



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA

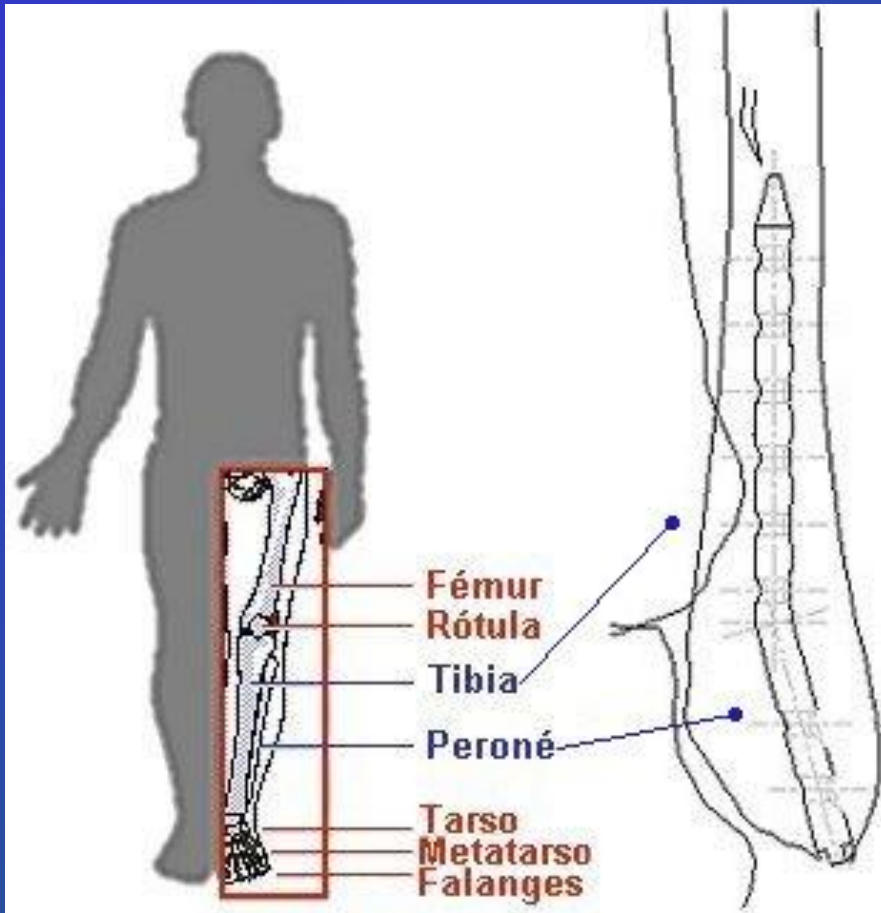
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN
DE UN CLAVO INTRAMEDULAR PARA
FRACTURA DEL PERONÉ DISTAL***

**PRESENTADO POR
LOS BACHILLERES**

*Carvajal R., Antonio J.
Castro P., Daniel J.*

INTRODUCCIÓN



El Peroné junto con la Tibia conforma la estructura ósea de las piernas.

El Peroné es un hueso, delgado y flexible, que al fracturarse en la región distal difícilmente podría regenerarse en su posición correcta sin ayuda de un implante.

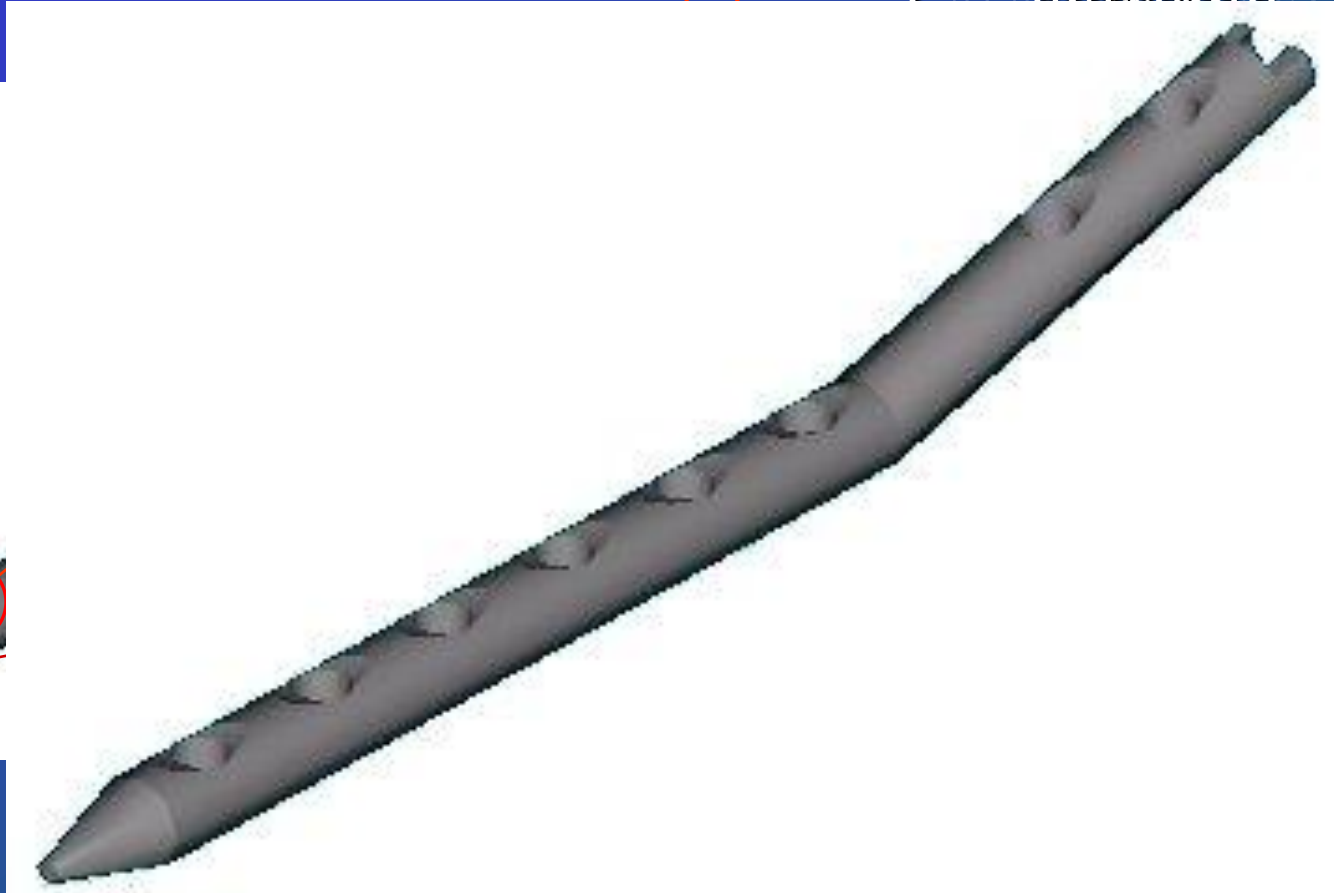
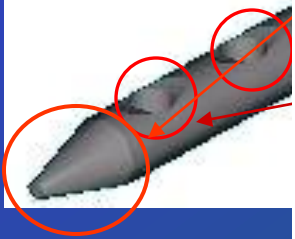
INTRODUCCIÓN

