

# 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.

## 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.

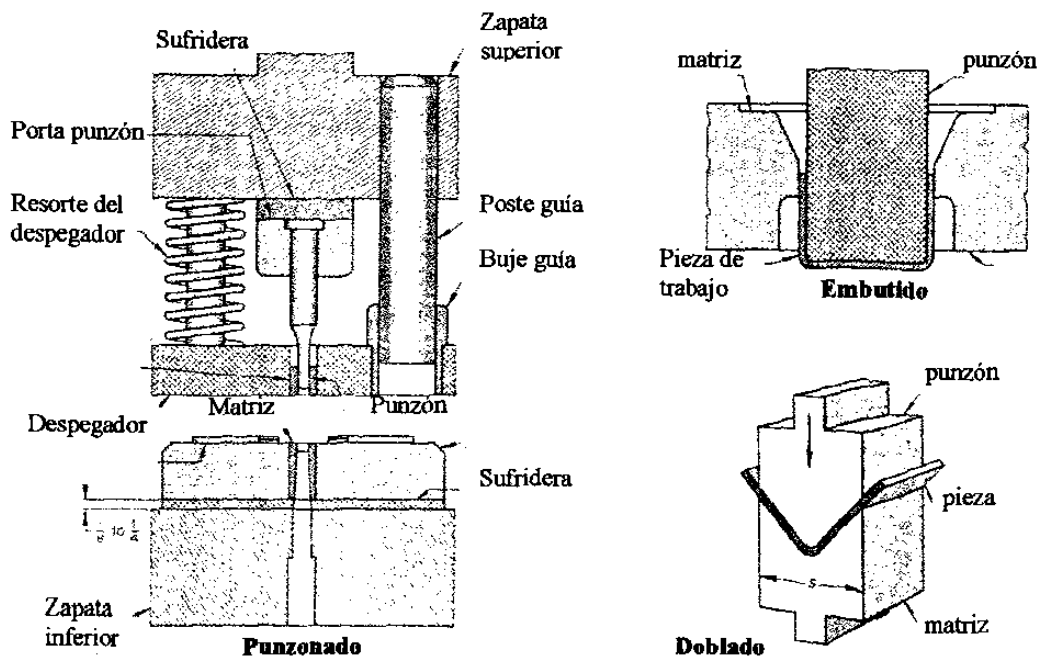


Figura 2.1a, Procesos de troquelado

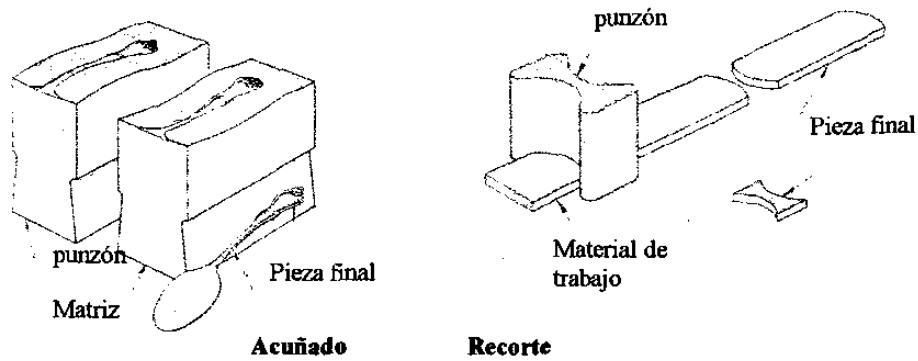


Figura 2.1b Procesos de troquelado

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,

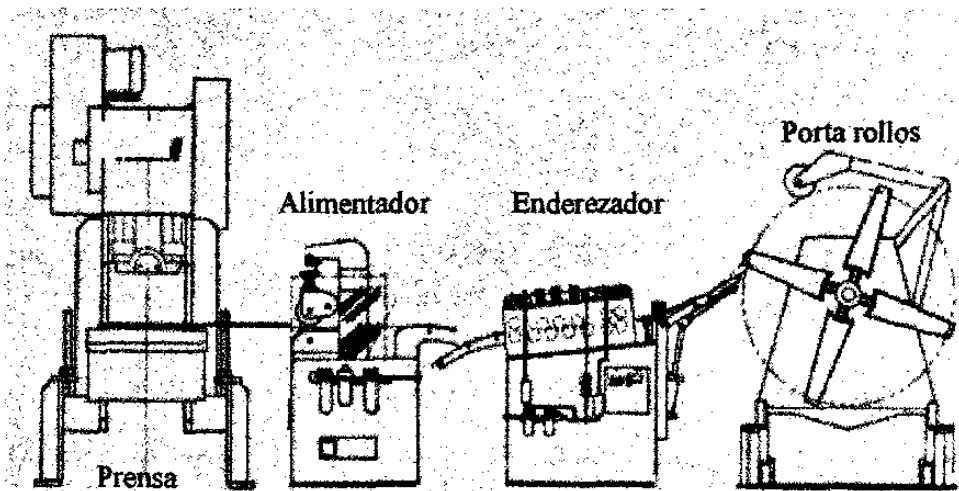


Figura 2.2 Línea completa de troquelado

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 menciona 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>



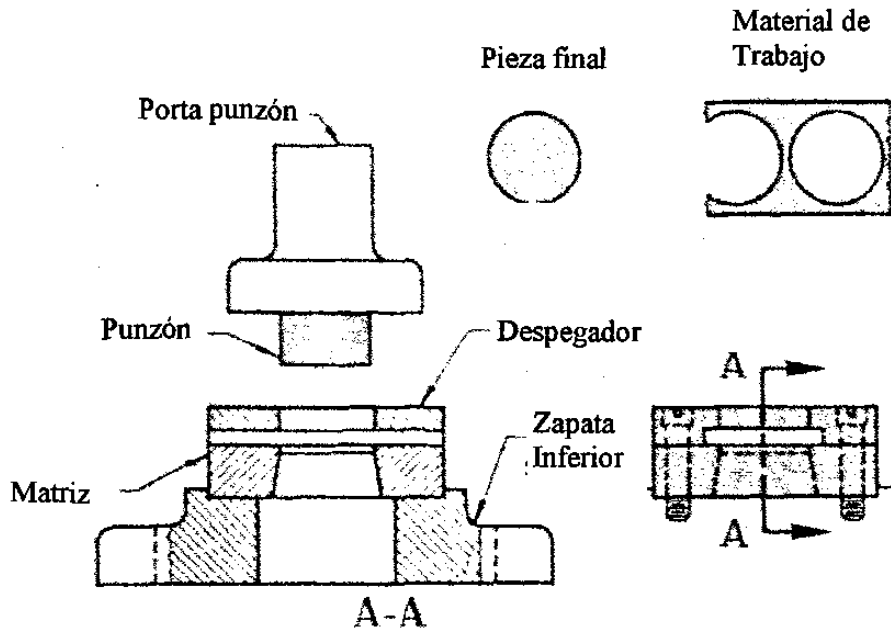


Figura 2.3 Componentes de un troquel

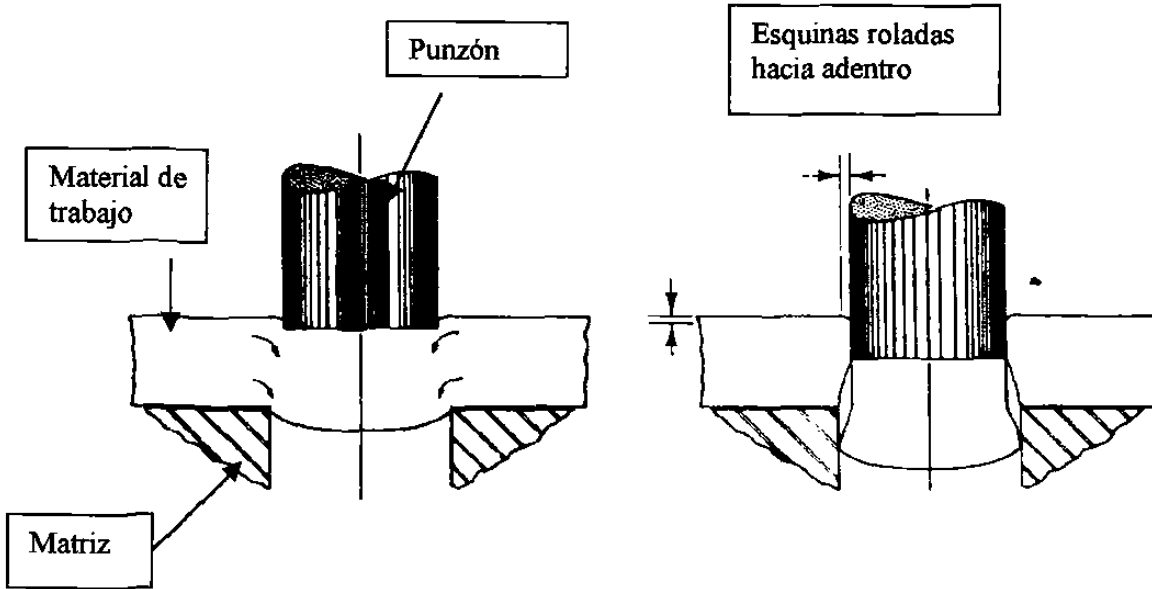


Figura 2.4a inicio del punzonado

Figura 2.4b inicio de fractura

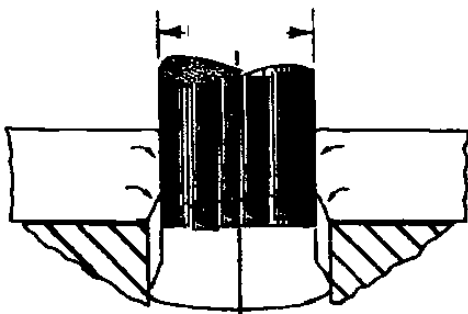


Figura 2.4 c fractura del material

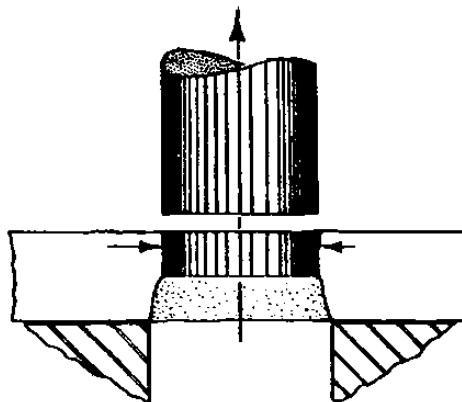


Figura 2.4d agujero después del punzonado

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.

