

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DESARROLLO DE UNA TECNICA DE DISEÑO DE  
TROQUELES DE ALTA VELOCIDAD PARA PRODUCIR  
LAMINACION ROTOR-ESTATOR GRAPADO

POR

ING. JULIO CESAR CASTILLO COVARRUBIAS

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA MANUFACTURA CON  
ESPECIALIDAD EN DISEÑO DEL PRODUCTO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.,      NOVIEMBRE DEL 2001

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2001  
.C377

DISAPPROPRIATE USE OF  
LINA FROM THE  
DIA FROM THE  
DIA FROM THE

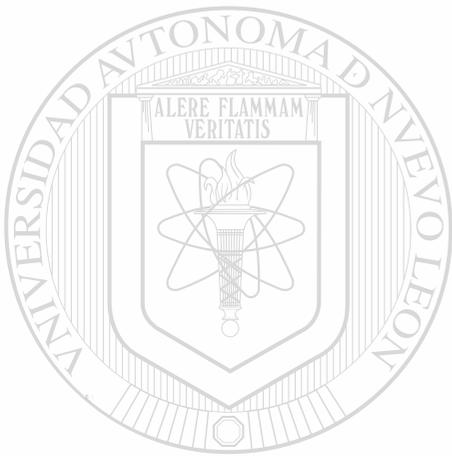
FROM THE  
FROM THE  
FROM THE  
FROM THE

FROM THE  
FROM THE  
FROM THE  
FROM THE

1000



1020148999



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DESARROLLO DE UNA TECNICA DE DISEÑO DE TROQUELES DE  
ALTA VELOCIDAD PARA PRODUCIR LAMINACIÓN ROTOR-  
ESTATOR GRAPADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

POR

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
ING. JULIO CESAR CASTILLO COVARRUBIAS

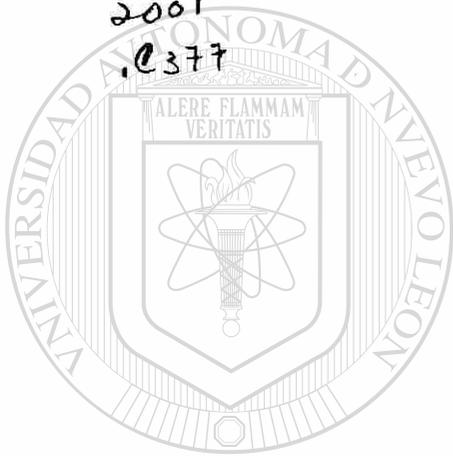
TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DEL  
PRODUCTO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. NOVIEMBRE DEL 2001

981208

TM  
25853  
.M2  
FTHE  
2001  
.C377



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

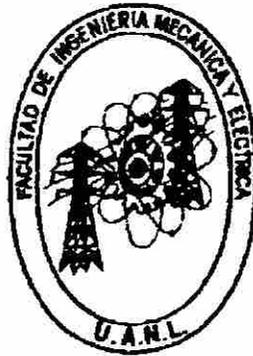


FONDO  
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DESARROLLO DE UNA TECNICA DE DISEÑO DE TROQUELES DE  
ALTA VELOCIDAD PARA PRODUCIR LAMINACIÓN ROTOR-  
ESTATOR GRAPADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

POR

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ING. JULIO CESAR CASTILLO COVARRUBIAS

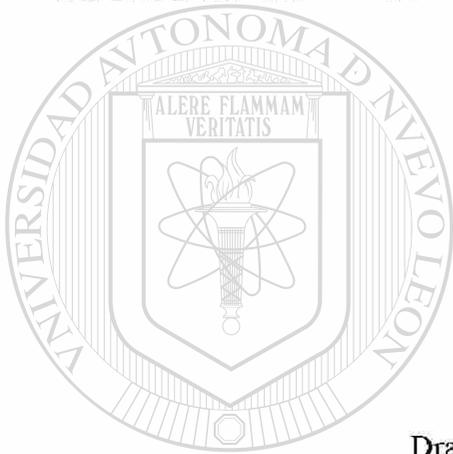
TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DEL  
PRODUCTO

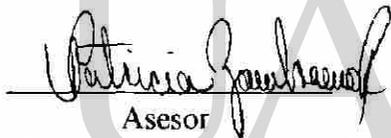
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. NOVIEMBRE DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis Desarrollo de una técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación de rotor - estator-grapado, realizada por el alumno Ing. Julio Cesar Castillo Covarrubias, matricula 259405 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en ciencias de la manufactura con especialidad en diseño del producto.



El comité de tesis



Asesor

Dra. Patricia Zambrano Robledo



Coasesor

M.C. Roberto A. Mireles Palomares



Coasesor

M.C. David Oliva Alvarez



Vo. Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza  
División estudios de Post-grado

San Nicolas de los Garza, N.L. a Noviembre del 2001

## DEDICATORIA

A mi esposa Rocío por todo el gran amor y apoyo incondicional que siempre me ha dado.

A mis hijas Mariana y Valeria por llenar mi vida de felicidad.

A mis padres Sr. José Hilario Castillo Silva y Sra. María Covarrubias por todo su gran amor, confianza y valores transmitidos.

---

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesora Dra. Patricia Zambrano, por todo su apoyo y consejos que recibí durante el desarrollo de esta tesis.

A mis profesores en la maestría por todos los conocimientos y experiencias transmitidas

A mis compañeros en la maestría.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN<sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## PROLOGO

Durante el siglo XX se dieron los mayores avances tecnológicos de la humanidad, los avances que se ven en el inicio del siglo XXI hace parecer que no hay limite en el desarrollo científico y tecnológico. El mayor avance o el mas difundido actualmente es el del uso de la computadora personal como una herramienta de uso diaria para millones de personas en todo el mundo y en particular el uso de Internet. Otra área que a causado un gran impacto es el área genética, descifrar el genoma humano a desencadenado una carrera por parte de muchos países por clonar seres vivos, este tal vez será el evento que mas impacto tendrá en los tiempos por venir. En el área de ingeniería se ha dado el desarrollo de nuevas tecnologías, la vida diaria ya no se concibe sin el uso diario de aparatos como lo son los teléfonos celulares.

A pesar de todos esos avances, nuestro país se ha quedado al margen, no hemos sido capaces de desarrollar tecnología, el nivel de educación de la población es muy pobre, y por conclusión, nuestros niveles de productividad no son para competir con los países mas desarrollados. La principal razón de la inversión extranjera en México es el bajo costo de producción, pero cuando se trata de desempeñar una función que demanda cierto grado de conocimientos elementales nos vemos en desventaja con otros países.

En la actualidad las empresas no pueden sobrevivir sin contar con personal preparado para desarrollar con eficacia y efectividad el trabajo asignado. Pero la preparación nunca termina, el desarrollo tecnológico vuelve obsoleto rápidamente las técnicas existentes, se requiere de un programa de capacitación constante. Es por eso la razón de este estudio, desarrollar una metodología de diseño que sirva como apoyo al desarrollo del personal, que sirva no solo para ejecutar bien su trabajo, sino para darle otro marco de referencia, que entienda el problema y pueda ser una parte activa de la solución. facilitar el desarrollo del personal y ser capaces de crear cosas nuevas debería ser una prioridad de todas las compañías en nuestro país. Motivar y apoyar a crear tecnologías nuevas tiene que ser una prioridad del país.

## Indice general

Capítulo	Pagina
Síntesis	vii
1. <b>Introducción</b>	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Hipótesis	2
1.4 Límites para el estudio	2
1.5 Justificación del tema	3
1.6 Metodología	4
1.7 Revisión bibliográfica	5
2. <b>Proceso de troquelado</b>	6
2.1 Descripción del proceso de troquelado	6
3. <b>Breve historia del troquelado de laminación rotor-estator</b>	15
3.1 Descripción de laminación rotor	15
3.2 Descripción de laminación estator	20
3.3 Historia del troquelado de laminación rotor – estator	22
4. <b>Descripción de un troquel de alta velocidad para producir rotor – estator grapado</b>	24

5. Descripción del equipo utilizado en troquelado de alta velocidad para producir rotor – estator grapado	33
5.1 Prensa	33
5.2 Servomotor	35
5.3 Controlador	38
5.4 Ducto para laminación estator	42
5.5 Transportador para rotor	43
5.6 Alimentador	45
5.7 Enderezador	47
5.8 Porta Rollos	49
6. Inicio Del diseño.	50
6.1 Información requerida para iniciar un diseño	50
6.2 Definir secuencia de troquelado en la tira de acero	59
6.3 Definir el tonelaje requerido para troquelar	68
<hr/>	
7. Diseño del troquel	70
7.1 Estación 1	73
7.2 Punzonado de las ranuras del rotor	82
7.3 Lamina separadora	89
7.4 Formado de grapa	94
7.5 Matriz rotacional	101
7.6 Estación vacía	112
7.7 Punzonado de ranuras de estator	112
7.8 Estación de rasurado	119
7.9 Estación final	128
8. Material para matrices y punzones	137

9 Retención de desperdicio	142
10 Operación del troquel	147
11 Mantenimiento del troquel	152
11.1 Rectificadora	152
11.2 Piedra de diamante	153
11.3 Refrigerante	154
11.4 Desensamble del troquel	156
11.5 Afilado del troquel	159
11.6 Ensamble del troquel	161
11.7 Lubricación del troquel	161
12 Conclusiones y recomendaciones	163
12.1 Conclusiones	163
12.2 Recomendaciones	164
- Bibliografía	166
- Referencias	167
- Glosario de términos	168
- Lista de figuras	171
- Resumen autobiográfico	175

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## SINTESIS

El objetivo del presente trabajo es analizar en forma clara y sencilla la técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación rotor-estator grapado. Esta técnica de diseño es desconocida en México hasta estos momentos, aunque hay algunas compañías que trabajan con este tipo de troqueles dependen completamente de compañías extranjeras para diseñar y fabricar troqueles de alta velocidad.

Al ser desconocida en México esta técnica de diseño, las compañías que tienen la necesidad de trabajar con troqueles de alta velocidad se enfrentan con el gran problema de desarrollar a su personal técnico en el ajuste, mantenimiento y reparación de los mismos, como no hay información técnica acerca de este problema la curva de aprendizaje se vuelve muy larga y costosa, ya que las compañías se tendrán que enfrentar con fallas de operación, mala calidad del producto, retraso de la producción, daños de herramientas etc. Ocasionados por mal ajuste.

---

En este estudio iniciara explicando la función principal de un troquel de alta velocidad y de los equipos auxiliares que se necesitan para la producción de laminación rotor-estator, después se analizaran los diferentes pasos del proceso de diseño de un troquel de alta velocidad dejando claro la razón del diseño seleccionado, se explicara de manera detallada la función de cada una de las partes del troquel, por último se analizará el mantenimiento y ajuste de un troquel de laminación de alta velocidad.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 Descripción del problema

La técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación de rotor – estator grapado es prácticamente desconocida en México y en el resto del mundo, ya que son muy pocas las compañías que se dedican al diseño y fabricación de este tipo de troqueles. La laminación de rotor – estator es utilizada en la producción de motores eléctricos, hasta hace algunos años la mayor parte de las compañías en México que se dedicaban a producir motores eléctricos se veían en la necesidad de importar el 100% de la laminación que requerían ya que en México no existía ninguna compañía dedicada al diseño y fabricación de este tipo de troqueles y había solo un maquilador de laminación el cual solo podía cubrir una pequeña parte de la demanda nacional. En los últimos años se ha incrementado considerablemente el número de compañías fabricantes de motores eléctricos aumentando en igual proporción la demanda de laminación rotor – estator. Debido a esto y con la finalidad de ofrecer un mejor servicio a un menor costo hace alrededor de cuatro años tres de las principales compañías norteamericanas proveedoras de laminación se comenzaron a instalar en México. Gracias a esto se me presentó la oportunidad de colaborar en el arranque de una de estas compañías. Desde el inicio uno de los principales problemas fue entrenar al personal de mantenimiento de troqueles y al personal operario, ya que como se menciono este tipo de herramientas son prácticamente desconocidos en nuestro país. La curva de aprendizaje se hizo muy larga y esto impacto en costos de mantenimiento y tiempo muerto debido a fallas en los troqueles producto de mal ajuste, mala reparación o mala operación.

Por otro lado el constante arranque de operaciones de compañías nuevas en la localidad ha incrementado la demanda de mano de obra calificada, y siendo esta una compañía 100% técnica, se ha visto impactada grandemente en rotación de personal, ocasionando que el inicio de la curva de aprendizaje sea constante. Esto conlleva a problemas de capacitación de nuestro personal técnico y operario por lo que surge la necesidad de desarrollar una técnica de diseño de troqueles de laminación que ayude a simplificar este proceso.

## 1.2 Objetivo.

El objetivo del presente estudio es desarrollar una técnica de diseño de troqueles de alta velocidad que faciliten el conocimiento y entrenamiento del personal en el mantenimiento, reparación, ajuste y operación de este tipo de herramientas además de buscar una mejora continua en dichas operaciones.

## 1.3 Hipótesis

Mediante el desarrollo de una técnica de diseño de troqueles se reducirá la curva de aprendizaje del personal técnico en mantenimiento de troqueles así como del personal operario, además mejorara el funcionamiento de dichas herramientas y la calidad del producto impactando en una mejora de la productividad.

## 1.4 Limites para el estudio

El estudio se limitará a desarrollar una técnica para diseño de troqueles de alta velocidad para la producción de laminación rotor – estator grapado empleados en la producción de motores eléctricos. También estudiará los procedimientos para mantenimiento, ajuste, reparación y operación de este tipo de troqueles.

## 1.5 Justificación del tema.

En México la técnica de troquelado es ampliamente conocida, existen innumerables compañías que se dedican al diseño y fabricación de troqueles de una gran variedad de tipos, como troqueles de embutido profundo, progresivos, de acuñado, de formado, de transferencia, de forja etc. Algunas de estas compañías tienen la experiencia e infraestructura para competir con compañías extranjeras. Pero la técnica del diseño de troqueles de alta velocidad para la producción de laminación rotor – estator no se conoce en México, la experiencia que se tiene es solamente práctica y únicamente en algunas operaciones de ajuste o mantenimiento. Es por eso que considero de gran importancia la investigación para desarrollar este tipo de metodología de diseño.

Por otro lado desarrollando esta técnica la capacitación del personal se realizará con un nivel mayor de conocimientos y se logrará una reducción en el costo de operación y una mejora en tiempos de entrega, además de entregarle a nuestro cliente un producto que cumpla 100% con los estándares de calidad.

Un beneficio adicional es el de ya no depender de proveedores internacionales para el diseño y fabricación de este tipo de troqueles y refacciones mediante la capacitación y desarrollo de proveedores locales en esta técnica. El costo de fabricación de troqueles y refacciones se reducirá así como el tiempo de entrega.

## 1.6 Metodología

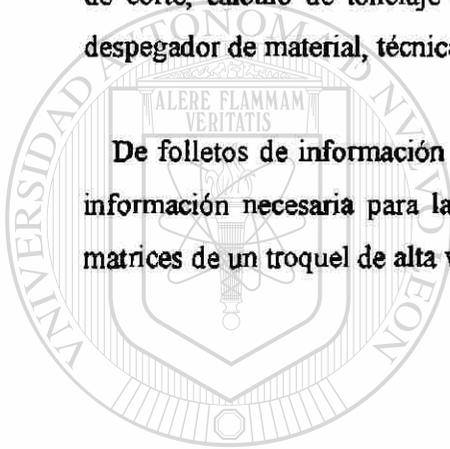
- Consulta de libros de diseño general de troqueles.
- Consulta con personal norteamericano con experiencia en troqueles de alta velocidad.
- Consulta con compañías fabricantes de troqueles de alta velocidad.
- Experiencias personales.
- Investigación en Internet.
- Se analizará y ordenará toda la información recolectada.
- En base a la experiencia propia se desarrollará la técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación rotor - estator grapado.
- El objetivo es desarrollar una técnica de tal forma que sirva como base para la capacitación y desarrollo del personal de una empresa en el ajuste, reparación, Mantenimiento y operación de este tipo de troqueles.

## 1.7 Revisión bibliográfica

Del manual de metales de la Sociedad Americana de metales se tomaron conceptos básicos del troquelado, como son los fundamentos para las diferentes técnicas de troquelado existentes como embutido, perforado, acuíado, doblado etc., también se consideró la información referente al equipo utilizado en el troquelado como son prensas, alimentadores, enderezadores y desenrolladores.

Del manual de diseño de troqueles de la sociedad de ingenieros de manufactura (SME) se tomaron conceptos fundamentales de diseño como son: calculo de tolerancia de corte, calculo de tonelaje de corte requerido, calculo de fuerza requerido para el despegador de material, técnicas de retención de desperdicio etc.

De folletos de información técnica de carburo de la compañía Plansee, se utilizó la información necesaria para la selección de carburo en la fabricación de punzones y matrices de un troquel de alta velocidad.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## CAPITULO 2

### PROCESO DE TROQUELADO

#### 2.1 Descripción del proceso de troquelado

El troquelado es uno de los procesos más utilizados en la industria para la transformación del acero y otros metales. Este proceso es utilizado en una gran variedad de operaciones de corte o formado tales como ranurado, penetrado, embutido, doblado, formado, estampado, acuñado, forjado, punzonado, cizallado, recortado y rasurado. Puede existir más operaciones de troquelado pero las anteriores cubren la mayor parte de ellas y además las más importantes. En la figura 2.1 se dan ejemplos de los diferentes procesos de troquelado mas comunes.

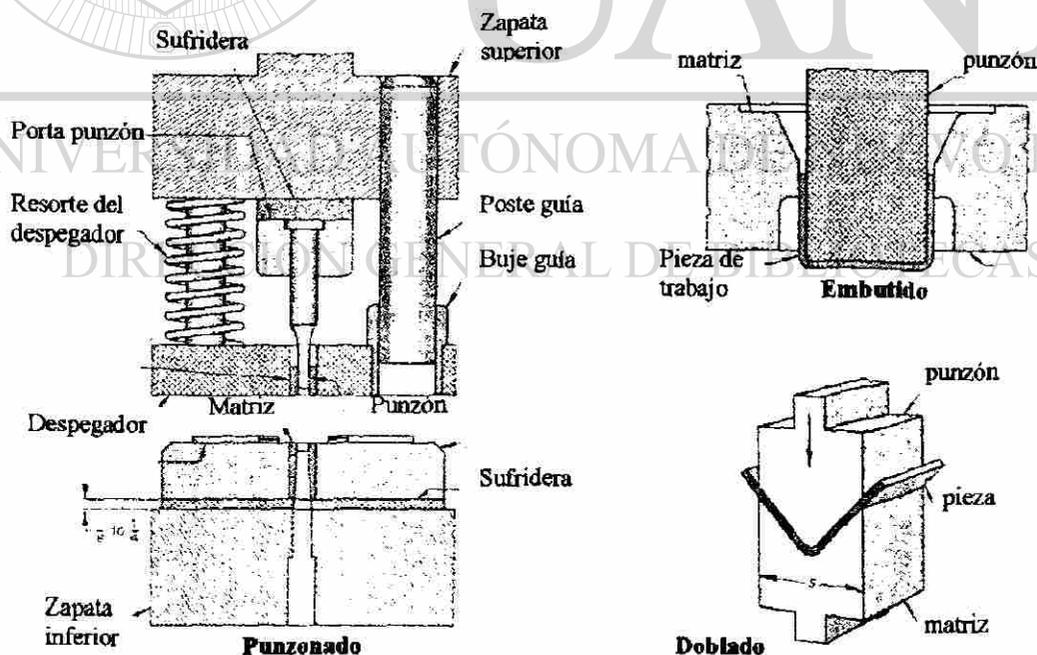


Figura 2.1a, Procesos de troquelado

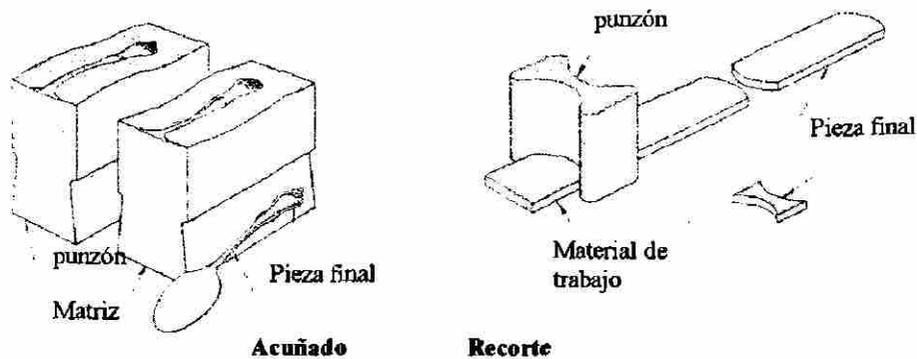


Figura 2.1b Procesos de troquelado

Para realizar el proceso de troquelado se requiere de dos elementos principales: la herramienta o troquel y la prensa. Por esta razón el proceso es también conocido como prensado o estampado. El proceso de troquelado puede considerarse como trabajo en frío aunque para algunas aplicaciones en especial se requiere del calentamiento de la pieza de trabajo, algunos ejemplos de troquelado en caliente son el forjado en caliente y algunos procesos de embutido profundo. Hay troqueles de estaciones sencillas, progresivos y de transferencia. Los troqueles sencillos o progresivos pueden ser operados mediante alimentación manual o automática, de acuerdo al volumen de producción, a la precisión del producto o al presupuesto con que se cuente,

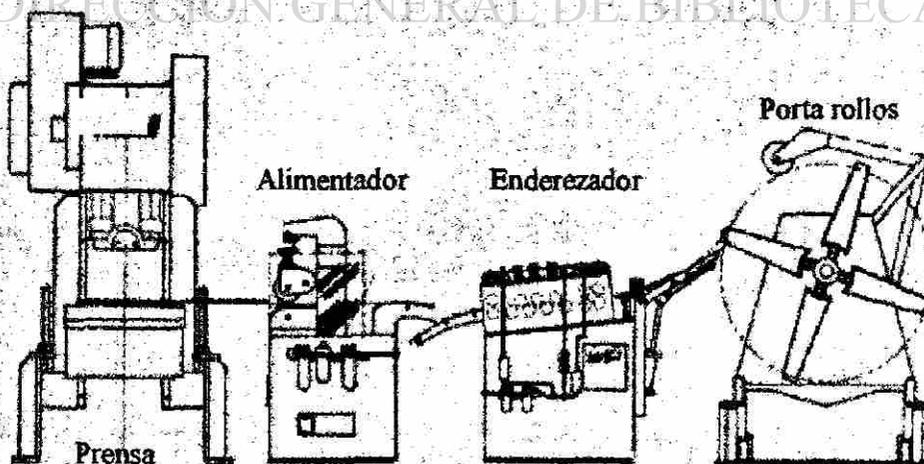


Figura 2.2 Línea completa de troquelado

en la actualidad la mayor parte de las compañías utilizan sistemas de alimentación automática, En la figura 2.2 se muestra una línea completa de troquelado, incluyendo el equipo periférico que interviene en una prensa con sistema automático de alimentación. Mas adelante se hablará de cada uno de estos equipos.

Los elementos fundamentales de un troquel son el punzón y la matriz, alrededor de estos elementos está la ciencia del diseño de troqueles. Estos elementos van unidos o ensamblados a la zapata o porta troquel, el conjunto de estos elementos es el concepto más fundamental de troquel. En la figura 2.3 se muestra el diseño más elemental de un troquel. El punzón se refiere a la pieza que va unida a la parte superior del porte troquel, sin embargo en la practica el punzón puede localizarse también la parte inferior del troquel, y en algunas aplicaciones pueden utilizarse punzonado en forma diagonal. la zapata superior es la parte móvil del troquel y va unido a la corredera o parte móvil de la prensa. La matriz se refiere a la parte fija del troquel y va unida a la zapata inferior la cual va sujeta a la mesa o cama de la prensa. Como se menciono la zapata superior va sujeta a la corredera o martillo de la prensa, la cual proporciona a la zapata superior un impulso vertical descendente forzando de esta manera el punzón contra la matriz, si colocamos una pieza o lámina metálica al momento que forzamos el punzón contra la matriz, el punzón perforara la lamina, produciendo un agujero en la lamina de dimensiones similares a las del punzón.

El punzonado o corte del metal implica someterlo a la tensión cortante arriba de su resistencia ultima, entre los filos adyacentes del punzón como se muestra en la figura 2.4, a medida que desciende el punzón contra el metal, la presión ocasiona primero una deformación plástica. (ver figura 2.4a) El material es sujetado a tensión entre los filos adyacentes del punzón y la matriz y la fractura comienza en ambos lados de la lamina como se muestra en la figura 2.4b, a medida que progresa la deformación, cuando se alcanza la resistencia ultima del material se produce la fractura y perforación del material (ver figura 2.4c). Después del punzonado se produce un agujero, como se muestra en la figura 2.4d, una tercera parte del material presenta un diámetro recto e igual al diámetro del punzón, El resto es el área de fractura y desgarre o arranque del material.<sup>1</sup>

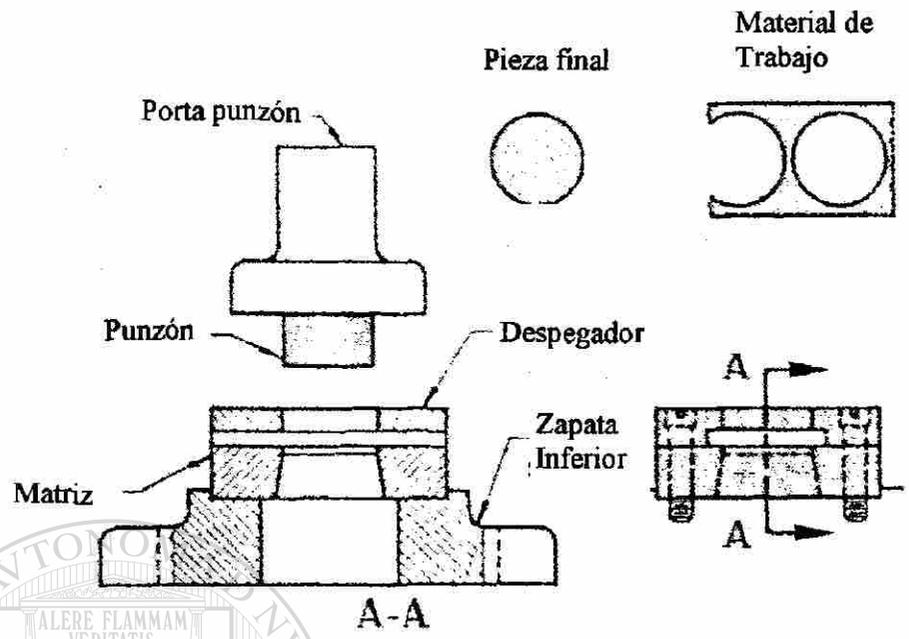


Figura 2.3 Componentes de un troquel

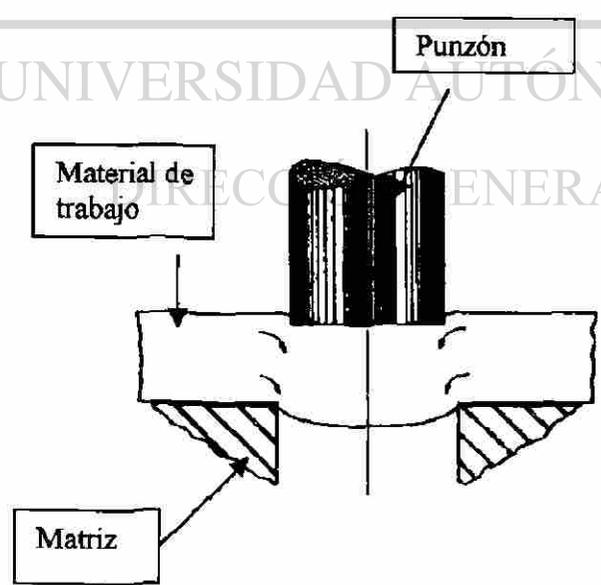


Figura 2.4a inicio del punzonado

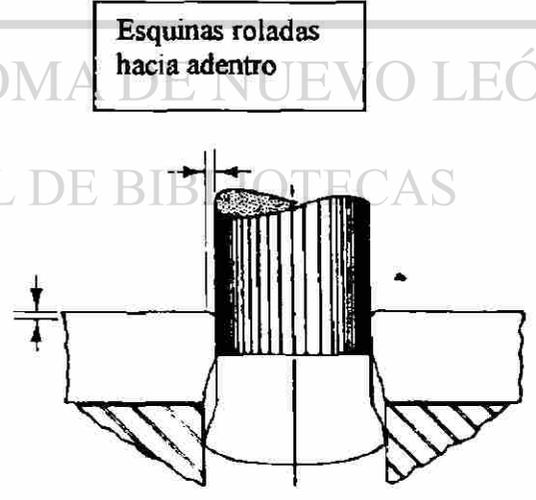


Figura 2.4b inicio de fractura

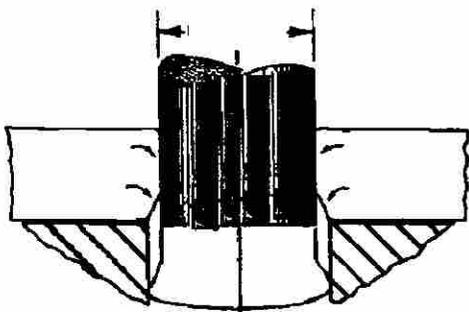


Figura 2.4 c fractura del material

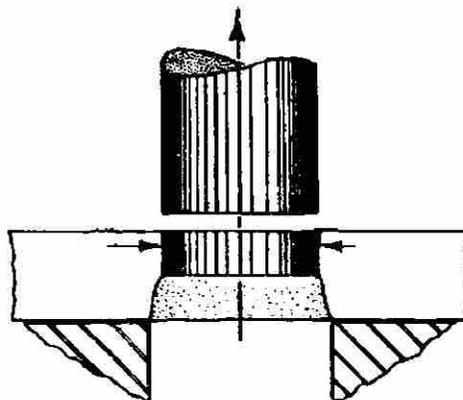


Figura 2.4d agujero después del punzonado

Para que la operación de punzonado o corte pueda llevarse a cabo la matriz debe tener una dimensión mayor a la del punzón, de lo contrario el punzón y matriz se fracturarían. La diferencia en dimensiones de la matriz se conoce como tolerancia o huelgo y depende de varios factores, como son el espesor del material, la dureza del mismo, el tipo de material, la calidad de agujero o corte que queremos obtener, la vida óptima del troquel que se pretende lograr, etc. Hay tablas que indican la tolerancia que puede utilizarse para cada material y aplicación, pero para aplicaciones generales se consideran en promedio un 10% del espesor de material, esto quiere decir que si el punzón tiene un diámetro de 0.375" y el espesor del material es de 0.100", el diámetro de corte de la matriz será de 0.385".<sup>2</sup>

La fuerza requerida para el troquelado de un agujero depende de la resistencia al corte del material de trabajo, del perímetro de corte, del espesor del material de trabajo, y de la penetración del punzón. El cálculo de la fuerza requerida para hacer el trabajo proporciona datos bastante confiables, pero son aplicables solo cuando: a) se utiliza la correcta resistencia de corte del material, y b) los punzones y matrices están correctamente afilados y en buenas condiciones, la tolerancia de corte es la adecuada, y el troquel está funcionando perfectamente.

La carga total de la prensa o la capacidad de la prensa para realizar un trabajo en particular depende de la fuerza de corte y de otras fuerzas que actúan al mismo tiempo, tales como la presión que ejercen los pisadores y colchones.

Como ya se mencionó, los elementos fundamentales de un troquel son el punzón y la matriz, en el diseño de estos elementos se encuentra la ciencia del troquelado, pero además esta formado por otros elementos los cuales son también muy importantes para su correcto funcionamiento, los cuales son el pisador o sujetador del material de trabajo, y los pilotos o centradores del material de trabajo. En la figura 2.5 se muestran dos diseños de troqueles de laminación, la diferencia entre estos dos diseños está en el tipo de despegador de material que utilizan, en la parte superior se muestra un troquel con despegador de jaula, en la parte inferior se muestra un troquel con despegador de resortes, como se puede observar, un troquel con despegador de resortes es mucho más complicado que uno con despegador de jaula, las ventajas y desventajas se comentan enseguida

El pisador cumple con dos funciones básicas: sujetar el material al momento de punzonado o formado, y la de despegar el material del punzón después del punzonado. El sujetar el material al momento del punzonado es una función muy importante y crítica sobre todo en troqueles de embutido profundo, ya que durante la carrera de embutido el material debe sujetarse con una presión precisa que permita que el material fluya correctamente evitando que se arrugue o fracture, una fuerza de sujeción pobre ocasiona arrugas en el material, fuerza excesiva de sujeción ocasiona fracturas. Después de realizada la operación de punzonado o formado el material se queda adherido al punzón, la segunda función del despegador es botar o expulsar la pieza o lámina del punzón. De acuerdo al producto, los pisadores pueden trabajar en la parte inferior o superior del troquel, están sujetos al porta troquel mediante tornillos de hombro y resortes, los resortes proporcionan la fuerza de sujeción y de despegue de material necesarios.

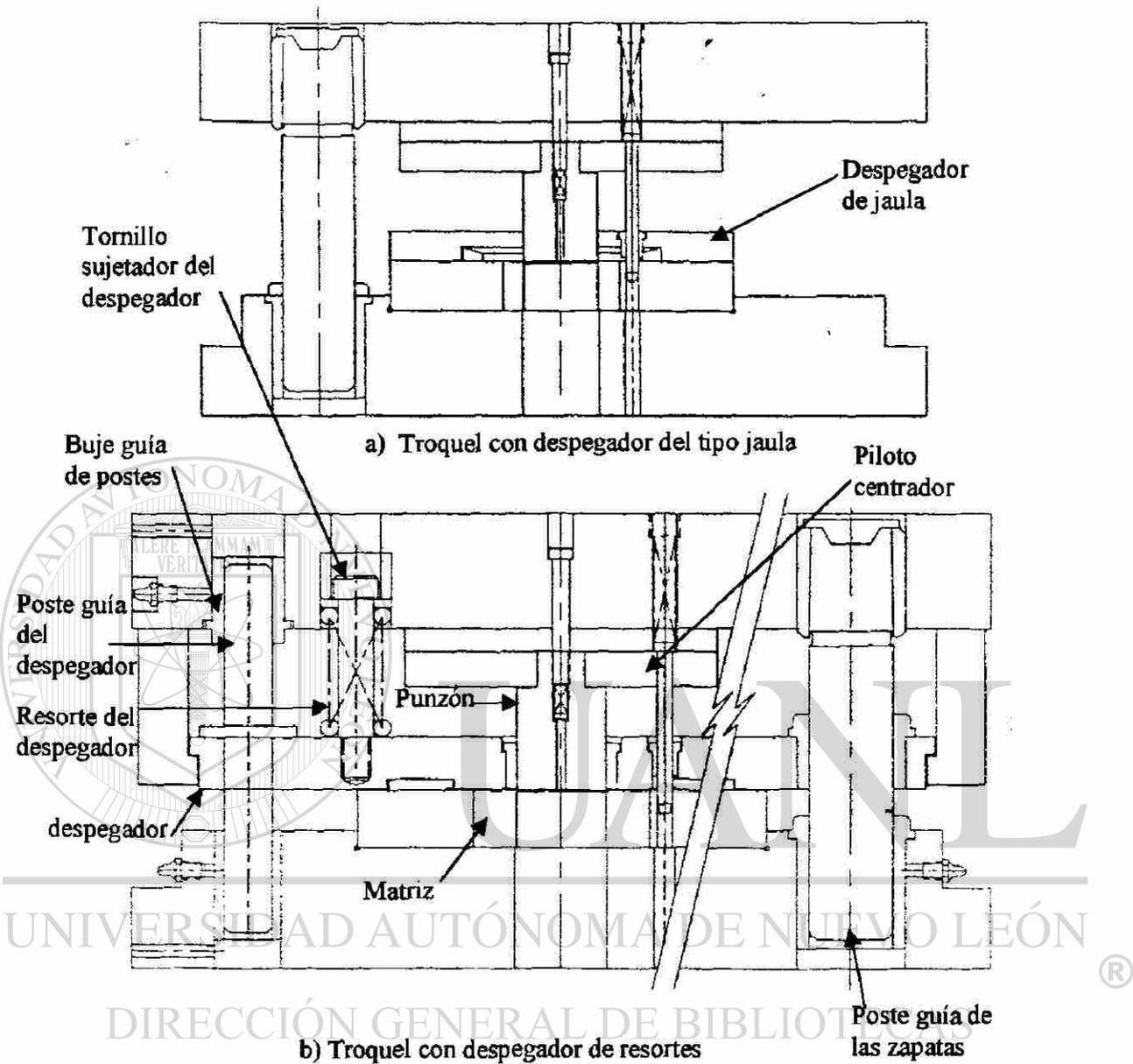


Figura 2.5 Diseño de Troqueles de Laminación. a) con despegador de jaula y b) con despegador de resortes

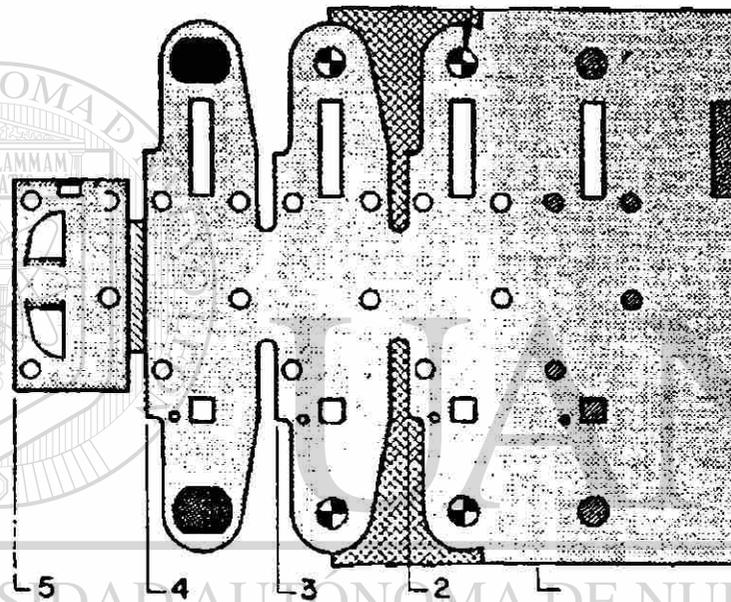
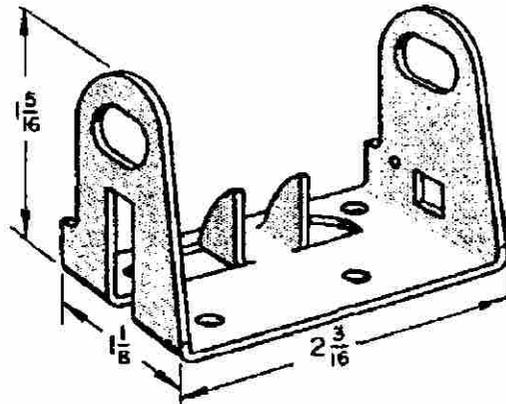
Los pilotos se utilizan principalmente cuando el troquel es de dos o más estaciones, la función del piloto es localizar cada estación en la posición correcta antes del punzonado. Cuando el material o la pieza está fuera de posición el piloto se

comprime activando un sensor el cual para inmediatamente la prensa evitando el daño de la herramienta y la producción de piezas malas o desperdicio.

Los troqueles pueden ser de una sola estación, de estaciones múltiples o progresivos. Los troqueles progresivos combinan más de dos estaciones, cada estación de trabajo desarrolla una o más operaciones. El material de trabajo avanza a través de una sucesión de estaciones de trabajo, en cada una de estas estaciones se le va dando forma a la pieza hasta llegar a la estación final donde se obtiene la pieza terminada. Normalmente se le añaden al troquel estaciones vacías en las que ningún trabajo se realiza, esto es con la finalidad de darle mayor resistencia al troquel, para facilitar el viaje o flujo del material a lo largo del troquel, para simplificar la fabricación o para mejorar la flexibilidad en los cambios de modelo.

La distancia que el material avanza entre cada estación se llama paso de alimentación o progresión. El número de estaciones que un troquel progresivo debe tener depende del tamaño de la pieza o producto que se desea fabricar, de las tolerancias de la pieza o producto y de la cantidad de trabajo que debe desarrollarse. La figura 2.6 muestra la tira de acero producida en un troquel progresivo, en la parte superior de la figura aparece la pieza final, en la tira se puede observar el número de estaciones requeridas en el troquel así como los diferentes pasos que se requieren para obtener la pieza mostrada, se remueve material y se hacen los dobleces de acuerdo a la pieza final deseada.

El material de trabajo que se utiliza en un troquel progresivo son tiras de material que comúnmente se corta en rollos, como ya se mencionó, al ir avanzando el material desde la primer estación hasta la última se le va dando forma hasta obtener la pieza terminada. El material de trabajo puede ser alimentado en forma manual o automática mediante el uso de alimentadores mecánicos, neumáticos, electrónicos, equipos de transferencia, vibro alimentadores o mediante servo alimentadores. El uso de estos equipos auxiliares se describirá más adelante.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 2.6 pieza producida en un troquel progresivo de 5 estaciones

## CAPITULO 3

### HISTORIA DEL TROQUELADO DE LAMINACION ROTOR - ESTATOR

#### 3.1 Descripción de la laminación rotor.

Como ya se mencionó, la laminación rotor se utiliza en la fabricación de motores eléctricos, específicamente esta laminación se emplea para fabricar el rotor de dichos motores. En ellos el rotor es el elemento que transmite la fuerza y el impulso de rotación. Está formado por un núcleo de láminas y aluminio, a este núcleo de láminas se le inserta una flecha o vástago de acero, la cual es la parte del motor que se utiliza para transmitir la fuerza y movimiento de rotación.

El núcleo de un rotor está formado por una serie de láminas troqueladas las cuales tienen una serie de ranuras repartidas en un diámetro próximo a la periferia o diámetro exterior, la finalidad de estas ranuras, es la de inyectar aluminio a través de ellas, para de lograr un paquete compacto y sólido que facilite el flujo eléctrico, con pérdidas mínimas de corriente. También cuentan con un diámetro interior localizado al centro de la laminación, este diámetro se utiliza para insertar la flecha o vástago. En la figura 3.1 se muestra una laminación rotor individual, en ella se pueden apreciar las dos características principales que toda laminación rotor debe tener, como son las ranuras que sirven como conducto de aluminio en el proceso de inyección, y el agujero central, el cual se utiliza para insertar la flecha del rotor. Las laminaciones pueden ser de formas y dimensiones diferentes, estas características dependen del tipo de motor y de la capacidad del mismo. En la figura 3.2 se muestra el proceso que se sigue para obtener un rotor. Primero se aprecia una lamina individual troquelada (a), después se aprecia un paquete de laminas de rotor listos para ser inyectado (b), por ultimo se muestra el paquete de laminaciones inyectado con aluminio (c), solo faltaría insertar la flecha para tener un rotor terminado y listo para ensamblarse en un motor eléctrico.

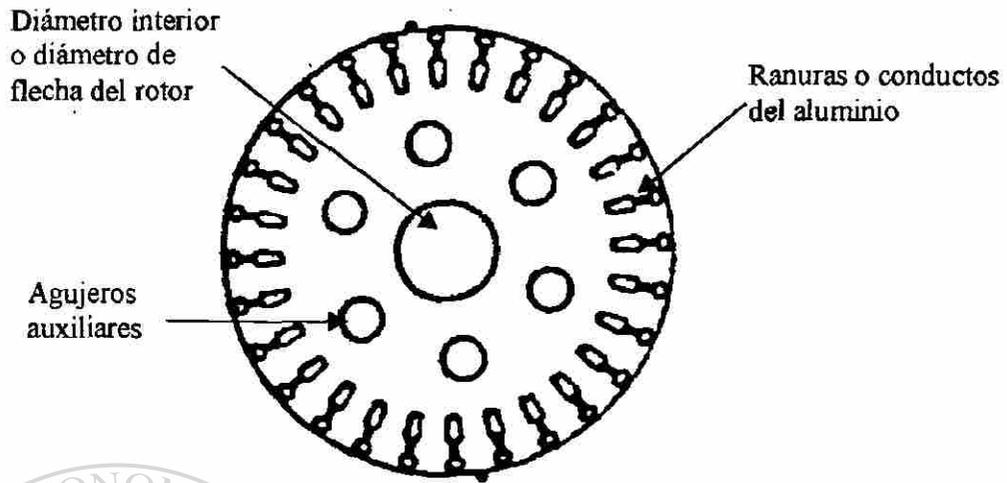


Figura 3.1 Laminación de rotor

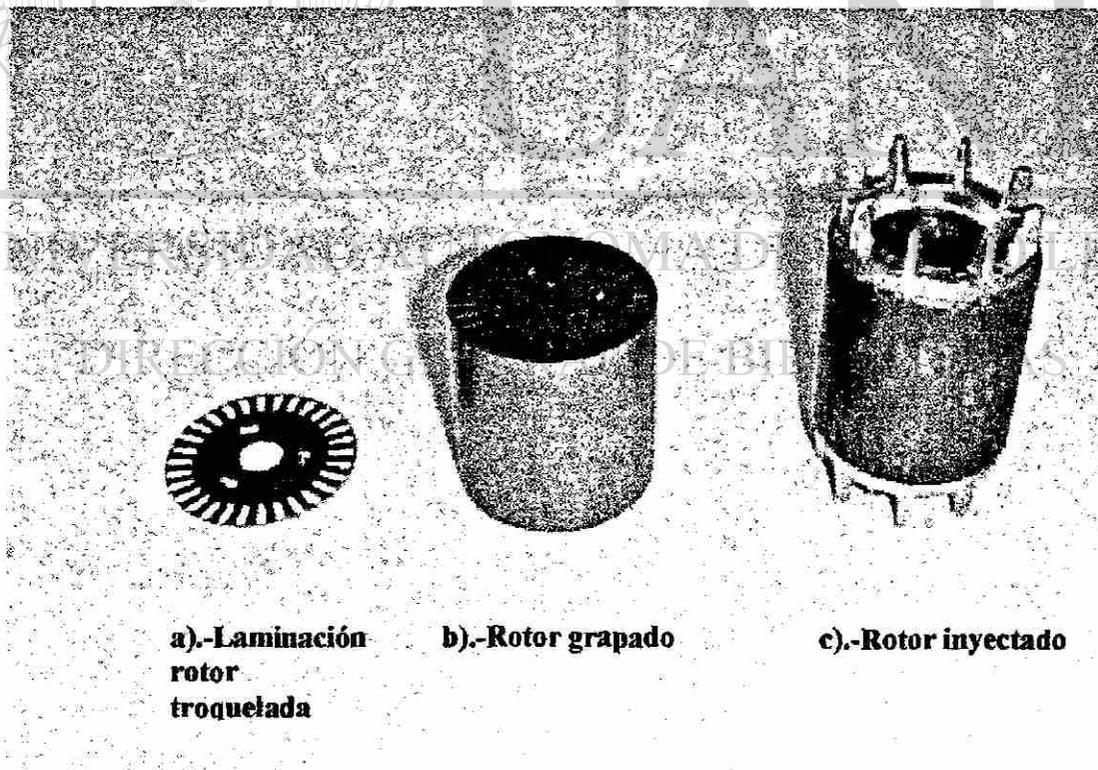


Figura 3.2 Secuencia del proceso para producir un rotor

En la figura 3.3 se muestra el dibujo de un rotor, indicando las características principales de un rotor grapado, como son las lengüetas de grapado y los agujeros que sirven o facilitan la operación de grapado. El ángulo que se indica en el dibujo se refiere a la inclinación o giro que debe tener el paquete de la inacción, este giro es un requisito muy importante, y el cual debe controlarse en forma precisa, ya que tiene que ver con el par de arranque y consumo de energía del motor.

La materia prima que se utilice debe de ser un acero eléctrico cuyas propiedades magnéticas aseguren el mejor consumo de energía. De hecho la eficiencia del acero eléctrico se mide en watts que se consumen o pierden por cada libra de acero. Pero la eficiencia de un motor depende principalmente de la calidad de la laminación estator, es en esta laminación en la que debe asegurarse que se cumpla con las características eléctricas que el motor requiere.

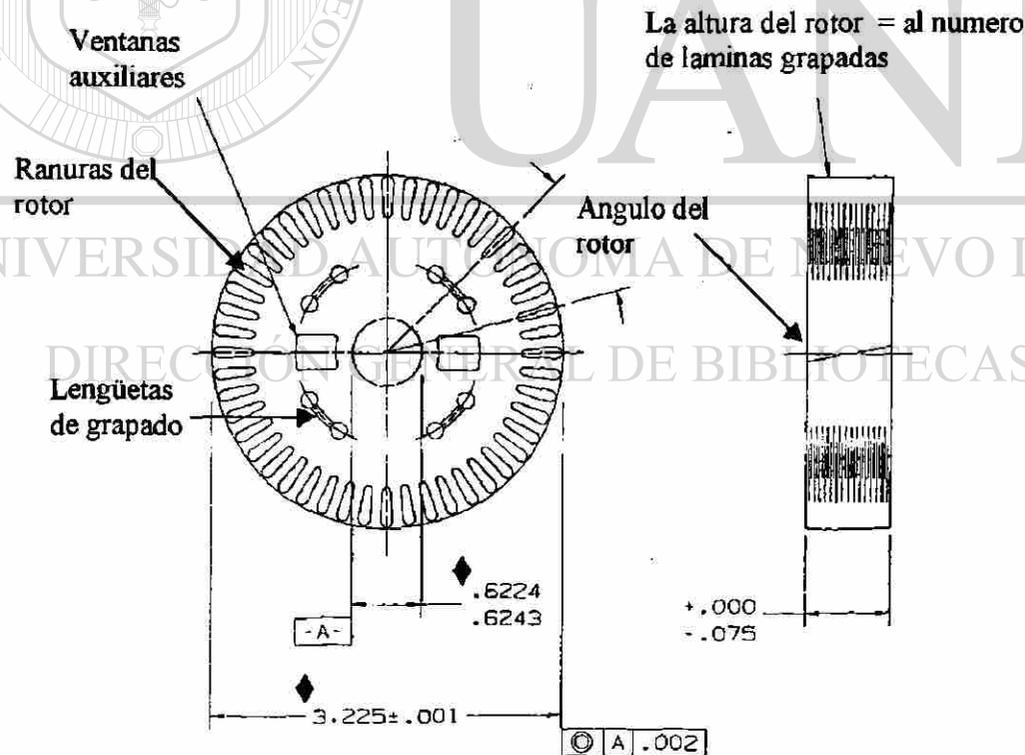


Figura 3.3 rotor grapado

En la figura 3.4 se muestra el dibujo isométrico de un rotor, aquí se puede apreciar más claramente el ángulo o inclinación que deben tener las láminas de rotor. Cuando la laminación se produce en un troquel de lámina suelta, este ángulo se le da en un dispositivo especial en el área de inyección de aluminio. Cuando se utiliza un troquel de grapado, el rotor se obtiene ya como paquete, las láminas de rotor son unidas por medio de grapado al momento de ser troqueladas.



Figura 3.4 rotor grapado

La laminación rotor se puede producir en troqueles que producen lamina suelta que es el tipo más común o del tipo de lamina grapada que es el tipo de troqueles que se analizaran en este estudio. Cuando está se produce en un troquel para laminación grapada, el troquel corta lamina por lámina y las va uniendo una por una por medio del sistema de grapado. En otras palabras, cada lámina es unida una contra otra por medio de grapas o candados. En la figura 3.3 se indican las lengüetas de grapado, en la figura 3.5 se muestra el corte o sección de una de estas grapas. En el capítulo 7 se explicara al detalle el proceso de grapado del rotor.

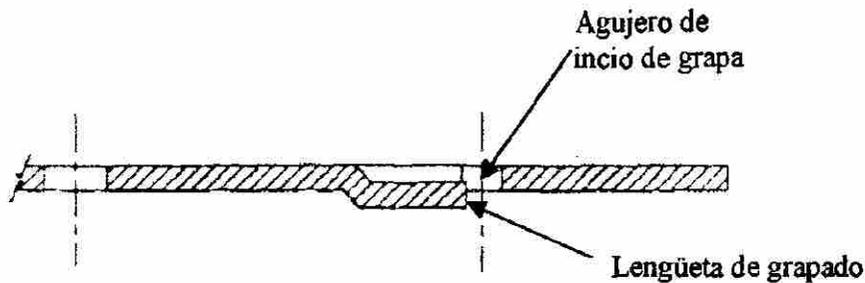


Figura 3.5 lengüeta de grapado

Como ya se mencionó, una característica especial de los rotores para motores eléctricos, es que las laminaciones deben girarse con un ángulo determinado por el tipo y características de cada motor. Este ángulo es muy importante para el par de arranque y consumo de energía. Este ángulo se obtiene en forma automática mediante el uso de un equipo llamado controlador de laminación. Este equipo gira cada lamina un porcentaje de grados equivalente al ángulo final que se desea obtener. La altura o largo del rotor es otra dimensión que también puede variar de acuerdo al tamaño del motor donde se va a utilizar, mediante el uso del controlador se pueden programar en forma automática el cambio en la altura del rotor. El funcionamiento y aplicación del controlador se explicará más adelante.

La laminación rotor puede variar de forma y tamaño de acuerdo al tipo y capacidad del motor donde se va a utilizar, la configuración de las ranuras es muy importante y también pueden variar de acuerdo a las mismas condiciones mencionadas, también puede contar con agujeros adicionales a los mencionados. Sin embargo la aplicación y uso es el mismo para cualquier tipo de rotor en un motor eléctrico.

### 3.2 Descripción de la laminación estator.

Como ya se mencionó el estator de un motor eléctrico es junto con el rotor el elemento más importante. El estator esta formado por un paquete de láminas cuya forma, dimensiones y altura esta determinada por el tipo y capacidad del motor eléctrico que se desea fabricar, este paquete de láminas se embobina con alambre magneto para obtener la forma final de lo que es un estator.

Hay operaciones y piezas Adicionales que se utilizan para la construcción de un estator, pero la laminación y el alambre magneto equivalen al 90 % de los componentes. La figura 3.6 muestra la forma más común de un estator junto a una laminación individual de estator, el estator aparece embobinado y con los arneses necesarios para el ensamble del motor.

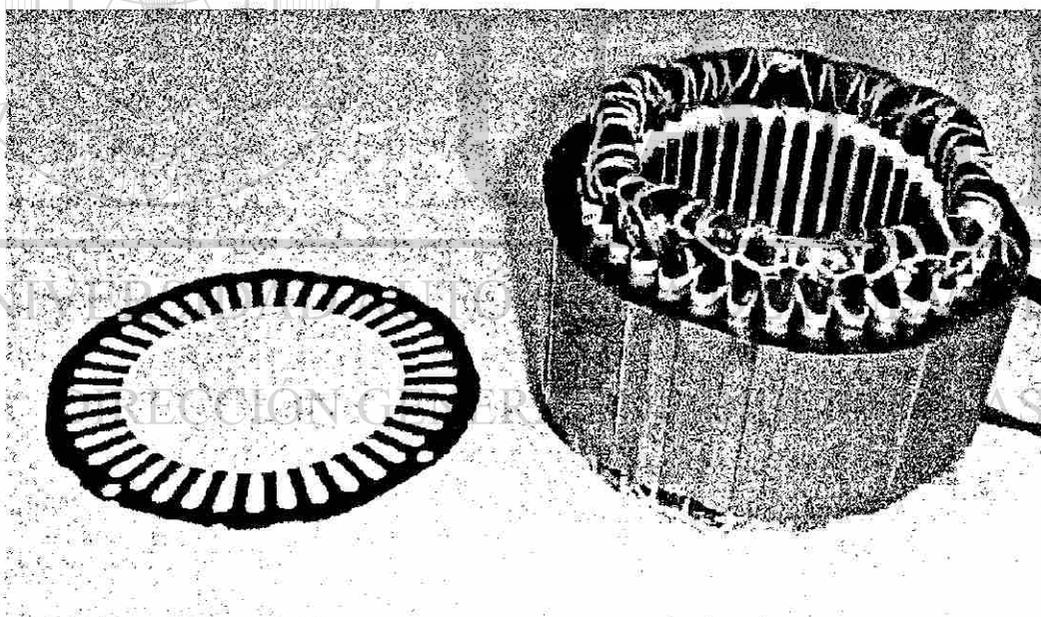


Figura 3.6 Estator embobinado

Las laminas que se utilizan en la fabricación de un motor eléctrico se llaman laminación estator. Estas laminas se obtienen o se producen por medio del proceso de troquelado, en la figura 3.7 se muestran dos formas típicas de laminación estator, una de forma cuadrada (a), y otra de forma redonda (b).

