio que tiene características mecánicas más débiles, se toma el radio un 10% mayor.

$$r = 0.9 \sqrt{(D-d)e} \quad \text{para el aluminio y sus aleaciones.}$$

<sup>7</sup> *Ibidem*, p. 18

#### 4.4. Redondeo del punzón

Tomando en cuenta la figura siguiente, se puede comprobar que se produce un simple plegado de la chapa alrededor del punzón, fuera de la zona de transformación del material. La parte de chapa que se encuentra en contacto con la superficie inferior del mismo, sufre la acción de las fuerzas de rozamiento que impiden que el material se mueva. El esfuerzo del punzón se transmite a las paredes de la pieza que se embute.

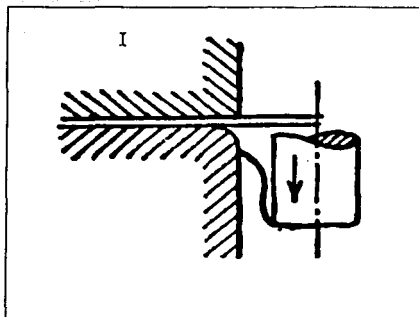


Fig. 4.10 Comportamiento de las paredes

Para evitar el riesgo de que el punzón rompa la chapa, es necesario saber cuál debe ser el radio de la cabeza del mismo. En ningún caso debe ser menor al de la matriz. Se hace habitualmente de 3 a 5 veces mayor que éste.

Cuando se quieren obtener piezas con ángulos muy chicos (ángulos vivos) en el fondo de la misma, éstos se consiguen después de varias operaciones. Si se quisiera dar la forma definitiva a la pieza con un solo paso, será muy probable que sufra de alguna fractura.

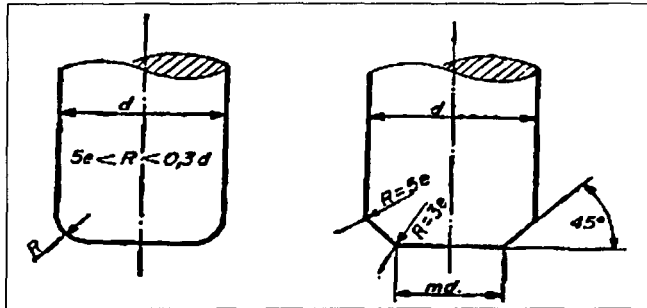


Fig. 4.11 Redondeo del punzón

#### 4.5. Lubricación

Una lubricación racional, que reduzca el rozamiento entre la chapa, la matriz y el pisador, permite obtener una mejor calidad superficial de la pieza embutida, un menor esfuerzo del punzón y un desgaste menos rápido del útil.

La experiencia ha demostrado que las soluciones de jabón en agua tienen una mayor aptitud que el aceite para retener la chapa. Así, para grandes valores de relación  $D/d$ , son preferibles los aceites, mientras que para valores pequeños de esta relación lo son las aguas jabonosas.

A pesar de esta tendencia general, es necesario que el lubricante sea adecuado a la naturaleza de la chapa; por ejemplo, el aluminio tiene tendencia a adherirse al acero de los útiles.

Para la chapa de acero se emplea la mezcla siguiente:

- 25% de grafito,
- 25% de sebo de buey,
- 50% de aceite de origen animal.

Para el latón y el cobre:

Solución de un jabón de tocador, o bien, petróleo grafitado.

Para el aluminio:

Vaselina de calidad inferior o petróleo grafitado.

Para el acero inoxidable:

Agua grafitada.

Para el zinc:

Sebo de buey.

Para la chapa estañada:

En seco o petróleo grafitado.

No obstante, con el paso del tiempo se ha descubierto que el engrase de la parte central del disco de la chapa tiene una influencia desfavorable. Este engrase disminuye considerablemente la adherencia entre el punzón y las paredes de la pieza embutida, por lo cual, el fondo soporta entonces todo el esfuerzo del punzón, pudiéndose producir una rotura en la proximidad del mismo.

Por esta razón, es sólo conveniente engrasar únicamente la superficie de la chapa opuesta al punzón y, para los desarrollos de grandes dimensiones, engrasar solamente su periferia en una anchura de  $(D - d)/2$ .

#### 4.6. Velocidad de Embutido

La velocidad de embutido es la que posee el punzón en el momento en que ataca a la chapa. De las experiencias efectuadas con velocidades del punzón pequeñas, medianas y grandes, se desprende que la influencia de la velocidad en el embutido de piezas cilíndricas no es importante.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> *Ibidem*, p. 23



No obstante, según Bliss<sup>9</sup>, existe una velocidad óptima para cada metal, a fin de darle el tiempo necesario para pasar el estado plástico.

Para el embutido de piezas cilíndricas, las velocidades propuestas son las siguientes:

Zinc y acero inoxidable:	200 mm/s
Acero dulce:	280 "
Aluminio:	500 "
Latón:	750 "

Para el embutido de piezas no cilíndricas, son preferibles las pequeñas velocidades, pues con ellas se aminora el riesgo de adelgazamiento de la pared.

Para este caso, se tiene una velocidad de embutido dada por la fórmula:

$$V = 33.3 \left[ 1 + \left( \frac{d}{D} \right) \right] \cdot (D - d) \quad (\text{mm/s}) \quad \text{Ref.}^{10}$$

Donde  $D$  y  $d$  son el diámetro del disco y el diámetro del embutido.

#### 4.7. Fuerza del pisador

La misión del pisador consiste en impedir la formación de pliegues hacia el borde de la chapa primitiva, mediante la acción de una presión adecuada.

Si esta presión es demasiado grande, la chapa queda frenada en exceso y puede producirse la rotura de la pieza embutida a la altura del radio de embutido de la matriz.

La consecuencia de una presión insuficiente del pisador será la formación de pliegues en la pared de la pieza. Si sólo hay pliegues en uno de los lados de la pieza, querrá decir que la presión no es uniforme, siendo menor en donde se presentan los pliegues.

<sup>9</sup> *Idem.*

<sup>10</sup> *Idem.*

Se observa que a medida que desaparece la corona circular, la presión unitaria del pisador aumenta en la proporción

$$p_1 = p \left( \frac{D^2 - d^2}{D_1^2 - d^2} \right)$$

y para mantenerla constante es necesario emplear medios neumáticos. Por ello, se ha propuesto hacer la superficie del pisador ligeramente cónica para mantener así la presión sobre la chapa a medida que la chapa va avanzando.

Pero se ha comprobado que este procedimiento no es práctico por dos razones: 1) la dificultad de ejecución de un pisador concebido así, y 2) la ineficacia del apriete sobre la periferia de la chapa cuando su espesor no es regular.

Una propuesta más acertada del sistema sería con pasadores encastrados en el pisador. Estos pasadores hacen contacto con la matriz y suprimen así el apriete al principio de la operación. El apriete comienza a producirse en el momento en que el espesor de la chapa aumenta.

La altura libre de los pasadores se toma como:

$t$  = espesor máximo de la chapa + 0.02 ó + 0.04 mm

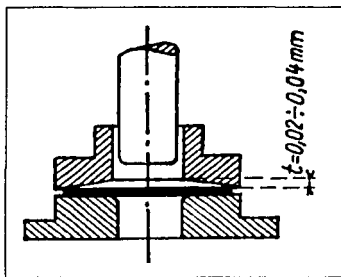


Fig. 4.12 Pizado máximo permitido con la geometría del pisador

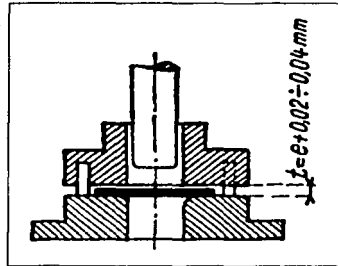


Fig. 4.13 Pizado máximo permitido con pernos

La presión media de pizado se encuentra en la siguiente tabla:

Material	p kg/mm <sup>2</sup>
Aluminio . . . . .	0,12
Zinc . . . . .	0,15
Duraluminio . . . . .	0,16
Latón . . . . .	0,20
Acero inoxidable . . . . .	0,20
Acero . . . . .	0,25
Chapa estañada . . . . .	0,30

Tabla 4.1 Fuerzas de pizado

La fuerza del pisador se puede calcular por método gráfico o por fórmula. El método gráfico consiste en usar una gráfica desarrollada según la expresión:

$$Pn = p \left( \frac{\pi}{4} \right) (D^2 - d^2)$$

donde  $p$  es la resistencia del material y  $Pn$  es la fuerza del pisador.



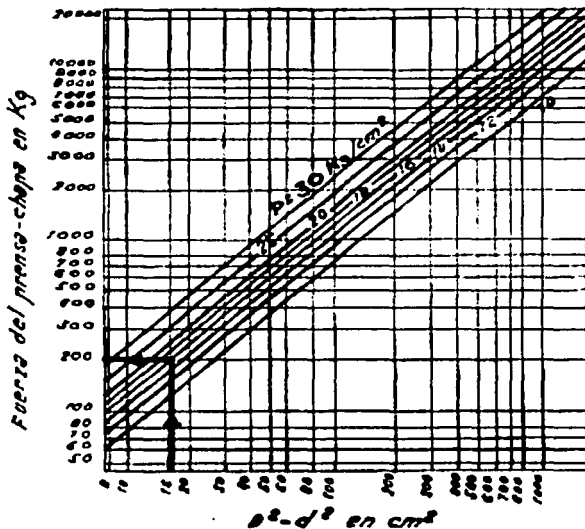


Fig. 4.14 Gráfica para el cálculo de la fuerza del pisador

Una de las fórmulas usadas para determinar el valor de la fuerza del pisador es:

$$F_p = 0.015\sigma_y \pi \{D^2 - (d + 2.2t + 2R_d)^2\} \quad \text{Ref.}^{11}$$

donde  $\sigma_y$  es la resistencia a la cedencia y  $R_d$  es el radio de la matriz o radio de embutido.

#### 4.8. Secuencia de operaciones

Debido a la profundidad de ciertos embutidos, en los que el diámetro de la pieza es muy pequeño en relación con la altura de la misma, es preciso efectuar la transformación en más de una

<sup>11</sup> Mikell P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, procesos y sistemas*, traducción: Carlos M. De la Peña Gómez y Miguel Ángel Martínez Sarmiento, Prentice - Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1997, p. 517

operación, debiendo determinar con la mayor exactitud posible la relación diámetro-profundidad para cada una de las operaciones intermedias que deben efectuarse antes de obtener la pieza acabada. Ésta relación es llamada Relación Limite de Embutido (R.L.E.).

Generalmente pueden embutirse en una sola operación aquellas piezas pequeñas cuya profundidad es igual a la mitad del diámetro. Tratándose de piezas grandes, solamente pueden embutirse piezas cuya altura sea de un tercio del diámetro de las mismas.

El problema que se plantea al embutidor consiste en determinar el número mínimo de operaciones y, por consiguiente, el mínimo de útiles.

Dado que el aumento de la profundidad de embutido va ligado necesariamente a la reducción de los diámetros de las piezas embutidas en cada operación, el cálculo se reduce a la determinación de los sucesivos diámetros.

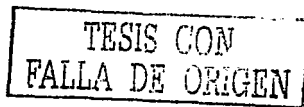
No obstante, la reducción de los diámetros no puede exceder de ciertos límites, a causa de las tensiones en la pared de la pieza embutida.

#### **4.9. Determinación de los desarrollos**

Uno de los problemas más importantes en el embutido es el de determinar las dimensiones de la chapa y su figura para que, una vez embutida, proporcione el objeto deseado con el mínimo empleo de material.

Los desarrollos determinados teóricamente y que más exactamente pueden obtenerse, corresponden normalmente a figuras de cuerpos geométricos regulares rectos, o con secciones circulares. Sin embargo, aun así la exactitud obtenida no es rigurosa, debido al estirado que sufren las paredes de los recipientes.

Es cierto que el embutido es una deformación plástica sin variación de espesor; pero, a pesar de admitir esto como rigurosamente exacto, en la práctica no sucede así pues el alargamiento experimentado por el material cambia las dimensiones exactas de los desarrollos o plantillas que



previamente deben ser cortadas antes de la operación de embutir. Un método elemental de cálculo de un desarrollo es considerar éste como una superficie equivalente de la pieza desarrollada.<sup>12</sup>





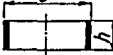

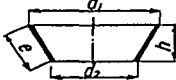
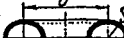

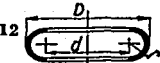
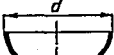

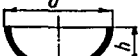
Elemento	$\frac{4}{\pi} S$	Elemento	$\frac{4}{\pi} S$
1 	$d^2$	8 	$4d \cdot i$ o bien $8Ri$ o bien $(S^2 + 4i^2)$
2 	$d_1^2 - d_2^2$	9 	$2\pi r(d + 1,3r)$ o bien $2\pi r(D - 0,7r)$
3 	$4d \cdot h$	10 	$2\pi r(d + 0,7r)$ o bien $2\pi r(D - 1,3r)$
4 	$2e(d_1 + d_2)$ o bien $2(d_1 + d_2) \cdot \sqrt{h^2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

Tabla 4.2 Desarrollo de superficies.

<sup>12</sup> López Navarro, *Op Cit.*, p. 128

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## V. MATERIALES Y ENSAYOS

### 5.1. Materiales

#### 5.1.1. Chapa de Acero de bajo contenido de carbono

Entre los materiales susceptibles de embutido, la chapa de acero de bajo contenido de carbono ocupa un lugar privilegiado; su ductilidad unida a su precio asequible le han asegurado un empleo muy extendido en numerosas industrias, y particularmente en la del automóvil.

Las chapas de acero elaboradas y laminadas por diversos procedimientos deben satisfacer ciertas condiciones para ser utilizables en embutido. Se evalúa la aptitud para el embutido de las chapas, bien sea por medio de los ensayos clásicos, o bien por otros ideados especialmente con ese fin.

#### *Factores químicos que influyen en la capacidad de embutido*

Los aceros para el embutido deben ser aceros con un bajo contenido de carbono, es decir, que sean extradulces y que no contengan sino un porcentaje muy bajo de impurezas.

- Contenido de carbono

El contenido de carbono debe ser lo más bajo posible (menor a un 0.08%). Como éste es muy poco soluble en el hierro a la temperatura ambiente, el acero contendrá un cierto porcentaje de cementita  $Fe_3C$ . Si ésta está combinada con el hierro bajo la forma de perlita, que puede agruparse en forma de partículas alargadas por la laminación, hará descender las propiedades del metal.

Por el contrario, si la cementita queda aislada, en forma de pequeños glóbulos muy dispersos, se puede estimar que las propiedades serán buenas, ya que la deformación del metal estará muy poco influenciada por aquellas partículas.

Importante de evitar, es que la cementita se agrupe en las uniones de granos, constituyendo así una barrera rígida que se opone a la deformación.

- Contenido de silicio

Los aceros para embutido tienen generalmente muy poco silicio (alrededor del 0.05%). No conviene sobrepasar el 0.15%, ya que de lo contrario entraría en solución en la ferrita; lo que aumentaría la dureza.

- Contenido de Manganeso

El manganeso tiene un efecto endurecedor cuando su contenido sobrepasa 0.6%. Como el silicio, hace el papel de desoxidante en la elaboración. También tiene un papel activo en la desulfuración, evita la formación de FeS y permite la incorporación del azufre a la escoria.

- Contenido de fósforo

El fósforo, cuando entra en solución en la ferrita, hace a ésta dura. Además un porcentaje elevado de fósforo parece disminuir el tamaño de grano del metal. Finalmente eleva el límite elástico. Todas estas razones hacen que se esfuerce en mantenerlo por debajo del 0.04%.

Otros elementos como el cromo, el níquel, y el cobre tienen una influencia endurecedora sobre el acero.

### *Tamaño de grano*

El tamaño de grano medio debe estar comprendido entre dos límites. En efecto, un grano demasiado fino da un metal duro y poco dúctil, contrariamente un grano demasiado grande, da al metal embutido al aspecto de "piel de naranja". Para el acero es conveniente que el tamaño de grano se mantenga entre 0.035 y 0.045 mm, lo que corresponde a las clases 6 y 7 de la norma ASTM.



Además del tamaño de grano, tiene gran influencia que sean homogéneos, es decir, que hay que evitar que existan granos anormalmente grandes, que den origen a roturas y puntos débiles del metal.

### 5.1.2. Aleaciones Cobre-Zinc (Latón)

Después del acero extra dulce, el material más empleado para embutido es el latón. Se le da este nombre a toda la aleación de cobre zinc en la que el contenido de zinc es del orden de 30 a 40%.

#### *Factores químicos que influyen en la capacidad de embutido*

- Contenido de zinc

El contenido de zinc óptimo se sitúa en las proximidades del 30%, la resistencia y la dureza crecen con el contenido en zinc. Por encima del 38% de zinc, aparece la fase  $\beta$ , que no es dúctil como la  $\alpha$ ; sino por el contrario muy frágil. La fase  $\beta$  se puede formar también con contenidos de zinc mas bajos bajo la acción de otros factores como contenido de impurezas, historia térmica del metal, etcétera.

En las proximidades del 30% de zinc, la influencia del contenido de zinc es relativamente poco importante comparada con la que ejercen el tamaño de grano o la fase  $\beta$ .

- Contenido de impurezas

*Estaño*: hace descender ligeramente la ductilidad del latón. Su presencia combinada con la del hierro aumenta la susceptibilidad a las grietas en las piezas muy embutidas cuando son calentadas demasiado rápido. Se obtienen generalmente buenos resultados si el contenido de estaño permanece menor o igual a 0.01%.

*Plomo:* si el plomo se aglomera en casi su totalidad en las uniones de los granos, la ductilidad del latón desciende bastante. Con el fin de evitar todo riesgo de concentración de plomo en las puntas de los granos, se mantiene el plomo por debajo del 0.05%.

*Hierro:* favorece un cierto afinado del grano y ejerce una influencia endurecedora. Hace aumentar igualmente la temperatura de recristalización en el recocido. Generalmente se limita el hierro a 0.05%.

*Cromo:* disminuye el tamaño de grano medio sin afectar la ductilidad y facilita las condiciones de recocido haciendo menos crítica la temperatura del mismo. Generalmente no se encuentra sino en proporciones inferiores al 0.001%, a causa de obtener una solución bien uniforme.

### *Tamaño de grano*

Como en el caso del acero y por las mismas razones, el tamaño de grano medio debe estar entre 0.06 y 0.12 mm. La homogeneidad debe asegurarse lo más posible, ya que tiene la misma importancia que en los aceros.