ASPECTO DEL CLAVO INTRAMEDULAR DE 15°

Un sujetador roscado

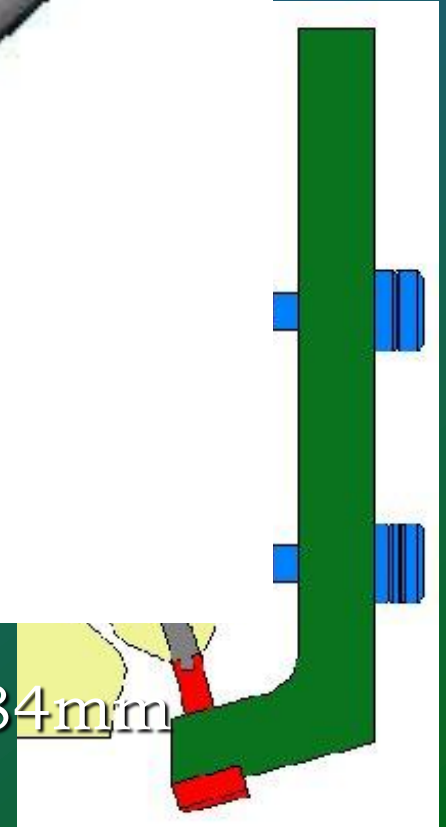
6.000.000.000

mm



Diámetro: 4.5mm

Longitud: 84mm



INTRODUCCIÓN

ACERO A316L

Composición química

C	0.03%
Mn	2%
P	0.045%
S	0.03%
Si	1%
Cr	16-18%
Ni	10-14%
Mo	2-3%

- ✓ Alta tasa de endurecimiento al trabajo en frío.
- ✓ Resistencia a la corrosión.
- ✓ Alta resistencia a la tracción y zona plástica amplia.
- ✓ Alta ductilidad y dureza.
- ✗ No presentan temperatura de transición de **Virutas gomosas y dureza en el corte.**
- Baja conductividad térmica.
- Corte continuo.
- Alta tasa de endurecimiento al trabajo en frío.
- Herramientas con flancos amplios.
- Herramientas apoyadas firmemente.
- Lubricación durante el corte.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar el proceso de fabricación de un clavo intramedular para fractura del peroné distal.

Objetivos específicos

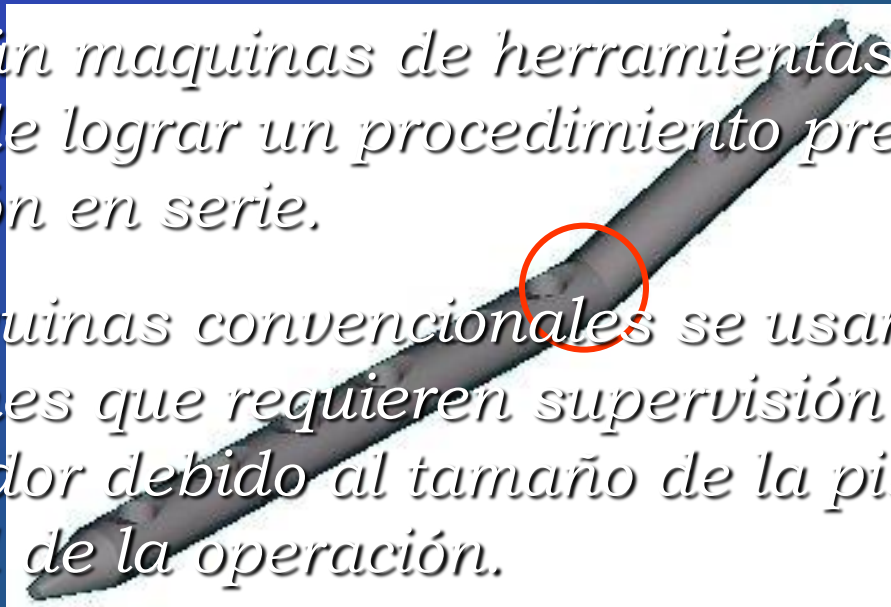
- Determinar la sucesión de pasos óptimos y necesarios para convertir una varilla bruta de acero inoxidable A316L en una pieza acabada.
- Diseñar y construir las herramientas necesarias para lograr la fabricación del clavo intramedular.
- Determinar los parámetros de aplicación del fotograbado en el acero inoxidable A316L

ALCANCES

- ✓ Diseñar las cartas de proceso y los planos de ejecución necesarios para el maquinado del clavo intramedular y las herramientas para la fabricación.
- ✓ Construir el conjunto guía para los agujeros y el aparato de doblado para la elaboración del clavo intramedular.
- ✓ Maquinar un prototipo del clavo intramedular una vez obtenidas todas las herramientas para ello.
- ✓ Montar el sistema de fotograbado.
- ✓ Hacer las pruebas y determinar las variables necesarias para lograr el grabado en acero inoxidable A316L en diferentes condiciones de superficie.