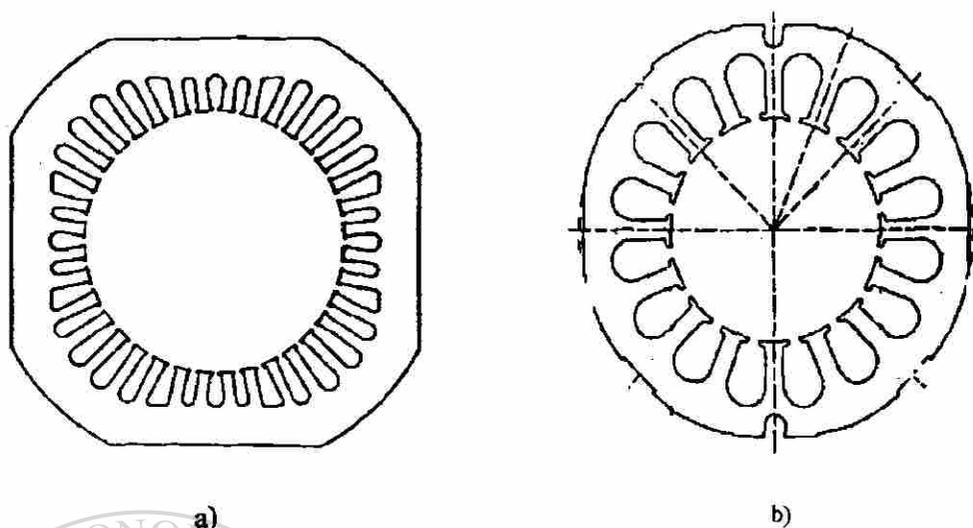


Figura 3.7 Formas típicas de laminación. a) cuadrada y b) Redonda

Un estator es una lámina troquelada cuyas características principales son las ranuras distribuidas en círculo. Las ranuras son semicerradas y están conectadas con el diámetro interior por medio de una pequeña abertura, esta abertura se utiliza en las líneas de embobinado para insertar el alambre magneto. El diámetro interior tiene las dimensiones del diámetro exterior de un rotor más la tolerancia o entre hierro que se necesita para que el rotor gire libremente dentro del estator. El número de ranuras depende del tipo de motor, una característica que se considera para definir el número de ranuras es el número de polos del motor, pueden ser de dos, cuatro, seis, ocho polos o más. La forma redonda o cuadrada y de la laminación también depende del tipo y aplicación del motor.

El tipo de ranuras mostradas en la figura anterior es el tipo más común y de más uso en laminaciones estator. Pero en la práctica hay una gran variedad de tipos de ranuras y formas exteriores.

Igual que el rotor, en la fabricación de laminación estator debe utilizarse acero eléctrico o magnético, la eficiencia de un motor eléctrico depende en gran medida de las propiedades magnéticas de la laminación estator, por eso para mejorar las propiedades

del acero eléctrico después de troquelada la laminación estator se le da un tratamiento térmico con el objeto de incrementar el tamaño de grano y extraer el máximo porcentaje de carbón del acero. Este procedimiento mejora las pérdidas magnéticas de la laminación estator.

### 3.3 Historia del troquelado de laminación rotor - estator.

Los primeros troqueles de laminación fueron contruidos poco después de que aparecieron los primeros motores eléctricos y transformadores y eran de un diseño muy rudimentario. Ellos consistían de estaciones individuales de punzonado, las cuales utilizaban acero de alta velocidad en los elementos cortantes. Debido a que estos troqueles estaban fabricados en estaciones individuales se requerían de al menos tres o cuatro troqueles completos para producir la laminación rotor y estator. En la figura 3.8 se muestra la secuencia del punzonado individual de la laminación estator – rotor que se hacía en cuatro troqueles individuales.<sup>3</sup>

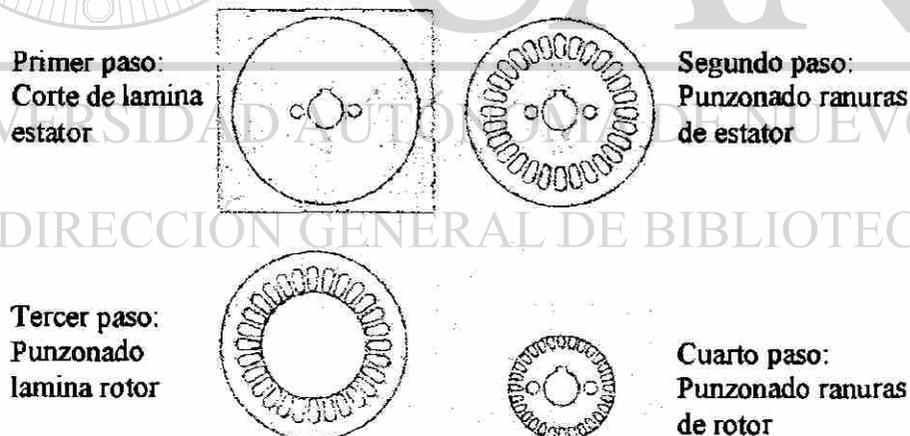


Figura 3.8 Secuencia de punzonado de laminación en troqueles individuales para cada estación

## CAPITULO 4

### DESCRIPCION DE UN TROQUEL DE ALTA VELOCIDAD PARA PRODUCIR LAMINACION ROTOR - ESTATOR GRAPADO

Para la fabricación o producción de laminación rotor - estator se utiliza principalmente troqueles progresivos. Solamente se utilizan troqueles sencillos o máquinas punzonadoras en la fabricación de motores eléctricos muy grandes, ya que el volumen de motores que se fabrican de este tipo no justifica la utilización de troqueles progresivos del tamaño necesario y de prensas especiales para correr estos troqueles. En la figura 4.1<sup>3</sup> se muestra un troquel de punzonado individual de ranuras de laminación estator, utilizado en la producción de laminaciones muy grandes. Hoy en día estos troqueles están casi obsoletos, con el desarrollo de la tecnología del punzonado es mucho más eficiente utilizar una máquina punzonadora de torreta, estas máquinas son controladas numéricamente y permiten producir cualquier tipo de laminación con un mínimo tiempo de preparación de máquina, incluso puede realizar operaciones de punzonado de laminaciones diferentes al mismo tiempo.

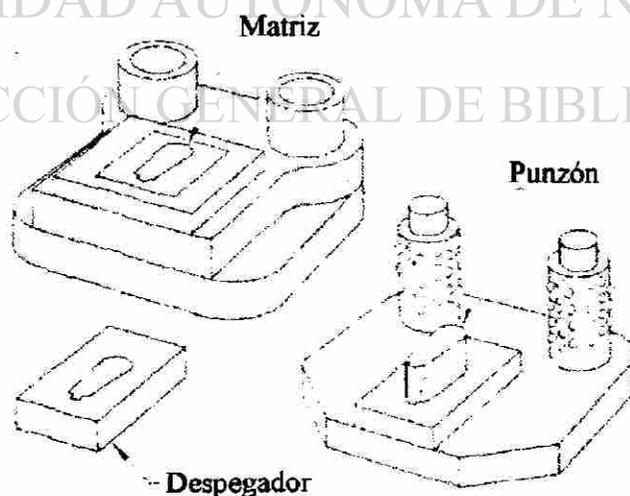


Figura 4.1 troquel punzonador de ranura

Hay dos tipos de troqueles progresivos que se utilizan en la fabricación de laminación, uno es el diseño convencional en el cual la laminación de estator y rotor se produce como láminas sueltas o individuales. Y el otro en el que la laminación estator sigue produciéndose como lamina suelta, pero la laminación rotor se obtiene como paquete ensamblado por medio de la técnica de grapado, éste tipo de troqueles son los más especiales en su diseño y son el motivo de este estudio.

El volumen de laminación que se requiere para la producción de motores eléctricos es muy alto, normalmente un troquel de este tipo debe producir diariamente 200,000 laminaciones. Es una cantidad de lámina muy grande para los troqueles convencionales, los cuales se fabrican en acero alta velocidad, D2, A2 o M2. Cuando un troquel se fabrica con este tipo de acero se debe afilar como máximo cada 100,000 piezas producidas de acuerdo a la laminación requerida, esto implicaría que cada troquel se estaría afilando una vez al día y no sería capaz de cubrir la demanda de laminación. En los inicios de los troqueles de laminación se utilizó acero de alta velocidad para su fabricación, con el incremento en la demanda de motores eléctricos y por añadidura de laminación, surgió la necesidad de experimentar con otros materiales que cumplieran con dichas expectativas, se encontró que el carburo de tungsteno era el material que ofrecía mayor resistencia al desgaste, se comenzó a utilizar este material en troqueles de laminación, en esos años la vida promedio de un troquel fabricado en carburo era de 80 millones de golpes o láminas; con los avances en la investigación y desarrollo de nuevos y mejores tipos de carburo se ha logrado mejorar la vida de un troquel de laminación que actualmente es mínimo de 200 millones de golpes. En nuestros días el 100% de los troqueles de laminación utilizados en la industria utilizan carburo para la fabricación de todas las piezas de desgaste como son los punzones, matrices, además de algunos pilotos y bujes guías. Actualmente hay muchos tipos y cualidades de carburo, los cuales se fabrican para una gran variedad de aplicaciones. En el capítulo 8 se hablara de los diferentes tipos de carburo.

En la figura 4.2 se muestra la tira o esqueleto de la lámina procesada en un troquel típico de seis estaciones, este diseño en particular se conoce como “con desperdicio”, debido al material de desperdicio que se genera en la última estación, en donde las puntas sobrantes de la tira de acero deben ser desalojadas del troquel mediante un chorro de aire, y desalojadas por gravedad o por algún otro método, por ser un troquel progresivo, en cada golpe o carrera de la prensa se produce una laminación de rotor y una de estator, la materia prima es una cinta de acero cortada como mínimo al diámetro

o ancho exterior del estator. En la estación número uno se punzona el diámetro interior del rotor, en la segunda estación se punzonan las ranuras del rotor, en la tercera estación se recorta la lamina de rotor, en la cuarta estación se punzonan las ranuras del estator, normalmente este tipo de diseños tenía cinco estaciones activas y una estación vacía, en este diseño la quinta estación es vacía, y finalmente en la sexta estación se troquelea o recorta la lamina del estator. Por otro lado, en la primer estación también se punzonaron dos agujeros en los extremos de la tira de acero, como se muestra en el dibujo, esto agujeros son utilizados en las demás estaciones para localizar y centrar la tira a lo largo del troquel, de otra forma sería imposible controlar la progresión del material y se producirían piezas defectuosas además de que se dañaría el troquel.

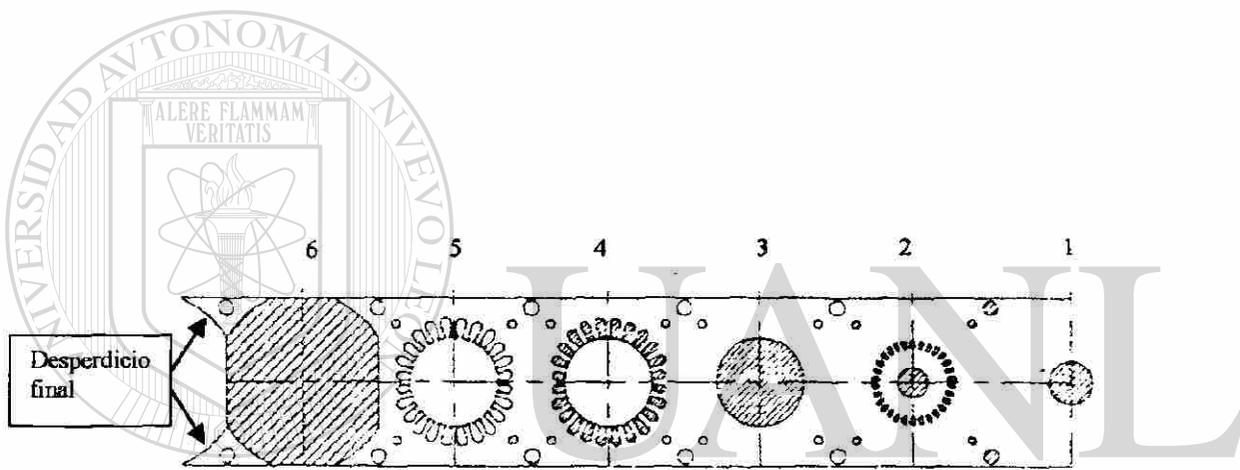


Figura 4.2 Tira o esqueleto de acero de un troquel progresivo de seis estaciones

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como se puede observar, en la estación número tres se recorta la lamina de rotor, al hacerlo se produce también el diámetro interior del estator. en la figura 4.3 Se muestra una lamina de estator y una de rotor indicando esta característica. Si el diámetro del rotor fuera igual que el diámetro interior del estator, el rotor no podría girar dentro del estator, por eso, en este tipo de diseños, el rotor debe maquinarse después de inyectarse para darle el diámetro de trabajo correcto y pueda girar libremente en el estator.

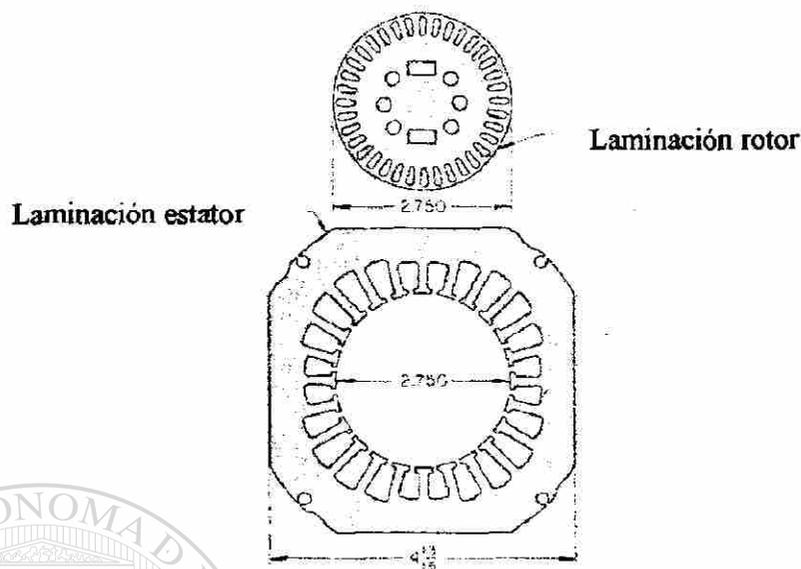


Figura 4.3 Laminación rotor - estator

En el diseño de troqueles del presente estudio el diámetro exterior de rotor es menor al diámetro interior del estator, esto es con la finalidad de eliminar el proceso de maquinado del rotor después de la inyección. Este diseño se llama punzonado a la medida. Cualquiera de los dos diseños es funcional, decidirse por Utilizar uno u otro depende principalmente del tipo de diseño de producto, de las especificaciones del mismo, del proceso de producción en la línea de motores, y de la aplicación del motor eléctrico.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la figura 4.4 se puede observar más a detalle las secuencias de troquel más elaborado o de un diseño más complicado pero más eficiente en su operación, mantenimiento y vida. En esta figura se muestra la tira de acero producida en un troquel de nueve estaciones, en contraste con el ejemplo anterior este tipo de diseño se conoce como “sin desperdicio” ya que en la última estación se recorta el estator del resto de la tira o esqueleto y no existe ningún sobrante que requiera ser desalojado de alguna forma especial. Las partes sombreadas en la tira representan el material removido o punzonado en cada estación, igual que en el ejemplo anterior, en la primera estación se punzonan los agujeros para pilotear el material en cada estación posterior, además cuenta con dos estaciones vacías.

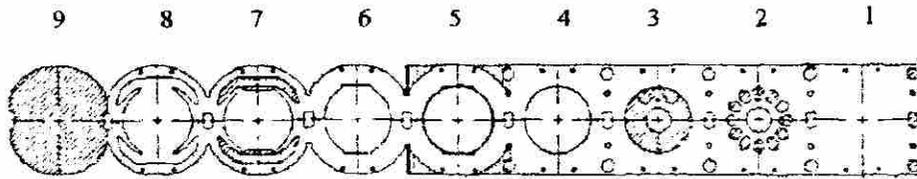


Figura 4.4 Tira o esqueleto producido en un troquel de nueve estaciones sin desperdicio final.

Los dos ejemplos mencionados anteriormente son de troqueles que producen laminación de rotor y de estator suelta, en estos troqueles tanto la laminación de rotor como la de estator son desalojadas del troquel a través de unos ductos que se localizan debajo de la prensa, hay un ducto para la laminación de estator y otra para la de rotor. Estos ductos las conducen hacia el frente de la prensa donde un operador las recibe y hace paquetes de laminación de aproximadamente 10" de largo amarrándolos con alambre recocado. Esto es con la finalidad de facilitar el transporte y el manejo de las laminas en las líneas de ensamble de motores eléctricos. En la figura 4.5 se muestra una prensa con el conducto por el cual debe salir la laminación estator.

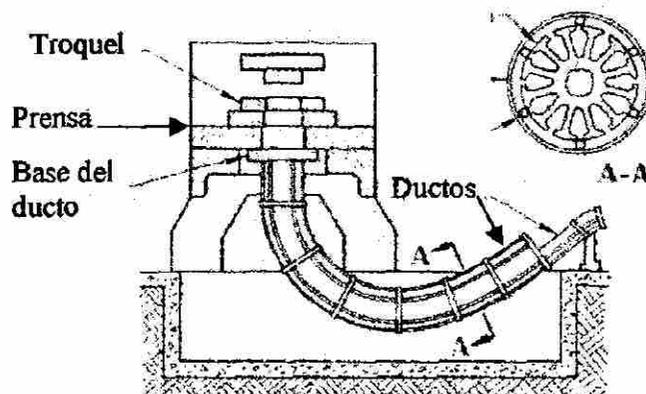


Figura 4.5<sup>3</sup> prensa y ductos de laminación

Como se mencionó anteriormente existen dos tipos principales de diseño de troqueles de laminación. Uno es el que produce la laminación de estator y rotor suelta y el otro tipo de diseño en el que la laminación de estator sigue siendo suelta pero el rotor es grapado. Hay un tercer tipo en el que ambos estator y rotor se obtienen grapados, pero es de mucho menor aplicación. Además estudiando el segundo tipo de diseño se cubren el 100% de las técnicas de diseño de troqueles de laminación, lo cual no sería posible analizar en las otros dos clases de diseños.

Los troqueles de laminación con el sistema de rotor grapado, son esencialmente troqueles progresivos que en lugar de producir lámina suelta de rotor, van grapando o uniendo cada lamina de rotor y le van dando una orientación o ángulo hasta formar un paquete sólido de láminas de una altura predeterminada.

El proceso de grapado produce lengüetas recortadas que se extienden debajo del plano horizontal de la laminación. El proceso de grapado se realiza en dos pasos, uno es el de formado de la grapa como se muestra en la figura 4.6 a, seguido del grapado que se lleva a cabo en la matriz rotacional (figura 4.6 b.)<sup>4</sup>

En la matriz rotacional o estación de grapado se recorta y grapa la laminación de rotor, entonces estas lengüetas ensamblan en las cavidades formadas en la laminación previamente estampada como se muestra en la figura 4.6 b, la matriz rotacional cuenta con un anillo de retención cuya función es la de frenar y ejercer una fuerza de reacción en contra del flujo de la laminación debido al coeficiente de fricción, esta fuerza funciona como yunque permitiendo comprimir el paquete para de esta manera poder obtener una unión sólida entre las laminas de rotor. Además del ángulo que deben tener el paquete de laminaciones, las laminas deben rotarse 90°, 120° o 180°, rotar las láminas es muy importante para poder tener una buena concentricidad entre ellas, para balancear el rotor, obtener un buen diámetro exterior, buen diámetro interior y obtener una altura uniforme del paquete.

Para poder obtener el ángulo y poder estar girando las laminas de acuerdo a los ángulos requeridos es necesario utilizar equipos electrónicos como servomotores y controladores. Estos equipos se analizarán más adelante.

En lugar de utilizar un conducto para desalojar la laminación suelta en un troquel de rotor grapado se utiliza un transportador, lo más usual es utilizar un transportador vibratorio para hacer esta función, pero también el uso de transportadores de banda es

muy común, en el capítulo 5 se evaluará las características y beneficios de cada uno. En este tipo de troqueles los transportadores se instalan debajo del troquel en una ranura que hay en la cama de la prensa, los rotosres caen por gravedad en el transportador el cual los deposita en una mesa donde son inspeccionados y estibados en un contenedor para su transporte.

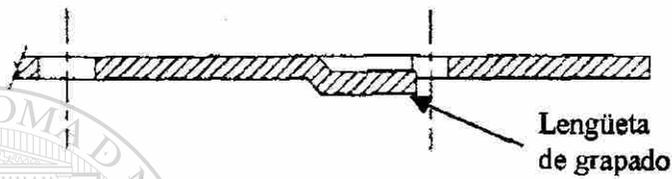


Figura 4.6 a. Formado de grapa

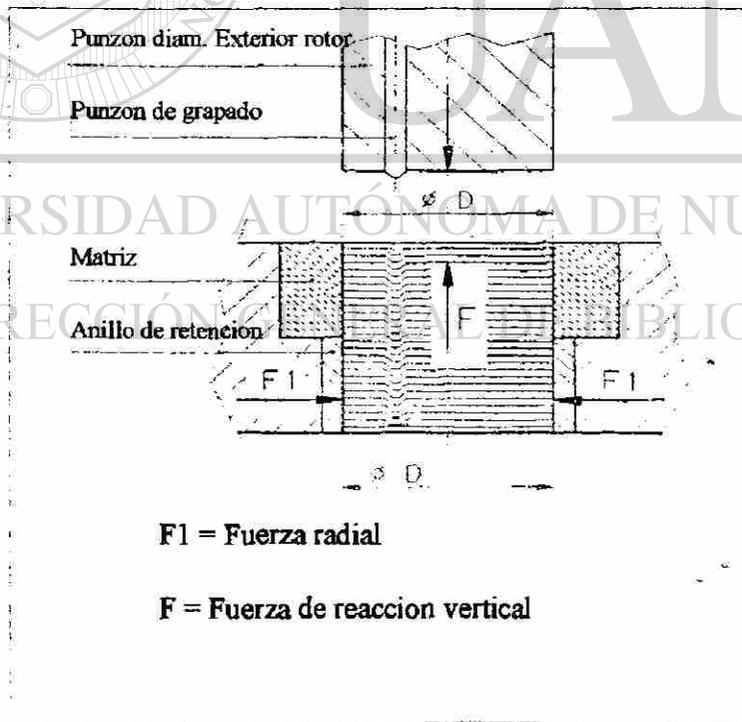


Figura 4.6 b: matriz rotacional, grapado de rotor

El diseño de un troquel de laminación estator – rotor grapado requiere de más estaciones que las que se requieren para un troquel de lámina suelta, lo cual implica mas costo en la fabricación del mismo, tiempo de fabricación más largo, requiere mayor precisión y control en el ajuste y mantenimiento. Además los tiempos de mantenimiento son mayores. Todo esto lo vuelve mucho más complicado. Aún así, este proceso es preferido ya que en el proceso de inyección de aluminio se eliminan muchas operaciones que tendrían que hacerse si se utilizara lamina suelta.

La tecnología de laminación grapada es muy impresionante y parece ser la tecnología del futuro para el troquelado de laminación donde los volúmenes de producción son muy altos, estos troqueles pueden trabajar a velocidades de hasta 550 golpes por minuto. Sin embargo, en un inicio esta tecnología es más cara que la que se requiere para un troquel de lámina suelta, requiere de más estaciones y más componentes, esto lo hace ser más sofisticado y más caro, y puede requerir de una prensa mas grande o de mayor tonelaje. Además del equipo adicional mencionado como servomotores, controladores, transportadores, equipo electrónico de protección del troquel etc.

La operación y mantenimiento de estos troqueles es considerablemente más sofisticada y consume mayor tiempo ya que es mucho más sensitivo a variaciones en la dureza del material, la precisión de la progresión, la temperatura ambiente, las condiciones de la prensa y de la precisión del ajuste o calibración del sistema de grapado del rotor.

De cualquier forma en los últimos años se ha incrementado consistentemente la demanda de este tipo de troqueles, este incremento se puede atribuir a muchos factores como:

- Reducción de costo en operaciones subsecuentes.
- Alta calidad de los paquetes de laminación rotor
- Gran versatilidad y control de inventarios
- La tecnología de grapado conduce a la automatización de la industria a la que sirve.

El número de estaciones de un troquel de alta velocidad depende de las características del producto, puede tener 8, 9, 10, o más estaciones. También hay troqueles de dos o más salidas, cuando un troquel es de doble salida la tira de metal de trabajo será del doble de ancho, y en lugar de producir una laminación estator y una laminación rotor en cada golpe, producirá dos piezas de cada una por cada golpe, si el troquel es de triple salida, el material de trabajo será tres veces el ancho del normal y así sucesivamente. Con estos troqueles se puede multiplicar la eficiencia, pero los problemas de control también se incrementan, además se requiere de una prensa en perfectas condiciones, de otra manera el riesgo de dañar el troquel es un factor latente. Por último en la figura 4.7 se muestran la zapata inferior de un troquel de laminación actual.

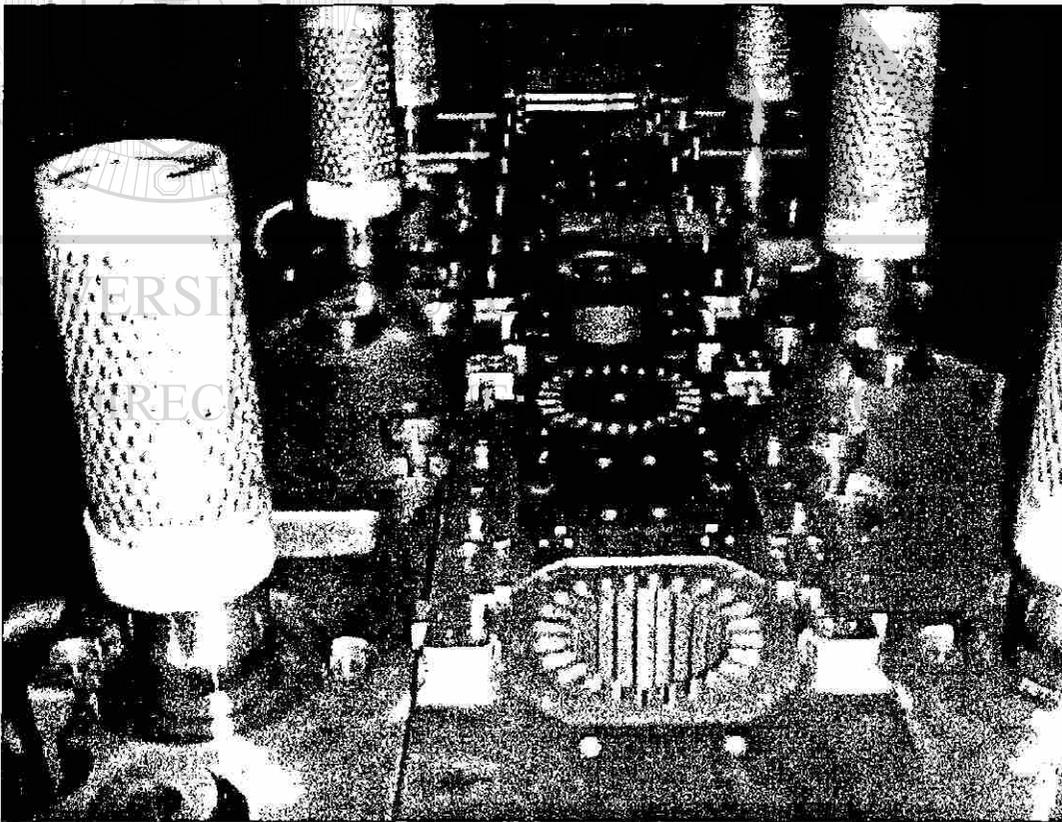


Figura 4.7 Zapata inferior de un troquel de laminación

## CAPITULO 5

### DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN TROQUELADO DE ALTA VELOCIDAD PARA PRODUCIR ROTOR-ESTATOR GRAPADO

#### 5.1 Prensa

Para propósitos generales una prensa de punzonado en buenas condiciones mecánicas es aceptable para el estampado de laminación, pero debido a los altos volúmenes de producción de laminaciones se requiere el uso de una prensa de Alta productividad. La mayoría de las prensas de alta productividad tienen camas reforzadas para trabajo pesado y miembros en las coronas que minimizan la vibración y deflexión. La deflexión de la cama para una prensa de laminación no debe ser mayor de 0.0005" por cada pie de longitud. Con una carga igual a la relación de capacidad de la máquina distribuida sobre dos terceras partes del área de la cama y entre las dos flechas de tensión. La deflexión del camero o martillo de la prensa no debe ser mayor de 0.0005" por pie de longitud. Prensas con doble cigüeñal y dos o cuatro bielas son preferidas debido a su mejor resistencia a las cargas fuera de centro que es común tener en este tipo de troqueles progresivos. El paralelismo entre el camero y la cama no debe ser mayor a 0.001" por pie de longitud de la cama, tanto de izquierda a derecha como de atrás hacia delante.

Las prensas seleccionadas para el estampado de laminaciones deben de tener reforzadas las bielas, mayor diámetro del cigüeñal y de los baleros principales, tolerancia o luz en las guías del camero muy cerradas y camas gruesas. Debido a lo cerrado de las tolerancias en las guías del camero se requiere de un sistema de lubricación forzada para los baleros y correderas o guías.

El hecho de que el troquel fué fabricado con tolerancias uniformes entre punzón y matriz no significa necesariamente que la tolerancia está repartida uniformemente cuando inicia el punzonado sobre el metal de trabajo, la acción de aplicar la carga al material de trabajo puede provocar deflexión lateral en el troquel y en la prensa, la cual puede cambiar la tolerancia.

Para minimizar esta indeseable deflexión, las condiciones mecánicas de la prensa y del troquel deben ser mantenidas en optimas condiciones. El tonelaje aplicado en cada ciclo debe ser proporcional al tonelaje de la prensa y al tipo de estructura de la misma ( algunos tipos de prensas se flexionan lateralmente más que otras ). Tolerancias cerradas en las guías del carnero y en los baleros principales ayudan a minimizar la deflexión lateral.

La siguiente formula se utiliza para calcular el ajuste de la luz o tolerancia de las guías del carnero:

$$C = ph/w.$$

Donde C es la luz que deben tener las guías, p es el paralelismo total entre la cama y el carnero, h es la longitud de las guías y w es el ancho de la cama. Por ejemplo si la longitud de las guías es de 30", el ancho de la cama de izquierda a derecha es de 60" y el paralelismo total real es de 0.002"., la luz en las guías será de  $(0.002" \times 30)/60 = 0.001"$  por lado.

Un programa de mantenimiento preventivo debe ser mantenido que la prensa se mantiene en niveles de operación muy altos. Poniendo especial atención en el juego o desgaste de los baleros principales, condiciones del contra balance, y en el paralelismo entre carnero y la cama.

En la actualidad existen muchas marcas de prensas de alta velocidad, pero la más utilizadas en la actualidad para el troquelado de laminación son las prensas Minster, Que son prensas de gran precisión y calidad reconocidas en todo el mundo, además es la prensa que se utilizara para el desarrollo del presente estudio. La figura 5.1 muestra una prensa Minster de modelo PM300, este tipo de prensa es de lados rectos, y el numero 300 indica la capacidad de la prensa, 300 toneladas.

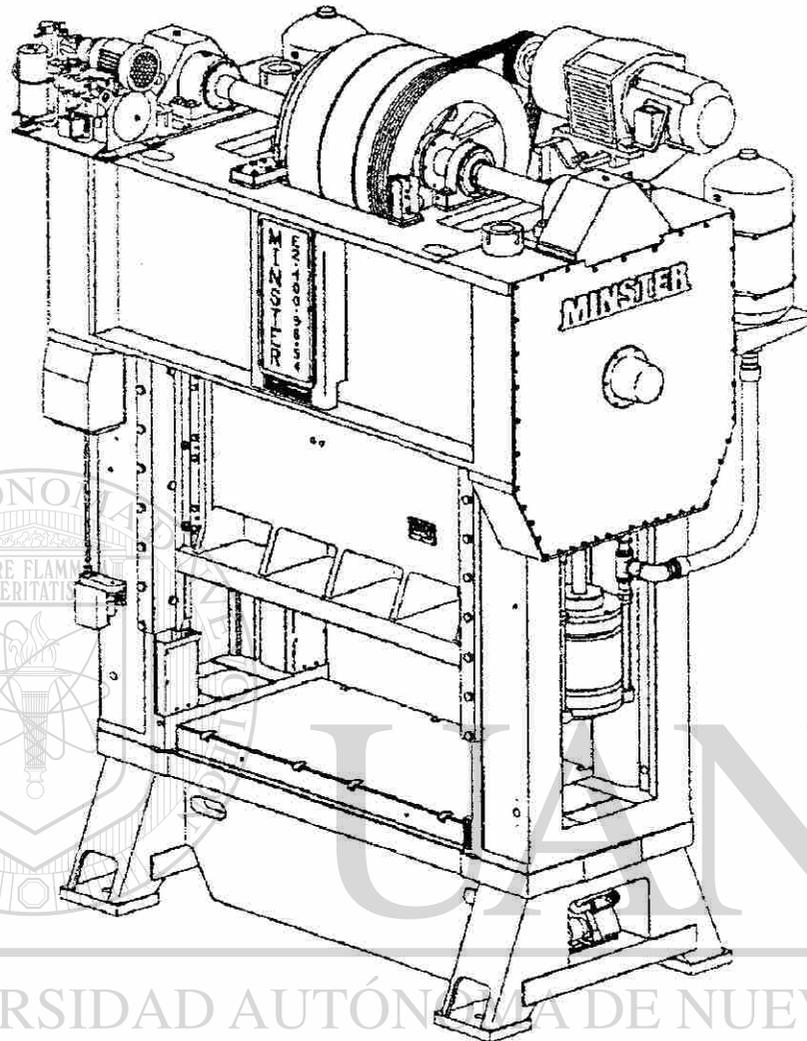


Figura 5.1 Prensa

## 5.2 Servomotor

La función de un servomotor en un troquel de laminación rotor - estator es el de proporcionar el giro que la laminación rotor debe tener. Como ya se mencionó, laminas del rotor deben tener un ángulo de inclinación, este ángulo se les da girando un porcentaje de grado cada laminación, como este giro debe ser muy preciso, se utiliza un servomotor, que se controla mediante un equipo llamado controlador del troquel, este equipo controlador cuenta con todos los diferentes

programas que se necesitan para que el servomotor haga su función. Además del ángulo que el rotor debe tener, es común que las laminas se giren 90°, 120°, 180°, etc., el servomotor debe ser capaz de producir en el rotor el ángulo y la rotación de laminas requerido. Como la prensa trabaja 300 golpes por minuto en promedio, se requiere de gran precisión del servomotor para realizar estas funciones, por eso además del controlador las condiciones ambientales juegan un papel muy importante. El motor debe contar con enfriamiento directo, ya que si el ambiente es muy caliente habrá fallas en la resolución del servomotor.

Estos servomotores son del tipo de corriente alterna trifasicos, se utilizan por su excelente y óptimo funcionamiento. Utilizan un rotor magnético permanente y una unidad de retro alimentación para censar la posición absoluta del rotor, un tacómetro para la velocidad de la flecha, y un sensor de posición del rotor paracensar la posición del eje. Este tipo de motores no utiliza partes electromecánicas que están sujetas a desgaste, el motor y el tacómetro no utilizan escobillas y los baleros están lubricados de por vida por lo que no requieren mantenimiento.

El servomotor se monta sobre una base especial sobre la platina de la prensa, en el vástago del motor se monta una polea dentada de tiempo, la matriz rotacional del troquel tiene acoplada una polea de tiempo del mismo paso que la anterior pero con un diámetro mayor de acuerdo al diámetro de la matriz rotacional, la relación de numero de dientes entre una polea y otra es muy importante, ya que de esto depende la calibración y el ajuste de los parámetros de control del servomotor. El servomotor y la matriz rotacional del troquel van unidas ente sí mediante una banda dentada de tiempo. Esta banda debe de ser de la más alta calidad, principalmente debe contar con cuerdas de nylon que evite la elasticidad de la banda ya que esto afecta a la obtención del giro correcto en la laminación de rotor. La tensión de la banda al momento del ajuste es muy importante, ya que poca tensión puede ocasionar que los rotores no tengan el ángulo adecuado, demasiada tensión puede sobrecargar el motor ocasionándole daños. La tensión correcta solo se puede definir mediante la experiencia, conociendo muy bien los troqueles y el producto con que se está trabajando.

En la figura 5.2 Podemos apreciar un servomotor utilizada en este tipo de aplicaciones, el montaje más común es el montaje vertical como el mostrado en la figura 7.30, pero también se utiliza el montaje horizontal aunque en menor proporción. El tipo de montaje solo depende del diseño del troquel. Como ya se comento el preferido es el montaje vertical ya que es más fácil y simple su preparación y ajuste. Cuando se utiliza el montaje horizontal es sólo porque el diseño del troquel lo requiere, ya que es mas complicado, su ajuste no es sencillo, para su acoplamiento se utilizan engranes en lugar de bandas y en general, debido a esto se prefiere el montaje vertical.

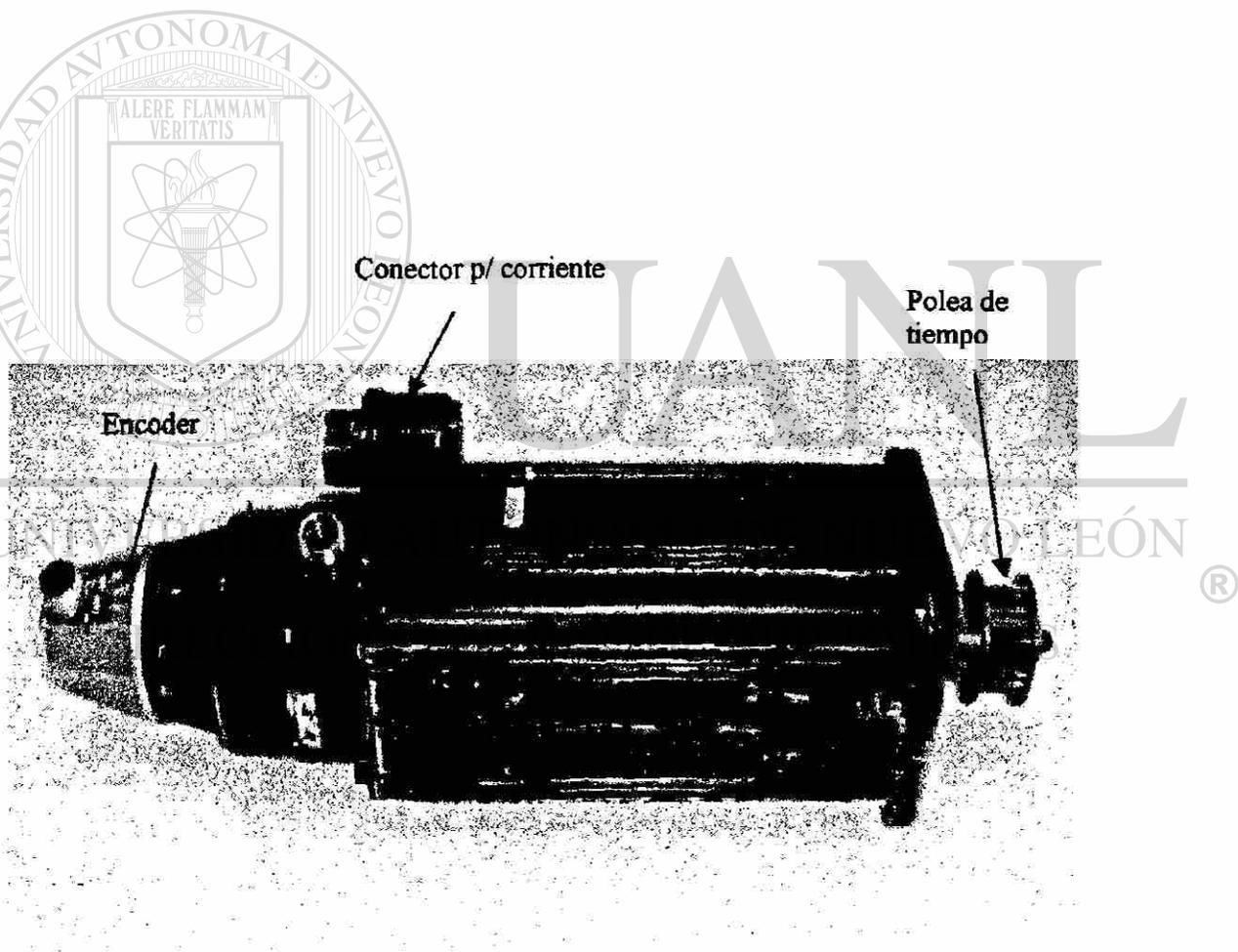


Figura 5.2 Servomotor

### 5.3 Controlador

Un controlador consiste principalmente de una interface del operador y de un gabinete de control como se muestra en la figura 5.3. La función principal de un controlador es la de manejar las funciones del servomotor y troquel. En el servomotor debe de controlar el ángulo del rotor, la rotación de las láminas, parámetros de operación del servomotor como aceleración, tiempos de giro, ganancia del motor y protección de sobrecarga. En el troquel de laminación se deben de controlar el número de láminas de cada rotor, mandando una señal a una válvula solenoide para que active la lamina separadora, y empiece un nuevo rotor, controla los sensores de doble espesor y pérdida de paso, y puede llevar el conteo de la producción. También se conecta a la prensa para controlara la posición del carnero, esto es muy importante para que la alimentación se haga en el momento exacto.

También puede controlar la altura del rotor utilizando una variedad de métodos de calculo. Uno de ellos es el método de conteo absoluto: este método utiliza un número específico de laminaciones para producir el paquete de rotor. También Hay tres tipos de conteo de variables.

**Altura máxima:** es cuando el controlador mide cada laminación hasta alcanzar

La altura máxima, pero sin exceder el nivel máxima permitido.

**Altura mínima:** Es cuando el controlador mide cada laminación hasta alcanzar la altura mínima permitida. **Altura nominal:** es cuando el controlador mide cada laminación hasta alcanzar la altura nominal sin exceder la tolerancia permitida.

El controlador puede generar el ángulo utilizando varios métodos, el método radial lo calcula como el número de grados de desplazamiento de la última laminación en el paquete con respecto a la primera lámina del paquete. El método helicoidal lo calcula como la tangente del arco del espesor de la laminación dividido por la distancia del ángulo a lo largo del perímetro de la laminación.

El controlador se diseña con la intención de ser flexible y tener una gran variedad de opciones, programación múltiple de altura, trabajar con motores múltiples, sensores de espesor múltiples etc. Las principales partes de un controlador se en listan enseguida.

Gabinete del controlador

Pantalla de contacto

Caja de conexiones

Válvulas solenoides

Gabinete de control: Este gabinete contiene los principales componentes electrónicos para la operación de un troquel de laminación. En este gabinete se conecta la energía principal. El gabinete se conecta al servomotor mediante los cables del servomotor que tienen una longitud de 25 pies. No se requiere alambrear nada cuando se utilizan los cables proporcionados. El sistema está diseñado para permitir que el gabinete se pueda instalar en cualquier lugar dentro del alcance de 25 pies de los cables. Si se requiere una distancia mayor se pueden preparar cables especiales. El gabinete está conectado a la corriente principal mediante conectores, haciendo muy fácil su desmontaje y relocalización.

El uso de botones. La pantalla gráfica trabaja en ambiente Windows. Esta pantalla es la interface del operador y sirve para visualizar todas las funciones del controlador y programar las funciones tanto del servomotor como del troquel. Se pueden grabar y tener almacenados diferentes programas para diferentes troqueles. En esta pantalla se puede seleccionar con cual se va trabajar. Esta pantalla puede instalarse lo mas cerca del operador que sea posible. Se conecta al gabinete mediante cables especiales con conectores de enchufe rápido se pueden también instalar en el gabinete principal de la prensa o se pueden utilizar los soportes de montaje para instalarlos en cualquier otro lugar siempre y cuando este cerca del operador, nunca debe montarse sobre la prensa, la alta vibración ocasiona que el controlador falle durante la operación.

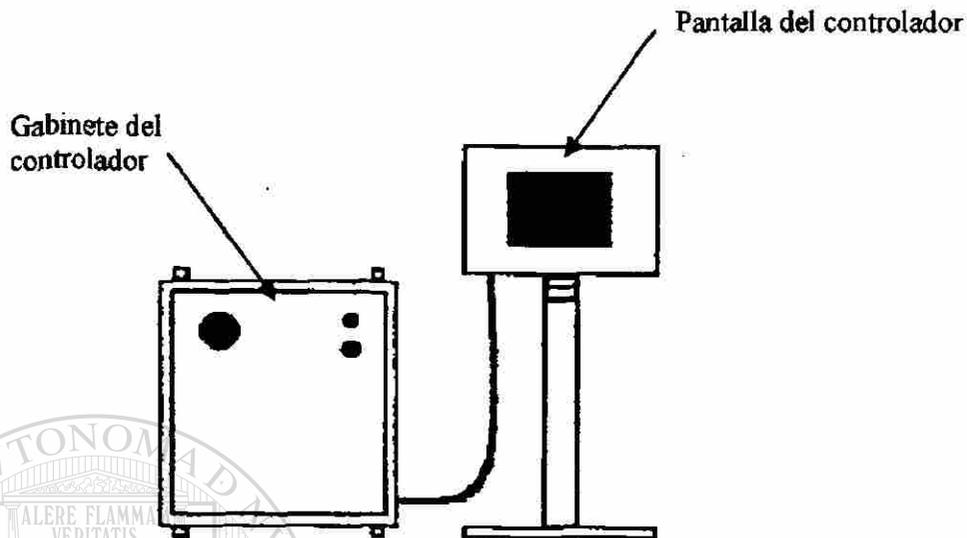
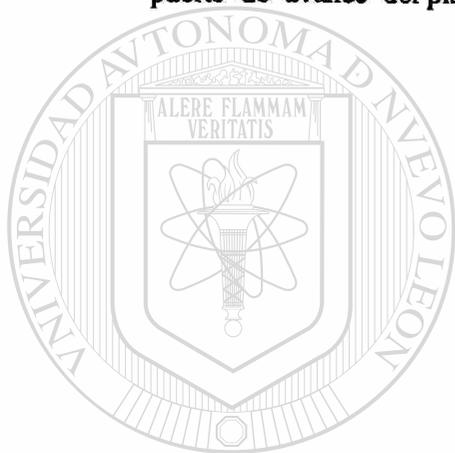


Figura 5.3 Controlador

**Caja de conexión:** La interface con el troquel se logra con el uso de una caja remota de conexión. Todos los cables de solenoides y sensores del servomotor y troquel son cableados a esta caja. La caja de conexión es conectada al gabinete mediante un cable multi conductor.

Una vez que la caja de conexión es instalada en la prensa, el sensor de paro superior y paro inferior de la prensa se conectan a esta caja. Estos dispositivos son muy importantes ya que mediante ellos el controlador conoce siempre la posición del camero y sabe cuando debe girar el servomotor y cuando debe detenerse. También el controlador utiliza el sensor de paro superior para detenerla prensa en el punto muerto superior cuando algo extraño sucede en el controlador, al mismo tiempo el servomotor recibe la señal de detenerse, de esta forma cuando se re inicia la operación el servomotor y la prensa continúan sincronizados y pueden arrancar sin fallas.

**Válvulas solenoide:** Las válvulas se instalan cerca del cilindro de corte de la última lámina del rotor, la función de este cilindro es la de cortar la última lámina de un rotor cuando se ha alcanzado la altura programada. la altura se controla mediante el número de laminas que debe tener cada rotor, el controlador cuenta las laminas y le da la señal al pistón de actuar al llegar a las programadas. Se necesita una válvula por cada cilindro de corte. La válvula utiliza mangueras neumáticas de diferente color para identificar el avance y retroceso del pistón. La manguera roja se conecta a la posición de regreso, la verde se conecta al puerto de avance del pistón.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

#### 5.4 Ducto de laminación.

En el presente estudio, la laminación estator se produce como lámina suelta, para sacar o transportarla hacia fuera del troquel se utiliza un ducto, la laminación estator se recorta en la última estación y sale por la parte de abajo del troquel y continua a través de la platina de la prensa, el ducto para laminación esta sujeto a la platina por la parte interna como se muestra en la figura 5.4, en esta figura se aprecian dos conductos, uno para rotor y otro para estator, en el caso que se está analizando, sólo se utilizará el ducto de la laminación estator, ya que el rotor se producirá grapado, en lugar de como lámina suelta. El conducto transporta la laminación hacia el frente de la prensa donde el operador forma paquetes de laminación estator amarrándolas con alambre recocado. Cuando el troquel se acaba de montar, el ducto esta vacío, si se comenzara a troquelar en esas condiciones las láminas se darían vuelta en el interior del ducto al ir cayendo, esto ocasionaría que se atoraran, para evitar este problema, el ducto se debe pre cargar con laminación estator anterior, si no hay laminación se puede rellenar con hielo seco, papel o cualquier material que ayude a que la laminación se vaya compactando y comience a fluir en forma continua sin atorarse o dañarse. El ducto puede fabricarse de diferentes formas, en la figura se muestra un ducto echo de varillas de acero dobladas para darle la forma y sujetadas con anillos hechos de la misma varilla, los anillos se soldan a las varillas para mantener la forma deseada. Si la laminación es redonda como la del ejemplo mostrado, un método más fácil para fabricar un ducto seria la de doblar un tubo que tenga la dimensión interior mayor que el diámetro exterior del estator. De esta manera existe mayor superficie de contacto, la laminación se daña menos, y su fabricación es más fácil. Otro método es fabricar el ducto con lamina negra, principalmente cuando la laminación es cuadrada o de forma cuadrada. Es recomendable acondicionar un freno en el ducto que controle o restrinja el flujo de laminación, de lo contrario y debido a la vibración de la prensa la laminación tiende a salirse del conducto y caer en el suelo. Con el uso de freno se mantiene una presión sobre la laminación logrando como resultado la compactación de la misma, y el operador puede manejarla más fácil.

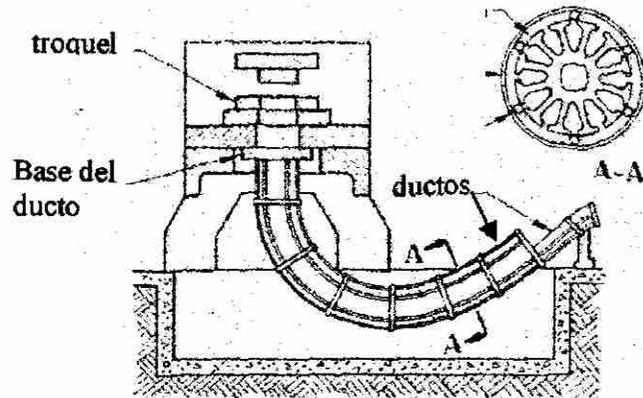


Figura 5.4 ducto de laminación

### 5.5 Transportador de rotor

En un troquel de laminación de rotor grapado, el rotor cae por gravedad entre el troquel y la platina de la prensa, en la platina de la prensa hay una ranura que coincide con la estación de la matriz rotacional, es en esta estación donde se forma el rotor grapado, el rotor cae por debajo y al centro del troquel, el transportador lo recibe y mueve hacia el frente de la prensa, normalmente se utiliza una mesa de trabajo donde el transportador deposita los rotores, después el operador los toma para inspeccionarlos y ponerlos en una charola para facilitar la transportación. Hay dos tipos básicos de transportadores que se usan para esta aplicación: transportador de banda y transportador vibratorio. Se muestra un transportador de banda en la figura 5.5 debe de ser de diseño compacto, ya que el espacio que hay entre el troquel y la platina esta muy limitado, por otro lado la altura del rotor también afecta al tamaño de la banda, ya que si es un rotor muy alto puede atorarse y ocasionar el daño de la banda y en algunos casos del troquel. La banda debe ser de alta resistencia al desgaste, al impacto y al ataque químico, ya que el aceite que se usa para lubricar el rotor puede afectar a la banda. el transportador vibratorio consiste de la unidad vibratoria y en lugar de banda se utiliza una canal, la unidad vibradora induce un movimiento vibratorio, cuando el rotor cae sobre la canal este movimiento vibratorio lo impulsa hacia fuera, este tipo de transportador debe tener una inclinación con la dirección

descendente hacia el lado de la salida deseada. Este tipo de transportador permite utilizar el área mejor, ya que la unidad vibratoria queda fuera del troquel y solo es la altura de la canal la que afecta a la altura máxima permitida. Los dos tipos de diseños son funcionales, la decisión de cual utilizar depende del producto que se quiere mover y de las limitaciones del proceso.

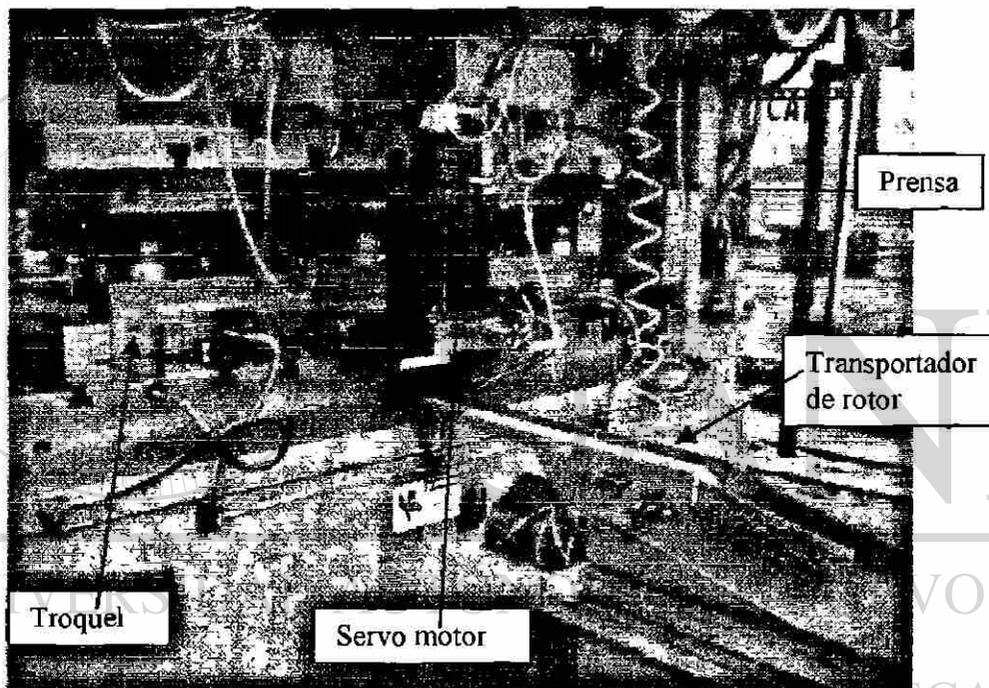


Figura 5.5 Transportador de rotor

## 5.6 Alimentador.

El alimentador de material en una prensa de alta velocidad juega un papel muy importante, en los inicios del troquelado de laminación se utilizaban alimentadores mecánicos de rodillos, un alimentador mecánico de rodillos utiliza dos rodillos para alimentar el material, solo uno de estos rodillos es el impulsor, el otro es un rodillo loco de apoyo, generalmente el rodillo impulsor va en la parte superior, se utiliza un pistón localizado debajo del rodillo inferior para generar la presión necesaria de agarre en el material, cuando el material se introduce entre los dos rodillos, el impulso rotativo del rodillo superior y la presión mantenida por el rodillo inferior ocasionan que el material se mueva hacia delante. El diámetro de estos rodillos es una relación de la distancia de alimentación requerida. Estos alimentadores se conectan al cigüeñal de la prensa y a un juego de levas, giran y se detienen de acuerdo a la posición que guarda el cigüeñal. Este tipo de alimentadores son muy precisos pero muy difíciles de ajustar, como están encadenados al cigüeñal, dificulta mucho las operaciones de ajuste del troquel, o la detección de fallas. El momento de inicio y paro de alimentación debe ser extremadamente preciso, en algunas ocasiones se tenía que invertir muchas horas en la calibración de inicio y paro. Cuando se requiere cambiar de modelo de troquel, involucra cambio de rodillos en el alimentador, este cambio se realiza de forma manual e involucra ajustes de prueba y error. Esto toma mucho tiempo y ocasiona mucho desperdicio de material y en algunas ocasiones daños en el troquel. Con el desarrollo de la tecnología el diseño de los alimentadores de rodillos cambió, dejó de ser mecánico para convertirse en un alimentador electrónico de rodillos.