### **5.1.3 Aleaciones de aluminio**

Estas se dividen en dos grandes grupos:

- Aleaciones sin tratamiento térmico.
- Aleaciones de tratamiento térmico.

Las aleaciones más empleadas en embutición pertenecen al primer grupo:

- a) Aluminio puro
- b) Aluminio manganeso
- c) Aleaciones con magnesio

Sin embargo, se pueden embutir aleaciones de tratamiento térmico, como las aleaciones aluminio-zinc-magnesio.

#### *Factores químicos que influyen en la capacidad de embutido.*

Se pueden trazar, para diversas aleaciones, las curvas de las principales características de ductilidad en función del contenido del elemento de aleación. Se puede apreciar, por ejemplo, que para las aleaciones aluminio-magnesio, el aumento del contenido en magnesio hace aumentar la dureza y la carga de rotura, pero por el contrario, tiende a hacer bajar el alargamiento. Esto, hasta un escalón que se extiende desde alrededor del 1% hasta el 12% de magnesio. En esta zona están las aleaciones más utilizadas: A-G3 y A-G5<sup>13</sup>.

Independientemente del contenido del elemento de aleación, interesa limitar las impurezas, en particular el cobre responsable de la tendencia a la corrosión, el hierro que, también disminuye la resistencia a la corrosión y disminuye las características mecánicas; así como el manganeso y el silicio.

#### *Tamaño de grano*

Como en el caso de los aceros, hay que mantener entre dos límites el tamaño de grano de las aleaciones ligeras. Por ejemplo, en el A-G3 es necesario obtener un tamaño de grano comprendido entre 0.04 y 0.06 mm recordando que en el recocido, después de una reducción insuficiente, puede provocar el fenómeno de grano grueso. Esta crudeza crítica oscila entre 3 y 15%. De la misma forma, un recocido a temperatura demasiado lenta da lugar a un crecimiento exagerado del grano. Las operaciones de laminación y recocido deben conducirse de forma tal, que los granos no presenten ninguna orientación preferencial.

---

<sup>13</sup> Simbolización de la norma AFNOR A-02-001

#### 5.1.4 Aceros inoxidables y refractarios

Las aleaciones que presentan la mejor resistencia a la corrosión en las aplicaciones domésticas o industriales son los aceros inoxidables. Si se busca al mismo tiempo buenas propiedades a alta temperatura, hay que recurrir a los aceros refractarios. Su precio y costo elevado ha limitado el empleo de estos materiales a campos donde son verdaderamente indispensables.

El cromo es el elemento básico de los aceros inoxidables, a los que confiere sus propiedades de buena resistencia a la corrosión; sin embargo, también se utilizan otros elementos como el níquel y el molibdeno, que modifican la estructura del acero.

Se distinguen tres clases de aceros inoxidables:

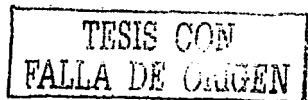
- Aceros austeníticos: tipo 18% de Cr, 10% de Ni.
- Aceros ferríticos: tipo 16 a 30% de Cr.
- Aceros martensíticos: tipo 13% de Cr, con 0.08 a 0.5% de C.

Los más utilizados en embutido son los aceros austeníticos, siendo empleados, principalmente, en aparatos y utensilios domésticos. Para fabricar accesorios decorativos se usan los aceros ferríticos.

Los aceros refractarios deben sus propiedades de resistencia a alta temperatura a ciertos elementos de adición, como el molibdeno y el tungsteno. Las estructuras austeníticas son más favorables. Estos aceros se emplean raramente en embutidos; utilizándose más bien, para la fabricación de calderas.

#### *Particularidades de empleo*

Aunque su capacidad de deformación es aceptable, los esfuerzos necesarios para el embutido de aceros inoxidables son muy elevados. Ello ocasiona presiones muy fuertes sobre los útiles; por lo que se deben utilizar lubricantes especiales que a veces llevan cargas sólidas.



Las tensiones residuales en las piezas embutidas son grandes. con el consiguiente riesgo de corrosión bajo tensión. En el caso en el que las piezas hayan de trabajar en atmósferas muy corrosivas, es necesario proceder a un recocido de estabilización. Para las aleaciones ferríticas éste se hace a 800 °C, y para las austeníticas, se hace entre 1000 y 1050 °C, evitando cualquier indicio de cuerpo graso y refrigerando rápidamente las piezas recocidas.

## 5.2. Ensayos practicados

Las chapas elaboradas y laminadas por los procedimientos necesarios deben satisfacer ciertas condiciones para ser utilizables en embudo; por lo que se requiere evaluar sus características mecánicas, bien sea por medio de los ensayos clásicos, o bien, por medio de otros ideados especialmente con ese fin.<sup>14</sup> Por lo que a continuación se mencionan algunos de los ensayos más comunes.

Dentro de las pruebas que se practican a los materiales está el ensayo de tracción regido por sus normas, en las que se determina el límite elástico del material, la carga de rotura y alargamiento a la rotura.

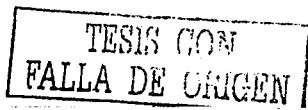
Otro de los ensayos practicados al material es el de dureza Rockwell tipo B, que es el mejor adaptado a las medidas sobre chapa delgada. Este ensayo consiste en medir la penetración de un balín de 1/16 de pulgada de diámetro y relacionarlo con la dureza del material.

Para tener resultados correctos, hay que operar sobre chapas de espesor superior a 0.6 mm, ya que por debajo de este valor las medidas no tienen significado alguno. Por otra parte, si se quiere tener una apreciación exacta, es preciso tener espesores entre 0.6 y 1.8 mm.

El valor de la dureza Rockwell que se obtiene aumenta cuando el espesor del material aumenta; por lo que se puede concluir que el ensayo Rockwell sirve para comparar chapas del mismo espesor.

---

<sup>14</sup> A. Quercy. Trabajo de los metales en láminas, Ediciones Urmo, traducción José Luis Salcedo, Bilbao, 1965, p. 49



El ensayo Rockwell B (ASTM E18) no puede, por sí solo, permitir establecer una clasificación de chapas; aunque da, sin embargo, una indicación sobre su valor. Una chapa muy dura difícilmente embutirá y dará lugar, después de la conformación, a piezas que tendrán tendencia a abrirse.

Dentro de los ensayos practicados, se han ideado otros que permiten juzgar la capacidad de embutido de la chapa mediante la realización de pequeños embutidos.

### 5.2.1. Ensayos de tipo Erichsen

a) El ensayo Erichsen esta definido por la norma ASTM E-643 *Ball punch deformation of metallic sheet material*, y consiste en medir la profundidad de una copa embutida por estirado con la ayuda de una matriz esférica de diámetro de 27 mm, un plato de presión y un punzón esférico de diámetro de 20 mm. El estiramiento se hace hasta que comienza a presentarse un adelgazamiento o una marca de cuello.

Diversos factores tienen influencia sobre el índice Erichsen, como son: el radio de borde de la matriz, el radio del punzón, el pulido del mismo, la lubricación de la superficie, y la velocidad del ensayo.

b) El ensayo Presoz, definido por la norma AFNOR A 03-601, se realiza con el plato de presión bloqueado con una matriz de 50 mm y un punzón esférico de diámetro de 20 mm.

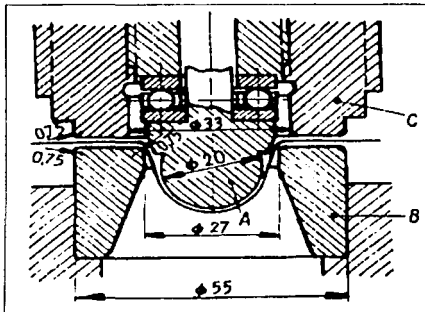


Fig. 5.1 Ensayo Erichsen

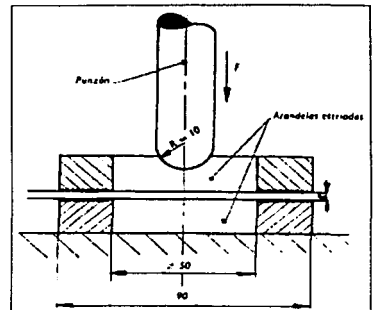


Fig. 5.2 Ensayo Presoz

Está influenciado por la velocidad del ensayo, la lubricación, la presión del plato y el estado de la superficie del punzón.

c) El ensayo Jovignot consiste en medir la profundidad alcanzada por estirado (con la ayuda de un fluido a presión) de un disco sujeto en su periferia.

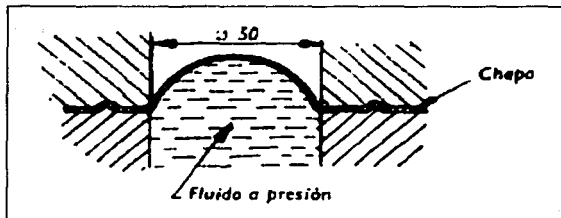


Fig. 5.3 Ensayo Jovignot

Este ensayo es poco empleado, a causa de la dificultad de la correcta colocación de las probetas; misma que lo convierte en un ensayo de laboratorio más que de taller.

### 5.2.2. Ensayos Sachs y similares

La idea de hacer trabajar el metal por recogido ha llevado a idear un ensayo de tracción especial en el que una de las cabezas de la probeta no va fija a una máquina, sino que desliza entre dos placas que forman un trapecio.

Sachs ha realizado un aparato de este tipo que permite el recogido de una de las cabezas de una probeta de tracción. Su ensayo consiste en buscar la máxima altura del trapecio que se puede deformar sin llegar a romper la probeta.

En este útil, la probeta queda fijada de tal manera entre dos placas, que éstas reproducen los fenómenos que suceden cuando el material está sometido al proceso de embutido. La probeta se jala hasta que es arrancada del útil. De tal modo, es posible obtener directamente el grado que se

puede estirar el material antes de su rotura. Esta medida directa indica el grado de embutido que puede soportar.

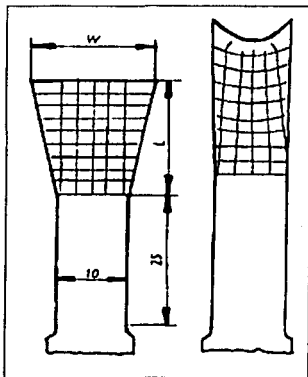


Fig. 5.4 Probeta del Ensayo Sachs

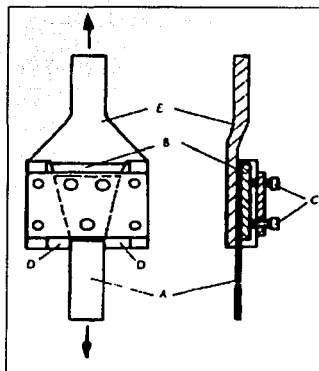


Fig. 5.5 Dispositivo para el ensayo Sachs

### 5.2.3. Ensayos de plegado

El primer método que se utilizó para juzgar sobre la aptitud de deformación de una chapa, fue el plegado manual. El problema de este método es que da información muy subjetiva sobre la rigidez del material.

Lo cierto es que se pueden poner en evidencia ciertos defectos del metal, como son las discontinuidades. Es por esto que el plegado a 180° con martillo es frecuentemente indicado en los pliegues de condiciones para detectar la aptitud para la formación de grietas y la presencia de defectos.

Debido a que este tipo de ensayos no ilustran las propiedades mecánicas de la chapa, se han ideado aparatos para medir el esfuerzo de plegado. Uno de ellos es el Flex-Tester, que sirve para medir el esfuerzo de doblado en un ángulo de la chapa. Se compone esencialmente de una placa curva y se mide por medio de un comparador de flecha tomada por uno de los lados de la placa



cuando se pliega un ángulo de la chapa. La desventaja es el hecho de tener que operar en una zona donde el metal es diferente que en el resto de la chapa, y como consecuencia, da resultados bastante dispersos y poco comparativos de una a otra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

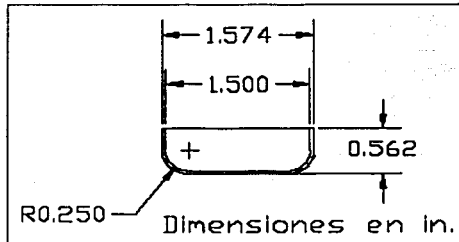
## VI. DISEÑO Y FABRICACIÓN

### 6.1. Pieza propuesta

Para este trabajo se propone la fabricación de una pieza de dimensiones pequeñas, ya que se cuenta con una prensa mecánica de tipo C de 25 toneladas, con una mesa en la que se pueden colocar útiles de tamaño pequeño.

La pieza propuesta tiene las dimensiones siguientes:

Altura ( $h$ ):	0.562 in = 14.28 mm
Diámetro interior:	1.500 in = 38.10 mm
Diámetro exterior ( $d$ ):	1.574 in = 39.97 mm
Radio interior del fondo ( $r$ ):	0.253 in = 6.35 mm



La chapa que se propone para establecer el diseño de los troqueles, es calibre 20 (0.037 in = 0.94 mm).

## 6.2. Desarrollo del disco primitivo

El cálculo del diámetro del disco primitivo se obtiene como se ha visto anteriormente, igualando el área de la pieza a fabricar con el área de un círculo.

$$A_{cilindro} + A_{base} + A_{curva} = A_{disco}$$

Entonces:

$$\pi d h_o + \frac{\pi d_o^2}{4} + 2\pi r(d - 0.7r) = \frac{\pi D^2}{4}$$

donde  $d$  y  $D$  son el diámetro exterior de la pieza y del disco primitivo respectivamente,  $d_o$  es el diámetro de la circunferencia del piso y  $h_o$  es la altura de la parte cilíndrica.

Despejando  $D$  se tiene:

$$D = \sqrt{4dh_o + d_o^2 + 8r(d - 0.7r)}$$

Con los valores propuestos:

$$D = \sqrt{4(1.574 \text{ in})(0.312 \text{ in}) + (1 \text{ in})^2 + 8(0.287 \text{ in})(1.574 \text{ in} - 0.7(0.287 \text{ in}))}$$

$$D = 2.47 \text{ in} = 62.82 \text{ mm}$$

Este es entonces, el diámetro teórico del disco primitivo.

## 6.3. Parámetros propuestos de los troqueles a fabricar

En la práctica común, dentro del diseño de troqueles de corte y embutido es necesario proponer y estimar algunos parámetros que posteriormente son utilizados en el cálculo de las fuerzas

necesarias para su operación. Además de considerar otras variables que se mencionan mas adelante.

Dentro de los parámetros propuestos, se tienen: 1) el radio de matriz y 2) el radio de punzón. El valor del radio de matriz, por lo general, se propone con base en experiencias previamente realizadas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no debe ser muy pequeño. Es decir, no se debe acercar demasiado a la posibilidad de convertirse en un ángulo recto, ya que ocasionaría que el material no fluyera fácilmente y sufriera alguna fractura.

El valor del radio del punzón es el necesario para dar la forma final a la pieza, siempre y cuando sea éste, el último o único paso del proceso. Hay que considerar que este radio no debe ser menor al permitido por el espesor del material; es decir, no debe ser menor al radio mínimo de doblado.

Los valores de los radios propuestos para la pieza a fabricar son:

Radio de matriz: 0.250 in = 6.35 mm

Radio de punzón: 0.250 in = 6.35 mm

#### 6.4. Cálculo de las fuerzas de corte y embutido

Los cálculos que a continuación se describen están hechos con base en las propiedades del acero 1008 AISI. Este acero es uno de los más utilizados para trabajos de embutido y conformado de chapa; además de ser el material con mayor resistencia de todos los usados en este trabajo.

##### *Cálculo de la fuerza de corte*

Para el cálculo de la fuerza de corte del disco primitivo se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = C_1 \left[ k \left( \frac{n}{e} \right)^n \right] l \quad \text{Ref.}^{15}$$

---

<sup>15</sup> John A., Schey, Introduction to Manufacturing Processes, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill, USA, 2000, p. 392

donde:  $k$  = módulo de deformación o coeficiente de resistencia  
 $n$  = exponente de endurecimiento por deformación  
 $t$  = espesor de la chapa  
 $l$  = perímetro de corte  
 $e = 2.7182$  que es la base del logaritmo natural

El valor de la constante  $C_1$  depende del valor de  $q$  (porcentaje de reducción de área).

Si  $q \geq 0.45$  entonces  $C_1 = 0.85$  para materiales dúctiles y

Si  $q < 0.45$  entonces  $C_1 = 0.65$  para materiales frágiles

Para el acero 1008 AISI:  $k = 600$  MPa  
 $n = 0.25$  [1]  
 $q = 0.7 \Rightarrow C_1 = 0.85$  [1]

Datos necesarios:  $t = 0.94$  mm (calibre 20)  
 $D = 62.23$  mm (diámetro del disco primitivo)  
 $l = \pi D$

Entonces:

$$F = C_1 \left[ k \left( \frac{n}{e} \right)^n \right] t D \pi$$

Substituyendo valores:

$$F = 0.85 \left[ 600 \times 10^6 \text{ Pa} \left( \frac{0.25}{2.7182} \right)^{0.25} \right] (0.94 \times 10^{-3} \text{ m}) (62.23 \times 10^{-3} \text{ m}) \pi$$

$$F = 52102 \text{ N}$$

$$F = \frac{52102 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 5311 \text{ kg}$$

$$F = 5.31 \text{ ton}$$

Con este resultado se puede saber que la fuerza de corte del disco primitivo será aproximadamente de 6 toneladas, ya que el diámetro del disco primitivo real no es igual a el calculado. Esto último se debe a que, cuando se realiza un proceso de embutido, el material sufre de una deformación, lo que hace necesario que la obtención del diámetro real del disco primitivo sea de forma experimental.