Diseño del Proceso de Fabricación

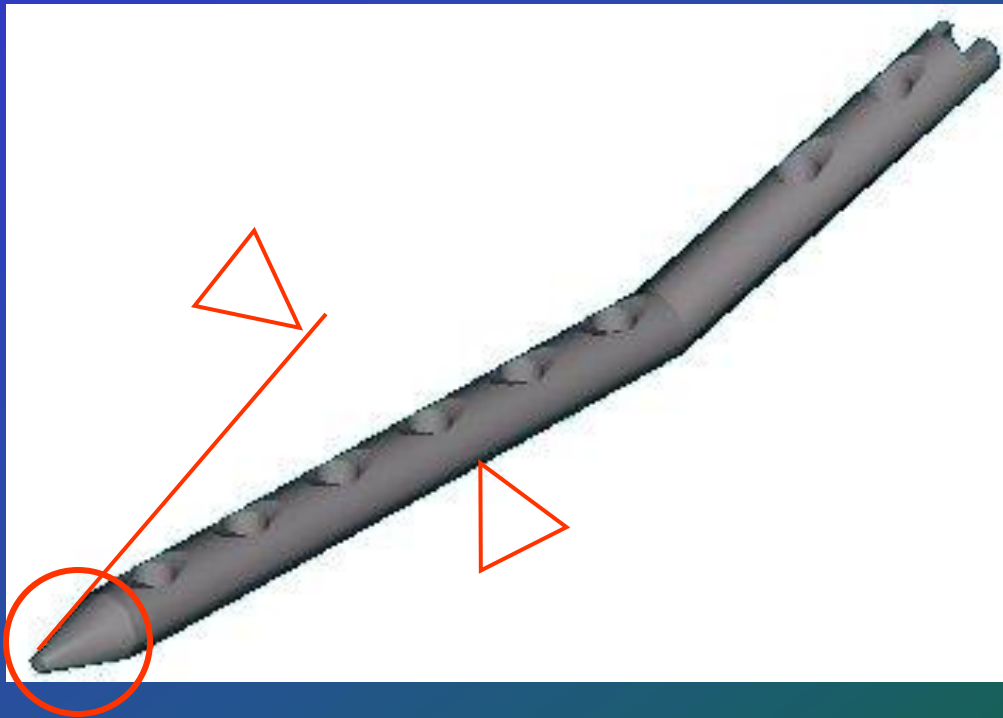
- *El objetivo es lograr un proceso de fabricación eficiente, preciso y reproducible.*
- *Al observar la pieza se concluye que el doblado divide este proceso de fabricación en dos etapas.*
- *Se usarán máquinas de herramientas CNC con el objetivo de lograr un procedimiento preciso de fabricación en serie.*
- *Las máquinas convencionales se usarán en las operaciones que requieren supervisión por parte de un operador debido al tamaño de la pieza y la magnitud de la operación.*



Cilindrado hasta 4.5mm y conchado 30°.

OPERACIÓN

- Torneado



PROBLEMAS

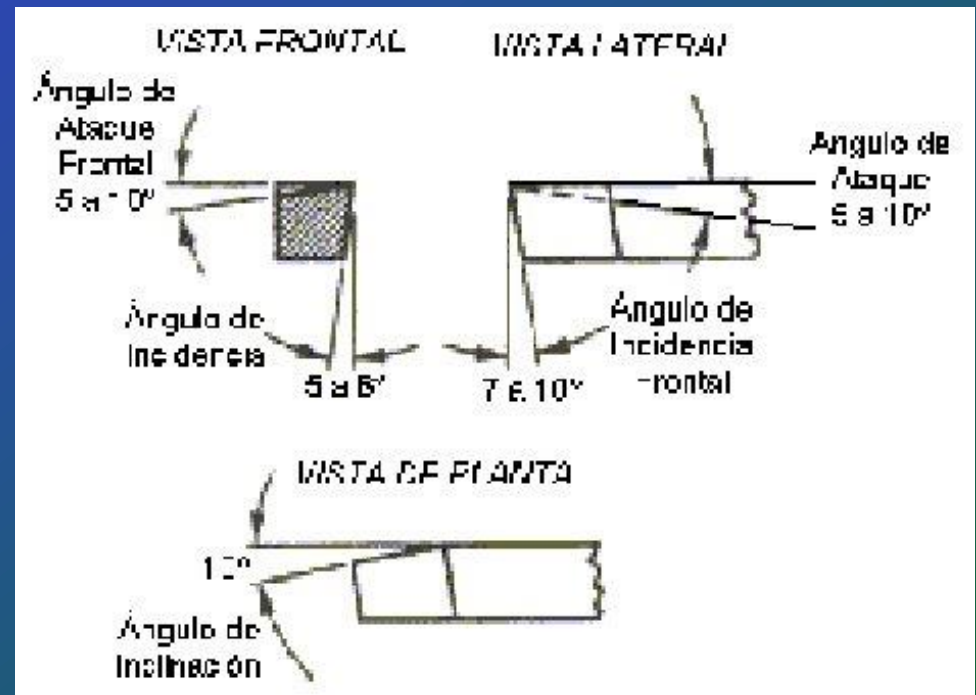
- Gomosidad del material y dureza durante la operación.
- Sujección de la pieza durante el cilindrado.
- Determinar la secuencia de ambas operaciones.

Diseño del Proceso de Fabricación

Para contrarrestar los efectos de gomosidad y dureza durante el cilindrado desde 4.763mm (3/16") hasta 4.5mm (0.247mm):

- Herramientas de acero rápido configuradas para acero inoxidable.