Estos alimentadores electrónicos emplean servomotores para generar el movimiento giratorio de los rodillos, las bases de un alimentador electrónico de rodillos son las mismas que las que utilizaba un alimentador mecánico, la gran ventaja está en la versatilidad del alimentador electrónico, los ajustes en la carrera de alimentación, ángulos de alimentación, tiempos de alimentación etc., prácticamente es cero. Cuando se requiere cambiar de modelo el tiempo de ajuste del alimentador es solo el tiempo requerido en cambiar o programar los nuevos

parámetros, si los parámetros que se programen son los correctos, el alimentador hará su función sin la necesidad de ajustes.

Los alimentadores electrónicos cuentan con la capacidad de almacenar programas, por lo que puede contener los programas requeridos para los modelos que se corran en la compañía, cuando se requiera cambio de modelo sólo se carga el programa necesario sin necesidad de cambio de parámetros. La precisión de estos alimentadores es muy buena, y de acuerdo a las condiciones de operación, se pueden hacer ajustes de parámetros rápidamente. Estos alimentadores van montados en uno de los costados de la prensa, según sea la dirección de alimentación.

En la figura 5.6 Se muestra un alimentador de rodillos electrónico, de la marca Vamco, hay muchos alimentadores similares en el mercado, pero este tipo de alimentador es de los más precisos, versátiles y confiable, requieren muy poco mantenimiento, y si es operado correctamente su vida es muy larga.

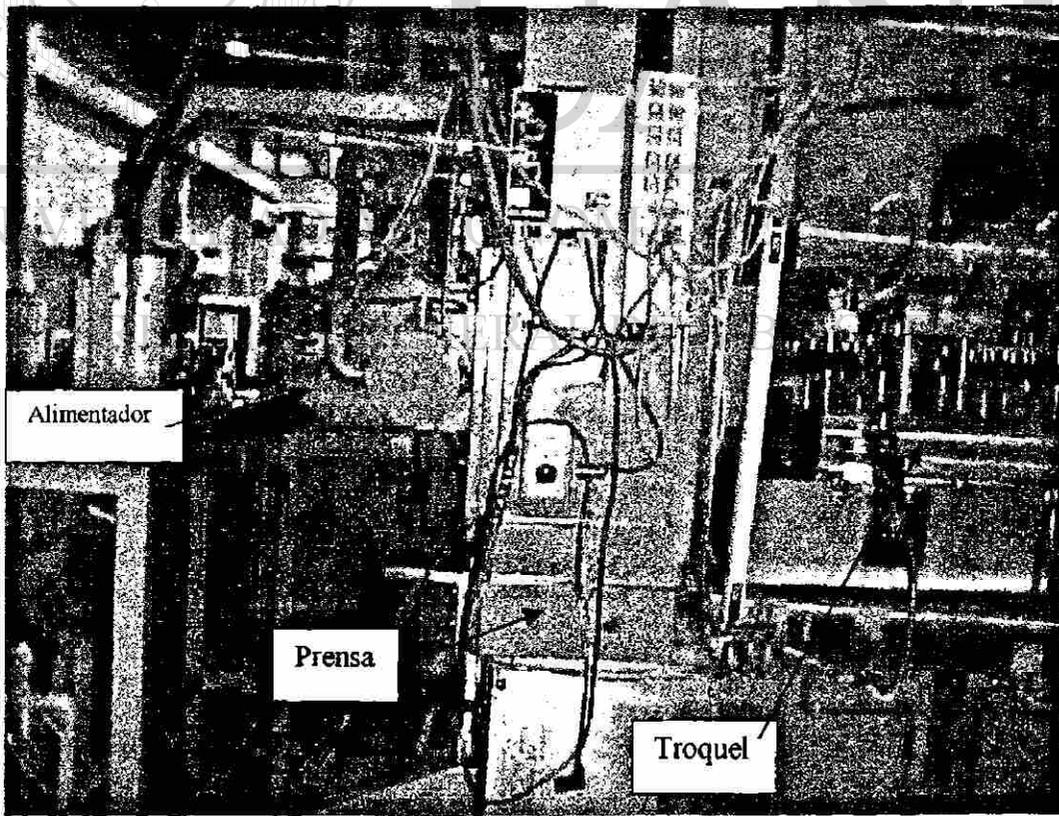


Figura 5.6 Prensa con alimentador de material

## 5.7 Enderezador.

La función de un enderezador de material en el proceso de troquelado es la de eliminar la curvatura y ondulaciones que el material mantiene después de ser desenrollado, esto se logra pasando el material por una serie de rodillos los cuales deforman el material en contra de la ondulación que mantiene, deformándolo de más a menos, dándole mayor deformación en la entrada del enderezador y menos a la salida. De acuerdo al número de rodillos con los que cuente el alimentador es el grado de planeza que se puede obtener, de acuerdo al producto y tipo de troquel es el tipo de enderezador que se debe utilizar. El enderezador más común es el de siete rodillos, y se utiliza para aplicaciones generales. Los rodillos se distribuyen tres arriba y cuatro abajo intercalados entre sí.

En el troquelado de laminación rotor estator, se requiere obtener la mayor planeza, las especificaciones indican como máximo permitido un espesor del material, en este caso, el espesor del material es de 0.0031". Por lo tanto, la máxima desviación en planicidad permitida es de 0.031. Para obtener esta planeza se requiere utilizar un enderezador que tenga como mínimos nueve rodillos enderezadores. Pero lo mejor es utilizar un enderezador de mayor precisión, un enderezador que este intermedio entre un nivelador y enderezado. Un nivelador, es un equipo utilizado para obtener la mayor planicidad posible. Esto se logra utilizando mayor cantidad de rodillos, y que los rodillos sean flexibles, de esta manera, se le aplica presión al rodillo en el punto donde se requiera, o en diferentes puntos a lo largo del rodillo. Como, tampoco se requiere la precisión de un nivelador, lo único que se recomienda es utilizar el máximo número de rodillos. Más de nueve, máximo, de acuerdo a lo disponible en el mercado.

Otra condición muy importante que se debe considerar para elegir el tipo de enderezador adecuado, es que la prensa debe trabajar a alta velocidad, entre 250 y 500 golpes por minuto como promedio, aunque para algunas aplicaciones se puede correr arriba de 1000 golpes por minuto. Cuando se corre a esta velocidad, el material debe de fluir en forma constante y suavemente. Utilizando un enderezador convencional, es muy difícil lograrlo, para hacerlo, se debe utilizar un enderezador con acumulador de material en forma de "S". Con este diseño, se puede trabajar a grandes velocidades sin que la vibración o golpeteo del material afecte al proceso.

En la figura 5.7 Se muestra un enderezador utilizado en el troquelado de laminación rotor – estator con el diseño de acumulación de material en forma de “S”. El enderezador esta en forma inclinado con la finalidad de facilitar el flujo de material en forma de S.

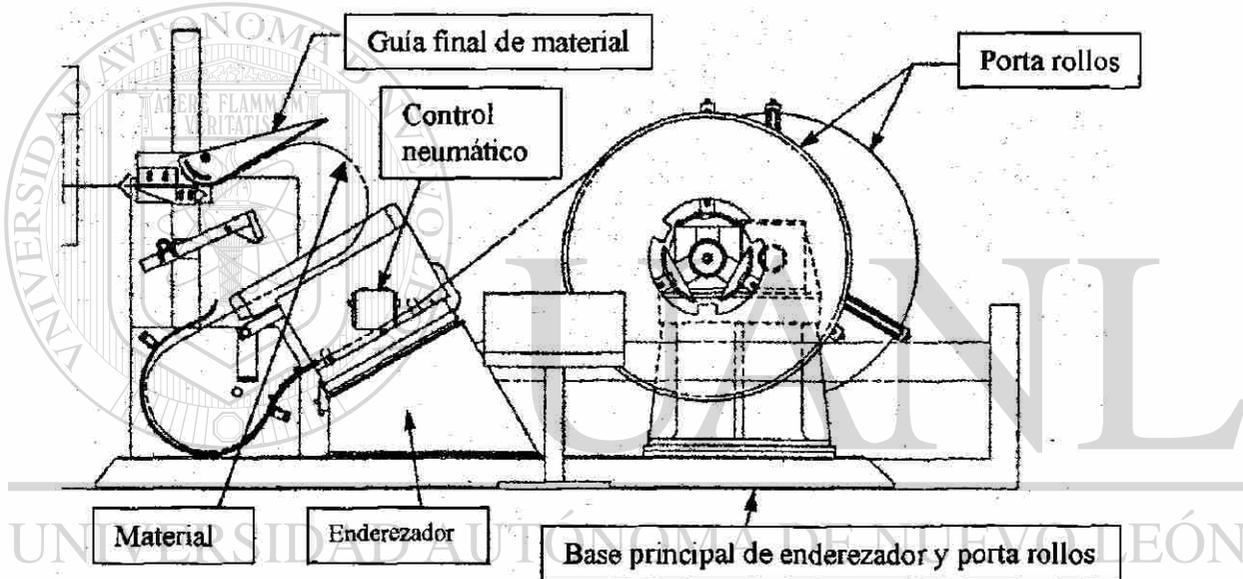


Figura 5.7 Enderezador y portarrollos

## 5.8 Porta rollos.

El porta rollos es el más sencillo de todos los equipos utilizados en el proceso de troquelado, su función es la de facilitar el desenrollado del material, hay varios tipos de desenrolladores, los más comunes son los verticales, pero el desenrollador horizontal presenta más ventajas cuando se manejan materiales muy delgados. Otra característica importante de los desenrolladores es si son motorizados o de tirón, un porta rollos motorizado gira automáticamente de acuerdo al mínimo y máximo de material acumulado que debe haber entre el porta rollos y el enderezador. En un enderezador de tirón el mandril gira cuando el material es jalado por el enderezador, es muy importante definir que porta rollos se va a comprar antes de comprar un enderezador, ya que si el porta rollos es de tirón, se necesitará mayor capacidad del enderezador, de otra manera la vida del mismo será muy corta. También los hay con expansión automática del mandril o con expansión manual del mandril, mandril sencillo o mandril doble, giro automático o manual en los desenrolladores de mandril doble. La selección del porta rollos depende principalmente del presupuesto con que se cuente y del volumen de producción que se desea producir, ya que el más sencillo de los porta rollos puede hacer la misma función que el más automático, pero el tiempo de montaje de los rollos será mayor, impactando en la productividad. En la figura 5.8 Se muestra la línea completa de troquelado utilizada en el proceso de laminación rotor – estator.

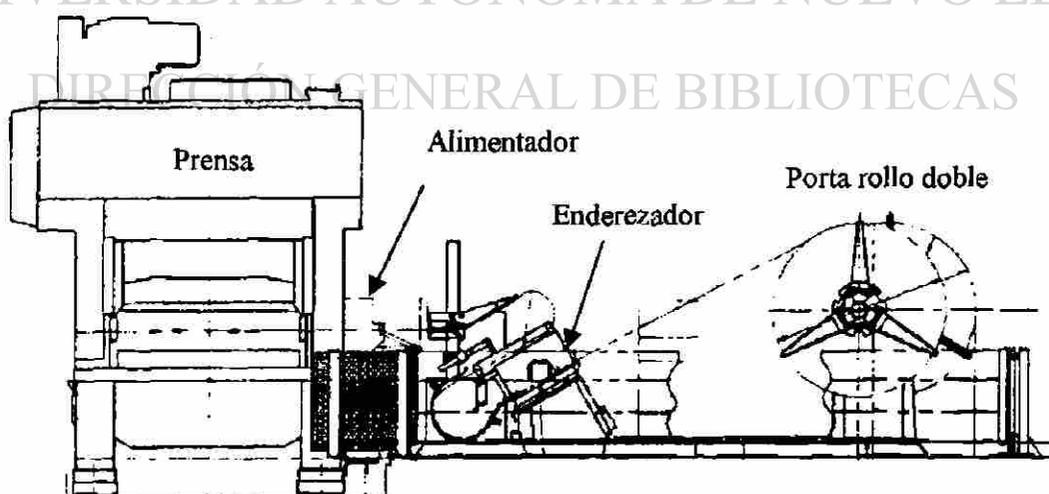


Figura 5.8 Línea de troquelado

## CAPITULO 6

### INICIO DEL DISEÑO

#### 6.1 Información requerida para iniciar un diseño.

La información básica que se necesita para iniciar el diseño de un troquel de laminación es la siguiente: información del producto, información de prensa que se utilizara e información de la materia prima que se utilizara

Información del producto: se requiere el dibujo del producto, en este caso son dos dibujos los que se necesitan, el dibujo de la laminación estator y el dibujo de la laminación rotor. El dibujo debe contener todas las dimensiones, especificaciones y tolerancias críticas que deben considerarse para la fabricación del troquel. Se debe asegurar que el dibujo proporcionado sea el actualizado y autorizado para la fabricación del troquel. En La figura 6.1 a, 6.1 b y 6.1c se muestra el dibujo de la laminación rotor que se desea producir, y en la figura 6.2 a,b y c aparece el dibujo de la laminación estator.

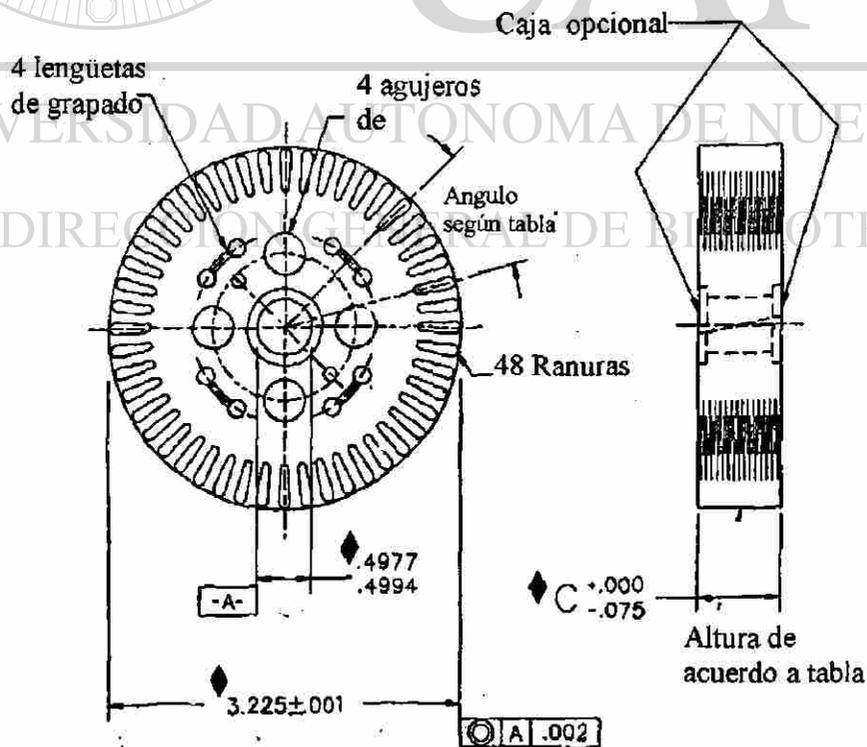


Figura 6.1 a. Dibujo de laminación rotor

Numero de p.	Angulo	No. De laminas	Altura
R291014	11.25 - 13.13	28	875
R291016	11.25 - 13.13	36	1.125
R291018	11.25 - 13.13	44	1.375
R291020	11.25 - 13.13	56	1.750

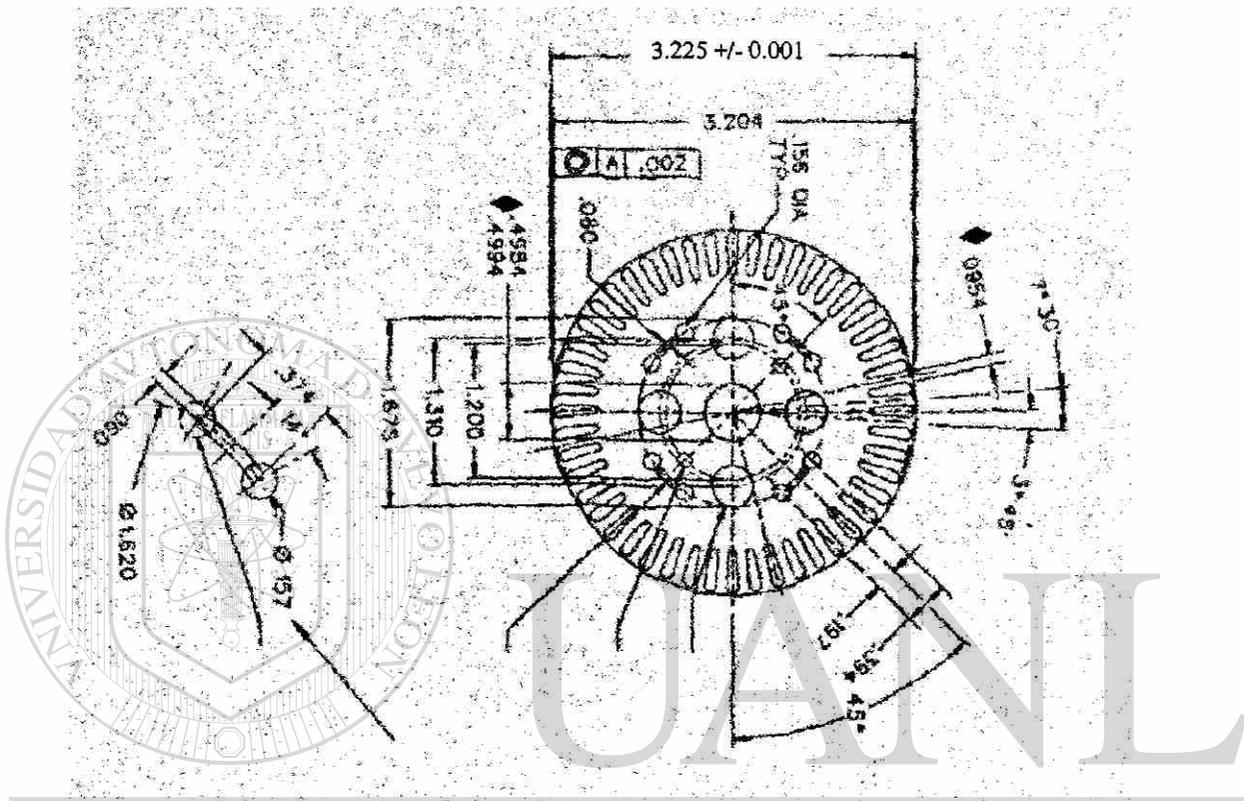


Figura 6.1 b Laminación rotor

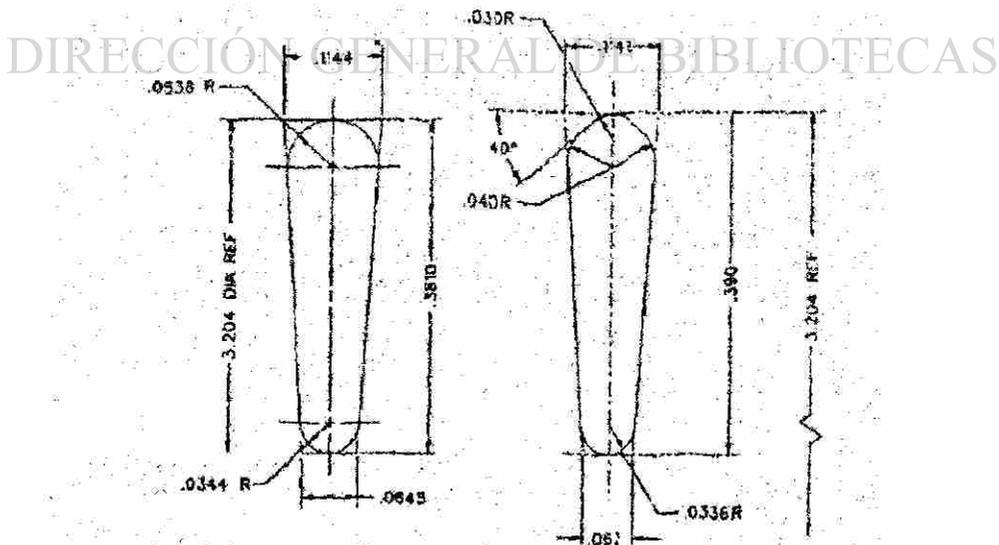


Figura 6.1c Laminación rotor



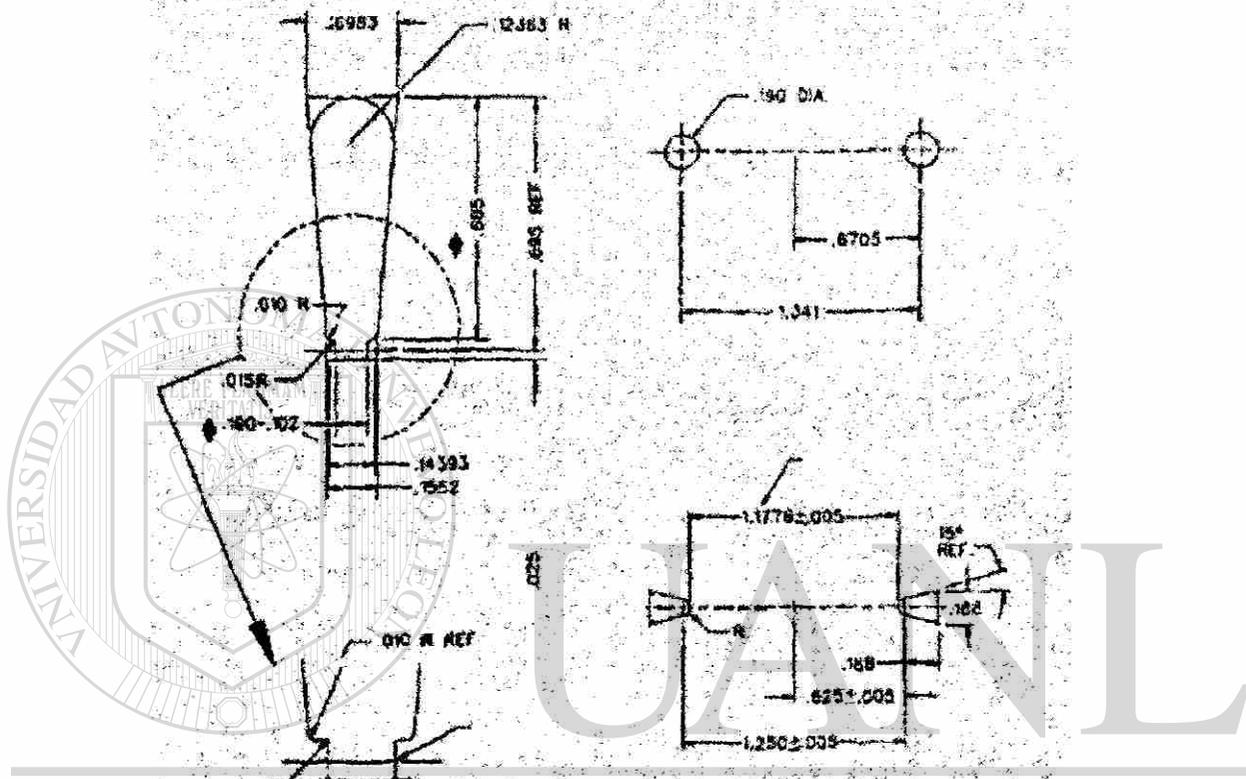


Figura 6.2 b Dibujo de laminación estator

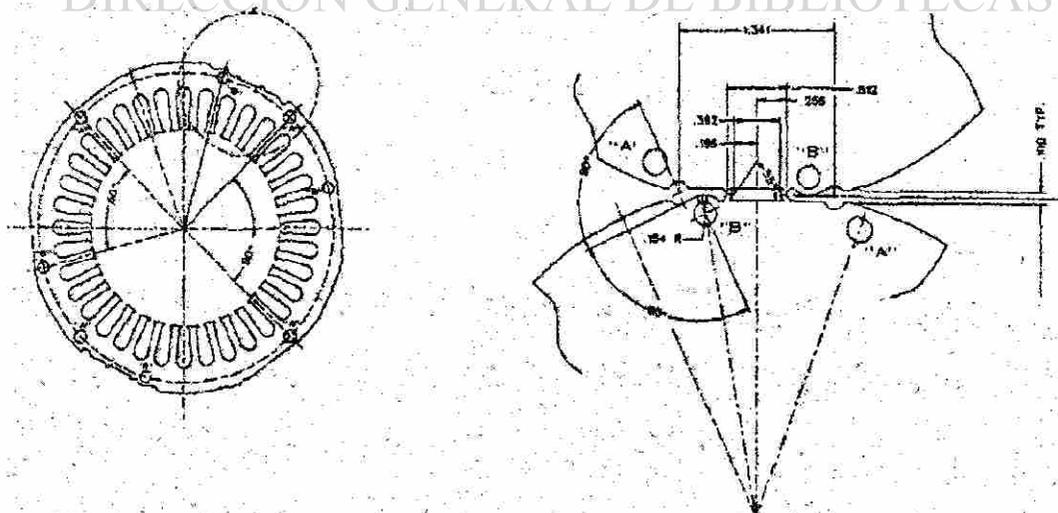


Figura 6.2 c Dibujo de laminación estator

Prensa: se debe de conocer la prensa que será utilizada para correr este troquel. Ya sea que la prensa exista o valla a ser comprada, se debe de conocer modelo, dimensiones generales, y capacidad. Además se deben proporcionar dibujos de la prensa que permita ver todas las características y dimensiones generales. De no existir dibujos, el fabricante del troquel es responsable de obtener estos dibujos con el fabricante, o en su defecto dimensionar la prensa.

Información de la prensa: En este caso la prensa disponible para la operación del nuevo troquel es una prensa Minster de 300 toneladas, la prensa ya existe, es prácticamente nueva, con un año de antigüedad, de acuerdo al catalogo obtenemos la siguiente información:

Modelo de prensa:	PM 300
Capacidad:	300 toneladas
Altura máxima permitida de troquel.	25"
Altura mínima permitida de troquel.	22"
Dimensiones de la platina:	
Ancho:	44"
Largo:	84"
Espesor:	8"
Ranuras T	$\frac{3}{4}$ "

#### Dimensiones del martillo:

Ancho:	
Largo:	84"
Espesor:	3"
Ranuras T	$\frac{3}{4}$ "
Dirección de alimentación.	De derecha a izquierda
Carrera de trabajo	1 $\frac{1}{2}$ "
Ajuste máximo de carrera	3"
Velocidad :	120-500 golpes por minuto

En la figura 6.3 se muestra el dibujo de la prensa con todas sus dimensiones.

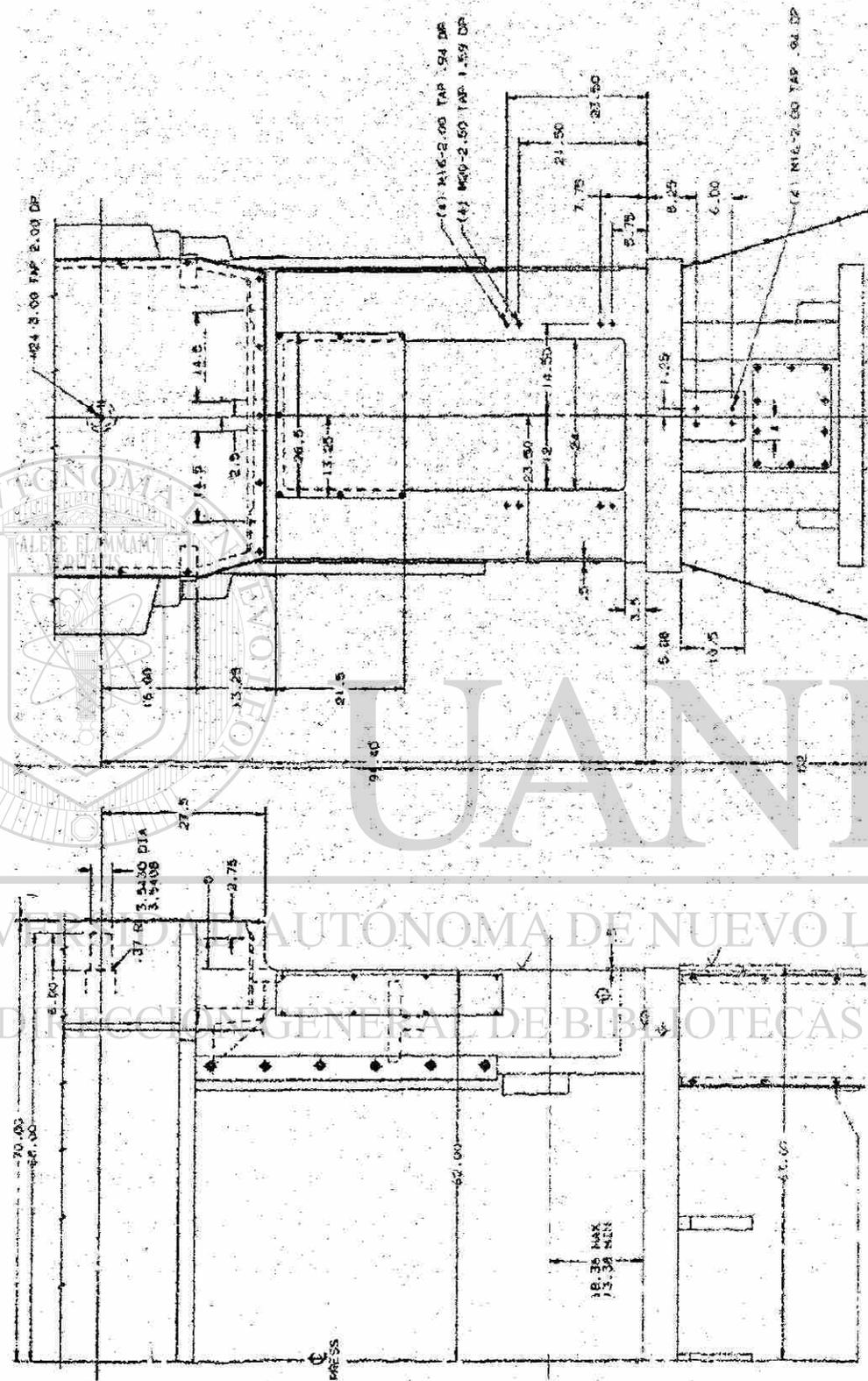


Figura 6.3 Prensa

**Materia prima:** se debe definir que tipo de materia prima utilizara el troquel, cinta recta, cinta preformada o ambas. Si se utiliza cinta recta se debe proporcionar las dimensiones o ancho de la cinta o tira de acero incluyendo las tolerancias de corte. Si se utiliza cinta precortada, se debe proporcionar un dibujo con todas las dimensiones, tolerancias y especificaciones necesarias para la fabricación del troquel.

Por otro lado, se debe proporcionar información del tipo de acero que será utilizado, esta información debe incluir tipo de acero, propiedades mecánicas, composición química, dureza, rugosidad, espesor incluyendo tolerancia, además de características adicionales importantes que deban considerarse en el diseño del troquel.

A continuación se enlista la información de la materia prima, requerida en el diseño del troquel laminación estator – rotor.

**Tipo de materia prima:** para la fabricación del presente troquel se utilizara cinta preformada, la figura 6.4 Muestra el dibujo de la cinta preformada incluyendo dimensiones y tolerancias requeridas.

El material preformado se utiliza con el principal objetivo de ahorrar material, como se puede observar en el dibujo de la laminación estator, esta es de forma redonda, si se utilizara cinta recta se desperdiciaría un 40% del material, para evitar este desperdicio, se utiliza un proceso de preformado en el cual las cintas son troqueladas partiendo de una bobina maestra, las cintas son intercaladas una contra otra, eliminando las áreas de desperdicio de material, en la figura 6.4 se muestra la cinta preformada, se puede apreciar como se intercalan estas cintas. Esta es la razón por la cual se utiliza cinta preformada, para el caso en que las laminaciones son de forma cuadrada o semi cuadrada, se tiene que utilizar cinta recta, ya que no hay un beneficio en ahorro de desperdicio de acero utilizando cinta preformada.

**Tipo de acero:** se utilizara un acero al silicio, de acuerdo al proveedor del acero, que en este caso es Hylsa, el número estándar del acero será SIAL 50. A continuación se dan sus características principales.

**Composición química:**

Carbón	.06 Máximo
Manganeso	.50 / .70
Fósforo	.03 Máximo
Sulfuro	.012 Máximo
Silicio	.50 / .60
Aluminio	.20 / .30
Cobre	.15 Máximo
Níquel	.10 Máximo

**Propiedades mecánicas:**

Límite de cedencia:	4,155 Kg / cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de tensión	4,873 Kg / cm <sup>2</sup>
% Elongación	22
Dureza	75 HRB máximo

**Rugosidad:**

Altura	79 micro pulgadas máximo
Densidad	124 picos por pulgada cuadrada
Espesor :	0.031" +/- 0.002"

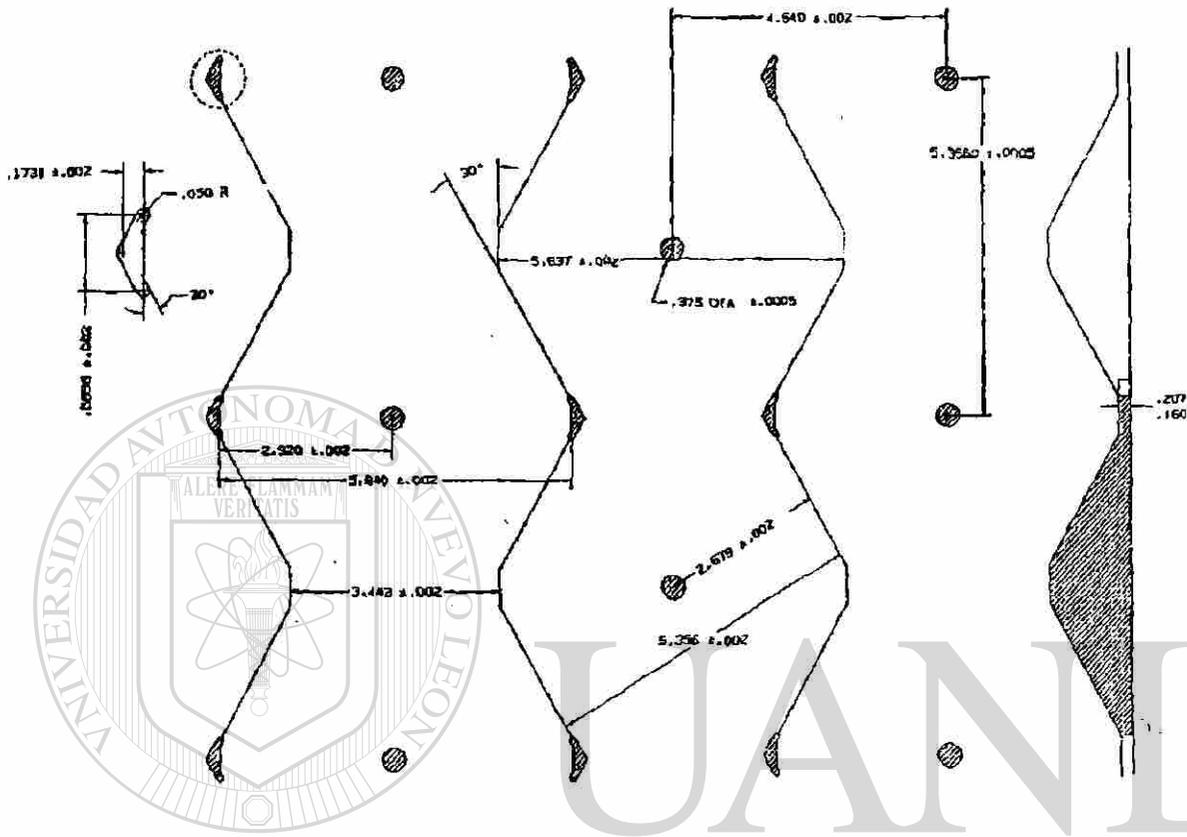


Figura 6.4 Materia prima. acero pre formado.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 6.2 Definir la secuencia de troquelado en la tira de acero

Después de analizar los dibujos del producto, se definió la distribución en la tira de acero pre formado de todas las operaciones de punzonado que se requieren y la secuencia en que se deben ir dando para obtener el producto final. El troquel contara con once estaciones, las primeras cinco estaciones se utilizaran para el troquelado de la laminación rotor básicamente, las restantes seis estaciones serán utilizadas para el troquelado de la laminación rotor. A continuación se dará un descripción de cada estación. el achurado en cada figura indica el material removido o punzonado en cada estación.

Estación 1: de acuerdo a la figura 6.5, se harán las siguientes perforaciones.

El agujero marcado con el numero 1, es el diámetro piloto con el que ya cuenta la tira pre formada. Este diámetro se utilizara como el inicio de tira.

Los agujeros marcados con el numero 2, son cuatro perforaciones que se harán, para pilotear la tira en cada una de las estaciones siguientes.

Los agujeros marcados con el numero 3, se utilizaran para el formado de la grapa, en el capítulo 7 se explicara su función al detalle.

Por ultimo, se hacen tres perforaciones alargadas, estas se utilizan para ir formando la configuración exterior de la laminación estator, y para ir debilitando la tira. Estas perforaciones están marcadas con el numero 4.

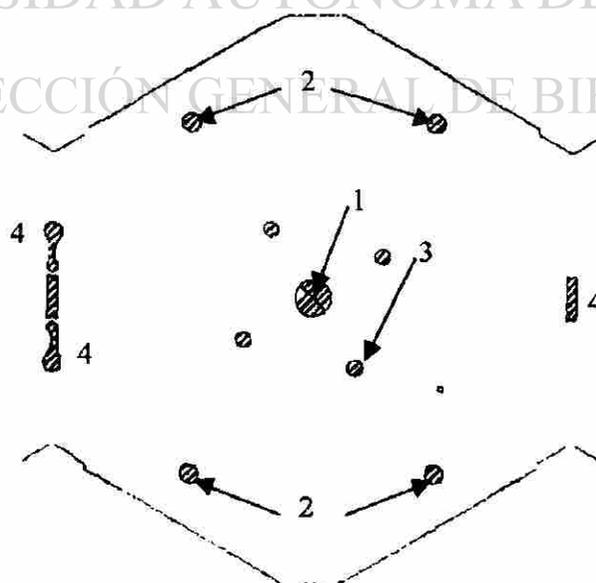


Figura 6.5 Tira de acero Estación 1

Estación 2: se perforara las ranuras del rotor, en la figura 6.6, estas ranuras aparecen marcadas con el numero 1. También se perforan cuatro agujeros redondos, marcados con el numero 2, estos agujeros tienen varias finalidades, en el capítulo 7 se explicaran mas al detalle

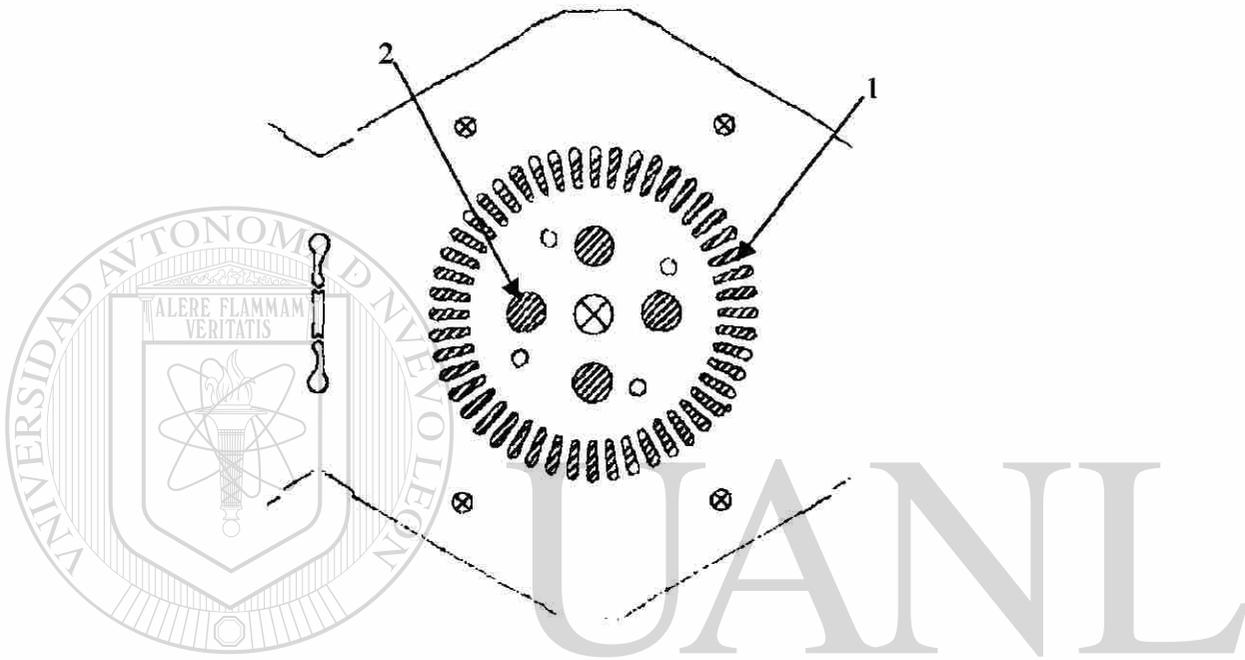


Figura 6.6 Tira de acero Estación 2

En la estación 3. En esta estación se localizara la lamina separadora, por lo tanto en esta estación se perforara las cuatro ranuras que se necesitan para que la lamina separadora se pueda unir al las demás laminaciones y así formar el rotor final. Estas ranuras se indican con el numero 1 en la figura 6.7. por otro lado, también se perforan cuatro agujeros redondos, estos agujeros se conocen como agujeros tornillo. Estos agujeros los llevara la laminación estator cuando este terminada, se utilizan para unir el estator a la carcaza del motor. Se indican en la figura con el numero 2.

En la estación 4 se hará el diámetro interior del rotor y se hará el formado de las lengüetas de grapado. estas operaciones se indican como 1 y 2 en la figura 6.8

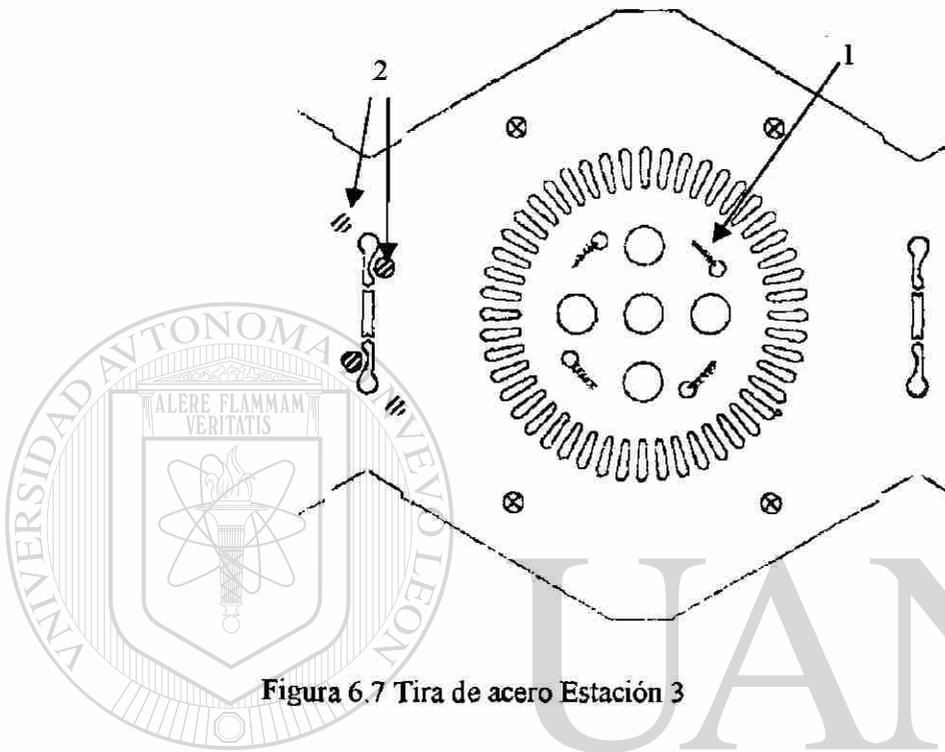


Figura 6.7 Tira de acero Estación 3

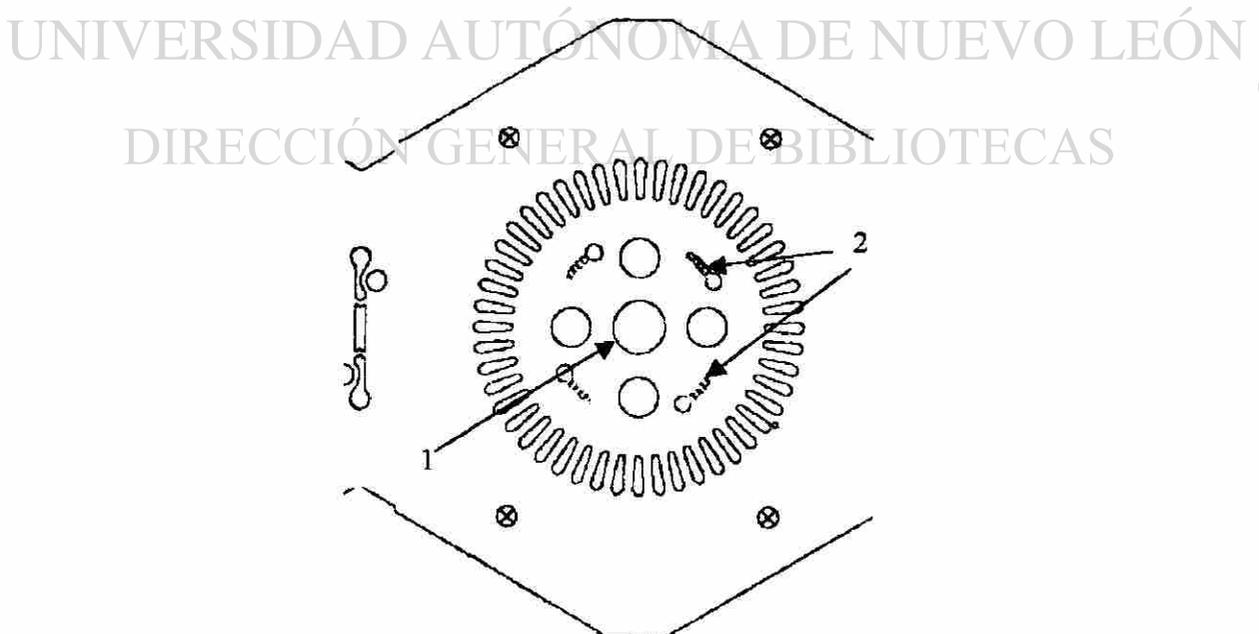


Figura 6.8 Tira de acero Estación 4

En la estación 5 es una de las estaciones más importantes del troquel, su definición es una decisión estratégica para el correcto funcionamiento del troquel, aquí se recortara la lamina de rotor, y se hará el grapado de cada una de las laminas hasta obtener el rotor final. Esta estación se conoce mejor como matriz rotacional. En la figura 6.9 se aprecia toda el área del rotor achurado, esto indica que se está recortando la lamina rotor con un diámetro igual al indicado en el dibujo del producto.

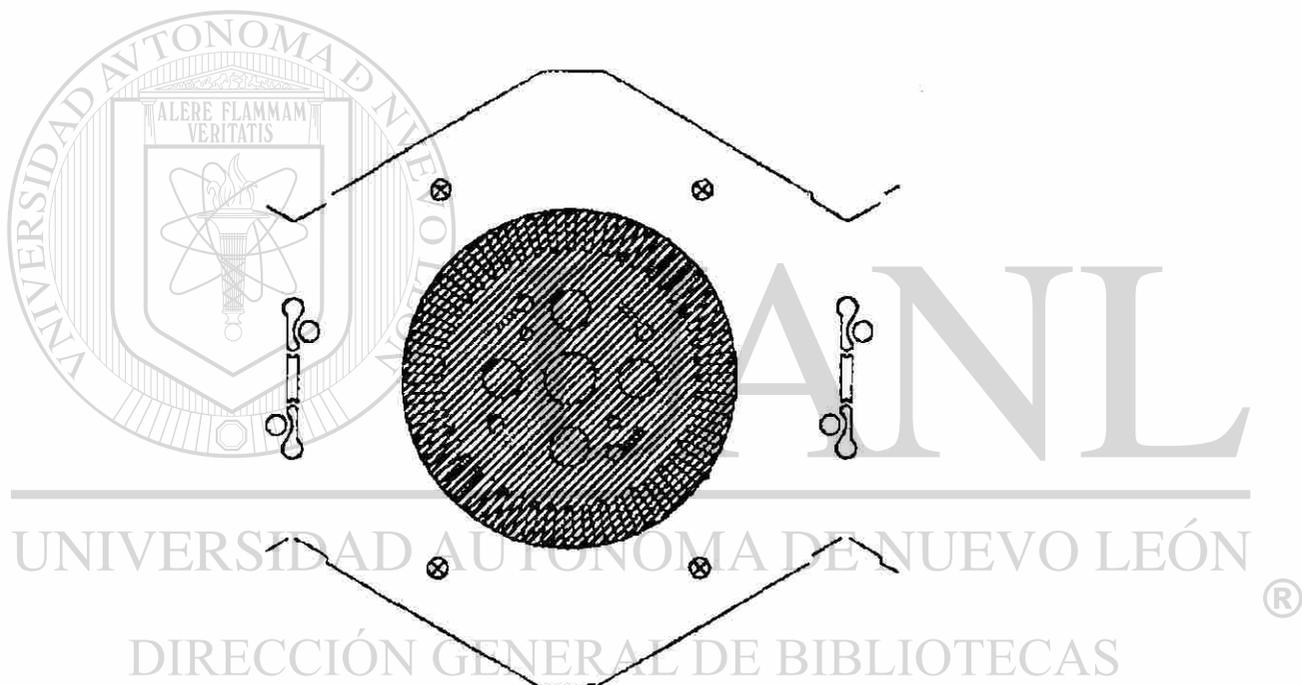


Figura 6.9 Estación 5

Estación 6: esta estación estará vacía, esto significa que no se desarrollara ningún trabajo de troquelado en esta estación, la principal razón es que la matriz rotacional utiliza un gran cantidad de área de acuerdo a la separación entre las estaciones no es posible tener una estación de trabajo contigua. Otra razón es que al consumir gran área

de trabajo la estación 5 debilita la resistencia del troquel, intercalar otra estación acelera la fatiga del troquel por esto se recomienda dejar estaciones vacías donde se presenten estas condiciones.

En la estación 7 inicia el formado de la laminación estator, como paso inicial se troquelaran las ranuras de la laminación estator, de acuerdo al dibujo del estator se requieren 36 ranuras, las ranuras se dejan cerradas, esto quiere decir que no están comunicadas con el diámetro interior del estator, en la estación del punzonado del diámetro interior también se prolongara las ranuras para que estén interconectadas con el diámetro interior. Las ranuras deben de estar abiertas para que el alambre magneto pueda insertarse en ellas, y es a través del diámetro interior que se realiza esta operación en la línea de embobinado. La estación 7 se muestra en la figura 6.10

En la estación 8 se deja otra estación vacía, la razón es la misma que se explico en la estación 6. solamente se troquelaran cuatro agujeros de tornillo del estator, estos agujeros se utilizan para sujetar el estator a la carcasa del motor. La figura 6.11 muestra esta estación.

Ranuras del estator

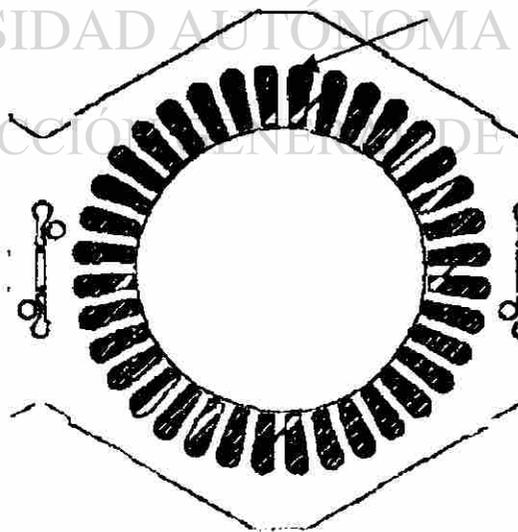


Figura 6.10 Tira de acero Estación 7

Agujero Tornillo

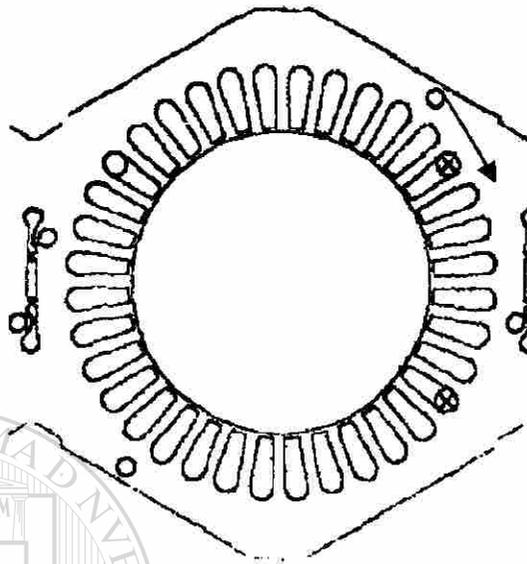
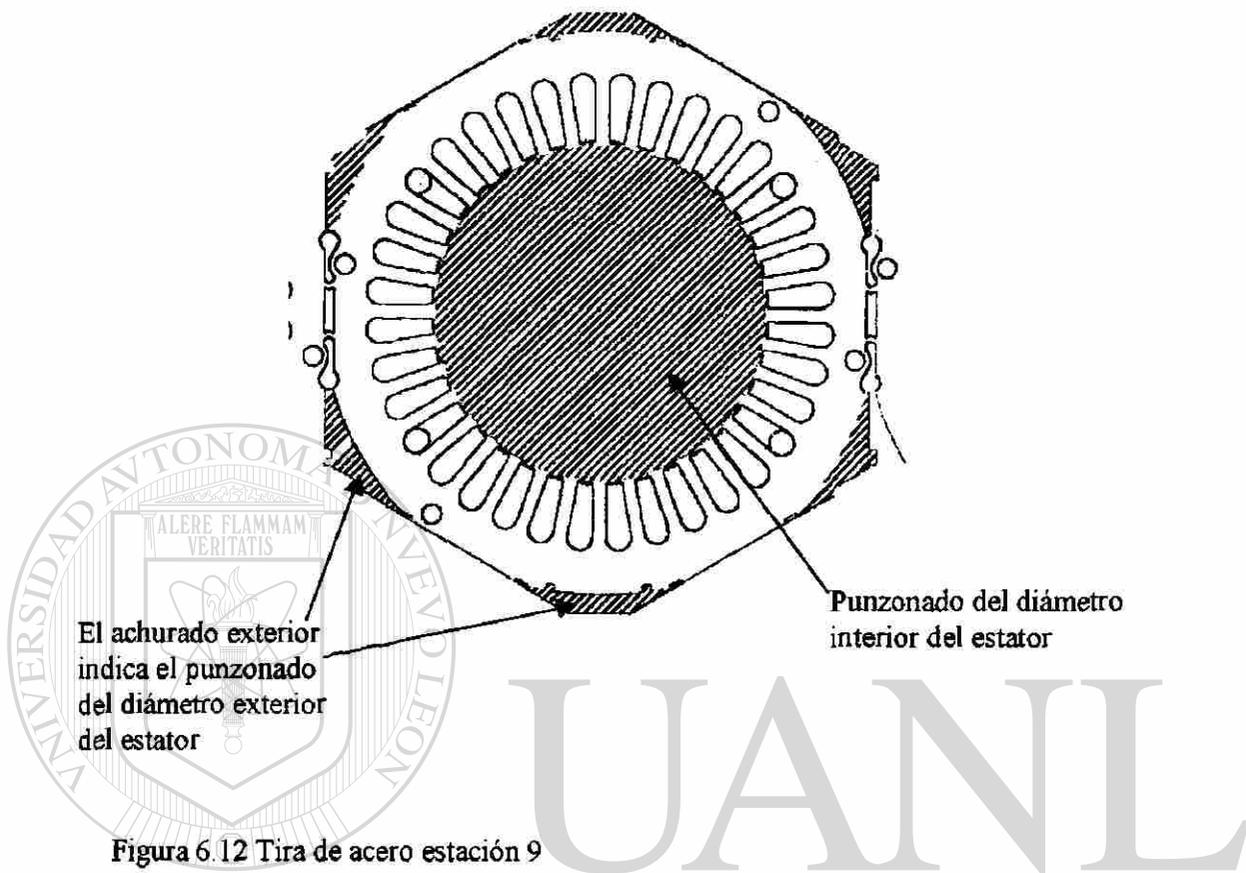


Figura 6.11 Tira de acero estación 8

Estación 9: En la estación nueve se punzonara el diámetro interior y exterior de la laminación estator. Esta estación al igual que la estación de la matriz rotacional son fundamentales en el éxito de este troquel, una condición dimensional difícil de controlara en troqueles de laminación es la concetricidad entre el diámetro interior y diámetro exterior del estator, la mayor parte de los troqueles se realiza el punzonado del diámetro interior y diámetro exterior en estaciones independientes, esto principalmente para simplificar el diseño y coste de fabricación. Desgraciadamente en la practica es mas complicado controlar la concetricidad del estator. la forma mas efectiva que se a encontrado para mantener la concetricidad dentro de especificaciones es la de troquelar ambos diámetros en la misma estación. Haciéndolo de esta forma es prácticamente imposible que la concetricidad se salga de control, únicamente cuando los punzones y las matrices presentan desgaste es cuando se presentan problemas de concetricidad, pero con una simple rectificada se elimina el problema. El diseño de las matrices será mas complicado, ya que el área para acomodar todas ellas será reducida, pero este costo se justifica en la practica al eliminar todos lo problemas típicos con el diseño convencional. estator. En la figura 6.12 se muestra esta operación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La estación 10 al igual que la estación 6 y 8 será una estación vacía. Las razones son las mismas ya explicadas.