#### *Cálculo de la fuerza de embutido y del pisador*

Para el cálculo de la fuerza de embutido se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_e = \pi dt(\sigma_{T.S.}) \left[ \frac{D}{d} - 0.7 \right] \text{ Ref. }^{16}$$

donde:

$d$  = diámetro exterior del embutido

$D$  = diámetro del disco primitivo

$t$  = espesor de la chapa

$\sigma_{T.S.}$  = resistencia a la tracción

Para el acero 1008 AISI:  $\sigma_{T.S.} = 320 \text{ MPa}$

Datos necesarios:  $t = 0.94 \text{ mm}$  (calibre 20)

$d = 39.97 \text{ mm}$

$D = 62.23 \text{ mm}$

Substituyendo valores:

---

<sup>16</sup> Groover, *Op. Cit.*, p. 517

$$F_p = \pi (39.97 \times 10^{-3} m) (0.94 \times 10^{-3} m) (320 \times 10^6 Pa) \left[ \frac{62.82 \times 10^{-3} m}{39.97 \times 10^{-3} m} - 0.7 \right]$$

$$F_p = 32924 N$$

$$F_p = \frac{32924 N}{9.81 \frac{N}{kg}} = 3356 kg$$

$$F_p = 3.35 ton$$

Para el cálculo de la fuerza del pisador se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_p = 0.015 \sigma_p \pi \{ D^2 - (d + 2.2t + 2R_d)^2 \} \quad \text{Ref. }^{17}$$

donde  $\sigma_p$  = esfuerzo de fluencia  
 $d$  = diámetro exterior del embutido  
 $D$  = diámetro del disco primitivo  
 $R_d$  = radio de matriz  
 $t$  = espesor de la chapa

Para el acero 1008 AISI:  $\sigma_p = 180 \text{ MPa}$

Datos necesarios:  $t = 0.94 \text{ mm}$  (calibre 20)  
 $d = 39.97 \text{ mm}$   
 $D = 62.23 \text{ mm}$   
 $R_d = 6.35 \text{ mm}$

Substituyendo valores:

$$F_p = 0.015 (180 \times 10^6 Pa) \pi \{ (62.82 \times 10^{-3} m)^2 - [39.97 \times 10^{-3} m + 2.2(0.94 \times 10^{-3} m) + 2(6.35 \times 10^{-3} m)]^2 \}$$

$$F_p = 7594 N$$

<sup>17</sup> *Idem.*

$$F_p = \frac{7594 \text{ N}}{9.81 \text{ N/kg}}$$

$$F_p = 774 \text{ kg}$$

La fuerza total necesaria para el embutido es:

$$F_r = F_e + F_p$$

$$F_r = 3.35 \text{ ton} + 0.774 \text{ ton}$$

$$F_r = 4.12 \text{ ton}$$

Con este último resultado se puede afirmar que la prensa con la que se cuenta, tiene la capacidad suficiente (25 toneladas) para realizar el corte del disco primitivo ( $F = 5.31 \text{ ton}$ ) y el embutido ( $F = 4.12 \text{ ton}$ ) del mismo.

## 6.5. Características de la prensa

Para el diseño de los troqueles fue necesario conocer previamente algunas características de la prensa que se utiliza. Antes que nada, es necesario saber la carrera máxima permitida por la prensa, que en este caso es de 75.9 mm; esto con el fin de saber si es posible que el punzón penetre lo necesario para fabricar la pieza. Si la carrera es suficiente, lo siguiente es medir la altura del carro tanto cuando éste se encuentra arriba, como cuando se encuentra abajo, asegurándose de que el tornillo de ajuste esté cerrado. En el caso de la máquina, el espacio entre la mesa y la altura máxima del carro es de 23 cm.



El carro nunca sube más de una cierta altura, pero al variar la carrera, recorrerá una mayor distancia hacia abajo. Por lo tanto, hay que considerar, primordialmente, la altura del troquel cuando está cerrado <sup>18</sup>, ya que es posible ajustar el cierre del mismo con alguna de las carreras.

## **6.6. Elementos necesarios para la fabricación de un troquel**

### **6.6.1. Resortes para los troqueles**

Para la correcta operación de los troqueles, es necesario, generalmente, el uso de resortes. En ocasiones, éstos simplemente ayudan a liberar las piezas que se fabrican y que quedan “atascadas” en las matrices o punzones de los mismos.

Existe una convención, usada por los proveedores de resortes, para la clasificación de los mismos. Los resortes se clasifican con los colores: verde, azul, rojo y amarillo, siendo los resortes verdes los que menor resistencia tienen, y los amarillos los de mayor resistencia. En algunos casos se usa el color café en lugar del verde y color dorado en lugar del amarillo.

En este trabajo fueron necesarios los resortes para los pisadores de chapa. En el troquel de corte sirven para liberar la chapa “atascada” en el punzón después de hacer el corte. En el troquel de embutido, para lograr que se obtenga un embutido sin arrugas o pliegues en las paredes del mismo.

Para la selección de los resortes se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Calcular la fuerza del pisador ya sea con tablas o fórmula (Cálculo previamente establecido).
2. Calcular la deformación del resorte cuando trabaja.
3. Considerar la cantidad de piezas a producir para poder escoger el color del resorte, ya que su vida útil va relacionada con el tipo de resorte (verde, azul, rojo o amarillo).

---

<sup>18</sup> En este caso, cuando el troquel hace el corte o el embutido.

4. Buscar en tablas referidas al color adecuado del resorte, el que cumpla con la deformación necesaria, según la vida que se le quiera dar:
  - Deflexión recomendada para larga duración
  - Deflexión recomendada para duración promedio
  - Deflexión máxima
5. Se debe estar seguro que la deformación que se requiere no es mayor a la deformación máxima del resorte. También hay que cuidar que la geometría del resorte (diámetros) sea la adecuada al diseño del troquel.
6. En algunos casos la deformación es igual a la mostrada en tablas. Entonces, la fuerza de cada resorte es el valor mostrado en la tabla.

Si no es el caso, se calcula la fuerza del resorte con ayuda de su constante:

$$F = \delta k$$

donde:  $F$  = fuerza del resorte  
 $\delta$  = deformación de resorte  
 $k$  = constante del resorte

7. Para saber cuántos resortes utilizar, basta dividir la fuerza necesaria en el pisador entre la fuerza del resorte.

#### 6.6.2. Tornillos guía

Los resortes antes mencionados, van por lo regular acompañados de tornillos guía. Éstos evitan que el primero, se mueva de su posición y ayudan al movimiento lineal de los mismos.

Los tornillos guía se seleccionan por su longitud, diámetro del cuerpo, y diámetro de cabeza. Son tornillos de acero, templados y rectificadas, lo que garantiza un funcionamiento eficaz.

Durante el proceso de este trabajo, una vez seleccionados los resortes, elegidos los tornillos adecuados, y tomadas las características de la prensa; se hicieron los ajustes necesarios en los bocetos para poder distribuir los resortes de manera uniforme.

Por último, se debe contemplar cómo funcionará el troquel con todas sus partes. Es decir, se tiene que prever cómo trabajan los resortes, los tornillos guía, los pisadores, los postes; y por su puesto,

las matrices y punzones. Con todo esto revisado, se puede proceder a dibujar los planos de fabricación de las partes necesarias.

### **6.6.3. Postes guía**

El uso de postes guía son siempre necesarios en la operación de un troquel. Estos evitan que el troquel se desalinee a causa de los intensos golpes que da la prensa.

Los troqueles, por lo general, tienen dos postes situados en las esquinas de las zapatas; ya sea que los dos estén al frente, atrás, o en esquinas opuestas. En los casos en los que el troquel es muy grande se utilizan mas postes.

Los postes se seleccionan de acuerdo a su diámetro y longitud. Al igual que los tornillos guía, son de acero y están templados y rectificadas.

### **6.6.4. Pernos prisioneros**

Los troqueles son herramientas en las que se debe cuidar de sobre manera la alineación de los punzones y matrices. Un pequeño desalineamiento puede ocasionar, en el mejor de los casos, que el troquel haga mal el corte o estampado de una pieza. De lo contrario, podría llegar a fracturarse por un impacto entre matriz y punzón.

Los pernos prisioneros son entonces necesarios para el armado final del troquel. Gracias a que se colocan después de un proceso de rimado, y a que llevan un ajuste de apriete (tipo P6 sistema ISO), garantizan que las partes del troquel no se moverán durante su operación; o que en la necesidad de desarmar el herramienta, el armado será preciso.

## 6.7. Selección de materiales

Para la fabricación de los troqueles es necesario seleccionar los materiales que cumplan con las necesidades de operación del útil.

Si una herramienta debe rendir el máximo de producción con el mínimo de problemas y mantenimiento, es indispensable que se sigan correctamente los siguientes pasos:

1. Diseño. El dibujo o esquema debe mostrar una herramienta del tamaño y forma correctos, a fin de realizar su trabajo eficientemente.
2. Fabricación de la herramienta. El fabricante debe realizar la pieza exactamente de acuerdo con el dibujo.
3. Acero de herramienta. Se debe seleccionar el acero apropiado para las herramientas.
4. Tratamiento térmico. Finalmente se debe aplicar el tratamiento térmico adecuado.

Una herramienta no puede ser efectiva a menos que se cumplan los cuatro requisitos anteriores. Si la herramienta ha sido diseñada incorrectamente, no podrá ser de utilidad. Si no está fabricada con suficiente precisión, irá al cesto de los desperdicios. Un buen diseño y la exacta fabricación de la herramienta no son de utilidad si se ha elegido un acero inadecuado. Finalmente, un deficiente tratamiento térmico puede arruinar una herramienta que de otra manera sería perfecta. Estos aspectos son tan importantes y fundamentales que son convenientes de estudiar.

Para éste trabajo se quiere fabricar herramientas que tengan una alta durabilidad, es decir, que tengan un límite alto al desgaste. Esto, por que en la industria, los herramientas para prensas, por lo general deben producir un alto número de piezas, de lo contrario no justificarían el costo de su fabricación.

De la información consultada <sup>19</sup> sobre materiales para herramientas, se propuso usar acero O1, clasificación AISI, para la fabricación de las matrices y los punzones. Este acero a través de los tratamientos térmicos de temple y revenido, tiene la cualidad de obtener la dureza y tenacidad requeridas para el trabajo.

---

<sup>19</sup> ASM International, Metals Handbook, 9<sup>th</sup> Edition, Vol. 3 Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special - Purpose Metals, USA, 1985, p. 496

Para las zapatas, se usó acero de bajo contenido de carbono, llamado comúnmente *cold-rolled*. Este acero tiene la resistencia y ductilidad necesarias para las condiciones de trabajo a las que será sometidas; por lo que no se amerita la necesidad de usar otro tipo de acero.

## **6.8. Maquinados**

Como se mencionó anteriormente, la fabricación de las matrices, de los punzones y las perforaciones hechas en las zapatas, se hicieron con procesos tradicionales de corte de materiales.

La característica geométrica de las matrices y de los punzones, es que son sólidos de revolución, lo que implicó el uso del proceso de torneado para su fabricación.

Para el punzón y matriz de corte se combinaron sistemas de corte manuales y sistemas de corte CNC. Esto último debido a la necesidad de conseguir geometrías circulares que resultan difíciles de hacer en un torno manual.

Las perforaciones de las zapatas y de las piezas a fijar se hicieron con el proceso de taladrado. Posterior a éste, para los casos en los que se necesitara colocar pernos y tornillos guía, se utilizó el proceso de rimado.

Debido a que las máquinas herramientas manuales, que se encuentran en los talleres de la Facultad, tienen la capacidad de dar tolerancias de milésimas de pulgada en los maquinados, fue favorable el uso de éstas, sin tener necesidad de fabricar todos los componentes de los troqueles con procesos de corte CNC.

## 6.9. Tratamiento térmico

La vida de un troquel esta relacionada con la dureza de la, o las matrices, y de el, o los punzones, que forman parte del mismo. Puesto que los troqueles se utilizan generalmente para hacer una gran cantidad de piezas, por cada pieza fabricada se presenta fricción y un pequeño desgaste en las matrices y punzones, que sumado a cada pieza fabricada, resulta un desgaste mayor. Por tal motivo es necesario hacer algunos tratamientos térmicos a las matrices y punzones, con el fin de aumentar su dureza y obteniendo así, un límite alto de resistencia al desgaste.

Las principales necesidades de las matrices y punzones son: dureza, tenacidad y alta resistencia al desgaste. Por tal motivo los tratamientos seleccionados son temple y revenido. El temple ofrece que el material aumente su dureza y por ende su resistencia al desgaste. Mientras que el revenido proporcionara la tenacidad adecuada de las piezas, al ser liberados los esfuerzos residuales después del temple.

Dentro de las características del acero O1 están: a) una gran estabilidad dimensional, b) alta resistencia a la descarburización, c) un templado no muy profundo que permite mejorar la tenacidad, y, d) un templado que se consigue fácil y no llega a niveles en que la pieza se pueda fracturar con el mismo.

### *Temple*

El temple es el tratamiento térmico que se utiliza para obtener martensita, que es la fase más dura de un metal.

El temple de las piezas se realiza precalentándolas a 650 °C con el fin de disminuir la deformación que pueden sufrir en el endurecimiento posterior. Ya que la austenitización del acero O1 se da entre los 790 °C y los 815 °C, las piezas deben permanecer a esta temperatura en un periodo de 10 a 30 minutos, según las dimensiones de las mismas.

Para el acero O1 es recomendado templar en aceite. El aceite debe estar entre los 50 y 70 °C preferentemente, y además es recomendable agitar vigorosamente la pieza dentro del aceite.

Las matrices y punzones de los troqueles diseñados estuvieron en el horno a 810 °C por 15 minutos aproximadamente, después fueron templados en aceite, con una agitación vigorosa.

### *Revenido*

El revenido es un tratamiento térmico que provoca la liberación de esfuerzos de piezas previamente templadas. Por ello es necesario hacerlo después del temple.

El revenido del acero O1 se hace a temperaturas entre los 175 y 260 °C, para obtener así una dureza final de aproximadamente 57 a 62 HRC.

Después del templado de las matrices y de los punzones, éstos se introdujeron en el horno a una temperatura de 210 °C, aproximadamente por 30 minutos. Después se dejaron enfriar fuera del horno a temperatura ambiente para medir posteriormente sus durezas finales.

### *Durezas obtenidas*

Las durezas de las matrices y de los punzones se midieron antes de cualquier tratamiento térmico, después del temple y después del revenido.

A continuación se presentan las tablas de las durezas antes de los tratamientos, después del temple y después del revenido.

Lectura	Matriz de corte Dureza HRB	Punzón de corte Dureza HRB	Matriz de embutido Dureza HRB	Punzón de embutido Dureza HRB
1	90.6	92.2	92.6	93.9
2	92.3	95.1	93.4	92.9
3	93.2	96.0	92.7	82.6
4	90.4	97.5	95.1	96.6
5	89.0	91.5	93.5	96.8
Promedio	91.10	94.46	93.46	92.56

Tabla 5.1 Durezas antes de los tratamientos térmicos

	Matriz de corte	Punzón de corte	Matriz de embutido	Punzón de embutido
Lectura	Dureza HRC	Dureza HRC	Dureza HRC	Dureza HRC
1	62.2	56.2	60.1	58.0
2	59.3	58.1	61.7	57.5
3	58.3	55.0	59.8	56.2
4	62.8	59.5	59.1	59.0
5	64.6	57.0	60.1	58.1
Promedio	61.40	57.16	60.16	57.76

Tabla 5.2 Durezas después del temple

	Matriz de corte	Punzón de corte	Matriz de embutido	Punzón de embutido
Lectura	Dureza HRB	Dureza HRB	Dureza HRB	Dureza HRB
1	51.9	52.3	53.4	51.1
2	51.1	50.5	53.0	52.4
3	53.5	50.5	60.4	50.5
4	50.0	48.6	51.1	54.1
5	53.0	51.0	54.3	52.0
Promedio	51.90	50.58	54.44	52.02

Tabla 5.3 Durezas después del revenido

El tratamiento térmico que se le aplicó a las matrices y punzones en este trabajo, fue un temple en aceite seguido de un revenido. Estos tratamientos se hicieron llevando acabo las indicaciones que se especifican en la literatura relativa a tratamientos térmicos, en el apartado de aceros de la serie "O".

Con los datos obtenidos se puede observar que los valores de durezas de las matrices y punzones están casi en el rango que la literatura <sup>20</sup> menciona (57-62 HRC). Con ello se puede estar seguro de que la dureza, al menos la superficial, de las matrices y punzones es conveniente para los fines a los que se quiere llegar con estos herramientas y hará que la durabilidad sea grande.

<sup>20</sup> ASM International, *Heat Treater's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels*, 2<sup>nd</sup> Edition, Harry Chandler Editor, USA, 1995, p. 533



## **6.10. Rectificado de superficies**

Como último paso en el proceso de fabricación de los troqueles, se lleva a cabo el corte con abrasivos. Este proceso se utilizó con el fin de rectificar las superficies planas que se colocan sobre las zapatas. Además, con este proceso se corrigen los problemas de deformación que se hayan presentado a causa de los tratamientos térmicos de las partes.

En el caso de las matrices, tanto de corte como de embutido, se presentó una pequeña deformación de alabeo, y por tal fue necesario rectificar las caras planas. Al punzón de corte se le rectificó la cara de corte, con el fin de obtener el filo de corte.

Los planos de fabricación de los herramientales se encuentran en el anexo 4 del presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones finales de este trabajo, se menciona como primer punto que durante el proceso de elaboración de los troqueles se llegó a observar que el cálculo teórico de la geometría desarrollada no es exactamente igual al desarrollo real de la pieza que se quiere fabricar. Es decir, durante la práctica fue necesario fabricar discos de diferentes diámetros, para que fueran posteriormente probados en el troquel de embutido, con el fin de obtener el diámetro que finalmente obtendría la pieza deseada. Y así, posteriormente, fabricar el troquel de corte que produjera dichos discos.

Teniendo lo anterior como base, se puede afirmar que el comportamiento teórico en la zona plástica del material no es del todo exacto; pues factores como la anisotropía del material, la relación límite de embutido que éste permite, el laminado de los mismos, la rugosidad, la composición química, etcétera, provocan que estos cálculos no sean correctos.

Así mismo, otro factor que influye es el hecho de que los datos de las tablas no son 100% reales para los materiales de los que se dispone; por lo que no se puede, aunque se quisiera, calcular la deformación real de éstos. Dicho de otro modo, no se puede comparar, por ejemplo, las propiedades de un acero 1008 de calidad sueca, con las propiedades del mismo acero, pero hecho en México.

Otro factor importante para el desarrollo de este trabajo fue la correcta selección de luces de los útiles; ya que de otro modo, los cortes no hubieran sido exactos y los embutidos, a su vez, hubieran tenido defectos. Cabe señalar que en este aspecto, la teoría, o por lo menos los consejos que se manejan en ella, no son errados. Para el caso del troquel de corte, las luces recomendadas, son prácticamente las mismas en toda la literatura.