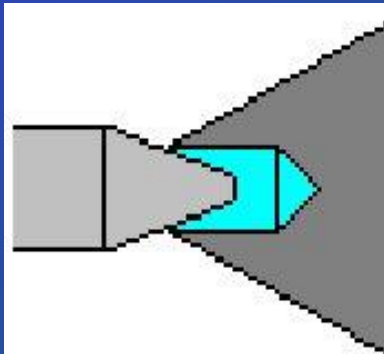
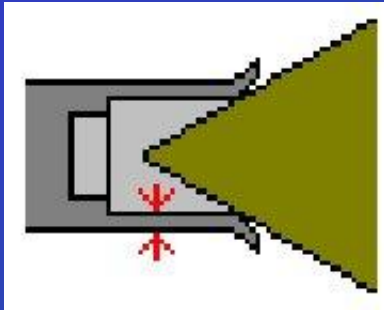
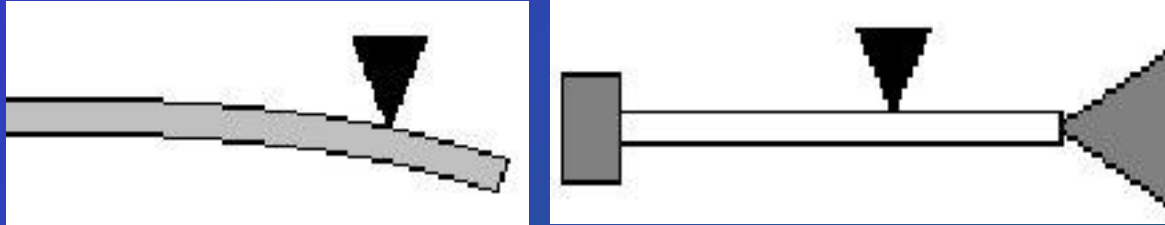
- Herramientas de pastilla: **ISO 1832-CNMG120408MF**



- Velocidades de corte menores a 18m/min

Diseño del Proceso de Fabricación

El cilindrado de piezas de diámetro pequeño respecto a su longitud debe realizarse con el uso de un contrapunto.



- *El centro punto debe tener un tamaño mínimo de 5mm.*

- *Debido al diámetro tan pequeño de la pieza, habrá tendencia al desprendimiento y a la deformación.*

- *Invertir la relación del acople, utilizando el cono del clavo.*

Contrapunto Inverso

- Cono a 60° que facilita la entrada de la herramienta durante el cilindrado.

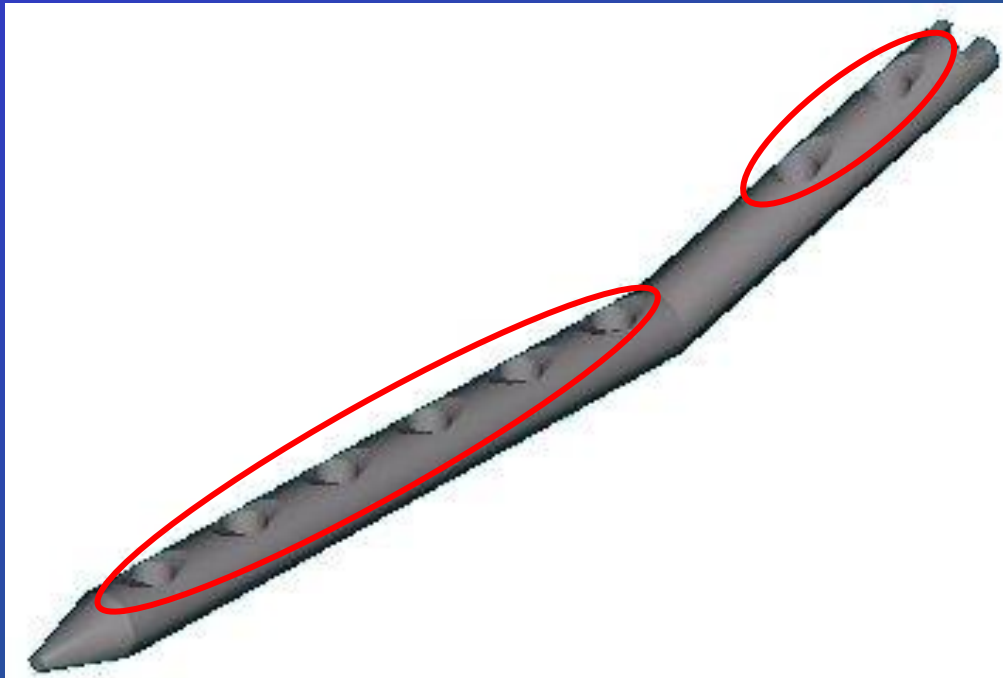


- Pieza de diseño similar al AISI 1045 contrapunto en unIVERSA a 850°C .

Agujeros pasantes de 2.8mm de diámetro.

OPERACIÓN

- Taladrado



PROBLEMAS

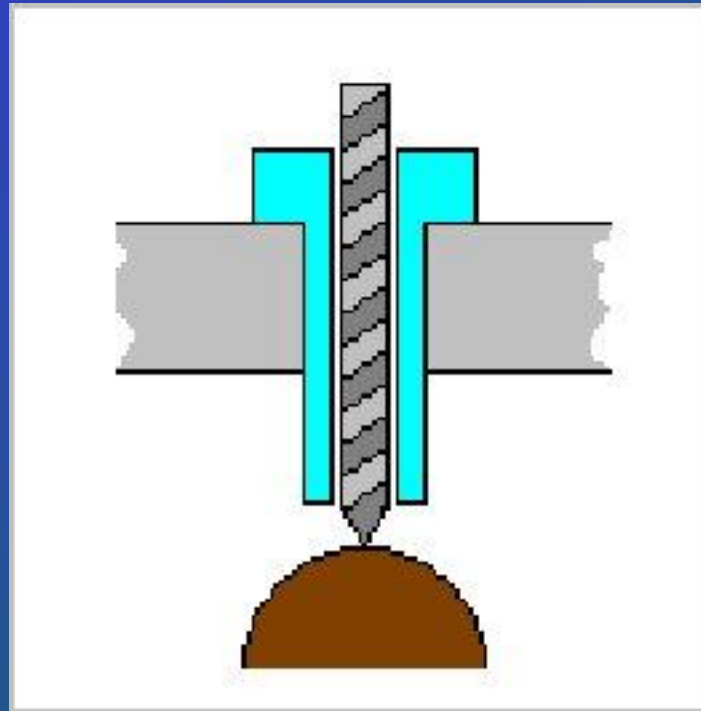
- Mantener la estabilidad de la broca durante la operación.
- Ordenar las operaciones para evitar el pandeo de la broca (relación diámetro/longitud).
- ✗ Después del doblado.
- ✗ Antes y después.