Estación 11. Por último tenemos la estación once, en esta estación se recorta la laminación estator. Al llegar a esta estación, el estator va sujeto a la tira solamente por dos pequeñas extensiones de material, las cuales se recortan por cizallado. La alineación y alimentación de la tira deben ser muy precisas, de lo contrario será común que la tira se salga de posición y ocurra una pérdida de paso con consecuencias graves para el troquel. En la figura 6.13 se muestran estos detalles. Por último, en la figura

6.14 se muestra la tira completa, las estaciones están arregladas de acuerdo a la secuencia antes mencionada.

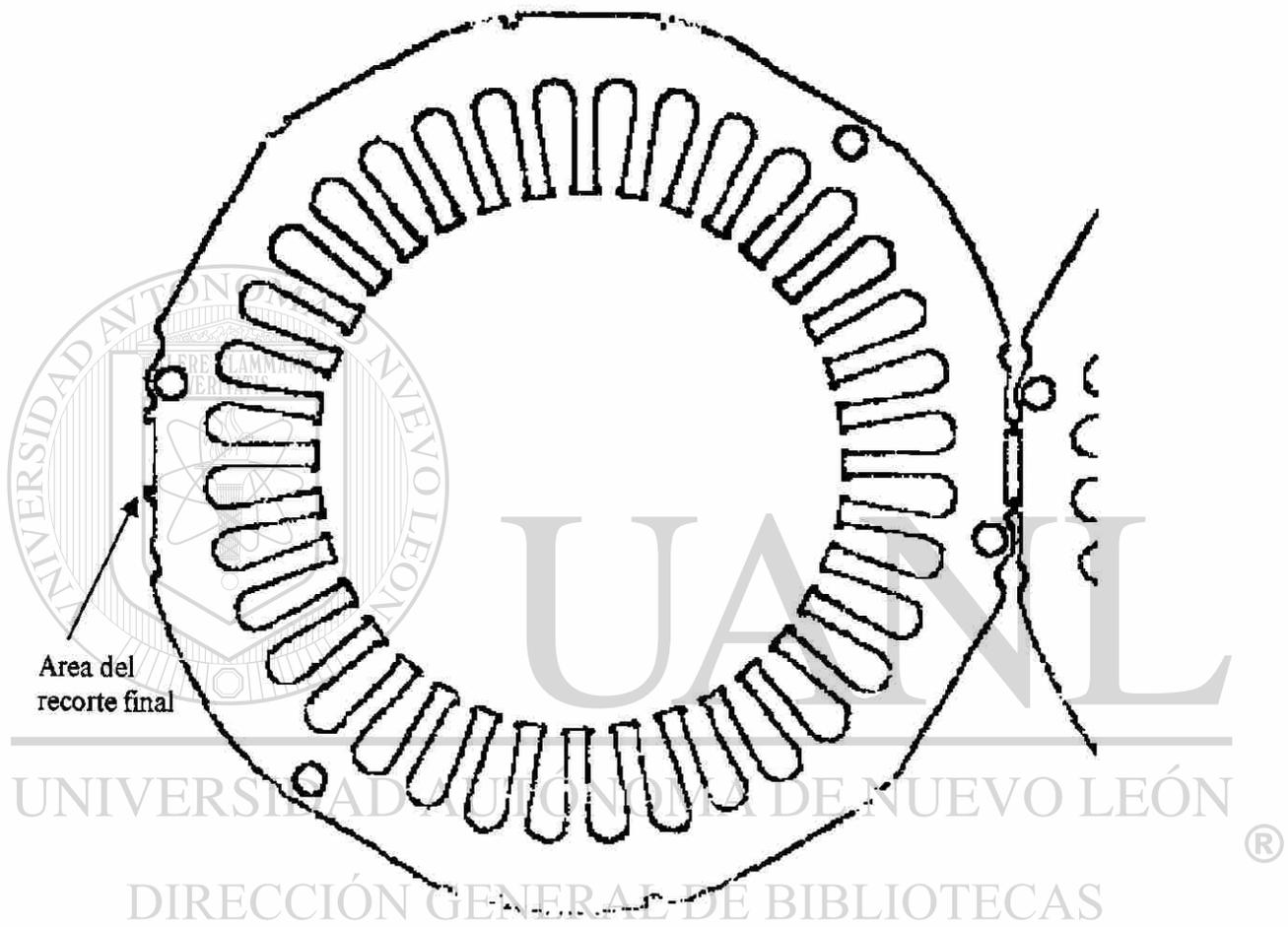


Figura 6.13 Tira de acero ultima estación



Figura 6.14 Tira de acero completa

### 6.3 Definir el tonelaje requerido para troquelar.

El tonelaje que se requiere para que el troquel realice su función se calcula utilizando la siguiente formula.<sup>2</sup>

$$A \times E \times Ec. = \text{toneladas requeridas.}$$

Donde:

A: área de corte

E: espesor del material

Ec.: esfuerzo de corte del material

para calcular el tonelaje total requerido para la operación del troquel, se necesita hacer una sumatoria de todas las áreas de corte del troquel, en este tipo de troqueles el calculo del tonelaje requerido seria una labor muy cansada si no hubiera programas de computadora que pudieran calcular todas las áreas de corte, ya que por ejemplo en este troquel hay 133 punzones de corte, y la mayoría de los punzones son de formas irregulares, lo cual hace mas complicado llegar a este calculo. Afortunadamente utilizando uno de estos programas llegamos al calculo total del área que es de:

$$A = 120 \text{ in}^2$$

E: El espesor del material que se va a utilizar es de .031”

Ec: para el esfuerzo de corte del material se considera el factor de 25 Toneladas. Por pulgada cubica, este factor puede utilizarse satisfactoriamente para aceros al bajo carbono.

$$Ec = 25 \text{ Tons/ in}^3$$

Con estos datos ya podemos calcular el tonelaje requerido

$A \times E \times Ec = \text{Toneladas Requeridas}$

$$120 \text{ in}^2 \times .031'' \times 25 \text{ Tons/in}^3 = 93 \text{ toneladas}$$

Se requieren 93 toneladas para realizar el trabajo de troquelado, pero como ya se explico este troquel utiliza un despegador de resortes, la fuerza que requiere un despegador para despegar el material es proporcionada por los resortes, esta fuerza actúa en contra de la fuerza transmitida por la prensa, por lo cual debe añadirse al tonelaje total requerido para realizar el trabajo. No hay una fórmula para calcular esta fuerza, se considera como estándar utilizar el 30% de la fuerza de troquelado.

$$\text{Fuerza del despegador} = .30 \times 93 = 27.9 = 28 \text{ toneladas.}$$

Fuerza total requerida para realizar el trabajo: Fuerza de troquelado mas fuerza requerida por el despegador.

$$= 93 \text{ toneladas} + 28 \text{ toneladas}$$

$$= 121 \text{ toneladas.}$$

**Conclusión :** Se requieren 121 toneladas para realizar el trabajo de troquelado.

## CAPITULO 7

### DISEÑO DE ENSAMBLE FINAL

Después de haber terminado los pasos iniciales como lo fue el definir la distribución o trazo de la tira troquelada, definir tonelaje requerido, y definir el diseño conceptual, entramos a la etapa del diseño final del troquel.

Con el conocimiento claro de la secuencia de operaciones se llegó al diseño que se muestra en la figura 7.1 en esta figura se aprecia la vista de planta del troquel, como ya se había definido en el diseño de la tira de acero, este troquel contara con 11 estaciones. 8 estaciones de trabajo y 3 estaciones vacías. En la figura 7.2 aparece la vista frontal en elevación, y finalmente la figura 7.3 muestra la vista lateral en elevación. En cada una de las figuras antes mencionadas se indican las características generales del troquel.

Las figuras mencionadas muestran el diseño final de lo que será este troquel, pero de acuerdo al número de estaciones y a las dimensiones del producto, las dimensiones finales del troquel serán de 64" X 26", lo cual hace que sea muy difícil apreciarlo claramente en una vista total completa, de tal manera que para poder explicar claramente el diseño de este troquel se analizara por estaciones, y se explicara los conceptos fundamentales de cada una. No se dará detalles que no sean parte del objetivo de este estudio, que es el de entender la técnica de diseño de troqueles de alta velocidad. Esto es debido a que este estudio será parte del entrenamiento de personal cuya función es el mantenimiento y operación de este tipo de troqueles, esta función implica tener conocimientos técnicos, específicamente en troquelado, y definitivamente, para entender esta técnica deben conocer los aspectos técnicos generales de troquelado.

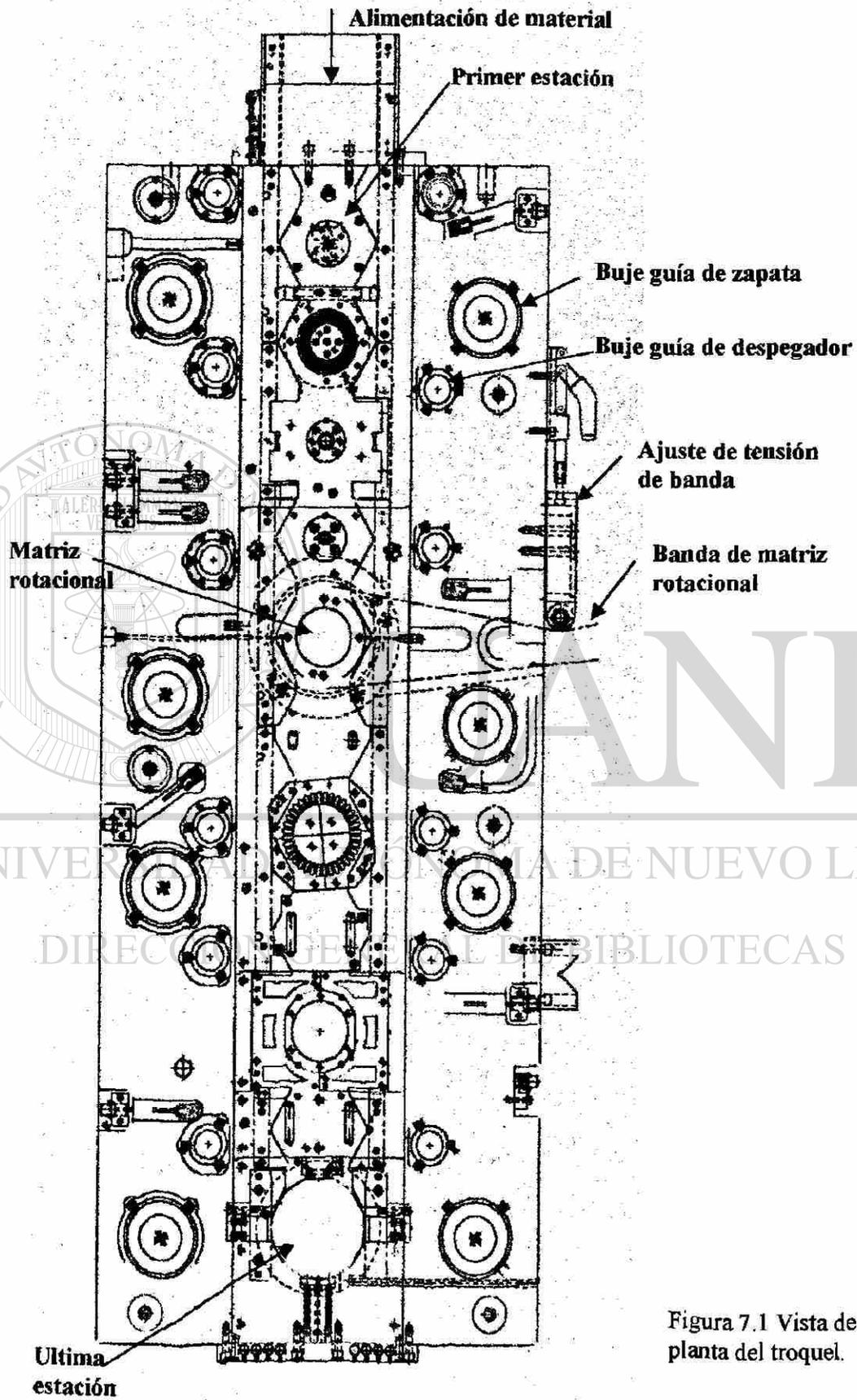


Figura 7.1 Vista de planta del troquel.



Figura 7.2 Vista frontal de troquel

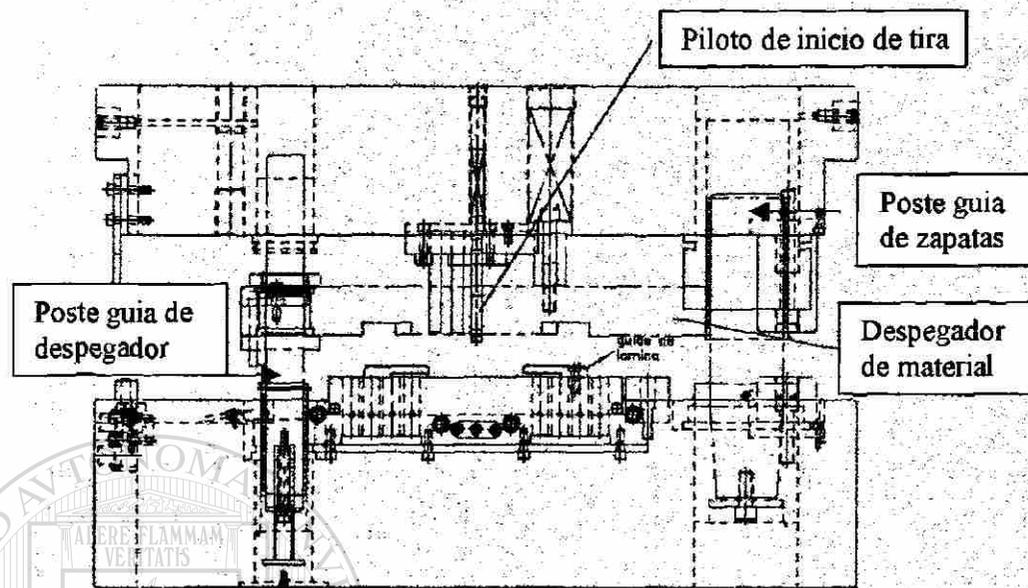


Figura 7.3 Vista lateral de troquel

### 7.1 Estación 1.

En la figura 7.4 se muestra la estación 1 de la tira de acero, en ella se aprecian las diferentes perforaciones que se realizan en esta estación, el número 1 indica el agujero piloto con el que ya cuenta la tira pre formada, y el cual se utilizara en la estación uno y dos para centrar la tira y detectar la mala progresión. El número 2 indica los agujeros que se utilizaran en las estaciones posteriores para el centrado de la tira. El número 3 indica los agujeros que sirven como auxiliares en el formado de la grapa. Finalmente el número cuatro indica cuatro ranuras que se hacen par ir debilitando y separando la tira, estas tres ranuras forman las dos extensiones de material del cual queda unido la lamina de estator antes de ser recortada en la ultima estación. Iniciaré explicando como se inicia el troquelado, después se explicaran las funciones y diseño de los componentes más importantes de esta estación.

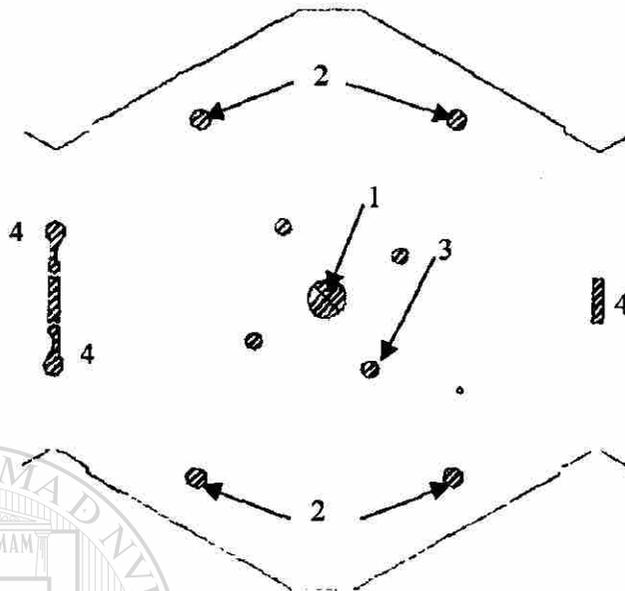


Figura 7.4 Tira de acero mostrando la estación 1

En la figura 7.5 se muestra la vista de planta de la estación número uno del troquel, la operación inicial es centrar la tira en la estación por medio de un perno centrador que se localiza al centro de la estación en la parte inferior. Este perno sobre sale del nivel de las matrices, está pivotado por un resorte y su función es solamente la de pre centrar la tira, la función principal de centrado de la tira la hace el piloto centrador localizado en la parte superior de la misma estación. La dimensión de este piloto es de 0.005" más pequeña que el diámetro del agujero de la tira, esto con la intención de lograr una alineación precisa.

Además de centrar la tira, el piloto cumple la función de detectar mala progresión en la tira, la mala progresión significa que la distancia entre los agujeros de la tira pre formada está fuera de especificaciones. La detección de mala progresión y paro automático de la prensa se logra mediante la función de dos pilotos y un dispositivo electrónico de paro automático. En la figura 7.6 se muestra la combinación de estos dos pilotos, el primero de ellos es el que ya platicamos, y el cual está localizado en la estación número uno, el segundo piloto se localiza al centro de la segunda estación y de igual forma que el piloto anterior, su función es localizar el agujero piloto de la tira

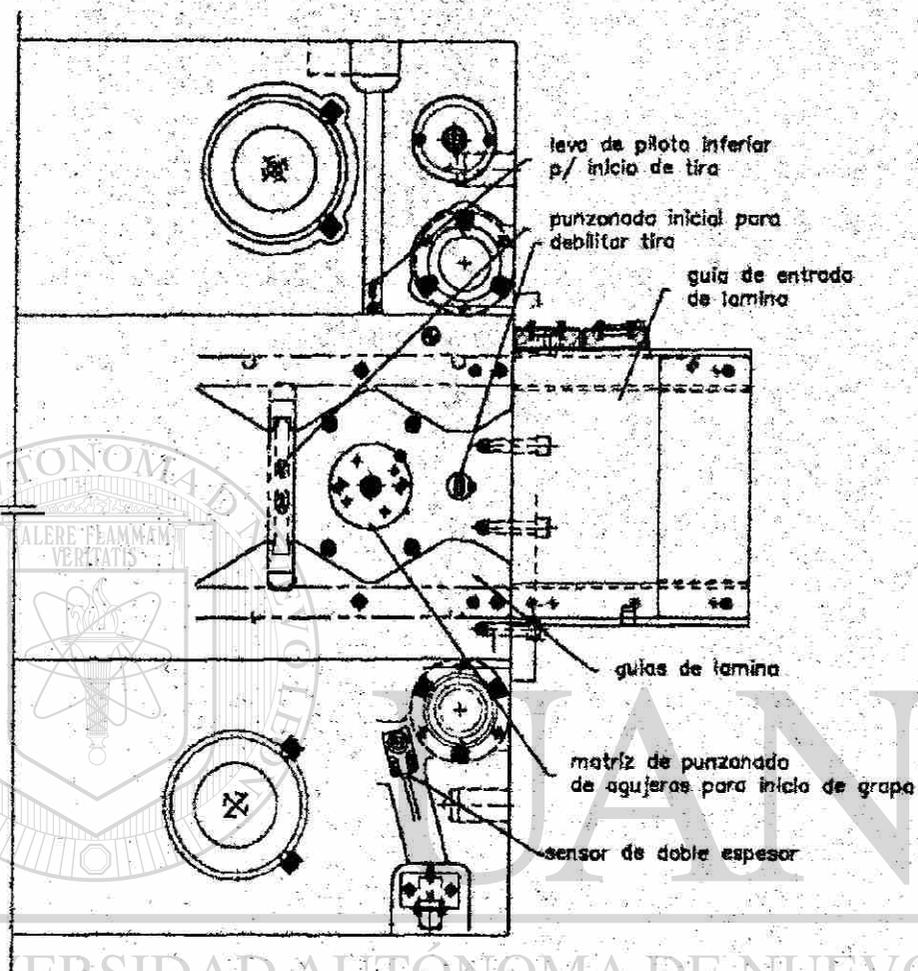


Figura 7.5 Estación 1 vista de planta

pre formada, como se ve en la figura 7.5, la distancia entre los dos pilotos es la misma separación que debe de haber entre cada uno de los agujeros de la tira, cuando uno de estos agujero esta fuera de posición el piloto número uno se comprimirá, al hacerlo empujara una varilla la cual a su vez activara un sensor electrónico, este sensor esta conectado al controlador del troquel, esta señal envía una orden de paro a la prensa. En la figura 7.6 se muestra la sección del dispositivo de detección de pérdida de paso.

Es importante explicar que los pilotos localizadores de la tira están apoyados sobre resortes, esto cumple dos funciones básicas, una la de permitir que el o los pilotos de pérdida de paso se puedan comprimir para poder activar el dispositivo de paro

automático de la prensa, la segunda función fundamental, es que al comprimirse cuando hay una pérdida de paso también evitan daños mayores en el troquel, ya que si no se comprimieran, cuando la lamina se salió de posición tratarían de perforar la lamina, esto ocasionaría daños en las matrices. Es importante aclarar que una pérdida de paso se puede dar por dos razones principales, una es cuando la distancia entre los agujeros de la tira pre formada es incorrecta, y la otra es cuando la tira al ser alimentada se salió de posición, debido a alimentación insuficiente o excesiva, esta falla puede ser ocasionada debido a fallas en el alimentador principalmente, o a alguna falla externa adicional.

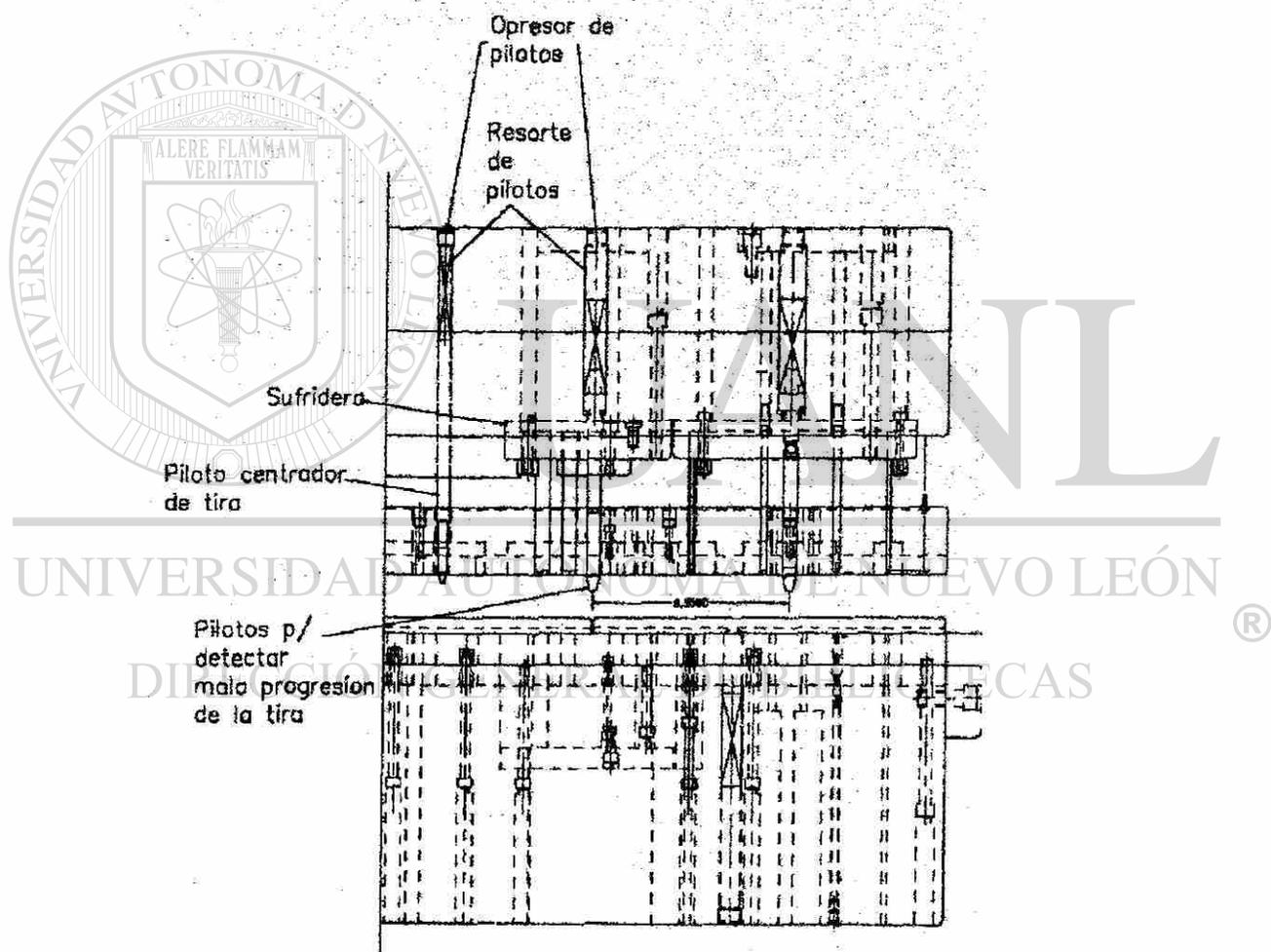


Figura 7.6 Elevación de estación 1 del troquel indicando pilotos localizadores

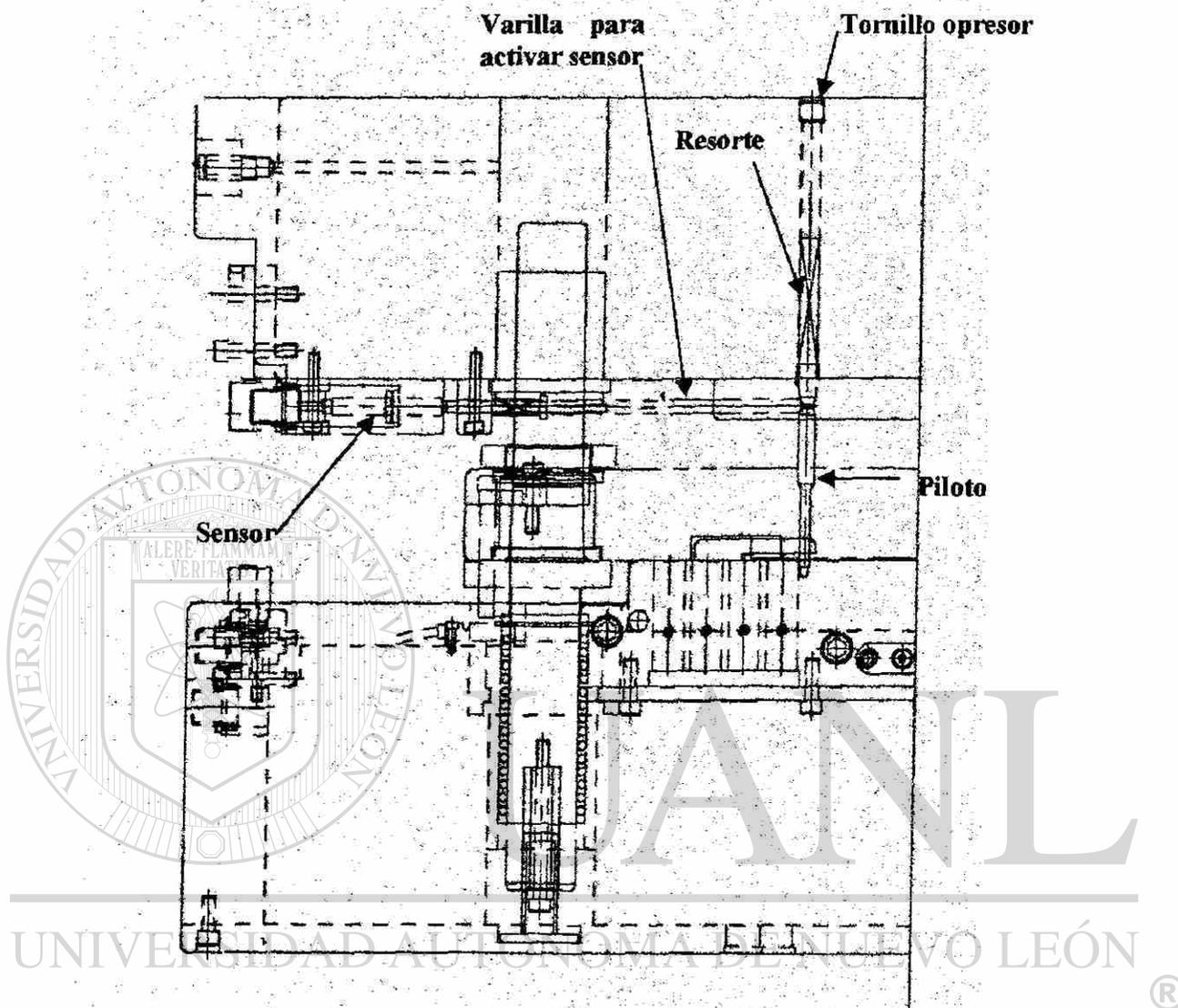


Figura 7.7 dispositivo de detección de pérdida de paso

Hay dos diseños básicos de despegadores, el despegador de jaula y el despegador de resortes. El despegador de jaula es fijo, se atornilla a la parte inferior del troquel, su función es la de guiar el material y despegarlo de los punzones después de cada golpe. El despegador de resortes se sujeta a la zapata superior del troquel, su función principal es la de despegar el material de los punzones después de cada golpe. Ambos diseños se utilizan en la fabricación de troqueles de laminación, pero el más utilizado es el de resortes, ya que permite mayor flexibilidad durante la operación. Cuando se requiere

solucionar algún problema durante la operación del troquel, es muy difícil hacerlo con un despegador de resortes, ya que no se tiene acceso a las matrices, un despegador de resortes deja completamente libre el área de la matrices, permitiendo que muy fácilmente se pueda solucionar algún problema sin tener que bajar el troquel. Por otro lado, hay otra sub división de despegadores. Estos los del tipo despegador guía de punzones y los despegadores sin guía de punzones. Igualmente ambos tipos de despegadores se utilizan en la fabricación de troqueles de laminación, el diseño guiado es mas complicado y mas costoso desde el punto de vista de fabricación, pero es el que ofrece mejores resultados. Los punzones de laminación como ya se menciono se fabrican en carburo de tungsteno, este material es de muy alta resistencia al desgaste, pero su excesiva dureza lo vuelve también muy frágil. Si el punzón se flexiona producto de los esfuerzos de troquelado lo mas probable es que se fracture, para evitar este tipo de fallas, se utilizan bujes guía, los cuales se insertan en el despegador del material, este buje reduce considerablemente el juego del punzón eliminando la posibilidad de que el punzón se flexione y falle por fractura. La tolerancia que se utiliza en estos bujes guía es de alrededor de 0.0005", esto también puede resultar riesgoso, ya que si el despegador de material se llega a flexionar o a comprimir de manera irregular ocasionara esfuerzo de flexión sobre los punzones, cuando esto sucede resulta en el daño de la mayor parte de los punzones, lo cual representaría un costo muy alto de reaparición. Este tipo de problemas se presenta sobre todo en la operación de la prensa, es por eso que se requieren operarios calificados para trabajar con este tipo de troqueles. En la actualidad el tipo de porta punzón que mas se utiliza es el de resortes con bujes guía de punzones. Solamente para diseños muy sencillos y producciones muy pequeñas se justifica utilizar otro tipo de diseño. Cuando se utiliza el despegador guiado, los punzones deben de ser flotantes, esto quiere decir que el alojamiento del porta punzón estará sobre dimensionado, esto permitirá que el punzón tenga algo de movimiento, y que solo el despegador sea el que guía al punzón, de lo contrario se crearía una interferencia entre despegador y porta punzones, ocasionando fallas en los mismos. En la figura 7.4 se indican cuatro agujeros con el número 2, estos agujeros se utilizaran para localizar la tira en cada una de las estaciones del troquel, en cada estación habrá cuatro pilotos que coincidirán con estos agujeros, al igual que los punzones, los pilotos están guiados en el despegador mediante bujes guías. estos agujeros piloto adicionales son necesario ya

que después de la estación numero 3 desaparecen los agujeros pilotos de la tira pre formada. En la figura 7.6 se muestran los pilotos mencionados indicándose como pilotos centradores de tira.

El numero 3 en la figura de la tira de acero indica cuatro agujeros que se utilizaran para el inicio de la grapa, estos agujeros funcionan como desahogo, ya que en el formado de la grapa, la lengüeta que da sujeta a un solo extremo, el extremo que debe quedar desprendido coincide con el agujero, esto reduce el esfuerzo del punzón y mejora el formado de la grapa. El ángulo de inclinación del rotor puede ser izquierdo o derecho, esto de acuerdo a las características del producto, incluso hay rotores que cuentan con ángulo en "V", debido la matriz debe contar con agujeros que coincidan con ambos extremos de la lengüeta. El cuarto punzonado es el de debilitado de la tira, esta operación no es necesario que se realice en esta estación, pero de acuerdo a la distribución de operaciones se encontró que era donde mejor se podía ubicar. Las matrices y punzones para los agujeros de pilotaje son de sección redonda y de diseño muy sencillo, por esto no se incluirán en esta explicación, solo se mostrar el dibujo de la matriz para inicio de grapa y la matriz y el punzón para el debilitamiento de la tira.

La figura 7.8 muestra la matriz para los agujeros de inicio de grapa, Se utilizara una sola matriz para integrar los cuatro agujeros auxiliares del formado de grapa, pero como ya se acaba de mencionar, se puede apreciar, la matriz cuenta con ocho agujeros para inicio de grapa. Cuatro para ángulo derecho y cuatro para ángulo izquierdo. se utilizaran solo cuatro de ellos a la vez. pero el ángulo del rotor puede ser izquierdo o derecho, por eso cuatro de estos agujeros se utilizaran para ángulo derecho, y cuatro de ellos se utilizaran para ángulo izquierdo, la estación cuenta con ocho punzones montados al mismo tiempo, mediante un mecanismo de levas se activan los punzones que se desea utilizar, este mecanismo funciona de la misma manera al mostrado en la figura 7.16, la unica diferencia es que los pistones se activan de manera manual, no están conectados al controlador. Por otro lado, el agujero central será el que el piloto utilizara para el centrado de la lamina, se utilizaran dos agujeros para sujetar la matriz a la porta matriz, el ajuste de la matriz es deslizante, queda encajonada en la porta matriz, para evitar que la matriz sea ensamblada en posición equivocada se utiliza un piloto que define una sola forma de ensamble. Estas son las características principales de la matriz de inicio de grapa.

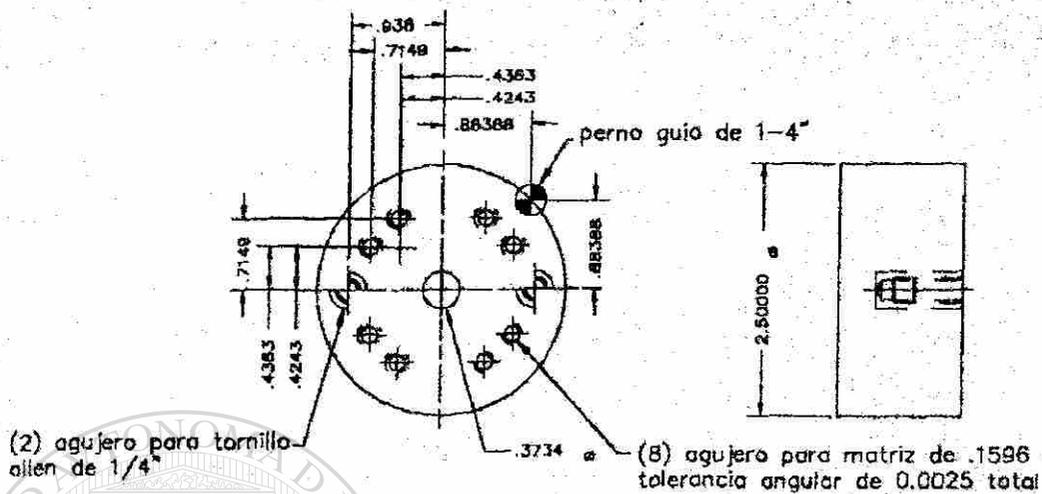


Figura 7.8 Matriz para inicio de grapa

La matriz que se utiliza en el punzonado de separado de tira es una matriz de sección redonda, en la figura 7.9 se muestra esta matriz. En general es de diseño sencillo, la única característica especial es el desahogo angular con el que cuenta, los desahogos de corte en matrices para troquelado en general son principalmente del tipo recto, en troquelado de laminación se utiliza un desahogo angular, como en este tipo de aplicaciones se utilizan materiales de trabajo de bajo espesor, la matriz no puede contar con una sección recta, ya que ocasionaría que las semillas se atascaran y que los punzones se sobre cargaran, para facilitar el desahogo de la matriz se utiliza un desahogo angular, mediante este ángulo la rebaba es empujada hacia abajo muy fácilmente. El ángulo debe ser de muy poca inclinación, ya que como crece después de cada rectificadora, si fuera de gran proporción la vida de la matriz sería muy corta. todas la matrices utilizadas en troquelado de laminación cumplen con esta característica. Solamente la matriz utilizada en la estación de rasurado del diámetro interior de estator no se apeg a este sistema, la razón se explicara en el punto 7.8.



## 7.2 Punzonado de las ranuras del rotor

La estación número 2 se definió como la de punzonado de las ranuras de rotor. En la figura 7.10 se muestra la sección de la tira de la estación 2. Como se puede ver en la figura en la segunda estación se punzona las ranuras de la laminación del rotor además de cuatro agujeros de ventilación que no tienen relevancia en la explicación de esta técnica de diseño, solo son requisito o características especiales del producto. Las ranuras del rotor deben ser 48 en total, el número de ranuras y la geometría de las mismas dependen del diseño de cada producto en particular. Las ranuras del rotor se indican con el número 1 en la figura 7.10, el número 2 indica los agujeros de ventilación.

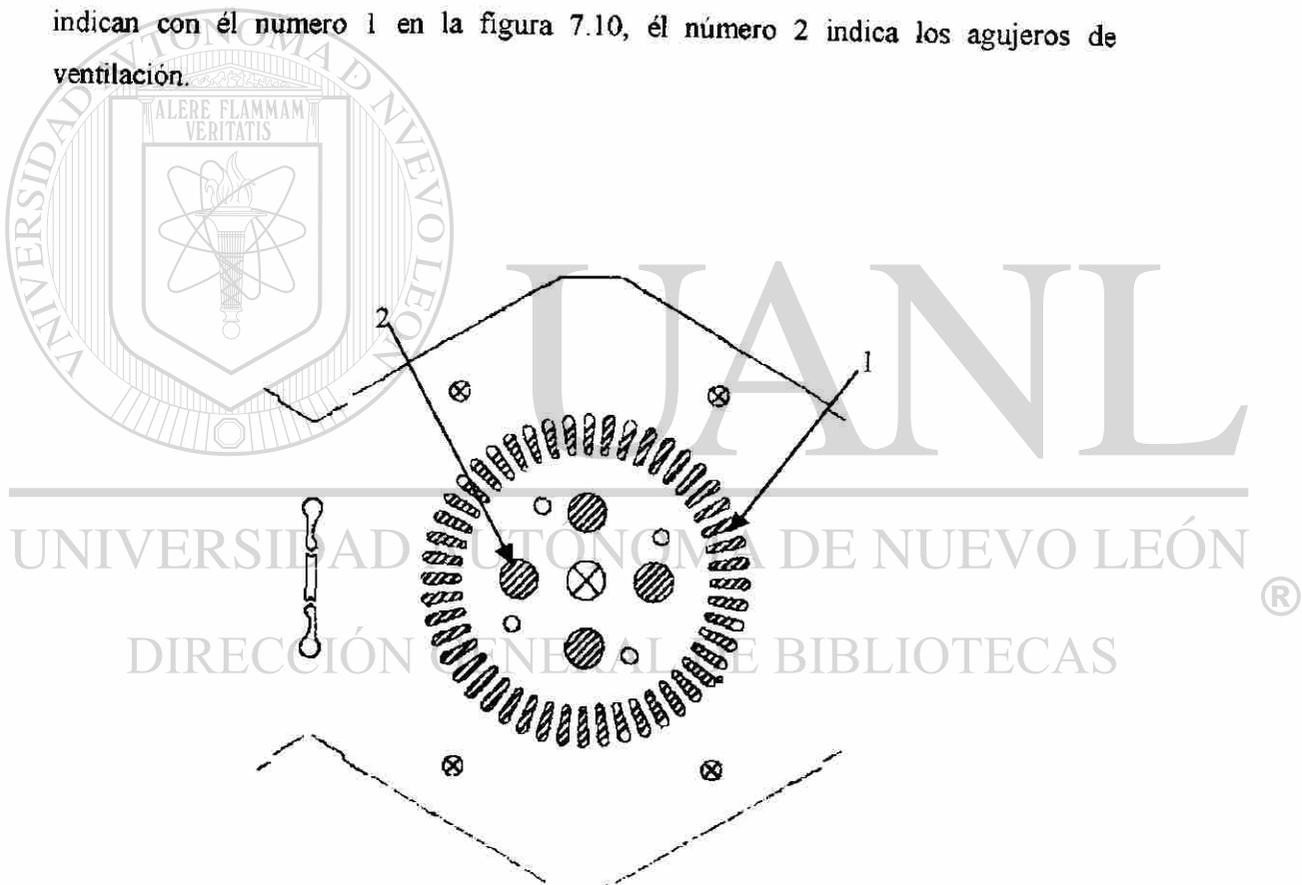


Figura 7.10 Estación 2

En la figura 7.11 se muestra el diseño de la estación número 2 vista de planta. Las matrices utilizadas en el punzonado de estas ranuras pueden ser de dos formas, del tipo segmentado, en el que las 48 ranuras están formadas por 48 secciones de matriz. O del tipo de galleta, en este diseño se fabrica una matriz sólida que cuenta con las 48 ranuras. Ambos diseños tienen ventajas y desventajas, continuación se explican las características de cada uno de los diseños mencionados.

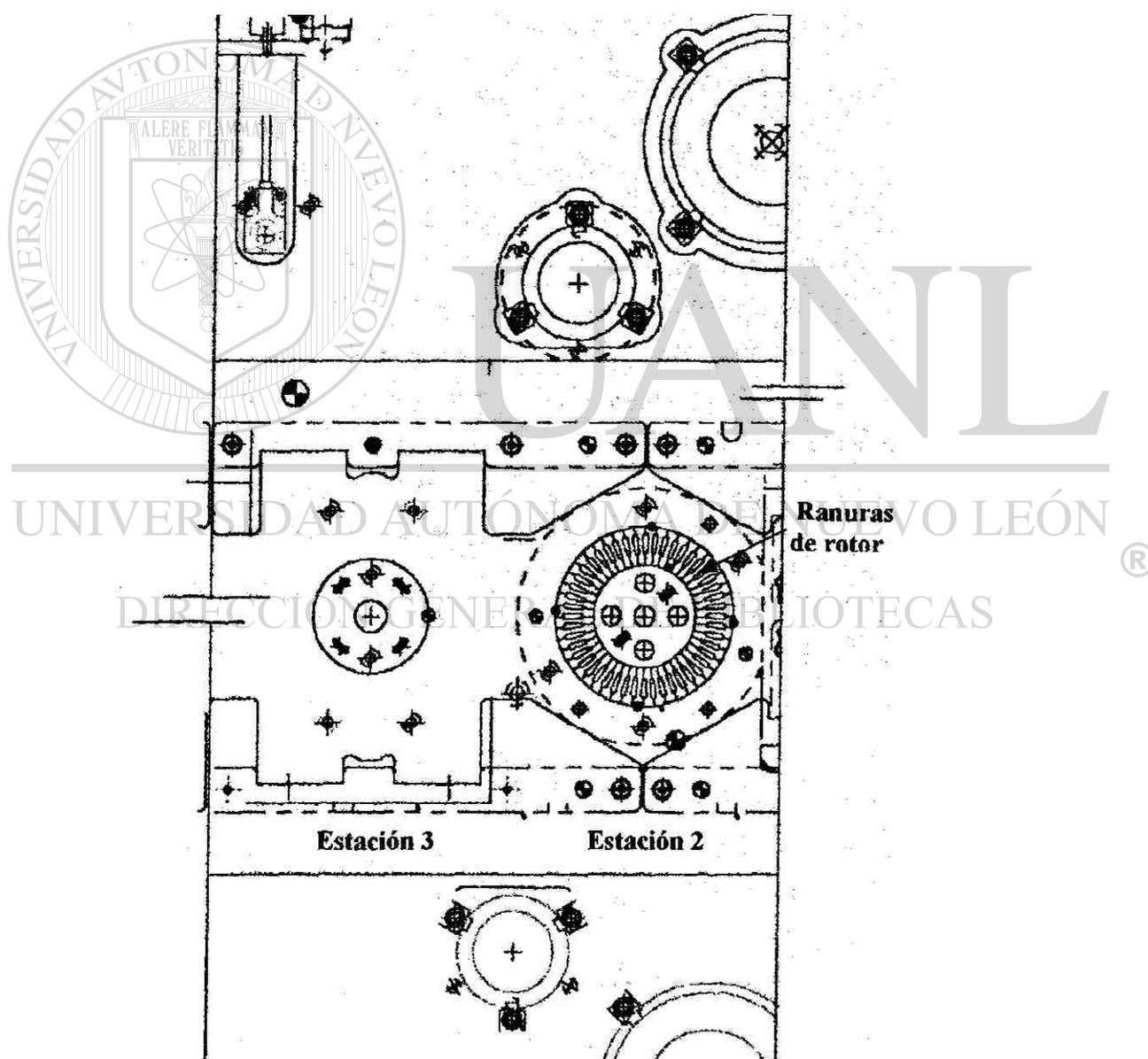


Figura 7.11 Estación 2 de troquel vista de planta

Una ventaja de las matrices sólidas o del tipo galleta desde el punto de vista de mantenimiento, es que cuando se despostilla la matriz es más fácil de reparar, ya que es más fácil afilar toda la matriz y calzar con un solo aumento, que afilar segmentos individuales y tratar de calzarlos, de hecho esta practica no es recomendable, es muy peligrosa, y solo debe hacerse en casos de urgencia. Desde el punto de vista económico, es mas barato fabricar una sola matriz que todos los segmentos que conforman una matriz seccionada, desde el punto de vista operativo, una matriz sólida representa menor problema ya que es más fácil ajustar una sola matriz. Básicamente la decisión de que tipo de matriz utilizar estriba en el punto de vista económico. Los problemas de despostilladuras o daños en las matrices de rotor son uno de los problemas más comunes en troqueles de laminación, si esta matriz se fabricara en una sola pieza, se tendría que afilar completa aun y cuando el daño sé en una sola ranura, reduciendo la vida de toda la matriz, cuando es seccionada, se reemplaza el segmento o segmentos dañados por segmentos nuevos, se les da la altura de los segmentos usados y el troquel sigue trabajando, los segmentos despostillados no son eliminados, se guardan ya que a medida que el troquel se va rectificando, la altura de las matrices va disminuyendo, cuando la altura de las mismas sea menor a una de las matrices que previamente fueron reemplazadas, estas podrán ser usadas de nuevo afilando solamente la parte dañada, y De igual forma, las matrices que en este momento sean sustituidas podrán ser usadas de nuevo cuando la altura de las matrices en el troquel vuelva a quedar debajo de las matrices en existencia o de remplazo. De esta manera la vida de una matriz seccionada es mucho mayor que una matriz sólida, por lo tanto el diseño seleccionado es el de matriz seccionada o de segmentos.

En la figura 7.12 se muestra el dibujo de uno de los 48 segmentos que formaran la matriz para el punzonado de las ranuras de rotor, estos segmentos se mantiene unidos por medio de un anillo exterior, y de un inserto en la parte interior. Como se ve en la figura cada segmento forma parte de dos ranuras, se requiere de dos segmentos para completar una sola ranura. Básicamente todos los segmentos son iguales entre sí, la única diferencia es que algunos de ellos deben de contar con la ranura para el perno guía, esta condición es muy importante, ya que al ser una matriz de forma irregular, si se llegara a girar ocasionaría el daño de punzones y matrices. Otra condición que debe

anillo interior que a su vez es una matriz de punzonado controla el diámetro interior de las matrices. Mediante estos dos anillos se logra una perfecta que las matrices se mantengan en su posición, para obtener la alineación correcta, cuatro de los 48 segmentos deben de contar con un perno guía como se muestra en la figura, la función de este perno es evitar que las matrices se giren, si por alguna razón este perno se olvidara ensamblar el resultado sería catastrófico al momento de tratar de correr el troquel, ocasionaría el daño de la mayor parte de las matrices y punzones en esta estación y es muy probable que el troquel sufriera daños mayores en otras estaciones. Como se menciona, el anillo interior es a su vez una matriz, en ella se perforan los cuatro agujeros de ventilación de la laminación de rotor, además, el centro de esta matriz sirve como agujero guía del piloto central que ya se comento en el punto 7.1.

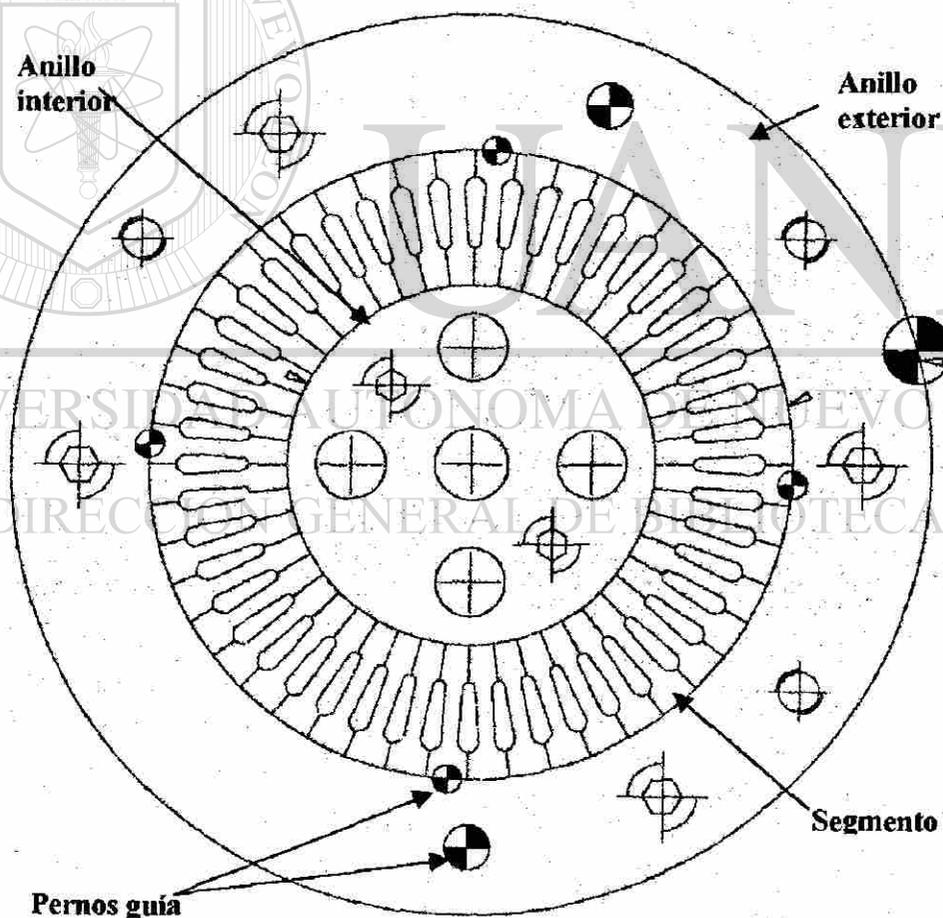


Figura 7.13 Ensamblaje de matices para el punzonado de rotor

Tanto el anillo exterior como el anillo interior se atornillan a la porta matriz mediante tornillos cabeza embutida de 5/16", deben de estar guiadas mediante pernos guías de precisión, es muy importante no utilizar pernos guías de mala calidad en este tipo de troqueles, cualquier desgaste o variación de diámetro ocasionados por la mala calidad de los mismos ocasionara desgaste y fallas en los diferentes componentes del troquel.