En los herramientales de embutido, es necesario tener en mente si se quiere o no variara el espesor de las paredes de las piezas obtenidas. Al disminuir el espesor se provocara un estiramiento en las paredes, cosa que no sucederá si no se tiene interferencia dimensional entre el herramienta y el espesor de la chapa.

Piezas embutidas con estiramiento de paredes, harán aún más complicado el cálculo de la chapa primitiva.

Pruebas hechas con material de calibre 18 (de 50 milésimas de pulgada de espesor) en el troquel de embutido, mostraron un alargamiento en la altura final de la pieza embutida. Se mejoró el acabado de la piezas, al no presentarse las "orejas" del embutido. Ésta chapa no deja luz alguna entre la matriz y el punzón, la interferencia que se presenta es de 2 milésimas en diámetro. La diferencia de alturas entre las piezas hechas con chapa de calibre 20 y piezas hechas con chapa de calibre 18 es de 1/8 de pulgada en promedio.

En cuanto a las fuerzas requeridas, se obtuvieron resultados en los que se muestra que la fuerza de corte es mayor que la fuerza total necesaria para el embutido. Esto debido a que el material es más resistente al corte que a la deformación.

Un aspecto también importante es que fue posible utilizar una prensa que originalmente está destinada para trabajos de troquelado y punzonado, en trabajos de embutido poco profundo. Esto es importante, debido a que para realizar embutidos se utilizan prensas hidráulicas con las que se controla la velocidad del mismo, con el fin de controlar los esfuerzos a los que es sometido el material.

Dentro del ámbito de fabricación de los troqueles se pudo apreciar la importancia de maquinar partes de los mismos a manera que éstas contaran con las dimensiones precisas para la correcta operación del troquel; y así entonces, obtener finalmente la pieza deseada. El uso de los maquinados hechos con máquinas de control numérico debe ser justificado. El alto costo de este recurso elevaría los costos de fabricación, y con fines productivos elevará el costo de fabricación de las piezas.

Un aspecto que se consideró relevante es el armado de las matrices y punzones en las zapatas del troquel puesto que el alineamiento de las partes de trabajo debe ser muy exacto; ya que de lo contrario, y por la geometría circular de los útiles fabricados, las luces no serían constantes en todo el perímetro de las situetas.

Se pudo apreciar que el uso de las normas internacionales de dibujo, para el diseño y fabricación de los herramientas no pueden ser del todo aplicadas, el hecho de contar con máquinas herramientas que manejan dimensiones inglesas, hizo necesario el dimensionamiento de las piezas de los troqueles en pulgadas. Esto además de que las brocas, cortadores, rimas, pernos, tornillos y demás son más fáciles de conseguir, si éstos están fabricados con dimensiones inglesas.

Retomando el comportamiento de los materiales, los cálculos de las piezas primitivas, podrían ser solucionados de una manera casi real con el uso de paquetes de elemento finito que, con la ayuda de simulaciones, calcularan la deformación del material que se usa; y, si a esto se le agregaran los datos reales del material, es decir, los datos que se pueden obtener de la realización de ensayos mecánicos, se podrían obtener mejores acercamientos al comportamiento real del material.

Por otro lado, otro elemento de suma importancia, y que no por mencionarse al casi al último deja de ser trascendente, es el hecho del cuidado de la seguridad en los trabajos con la prensa. Generalmente, es muy fácil que por la más mínima distracción se pueda tener un accidente catastrófico.

Lo que más sucede, y que quizá sea el menor de los males en accidentes de este tipo, llega a ser la pérdida de alguna parte de la mano, o de todo un dedo. Pero sea cual sea el accidente, las consecuencias psicológicas y emocionales son siempre muy significativas. Por tal motivo, lo primero que se debe conocer antes de usar una prensa, son las medidas de seguridad y estar consciente de las causas que puede traer el no seguirlas.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- ✓ ASM International, Metals Handbook, 9<sup>th</sup> Edition, Vol. 3 *Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special – Purpose Metals*, USA, 1985, 882 pp.
- ✓ ASM International, Heat Treater's Guide. Practices and Procedures for Irons and Steels, 2<sup>nd</sup> Edition, Harry Chandler Editor, USA, 1995, 903 pp.
- ✓ Goetsch, David L. *et. al.* Technical Drawing, 3<sup>rd</sup> edition, Delmar Publishers Inc., USA, 1994, 941 pp.
- ✓ Groover, Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, procesos y sistemas, traducción: Carlos M. De la Peña Gómez y Miguel Ángel Martínez Sarmiento, Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A., México, 1997, 1062 pp.
- ✓ Jensen, C. H. Dibujo y diseño de ingeniería, traducción: Adolfo Gómez Danies, Editorial McGraw – Hill, México, 1993, 760 pp.
- ✓ López, Navarro Tomás. Troquelado y estampación con aplicaciones al punzonado, doblado, embutición y extrusión, 5ta edición, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1976, 437 pp.
- ✓ Palmer, Frank *et. al.* Acero para herramientas, traducción: Andrés Ruíz Mijares *et. al.*, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México, 1986, 524 pp.
- ✓ Schey, John A., Introduction to Manufacturing Processes, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw – Hill, USA, 2000, 962 pp.
- ✓ Quercy, A. Trabajo de los metales en láminas, traducción: José Luis Salcedo, Ediciones Urmo, Bilbao, 1965, 309 pp.

- Rossi, Mario. Estampado en frío de la chapa. Estampas, matrices, punzones, prensas y máquinas, traducción: Ramón Fortet Gay, 9na edición, Madrid, 1979, 712 pp.
- Wassilieff, B. Embutición, traducción: Enrique Añaños Domingo, Editorial Hispano Europea, Biblioteca Técnica, Barcelona, 1966, 105 pp.
- Crane, Edward V., Plastic working of metals and non-metallic materials in presses, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & sons, Inc., USA, 1944, 538 pp.
- Fonseca Fonseca, Miguel y Pacheco Villavicencio, Esteban., Tesis "Conformabilidad de productos planos", Director: Ing. Ubaldo Márquez Amador, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., Cd. Universitaria, 1998.

Catálogos:

- *Resortes para troqueles*, Danly IEM, México, 23 pp.
- *Cpaesa*, Comercial de portatroqueles y accesorios S.A. de C.V., México, 48 pp.

# A N E X O S

## Anexo 1

# Propuesta de una práctica de laboratorio para la materia de Conformado de Materiales

## Práctica de Troquelado y Embutido

Tiempo estimado: 1.5 hrs.

### Objetivo

Que el alumno se familiarice y conozca los procesos de corte y embutido cilíndrico como ejemplo de uno de los procesos usados en la industria del conformado en el plano.

### Actividades

Durante el desarrollo de la práctica se realizarán las siguientes actividades:

- Descripción de la prensa, de los troqueles y de la secuencia de embutido
- Medidas de seguridad (ver anexo 2)
- Explicación del diseño de troqueles
  - Pieza propuesta
  - Desarrollo del disco primitivo
  - Dimensiones de la prensa
  - Calibre y tipo de chapa
  - Parámetros de diseño
  - Maquinados
  - Tratamientos térmicos
- Montaje del troquel de corte (ver anexo 3)
- Corte de discos primitivos para el embutido
- Desmontaje del troquel de corte
- Montaje del troquel de embutido



- Embutido de los discos previamente cortados y de discos grabados para medición
  - Discos grabados con el equipo Etch-O-Matic de grabado electrolítico
- Desmontaje del troquel del embutido
- Medición de la retícula de los discos grabados

## Reporte

El reporte de la práctica deberá contener los siguientes puntos:

### *Introducción*

El alumno explica brevemente los procesos de corte y embutido, con las características necesarias para el diseño del herramental. (Una a dos cuartillas)

### *Desarrollo*

El alumno hará los cálculos necesarios para saber el diámetro teórico del disco primitivo de la pieza fabricada y los cálculos correspondientes a las fuerzas necesarias para el corte y embutido de los mismos.

Con la información recavada de las medidas de los discos gravados, se calculará la deformación de las piezas. Los valores de deformación obtenidos se localizarán en el Diagrama de Conformabilidad Límite (DCL) del tipo de lámina usada. Con la ayuda de este diagrama se podrá obtener la información de la deformación sufrida. Además se podrá saber cuanto más se puede deformar el material antes de llegar a la fractura.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> El DCL de la lámina negra nacional, usada en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., se puede obtener de la Tesis: "Conformabilidad de Productos Planos", realizada por Esteban Pacheco Villavicencio y Miguel Fonseca Fonseca, dirigida por el Ing. Ubaldo Márquez Amador.



Fig. A1.1 Disco primitivo gravado

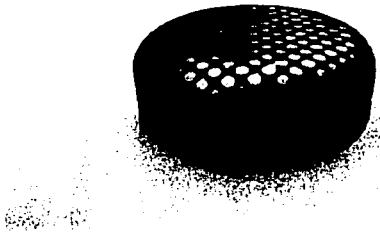


Fig. A1.2 Pieza embutida (vista 1)

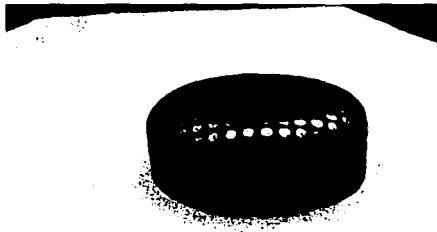


Fig. A1.3 Pieza embutida (vista 2)

Se propondrán valores de diseño de los troqueles, con base en el material utilizado (calibre), principalmente, la luz de corte, la luz de embutido, radios de matriz y punzón, etc.

*Conclusiones*

*Bibliografía*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Anexo 2

### Medidas de Seguridad

Las causas de los accidentes en las prensas pueden ser múltiples. Tres fundamentales son:

- Distracción debida a motivos de carácter psicológico.
- Deterioros imprevistos de las máquinas.
- Falta de experiencia en proyectar estampas.

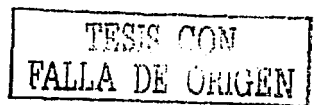
Si, idealmente, las maquinas estuvieran provistas de dispositivos de seguridad y las estampas fuesen construidas siguiendo rígidamente los conceptos que hacen imposible el acceso de las manos entre punzón y matriz, se podría afirmar que cualquier distracción no llegaría a provocar un accidente doloroso.

Lo anterior es puramente teórico, por lo que, aún empleando todas las normas posibles, el accidente puede ocurrir en un porcentaje reducido.

A veces, llega a suceder un accidente por la monotonía de la operación a desarrollar. Es suficiente pensar que en un minuto se dan, en promedio, 60 golpes que en una hora serán 3,600 y en un día de ocho horas son 25,000 golpes. Por lo que un poco de sueño, el calor del medio día o la posibilidad de estar pensando en algún problema, pueden hacer fallar el sincronismo entre la acción de las manos y la del pie sobre el pedal, provocando un accidente.

Las medidas de seguridad necesarias para el uso de los troqueles por los alumnos son:

- Asegurarse que el troquel esté bien colocado; es decir, que esté bien asegurado a la máquina.
- Que la prensa sea operada por una persona a la vez, sin la ayuda de nadie.
- Asegurarse de que los seguros del pedal estén puestos antes de mover la chapa de corte, o al colocar los discos para el embutido.



- Utilizar algún dispositivo que ayude a colocar los discos y a retirar las piezas que queden atascadas.
- Poner las manos sobre las perillas de los seguros al accionar la prensa.
- Trabajar bajo la supervisión de alguien capacitado.

Siguiendo estas indicaciones será posible que los alumnos utilicen y vean trabajar la prensa con el herramental de corte y embutido, de forma segura.



Fig. A2.1 Posición de operación para evitar accidentes

### Anexo 3

## Colocación de los útiles en la prensa

Para el montaje de los troqueles en la prensa es necesario seguir una secuencia de pasos, con el fin de no atascar la prensa y/o los troqueles. Un error en esta actividad puede ocasionar que sea necesario el uso de golpes para desatascar la maquina, e inclusive, que el troquel se dañe.

La secuencia es la siguiente:

- A. Medir la altura del troquel cerrado, sin la necesidad de aplicar fuerza alguna para el cierre total de la operación. Es decir, si hay resortes, medir la altura del troquel con el cierre permitido, estando los resortes libres.

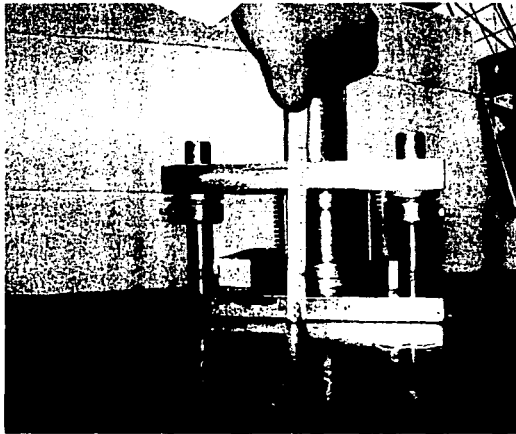


Fig. A3.1 Medición de la altura del troquel de corte

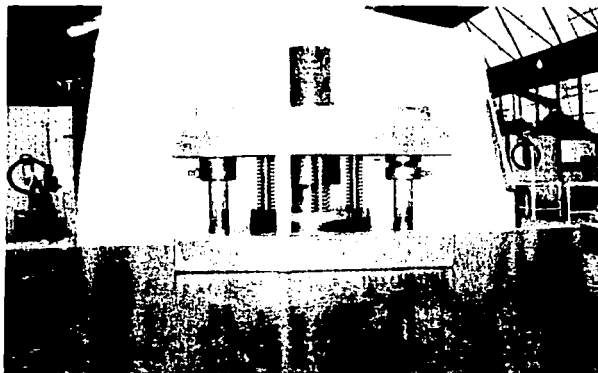


Fig. A3.2 Medición de la altura del troquel de embutido

B. Cerrar el tornillo de apriete de la prensa.

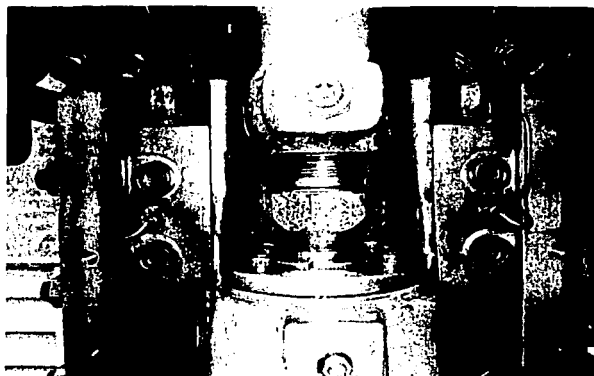


Fig. A3.3 Tornillo de apriete abierto

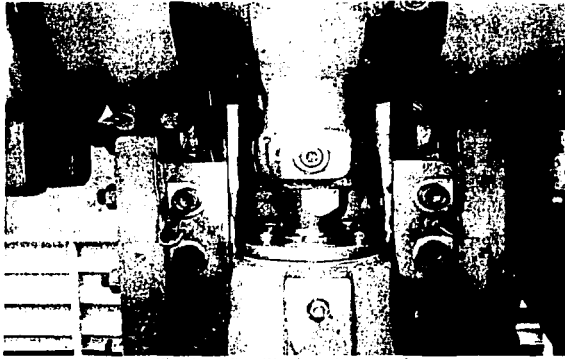


Fig. A3.4 Tornillo de apriete cerrado

- C. Verificar, si en el espacio que queda entre la mesa y el carro, cuando éste se encuentra abajo, cabe el troquel cerrado.

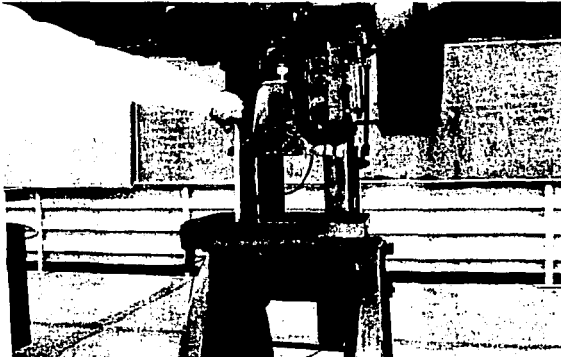


Fig. A3.5 Medición de la altura del carro (abajo) a la mesa

- D. Si el troquel cabe en el espacio mencionado, pasar al punto K.  
E. Si no cabe, se verifica cuanto más baja el carro de la altura del troquel cerrado.



- F. Con la ayuda de la información de diseño, corroborar si el troquel llega o casi llega al cierre total de operación, con el desplazamiento del carro.
- G. Si el carro se desplaza más de lo que permite el troquel para su cierre de operación, entonces será necesario cambiar la carrera de la prensa, por una más corta. De lo contrario, es casi seguro que el troquel y la prensa se atasquen.
- H. Una vez cambiada la carrera de la prensa, se verifica nuevamente lo dicho en los puntos C a G.
- I. Con la seguridad de que el troquel no cerrará más de lo debido, se prosigue a su colocación.
- J. Subir manualmente el carro de la prensa.
- K. Aflojar los tornillos de la mordaza para el mamelón y retirarla.

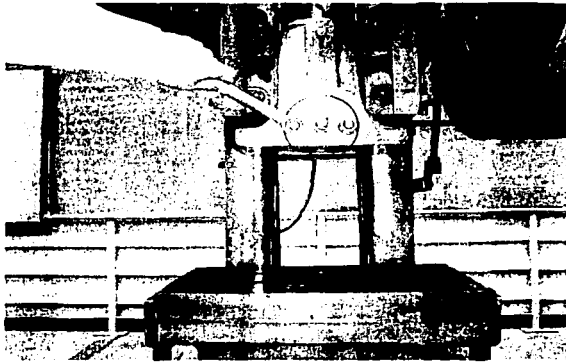


Fig. A3.6 Afloje de los tornillos de la mordaza

- L. Colocar el troquel sobre la mesa y alinearlos con el carro.

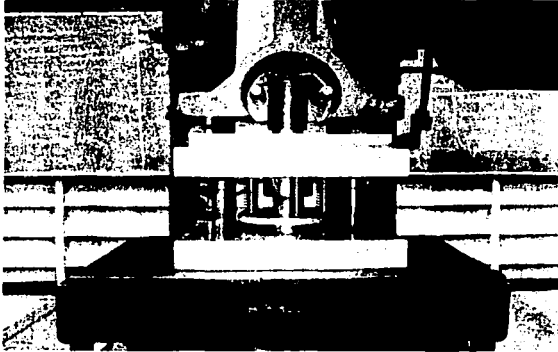


Fig. A.3.7 Alineamiento del troquel con el carro y mesa

M. Para el caso del punto D, se debe bajar el carro a su máximo desplazamiento. El espacio libre se debe completar con calzas. Éstas no deben obstruir el movimiento de algún elemento del troquel, como pueden ser tornillos guía, pero sí deben hacer que el troquel apriete un poco (al menos 5 mm).