*Los agujeros deben ser taladrados
con la ayuda de utillajes*

Consideraciones de diseño

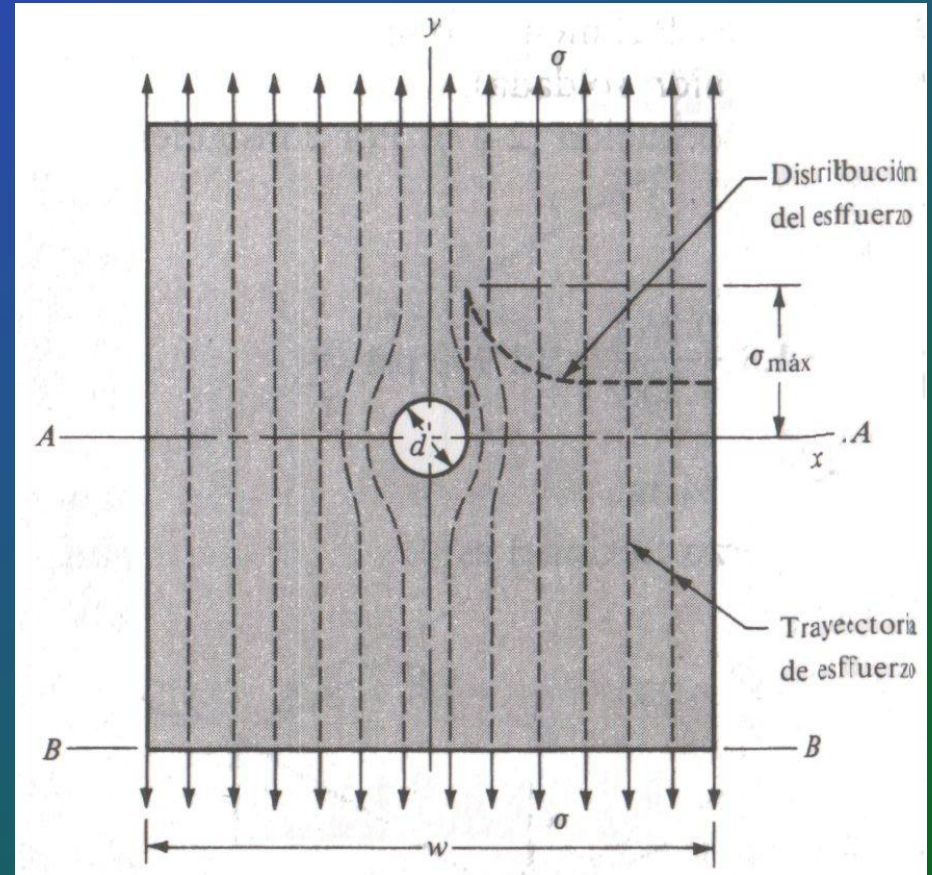
- Se deben usar bocinas guía durante el taladrado
- No pueden abrirse todos los agujeros antes del doblado
- Se necesita al menos un agujero para el doblado
- Las piezas semi-elaboradas deben estar bien sujetas para taladrarlas
- Se necesitan dos utillajes
- Los utillajes deben tener dimensiones manejables

Se deben usar bocinas guía durante el taladrado



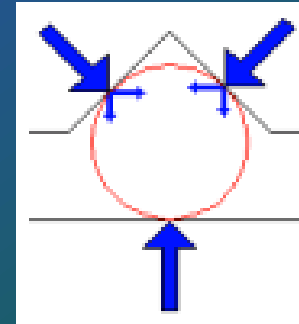
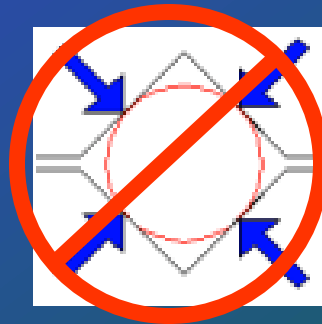
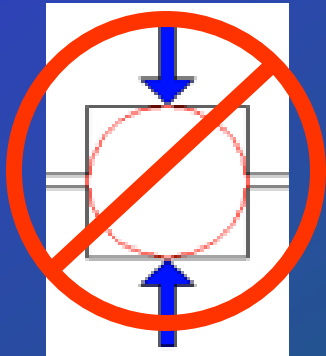
No pueden abrirse todos los agujeros antes del doblado

- El taladrado debilita estructuralmente el clavo, ocasionando una concentración de esfuerzos.
- La concentración de esfuerzos creada por las líneas de fuerza que rodean el agujero pueden alcanzar la ruptura del material.

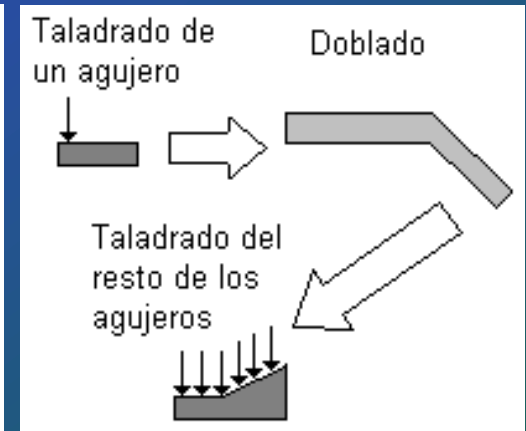
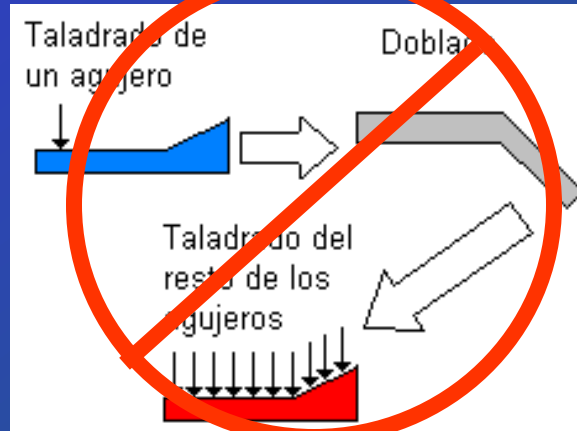
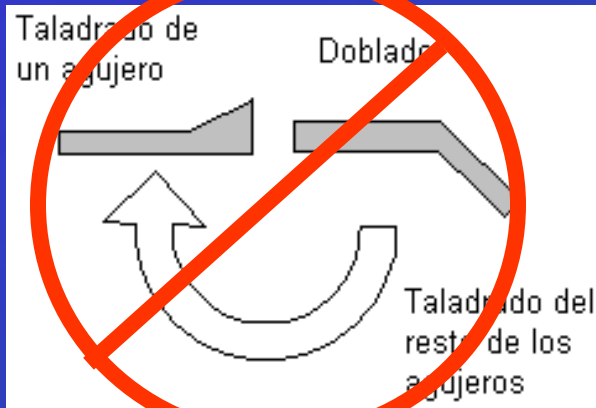