El ultimo de los componentes principales de esta estación es el punzón de ranuras del rotor. Su diseño es sencillo, primero veamos la figura 7.14a, en ella se muestra la vista de planta del porta punzones de la estación 2. El diseño del punzón es sencillo, básicamente se fabrica el punzón de acuerdo a la figura de la ranura del rotor, lo más común es que los punzones cuenten con una cabeza de retención que los mantenga unidos a la porta punzón, para reducir el costo de fabricación y simplificar el ensamble y desensamble este punzón se diseño con una ranura en la parte superior como se indica

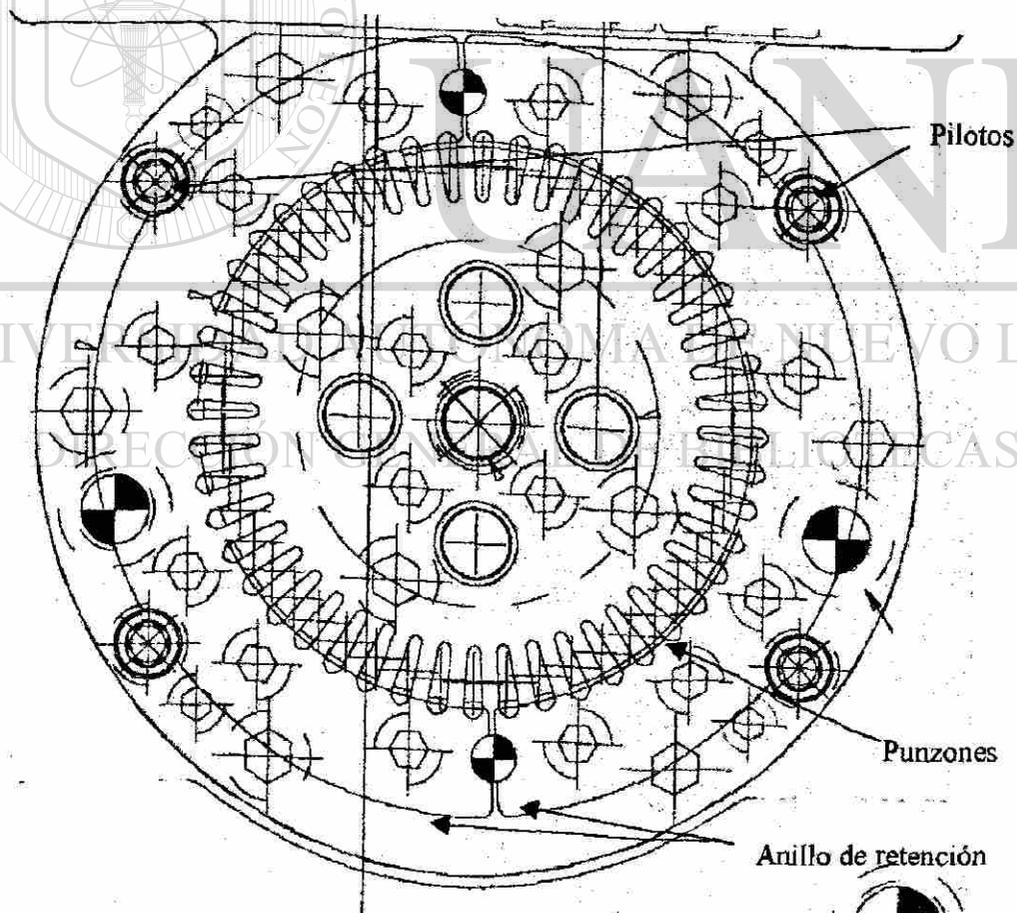


Figura 7.14 porta punzón de la Estación 1 del troquel

En la figura 7.14b, se utilizara un anillo de retención partido el cual se atornillara alrededor de los punzones, este anillo se muestra en la figura 7.14a cuando se requiere cambiar un punzón, es más sencillo desensamblar este anillo que todo el porta punzones. Este tipo de punzones será del tipo flotante, esto quiere decir, que los punzones se ensamblaran con ajuste holgado en el porta punzón, esto les permitirá tener algo de juego, en el despegador de material se utiliza un inserto guía, este inserto esta fabricado con tolerancias de ajuste muy exactas, su función es la de alinear perfectamente los punzones contra la matriz y evita defección de los mismos, el ajuste holgado del porta punzón permite que los punzones se alineen de acuerdo a la posición del inserto guía. En general todos los punzones de dimensiones pequeñas como son los punzones para pilotos, punzones de ranuras de rotor y estator, punzón de diámetro interior de rotor se diseñaran con el diseño flotante, este diseño facilita la alineación de los punzones contra las matrices. Punzones de dimensiones mayores como el punzón de rasurado del diámetro interior de estator no requieren ser guiados, ya que su mismo tamaño eliminan la posibilidad de desalineamiento y flexión.

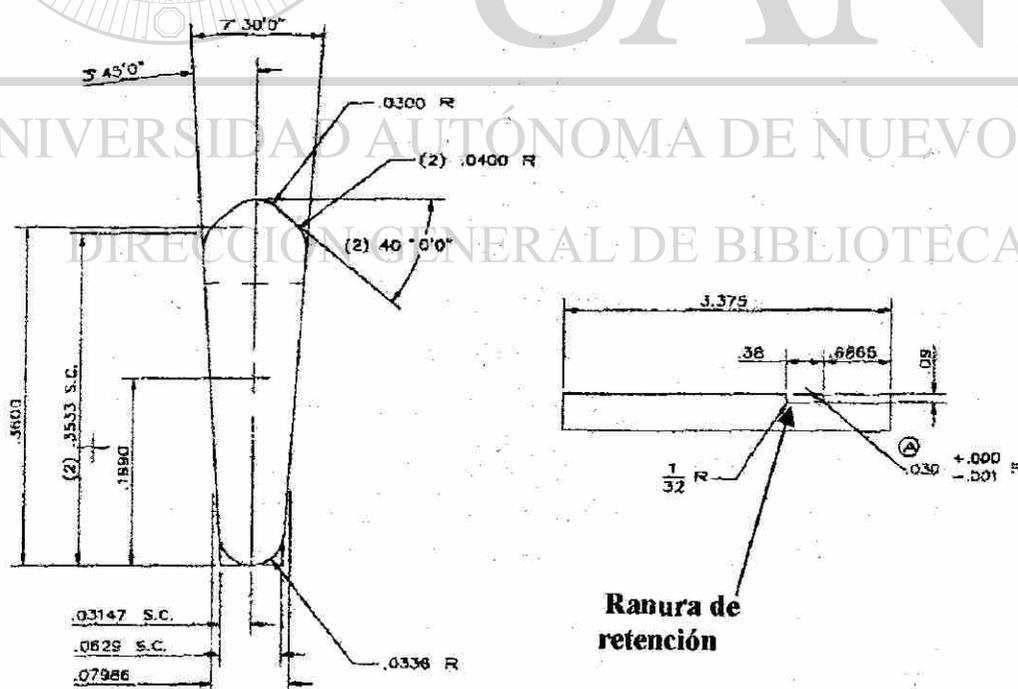


Figura 7.14b Punzón de ranuras de rotor

### 7.3 Lámina separadora

La función principal de la tercer estación es la de punzonar las ranuras para la lamina separadora, como ya se explico, el proceso de grapado de rotor consiste en formar lengüetas de grapado en cada laminación, las cuales serán embutidas para unir una laminación contra otra, pero si esto se hiciera en forma continua, el resultado seria un rotor de longitud infinita, para poder obtener el rotor con una longitud deseada, es necesario que la primer lamina de cada rotor no cuente con las lengüetas de grapado. Para lograrlo, en esta estación se perforan o cortan ranuras similares en dimensiones a las lengüetas de grapado. Además del punzonado de las ranuras para lamina separadora, se perforan 4 agujeros que servirán coma agujeros de tornillo del estator, este tipo de punzonado es muy sencillo por lo cual no se le dedicara mayor explicación.

Otro punzonado adicional es el de abocardado, como ya se menciono, algunos rotores, de acuerdo a las especificaciones del producto requieren que el diámetro interior las primeras 3 o 4 laminas de cada lado del rotor tengan una dimensión mayor, esto facilita el ensamble de la flecha rotor, y evita daños de la misma cuando el diámetro del rotor esta muy cerca del limite inferior, permite poder seguir corriendo el troquel un poco mas antes de bajarlo para rectificar.

El proceso de abocardado se logra mediante un punzón flotante activado por un dispositivo especial, este dispositivo se controla mediante el controlador del troquel.

Como ya se menciono esta función es opcional y depende de las características del producto, se añadirá pensando en futuras aplicaciones. La forma en que funciona este dispositivo se explicara un poco mas adelante, antes es necesario entender bien las operaciones que se realizaran en esta estación, para explicar de una manera más sencilla la operación realizada en esta estación en la figura 7.15 se muestra el diseño de la tira de la estación numero 3, en ella se aprecian los diferentes punzonados que se acaban de explicar, en adelante solo se explicar el funcionamiento del punzonado de las ranuras de la lamina separadora, y la función del punzón flotante para el abocardado del rotor ya que son las operaciones principales de esta sección. En la parte final de esta sección se incluirán los dibujos de los componentes principales como son matriz y punzones para las ranuras de la lamina separadora y el dibujo del punzón para el abocardado.

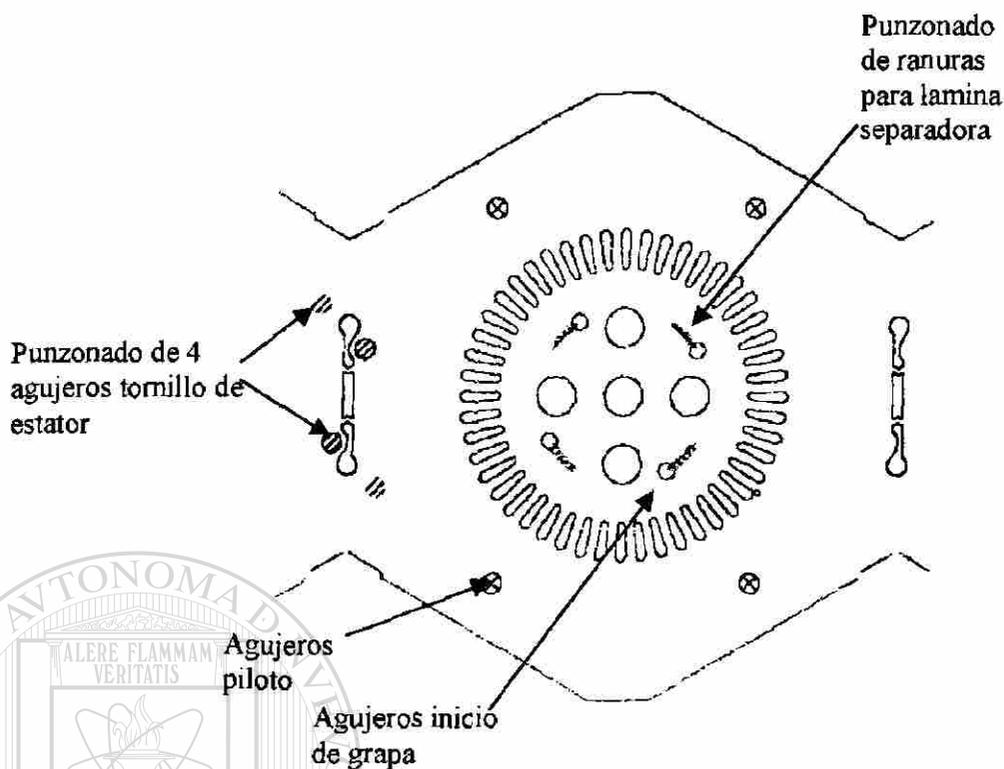


Figura 7.15 Estación 3 de la tira de acero

Como se indica en el dibujo, las ranuras de la lamina separadora coinciden en un extremo con los agujeros para inicio de grapa perforados en la estación numero 1, en la figura 7.11 se muestra la vista de planta de la estación 3, en general la parte inferior del troquel es un diseño de perforado muy sencillo, lo complicado de esta estación esta en la parte superior del troquel, ya que como se comento los punzones para las ranuras son flotantes al igual que el punzón de abocardar. En la figura 7.16 se muestra la parte superior de esta estación, en ella se muestran dos juegos de mecanismos de punzones flotantes. Primero explicare el mecanismo de la derecha que es el que activa los punzones de las ranuras.

El mecanismo se compone de los punzones, la leva de empuje, el cilindro neumático y una válvula solenoide que no aparece en el dibujo. El controlador del troquel, mediante un conteo de laminas, envía una señal a la válvula solenoide en el momento en que debe de cortarse una lamina separadora, la válvula solenoide a su vez activa el cilindro neumático, el cual empuja la leva, como se puede apreciar la leva cuenta con

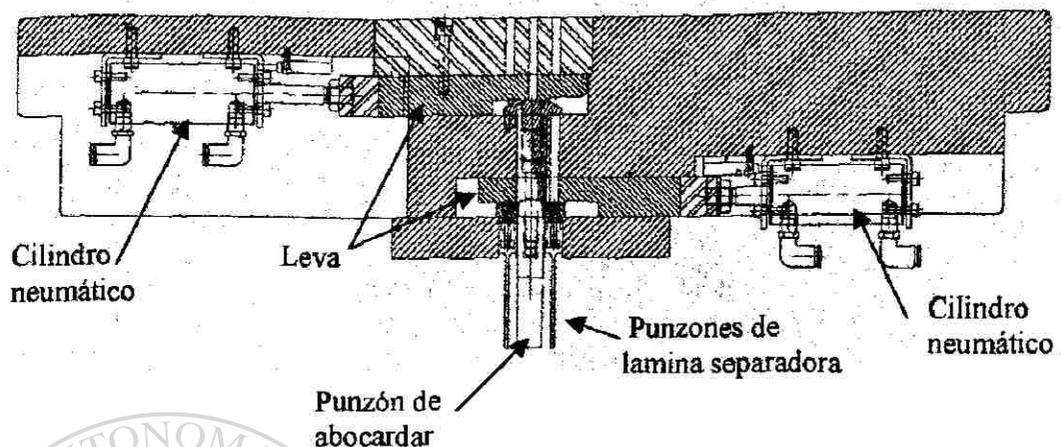


Figura 7.16 Mecanismo de lamina separadora

Un par de escalones, cuando la leva se retrae, los punzones se apoyan en la parte baja de la leva, en este punto los punzones no tienen la altura suficiente para perforar la lamina. En la figura la leva esta activada y empujando a los punzones hacia abajo, el escalón con el que cuenta la leva representa la diferencia en altura que los punzones deben tener para poder perforar la lamina. En este momento están en condiciones de hacerlo.

El mecanismo de la izquierda activa el punzón para abocardar el rotor, es un mecanismo similar al anterior, el funcionamiento es similar, cuenta con su propia válvula solenoide, de igual forma el controlador del troquel es responsable de enviar la señal en el momento adecuado a la válvula solenoide. En la figura el punzón esta en posición de perforar ya que se está apoyando en la parte alta de la leva, cuando la leva retrocede el punzón se apoya en la parte baja de la misma, en este momento la diferencia en alturas debido al escalón de la leva hace imposible que el punzón pueda perforar la lamina. La ciencia de esta radica en el correcto diseño y funcionamiento de los mecanismos antes mencionados, el resto de los componentes son de diseño sencillo, el punzón de abocardar es redondo completamente, el diámetro depende de los requerimientos del producto. La matriz para el mismo punzonado es igualmente de sección redonda al igual que los punzones y matrices para los agujeros de tornillo del estator, por lo tanto solo se incluirá los dibujos de la matriz de punzonado de ranuras y los punzones para la misma función.

En la figura 7.17 se muestra el dibujo de la matriz para el punzonado de las ranuras, se definió una sola matriz para las cuatro ranuras ya que es un punzonado sencillo que no presenta gran problema además de que el área es pequeña, si se quisiera insertar matrices no habría espacio suficiente, por otro lado haciéndola de una sola pieza simplifica mucho el mantenimiento. Al centro de la matriz se inserta una matriz de sección redonda, esta se utilizara en el abocardado de la lamina rotor.

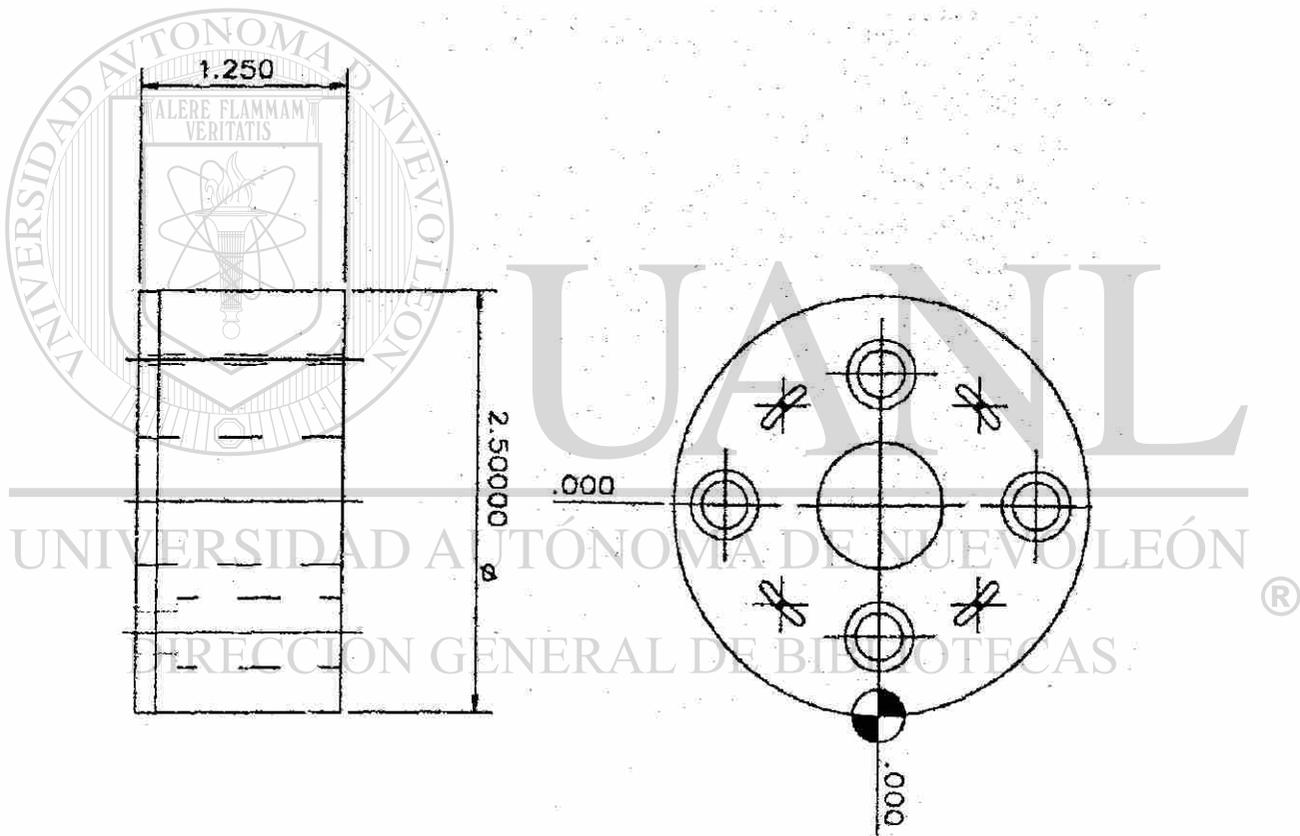


Figura 7.17 matriz de recorte de grapa

En la figura 7.18 se muestra el dibujo del punzón de recorte de grapa, el punzón es de sección angosta semi circular, las dimensiones son de acuerdo al dibujo de la lamina de rotor, los extremos de son redondeados con la intención de poder cortar ranuras para ángulos izquierdos y derechos, en la cabeza cuenta con una rosca para sujetarlo a la porta punzón, el cuerpo cuenta con un par de planos con la intención de evitar que el punzón pueda girar y desalinearse, esto ocasionaría daños en punzones y matrices.

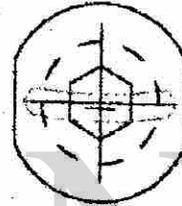
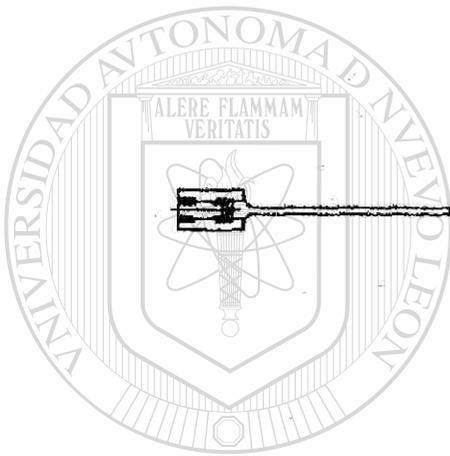


Figura 7.18 punzón de lamina separadora

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

#### 7.4 Formado de grapa

En la cuarta estación se ejecutarán dos operaciones, la más crítica es la del formado de la grapa, la segunda es la de punzonado del diámetro interior de rotor, la segunda función es en esencia más sencilla que el proceso de grapado, por lo tanto iniciare explicando el proceso de formado de la grapa. En la figura 7.19 se muestra el dibujo de la tira de acero indicando los procesos de formado y punzonado que aquí se realizarán.

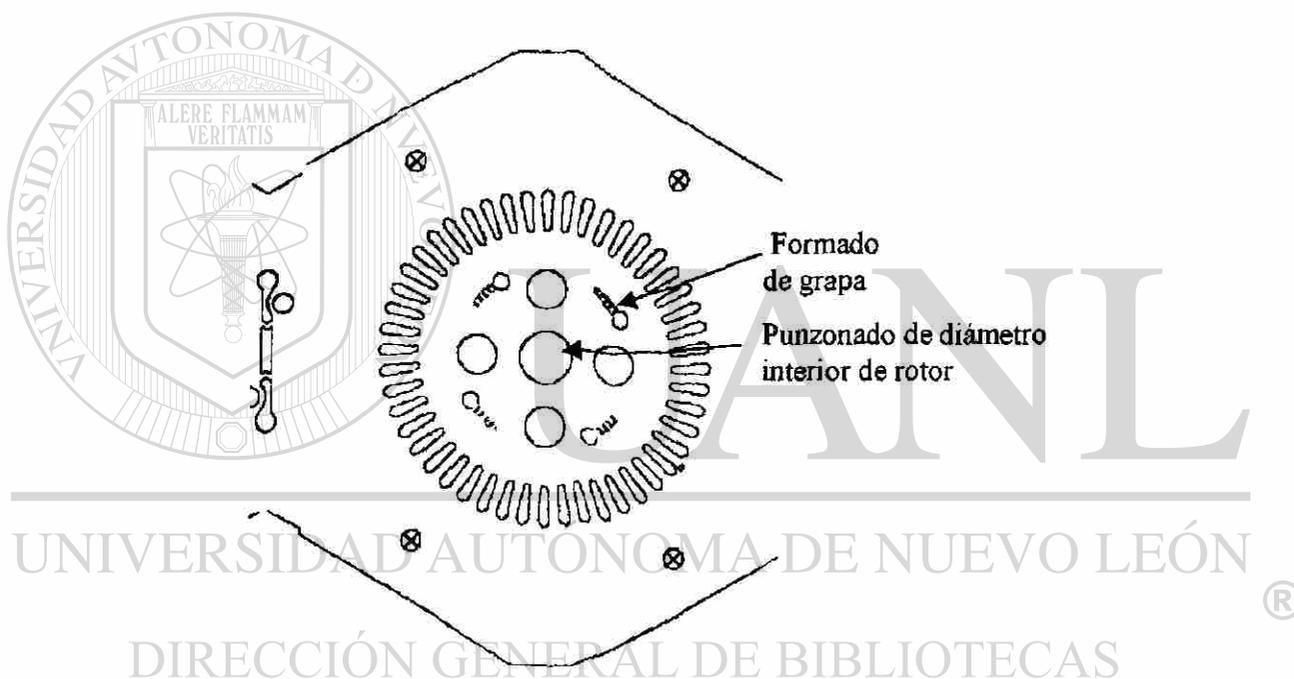


Figura 7.19 Estación 4

Por otro lado, en la figura 7.20 se muestra un corte del troquel de la estación número 4 indicando las funciones principales que aquí se efectúan. En general el diseño es muy parecido al de la estación número 3 ya que el recorte de las lengüetas y el formado de la grapa son muy parecidas, hay básicamente un par de diferencias que enseguida se comentarán. Por otro lado se perfora también el diámetro interior del rotor, que es

básicamente similar al punzonado de abocardar, con la diferencia que el punzón aquí no es flotante por lo tanto no se requiere ningún mecanismo de activación para el punzón.

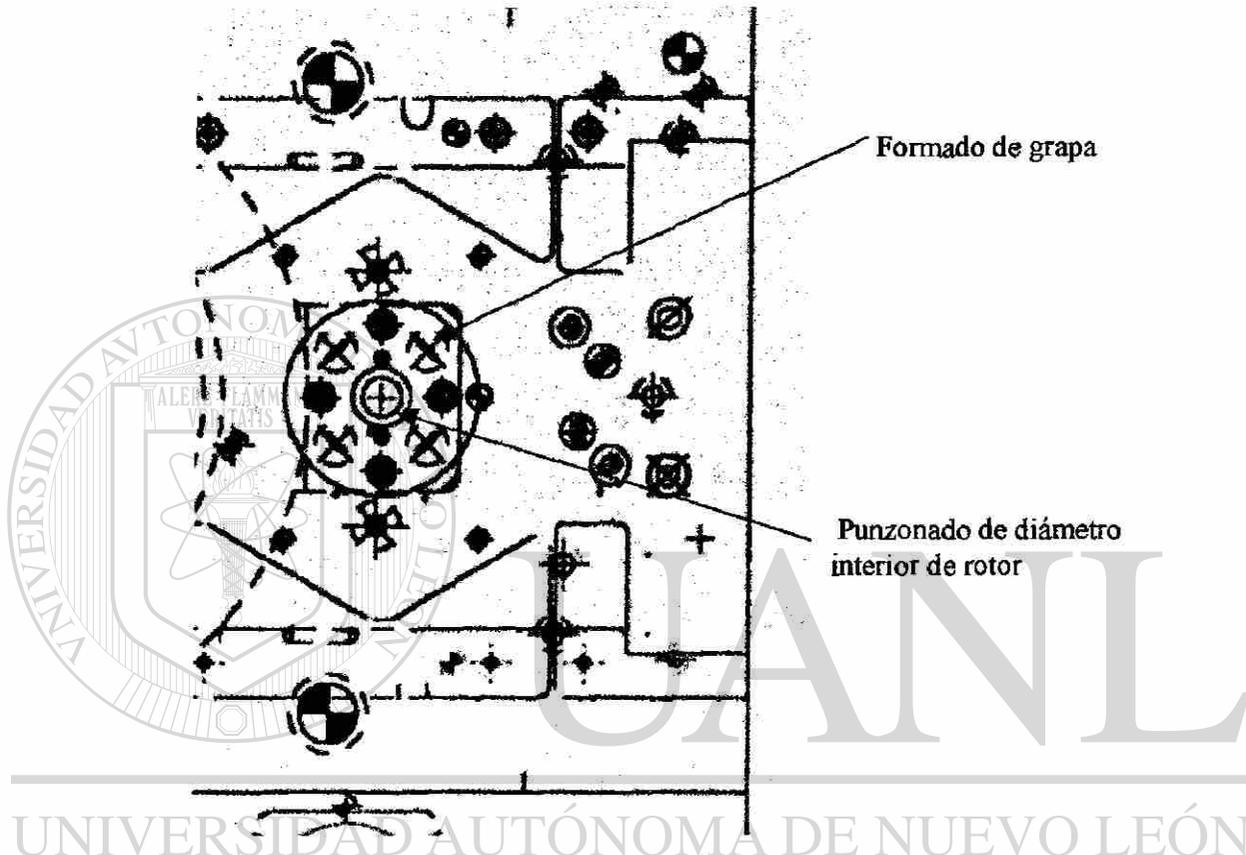


Figura 7.20 Estación 4 del troquel, formado de grapa

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El formado de la grapa implica embutir la lengüeta de grapado como preparativo para el ensamble de las laminas en la estación posterior a esta, el objetivo es formar la grapa con una altura muy precisa que asegure el correcto grapado de las laminas, si esta altura no es controlada en forma precisa se obtendrá un grapado defectuoso, normalmente el troquel se tiene que bajar para corregir el ajuste de los punzones. La altura deseada de la grapa debe de ser aproximadamente dos tercios del espesor del material, la máxima variación aceptada en la altura entre una y otra grapa es de 0.002", si esta variación es mayor se tendrá problemas de grapado y desperdicio de material. Para el formado de la grapa se utilizan punzones casi similares a los utilizados en el

recorte de la grapa, La penetración del punzón de formado es una condición muy importante, si no se controla adecuadamente el punzón puede penetrar demasiado y cortar por completo la grapa, o penetrar muy poco y no obtener la altura deseada. En la figura 7.21 se muestra el formado de la grapa en la tira de acero, es así como quedara después de formada.

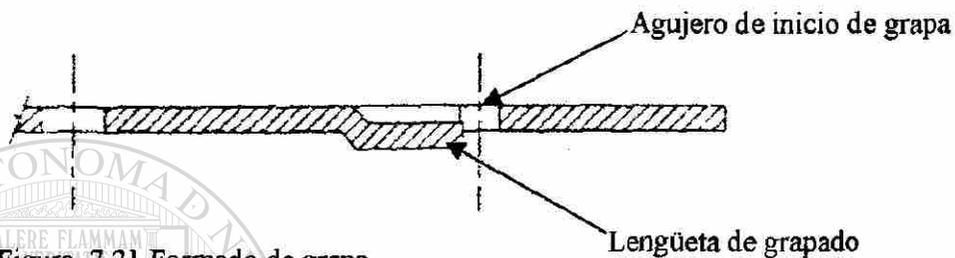


Figura 7.21 Formado de grapa

La penetración del punzón de formado se controla mediante resortes, como se muestran en la figura 7.22 los elementos principales de esta estación son la placa de impacto, los punzones y los resortes que controlan la fuerza de formado. La placa de impacto se apoya sobre el despegador, el punzón tiene una carrera máxima de 0.093", cuando alcanza esta penetración la placa de impacto hace contacto con los punzones, en este momento, no importa cuanto más penetre el troquel, los punzones de formado ya no penetraran mas, ya que la placa de impacto los forzara hacia arriba y evitara que sigan penetrando. Como ya se comento la función de los resortes es la de proporcionar la fuerza necesaria para el formado de la grapa y la de amortiguar en el momento en la que los punzones de formado alcanzaron la penetración deseada y previamente calibrada. Si la fuerza de los resortes no fue bien calculada, si los resortes están muy fatigados o si no se calibro bien la fuerza al momento del ensamble del troquel, el punzón de formado de grapa no tendrá la fuerza necesaria para hacer el trabajo deseado.

Otra operación de punzonado que se realiza en esta operación es la de punzonado del diámetro interior del rotor. El diámetro del punzón utilizado debe de ser muy preciso ya que un problema muy común es que después de formado el rotor el diámetro interior del mismo se cierra, esto es debido a muchas condiciones, como variaciones en ñas propiedades del material, concentricidad del rotor debido a las condiciones de

operación, desgastes etc. Para determinar el diámetro adecuado se debe de conocer muy bien la historia del comportamiento de troqueles similares, las tolerancias del producto, la variación del material, si es un nuevo producto, es conveniente realizar pruebas con diferentes diámetros de punzón hasta obtener el adecuado.

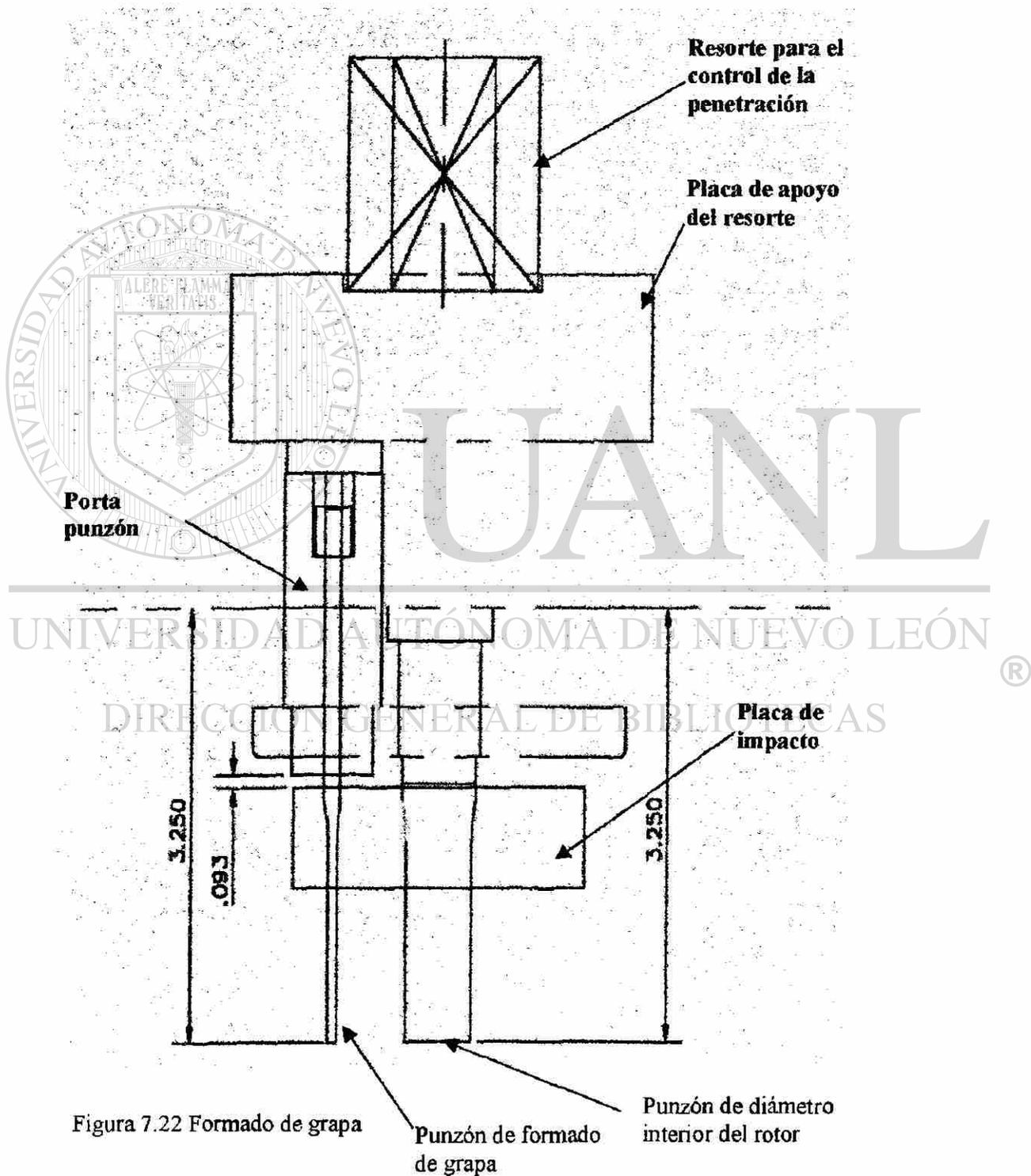


Figura 7.22 Formado de grapa

Los componentes principales de esta estación son la matriz de formado de grapa, el punzón formador de grapa, el punzón de diámetro interior de rotor y la matriz para el mismo punzón, a continuación se muestran el dibujo de cada una de estos componentes.

La figura 7.23 muestra la matriz del formado de la grapa, es básicamente similar a la matriz de recorte de grapa que se utiliza en la estación numero 3. La figura 7.24 muestra el punzón de formado de la grapa, la figura del punzón es básicamente de acuerdo a las dimensiones del producto. El punzón y la matriz para el diámetro interior del rotor se muestran en las figuras 7.25 y 7.26 respectivamente, estas piezas no presentan mayor detalle de diseño, la única característica importante a considerar es que la matriz debe contar con el sistema de retención de rebaba, este sistema no es mas que una micro ranura maquinada a lo largo de la pared interior de la matriz, esta ranura generara una rebaba muy pequeña en la semilla o desperdicio del punzonado, esta rebaba ayudara a que el desperdicio se amarre contra el interior de la matriz evitando que este se devuelva hacia arriba.

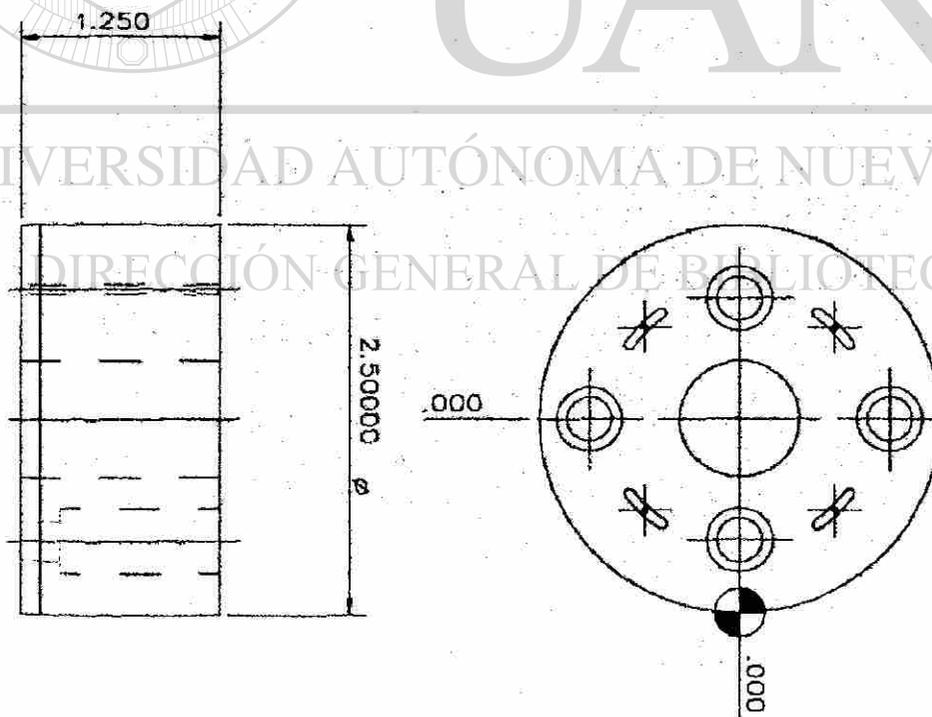


Figura 7.23 matriz de recorte de grapa

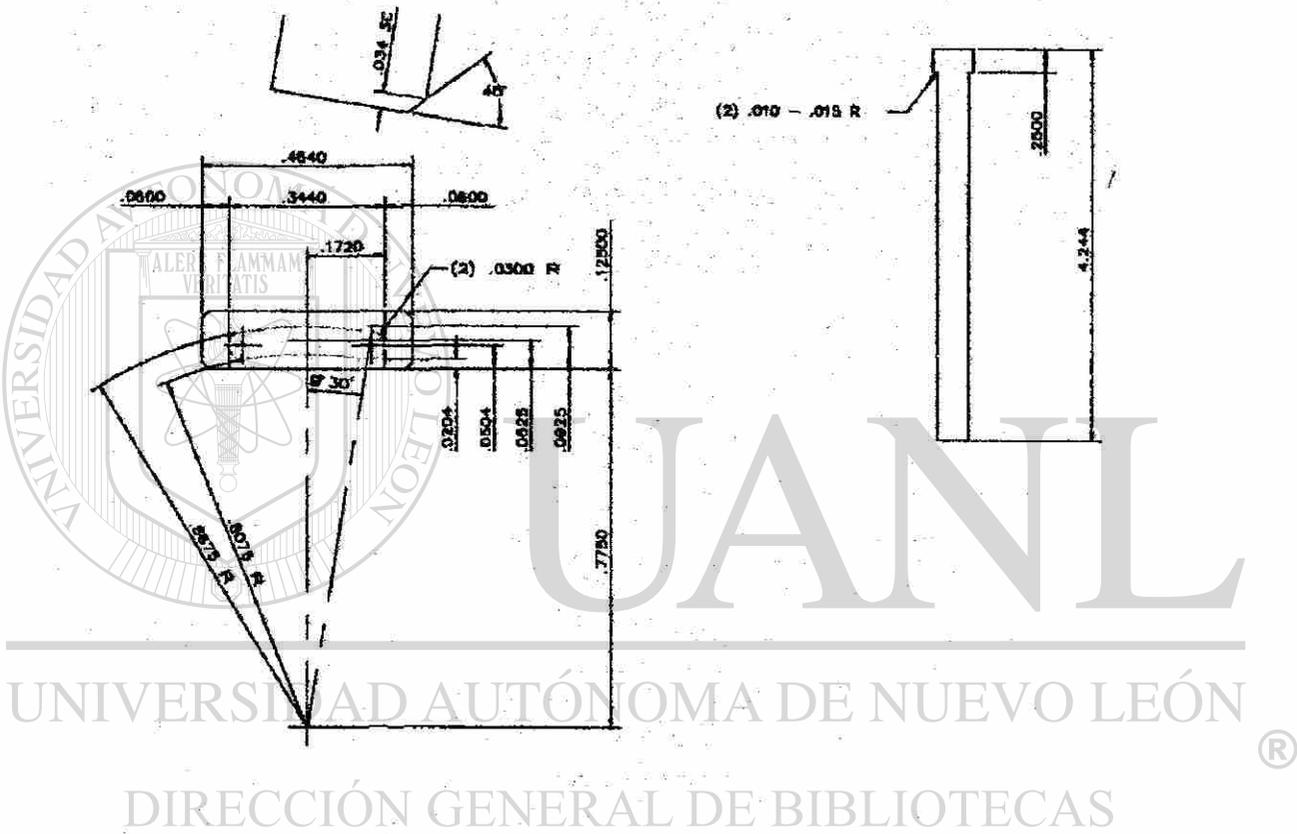


Figura 7.24 Punzón de formado de grapa

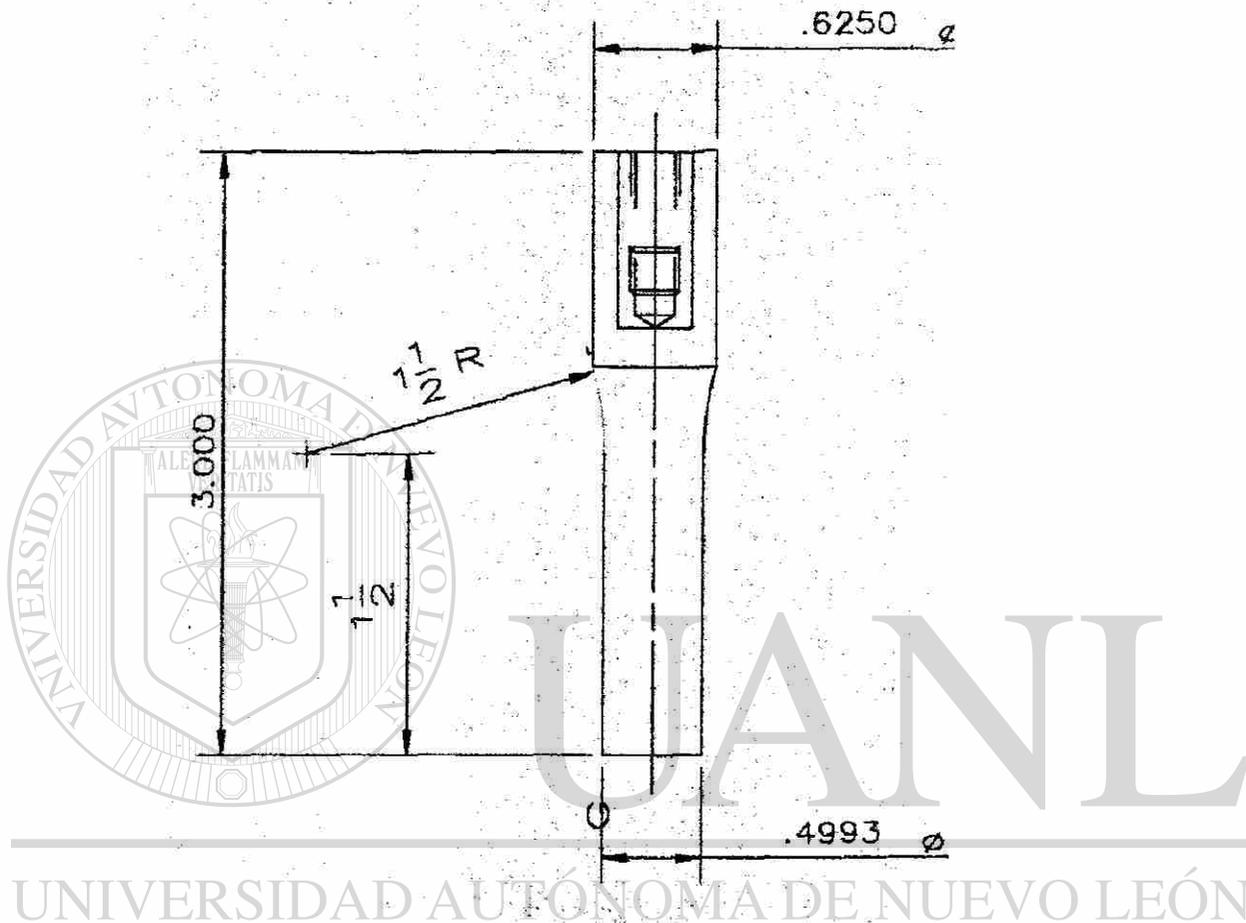


Figura 7.25 Punzón de diámetro interior de rotor

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

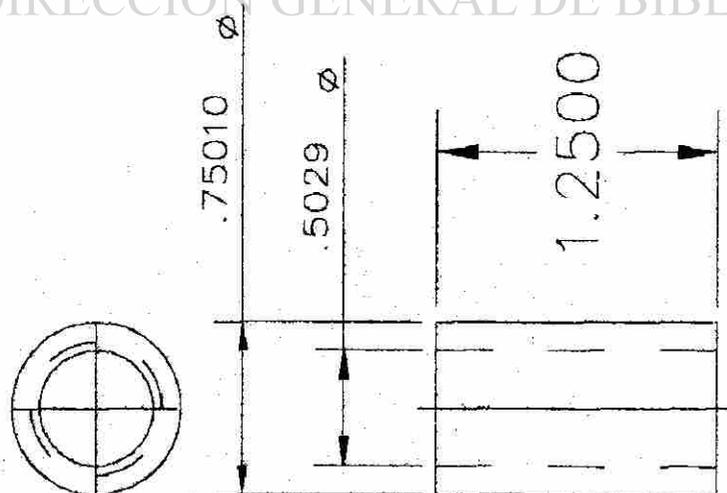


Figura 7.26 matriz de diámetro interior de rotor

rotor y embutirla a través de la matriz rotacional, el punzón de grapado, cuya función es la de forzar las grapas de una lamina contra las cavidades formadas por las mismas grapas de la lamina anterior. En la parte inferior del dibujo se muestra la matriz rotacional cuya función básica es la de punzonar el diámetro exterior del rotor, después esta el anillo de retención, la función de este anillo es la de oponer resistencia al flujo de la lamina. Como se comento, el punzón recorta y embute las laminas de rotor a través de la matriz rotacional hasta salir por el lado opuesto, para que se pueda producir el grapado se requiere que exista una fuerza de reacción que impida el flujo libre de las laminas, en el dibujo se indican un par de fuerzas, una radial y otra axial, estas fuerzas actúan como yunque permitiendo las lengüetas de grapado se ensamblen unas sobre otras. Por ultimo, tenemos el barril rotacional, cuya función principal es la de transmitir el movimiento de rotación que necesita el rotor para obtener el ángulo o inclinación de las laminas. Además, la matriz y el anillo de retención se ensamblan sobre el barril para poder girar juntos. El diseño de esta estación es complejo para entenderlo veamos el dibujo de la figura 7.29 en ella se muestra la vista de planta de esta estación.

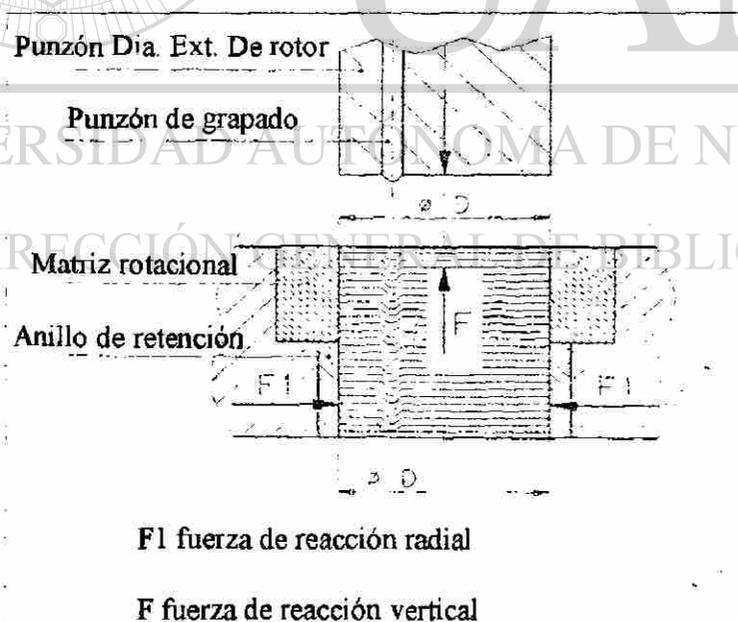


Figura 7.28 Proceso de corte y Grapado de rotor

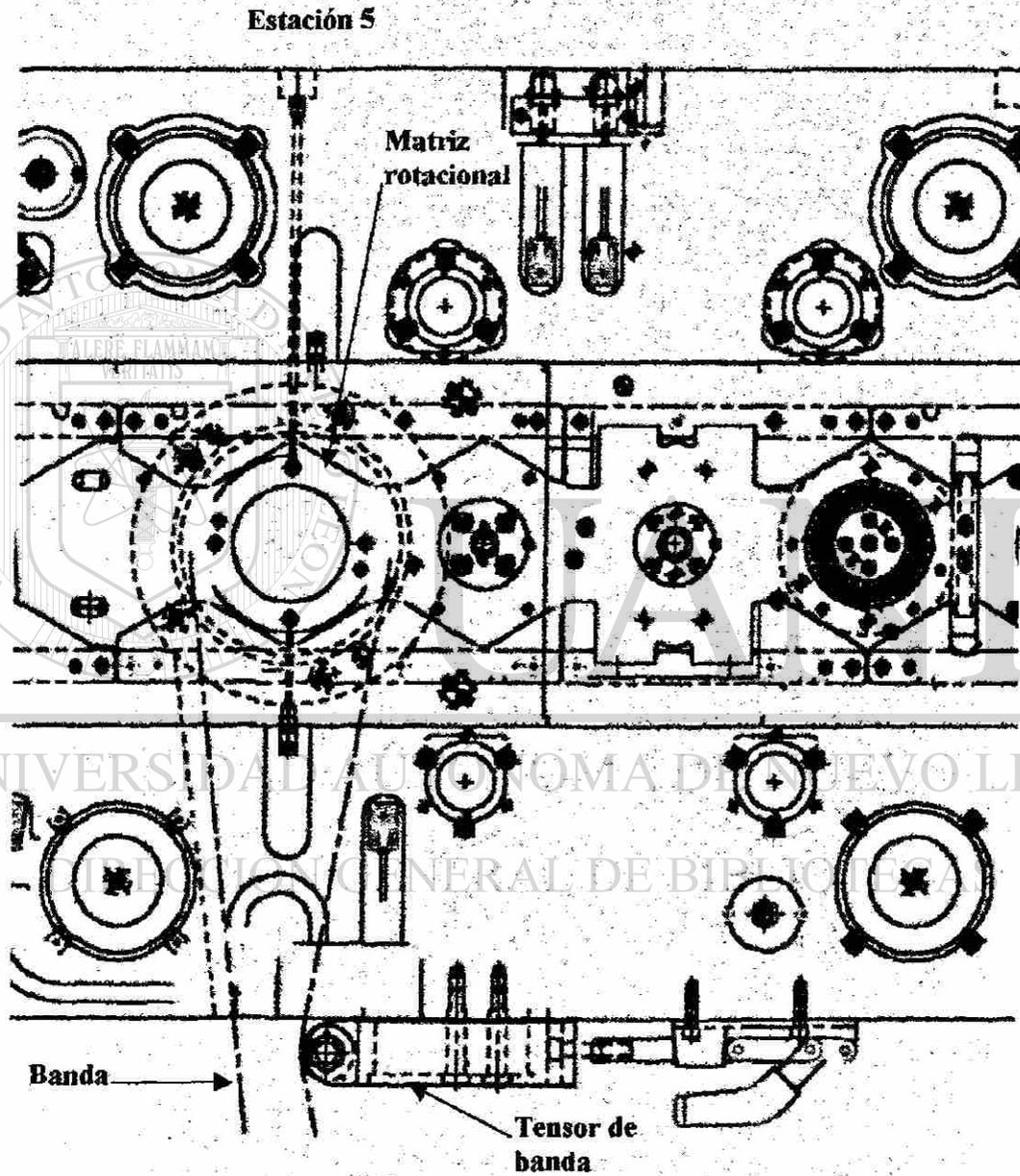


Figura 7.29 Estación 5 vista de planta

En esta vista de planta de la estación 5 se muestra un componente muy importante, la banda de tiempo, como se comento, en esta estación se produce el ángulo característico del rotor además de giros adicionales que se le deben de dar por condiciones o requerimientos del producto. Para poder obtener este giro, la matriz rotacional es impulsada por un servomotor, este servomotor esta conectado a la matriz rotacional a través de una banda de tiempo que es la que se muestra en la figura anterior. El servomotor se monta sobre la platina de la prensa utilizando una base especial, en la figura 7.30 se muestra este sub ensamble en elevación. Se utilizan dos poleas dentadas de tiempo, una conectada al servomotor y la otra conectada al barril rotacional.

La operación de rotación es una operación muy complicada, se requiere de gran precisión en la fabricación, cualquier variación en tolerancias ocasionara problemas constantes en la operación, los más comunes son problemas de concentricidad, ya que al girar es imposible que una lamina coincida perfectamente con la otra para poder girar se requiere que haya cierta holgura entre el barril rotacional y el alojamiento, pero esta holgura debe de ser la mínima necesaria, el barril debe ser fabricado con una tolerancia maxima en concentricidad de  $0.0002''$ , por otro lado, la fricción debe de eliminarse al máximo, ya que un troquel de este tipo corre a velocidades promedio de 300 golpes por minuto.