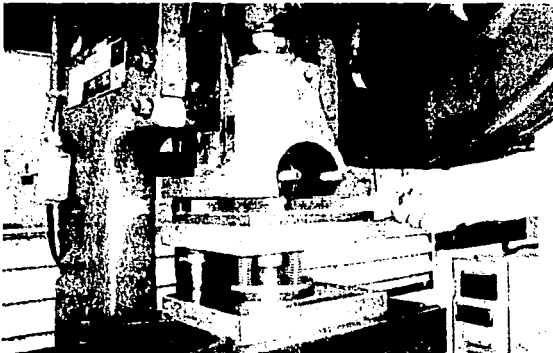


Fig. A.3.8 Colocación de calzas

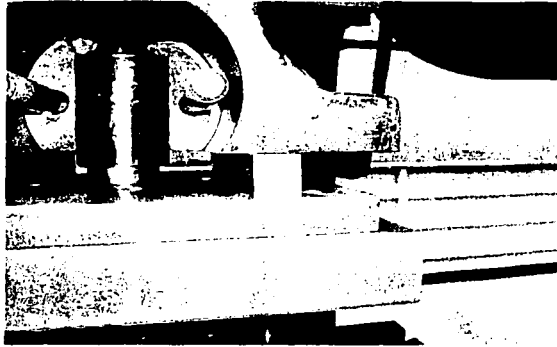


Fig. A3.9 Calzas presionadas por el carro

- N. Para el caso de lo mencionado en los puntos F y G, se baja el carro a que apriete el troquel, no es necesario que sea en su totalidad.
- O. Se coloca la mordaza para el mamelón y se aprieta fuertemente con sus tonillos de seguridad.

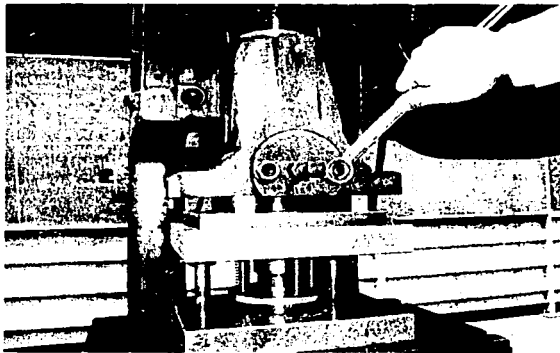


Fig. A3.10 Apriete de la mordaza

- P. Con ayuda de *clamps*, escaleras y las "t's" para las guías de la mesa, se asegura el troquel a la misma. Es importante verificar que no haya algún objeto que provoque un golpe con algún elemento del troquel.



Fig. A3.11 Uso de "clamps" y escaleras para fijar el troquel a la mesa

- Q. Después, manualmente se desembraga el carro para poder arrancar la máquina.

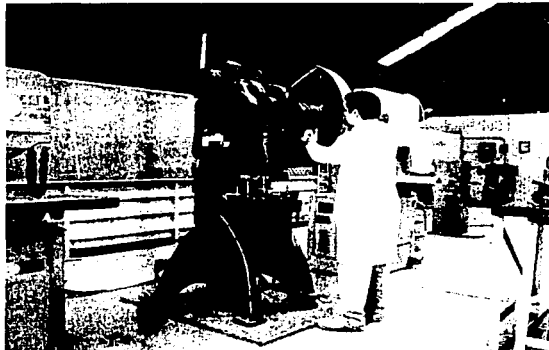


Fig. A3.12 Desembrague manual de la prensa

R. Con la máquina en marcha, se procede a dar el ajuste de cierre total del troquel. Se debe abrir poco a poco el tornillo de apriete, hasta que el troquel haga cierre correctamente. Éste ajuste es recomendable hacerlo con la chapa primitiva.

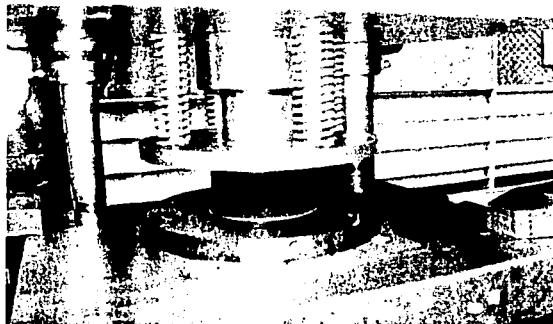


Fig. A3.13 Colocación de disco para embudo

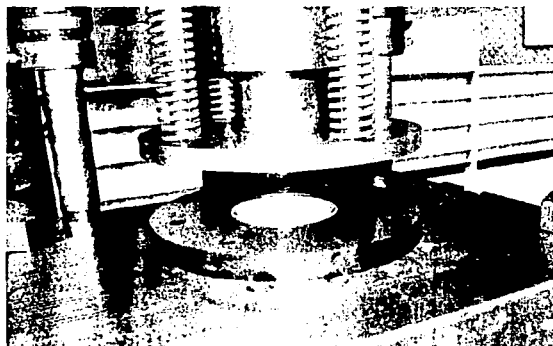


Fig. A3.14 Embudo parcial debido a la falta de ajuste del carro de la prensa

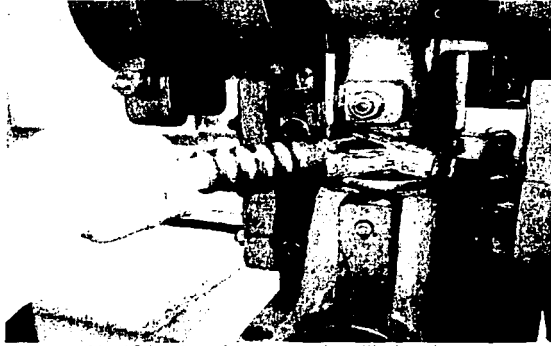


Fig. A3.15 Ajuste del carro con el tornillo de apriete

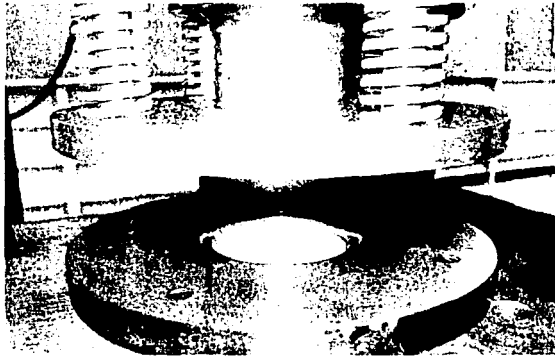


Fig. A3.16 Embutido completo después del ajuste del carro

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

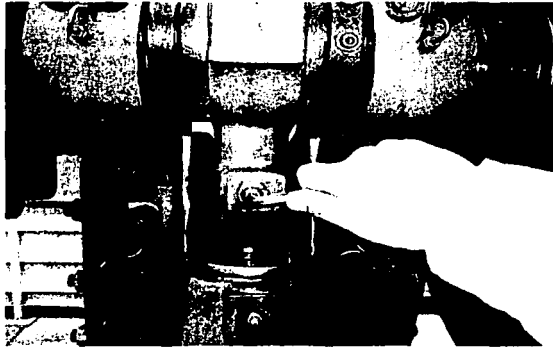


Fig. A3.17 Aseguramiento del ajuste con el tornillo de seguridad

Concluida la secuencia de pasos, el troquel y la prensa están listos para operar.

Para el desmontaje del troquel se debe tener precaución de lo siguiente:

- Que la máquina esté apagada.
- Cerciorarse de que el carro está arriba.
- Cerrar el tornillo de apriete.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Anexo 4

### Planos de Fabricación



1

2

3

4

5

6

A

B

C

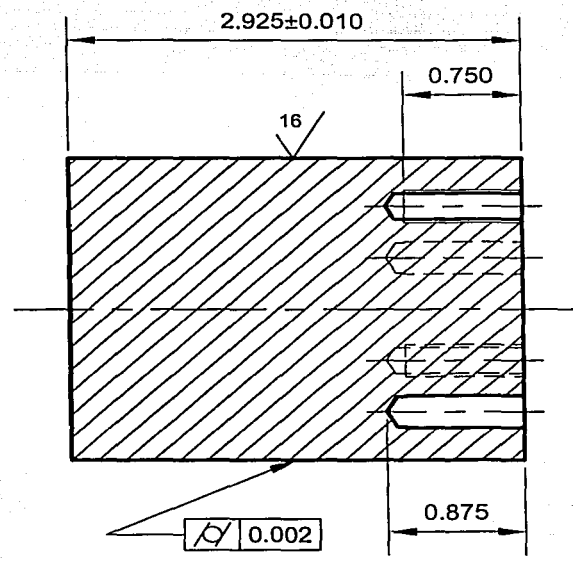
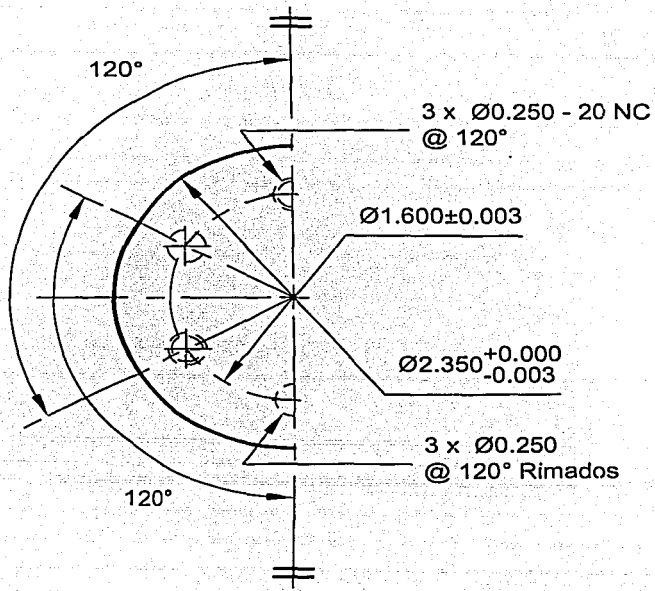
D

A

B

C

D



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Material: Acero O1 AISI  
 Tratamientos después de maquinado:  
 Temple en aceite:  
 Precalear el horno a 650°C  
 Introducir la pieza y elevar la temperatura del horno a: 790 - 815°C)  
 La pieza debe permanecer de 10 a 15 min dentro del horno  
 Revenido a 175 - 260°C  
 Acabado superficial solo en la zona de punzonado

ESC 1:1	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
ACOT: in	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
	<b>PUNZON DE CORTE</b>	PLANO No. 1

1

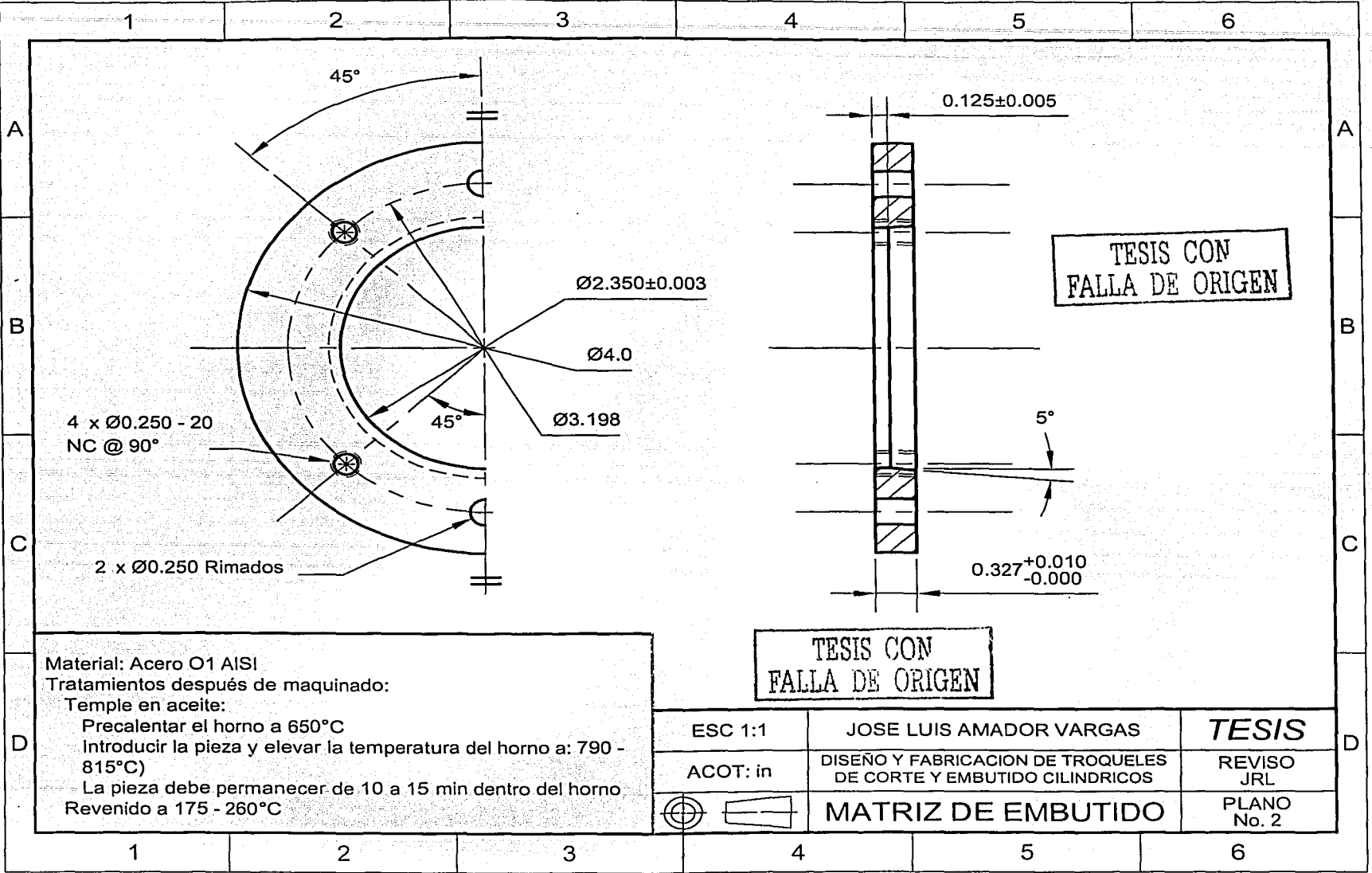
2

3

4


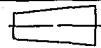
5

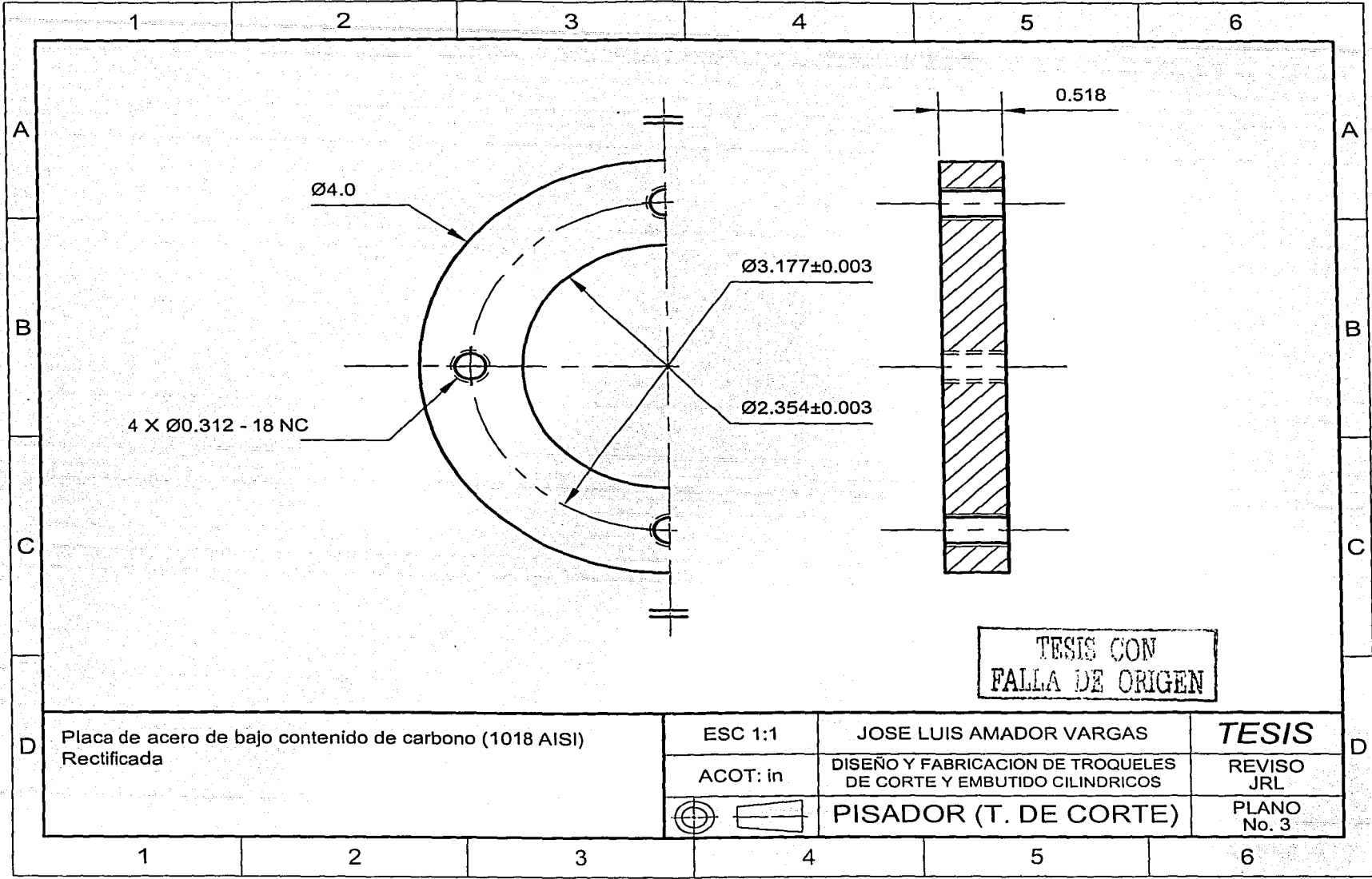
6



Material: Acero O1 AISI  
 Tratamientos después de maquinado:  
 Temple en aceite:  
 Precalear el horno a 650°C  
 Introducir la pieza y elevar la temperatura del horno a: 790 - 815°C)  
 La pieza debe permanecer de 10 a 15 min dentro del horno  
 Revenido a 175 - 260°C