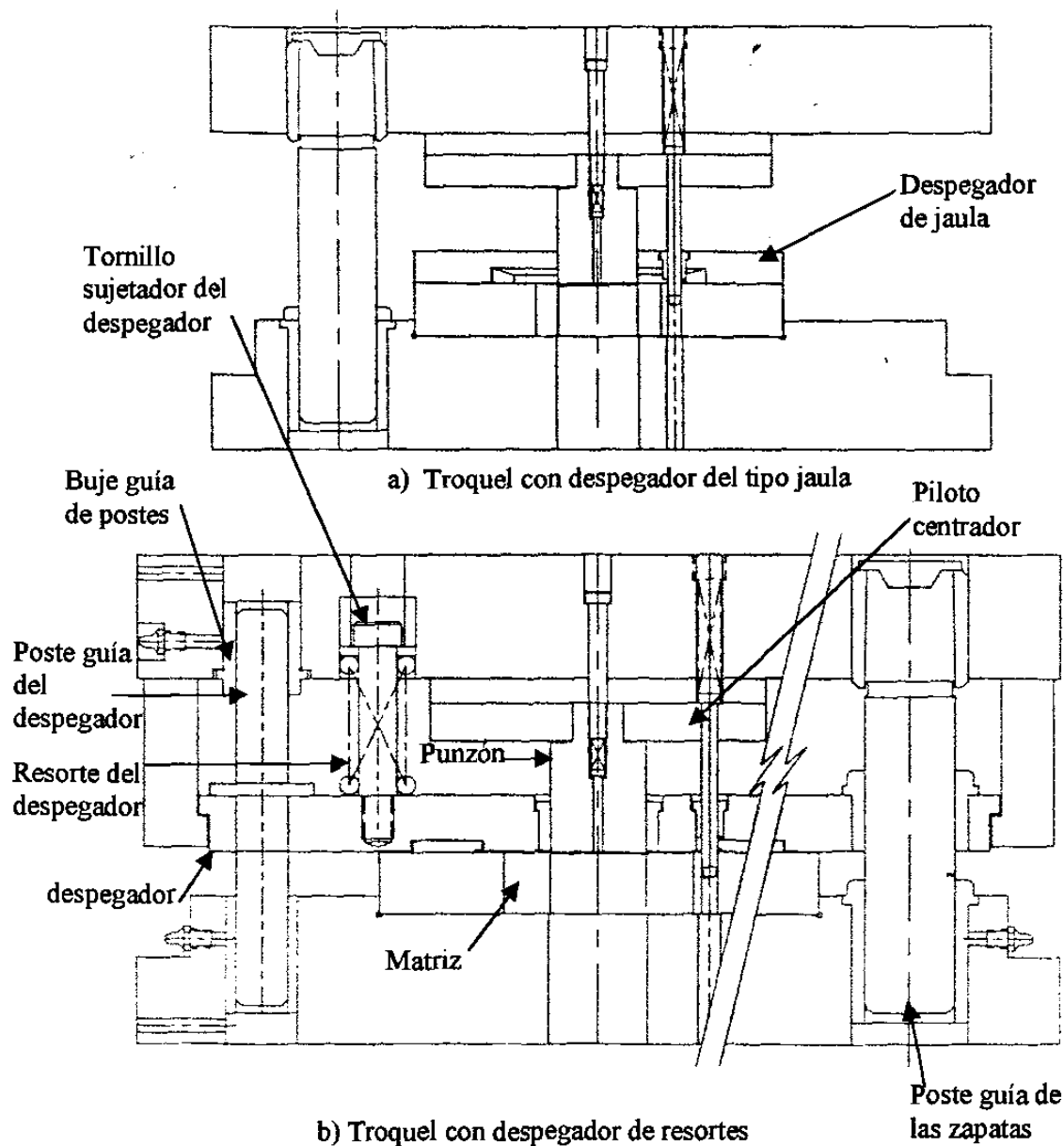


Figura 2.5 Diseño de Troqueles de Laminación. a) con despegador de jaula y b) con despegador de resortes

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.

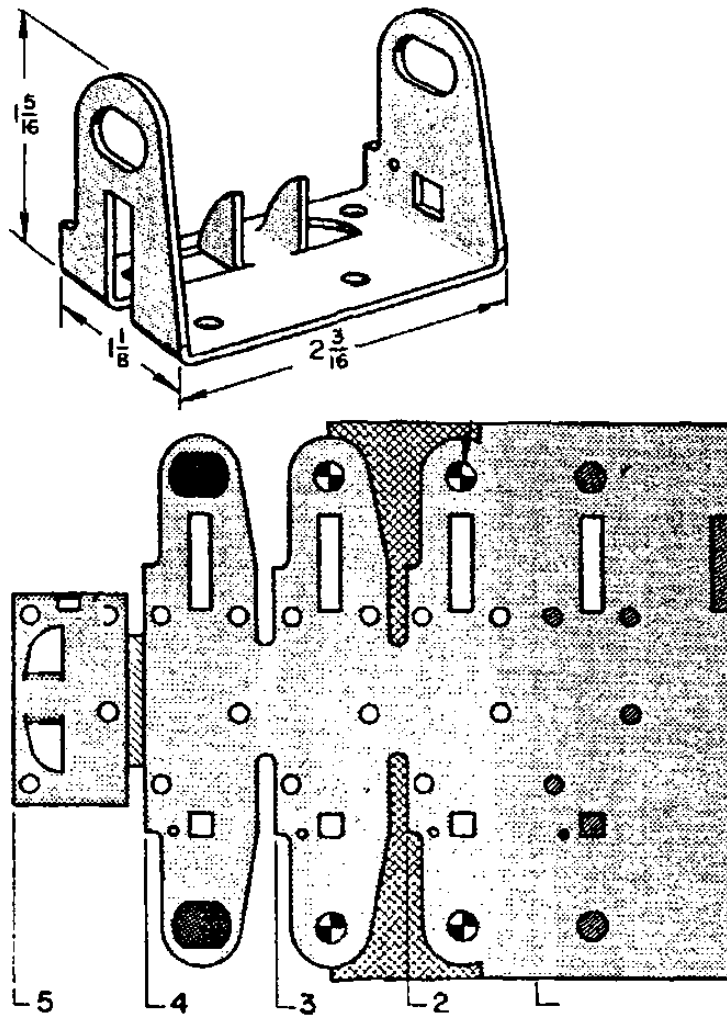


Figura 2.6 pieza producida en un troquel progresivo de 5 estaciones

## 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.

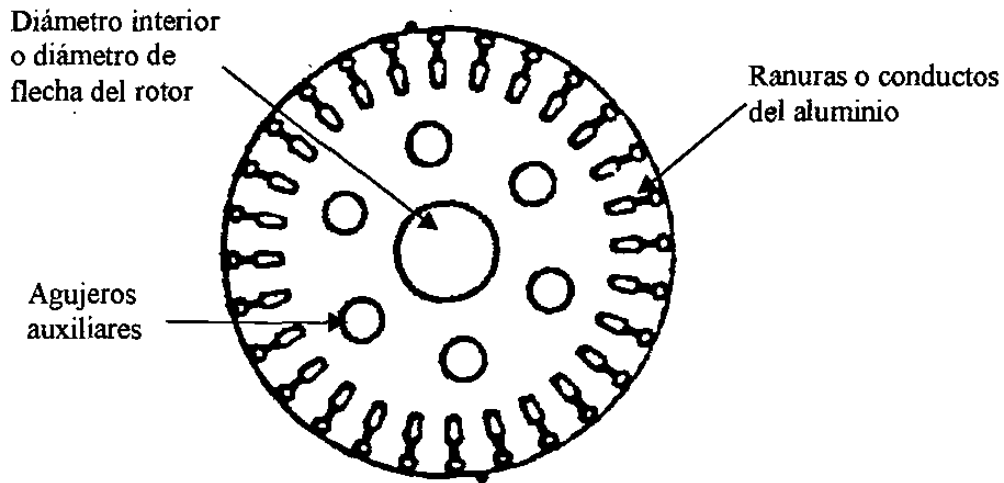


Figura 3.1 Laminación de rotor

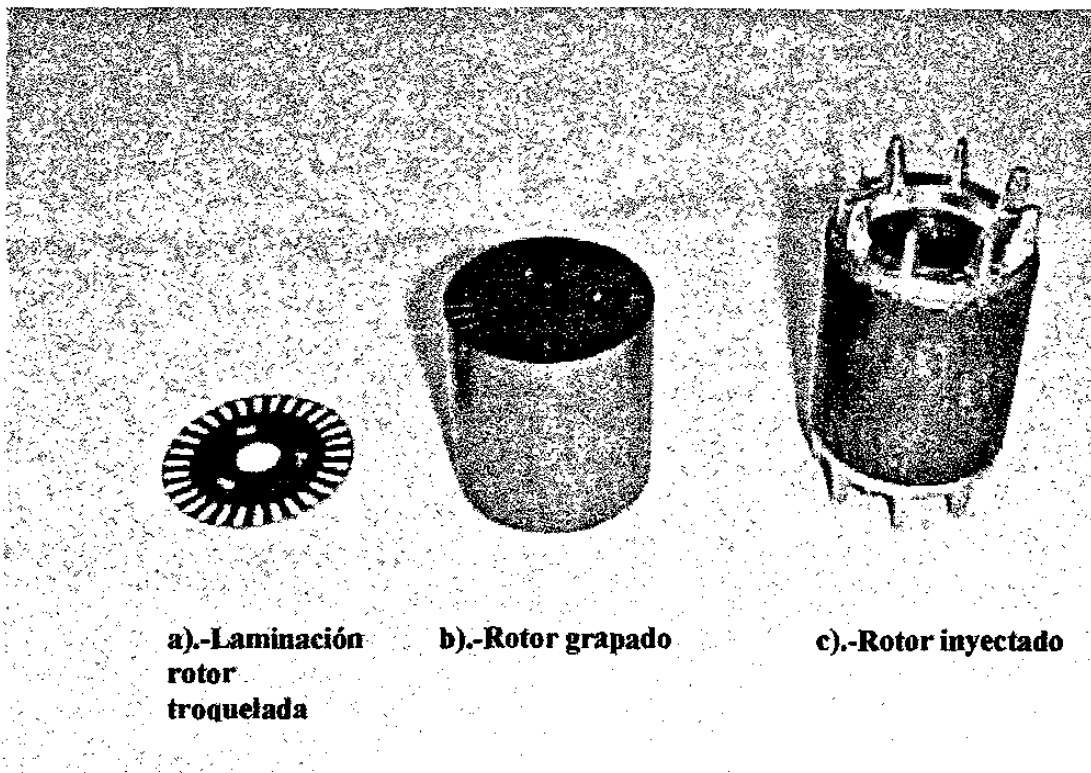


Figura 3.2 Secuencia del proceso para producir un rotor



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.

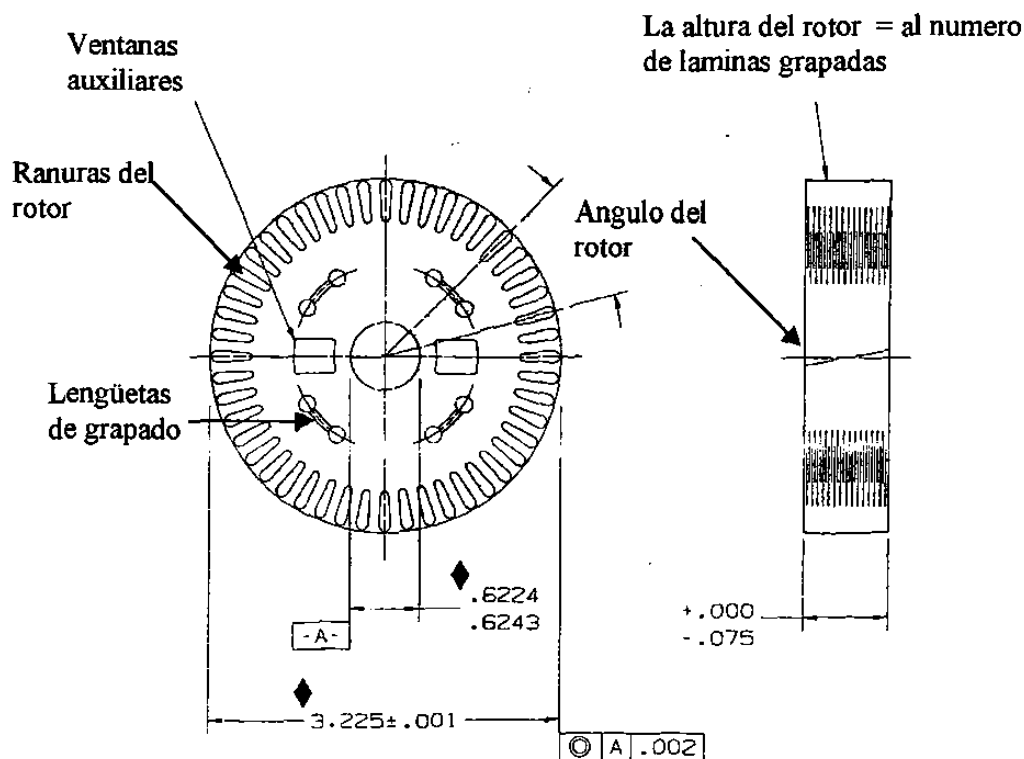


Figura 3.3 rotor grapado

En la figura 3.4 se muestra el dibujo isométrico de un rotor, aquí se puede apreciar mas 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.