- Se necesita al menos un agujero para el doblado
 - ✓ Para posicionar el clavo y evitar la rotación del mismo en el momento del doblado.
 - ✓ El agujero piloto debe estar ubicado en un lugar que no se vea afectado por un esfuerzo mayor al de fluencia.

- Las piezas semi-elaboradas deben estar bien sujetas durante el taladrado



- Se necesitan dos utillajes



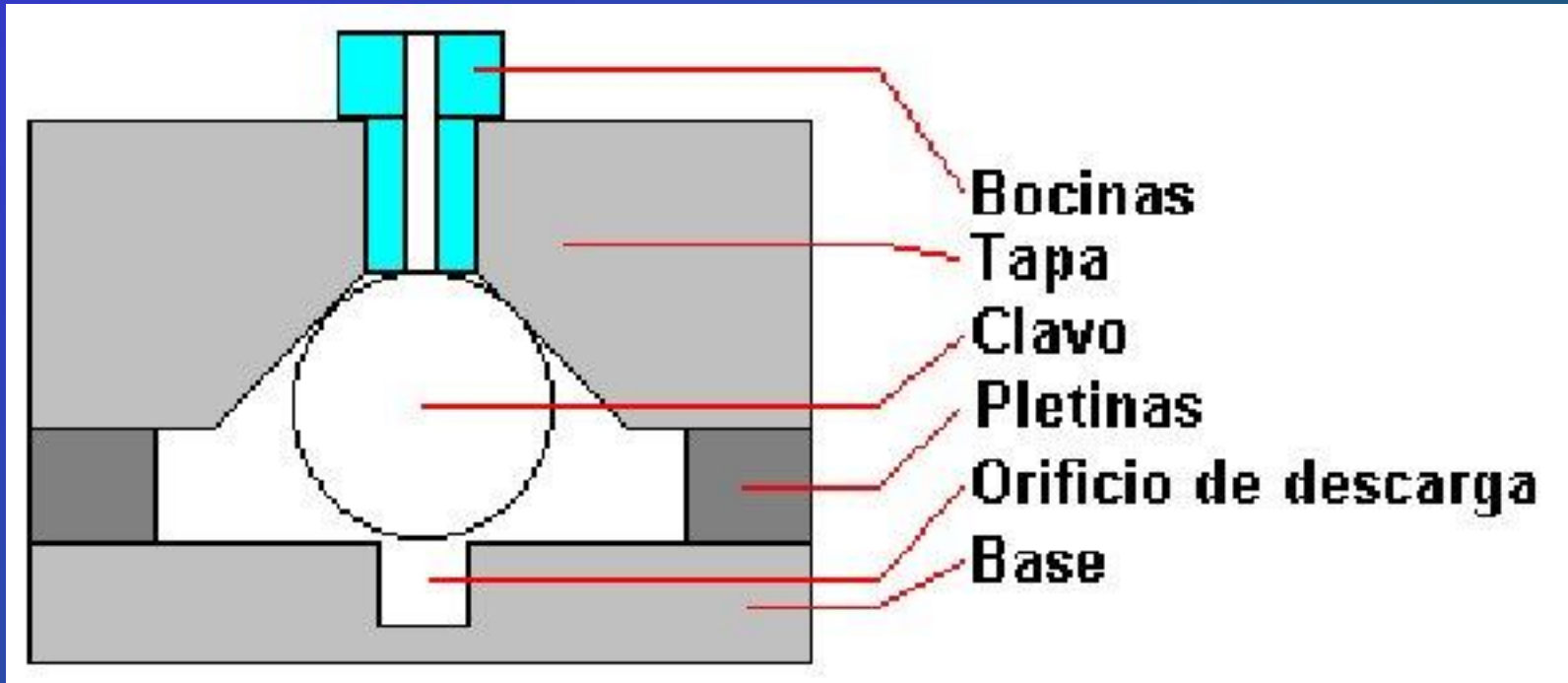
Utilizar un solo utillaje