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ESC 1:1	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
ACOT: in	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
 	<b>MATRIZ DE EMBUTIDO</b>	PLANO No. 2



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Placa de acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)  
Rectificada

ESC 1:1

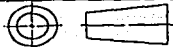
JOSE LUIS AMADOR VARGAS

TESIS

ACOT: in

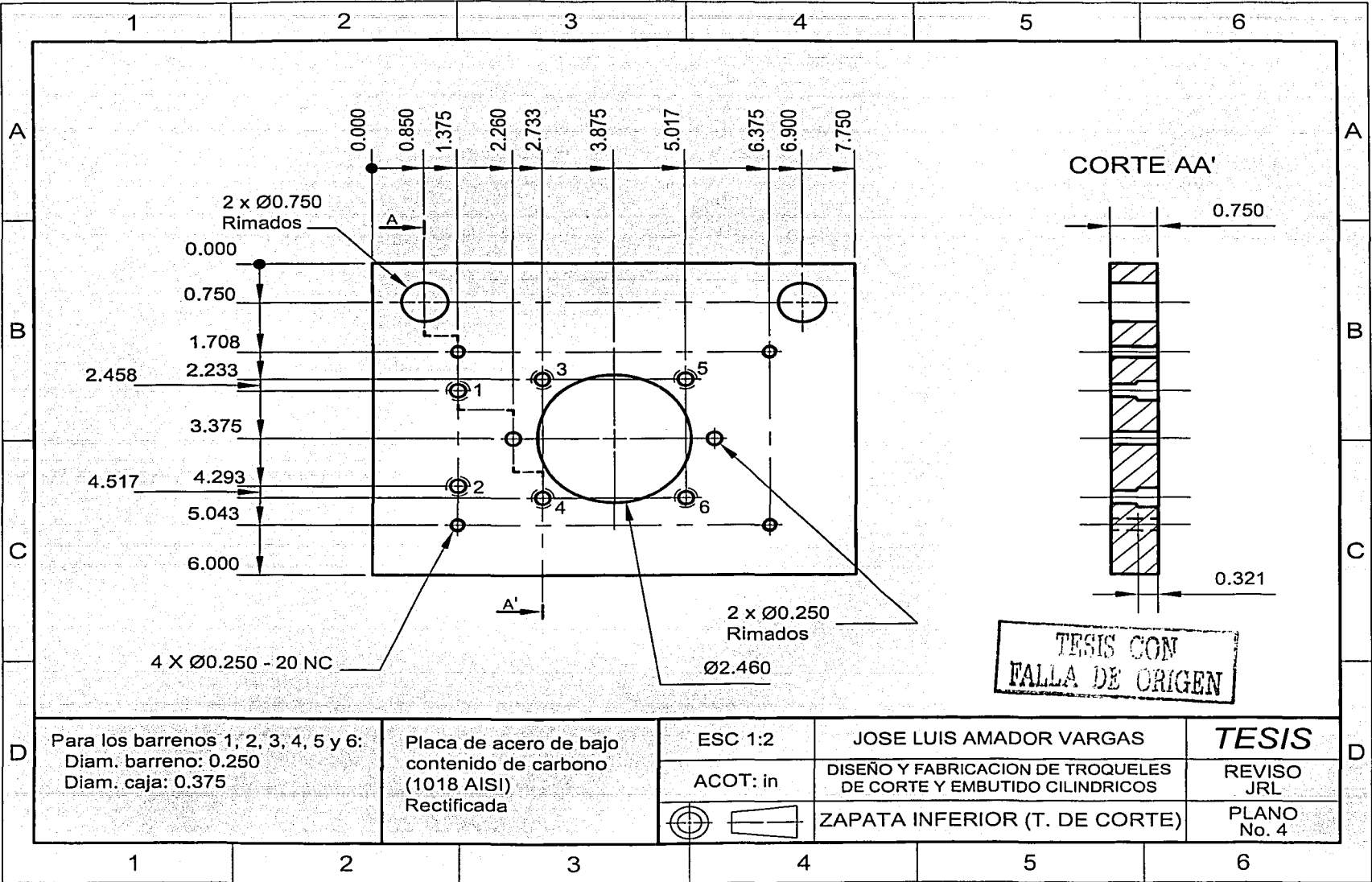
DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES  
DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS

REVISO  
JRL



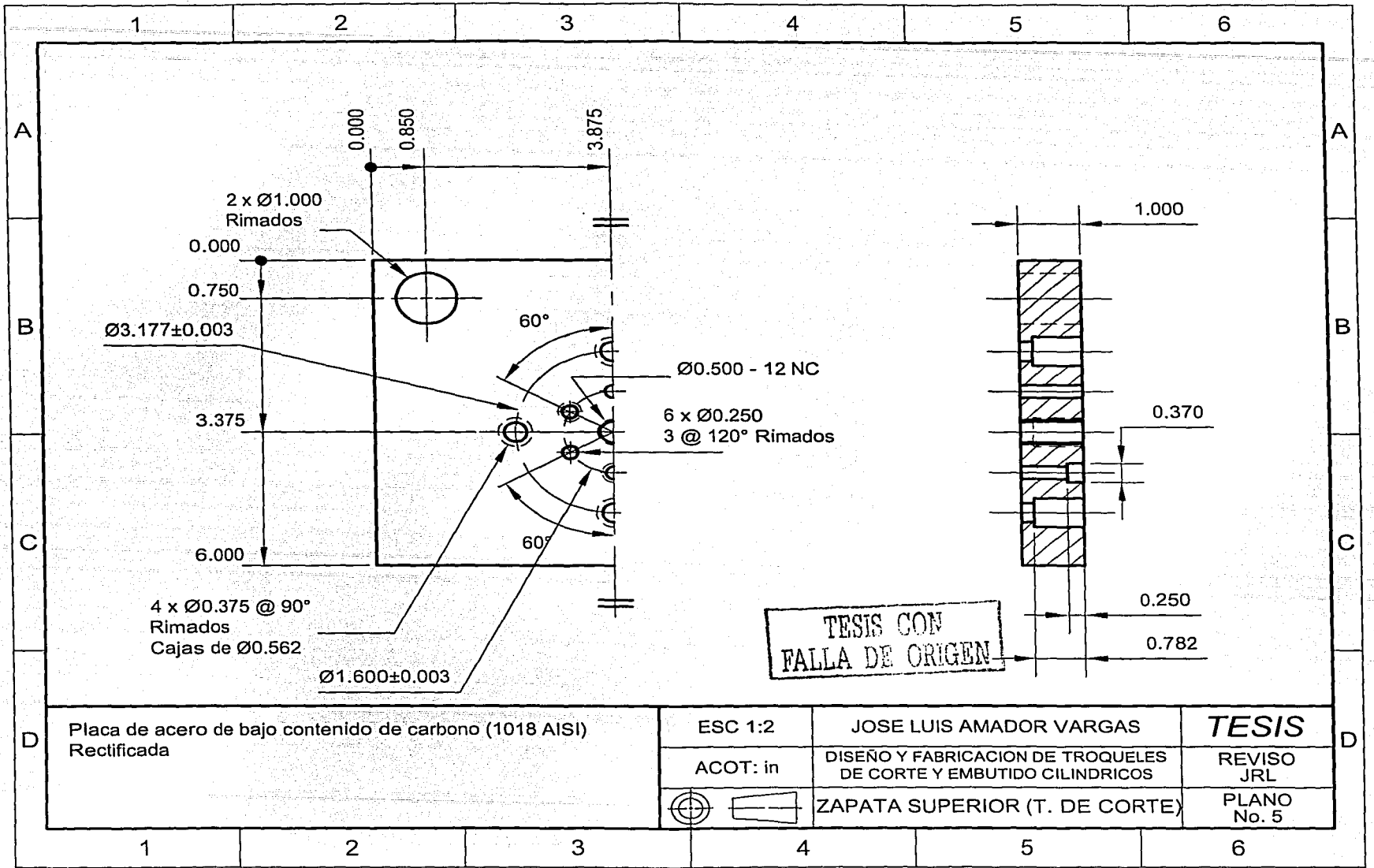
PISADOR (T. DE CORTE)

PLANO  
No. 3



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

D	Para los barrenos 1, 2, 3, 4, 5 y 6: Diam. barreno: 0.250 Diam. caja: 0.375	Placa de acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI) Rectificada	ESC 1:2	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
			ACOT: in	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
				ZAPATA INFERIOR (T. DE CORTE)	PLANO No. 4



Placa de acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)  
Rectificada

ESC 1:2

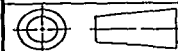
JOSE LUIS AMADOR VARGAS

**TESIS**

ACOT: in

DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES  
DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS

REVISOR  
JRL



ZAPATA SUPERIOR (T. DE CORTE)

PLANO  
No. 5

1

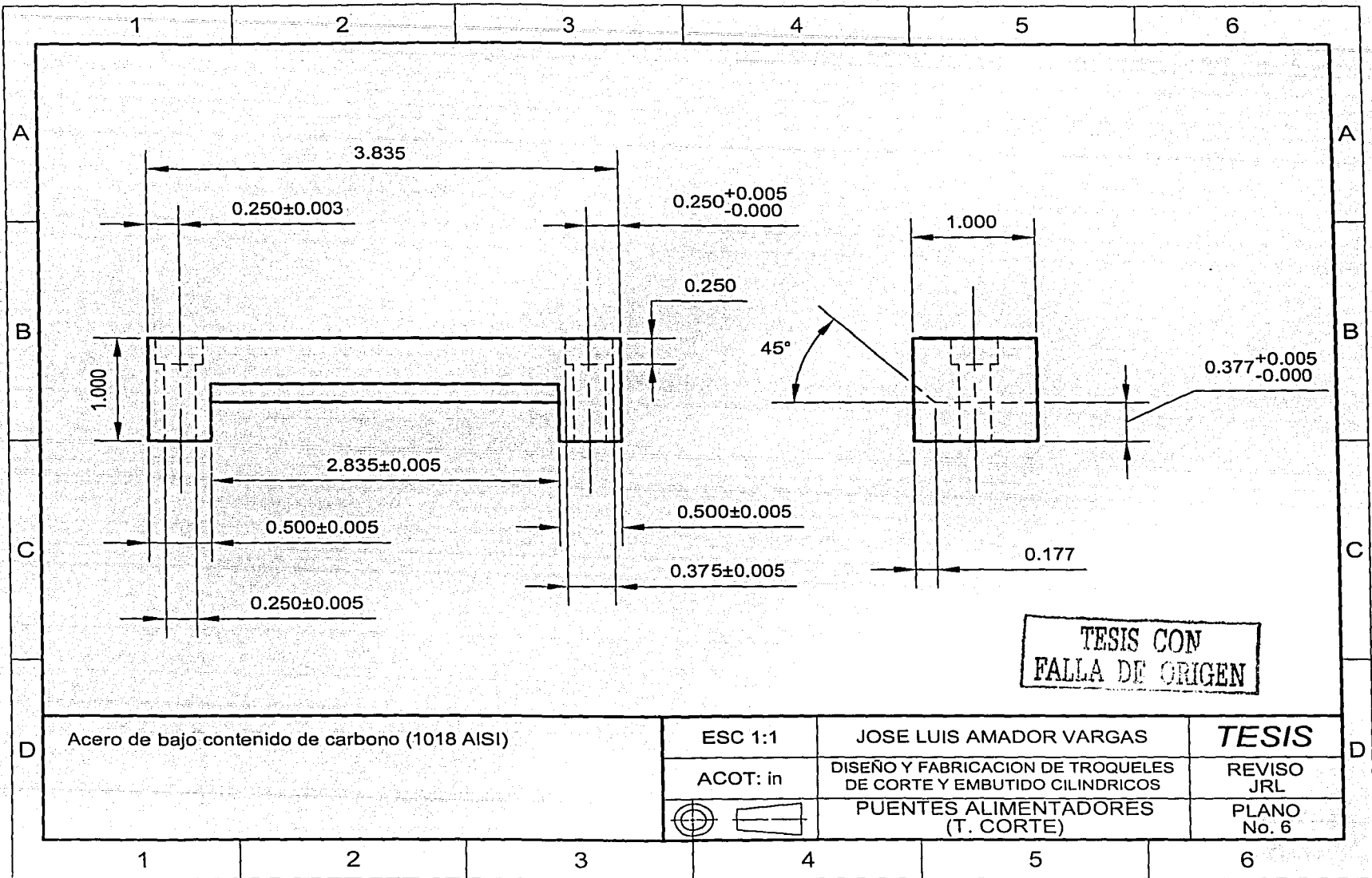
2

3

4

5

6



Acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)

ESC 1:1

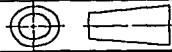
JOSE LUIS AMADOR VARGAS

**TESIS**

ACOT: in

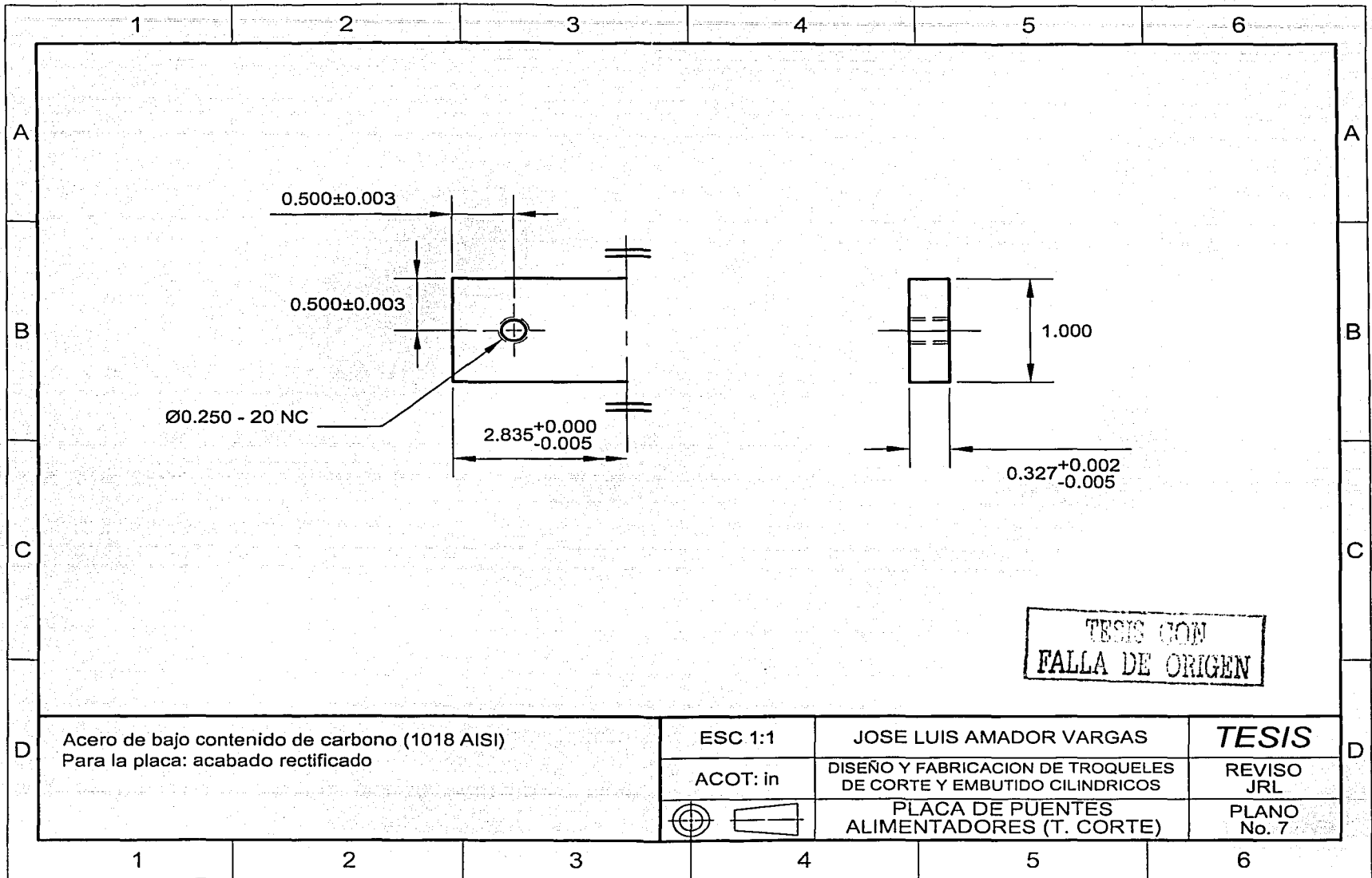
DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS

REVISO JRL



PUENTES ALIMENTADORES (T. CORTE)

PLANO No. 6



1

2

3

4

5

6

A

A

B

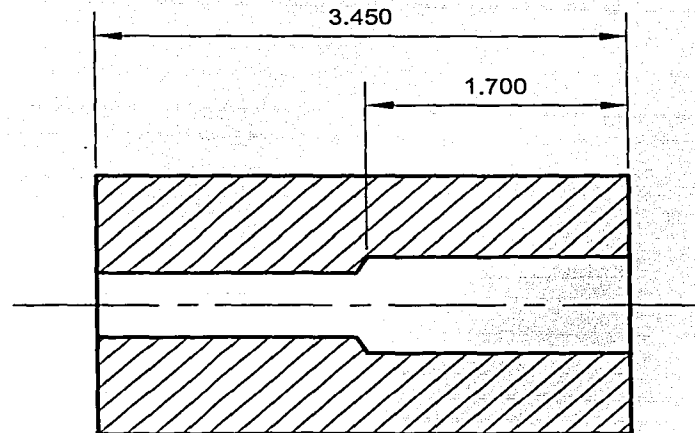
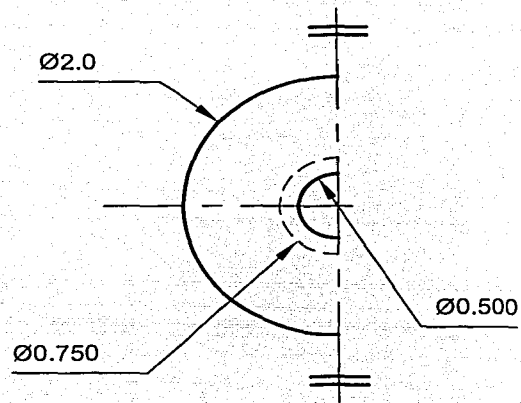
B