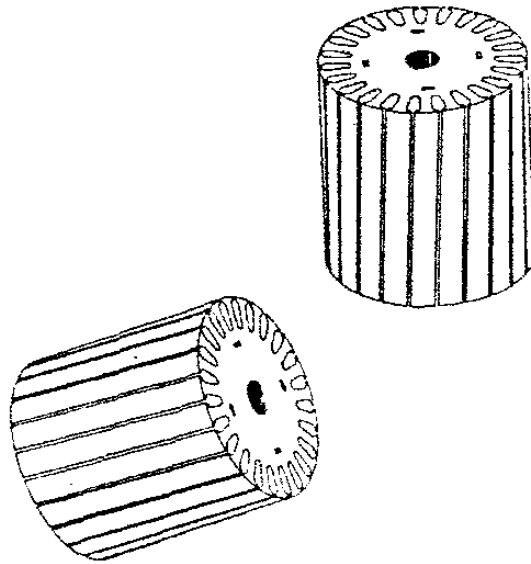


Figura 3.4 rotor grapado

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.

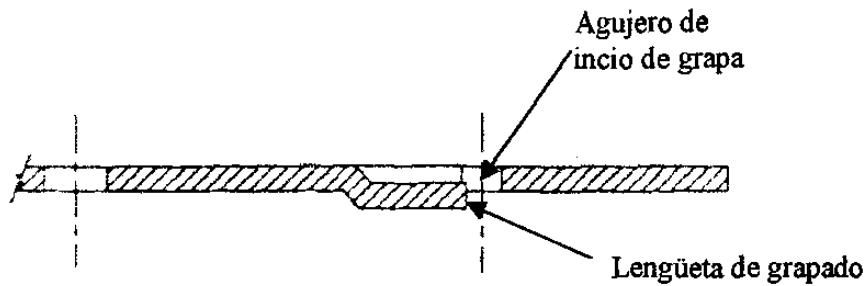


Figura 3.5 lengüeta de grapado

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.

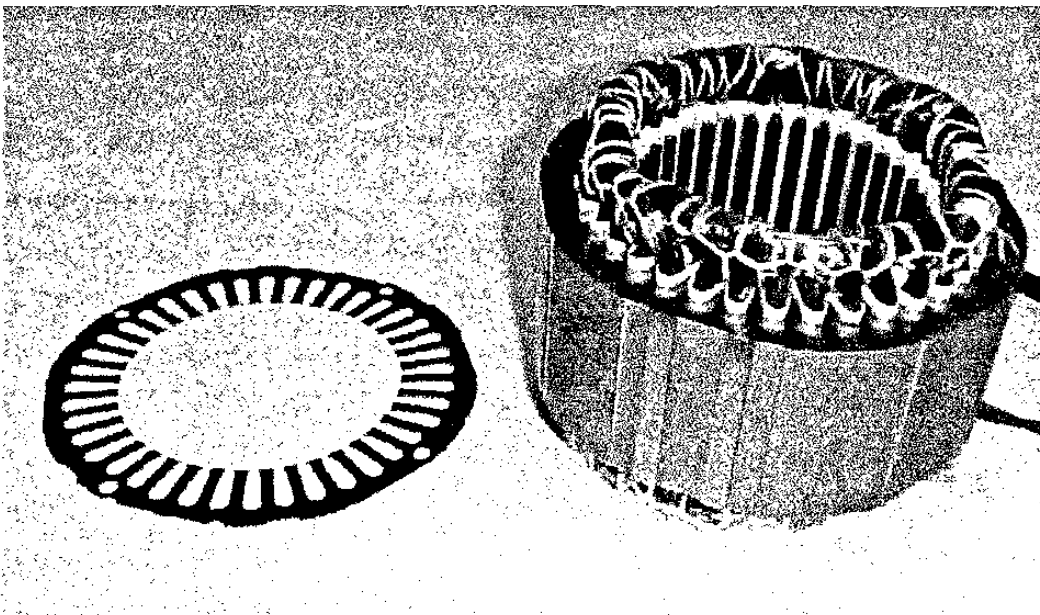


Figura 3.6 Estator embobinado

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).

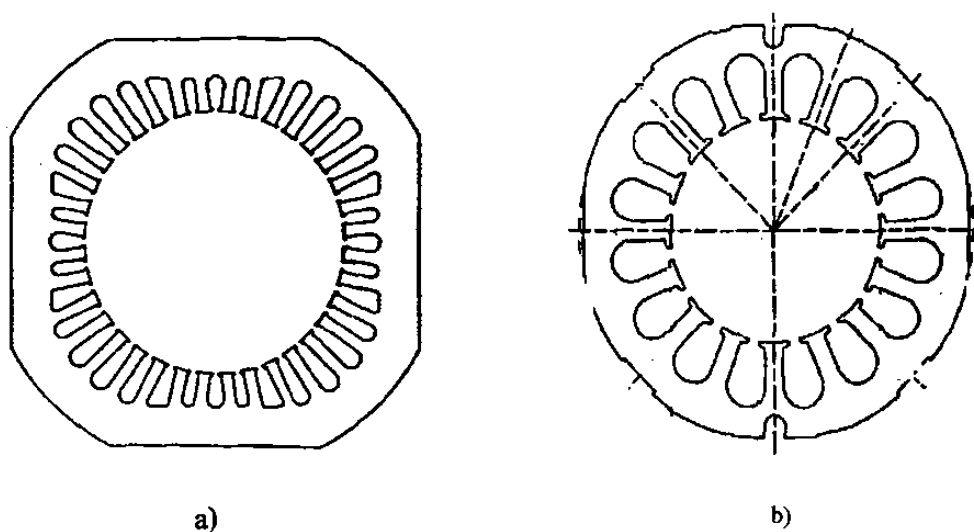


Figura 3.7 Formas típicas de laminación. a) cuadrada y b) Redonda

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 construidos 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>

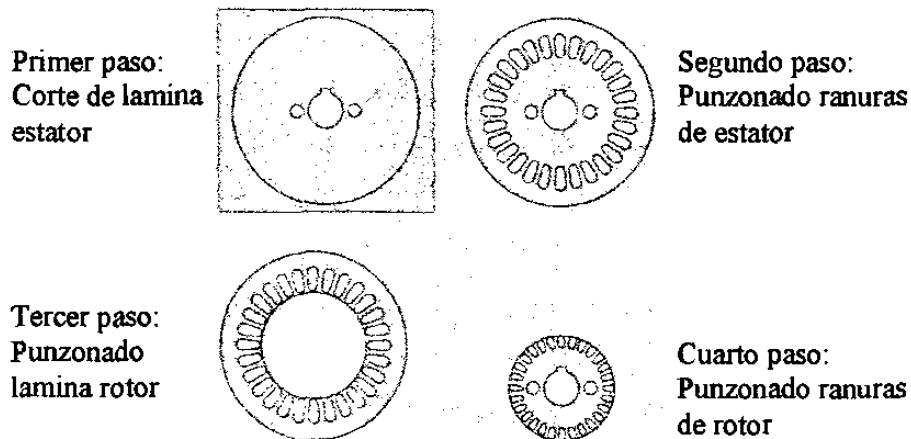


Figura 3.8 Secuencia de punzonado de laminación en troqueles individuales para cada estación

## 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.

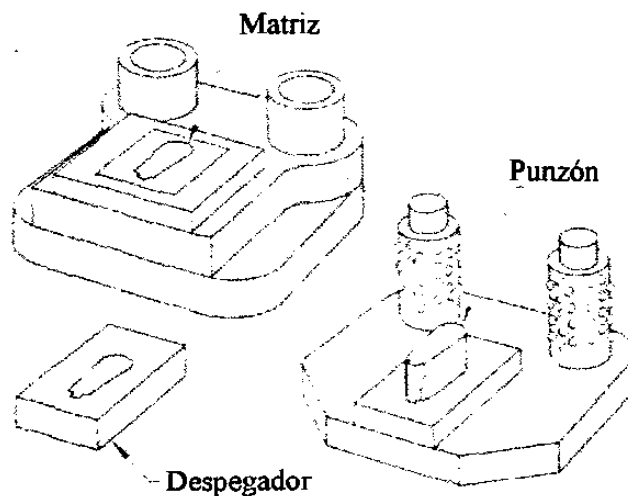


Figura 4.1 troquel punzonador de ranura

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 troquela 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.

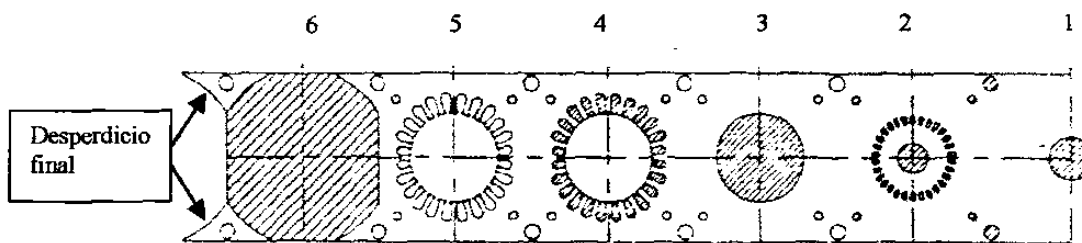


Figura 4.2 Tira o esqueleto de acero de un troquel progresivo de seis estaciones

Como se puede observar, en la estación numero tres se recorta la lamina de rotor, al hacerlo se produce también el diámetro interior del estator. en la figura 4.3 Sé 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.

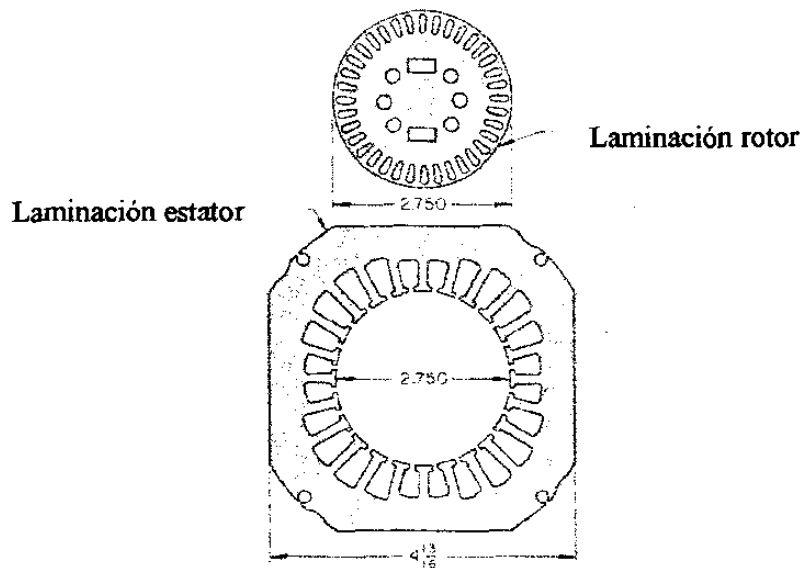


Figura 4.3 Laminación rotor - estator

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.