Utilizar dos utillajes iguales

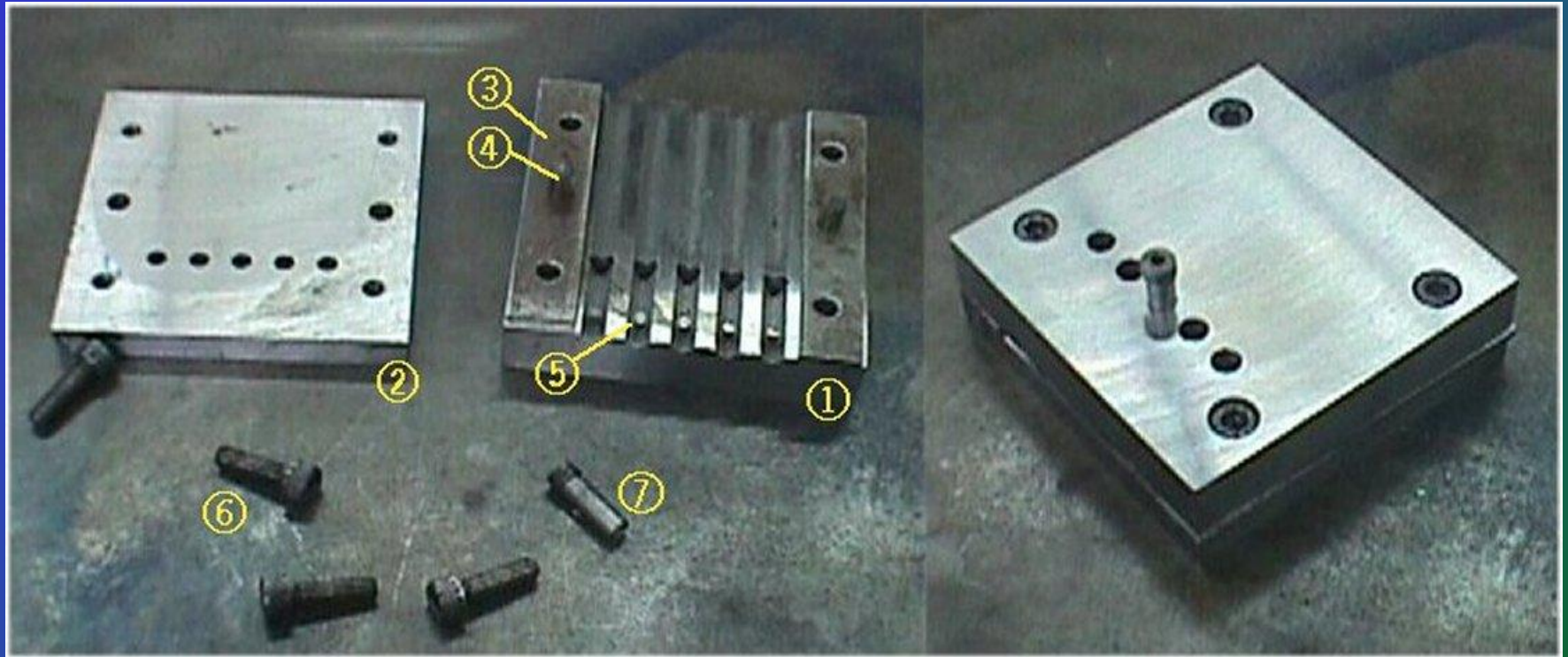
Utilizar dos utillajes distintos

- Uno para taladrar el agujero piloto del doblado
- Otro para taladrar el resto de los agujeros luego del doblado

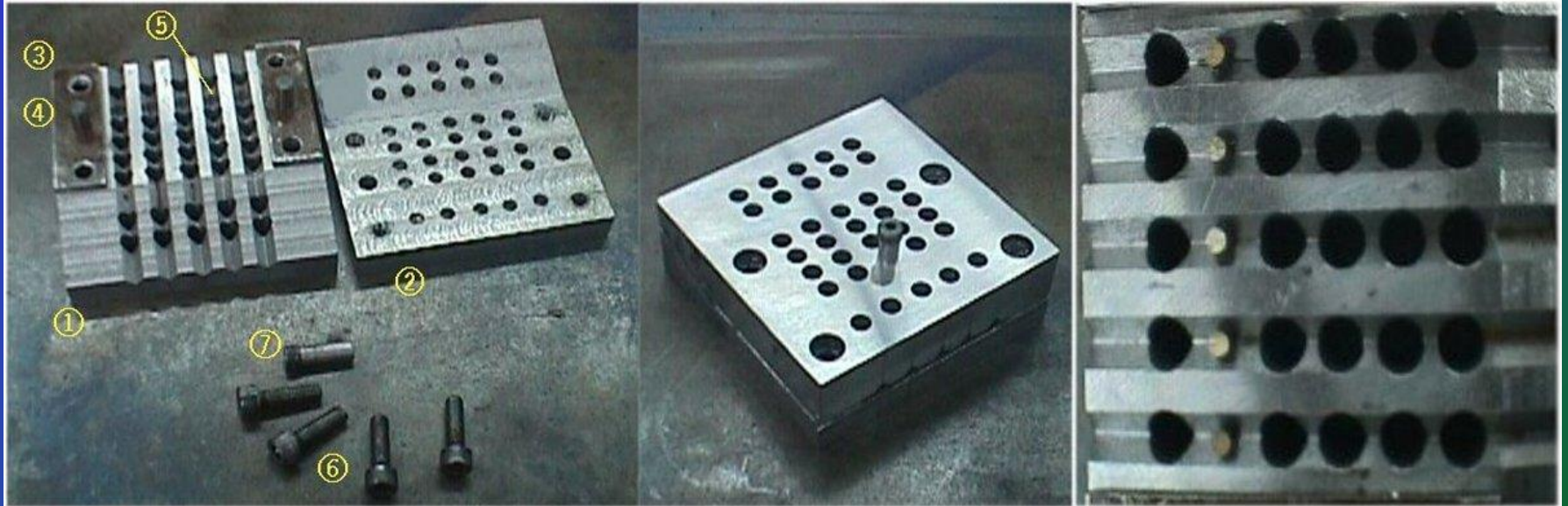
Sección transversal del conjunto diseñado



Utillaje para clavos rectos



Utillaje para clavos doblados



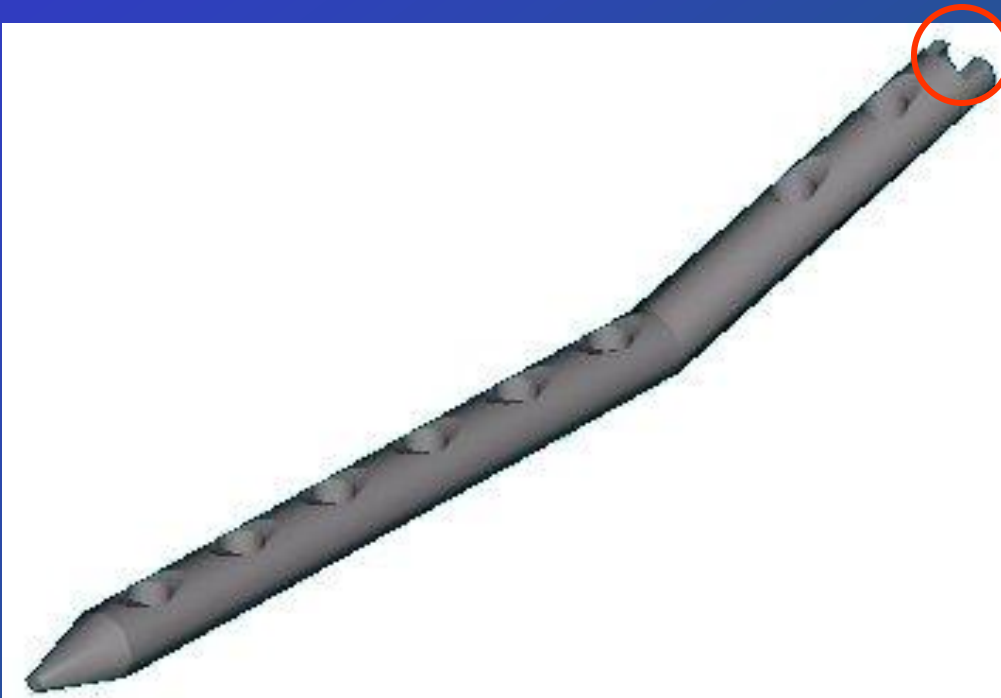
Entalladura en el extremo.