C

C

D

D



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)

ESC 1:1

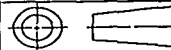
JOSE LUIS AMADOR VARGAS

**TESIS**

ACOT: in

DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES  
DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS

REVISOR  
JRL



**MAMELÓN (T. CORTE)**

PLANO  
No. 8

1

2

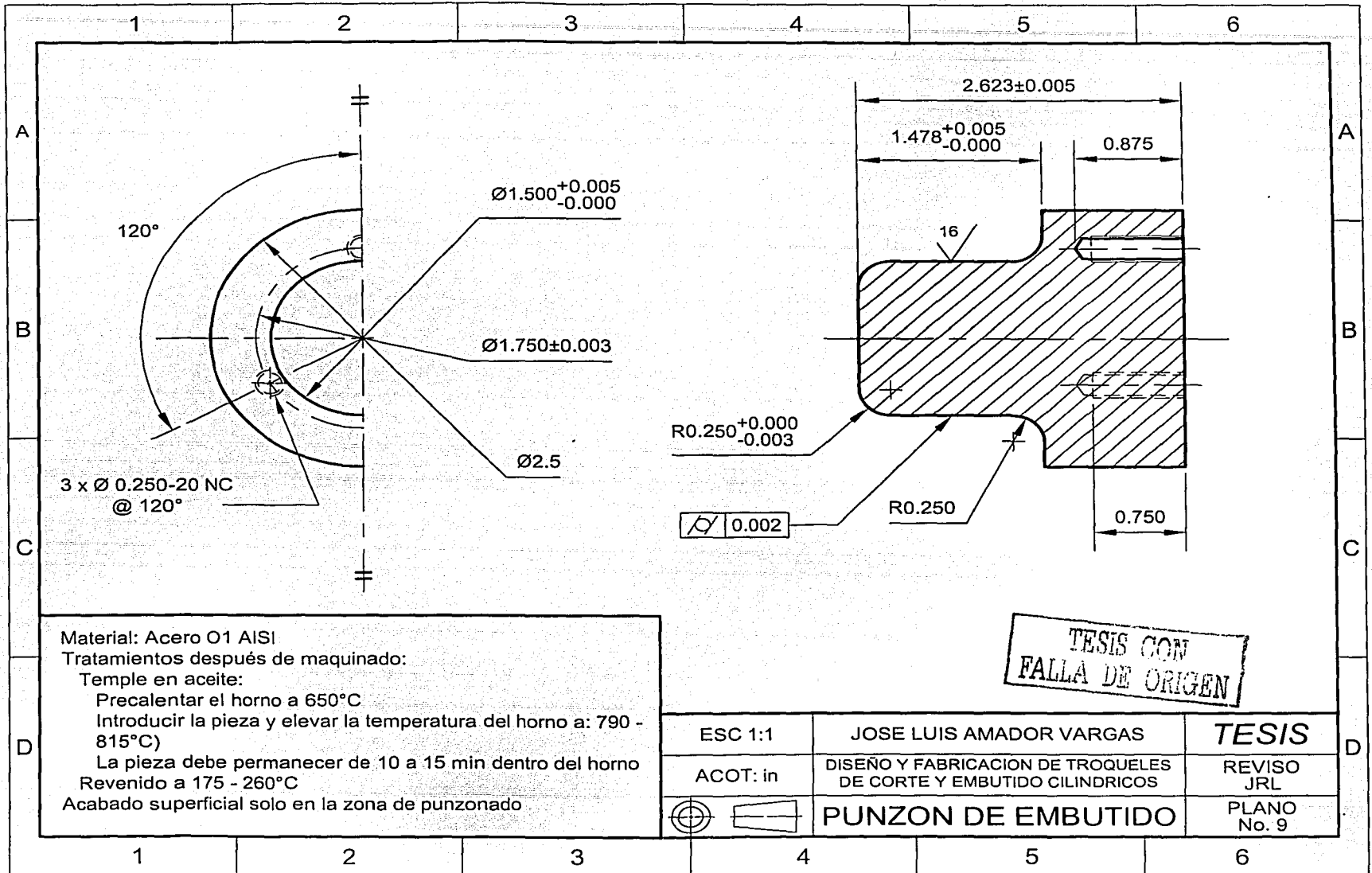
3

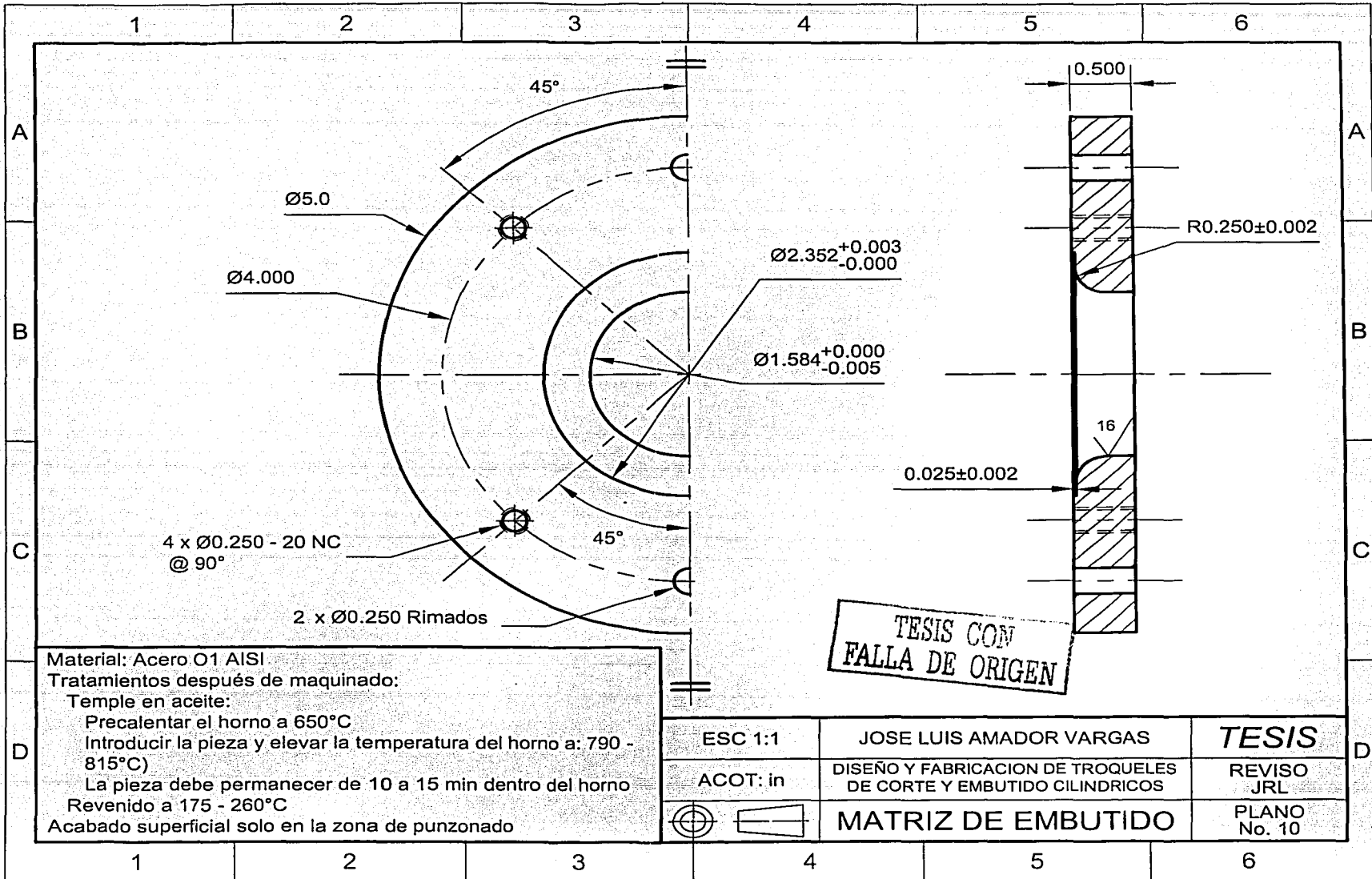
4

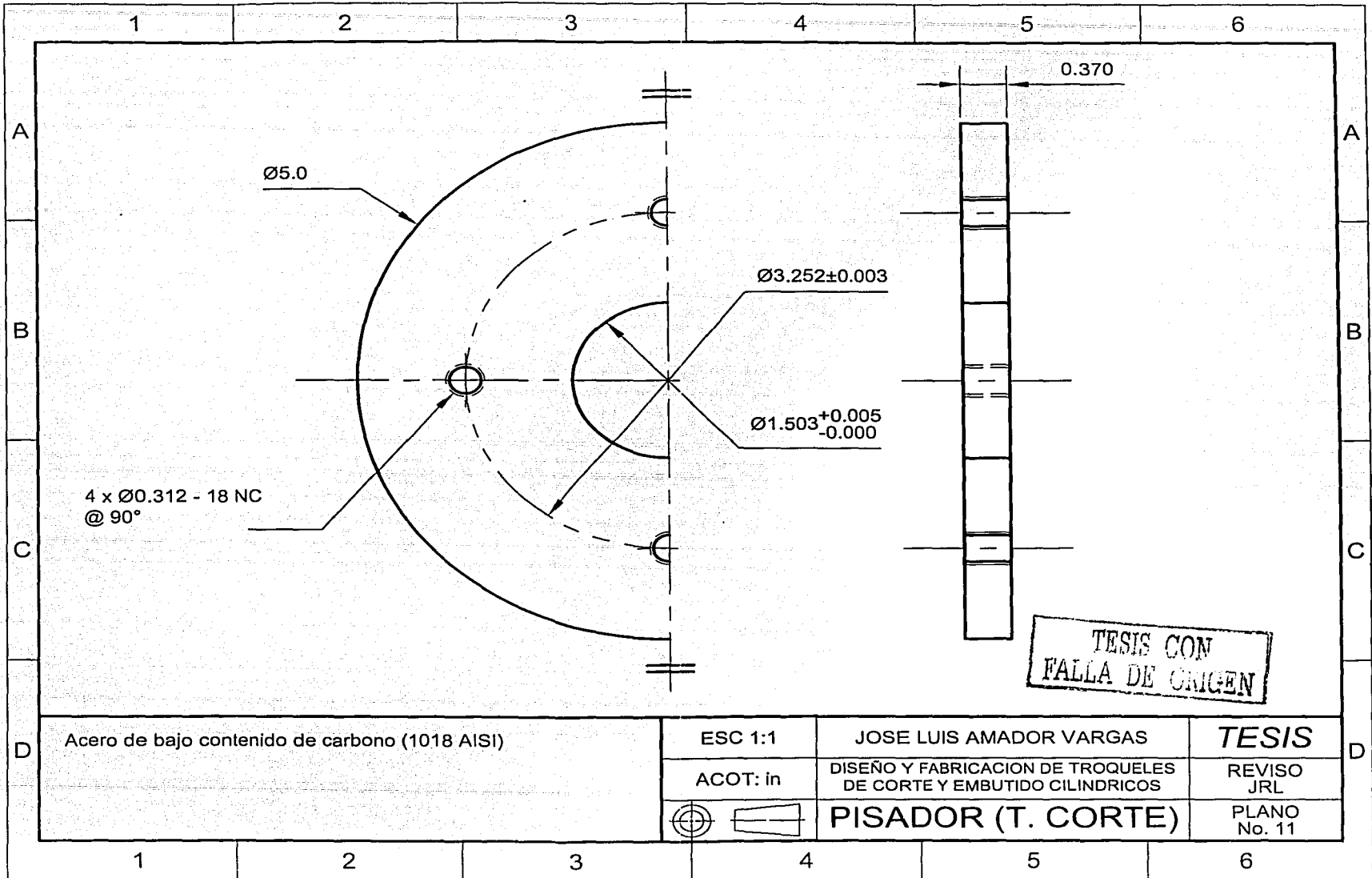
5

6

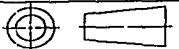


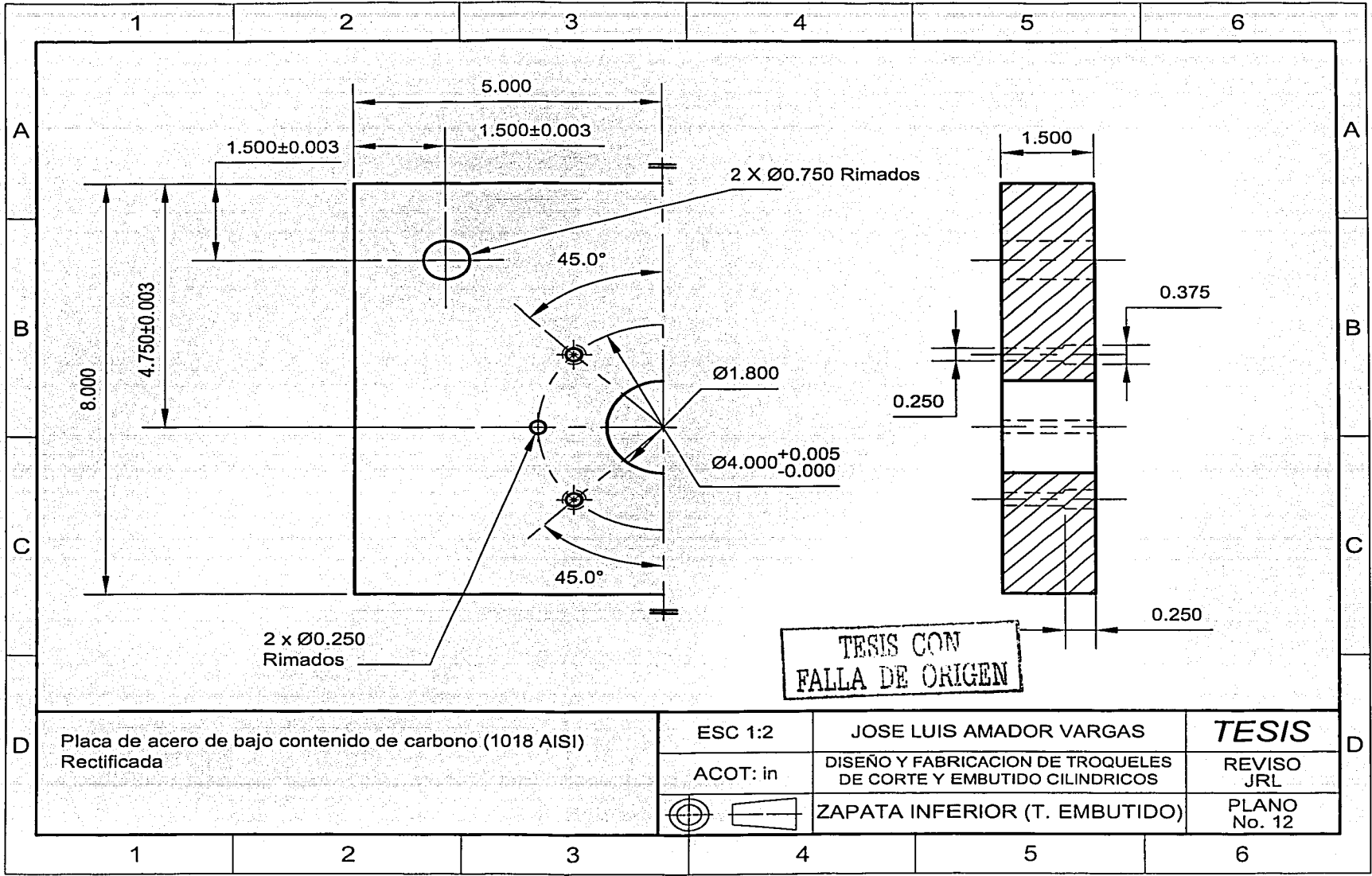


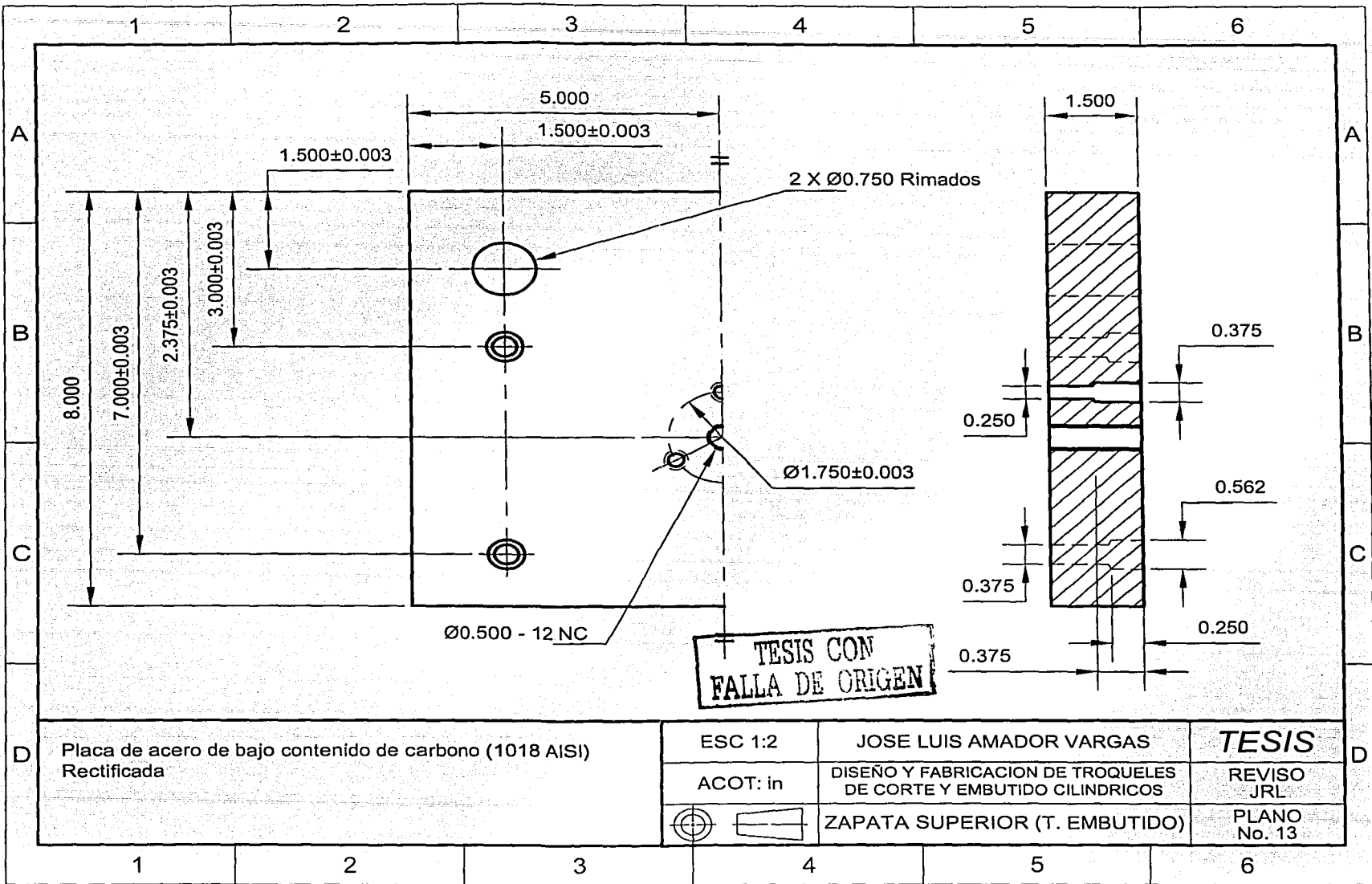






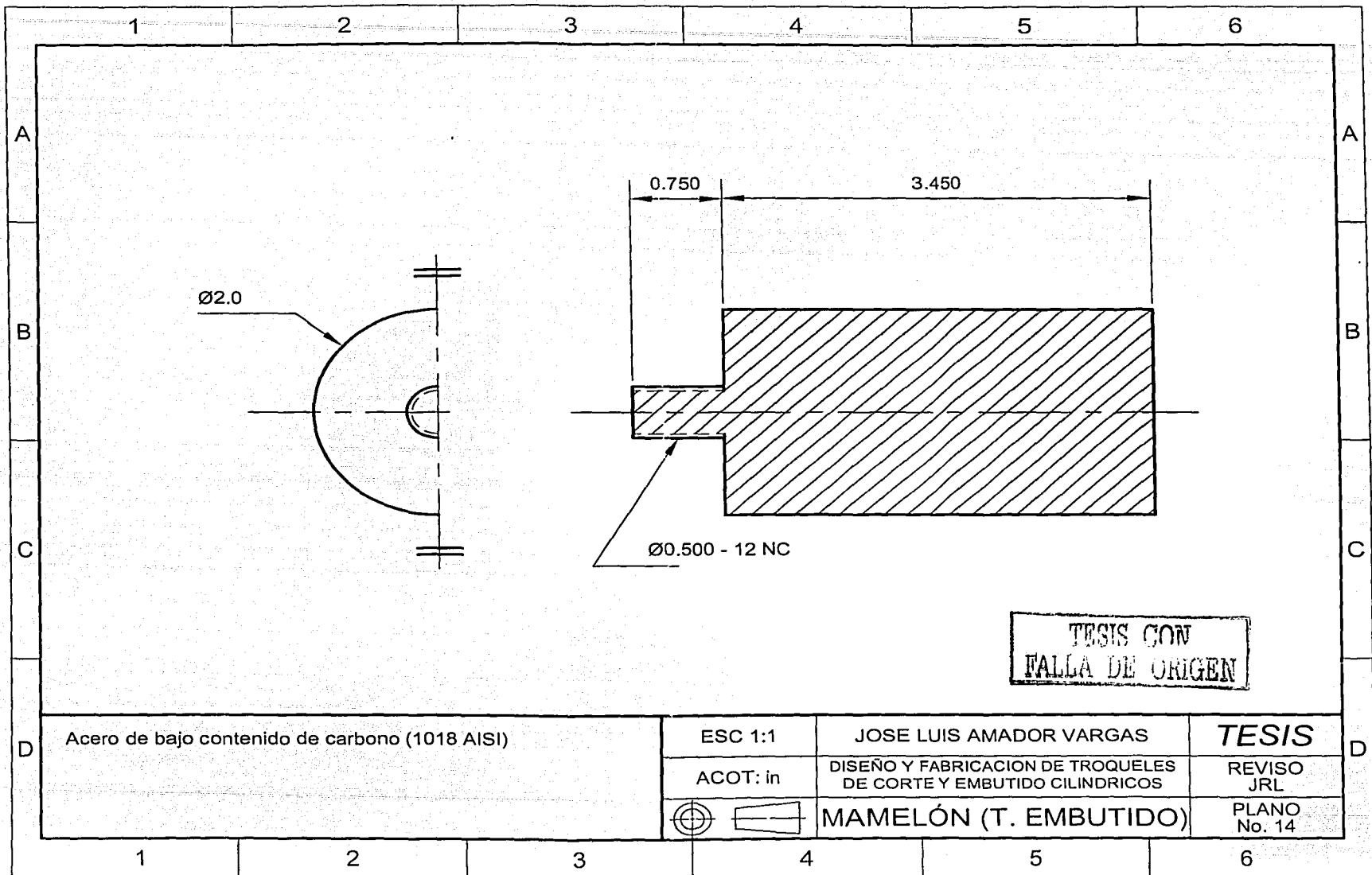
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)	ESC 1:1	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
	ACOT: in	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
		<b>PISADOR (T. CORTE)</b>	PLANO No. 11





Placa de acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI) Rectificada	ESC 1:2	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
	ACOT: in	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISOR JRL
	 	ZAPATA SUPERIOR (T. EMBUTIDO)	PLANO No. 13



Ø2.0

0.750

3.450

Ø0.500 - 12 NC

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Acero de bajo contenido de carbono (1018 AISI)

ESC 1:1

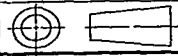