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 ultima 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 primer estación sé punzonan loa agujeros para pilotear el material en cada estación posterior, además cuenta con dos estaciones vacías.

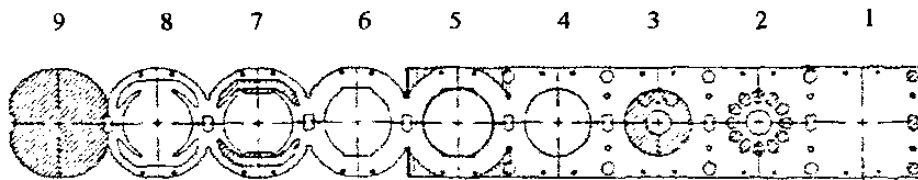


Figura 4.4 Tira o esqueleto producido en un troquel de nueve estaciones sin desperdicio final.

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 recocido. 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.

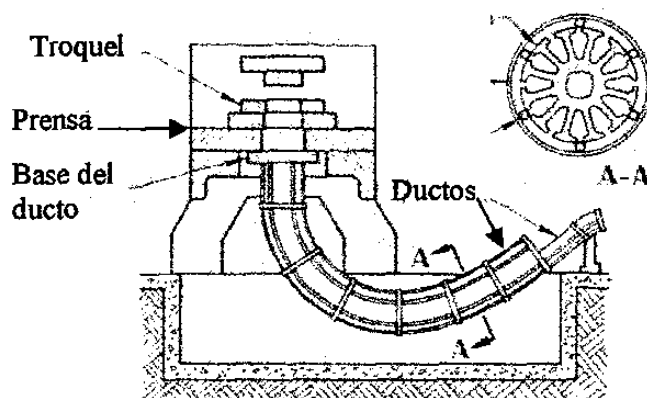


Figura 4.5<sup>3</sup> prensa y ductos de laminación

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  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  o  $180^\circ$ , rotar las láminas es muy importante para poder tener una buena concetricidad 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 analizaran mas 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 rotores caen por gravedad en el transportador el cual los deposita en una mesa donde son inspeccionados y estibados en un contenedor para su transporte.

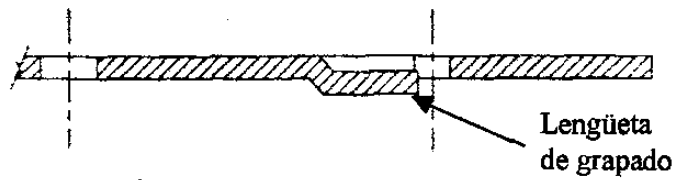


Figura 4.6 a.<sup>4</sup> Formado de grapa

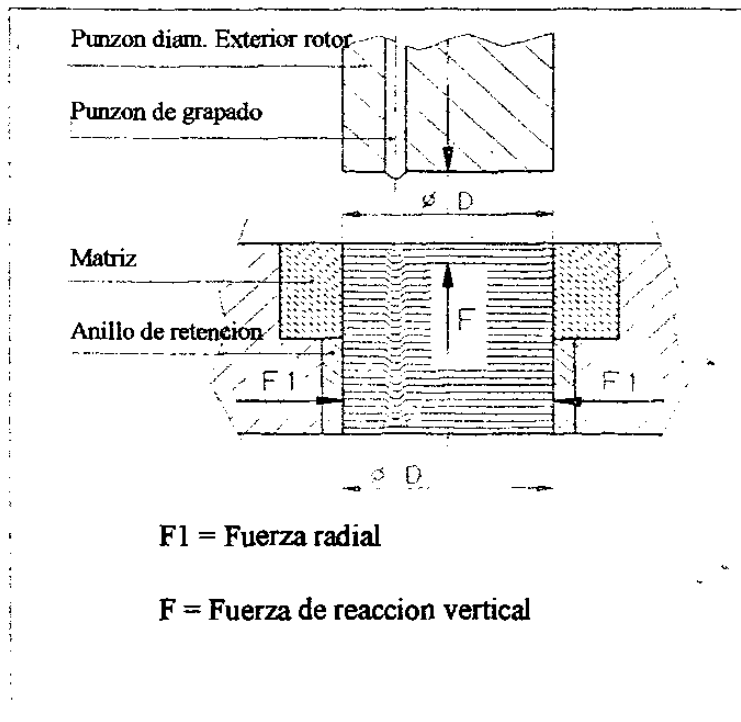


Figura 4.6 b: matriz rotacional, grapado de rotor

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.

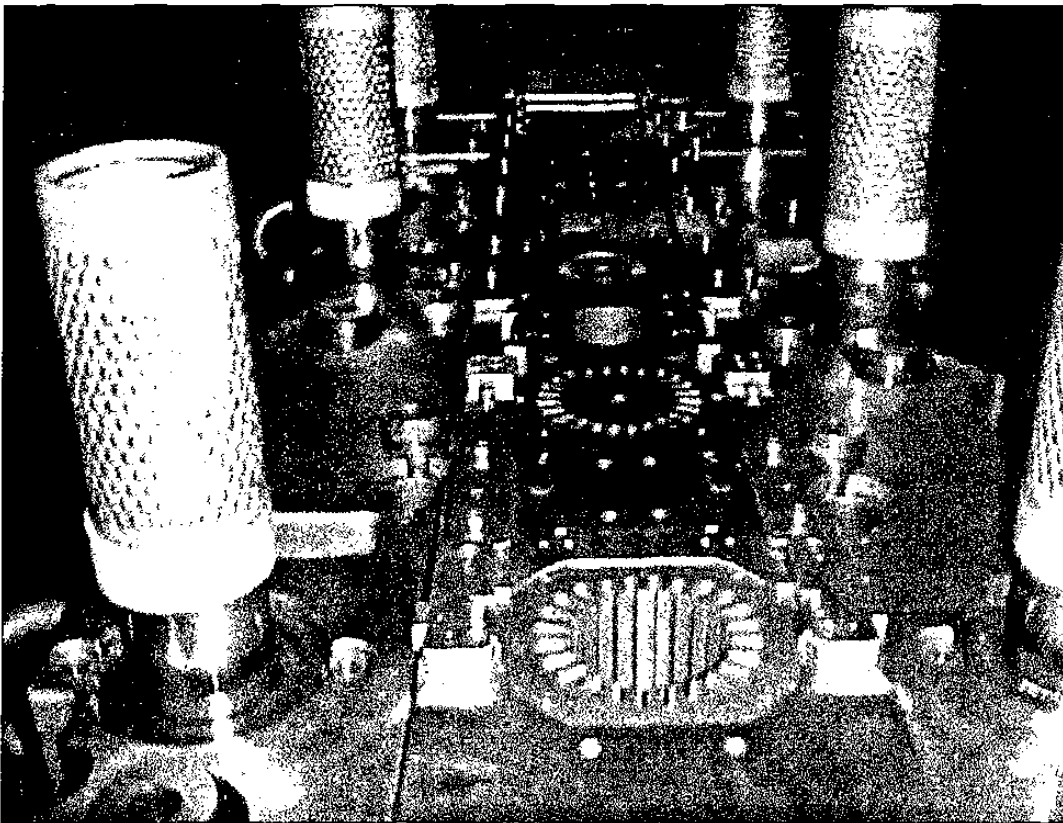


Figura 4.7 Zapata inferior de un troquel de laminación

## 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 carnero 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 carnero 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 carnero muy cerradas y camas gruesas. Debido a lo cerrado de las tolerancias en las guías del carnero 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.

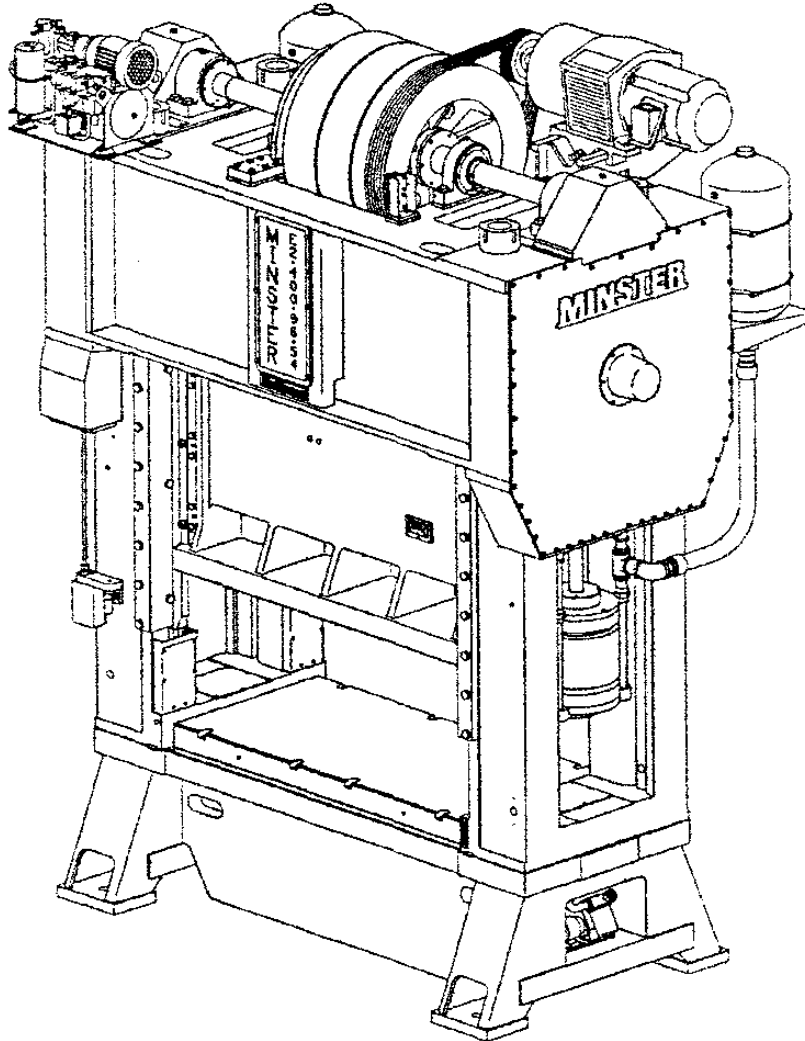


Figura 5.1 Prensa

## 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 para censar 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 entre 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.