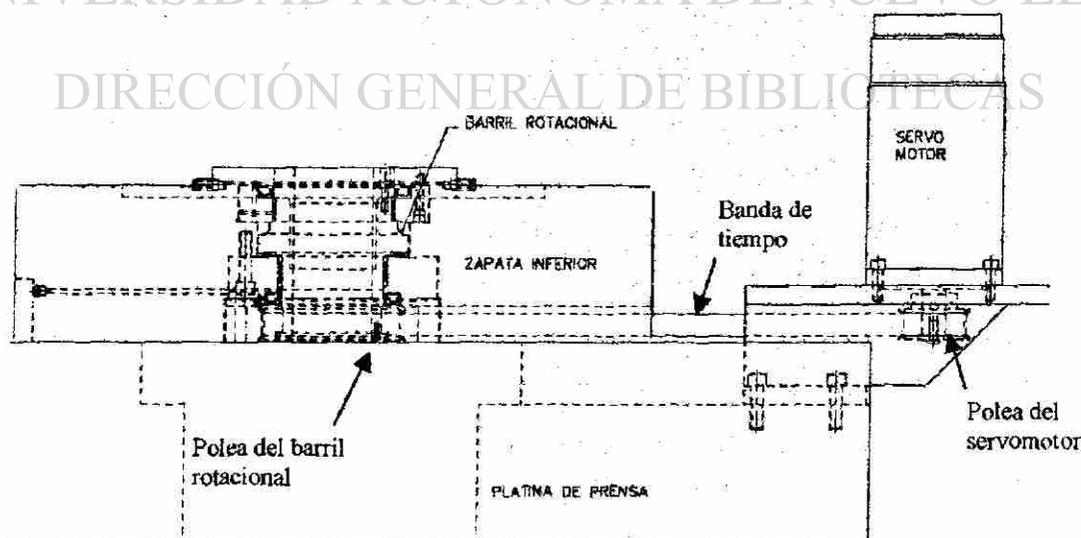


Figura 7.30 Ensamble de matriz rotacional y servomotor

La mejor solución para obtener la mínima holgura entre barril y alojamiento y la mínima fricción es utilizar baleros de agujas de alta precisión, se utilizan dos tipos de baleros, un par de baleros de agujas radiales cuya principal función es permitir que el barril gire con la máxima concéntrica posible. Para el rotor que se debe de producir, la máxima concéntrica aceptable es de  $0.002''$ , los baleros deben de asegurar el giro del barril por debajo de este límite. Cuando la concéntrica sobre pasa los límites, lo más recomendable es revisar los baleros y cambiarlos de ser necesario, muy seguramente ya se desgastaron. El otro tipo de baleros utilizados en esta operación son baleros de agujas axiales, el barril rotacional está sometido a un gran esfuerzo axial, esto esfuerzo es debido a dos condiciones, una la del esfuerzo de corte producido al recortar el diámetro exterior del rotor, y el otro debido a la fuerza de restricción necesaria para el grapado del rotor, estas dos fuerzas se mostraron en la figura 7.28. debido a este par de fuerzas, la matriz rotacional está sujeta a una gran fuerza axial, si no se utilizara este tipo de baleros axiales, el giro de la matriz produciría rápidamente desgastes considerables en el alojamiento y en el barril mismo. Aun así los esfuerzos a los que está sometido esta estación son impresionantes, sobre todo debido a la velocidad de trabajo y la cantidad de piezas que deben de producir en un día, alrededor de 200,000, es imprescindible insertar una camisa en la zapata inferior que sirva de alojamiento, esta camisa debe de estar templada a una dureza mínima de 62 Rc. De esta forma si se requiere reparar el alojamiento es más fácil cambiar este inserto que maquinar la zapata, sería muy caro y la concéntrica difícilmente se podría mejorar. Por otro lado, esta estación debe de contar con venas de lubricación, ya sea para lubricación manual o automática, solo de esta manera se puede lograr una larga vida de los baleros, además de reducir el calentamiento, es muy común que un barril rotacional se fracture debido a exceso de calentamiento. En la figura 7.31 se muestra una sección del barril rotacional indicando todos los detalles antes mencionados. En esta figura también se muestra el punzón de corte de la lámina de rotor, se indica un punzón de grapado, deben ser cuatro en total, pero se incluye solo uno para apreciar mejor el dibujo, una cota indica la dimensión de  $0.023''$ , esta es la altura a la que deben ser calibrados los punzones de grapado, la máxima tolerancia en esta dimensión es de  $\pm 0.002''$ , variaciones mayores producirán grapado débil del rotor y por conclusión piezas defectuosas. Otro detalle que

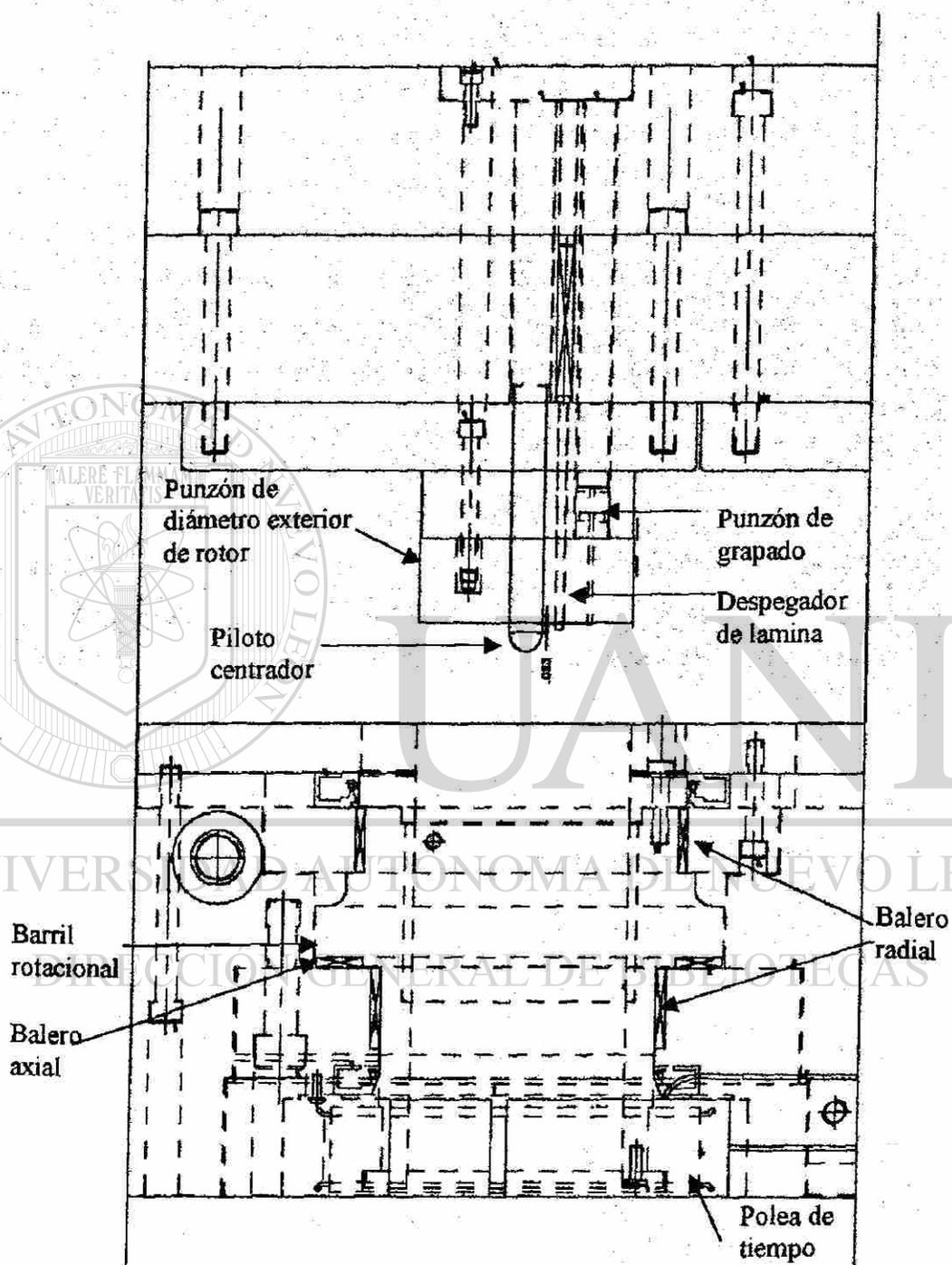


Figura 7.31 Estación 5 del troquel

se muestra en esta figura es el piloto central de la estación. Como se comento en párrafos anteriores, al girar la matriz rotacional ocasiona que las laminas sean grapadas en forma excéntrica una de otra, esto es normal ya que es imposible que al girar lo hagan perfectamente sobre su centro, ya se explico que para reducir este efecto se utilizan baleros de agujas de alta precisión, pero otro método para reducir este efecto es la de utilizar un piloto como el mostrado en la figura 7.31, este piloto ayuda a centrar las lamina de rotor antes de que sea grapada. El piloto se fabrica con la mínima tolerancia del diámetro del rotor, para que el troquel siga trabajando con buena concentricidad y diámetro interior bueno incluso cuando esta cerca de la mínima dimensión aceptable. Tambien se recomienda incluir despegadores de material como los mostrados en la figura 7.31, ya que es normal que el piloto trate de jalar la lamina, sobre todo cuando el diámetro de la lamina esta muy cerca del limite inferior.

Para terminar se incluirán los dibujos de los componentes principales, la figura 7.32 muestra el dibujo del punzón de corte del rotor, la figura 7.33 muestra el dibujo del punzón de grapado, en la figura 7.34 se muestra el dibujo de la matriz rotacional, el dibujo 7.35 muestra el barril rotacional, y por ultimo aparece el anillo de retención en la figura 7.36

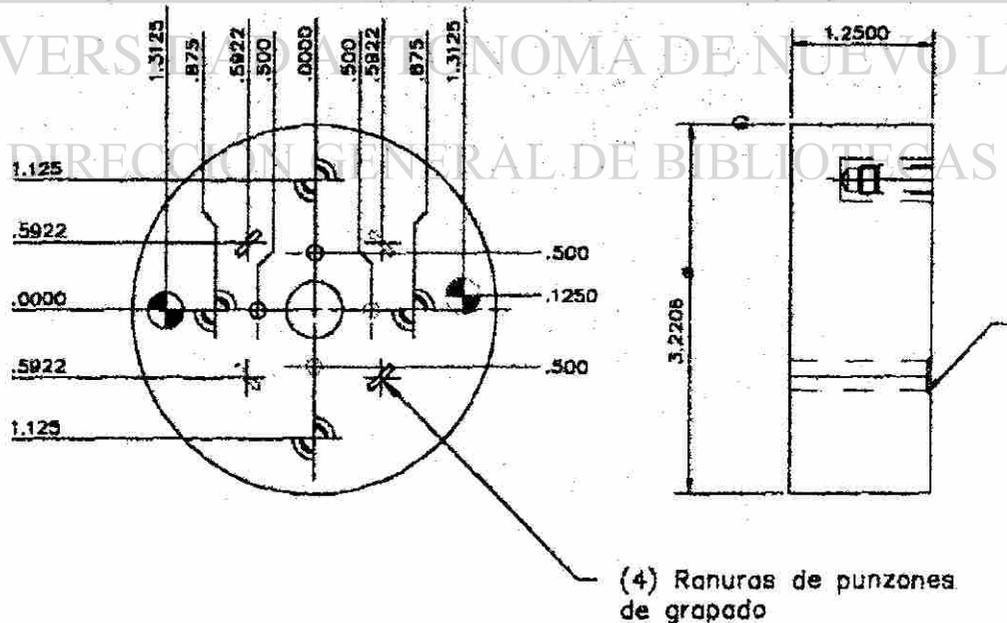


Figura 7.32 Punzón diámetro exterior de rotor

Como se indica en el dibujo, el punzón de grapado se fabrica junto con un anillo separador, este anillo quedara ensamblado entre la cabeza del punzón y la superficie del punzón de recorte de lamina de rotor, que en este caso hace la función de porta punzón. El anillo se fabrica en acero y su función es la de calibrar la altura de penetración del punzón, cada que el punzón sea rectificado este anillo deberá ser rectificado una cantidad igual a la del punzón, de esta manera se mantiene siempre la misma altura o largo del punzón.

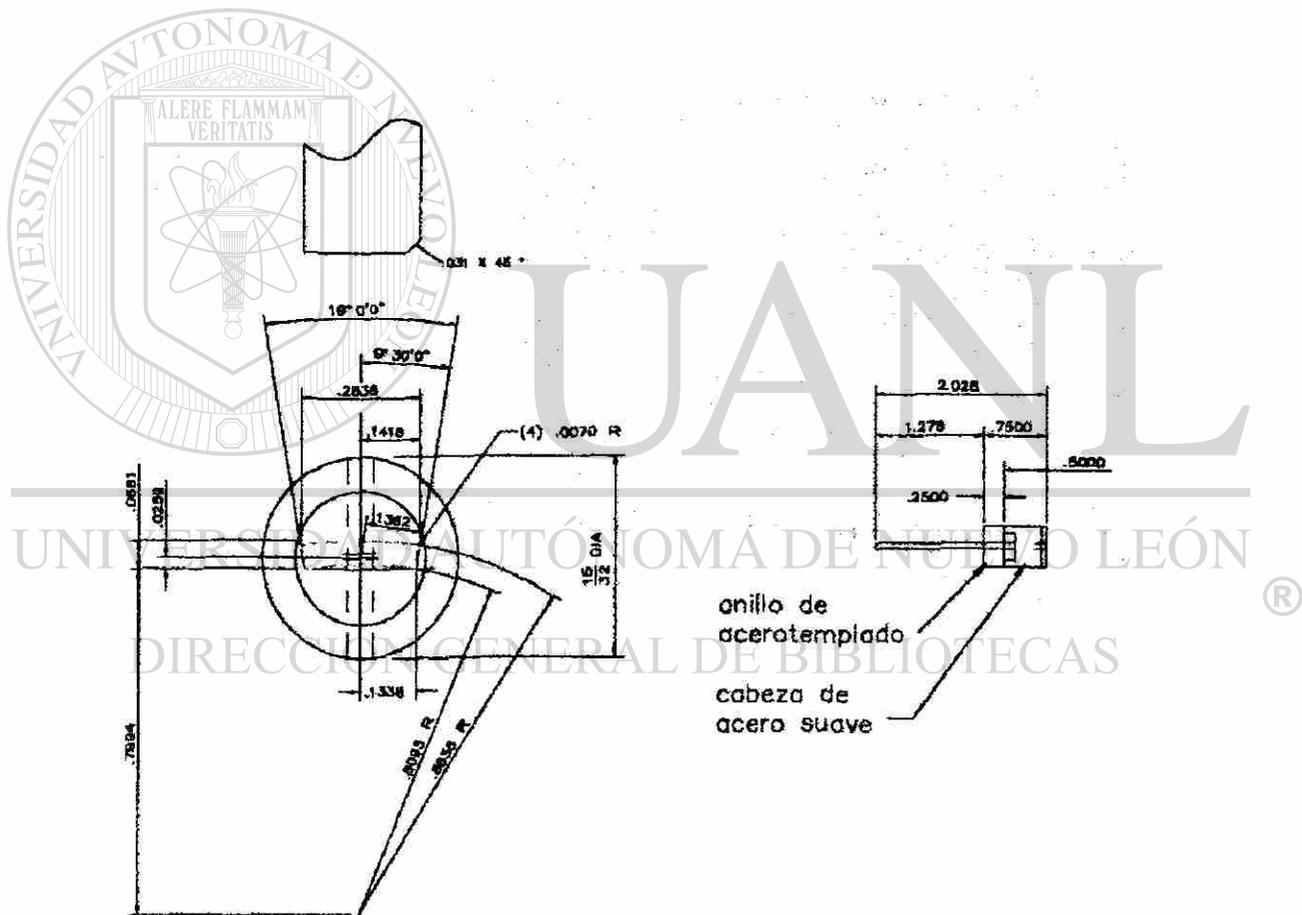
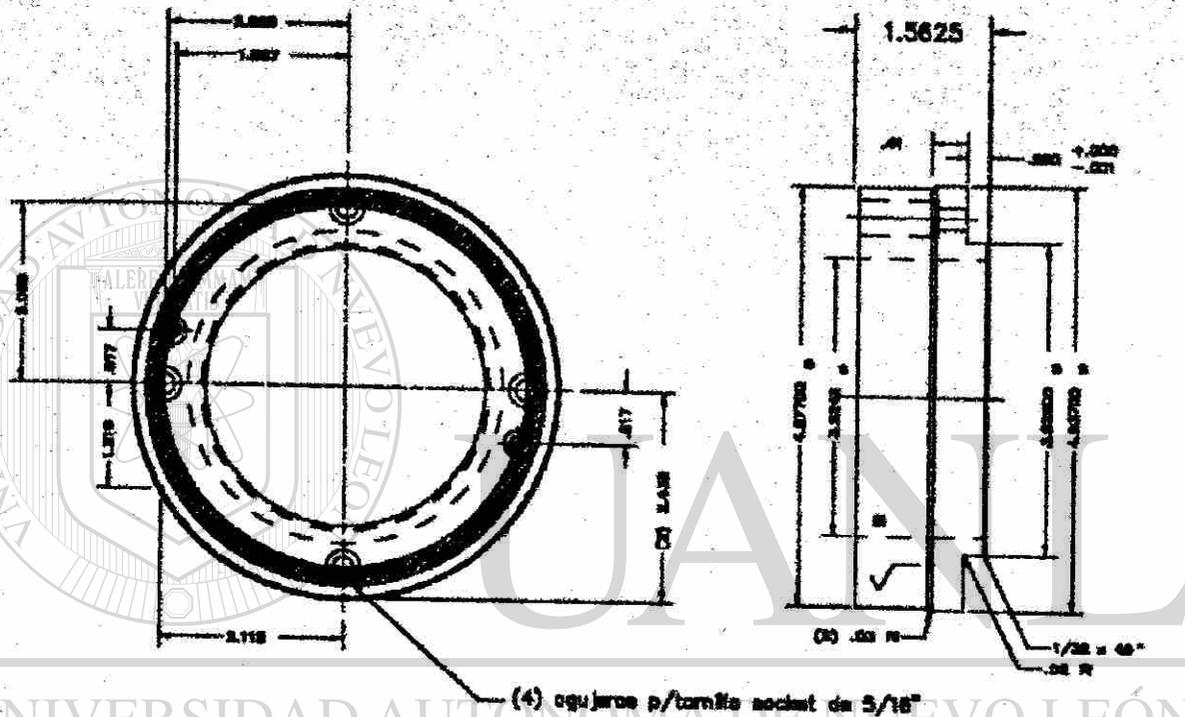


Figura 7.33 Punzón de grapado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 7.34 Matriz rotacional

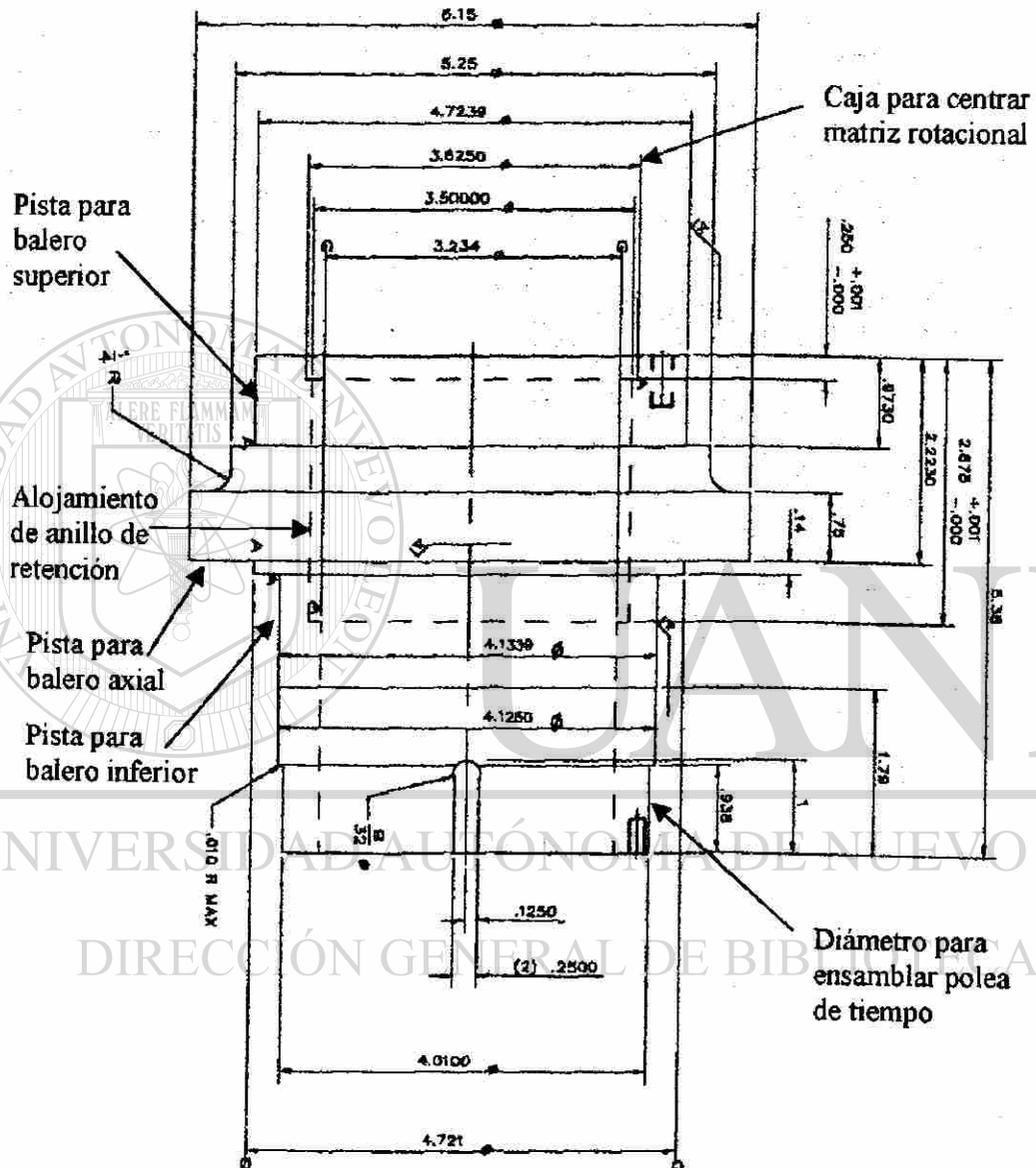


Figura 7.35 Barril rotacional

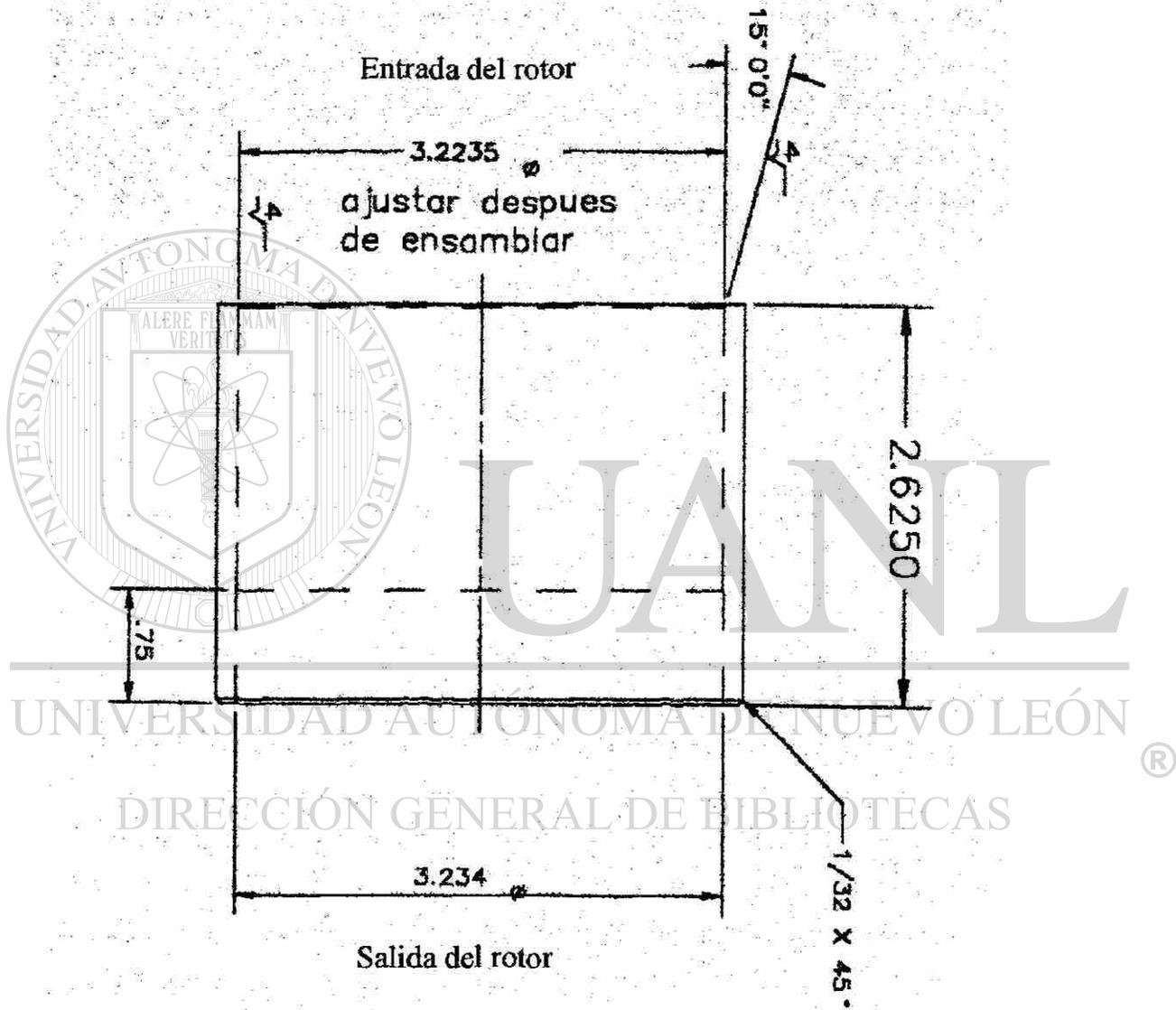


Figura 7.36 Anillo de retención

## 7.6 Estación vacía

Como ya se comentó en el desarrollo de la tira de acero, se decidió dejar una estación vacía en la estación 6, esto quiere decir que en esta estación no se realizara ningún trabajo de troquelado. Como se puede observar en el dibujo 7.1, la matriz rotacional consume mucha área, el barril rotacional es de gran volumen y prácticamente atraviesa todo el troquel, esto ocasiona un gran debilitamiento de la zapata inferior, para evitar una falla por sobre esfuerzo es mejor dejar un espacio libre. Por otro lado, la estación 7 también requiere área considerable, de acuerdo a la distancia entre centros que debe de haber entre cada matriz no sería posible acomodar esta estación junto a la estación 5.

## 7.7 Punzonado de ranuras del estator

La estación siete es la estación que sirve de inicio del formado de la laminación de estator. En esta operación se punzonan las ranuras de estator, es similar a la estación de punzonado de ranuras de rotor, los punzones y matrices utilizados en esta estación se analizarán más adelante. En un inicio del troquelado de laminación, primero se troquelaba el diámetro interior del estator y después se punzonaban las ranuras, muchas compañías lo siguen haciendo así por facilidad de diseño y costo de fabricación, pero este diseño representa muchos problemas para el control del diámetro interior del estator, ya que es muy común que el diámetro se deforme, dando como resultado el problema de perfil de huevo. Para eliminar este problema es preferible intercambiar de posición estas dos operaciones. la figura 7.37a muestra el dibujo de la tira de acero, comparando con el dibujo de la laminación estator terminada figura 7.37b se puede ver que después del punzonado de las ranuras las patitas o dientes del estator siguen unidas entre sí además falta calibrar el diámetro interior del estator, el proceso de punzonar las ranuras sin separar las patitas es el que controla que el diámetro interior del estator no se deforme o adquiera el perfil de huevo.

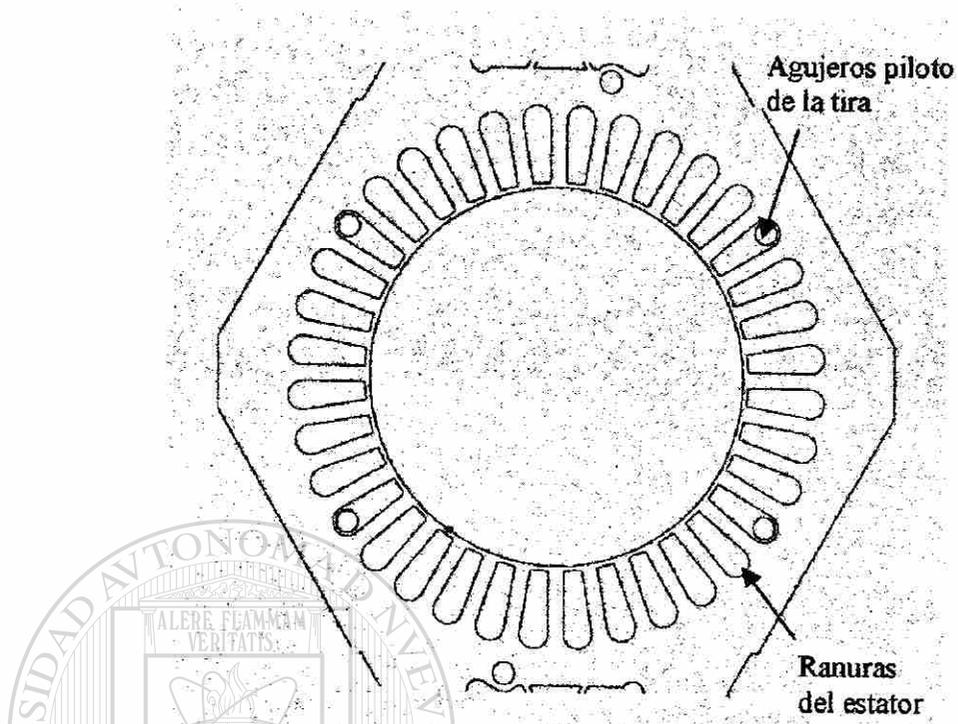


Figura 7.37 a. Tira de acero estación 7

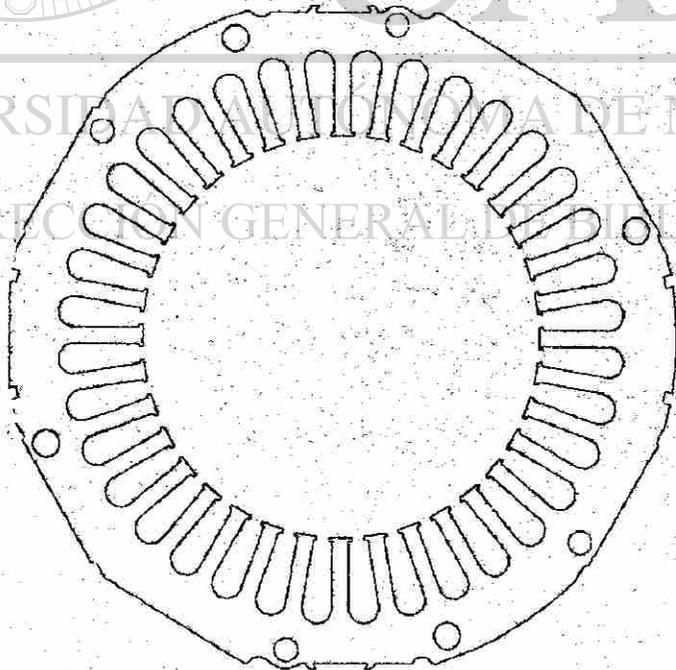


Figura 7.37b Laminación estator

Una decisión importante en esta estación es decidir que tipo de diseño se elegirá para fabricar la matriz de punzonado de ranuras de estator. al igual que en la estación de punzonado de ranuras de rotor, la matriz puede fabricarse en diseño seccionado o de segmentos, puede fabricarse en diseño tipo galleta o sólido, en el caso del estator se puede tomar una tercer consideración, fabricar una matriz semi sólida, esto significa que se pueden fabricar una matriz en varias secciones, solo que estas secciones contarán con mas de una ranura cada una, para entender este diseño analicemos la figura 7.38, en ella se muestra el diseño de la estación 7 en vista de planta.

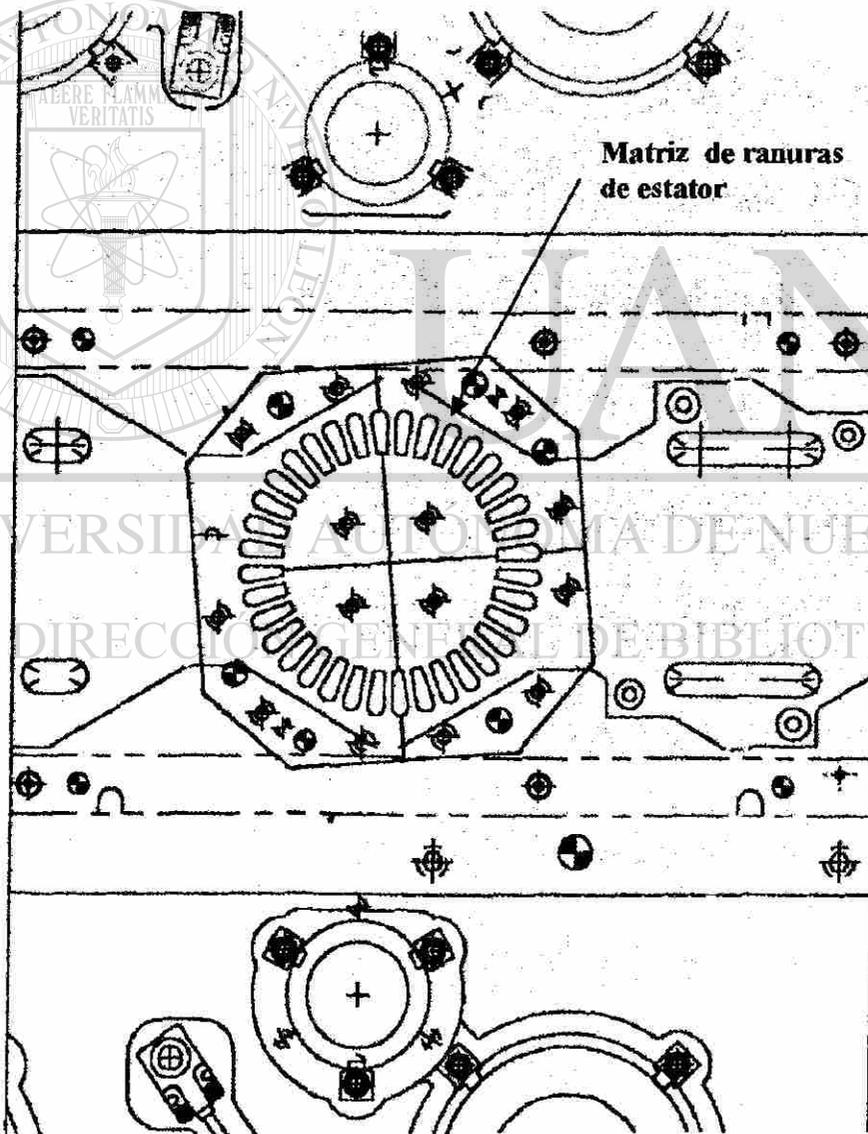


Figura 7.38 Estación 7

De acuerdo al dibujo de la figura 7.38 el diseño que se eligió para la fabricación de la matriz de ranuras de estator fue el diseño semi sólido en lugar del diseño segmentado, como fue el caso de las matrices de ranuras de rotor, la explicación es que como las ranuras en el estator son más grandes que en el rotor no son tan fáciles que se despostillen, por lo tanto el costo de mantenimiento no es un factor tan importante, en cambio el costo entre una matriz sólida y una semi sólida si debe tomarse en cuenta, ya que la mayor parte de las veces se requiere cambiar solo un segmento, como la matriz es de tamaño considerable, remplazar una matriz sólida tiene un impacto fuerte en costo. Por otro lado, es más barato tener en existencia solamente uno o dos secciones que tener una matriz completa. Además, Con el diseño semi sólido se mantiene un buen costo de mantenimiento y remplazo, además de reducir tiempo de mantenimiento y ajustes. En la figura 6.21 se muestra el dibujo de una sección de la matriz semi sólida, la matriz completa esta formada por cuatro secciones. En la figura 7.39 se muestra el diseño de la matriz de ranuras de estator, la matriz esta encajonada en la zapata inferior, se sujeta con cuatro tornillo cabeza embutida, aun y cuando queda encajonada y no tiene forma de moverse, se utiliza un perno guía que asegura su correcta alineación al momento del ensamble.

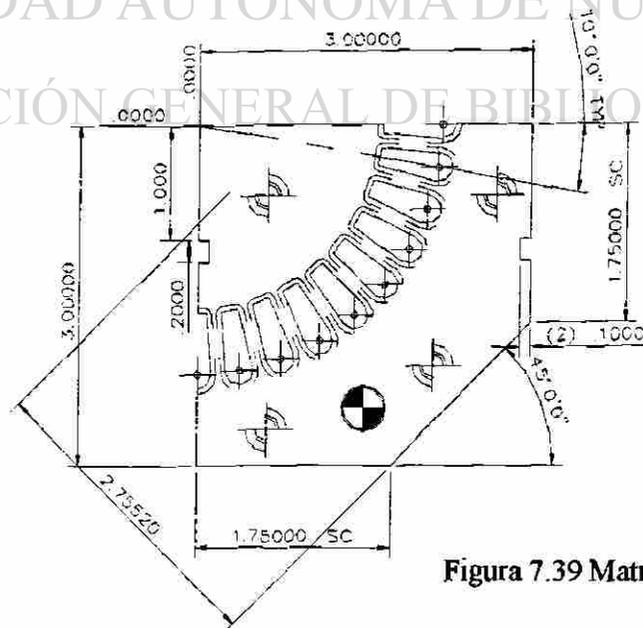


Figura 7.39 Matriz ranuras de estator

El otro elemento importante en esta estación es el punzón para las ranuras del estator, el diseño de los punzones es sencillo, su diseño es sencillo, para hablar del primero analicemos la figura 7.40, en ella se muestra la estación 7 en elevación y se indican los elementos más importantes involucrados con el funcionamiento de los punzones, como son el porta punzón, el anillo de retención, la sufridera y el inserto del despegador.

De los elementos auxiliares, el inserto del despegador es el de mayor importancia para el diseño, ya que al igual que los punzones de ranura de rotor, estos punzones se diseñan con el sistema flotante, esto quiere decir que los punzones flotan en el porta punzón y es el inserto del despegador el que controla la alineación de los punzones contra las matrices.

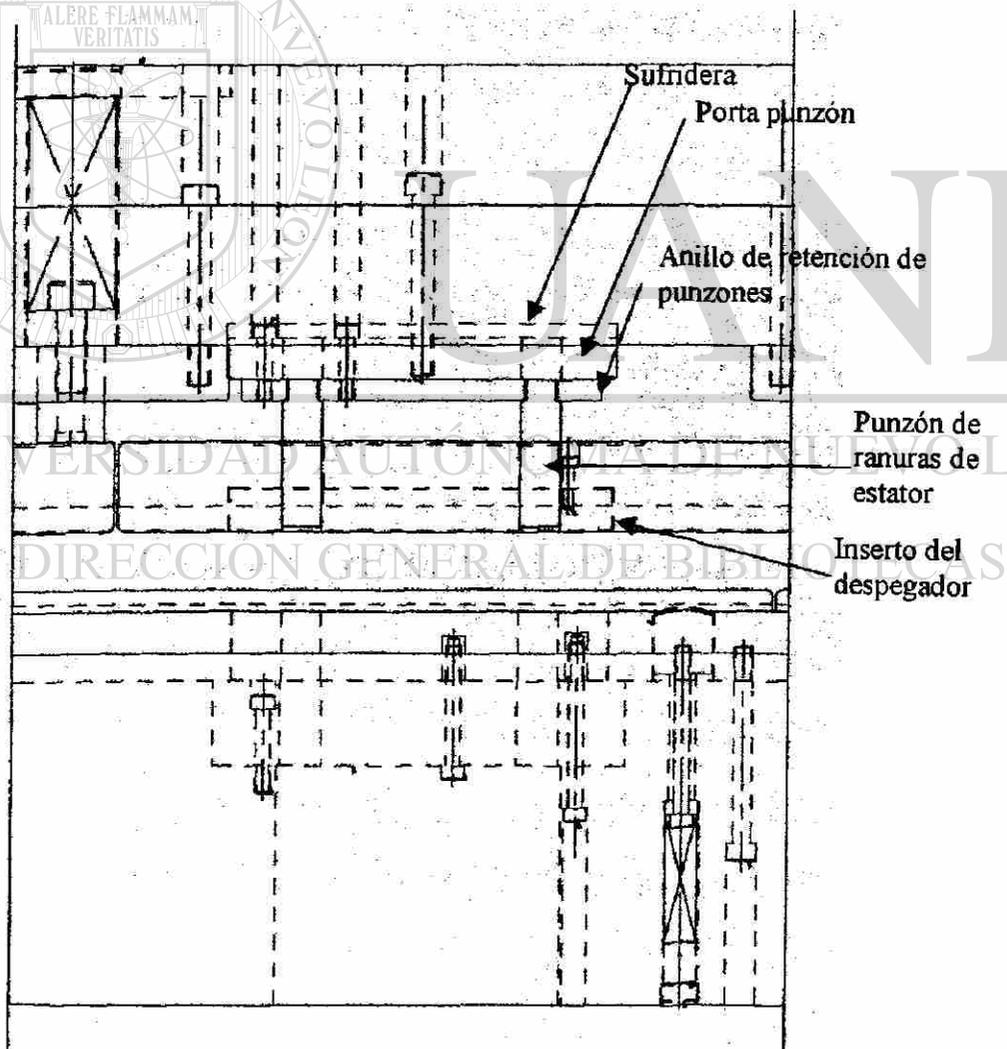


Figura 7.40 estación 7 en elevación

Por otro lado, esta estación esta sometida a un esfuerzo muy grande, ya que el área acumulada de los punzones ocasiona que esta área consuma mas esfuerzo de corte que otras estaciones, debido a esto, la placa sufridera debe estar en perfectas condiciones ya que es la que soporta todo el esfuerzo de corte, una placa sufridera desgastada puede ocasionar fallas frecuentes en los punzones como despostilladuras. Otra condición que afecta al deterioro de la placa sufridera es el agua que se acumula debajo de la placa al momento que se le da el rectificado general al troquel, esta agua es muy difícil que se salga, con el tiempo produce corrosión en la zapata, esta corrosión se manifiesta en forma de cráteres, lo cual implica que la placa sufridera tenga una área de apoyo falsa, al ocurrir esto es muy común que la placa sufridera se fracture ocasionando fallas en el punzonado de las ranuras de estator.

Como ya se comento los punzones se fabrican bajo el sistema flotante, el diseño del punzón es similar al del punzón de ranuras de rotor, el punzón se corta con hilo donde la figura de la ranura del estator a todo lo largo del cuerpo, produciendo un punzón de forma recta, una ranura en la parte superior del punzón facilita la sujeción al porta punzón mediante el anillo de retención, en la figura 7.40 se indica este anillo, es un anillo partido el cual se atomilla por la periferia exterior de los punzones, controla el movimiento vertical de los punzones, cuando el troquel va en su carrera ascendente y el despegador despega el material de los punzones, los punzones son jalados hacia fuera, el anillo controla que los punzones no se salgan del porta punzón y que el material sea despegado en forma correcta. El proceso de despegado demanda también una fuerza considerable, este esfuerzo es soportado principalmente por los tornillos que sujetan el anillo de retención, es muy común que los tornillos se fracturen y los punzones se desprendan del porta punzón ocasionando fallas en el troquel. Se recomienda revisar este anillo periódicamente, asegurando que se mantiene plano, sin desgaste y en general en buenas condiciones, se debe remplazar cuando se aprecien variaciones. El anillo debe fabricarse en acero herramienta, principalmente acero D2, y endurecerse hasta alcanzar una dureza de 60-62 Rc. Los tornillos de sujeción de este anillo deben ser revisados cada que el troquel de repare o se le de mantenimiento, se debe asegurar que están bien apretados y que las cabezas están en buenas condiciones.

El porta punzón es un diseño convencional, se fabrica en una sola pieza, en ella se erosionan todas las ranuras para alojar a los punzones, debe fabricarse en acero herramienta, principalmente acero D2 y templarse con una dureza de 60-62 Rc. Para terminar con la explicación de esta estación, en la figura 7.41 se muestra el diseño del punzón de las ranuras de estator, al igual que todas las matrices y punzones se fabrican en acero Planzee.

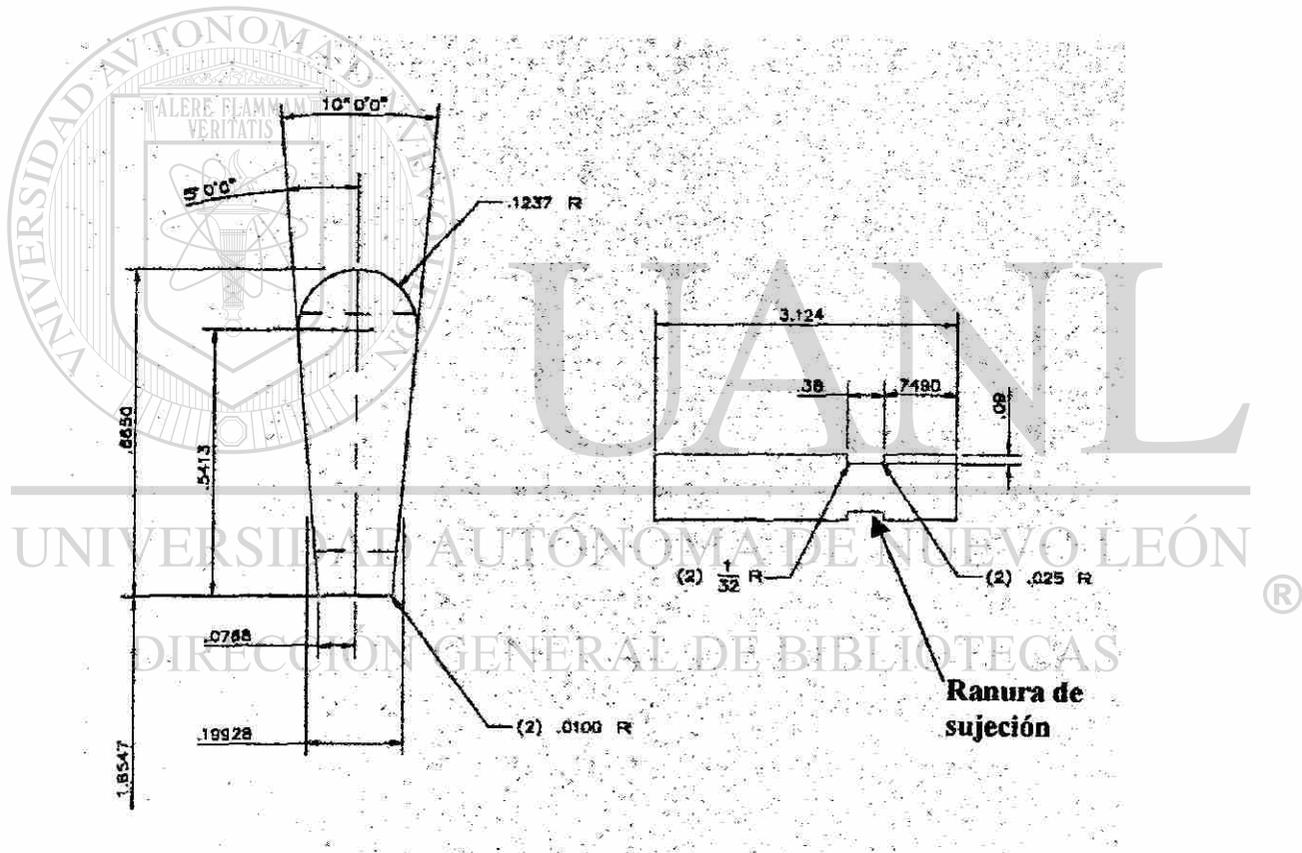


Figura 7.41 Punzón ranura de estator

## 7.8 Estación de rasurado

Como ya se comento en el desarrollo de la tira de acero, se decidió dejar otra estación vacía en la estación 8, esto quiere decir que en esta estación no se realizara ningún trabajo de troquelado, la explicación es la misma que se dio en el punto 7.6, la estación 7 y la estación 9 ocupan una gran área de trabajo, de acuerdo a la separación que debe haber entre cada estación, no hay espacio suficiente entre ambas estaciones para acomodar una estación, por lo cual la siguiente estación de trabajo será el de la estación 9.

En la estación 9 se ejecuta otra de las operaciones mas relevantes del troquel, esta estación se conoce como la estación de rasurado porque en ella se punzona el diámetro interior del estator. La cantidad de material que remueve es muy poca, y la precisión con la que tiene que obtenerse el diámetro debe ser muy exacta es por eso que esta operación se conoce como rasurado. Pero no solamente se punzona el diámetro interior del estator, también se punzona el diámetro exterior. Esta doble operación es lo que le da el grado de importancia e impacto en el resultado final. Como se comento antes, una de las características mas criticas del estator es la concetricidad entre su diámetro interior y el diámetro exterior, la practica común era realizar el punzonado del diámetro exterior y el punzonado del diámetro interior en estaciones independientes, esto hacia el troquel mas sencillo, pero sacrificaba precisión en concetricidad, la mejor forma de obtener la máxima precisión es realizar estos dos punzonados en la misma estación. En la figura 7.42 se muestra el diseño de la tira de acero indicando el punzonado de ambos diámetros. Como se puede observar el diámetro exterior del estator es en realidad segmentos de diámetro, seis segmentos circulares formaran el diámetro exterior del estator. Por otro lado, después del punzonado del diámetro interior las patitas quedaran perfectamente formadas y separadas una de la otra, prácticamente después de esta operación el estator esta formado 100%, lo único que resta es separarlo del resto de la tira, esto se hará en la estación 11.

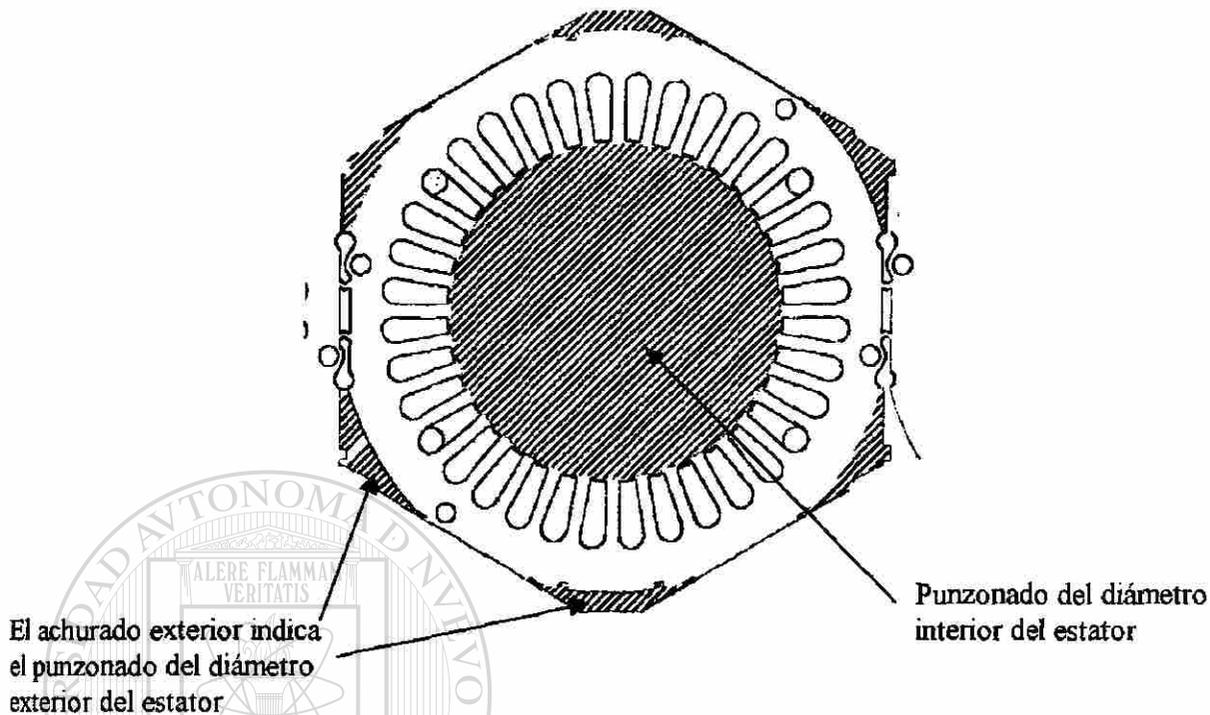


Figura 7.42 Estación 9 Punzonado del diámetro interior y exterior del estator

Se puede apreciar en cuatro de las ranuras del estator círculos, esto indica los agujeros que servían como agujeros pilotos en cada una de las estaciones, cada uno de estos agujeros coincide con una de las ranuras del estator, después de este punzonado estos agujeros desaparecen, como estos agujeros ya no pueden ser utilizados para pilotar la tira, a partir de esta estación se utilizarán los agujeros tornillo del estator para realizar esta función. Como la laminación estator está prácticamente desprendida de la tira, solamente queda unida por dos pequeñas secciones de material, los agujeros tornillo del estator deben estar libres de rebaba, ya que cuando comienzan a aparecer pequeñas rebabas, o el diámetro de los agujeros disminuye por falta de afilado de los punzones y matrices, los pilotos tienden a jalar la lamina hacia arriba, esto ocasiona que el material se doble, y al ser alimentado se produce una pérdida de paso, esto puede ocasionar

despostilladas importantes en el punzonado de ranuras de estator, punzonado de diámetro interior y punzonado de diámetro exterior del estator.

Para el punzonado de esta estación se realizó el diseño mostrado en la figura 7.43, como el diámetro exterior del estator esta formado por seis segmentos de diámetro, aparecen numerados del 1 al 6. se decidió diseñar seis matrices, una para cada sección de diámetro, de esta manera, cuando se dañe un segmento del diámetro solo será necesario afilar dicha sección. También se puede fabricar una sola matriz para el punzonado del diámetro exterior, de hecho algunos troqueles cuentan con este diseño, pero es demasiado costoso y riesgoso, ya que cuando la matriz se daña de una sola area es necesario afilar o remplazar toda la matriz. Una matriz de este tipo fabricada en una sola pieza costaría alrededor de 7000 dolares, comparado contra 1000 dolares que es el costo de una seccion. La ventaja del diseño de una sola pieza sería la precisión, ya que es mucho más fácil ajustar una sola pieza que seis, aun así el costo de mantenimiento vuelve mucho más rentable el utilizar el diseño seccionado.

Las seis matrices están encajonadas en el porta matriz, de cualquier forma se utilizan pernos guías, esto simplifica mucho el ensamble y alienación de las piezas. La matriz para el diámetro interior del estator se localiza al centro de la estación, queda encajonada por las matrices de diámetro exterior, y esta emperrada a las mismas para lograr una perfecta alineación. Como se comento inicialmente, además de punzonar el diámetro interior se deben de desprender las patitas del estator, después del punzonado de las ranuras las patitas permanecen unidas entre si, la matriz no es redonda, sino que cuenta con 36 nervios alrededor de su diámetro, estos servirán para punzonar y desprender las patitas del estator. esta matriz se fabrica sin ángulo de salida, como se comento, este es un proceso de rasurado, debe de punzarse un anillo muy delgado de material, este anillo tiene un diámetro interior igual al diámetro exterior del rotor que fue de 3.225", el diámetro interior del estator deberá ser de 3.250", esto nos da un espesor del anillo igual a 0.0125", si la matriz contara con ángulo de salida el diámetro de corte crecería con cada afilada, esto ocasionaría pérdida de retención de l matriz, ocasionando que los anillos trataran de salir hacia arriba, este es un problema muy común cuando la matriz se va desgastando, la única forma de prevenirlo es utilizando una matriz sin ángulos de salida.

\* Matriz Dia. exterior de estator

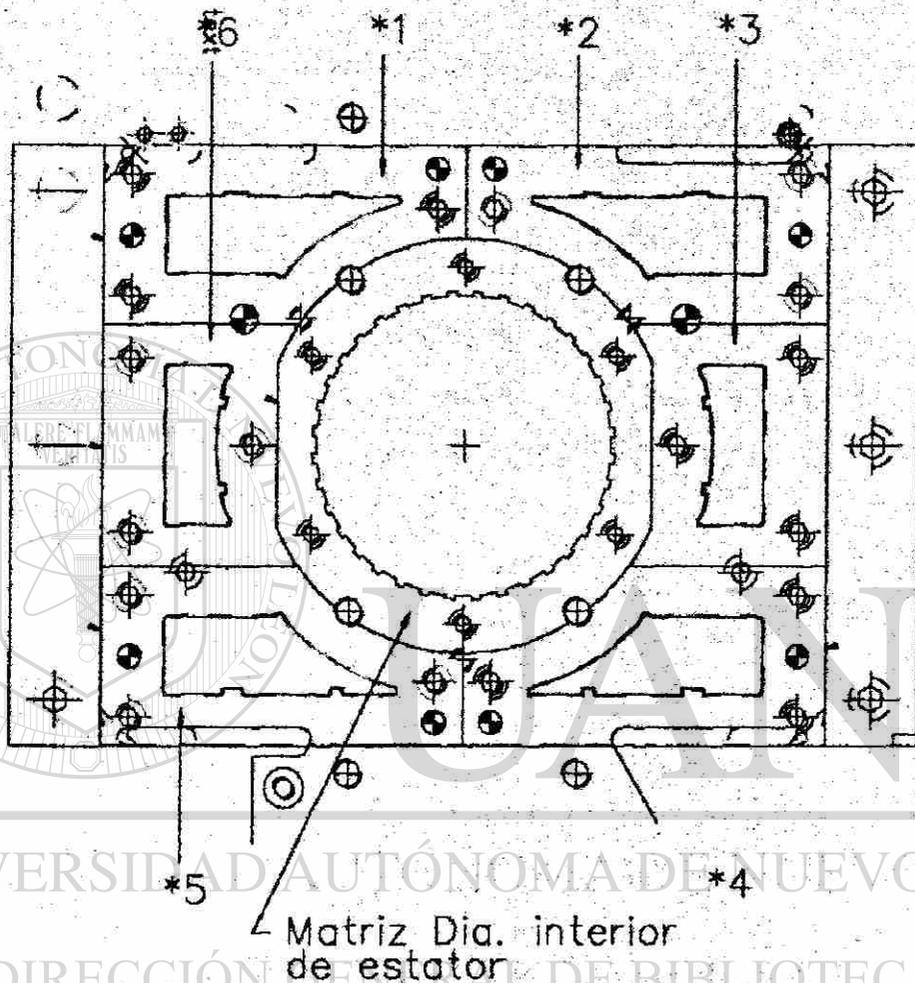


Figura 7.43 Estación 9, vista de planta

Para el punzonado de esta estación se diseñaron de igual forma seis punzones de diámetro exterior además del punzón de diámetro interior, todos los punzones se sujetan en porta punzón el cual esta fabricado en una sola pieza, esto se hace con la intención de eliminar variaciones debido al ensamble o fabricación, sobre el porta punzón se erosionan todas las cavidades con la posición exacta de cada punzón, el porta punzón debe fabricarse en acero grado herramientas, principalmente acero D2, debe templarse a una

dureza de 60-62 Rc. En la figura 7.44 se muestra la elevación de esta estación, se indican algunos de los punzones, no es fácil apreciar detalles en este dibujo debido al gran número de elementos con los que cuenta estación, se tratara de explicar de la forma mas sencilla para que quede claro la función de cada elemento.