JOSE LUIS AMADOR VARGAS

**TESIS**

ACOT: in

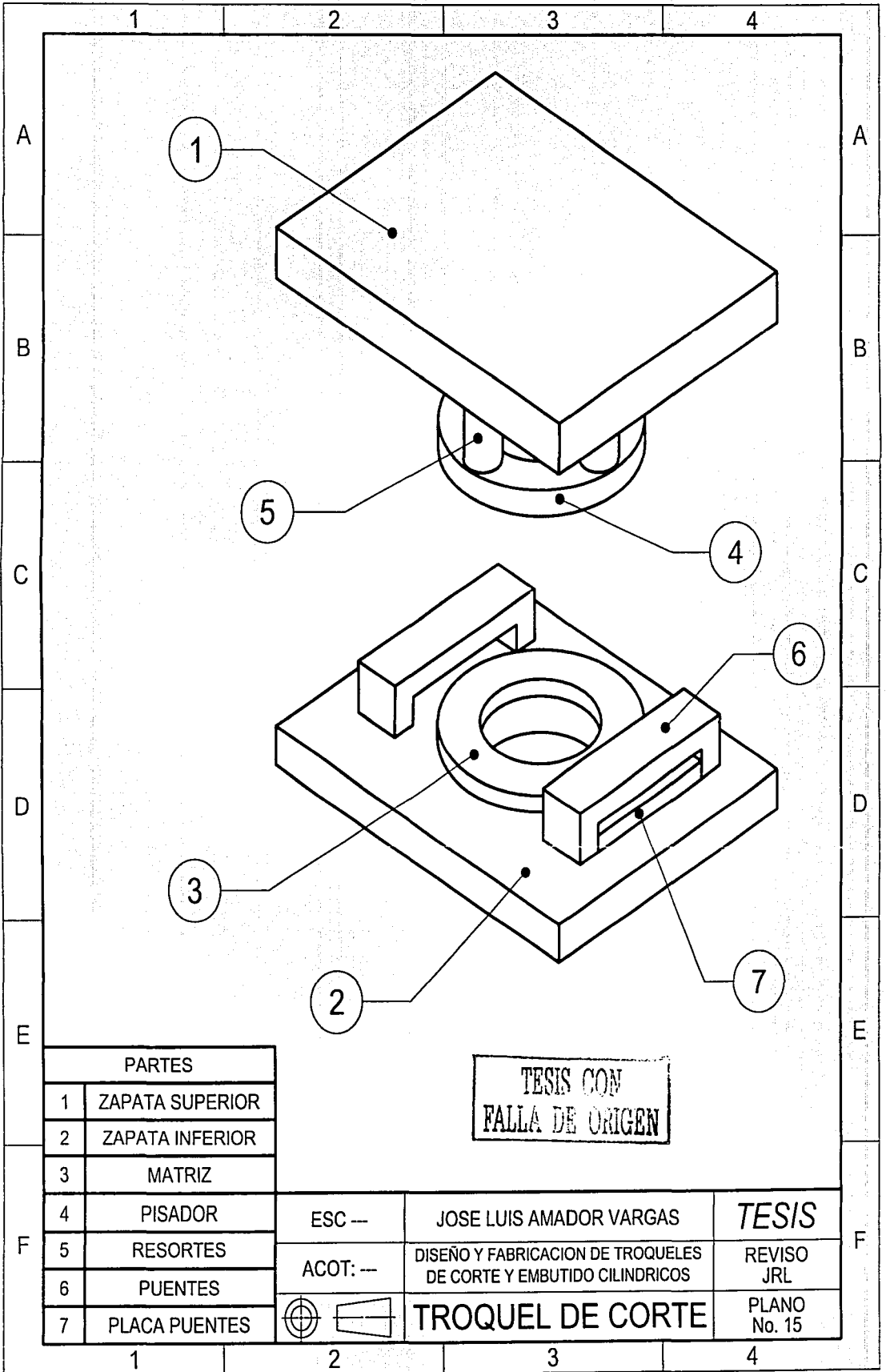
DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES  
DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS

REVISO  
JRL



**MAMELÓN (T. EMBUTIDO)**

PLANO  
No. 14



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

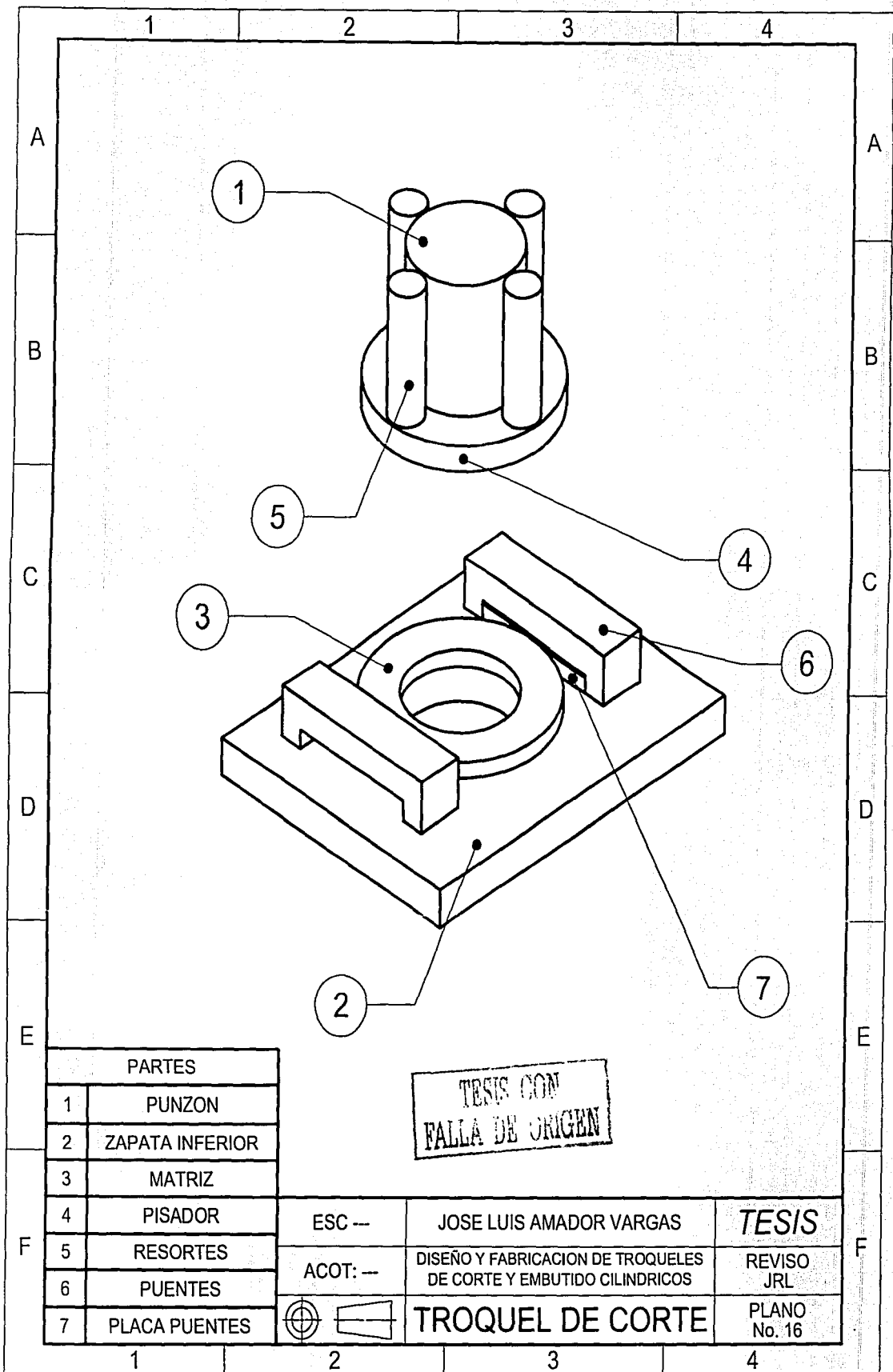
PARTES	
1	ZAPATA SUPERIOR
2	ZAPATA INFERIOR
3	MATRIZ
4	PISADOR
5	RESORTES
6	PUENTES
7	PLACA PUENTES

ESC --
ACOT: --

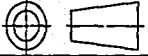
JOSE LUIS AMADOR VARGAS
DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS
<b>TROQUEL DE CORTE</b>

<b>TESIS</b>
REVISO JRL
PLANO No. 15

99

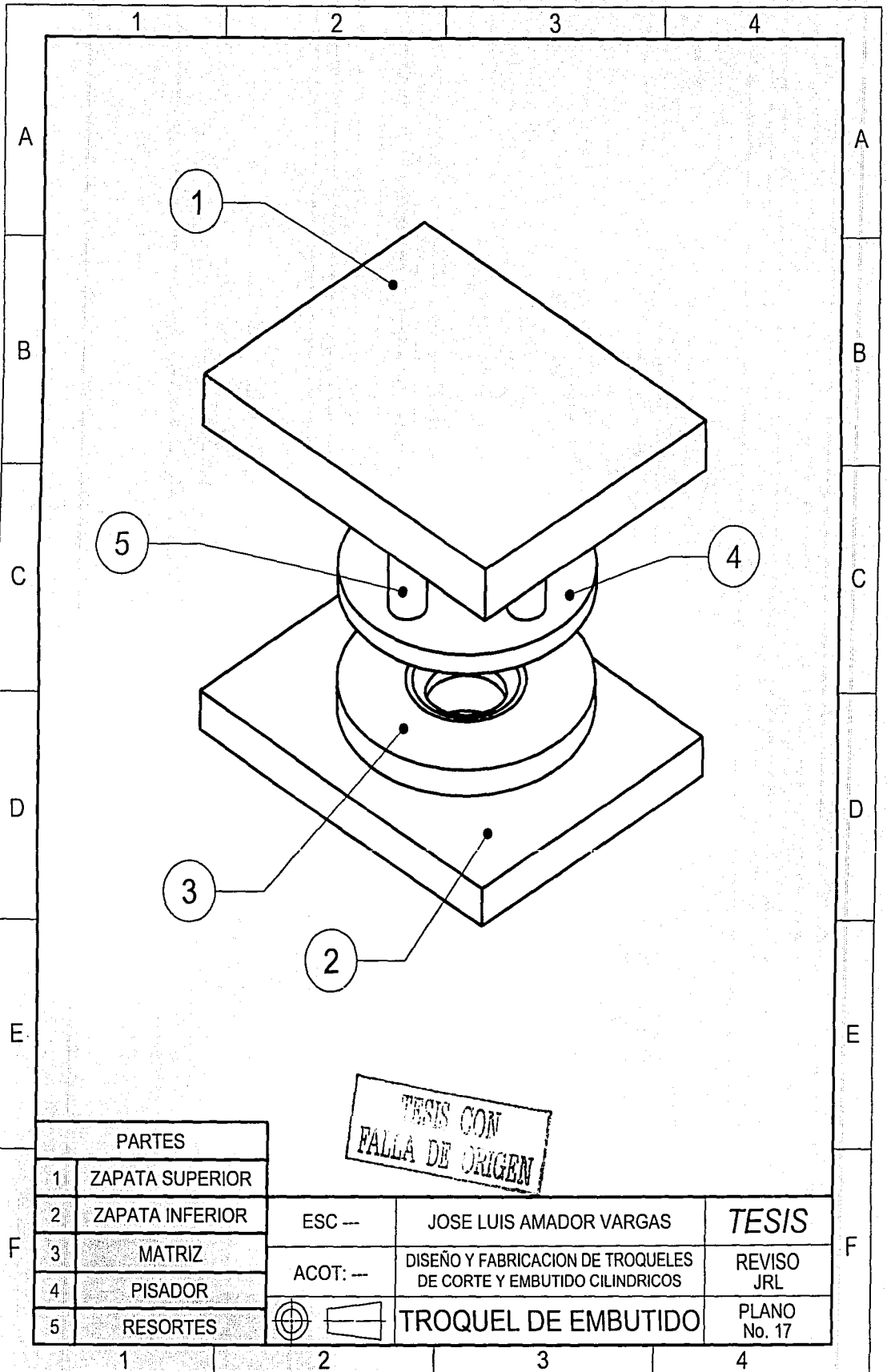


PARTES	
1	PUNZON
2	ZAPATA INFERIOR
3	MATRIZ
4	PISADOR
5	RESORTES
6	PUENTES
7	PLACA PUENTES

ESC --	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
ACOT: --	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
	<b>TROQUEL DE CORTE</b>	PLANO No. 16

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





PARTES	
1	ZAPATA SUPERIOR
2	ZAPATA INFERIOR
3	MATRIZ
4	PISADOR
5	RESORTES

ESC ---	JOSE LUIS AMADOR VARGAS	<b>TESIS</b>
ACOT: ---	DISEÑO Y FABRICACION DE TROQUELES DE CORTE Y EMBUTIDO CILINDRICOS	REVISO JRL
	TROQUEL DE EMBUTIDO	PLANO No. 17

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