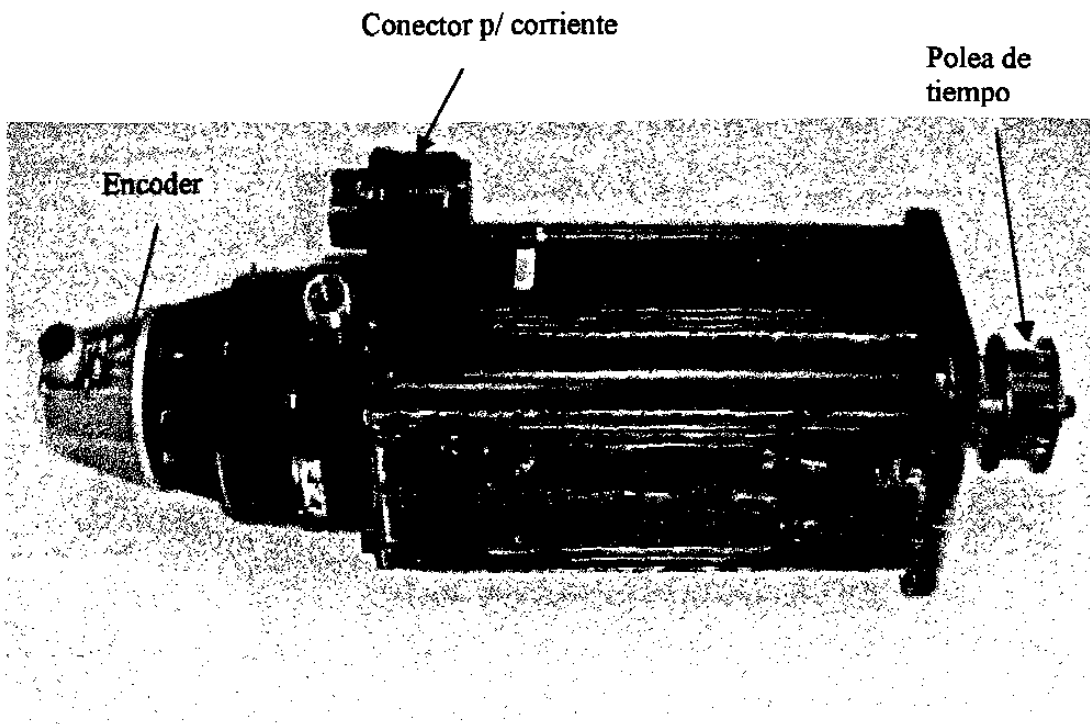


Figura 5.2 Servomotor

### 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.

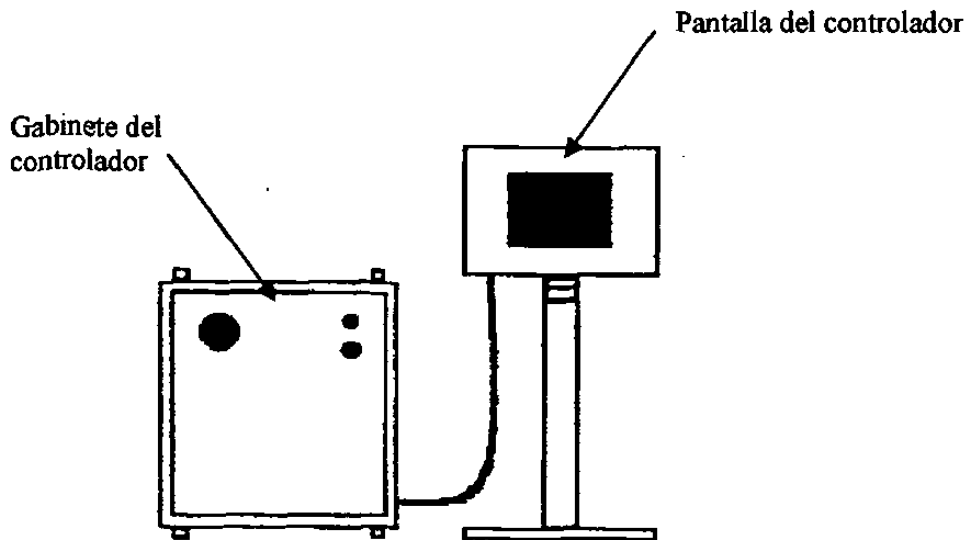


Figura 5.3 Controlador

**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 carnero 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.



#### 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 continúa a través de la platina de la prensa, el ducto para laminación está 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 recocido. Cuando el troquel se acaba de montar, el ducto está 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 sería 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.