Otra pieza fundamental es el inserto del despegador, en un troquel de alta precisión como lo es un troquel de alta velocidad, la posición exacta de los punzones solamente se puede asegura utilizando un inserto en el despegador, la función de este inserto es la de guiar perfectamente los punzones, buscando que estén perfectamente alineados contra la matriz. Recordando que el éxito de esta estación es el de asegurar la mejor concentricidad del estator, que para esta aplicaciones de máximo 0.002", al igual que el porta punzones, se decidió fabricar el inserto guía en una sola pieza, este inserto cuenta con todas las cavidades guía para cada punzón, al ser fabricado en una sola pieza se reduce la probabilidad de variación.

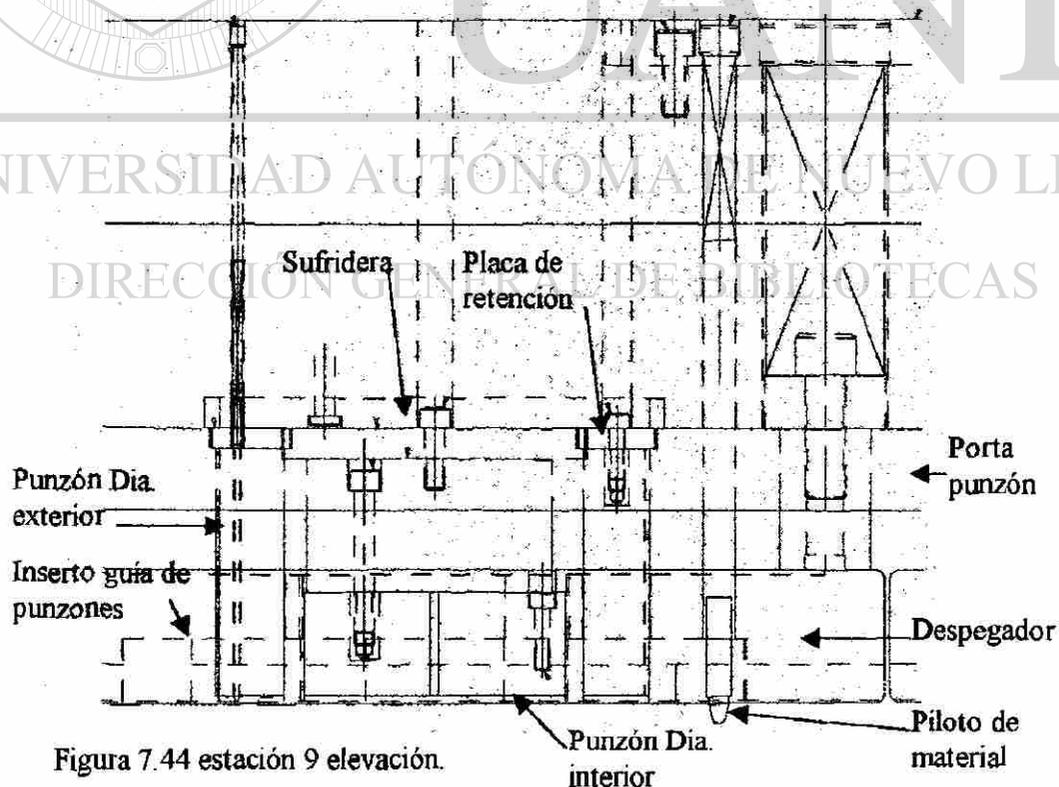


Figura 7.44 estación 9 elevación.

El inserto guía, cuenta con la figura del punzón del diámetro interior al centro del inserto para guiar al punzón, la figura en esta área es muy parecido al de una matriz, es común que el punzón se despostille si la tolerancia de este inserto guía no es la correcta, si el punzón se despostilla seguido en el área de los nervios, debe de revisarse la tolerancia del inserto guía, se recomienda darle tolerancia mayor a las ranuras para que no interfieran con el punzón, si la falla continua, el siguiente paso es verificar la tolerancia de corte en la ranuras de la matriz, en las ranuras se recomienda un 8% de tolerancia, de ser necesario se le puede dar hasta un 10%. En la figura 7.45 se muestra el inserto guía.

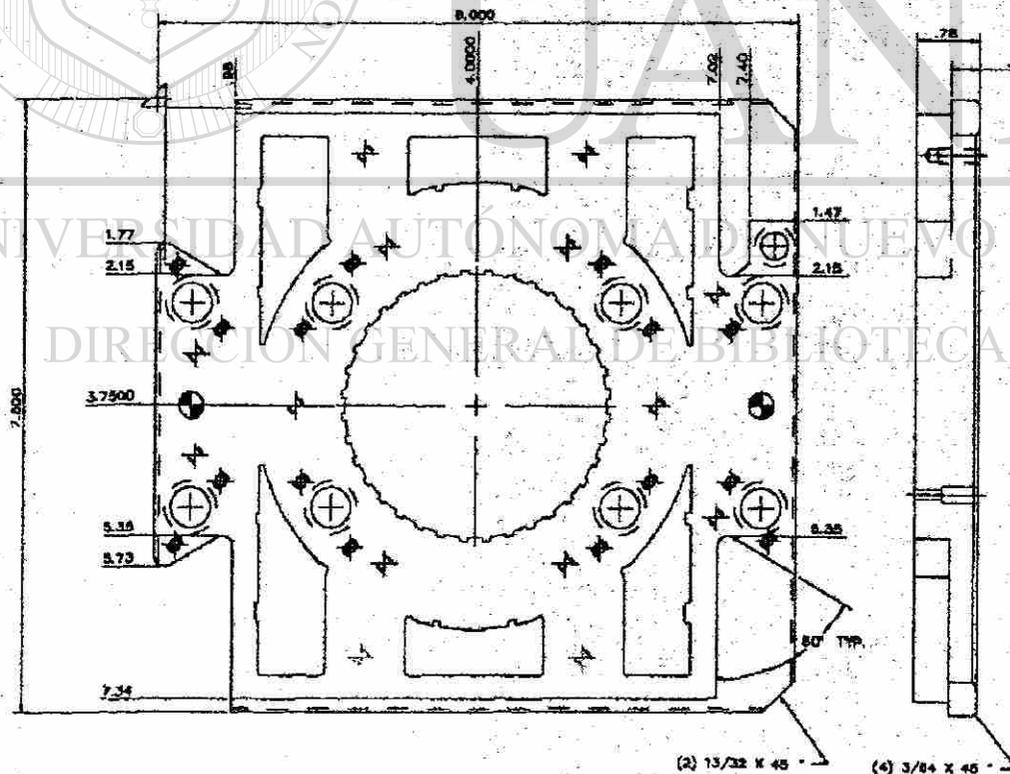


Figura 7.45 inserto guía estación 9

Es muy común que los punzones cuenten con una cabeza de retención, esta cabeza evita que se desprendan del porta punzón al momento que el despegador jala el punzón, como los punzones son hechos de carburo, hay solo dos formas de fabricar esta cabeza, una de ellas es que la cabeza sea parte del punzón, esto incrementaría mucho el costo de fabricación ya que el carburo no puede maquinarse, su proceso de fabricación se hace en base a procesos de erosión principalmente, estos procesos son costosos, además incrementaría el volumen de carburo requerido para la fabricación de un punzón, el carburo es de alto costo lo cual impacta en el costo final del punzón y de el troquel. Otra forma de añadir una cabeza al punzón es la de insertar un anillo soldado en la parte superior del punzón, esto es mucho mas barato pero es un proceso adicional que le añade también costo al punzón, además en la practica es muy común que esta cabeza se desprenda. En la fabricación de este troquel se a evitado el utilizar cabezas en los punzones de forma irregular, como son los punzones de ranura de rotor y estator, para sujetar los punzones del diámetro exterior del estator se utiliza una placa atornillada a la parte superior del punzón. Este proceso es muy barato y es muy sencillo ensamblar y desensamblar. En el dibujo anterior se muestra esta placa de retención de los punzones del diámetro interior del estator, y en la figura 7.46 se muestra el diseño de uno de los punzones de diámetro interior.

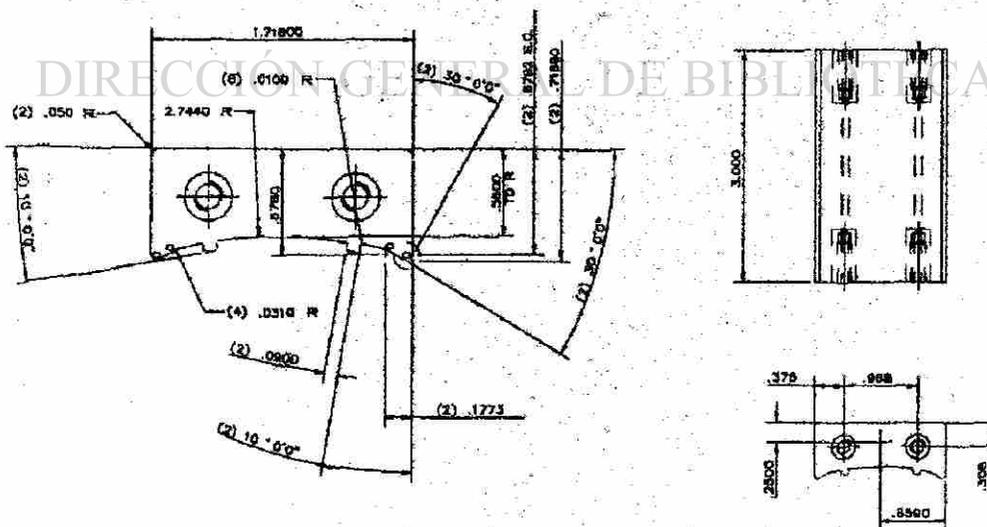


Figura 7.46 Punzón de diámetro exterior

Para finalizar con la explicación de esta estación se concluye que la clave de la misma esta en asegurar la mejor concentricidad entre el diámetro interior y exterior del estator, hasta ahora la mejor solución es hacerlo como fue explicado en esta sección, si se hace de esta manera es muy difícil que la concentricidad sea un problema de este troquel, la única forma como puede variar la concentricidad es cuando el troquel ha acumulado muchos golpes y esta cerca del rectificado general, en este punto los punzones se desgastan en cantidades diferentes, este desgaste ocasiona problemas de concentricidad, pero con una simple afilada se soluciona. Por ultimo se incluyen los dibujos de la matriz del diámetro interior de estator figura 7.47, y del punzón del diámetro interior figura 7.48.

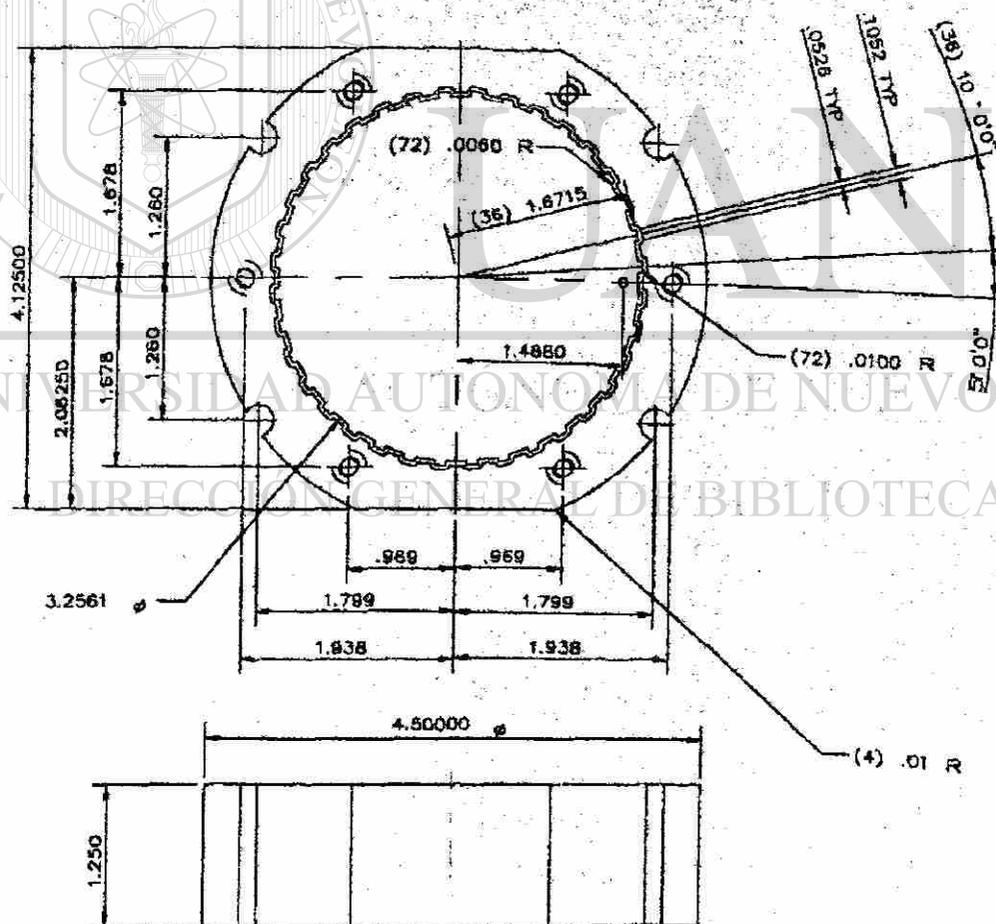


Figura 7.47 Matriz de rasurado

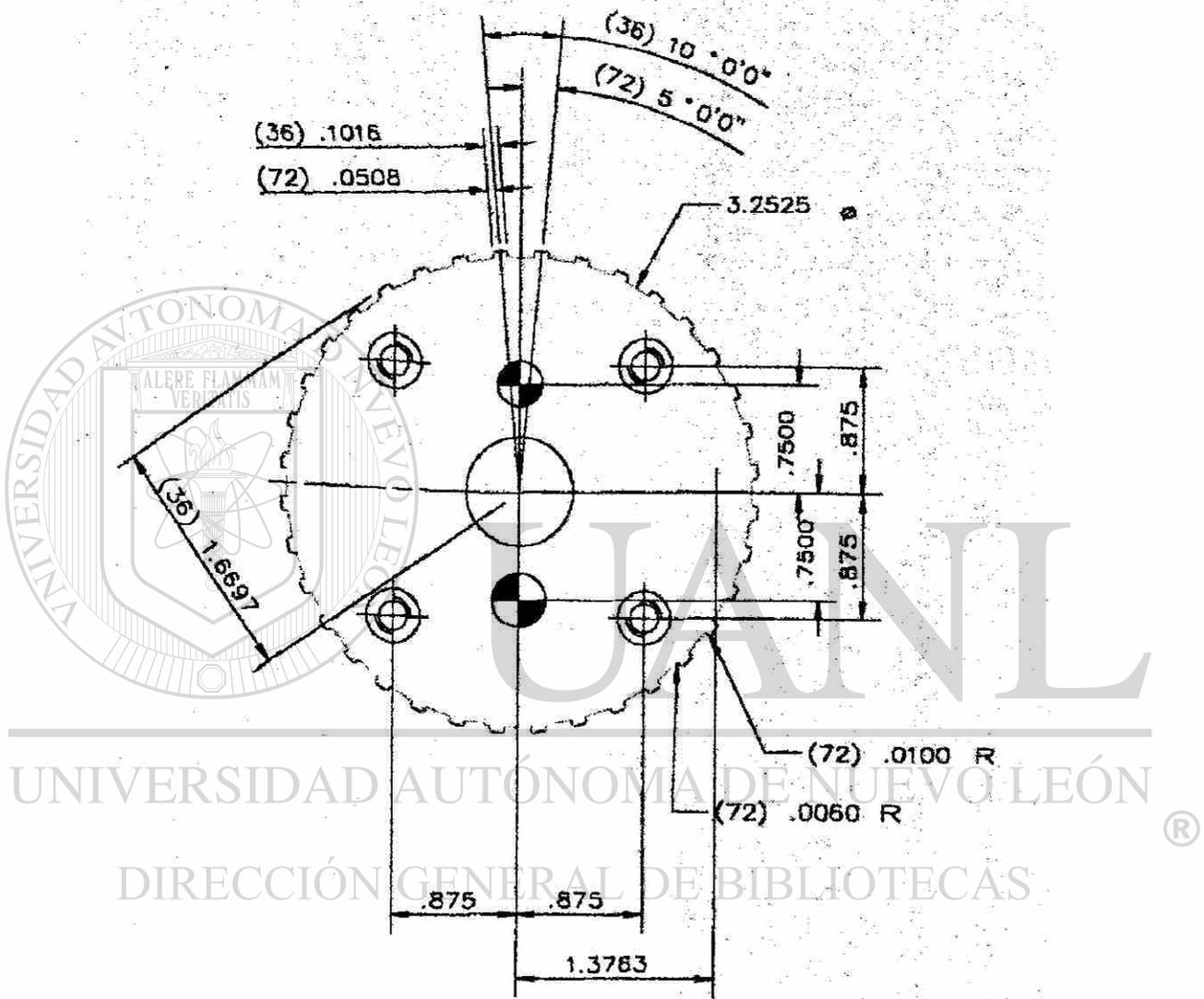


Figura 7.48 punzón de rasurado

## 7.9 Estación final

De nuevo se presenta una estación vacía en la estación numero 10, las razones por las que se decidió dejar esta estación son básicamente las mismas por las que se dejaron estaciones vacías en la estación 6 y 8, en consecuencia no ahondare mas en ello y entrare directo a la explicación del diseño de la ultima estación del troquel.

La estación 11 es la ultima estación del troquel, como se explico en el punto anterior, después de la estación 9 la laminación estator esta prácticamente formada, queda unida a la tira por dos pequeñas extensiones de material, la función de esta estación es la de separar la laminación del resto de la tira y embutirla a través del troquel, después de cruzar la zapata inferior la laminación sigue su camino hacia fuera a través del ducto de la laminación, en la figura 7.49 se muestra el dibujo de la tira, se indica la línea de separación de la laminación.

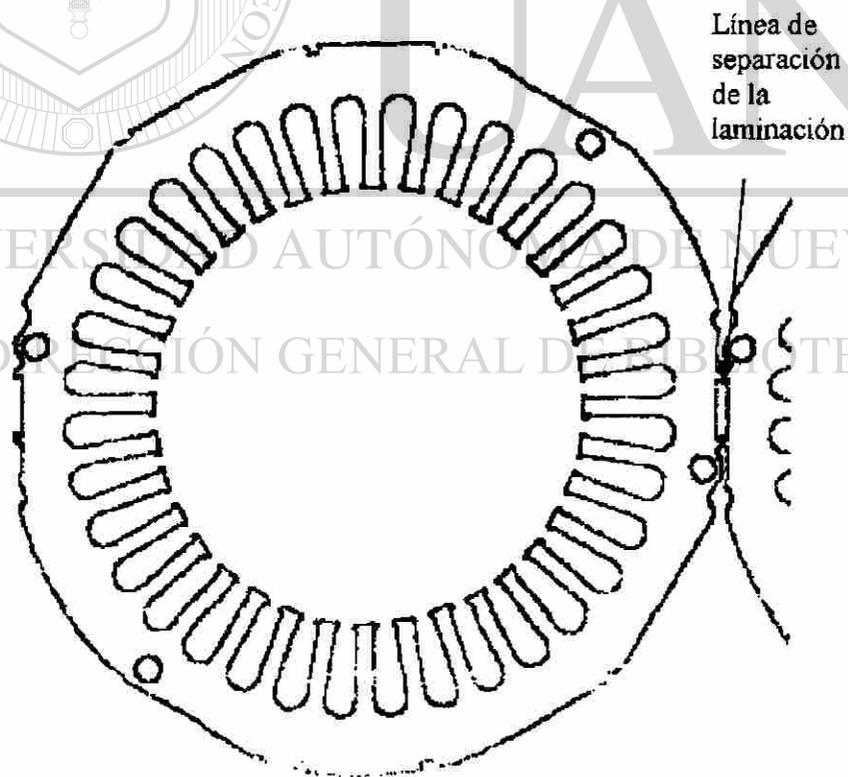


Figura 7.49 Tira de acero estación 11

El diseño de la ultima estación es sencillo, se recorta o desprenda la laminación del resto de la tira por cizallado, una matriz en la parte inferior y una cuchilla de corte en la parte superior desprendan la laminación, en la figura 7.50 se aprecia la estación 11 en elevación, en ella se indica el porta punzón, la cuchilla de corte superior esta montada en un extremo de este porta punzón según se indica, como la laminación esta prácticamente desprendida del resto de la tira, no se pueden utilizar los agujeros tornillo para pilotear la tira, ya que como se aprecia, en esta estación ya no hay despegador, si se utilizaran pilotos, jalarían la lamina al momento de la carrera ascendente del troquel, para centrar la lamina en esta estación se utiliza un piloto centrador que utiliza el diámetro interior de la laminación para centrar la laminación, al igual que los pilotos convencionales, este

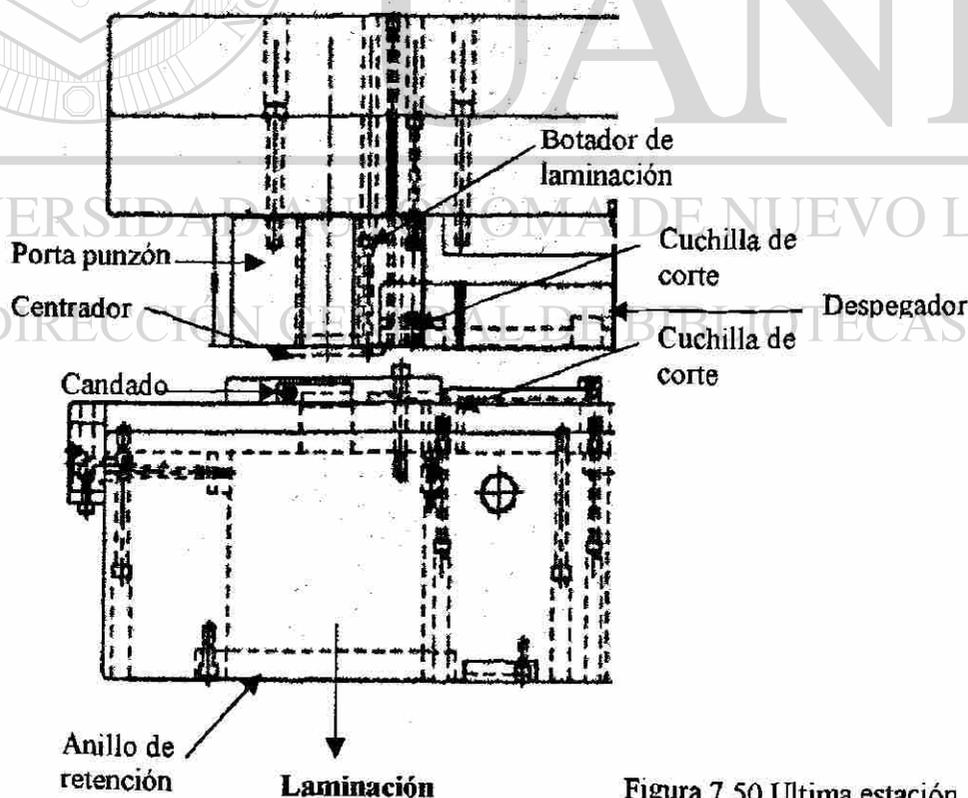


Figura 7.50 Ultima estación

centrador buscara jalar la lamina hacia arriba, para evitarlo se utilizan pernos botadores, estos van montados en el porta punzón como se indica en la figura 7.50, estos pernos despegan la laminación del centrador. Como se comento después de separar la laminación del resto de la tira, el porta punzón embute y empuja la laminación hacia abajo del troquel, la flecha indica el camino que sigue la laminación. En la figura 7.51 se muestra la vista de planta del porta punzón, en ella se aprecian mejor los detalles de la cuchilla de corte.

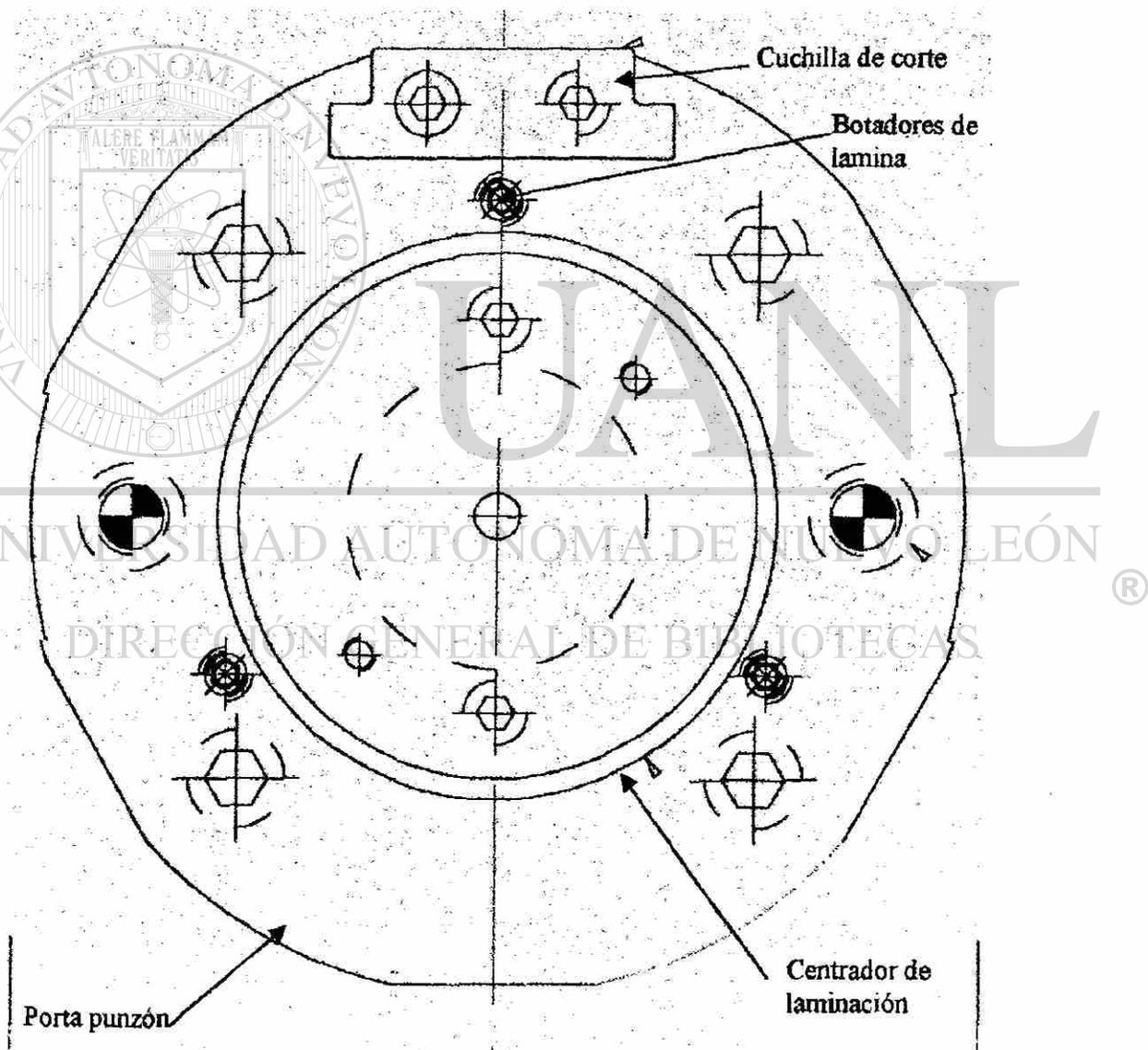


Figura 7.51 Porta punzón estación 11

Después de pasar por el troquel la laminación atraviesa la platina de la prensa y finalmente sale a través del ducto de laminación, el ducto como ya explique, es un tubo doblado en forma de cuerno, sale por debajo de la prensa y voltea hacia arriba hasta una altura de trabajo adecuada donde el operador pueda descargar la laminación fácilmente. La parte del ducto que voltea en dirección ascendente forma una columna de laminaciones de un peso dado, esta columna debe estar bien calculada, ya que se pueden presentar dos situaciones en el ducto, una es que la laminación trate de salirse hacia fuera del ducto si el peso de la columna de laminaciones no es suficiente, al ocurrir esto, se debe llenar de nuevo el chute con laminaciones en forma manual para reiniciar la operación, la otra situación que se puede presentar es que la laminaciones trate de regresar hacia arriba si el peso de la columna de laminaciones es demasiado, esta situación es mas indeseable porque normalmente ocasiona perdidas de paso y daños en el troquel.

Para contra restar y controlar estas situaciones se acondicionan una serie de frenos y candados, uno de ellos se localiza en el ducto de laminación, y no es mas que una zapata empujada por resortes, a los cuales se les puede dar o quitar tensión en forma manual segun se requiera, este freno evita principalmente que el ducto de laminación se vacíe, si la presión en este freno es excesiva ocasionara que las laminaciones se devuelvan hacia arriba, se requiere algo de practica par dar el ajuste exacto de este freno. Otro candado se localiza en la parte superior de esta estación, la función principal de este candado es

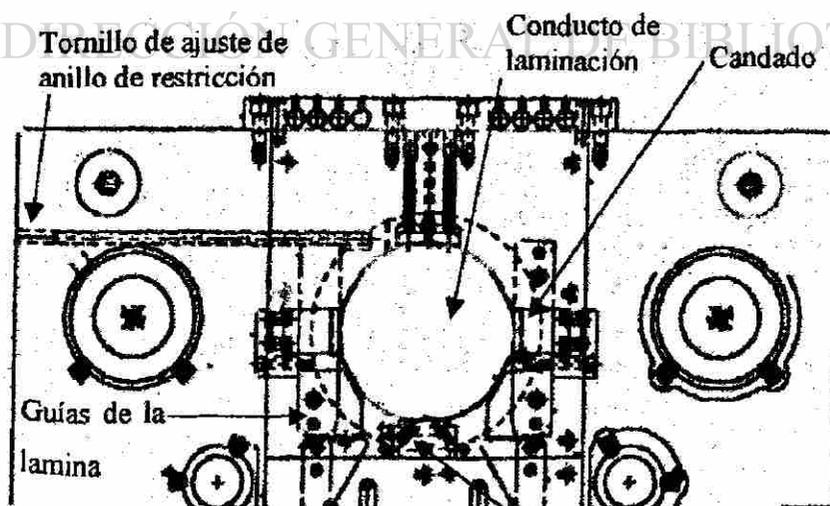


Figura 7.52 Estación 11, Vista de planta

Cuchilla inferior

la de evitar que la laminación se devuelva hacia arriba, en la figura 7.50 y 7.52 se indican estos candados. Como la figura muestra toda la estación es muy difícil apreciar los detalles, para poder visualizarlos mejor, en la figura 7.53 se muestra un acercamiento únicamente del área de trabajo de esta estación en vista de planta.

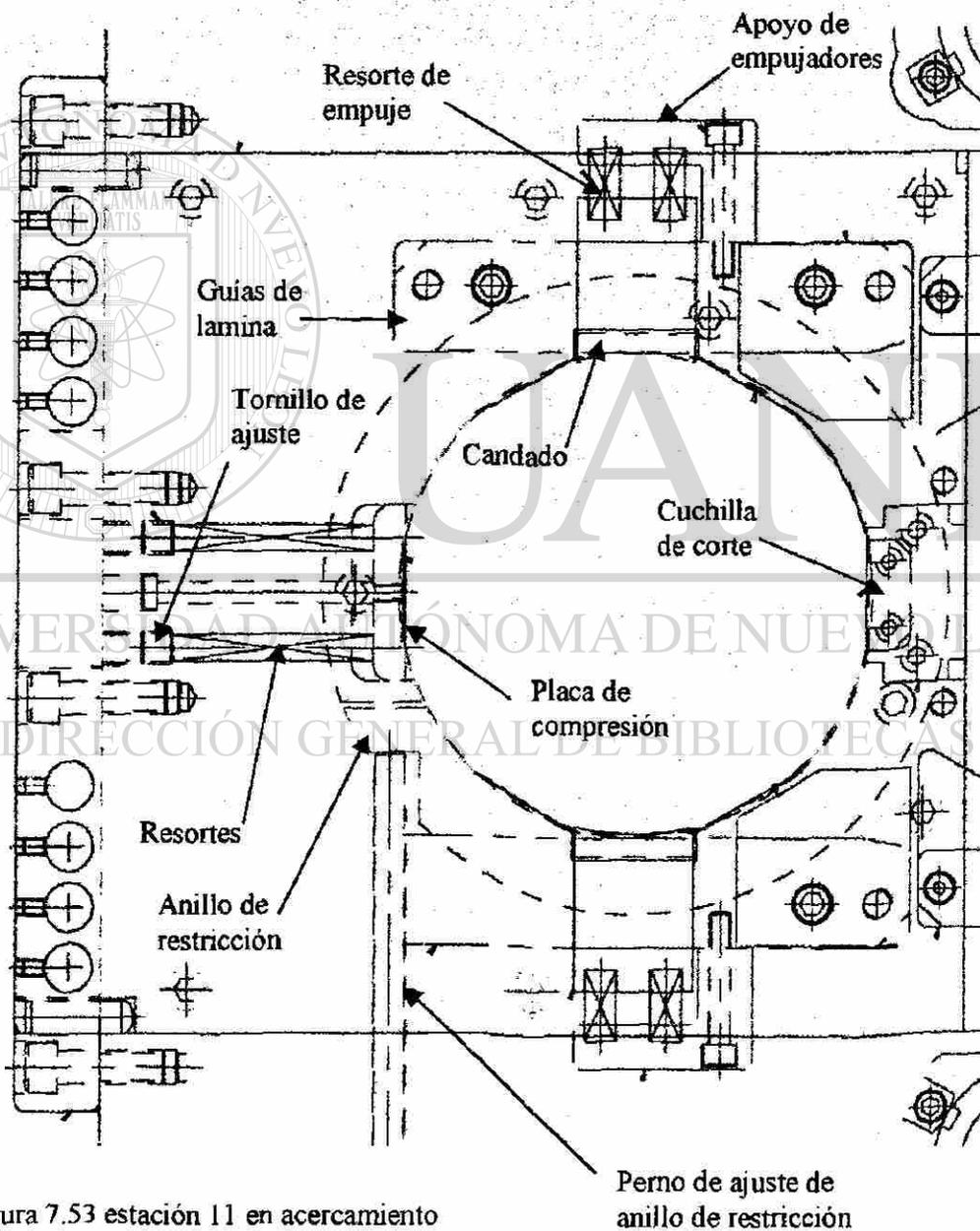


Figura 7.53 estación 11 en acercamiento

En el acercamiento de la figura anterior se aprecia mejor los candados de la parte superior de la matriz, están localizados debajo de las guías de lamina del troquel, son un par de uñas las cuales son empujadas por un par de resortes cada una, al momento de troquelar el porta punzón comprime estos candados empujándolas hacia fuera de la estación, permitiendo de esta forma que la laminación se introduzca en la cavidad de la zapata, cuando el troquel sube las uñas vuelven a su posición empujadas por los resortes y evitando que la laminación se devuelva hacia arriba. De manera auxiliar ayudan a que el centrador de la lamina no se lleve la laminación hacia arriba. Por otro lado, en el extremo opuesto a la cuchilla de corte se añade una placa de empuje, la función de esta placa es la de facilitar el proceso de arranque del troquel, cuando la cavidad del troquel esta vacía, la primer lamina que se troquela trata de voltearse dentro de la cavidad, si esto sucede, es muy probable que la lamina se doble al hacerlo se atorara dentro del troquel o del ducto, esto obliga a desatorar la lamina y reiniciar el proceso de preparación de maquina. Para solucionar este problema se añadió esta placa, la cual, después de que la laminación fue recortada e introducida en la cavidad la mantiene sujeta, evitando que se valla hacia abajo o se voltee. El ultimo candado se localiza en la parte inferior de la zapata, este es un anillo de restricción de flujo, en la figura 7.50, 7.52 y 7.52 se indica este anillo, este candado ayuda a que las laminaciones no se devuelvan ya que no se vacie el ducto, pero su principal función es como freno al de evitar que las laminaciones fluyan hacia abajo libremente, esto es muy importante al momento de desmontar el troquel de la prensa, ya que cuando el troquel se desliza sobre la platina para ser desmontado, las laminaciones dentro de la zapata inferior tratan de salirse hacia abajo, esto ocasiona daños sobre la superficie de la platina y sobre la cara inferior de la zapata, para corregirlo hay que rectificar a mano ambas superficies pero algunas veces el daño es tan grande que se debe maquinar y rectificar a maquina. Este candado es un anillo de acero partido en un extremo, la presión se ajusta por medio de un tornillo prisionero el cual se apoya sobre un perno que directamente empuja el anillo en el extremo partido, cerrándolo o permitiendo que se expanda, y por añadidura generando mas presión o restricción al flujo o liberando presión. En la figura 7.54 se muestra el dibujo de este anillo restrictor, el cual esta fabricado en acero herramienta, puede utilizarse acero A2 o D2, y templarse a una dureza de 60-62 Rc. Por ultimo en las figuras 7.55 y 7.56 se muestra el diseño de las cuchillas superior e inferior respectivamente.

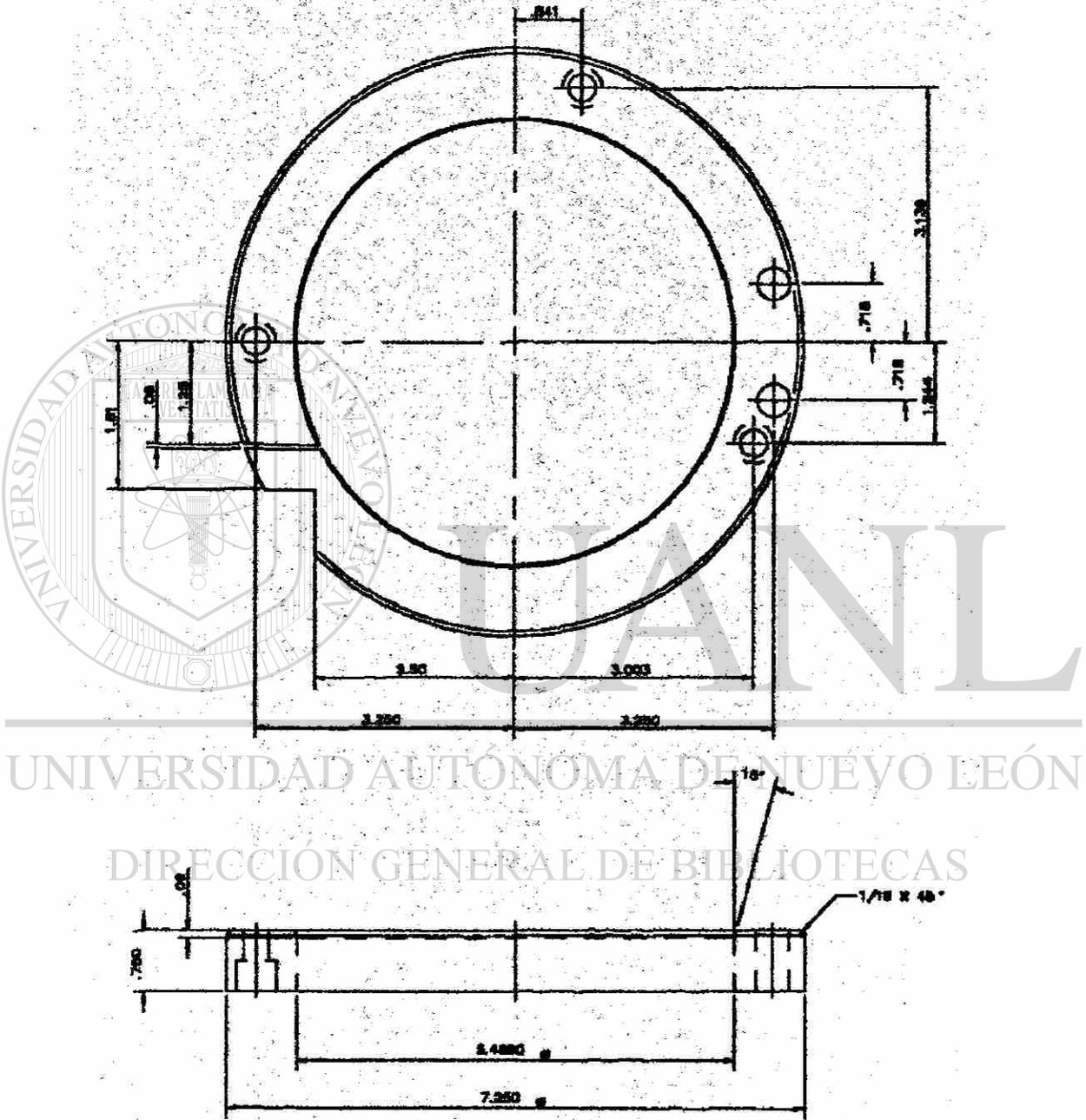


Figura 7.54 anillo de retención de estator

Como se puede apreciar en la figura, las roscas de sujeción están en ambos lados del punzón, esto ayuda a reducir tiempos de reparación y a alargar la vida del punzón, ya que cuando se despostilla puede ser volteada para que siga trabajando por el otro lado antes de ser afilada de nuevo.

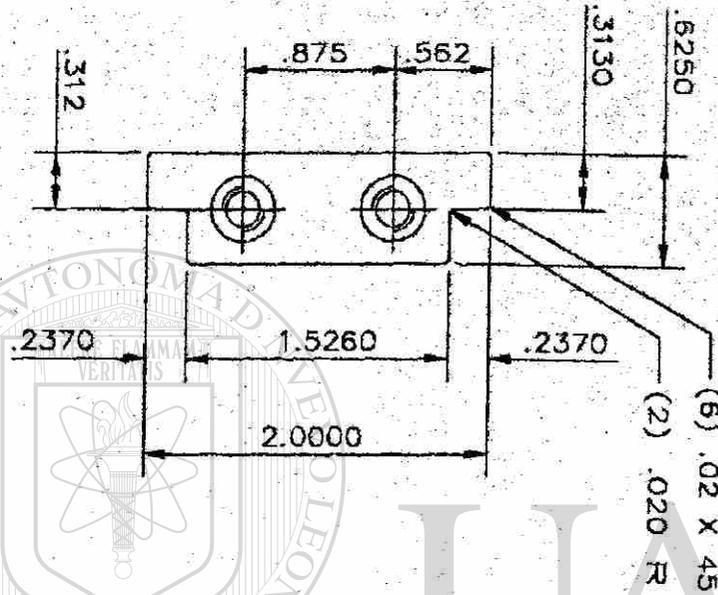


Figura 7.55 Cuchilla ultima estación

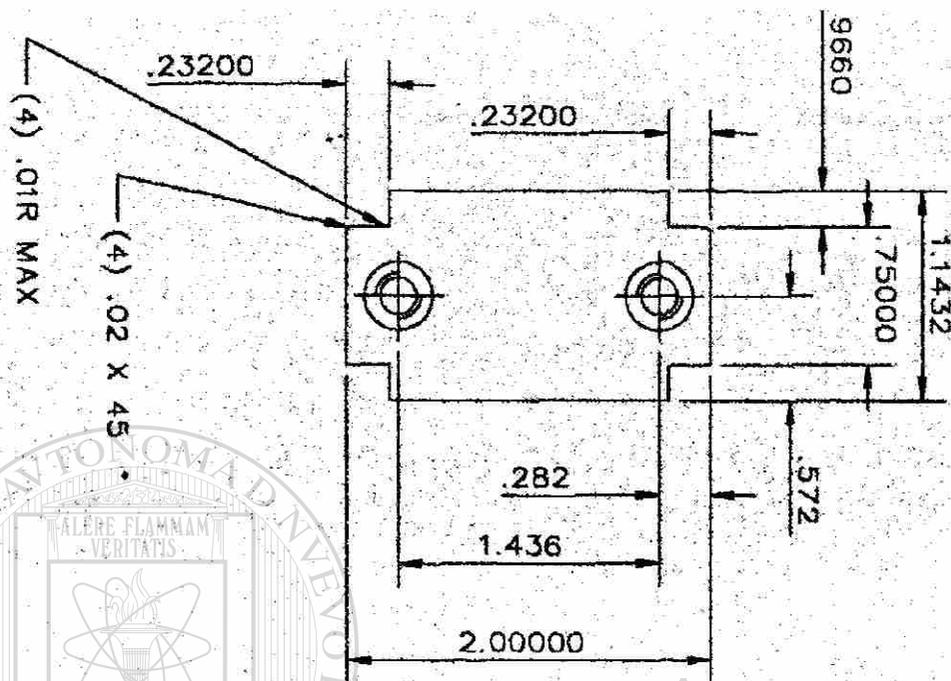


Figura 7.56 Cuchilla de corte de ultima estación

Al igual que el punzón, la cuchilla de corte inferior puede utilizarse por ambos lados, ya que las roscas atraviesan de lado a lado, esto puede ayudar bastante sobre todo en el caso de esta cuchilla, ya que si se despostilla puede ser volteada en la prensa sin necesidad de bajar el troquel para repararlo. La altura de la matriz es de 1.250", al igual que todas las matrices y punzones, la altura final se ajusta al momento del ensamble.

## CAPITULO 8

### MATERIAL PARA MATRICES Y PUNZONES

Los troqueles de laminación también son conocidos como troqueles de carburo ya que los elementos principales como punzones y matrices son fabricados en carburo de tungsteno, la razón principal para utilizar carburo de tungsteno son debido a que se requiere un material de alta resistencia al desgaste, ya que un troquel de laminación debe producir diariamente un promedio de 200,000 laminas, si se fabricara en aceros de herramienta normales, se tendrían que rectificar al menos cuatro veces al día, utilizando carburo de tungsteno, el troquel puede rectificarse hasta los 5000,000 de golpes, esto represento 100 veces la vida de un acero convencional.<sup>5</sup> Esta es la principal razón de utilizar carburo de tungsteno.

Por supuesto el utilizar un buen carburo es solo uno de los factores que intervienen en el éxito o fracaso de un troquel de laminación. Al igual que la construcción, estabilidad de la prensa y rectificado los siguientes factores son importantes para lograr una larga vida del troquel.

- a) seleccionar el grano adecuado
- b) La consistencia en la calidad del grado del metal seleccionado.

El mercado ofrece un gran numero de granos, en este capitulo se analizara solamente aquellos utilizados en fabricación de troqueles de laminación.

### 1. Grano superfino.

Con un promedio de tamaño de grano de menos de un micrón este tipo de grano a alcanzado gran utilización en la fabricación de troqueles. Debe considerarse que a pesar de su gran resistencia a la fractura, su tenacidad es significativamente menor que la de un carburo convencional. Debido a su gran resistencia al desgaste el grano superfino con un rectificado cuidados y un correcto uso puede ser validado como u una importante clase de carburo duro. Es cierto que en un futuro este carburo jugara el rol más importante en fabricación de troqueles de laminación. La figura 8.1 muestra una metalografía de este tipo de grano.

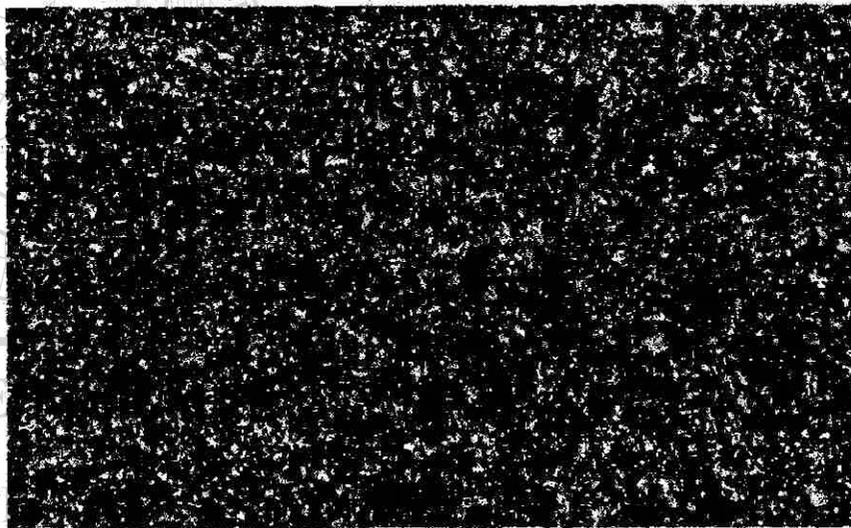


Figura 8.1 Metalografía de grano superfino. Amplificada 1500 veces

### 2. Grano fino a medio fino.

Con un promedio de tamaño de grano de 1.5-2.0  $\mu\text{m}$ . El cobalto contenido varia de 6 a 20%. La experiencia demuestra que que este grado de carburo combina una excelente resistencia al desgaste con una suficiente tenacidad. Este tipo de carburo es ideal para ir ganando experiencia y subsecuentemente alcanzar una vida optima de trabajo. La figura 8.2 muestra una mecanografía de este tipo de grano.

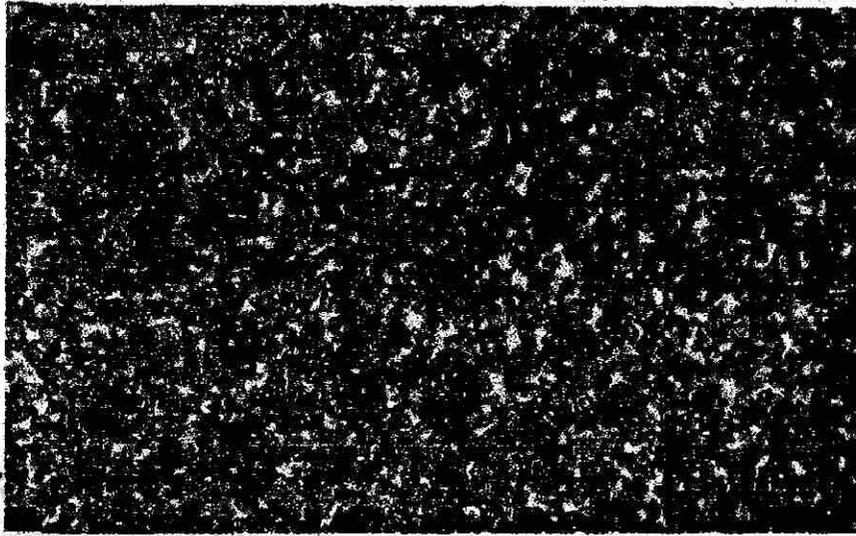


Figura 8.2 Metalografía de grano fino - medio fino. Amplificada 1500 veces

### 3. Grano grueso.

Con un promedio de tamaño de grano de 3-5  $\mu\text{m}$  este tipo de carburo alcanza su mayor uso en aplicaciones donde se requiere una gran tenacidad. Este grado de carburo es utilizado solamente en aplicaciones específicas en el mundo de la fabricación de troqueles de laminación. La dureza- resistencia al desgaste son de secundaria importancia ante su gran tenacidad. La figura 8.3 muestra una metalografía de este tipo de grano.

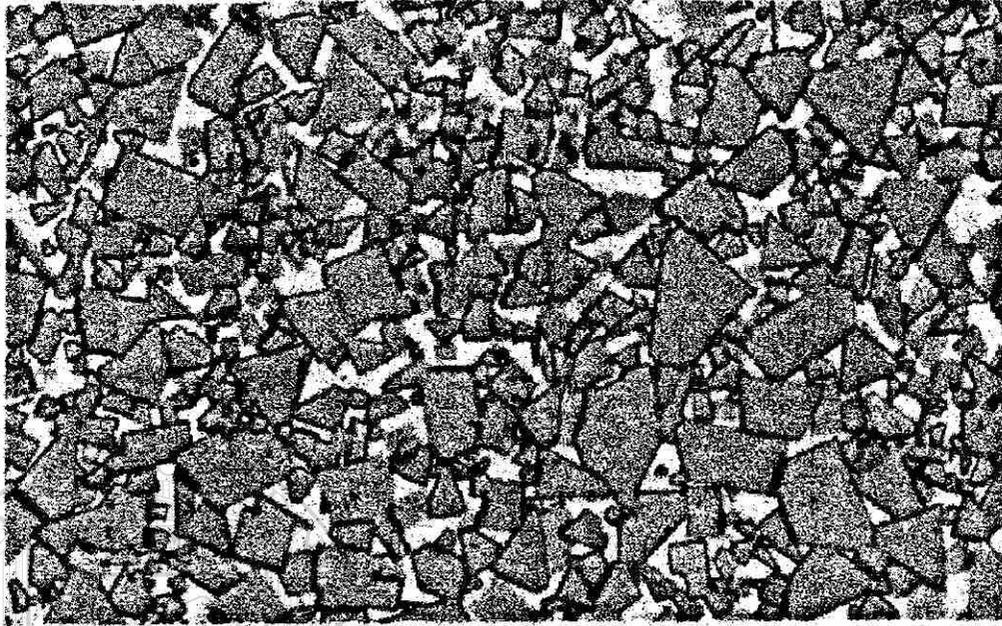


Figura 8.3 Metalografía de grano grueso. Amplificada 1500 veces

Tanta resistencia como sea posible, tanta tenacidad como sé necesaria. La mayor resistencia al desgaste con suficiente tenacidad son los requerimientos en la manufactura de troqueles de laminación. El compromiso ideal de estas dos propiedades produce el éxito deseado. Cómo llegamos al factor que afecta la propiedad? La resistencia al desgaste es determinada durante la manufactura por dos factores.

- a. Por el tamaño del grano. Entre mas fino sea, mayor será la dureza.
- b. Por el contenido de cobalto. Entre menor sea el contenido de cobalto, mayor será la dureza.
- a. Por el tamaño de grano. Entre más grueso sea el grano mayor será la tenacidad.
- b. Por el contenido de cobalto. Entre mayor sea el contenido mayor tenacidad ser el grado.

**Dureza:** la dureza puede ser tomada como guía para definir la resistencia al desgaste. Pero hay otros factores que influyen, como micro fracturas, despostilladuras, tendencia a soldarse etc. Lo cual perjudica a la resistencia al desgaste, por ejemplo, el grado super fino TSM con una significativa dureza que el grado medio H tiene en la práctica mejores resultados que en el área de resistencia al desgaste. De cualquier forma, en la área del filo de corte la primera impresión fue un significativo desgaste que con el grado medio fino, solo siguiendo detalladas examinaciones metalúrgicas se descubrieron micro fracturas.

La Figura 8.4 muestra los diferentes grados de carburo utilizados en la fabricación de troqueles de laminación.