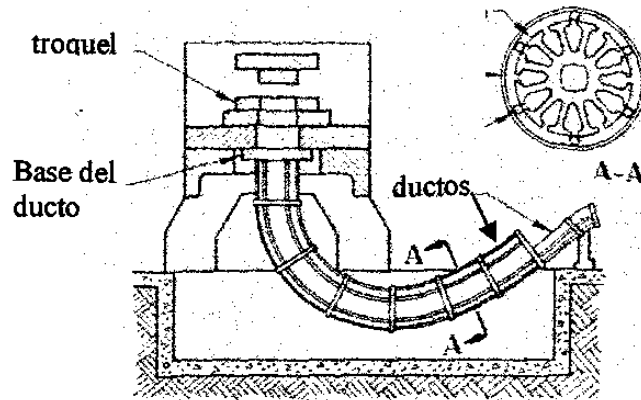


Figura 5.4 ducto de laminación

### 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.

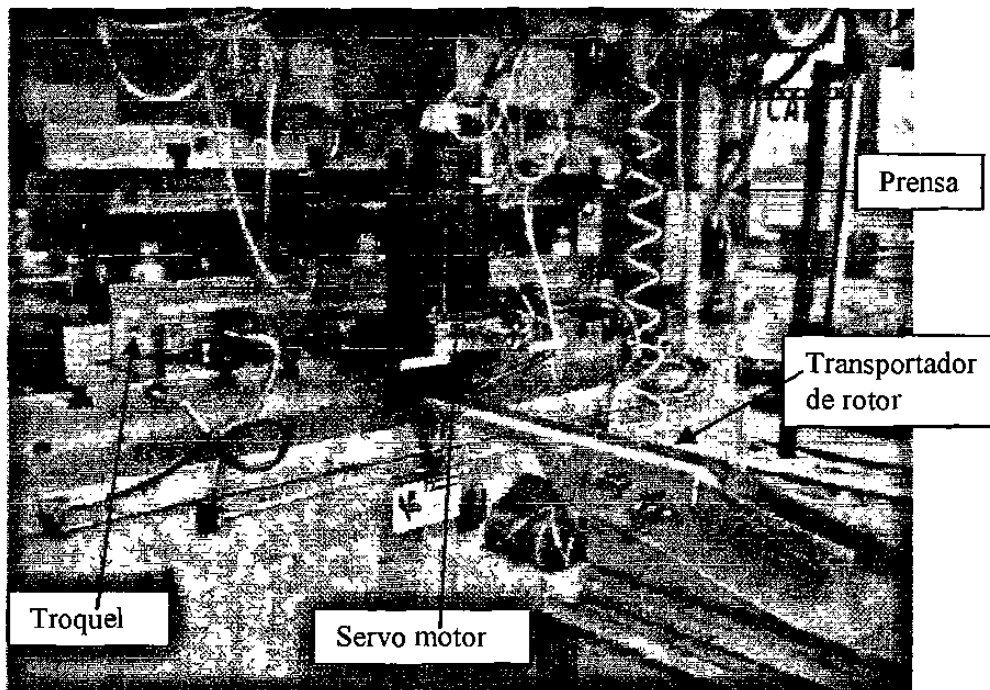


Figura 5.5 Transportador de rotor

## 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.

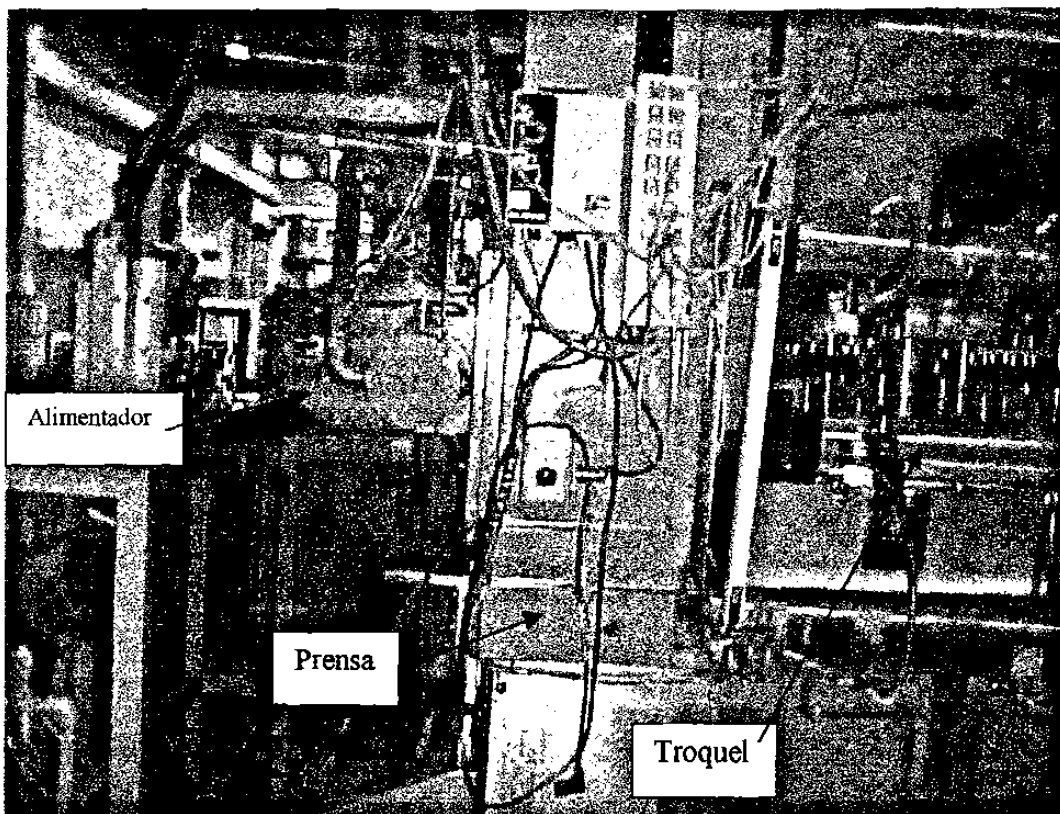


Figura 5.6 Prensa con alimentador de material

## 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.

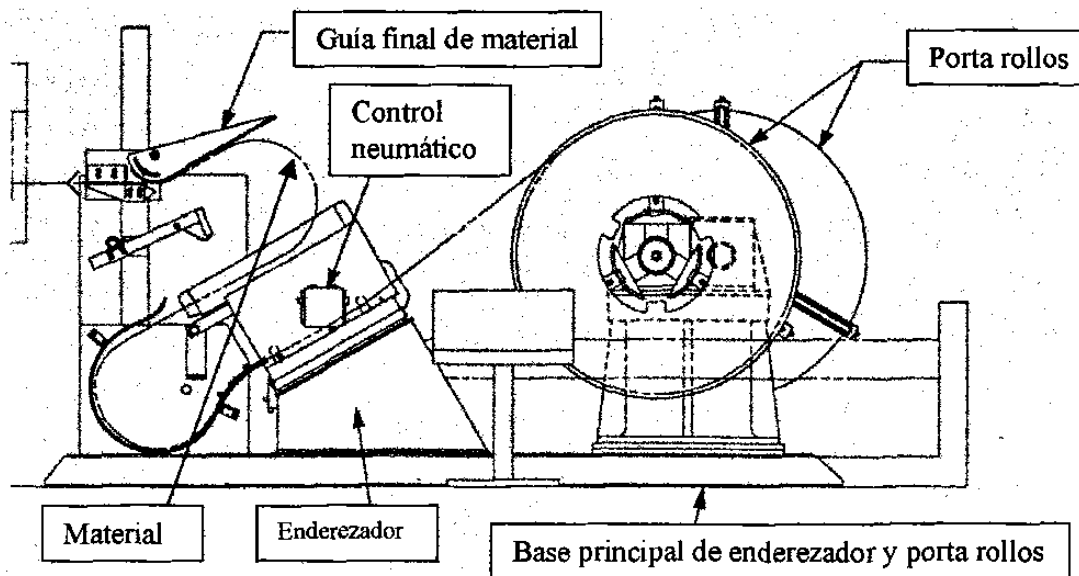


Figura 5.7 Enderezador y portarrollos

## 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.

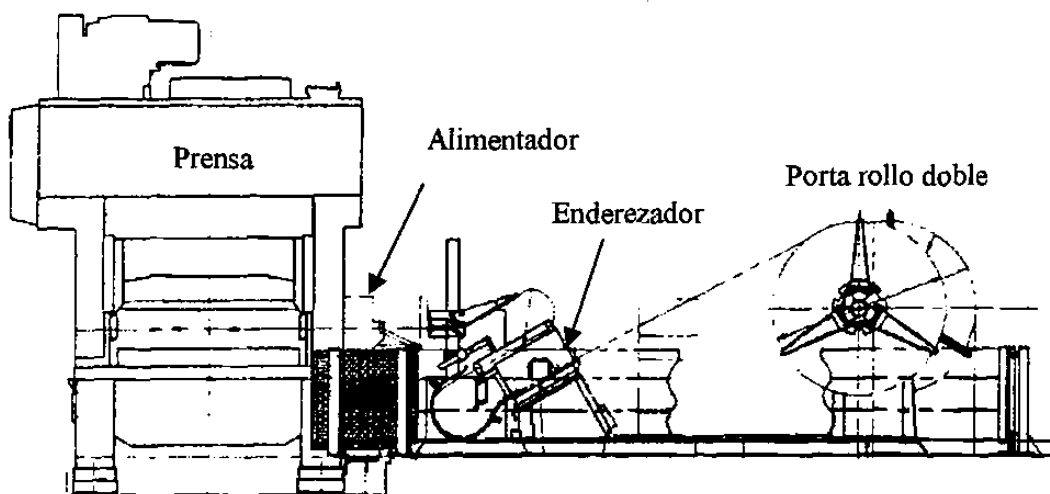


Figura 5.8 Línea de troquelado



## 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.

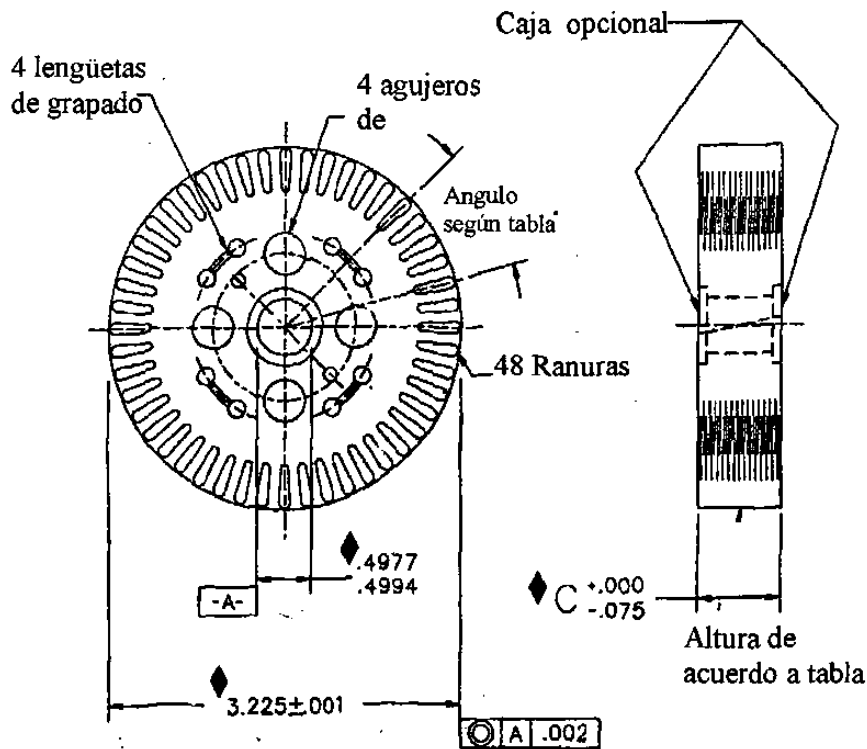


Figura 6.1 a. Dibujo de laminación rotor

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

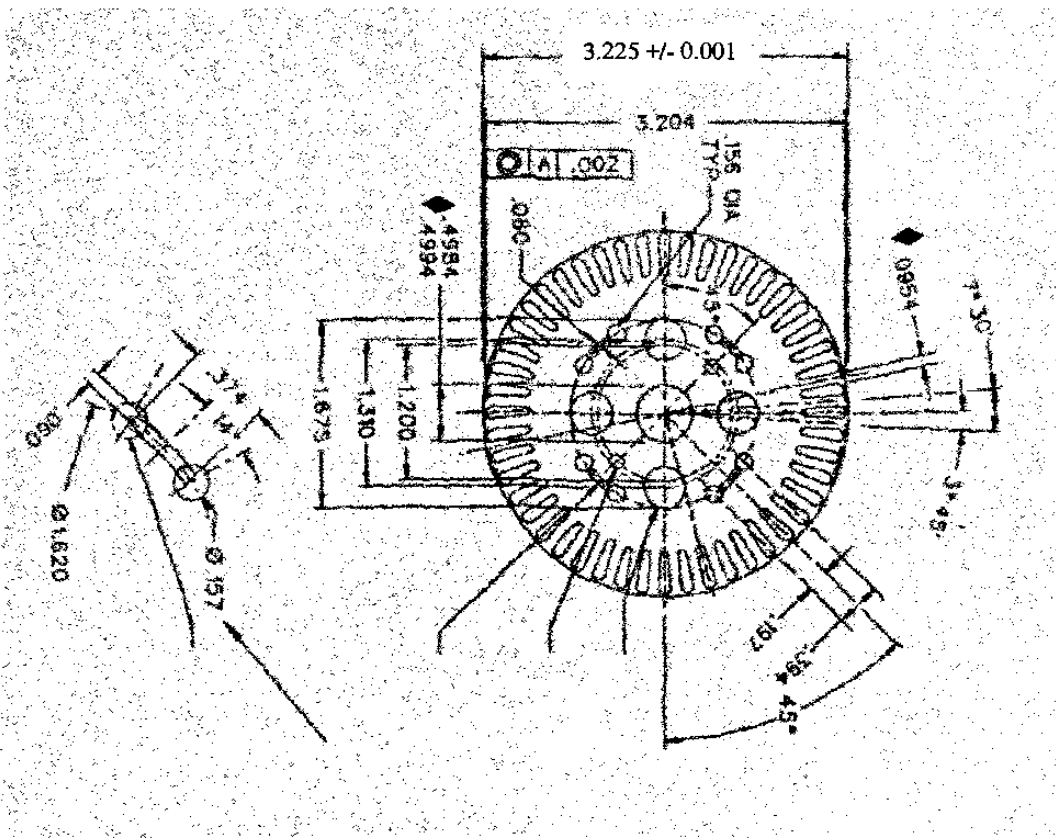


Figura 6.1 b Laminación rotor

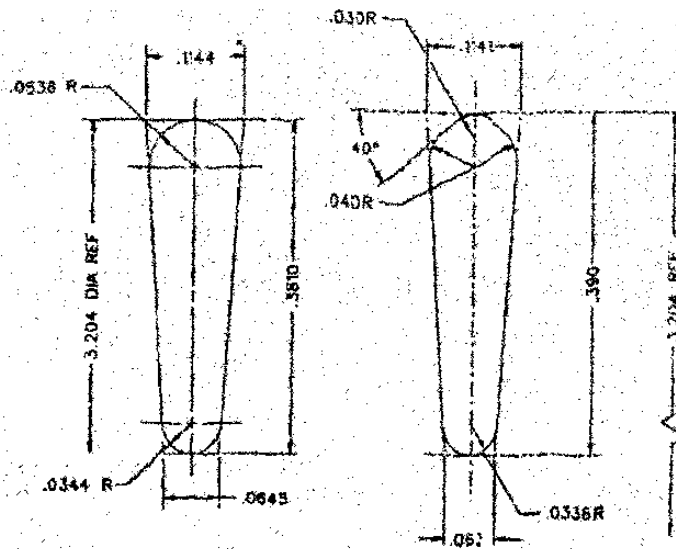


Figura 6.1c Laminación rotor



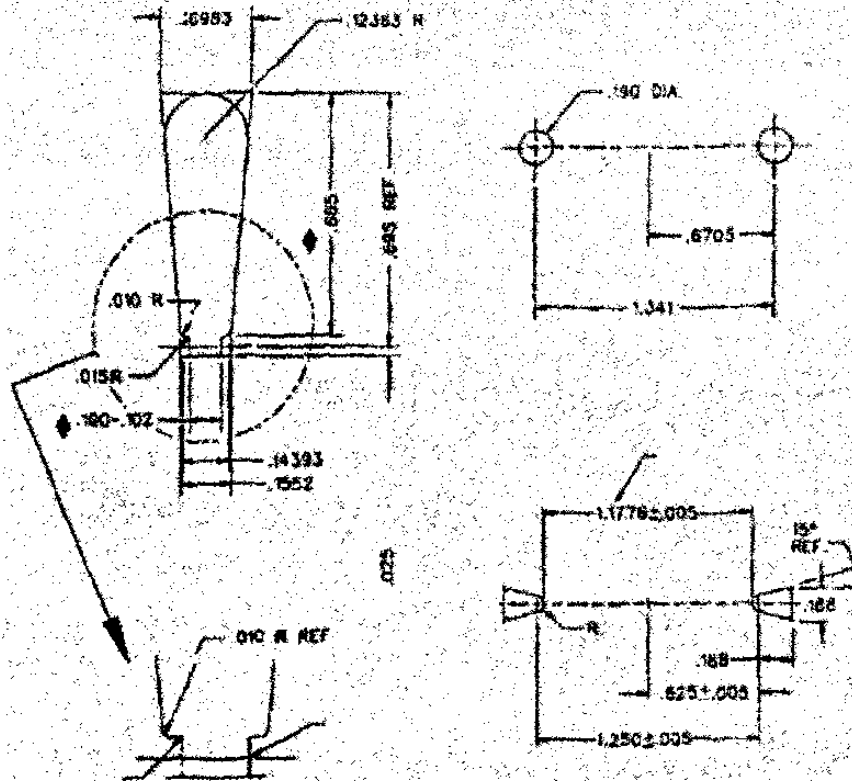


Figura 6.2 b Dibujo de laminación estator

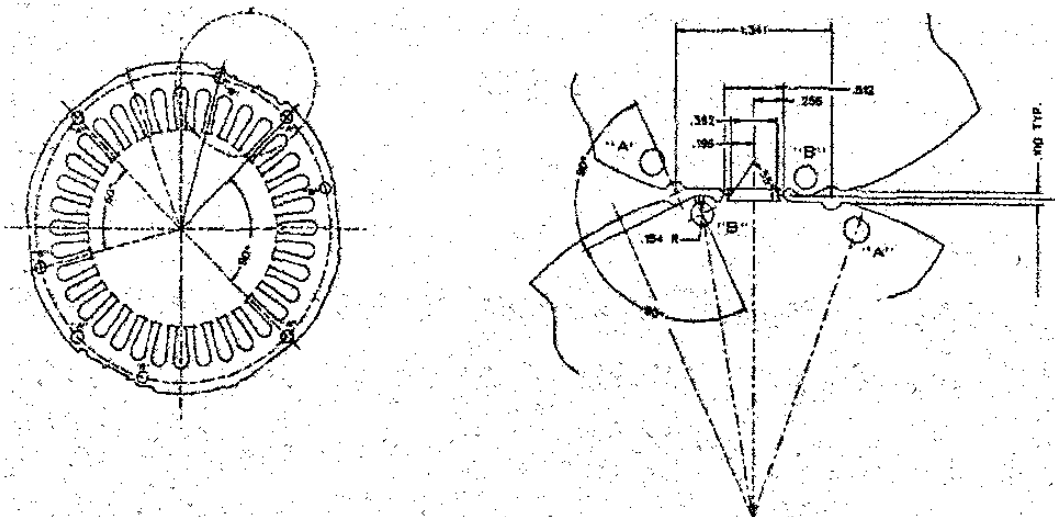


Figura 6.2 c Dibujo de laminación estator

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	3/4"
Dimensiones del martillo:	
Ancho:	
Largo:	84"
Espesor:	3"
Ranuras T	3/4"
Dirección de alimentación.	De derecha a izquierda
Carrera de trabajo	1 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.