Grado Plansee TZIT	Contenido de Cobalto %	Tamaño de grano	Dureza Vickers HV 30	Resistencia Rutura Transversal N/mm <sup>2</sup>	Área de aplicación
TSM 20	7.5	0.7	1720	3500	Materiales abrasivos, materiales que tienden a soldarse
TSM 30	10	0.7	1550	3700	
TSM 40	12	0.7	1460	3800	
H20S	6	1.5-2.0	1615	2000	Grado universal de corte con buena estabilidad del área de corte,
H30S	9	1.5-2.0	1470	2400	
H40S	12	1.5-2.0	1340	2600	
H50S	15	1.5-2.0	1225	2800	
B15S	6	3.0-5.0	1330	2150	su característica es alta tenacidad
B30S	9	3.0-5.0	1210	2450	con suficiente dureza para espesores de hasta 2mm.
B40S	12	3.0-5.0	1100	2600	

Figura 8.4 Carburos utilizados en matrices y punzones de troqueles de laminación

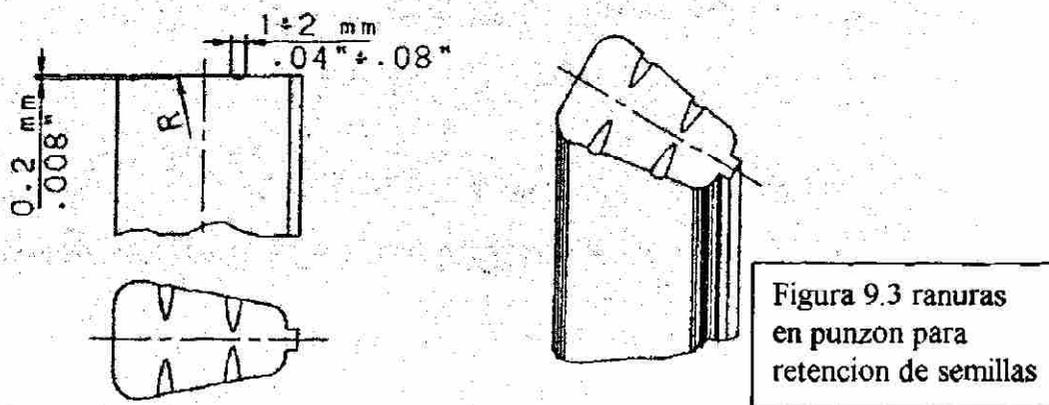
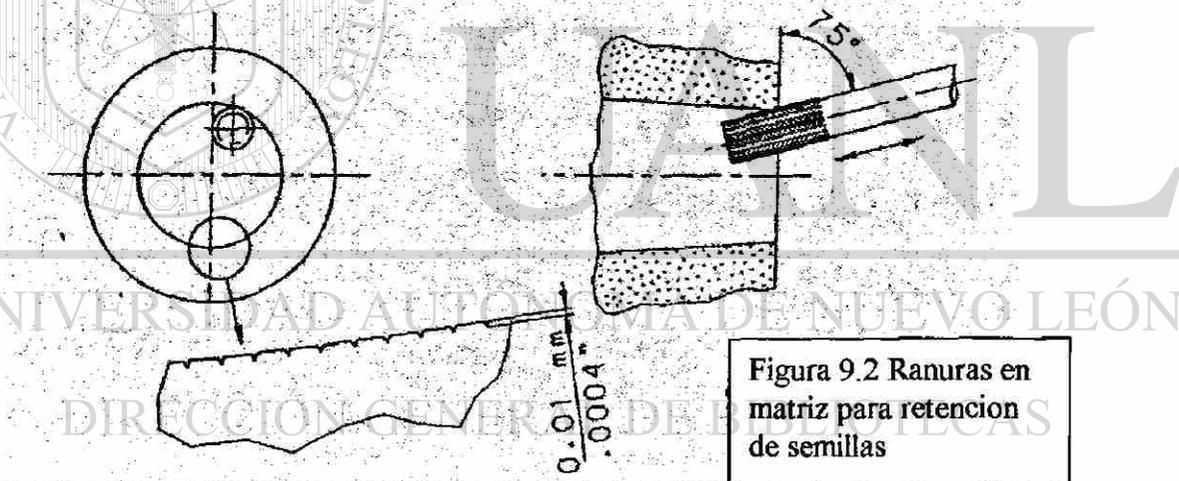
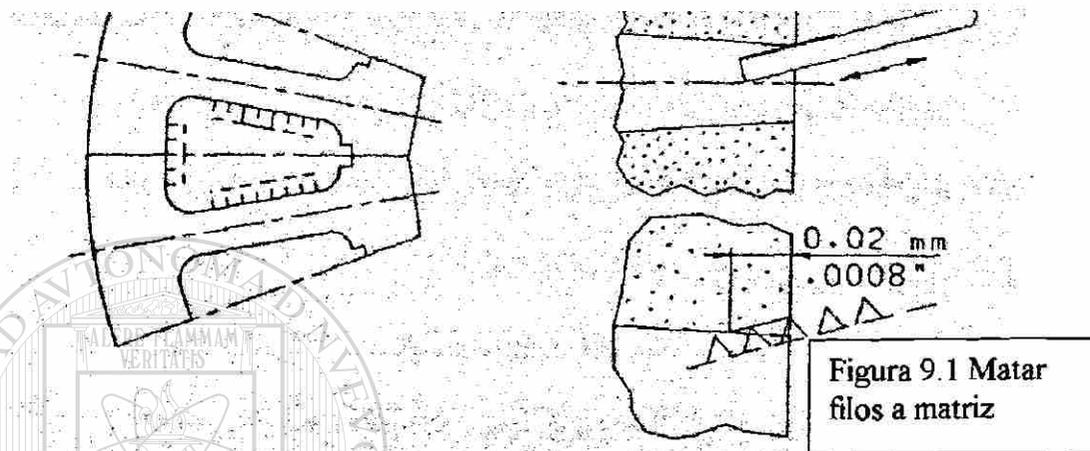
## CAPITULO 9

### RETENCION DE DESPERDICIO

Uno de los principales problemas que se presentan en troqueles de laminación es cuando el desperdicio o semilla es jalado hacia afuera de la matriz, por la parte superior, cuando esto sucede la semilla se alojara entre el material y las matrices, cuando el troquel vuelve a dar un golpe los punzones perforaran el material de trabajo mas el espesor de la rebaba, esto ocasiona sobre esfuerzo en los elementos cortantes, a su vez este sobre esfuerzo ocasiona fracturas o daños en matrices y punzones. Este problema es la principal causa de despostilladuras en troqueles de laminación. La razón por las que las semillas son jaladas hacia afuera son diversas, esto puede ser producto de variación en las propiedades mecánicas del material de trabajo, puede ser debido a exceso de lubricante, o a la penetración del punzón. A continuación enlistare las principales soluciones que pueden aplicarse para solucionar este problema. <sup>6 y 4</sup>

- 1) La compañía Oberg estandarizo un proceso en el cual las matrices son fabricadas con una muesca helicoidal a lo largo de la pared interior de la matriz, esta muesca ayuda a mantener la semilla atrapada dentro de la matriz. Como este proceso es exclusivo de Oberg se deberán comprar con ellos estas matrices si se quiere aplicar esta solución.
- 2) No se debe eliminar por completo el desgaste de la matriz al rectificar, esto genera rebaba muy pequeña alrededor de la semilla, la cual ocasiona que la semilla se amarre contra la matriz evitando que pueda ser jalada hacia afuera, si al rectificar se elimino todo el desgaste de la matriz, se debe de matar el filo alrededor del perímetro de corte de la matriz, de igual forma esto producirá algo de rebaba en la semilla facilitando que la misma se sujeta a la matriz. En la figura 9.1 se muestra la forma correcta de hacer esta operación, se utiliza una lima de diamante D46 de acuerdo a la norma DIN.

Esta operación es muy delicada, se requiere de experiencia y habilidad, ya que si el filo se redondea demasiado, la rebaba que se genere puede ocasionar que el agujero este fuera de especificaciones desde el punto de vista dimensional, o que la misma rebaba



sea mayor al límite aceptado. Como se muestra en la figura, el radio producido en esta operación no debe ser mayor a 0.008". como la operación es manual, es muy difícil controlar esta dimensión, es por esto que se requiere de gran habilidad y experiencia para desarrollar este trabajo. Además esta operación reduce la vida de la matriz y se tendrá que afilar con mayor frecuencia, sobre todo cuando esta operación no fue realizada en la forma correcta.

3) Si la operación de matar el filo de la matriz no funciona, se puede utilizar otro método, esto es hacer ranuras sobre la cara de corte del punzón y en el perímetro de corte de la matriz. Al igual que en el método anterior, se generan rebabas en la semilla, producto de las ranuras en la cara del punzón. Estas rebabas generaran la fuerza de retención necesaria. En la figura 9.2 se muestra el proceso de hacer ranuras en la matriz y en la figura 9.3 se muestra el mismo proceso realizado en el punzón. Las rebabas generadas mediante este proceso pueden ser mayores a las producidas mediante el proceso de matar filos. Este proceso se recomienda hacer principalmente en troqueles cuya vida ya esta muy limitada, y en áreas de corte donde las tolerancias dimensionales y las rebabas no son críticas, como son el punzonado de ranuras de rotor y estator.

4) Utilizar desahogo tipo abocardado en lugar de cónico. Esta solución no es aplicable a troqueles de laminación, ya que como se comento en estos troqueles el desahogo es cónico a todo lo largo de la matriz debido al espesor del material.

5) Incrementar la penetración del punzón, esto puede funcionar en ambos sentidos, puede ayudar a mantener la semilla dentro de la matriz o puede crear un efecto pistón jalando la semilla hacia afuera. En la practica se puede probar con mayor penetración del punzón, si el efecto es en contra, se debe probar con menor penetración.

6) se puede probar utilizando menor cantidad de lubricante en la tira, una cantidad excesiva de lubricante ocasiona que la semilla se adhiera a la cara del punzón y que sea jalada hacia afuera. Esta operación también es delicada, debe hacerse con bastante cuidado, ya que al utilizar menor cantidad de lubricante en la tira se puede generar mayor desgaste en punzones y matrices, esto afecta la vida del troquel y ocasiona que se tenga que rectificar de manera mas frecuente. La cantidad de lubricante debe restringirse solo en la cara superior del material de trabajo, ya que es esta la que esta en contacto con la cara del punzón. La lubricación en la parte inferior debe permanecer normal para evitar mayores desgastes en las matrices.

7) Utilizar micro soldadura en el interior de la matriz. Esta debe ser aplicada con un equipo especial el cual utiliza un electrodo de carburo para depositar pequeñas cantidades de material en la matriz, esto ayuda a que la semilla se adhiera al interior de la matriz. El problema de esta aplicación es que si la prensa no es de gran abertura, el trabajo se tiene que realizar en el taller.

8) Reducir la tolerancia de corte de 10% a 5%. Esto limitara la vida de la matriz e incrementara la frecuencia de rectificado.

9) Utilizar pernos expulsores de rebaba. Se debe asegurar que este perno no se extiende demasiado afuera del punzón o que la presión del resorte es excesiva, esto puede ocasionar que el perno se doble y puede dañar al punzón. Además cuando la fuerza de estos pernos expulsores es demasiada pueden interferir con la operación de centrado de los pilotos del troquel. En la figura 9.4 se muestra esta aplicación. La única limitación de este procedimiento es que esta limitado por el tamaño del punzón, en dimensiones muy pequeñas no se puede utilizar, cuando así se hace los pernos fallan muy seguido.

10) Otra solución es utilizar aire comprimido. Esto funciona de manera similar al ejemplo anterior, la única diferencia es que en lugar del expulsor, se dispara un chorro de aire comprimido a través del punzón. Esta solución es efectiva sobre todo en troqueles nuevos, pero cuando la vida del troquel está por debajo del 50%, esta solución puede actuar de manera contraria, ya que la tolerancia de corte en este punto de la vida del troquel es muy grande, el aire ocasionará una turbulencia dentro de la matriz que puede hacer que la rebaba se expulsa hacia arriba.

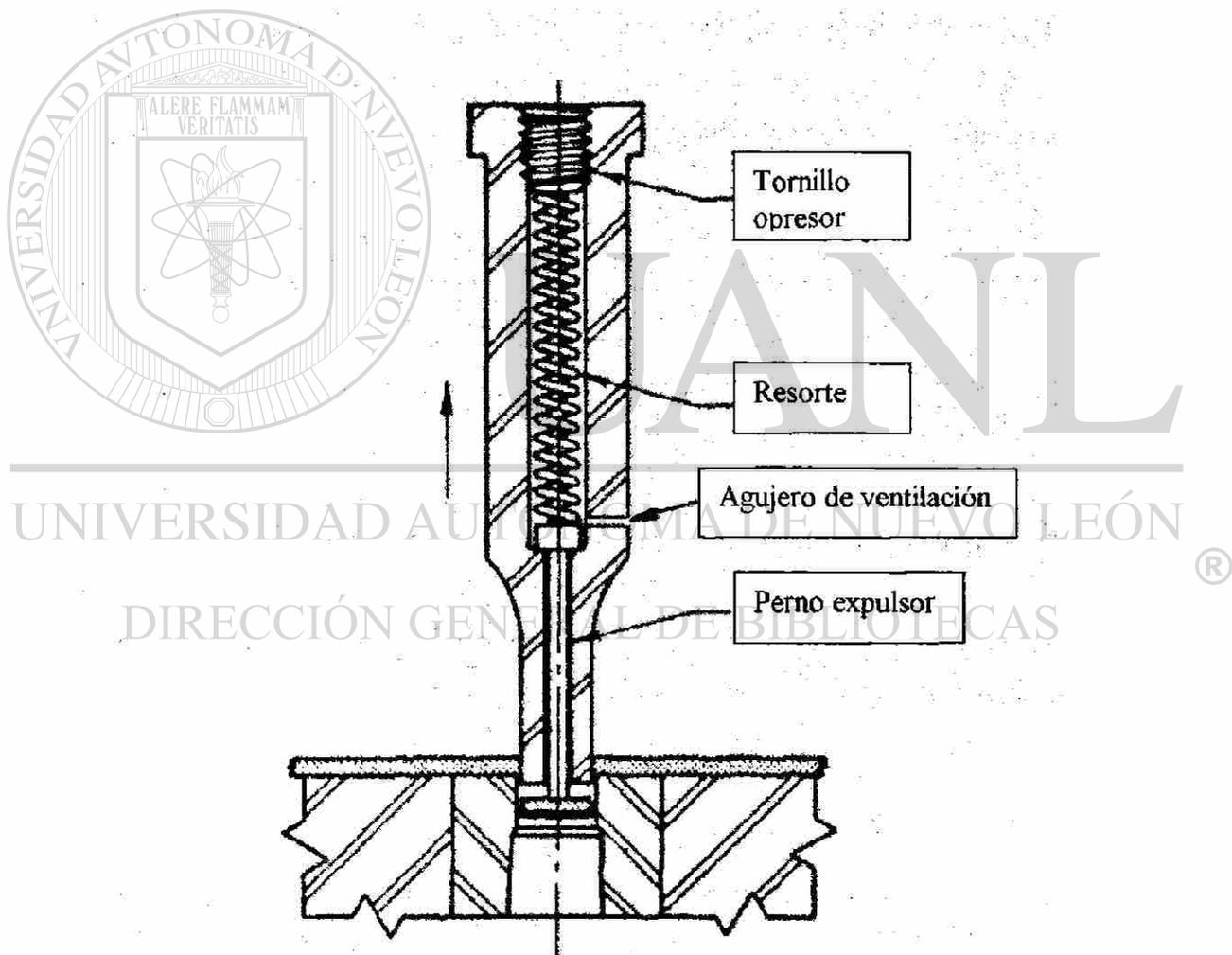


Figura 9.4 Punzón con perno expulsor de semilla

## CAPITULO 10

### OPERACIÓN DEL TROQUEL

El procedimiento básico para la instalación y operación de un troquel de laminación es esencialmente el mismo para todos los troqueles de laminación. Enseguida se describe el procedimiento que debe seguirse para asegurar la correcta instalación y operación de este tipo de troqueles. Se debe enfatizar que la mugre y las rebabas están entre las principales causas que afectan el correcto funcionamiento del troquel. La limpieza del troquel, carnero y platina de la prensa nunca deben pasarse por alto la menor cantidad de mugre o rebaba puede significar la diferencia entre una buena corrida del troquel o horas de tiempo muerto. A continuación se describe el proceso que debe seguirse para la instalación del troquel de laminación.

1. El carnero de la prensa debe ajustarse en el punto muerto inferior de su carrera hasta llegar aproximadamente a  $\frac{1}{4}$ " sobre la parte superior del troquel. Para permitir que el troquel pueda entrar libremente.
2. Limpie el carnero y la platina minuciosamente eliminando cualquier rebaba que pueda haber. Esta operación debe de hacerse también en el troquel antes de instalarlo.
3. Deslice el troquel dentro de la prensa. Si el troquel está acondicionado con pernos centradores, insértelos para asegurar el paralelismo del troquel. Ajuste la carrera del carnero hasta que haga contacto con la zapata superior. Inserte los tornillos de sujeción y apriételes.
4. Inserte los tornillos para la sujeción de la zapata inferior pero no los apriete. Enseguida el carnero de la prensa debe activarse en forma manual, completar dos o tres ciclos de trabajo para permitir que la zapata inferior flote y se acomode. Una vez que la zapata inferior se ha acomodado apriete los tornillos de sujeción.

5. Todos los sensores de protección deben ser conectados y ajustados.
6. Todos los cables del servomotor deben ser conectados, acomodar la banda y ajustar la tensión de la misma. Después de esto debe prenderse el controlador. Por último se instala en su posición la banda de rotores.
7. Ajustar alimentador. Se deben ajustar el paso de alimentación, ángulo de alimentación, levantamiento de rodillos de alimentación etc.

En este punto se ha completado los pasos necesarios para el montaje del troquel, la velocidad de la prensa depende de varios factores. En troqueles progresivos el factor que más afecta al límite de velocidad es la longitud de alimentación. Otros factores que deben considerarse son la antigüedad, condiciones y tipos de troquel, el límite máximo de velocidad de la prensa y el equipo de alimentación. La calidad y dureza del material también afectará a la velocidad a la que puede correr el troquel. La combinación de todo el equipo periférico determinará la máxima velocidad de operación.

Durante la operación de un troquel nuevo se deberá seguir un procedimiento específico. La consistencia en seguir este procedimiento será determinante en la eficiente operación y vida del troquel en corridas posteriores. Aunque el procedimiento puede variar de usuario en usuario, el siguiente procedimiento incluye las prácticas imprescindibles en la operación de un troquel de laminación.

1. asegúrese que todos los pernos de zapatas y despegadores están correctamente lubricados. Correr el troquel a baja velocidad por una o tres horas. Después de este tiempo el troquel debe llevarse al taller. Revisar todos los tornillos y pernos están bien apretados. Checar punzones y matrices por cualquier despostilladura o desgaste que puedan demandar realinea el troquel. Revisar la última tira y laminación de estator para asegurarse que no hay rebabas o marcas que indiquen algún daño. Checar que todas las semillas tienen buena retención en las matrices.

2. instalar de nuevo el troquel en la prensa siguiendo el procedimiento de instalación.
3. continuar corriendo el troquel a media velocidad por un mínimo de 100,000 golpes. Durante la prueba los pernos deben ser lubricados cada dos horas, revisar físicamente que no hay calentamiento en los mismos. El troquel puede ser chequeado de nuevo si así se desea siguiendo el procedimiento del paso 1.
4. la velocidad puede ahora ser incrementada hasta el 75% de la velocidad promedio que es de 250,000 golpes por minuto. De nuevo los pernos deben seguir siendo lubricados cada dos horas, y la inspección física debe seguirse haciendo. De ahora en adelante la velocidad puede seguirse incrementando gradualmente hasta la velocidad promedio.

Este procedimiento asume que la velocidad promedio de la prensa está entre 250 y 300 golpes por minuto. Para las prensas que sobrepasan esta velocidad. El usuario debe ir ajustando la velocidad máxima de operación de acuerdo al funcionamiento del troquel. Entre los usuarios de troqueles de laminación la longitud de la corrida varía de acuerdo a su equipo de apoyo, tipo de acero, tipo de carburo utilizado en punzones y matrices y a la experiencia individual. En promedio la longitud de una corrida es de 2,500,000 de golpes. Pero hay troqueles en el mercado fabricados en carburo Planzee que pueden hacer corridas de hasta 7,000,000 de golpes.

Una vez que el troquel ha sobrepasado el millón de golpes el usuario debe intensificar los chequeos de laminación tratando de encontrar rebabas excesivas que puedan aparecer. Además se deben dimensionar las piezas para asegurarse que siguen dentro de especificaciones. Cuando se sobrepasa la corrida del troquel aparecerán desgastes en punzones y matrices, esto afecta las tolerancias geométricas de las piezas. El único remedio para este problema es rectificar el troquel o las partes desgastadas.

Tres de los principales problemas en troqueles de laminación están asociados con pérdidas de paso, doble espesor ocasionado por mala retención de las matrices y rebabas atascadas. Estos problemas no son inherentes a un tipo de troquel en particular o a un

usuario, suceden en todos los roqueles de laminación en un momento o en otro por una gran variedad de circunstancias. Se dice que un troquel de laminación es como una sandía, lo mejor esta en el centro. En muchas ocasiones un troquel de laminación parece correr mejor en el punto medio de su vida util, cuando los punzones se han asentado en su posicion y la tolerancia de las matrices es mayor. El jalado de las semillas ocurre principalmente al inicio de la vida del troquel o al final de la misma. Esta condicion es mas comun en punzones de pequeñas dimensiones debido a la falta de expulsores ya que las dimensiones tan pequeñas lo limitan, composicion del material o insuficiente presion de aire a trves del punzon para mantener a la semilla dentro de la matriz. Un troquel recién afilado tendera a jalar las semillas hacia arriba, esto debido la gran cantidad de corte y menor rebaba en la semilla. La rugosidad del corte en la semilla ayuda a que la misma se adhiera a la matriz. Los metodos para eliminar este problema ya se discutiern en el capitulo de retencion de desperdicio. En la mayoría de los casos un troquel que esta ligeramnete desgastado funcionara con una menor ocurrencia de semilla jalada hacia afuera que un troquel que esta recién afilado.

Otro problema muy comun es cuando las semillas se atascan dentro de la matriz, este problema es lo opuesto de jalar la semilla, y puede ocasionar severos daños al troquel. Este problema sucede cuando la semilla no es capaz de pasar libremente a travez de la matriz. Esto puede ocasionar despostilladas o fracturas en punzones y matrices y en algunas ocasiones severos daños al porta matriz y zapata inferior. Suciedad, otras semillas o rebaba excesiva en la semilla puede ocasionar el que las semillas se atasquen. Otras causas adicionales incluyen tolerancia de corte inadecuada, angulo de corte insuficiente, o instalar boca abajo una matriz.

Otra causa puede ser debido a una obstruccion en la zapata inferior o en la platina, esta obstruccion puede ser debido a una interferencia entre los desahogos del troquel y la platina o debido a muy poca tolerancia en los desahogos. En todos los troqueles de laminacion el agujero de la matriz debe de ir creciendo con cada rectificada debido al desahogo angular. Por ninguna circunstancia el agujero puede volverse mas pequeño o desalinearse entre la cavidad de la matriz y el desahogo de la zapata inferior. Antes de instalar una matriz nueva, debe de compararse para asegurar que el desahogo de la matriz y el desahogo de la zapata no se interfieren entre si.

Una pérdida de paso ocurre cuando la tira falla en el intento de alcanzar la progresión adecuada, esto es cuando no avance la suficiente distancia entre cada estación antes de que el troquel completa la carrera de troquelado. Esto puede ser debido tanto a alimentación insuficiente a alimentación excesiva. Cuando esto sucede se debe recortar y tirar la última tira troquelada e iniciar de nuevo la operación. Las pérdidas de paso ocurren debido a muchas causas algunas de ellas son debido a mala calibración de rodillos de alimentación, esto principalmente cuando se utiliza un alimentador mecánico. Cuando se utiliza un servo alimentador, se deben de revisar los parámetros de alimentación como son el ángulo de alimentación, distancia de alimentación, inicio de alimentación, fin de alimentación y apertura de rodillos principalmente. Otra causa puede ser cuando la cola del rollo se introdujo en el troquel, en este momento el alimentador ya no la controla y se produce una pérdida de paso. Cuando los pilotos jalan la tira es otra causa probable, problemas de corte de la tira, esto cuando se utiliza cinta recta en lugar de cinta precortada. Cuando una pérdida de paso ocurre la tira de acero debe ser removida y debe de limpiarse el troquel, eliminando las pequeñas rebabas que quedan sobre las matrices, estas pueden ocasionar defectos en las laminaciones, así como pérdidas de paso y daños a punzones y matrices.

---

Los troqueles de laminación con sistema de grapado experimentan los mismos problemas que los troqueles de lamina suelta. Sin embargo en un troquel con sistema de grapado se presentan problemas adicionales como son el problema de esponja, este problema es debido a un mal grapado o a un grapado débil. Este defecto es indeseable, generalmente las piezas que se producen con este problema son eliminadas. Algunas de las causas de este problema incluyen, desgaste en punzones de formado de grapa y punzones de grapado, mal calibrado en la altura de punzones de formado y grapado, variación en las condiciones del material de trabajo, problemas con pilotos, matrices e incluso la condición de la prensa.

## CAPITULO 11

### MANTENIMIENTO DEL TROQUEL

El mejor funcionamiento posible de un troquel de laminación depende de dos factores principalmente, de una correcta utilización del troquel y de un cuidadoso programa de afilado y mantenimiento. Un troquel de laminación es una herramienta de alta calidad y alto costo, en consecuencia debe ser tratada como tal. Es obvio que el resultado es mejor cuando se sigue cuidadosamente el procedimiento de mantenimiento. El factor humano es muy importante, el mantenimiento debe ser realizado por personal calificado y consciente de la importancia de un troquel de laminación. En conclusión, un cuidadoso y bien planeado mantenimiento resultara en gran productividad y reducirá el costo por unidad de la producción. A continuación se hablara de los principales puntos que se deben de tomar en cuenta en el mantenimiento de un troquel de laminación.<sup>4</sup>

#### 11.1 Rectificadora

Para el afilado de troqueles de laminación se utiliza una rectificadora de superficies planas. Esta maquina debe de estar en buenas condiciones y debe de ser del tamaño adecuado, de tal manera que el rectificado de toda la superficie del troquel pueda realizarse sin necesidad de rectificar el troquel dos o más pasos. Las características de la rectificadora deben ser las siguientes:

- Rigidez y firmeza apropiados al peso del troquel que debe ser rectificado
- El husillo de la maquina debe de estar bien ajustado y con la mínima tolerancia posible.

- La mesa debe de contar con sistema ajustable automático de alimentación longitudinal y transversal, la relación de velocidad entre la piedra rectificadora y la pieza a ser rectificadas debe ser seleccionada de acuerdo al tipo de piedra que debe ser utilizada
- Debe contar con equipo automático de lubricación o enfriamiento de la pieza de trabajo.

## 11.2 Piedra de diamante

el carburo es un material de muy alta dureza, la única forma como puede ser rectificado es utilizando una piedra de diamante, a continuación se describen las principales características que deben de considerarse en la selección de la piedra adecuada.

Aglutinante este debe de ser a base de resinas para poder alcanzar la máxima eficiencia y evitar sobre calentamiento de la piedra causado por ejemplo por aglutinante metálico

Tamaño de grano: hay dos alternativas posibles

- a) para obtener los mejores resultados se deben de rectificar el troquel utilizando dos piedras de grano diferente.

Para desbaste se debe de utilizar una piedra de grano 100/120.

Para acabado se debe de utilizar una piedra de grano 200/300

- b) en muchos casos utilizando una sola piedra de diamante se obtienen resultados satisfactorios, el grano es el resultado de una combinación entre las dos alternativas.

Para uso general se debe de utilizar una piedra de grano 120/140.

Concentración de grano: los valores normales para esta aplicación son 50 o 75.

**Diámetro de la piedra:** este debe ser elegido de acuerdo a la velocidad del husillo con la finalidad de obtener la velocidad periférica adecuada que es de aproximadamente 25 metros por segundo

**Rectificado de la piedra:** cuando la piedra es nueva se recomienda siempre rectificarla utilizando el dispositivo automático con el que cuenta la rectificadora. Este rectificado debe realizarse con alimentación de corte alrededor de  $0.0004''$ , hasta que se obtiene una limpieza de la superficie de la piedra completamente uniforme.

### 11.3 Refrigerante

el rectificado de un troquel de laminación debe de realizarse siempre en condiciones húmedas. A continuación se detalla algunas de las condiciones principales que se deben de considerar.

El flujo de refrigerante debe ser continuo y copioso, este debe ser dirigido hacia la cara de la piedra en el punto donde hace contacto con la pieza de trabajo, figura 11.1. el recubrimiento de diamante tiende a taparse debido al material de acero, ya que al rectificar la zapata esta cuenta con secciones de carburo y secciones de acero. Se recomienda utilizar una piedra convencional para desbastar tanto acero como se pueda y después utilizar la piedra de diamante par rebajar el carburo.

El uso del refrigerante tiene dos objetivos principales:

- a) mojar la piedra para eliminar las partículas desbastadas que quedan adheridas a la misma.
- b) enfriar con el objetivo de prevenir que el carburo se sobre caliente esto provoca tensión superficial en el carburo, posteriormente esto puede ocasionar daños en matrices y punzones

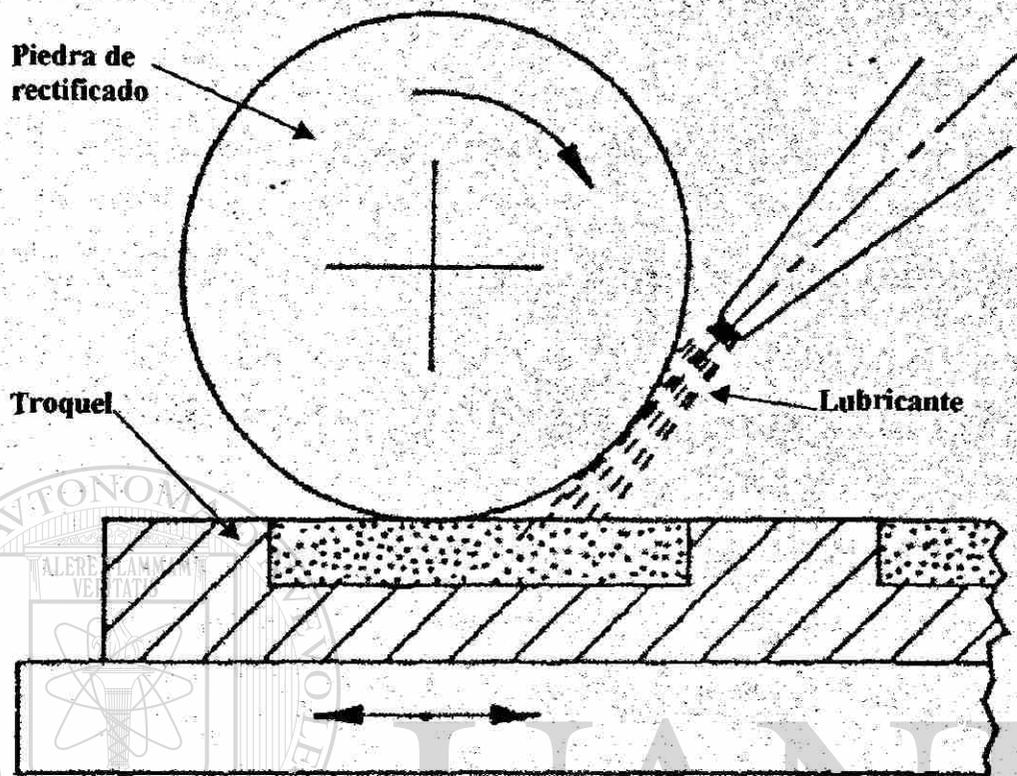


Figura 11.1 dirección de lubricación adecuada

El lubricante utilizado debe de estar libre de sulfuros, ya que estos atacan al cobalto contenido en el carburo, el cobalto actúa como aglutinante del carburo, cuando se le ataca químicamente se producen fallas en matrices y punzones. También afecta a la resina que sirve de aglutinante en la piedra de diamante.

El Ph del lubricante debe estar entre 7 y 8.5. diferentes valores de Ph pueden ocasionar que el refrigerante ataque químicamente al cobalto contenido en las piezas de carburo.

El refrigerante debe de tener propiedades anti oxidantes y debe ser delgado.

## 11.4 Desensamble del troquel

Antes de proceder al desensamble del troquel es aconsejable hacer una limpieza preliminar del troquel. Enseguida se debe seguir la siguiente secuencia de desensamble: en la figura 11. 2 se muestra el corte transversal de un troquel que ayudara a identificar las partes que deben ser desensambladas.

Postes principales de la zapata

Puente de lamina

Guía de lamina

Levantadores de lamina expulsores de desperdicio

Tornillo opresor de resortes del despegador

Resortes del despegador

Espaciador inferior del despegador

Espaciador superior del despegador

Pilotos

Despegador: debe desensamblarse, retirar tornillos y resortes y volverse a colocar, esto ayudara a guiar los punzones y mantenerlos rígidos al momento del rectificado. Después del rectificado el despegador debe ser removido de nuevo para limpiar muy bien la parte superior del troquel.

A continuación se enlistan todos los componentes mostrados en la figura anterior

1. Zapata superior.
2. Porta punzones.
3. Expulsor de rebaba
4. Tornillo opresor
5. Tornillo opresor
6. Piloto
7. Buje principal
8. Jaula de postes guía
9. Espaciador

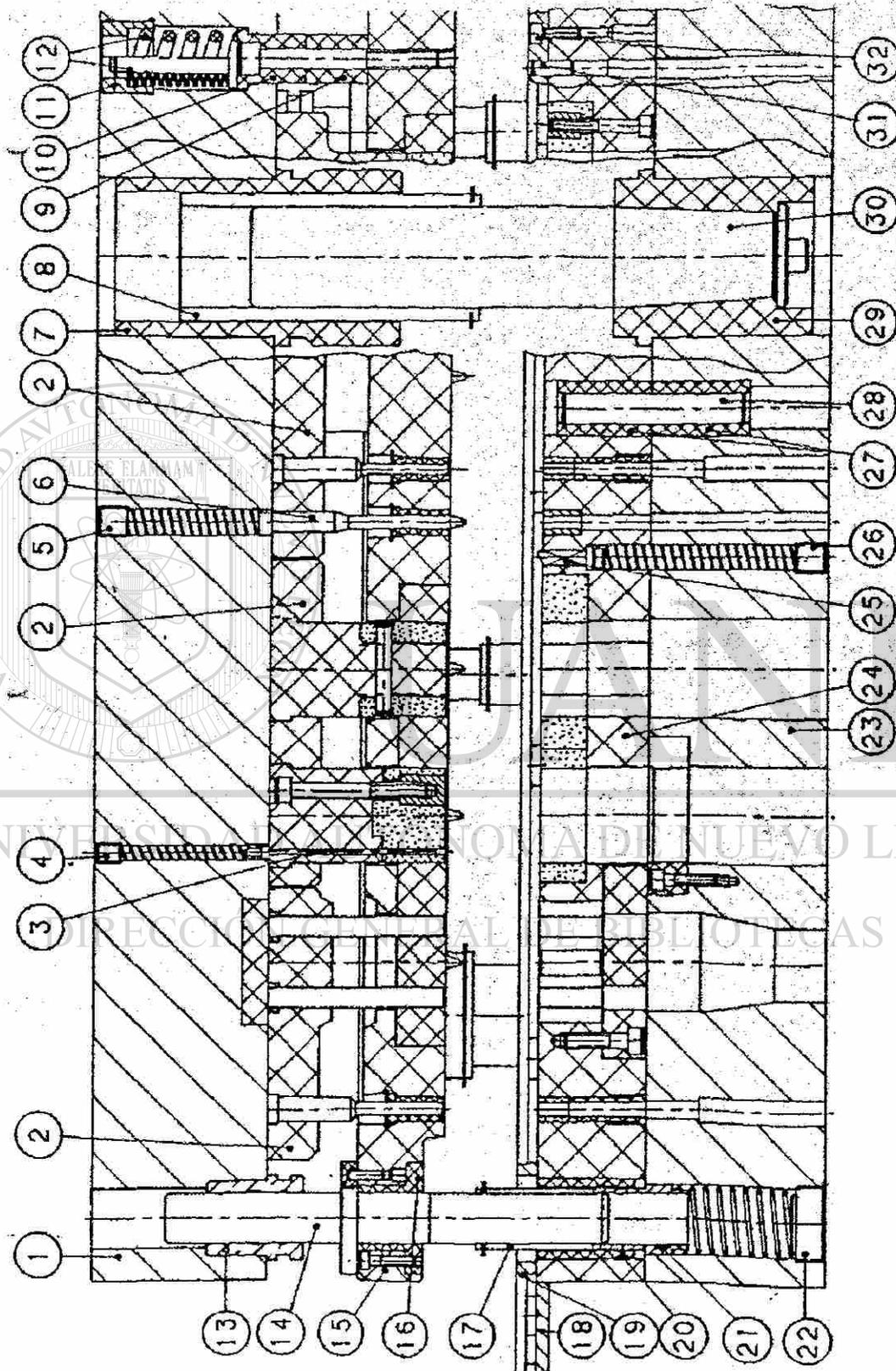
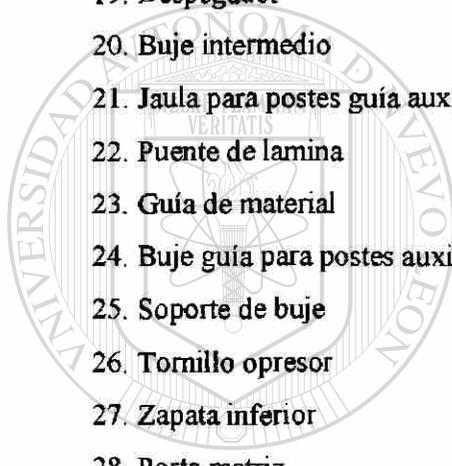


Figura 11.2 corte de troquel laminación

10. Piloto
11. Buje principal
12. Jaula de postes guía
13. Espaciador
14. Espaciador
15. Opresor de resorte despegador
16. Resorte del despegador
17. Buje guía de poste del despegador
18. Poste del despegador
19. Despegador
20. Buje intermedio
21. Jaula para postes guía auxiliares
22. Puente de lamina
23. Guía de material
24. Buje guía para postes auxiliares
25. Soporte de buje
26. Tornillo opresor
27. Zapata inferior
28. Porta matriz
29. Levantador de material
30. Tornillo opresor
31. Buje templado para pernos guía
32. Perno guía
33. Buje cónico para postes principales
34. Poste principal
35. Perno guía
36. Tornillo de fijación



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 11.5 Afilado del troquel

No hay reglas generales que sean validas para todos los troqueles, no existe un numero específico de golpes en el cual un troquel de laminación debe ser rectificado. Este numero de golpes depende de muchos factores tales como:

Tipo de carburo

Tipo y geometría de las piezas estampadas, y particularmente de las tolerancias en cuanto a rebaba aceptable.

Tipo y características mecánicas del material de trabajo.

Las propiedades mecánicas determinan la buena o mala punzonabilidad del material. Y afectan ampliamente al numero máximo de golpes que el troquel puede dar antes de requerir ser afilado.

Tipo, tonelaje y condiciones actuales de la prensa.

Tipo y cantidad de lubricante utilizado en el material de trabajo. Para obtener el mejor funcionamiento de este tipo de troqueles es aconsejable troquelar el material húmedo.

En algunos casos específicos el troquelado puede realizarse en seco debido a que no es permitido el utilizar lubricante en la pieza final. En otros casos el troquelado es hecho en seco porque el material de trabajo es recubierto con componentes especiales que actúan como lubricantes.

Buena o mala utilización del troquel en el área de trabajo. Es importante cuidar el montaje del troquel además de cuidar que cada que se inicia una nueva tira se siga los procedimientos adecuados. El funcionamiento del troquel dependerá en gran medida en él cuidad que se tenga de estos detalles y de todos los demás que intervienen en la operación de estos troqueles.

**Buen o mal mantenimiento del troquel.**

**De nuevo, para obtener el mejor funcionamiento de un troquel de carburo tienes que dedicar el mayor cuidado a todos los detalles de la operación de mantenimiento.**

Antes de afilar, la parte inferior del troquel y la parte superior del troquel deben ser inspeccionadas: deben estar libres de rebabas o partículas extrañas con el objetivo de acentarlo perfectamente plano y paralelo en la rectificadora.

Después se debe checar los filos de corte de los punzones y matrices para determinar la cantidad de carburo que debe ser removido con la intención de restablecer las mejores condiciones posibles. La determinación de esta cantidad debe ser dejada a la persona de mayor habilidad y experiencia que al uso de equipo específico, como lo es el microscopio para desgaste de matrices, que de cualquier forma puede ser utilizado. Aun y cuando sus resultados no son fáciles de ser interpretados.

En la mayoría de los casos la cantidad de carburo que debe ser removido esta entre 0.002" y 0.004" para restablecer el filo de corte en punzones y matrices. Para asegura la mayor vida del troquel es importante remover la cantidad desgastada del punzón o matriz mas una cantidad igual a 0.0004" y 0.0008".

Cuando por alguna razón la cantidad de material a ser removido es mayor a 0.008" se recomienda rectificar tanto acero como se pueda utilizando una piedra convencional para acero y después utilizar la piedra de diamante para rebajar las matrices.

Cuando excesivo desgaste o despostilladuras están relacionadas solo con algunos componentes o a una área determinada se sugiera calzar esos componentes y rectificarlos hasta que alcancen la altura de los demás componentes, también se pueden remplazar por componentes nuevos y rectificarse hasta igualar la altura de los ya existentes. Es muy importante el evitar rectificar por completo el troquel cuando el daño esta concentrado solo en unos componentes. Esto alargara la vida del troquel.

## 11.6 Ensamble del troquel.

Después de rectificar el troquel tiene ser desmagnetizado completamente, todos los componentes del troquel deben estar perfectamente libre de magnetismo, de lo contrario esto ocasionara que las semillas se adhieran a los punzones y sean jaladas hacia fuera.

Después el troquel debe ser limpiado cuidadosamente utilizando algún limpiador a base de kerosene o algún otro detergente.

Antes de ensamblar los diferentes componentes del troquel deben checarsse cuidadosamente los siguientes puntos:

La posición del despegador con relación a los punzones, teniendo en cuenta que la cara de los punzones debe estar dentro del despegador aproximadamente entre 0.012" y 0.016". si se requiere de deben de rebajar los espaciadores, detalle 11 para obtener la medida mencionada.

El espesor de los pilotos, la parte recta de los pilotos debe sobre salir de la cara de corte de los punzones aproximadamente 0.040". si se requiere se debe de corregir esta dimensión.

Finalmente se deben de montar todos los elementos restantes siguiendo un procedimiento opuesto al que se siguió en el desmontaje de las piezas.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



## 11.7 lubricación del troquel

se deben de lubricar principalmente las siguientes partes:

postes guían principales y postes guías del despegador.

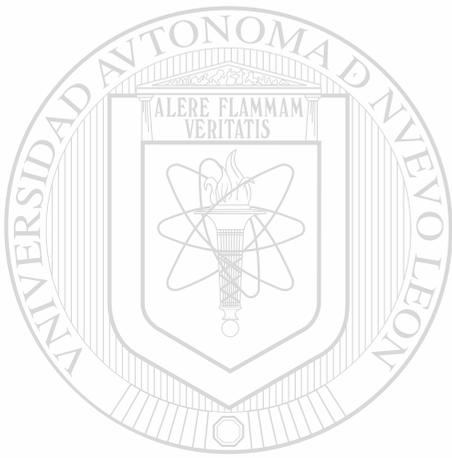
Elementos del despegador.

Punzones y pilotos en el área del despegador.

Matriz rotacional si cuenta con sistema manual de lubricación

Se debe de checar a diario la lubricación de estos componentes, si se utiliza un equipo de lubricación automática se debe implementar un chequeo diario que asegure el

correcto funcionamiento de estos equipos. Se recomienda utilizar un aceite ligero, SAE 20 o 30 de acuerdo a las condiciones de trabajo. Cada usuario puede desarrollar su propio aceite, se aconseja considerar que el aceite utilizada debe estar libre de componentes que afecten el cobalto del material. Como ya se menciono el cobalto es el elemento aglutinante en el cobalto, cuando este se ve afectado el material se deteriora y se producen fallas en lo componentes cortantes.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## CAPITULO 12

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 12.1 Conclusiones.

Después de haber trabajado con el personal de la compañía, tanto operarios de producción como personal de mantenimiento de troqueles, ingenieros de proceso y supervisores, explicando la metodología del diseño de troqueles de laminación, definiendo los procedimientos claros de montaje, operación y mantenimiento de este tipo de troqueles se logra un considerable avance en el dominio de la operación. En el inicio de la compañía se requerían de mínimo seis meses para que un operador estuviera calificado para operar una prensa por si solo, en algunos casos el tiempo era mayor debido al tipo de troquel. En la actualidad ese tiempo ha bajado a cuatro meses. Además, el grado de conocimientos con los que ahora cuenta el personal son mas completos, ya que los operarios además de conocer la forma correcta de operar estos troqueles, entienden la forma en que se reparan los troqueles, estos conocimientos le ayudan a encontrar soluciones a determinadas situaciones que se les presentan durante un día de trabajo. De igual forma, el personal involucrado en el mantenimiento de troqueles puede encontrar la raíz del problema al conocer y entender los problemas comunes a los que se enfrentan los operarios de producción.

Se concluye que el desarrollo de esta metodología es la forma mas efectiva de capacitar al personal involucrado en la operación y mantenimiento de troqueles de laminación.

## 12.2 Recomendaciones.

Para tener un conocimiento mas claro de todos los troqueles de laminación, se recomienda seguir investigando acerca de estas técnicas, actualmente algunas compañías están haciendo pruebas con métodos nuevos de grapadao y con ensambles diferentes utilizados en matrices rotacionales. Esto puede ayudar a mejorar la eficiencia de los troqueles existentes.

Se recomienda hacer pruebas con diferentes tipos de carburo, en general un fabricante de troqueles utiliza un solo tipo de carburo en todos los punzones y matrices de un solo troquel. No todos los elementos de un troquel soportan los mismos esfuerzos, en aquellos elementos que fallan muy seguido se debe de probar con un carburo de mayor dureza si falla por desgaste, o mas suave si acaso falla por fractura.

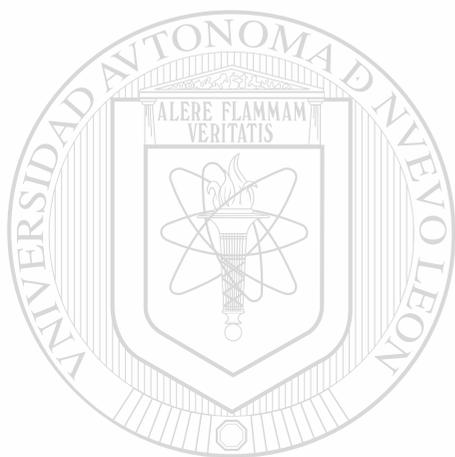
Se deben de implementar en el área de trabajo procedimiento claros para cada troquel, ya que aunque la metodología de diseño es la misma para todos lo troqueles, cada uno tiene detalles particulares que deben ser tomados en cuenta. Los procedimientos deben ser tanto de operación como de mantenimiento del troquel.

La falta de lubricación es una de las principales causas de fallas en troqueles, tanto de la lubricación del troquel como la lubricación del material. En la mayoría de los casos la lubricación del troquel se hace de forma manual, esto implica que el operador siga al pie de la letra la instrucción de lubricación, cuando esto no se da la falla del troquel es inminente. Se recomienda implementar un sistema de lubricación automática para el troquel.

La lubricación del material en la mayoría de los casos es automática, ya que como el troquel trabaja a gran velocidad es difícil lubricar el material de forma manual. Sin embargo se recomienda seleccionar muy bien el equipo a utilizar, en el mercado hay un gran numero de aplicaciones, algunas son muy novedosas, pero lo importantes es lubricar la cantidad suficiente con la frecuencia suficiente, no hay una regla para ello,

esto depende del tipo de troquel, del tipo de material, del tipo de producto y de las condiciones en que se encuentre el troquel. El equipo a utilizar debe ser flexible en este sentido.

Se recomienda capacita al personal operario en funciones de mantenimiento de troqueles, sobre todo en aquellas funciones que les pueden ayudar a solucionar problemas por ellos mismos y sin tener que bajar el troquel para ser reparado. De igual forma se recomienda que el personal de mantenimiento de troqueles conozca muy bien la operación de la prensa. Esto les da otra visión al momento de solucionar un problema.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## BIBLIOGRAFIA

David A. Smith; Die Design Handbook; Society of Manufacturing engineer; (1990)

Forming; Metals Handbook; American Society of Metals; (1961)

J. Lammle; Hardmetal in the tool maker industry is a question of confidence; Plansee TIZIT; (1997)

Metal Forming Magazine; American Society of Metal Forming; (2001)

Straight Story; Pivot punch corporation; (1991)

---

Test Certificate; Corrada; (1998)

## REFERENCIAS

1. The straight story , Pivot punch corporation; E.U.A; (1991)
2. David A. Smith, Die design handbook, Society of Manufacturing Engineers; E.U.A; (1990)
3. Forming, Metals Handbook; American Society for Metals; E.U; (1969)
4. Test certificate; Corrada; Milano; (1998)
5. J. Lammle; Harmetal in the toolmaker industry is a question of confidence; Plansee TIZIT GmbH; Austria; (1997)
6. Metal Forming Magazine; American Society of Metal forming; E.U.A; (2001)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Acero alta velocidad:** Aceros aleados utilizados en la fabricación de herramientas de corte en maquinado, troquelado, forja etc. Sus características principales es su gran tenacidad y alta resistencia al desgaste.

**Ajuste de la carrera de la prensa:** Es el máximo ajuste que se le puede dar al carnero de la prensa para obtener la altura deseada de acuerdo al troquel que se quiere montar.

**Angulo del rotor:** Angulo al cual deben de girarse las laminaciones que forman los rotores utilizados en motores eléctricos. La principal razón de este ángulo es disminuir el par de arranque del motor.

**Cama de prensa:** Parte fija de la estructura de una prensa sobre la cual se monta la platina.

**Carburo:** Material duro, su principal característica es su alta resistencia al desgaste, se utiliza donde las condiciones de desgaste son extremas como lo es el troquelado de laminación.

**Carnero de la prensa:** Se conoce también como martillo, es la parte móvil de la prensa que transmite la potencia necesaria para realizar el trabajo

**Carrera de prensa:** Desplazamiento del carnero desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior.

**Corrada:** compañía dedicada a la fabricación de troqueles de laminación, se localiza en Italia.

**Limite de cedencia:** Fuerza a la que un metal o aleación muestra una deformación plástica significativa.

**Matriz:** Generalmente se localiza en la zapata inferior del troquel, su función es la de servir de apoyo para que el punzón pueda perforar o conformar al material de trabajo.

**Oberg:** compañía dedicada a la fabricación de troqueles de laminación, se localiza en Pennsylvania, E.U.

**Ph:** Es la cantidad de elementos alcalinos en el agua.

**Plansee:** compañía dedicada a la fabricación de carburo de tungsteno, se localiza en Austria.

**Platina de prensa:** Placa de acero que se utiliza para sujetar la zapata inferior de un troquel.

---

**Porcentaje de elongación :** La ductilidad de los metales se expresa como porcentaje de elongación

**Punzón:** Generalmente se localiza en la zapata superior de un troquel, su función es forzar el material de trabajo contra la matriz para conformarlo.

**Resistencia a la tensión:** Es la máxima fuerza alcanzada en la curva esfuerzo deformación.

**Tolerancia de corte:** Es el huelgo o espacio que debe haber entre punzón y matriz para facilitar el trabajo de punzonado, sin dañar punzones y matrices y obteniendo piezas libres de rebaba.

**Velocidad de la prensa:** La velocidad de una prensa se mide en golpes por minuto.

**Zapata inferior:** Es la parte inferior de un troquel, usualmente se localizan las matrices en esta parte del troquel, pero puede darse una combinación de punzones y matrices en esta parte según sea la aplicación.

**Zapata superior:** Parte móvil del troquel, usualmente es la parte que sujeta a los punzones, pero igual que en la zapata inferior puede darse una combinación de punzones y matrices.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## Lista de figuras

Contenido	Página
2.1 a Procesos de troquelado	6
2.1 b Procesos de troquelado	7
2.2 Línea completa de troquelado	7
2.3 Componentes de un troquel	9
2.4 a Inicio del punzonado	9
2.4 b Inicio de fractura	9
2.4 c Fractura del material	10
2.4 d agujero después del punzonado	10
2.5 Diseño de troqueles de laminación	12
2.6 Pieza producida en un troquel progresivo de 5 estaciones	14
3.1 Laminación de rotor	16
3.2 Secuencia del proceso para producir un rotor	16
3.3 Rotor grapado	17
3.4 Rotor grapado	18
3.5 Lengüeta de grapado	19
3.6 Estator embobinado	20
3.7 Formas típicas de laminaciones a) cuadrada b) redonda	21
3.8 Secuencia de punzonado de laminación en troqueles individuales	22
4.1 Troquel punzonador de ranura	24
4.2 Tira o esqueleto de acero de un troquel progresivo de 6 estaciones	26
4.3 Laminación rotor – estator	27
4.4 Tira o esqueleto producido en un troquel de nueve estaciones	28
4.5 Prensa y ductos de laminación	28
4.6 a Formado de grapa	30
4.6 b Matriz rotacional grapado de rotor	30

4.7 Zapata inferior de un troquel laminación	33
5.1 Prensa	35
5.2 Servomotor	37
5.3 Controlador	40
5.4 Ducto de laminación	43
5.5 Transportador de rotor	44
5.6 Prensa con alimentador de material	46
5.7 Enderezador y porta rollos	48
5.8 Línea de troquelado	49
6.1 a Dibujo de laminación rotor	50
6.1 b Laminación rotor	51
6.1 c Laminación rotor	51
6.2 a Dibujo de laminación estator	52
6.2 b Dibujo de laminación estator	53
6.2 c Dibujo de laminación estator	53
6.3 Prensa	55
6.4 Materia prima acero preformado	58
6.5 Tira de acero estación 1	59
6.6 Tira de acero estación 2	60
6.7 Tira de acero estación 3	61
6.8 Tira de acero estación 4	61
6.9 Tira de acero estación 5	62
6.10 Tira de acero estación 7	63
6.11 Tira de acero estación 8	64
6.12 Tira de acero estación 9	65
6.13 Tira de acero ultima estación	66
6.14 Tira de acero completa	67
7.1 Vista de planta de troquel	71
7.2 Vista frontal de troquel	72
7.3 Vista lateral de troquel	73
7.4 Tira de acero mostrando la estación 1	74

7.5 Estación 1 vista de planta	75
7.6 Elevación de estación del troquel indicando pilotos y localizadores	76
7.7 Dispositivo de detección de pérdida de paso	77
7.8 Matriz para inicio de grapa	80
7.9 a Matriz para debilitado de tira	81
7.9 b Punzón para debilitado de tira	81
7.10 Estación 2	82
7.11 Estación 2 de troquel vista de planta	83
7.12 Matriz de ranuras de rotor	85
7.13 Ensamble de matrices para el punzonado de ranuras de rotor	86
7.14 Porta punzón de la estación I de troquel	87
7.14b Punzón de ranuras de rotor	88
7.15 Estación 3 de la tira de acero	90
7.16 Mecanismo de lamina separadora	91
7.17 Matriz de recorte de grapa	92
7.18 Punzón de lamina separadora	93
7.19 Estación 4	94
7.20 Estación 4 del troquel, formado de grapa	95
7.21 Formado de grapa	96
7.22 Formado de grapa	97
7.23 Matriz de recorte de grapa	98
7.24 Punzón de formado de grapa	99
7.25 Punzón de diámetro interior de rotor	100
7.26 Matriz de diámetro interior de rotor	100
7.27 Tira de acero de estación 5	101
7.28 Proceso de corte y grapado de rotor	102
7.29 Estación 5 vista de planta	103
7.30 Ensamble de matriz rotacional y servomotor	104
7.31 Estación 5 del troquel	106
7.32 Punzón de diámetro exterior de rotor	107
7.33 Punzón de grapado	108
7.34 Matriz rotacional	109

7.35 Barril rotacional	110
7.36 Anillo de retención	111
7.37a Tira de acero estación 7	113
7.37b Laminación estator	113
7.38 Estación 7	114
7.39 Matriz de ranuras de estator	115
7.40 Estación 7 en elevación	116
7.41 Punzón ranura de estator	118
7.42 Estación 9 Punzonado de diámetro interior y exterior del estator	120
7.43 Estación 9 vista de planta	122
7.44 Estación 9 en elevación	123
7.45 Inserto guía de estación 9	124
7.46 Punzón de diámetro exterior de estator	125
7.47 Matriz de rasurado	126
7.48 Punzón de rasurado	127
7.49 Tira de acero estación final	128
7.50 Última estación	129
7.51 Porta punzón estación 11	130
7.52 Estación 11 vista de planta	131
7.53 Estación 11 en acercamiento	132
7.54 Anillo de retención de estator	134
7.55 Cuchilla última estación	135
7.56 Cuchilla de corte última estación	136
8.1 Metalografía de grano super fino	138
8.2 Metalografía de grano fino-medio fino	139
8.3 Metalografía de grano grueso	140
8.4 Carburos utilizados en matrices y punzones de troqueles de laminación	141
9.1 Matar filos a matriz	143
9.2 Ranuras en matriz para retención de semillas	143
9.3 Ranuras en punzón para retención de semillas	143
9.4 Punzón con perno expulsor de semilla	146
11.1 Dirección de lubricación adecuada	155
11.2 Corte de troquel laminación	157

## RESUMEN AUTOBOGRAFICO

Julio Cesar Castillo Covarrubias

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias de la Manufactura con especialidad en  
diseño del producto

Tesis: **Desarrollo de una técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación rotor - estator grapado**

El Ingeniero Julio Cesar Castillo Covarrubias nació el 25 de Julio de 1964 en Monterrey, Nuevo León, México. Es hijo del Sr, José Hilario Castillo Silva y de la Sra. María Covarrubias. Curso sus estudios profesionales en la Universidad del Norte donde obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Eléctrico en 1997.

Se ha desempeñado en compañías líderes en el ramo metal mecánico, trabajando en áreas de Diseño mecánico y de troqueles, Ingeniería de procesos y Manufactura. Actualmente trabaja como Gerente de Producción en la compañía ELAM.