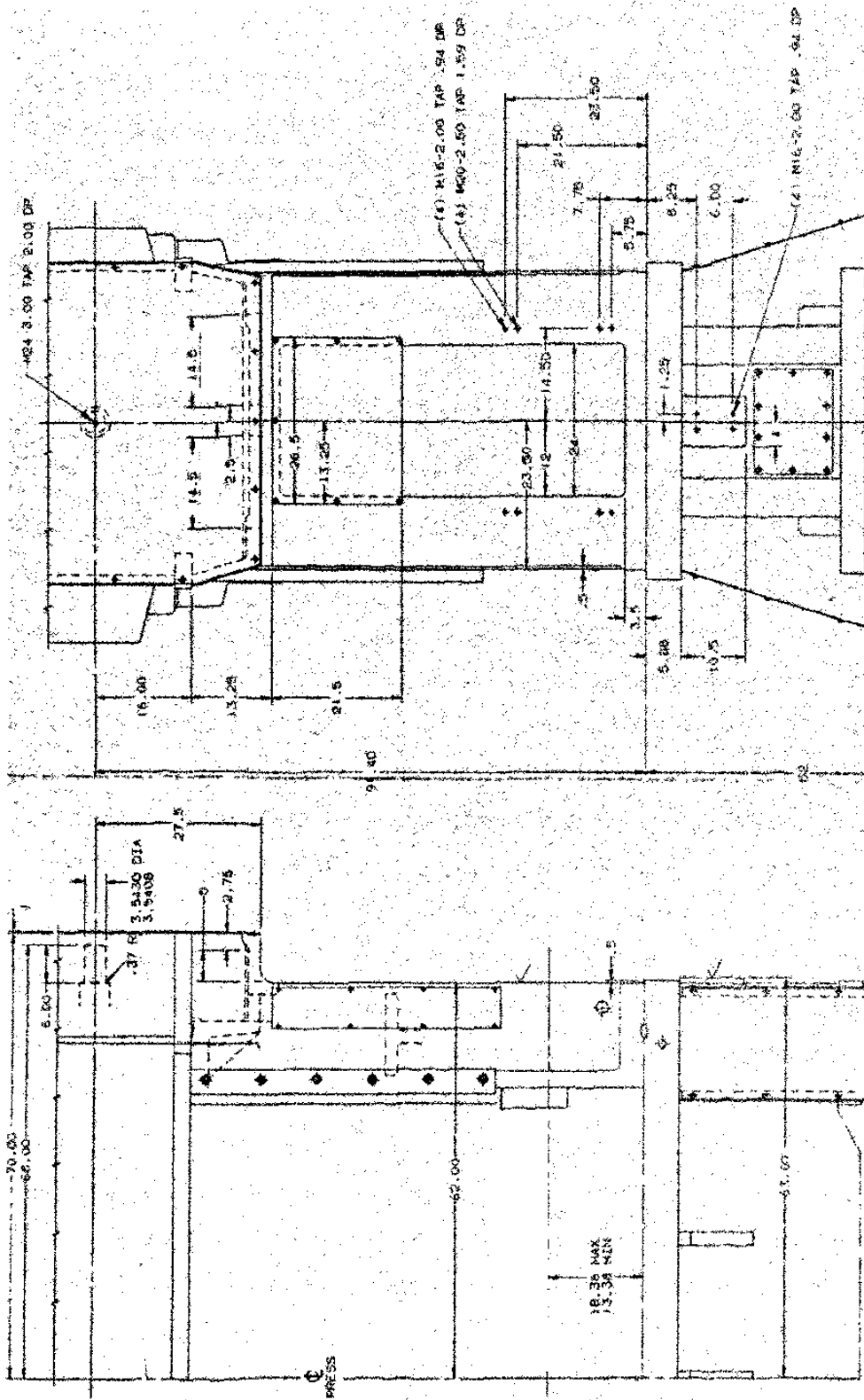


Figura 6.3 Prensa

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:**

Limite de cedencia:	4,155 Kg./ cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de tensión	4,873 Kg./ cm <sup>2</sup>
% Elongacion	22

Dureza                    75 HRB máximo

**Rugosidad:**

Altura	79 micro pulgadas máximo
Densidad	124 picos por pulgada cuadrada.

Espesor :                0.031” +/- 0.002”



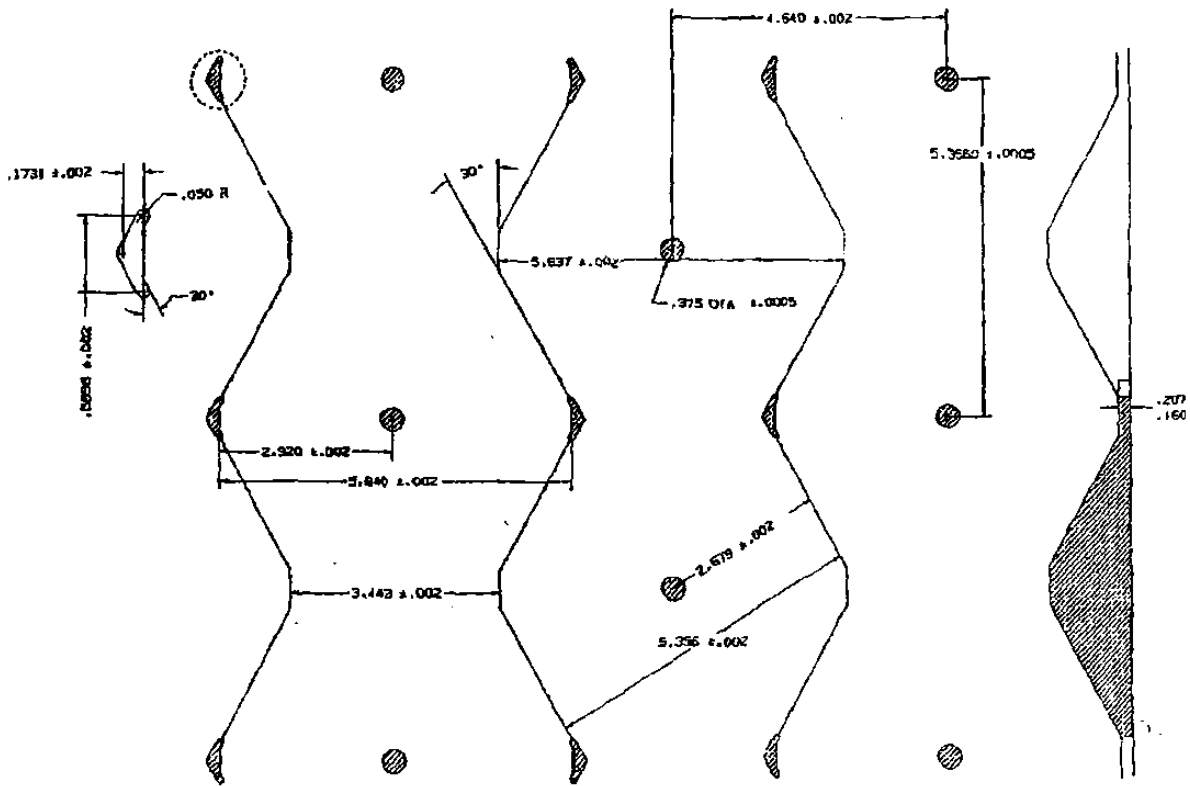


Figura 6.4 Materia prima. acero pre formado.

## 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.

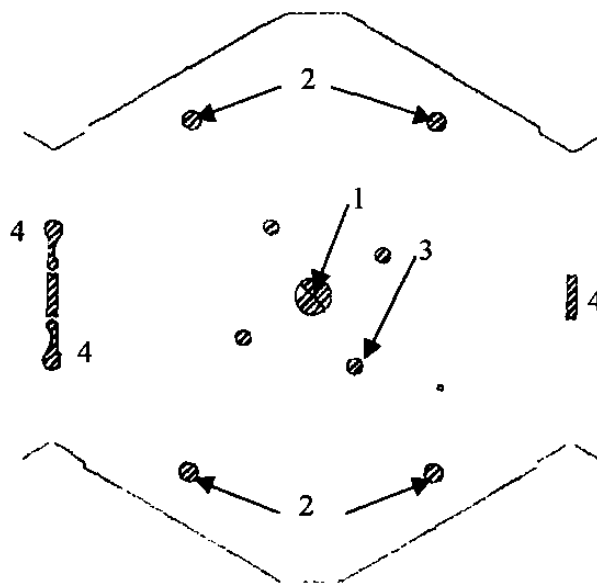


Figura 6.5 Tira de acero Estación 1

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

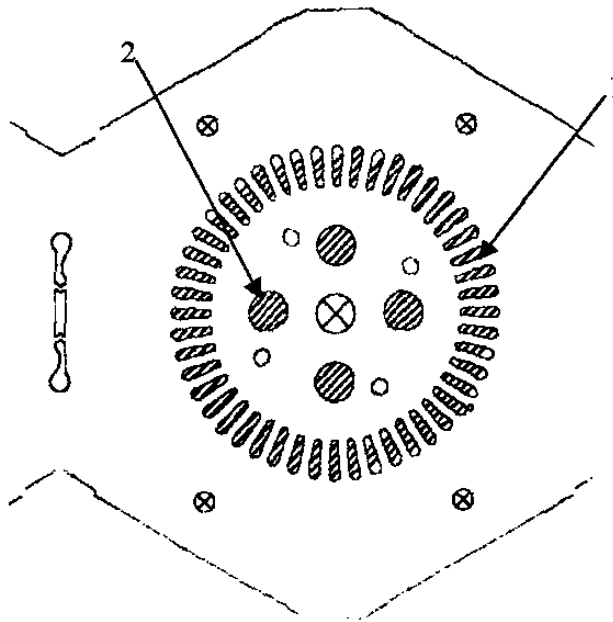


Figura 6.6 Tira de acero Estación 2

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

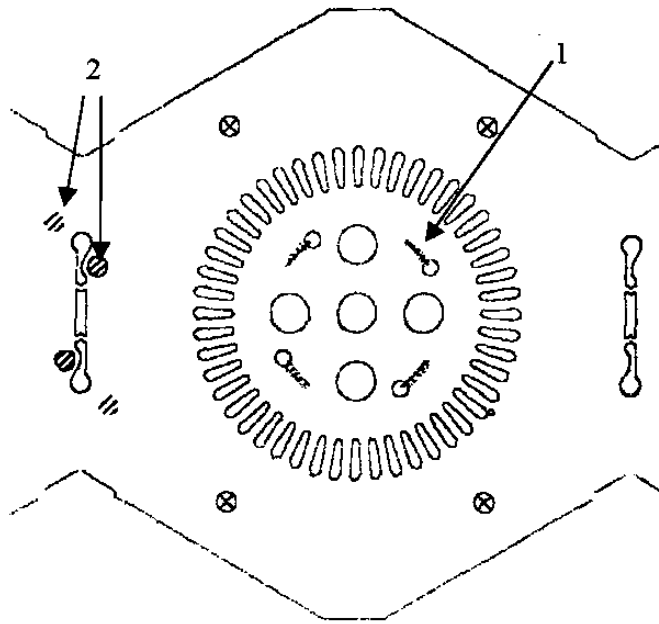


Figura 6.7 Tira de acero Estación 3

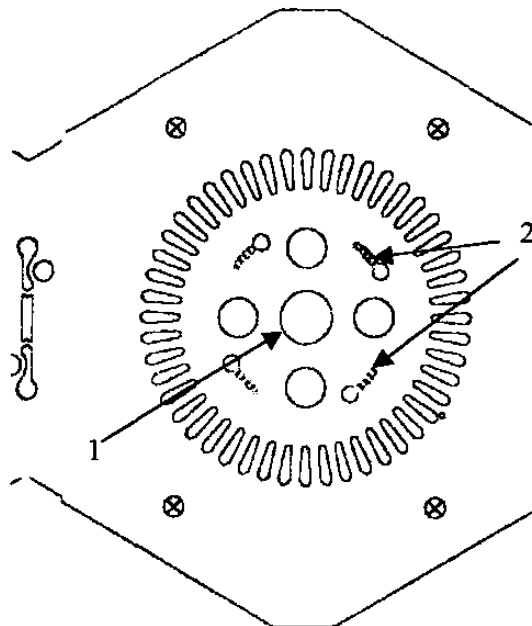


Figura 6.8 Tira de acero Estación 4

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 recortará 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.

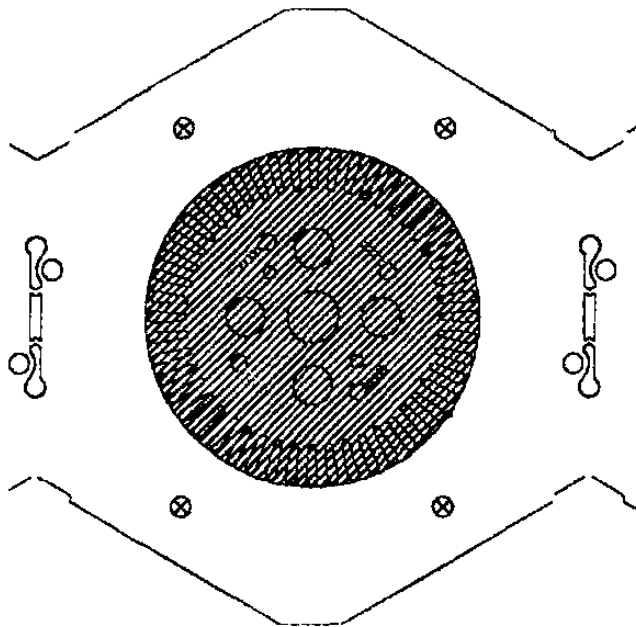


Figura 6.9 Estación 5

Estación 6: esta estación estará vacía, esto significa que no se desarrollará 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.

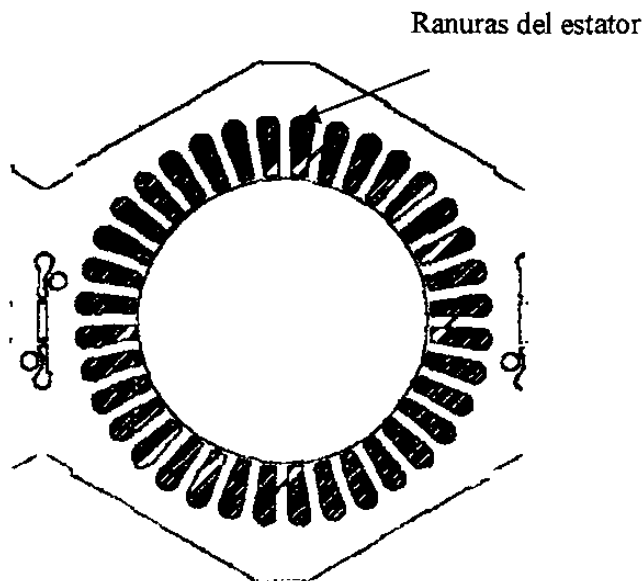


Figura 6.10 Tira de acero Estación 7

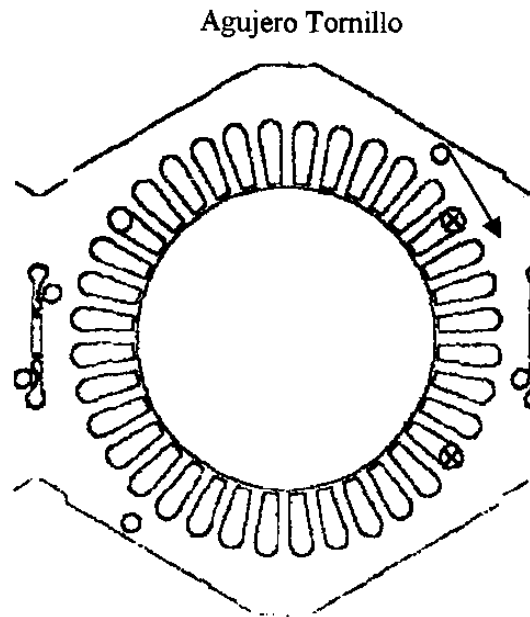


Figura 6.11 Tira de acero estación 8

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 controlar 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.

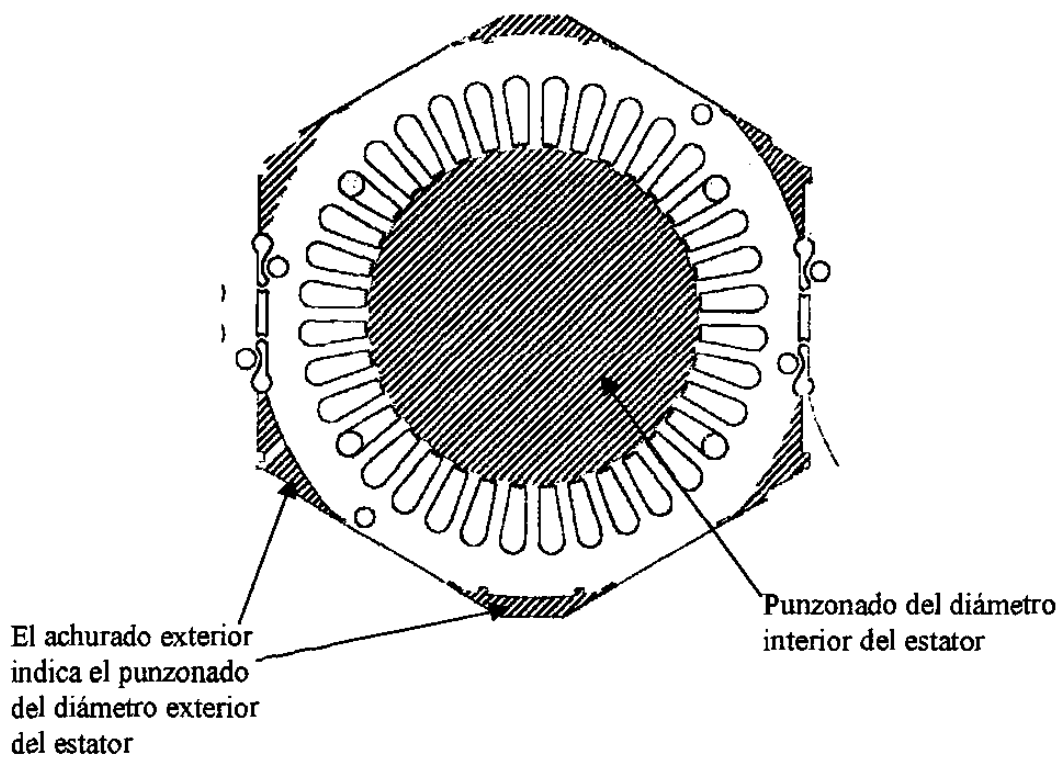


Figura 6.12 Tira de acero estación 9

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.

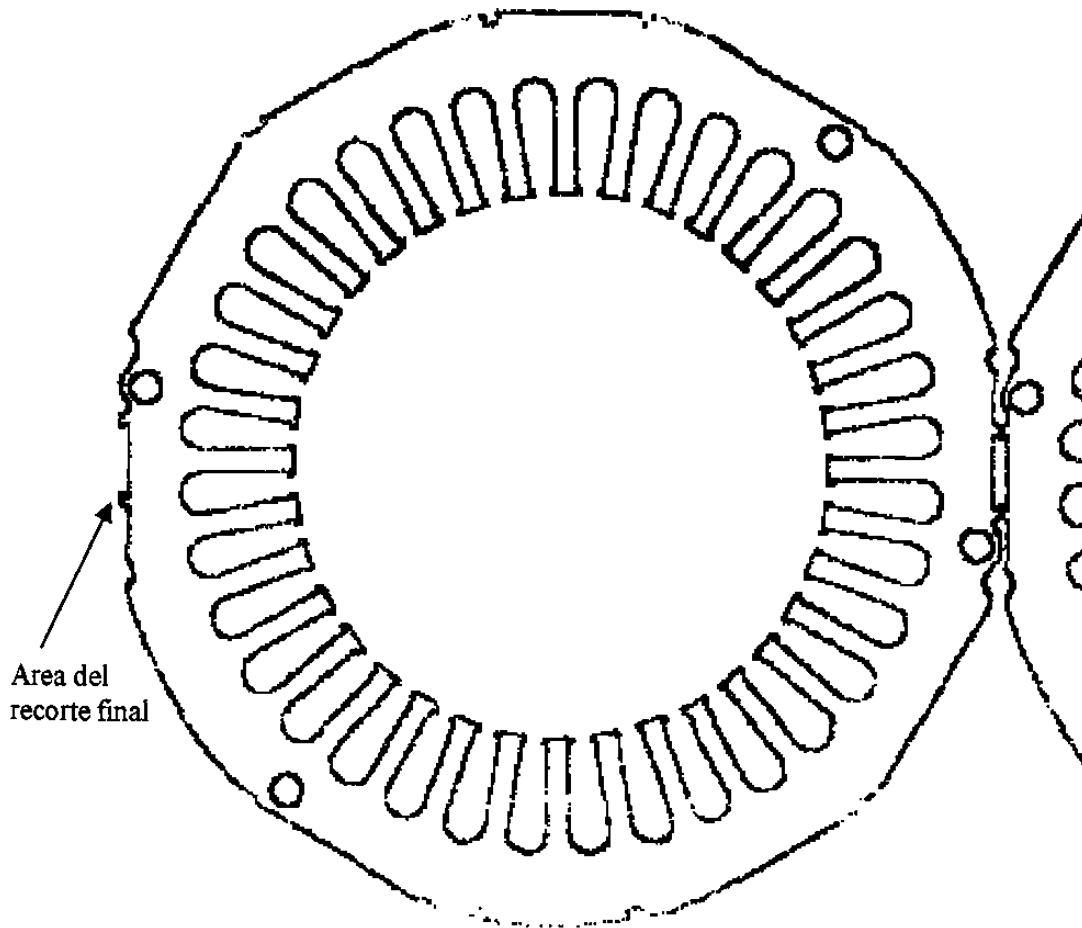


Figura 6.13 Tira de acero ultima estación

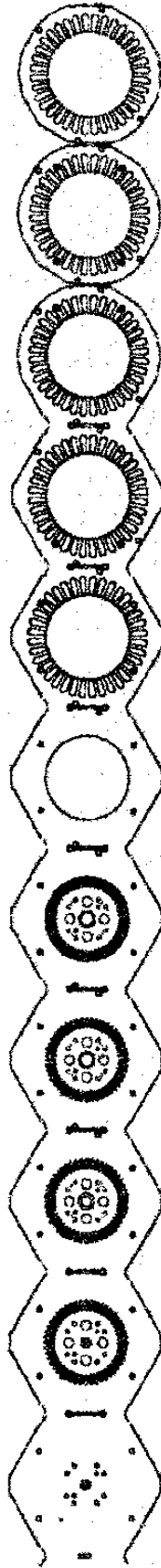


Figura 6.14 Tira de acero completa

### 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 formula 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.