OPERACIÓN

- Fresado (utillaje para clavos rectos)

PROBLEMAS

- La entalladura es pequeña.
- Alinear en forma precisa la pieza.
- Ordenar la operación.



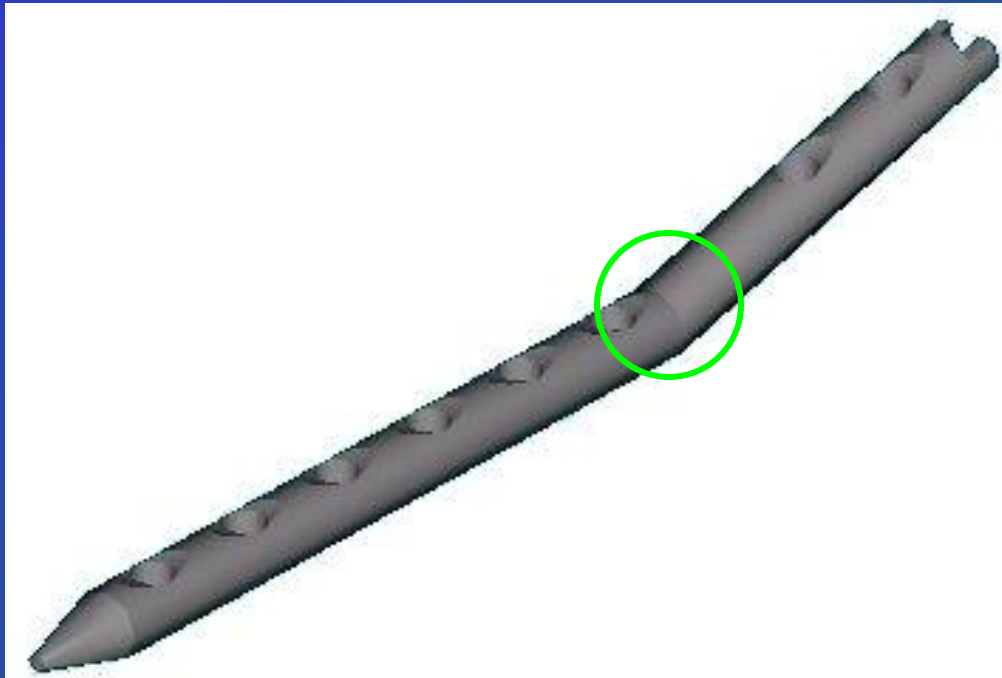
Doblado a 15°.

OPERACIÓN

- Doblado

PROBLEMAS

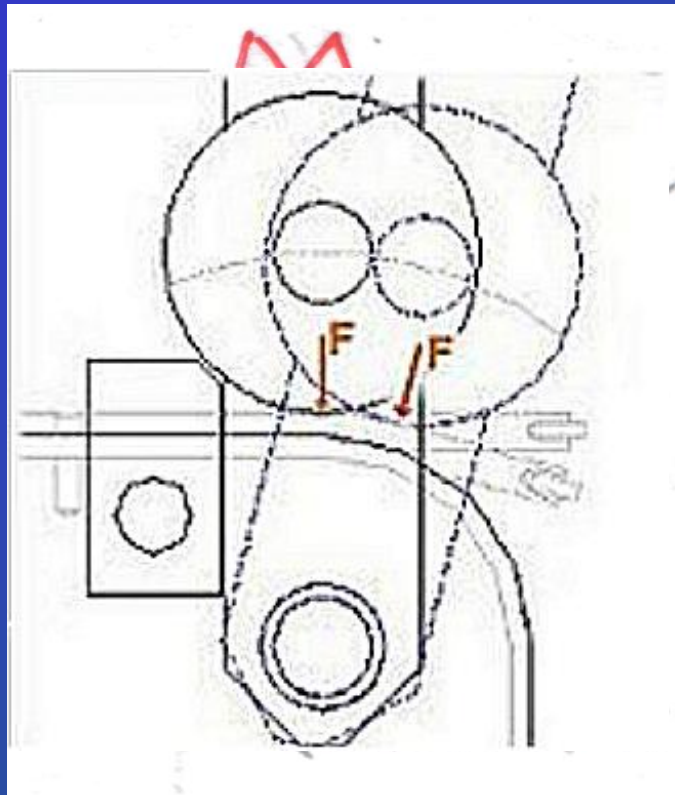
- Conservar la sección transversal.
- Sujetar la pieza durante el doblado sin golpes, roturas ni rayas.
- Realizar el doblado a 15° exactos.



Consideraciones de diseño

- El clavo debe ser doblado a 15° exactos, hacia la cara avellanada de los agujeros.
- El eje de doblado debe ser perpendicular al plano formado por los ejes de los agujeros taladrados.
- La sección transversal en la zona del doblez debe conservarse completamente circular.
- La superficie del clavo no debe presentar rayas ni muescas.
- Debe haber suficiente fijación en las piezas a doblar para evitar una deformación indeseable.

El clavo debe ser doblado a 15° exactos ...



Construir un utillaje con una base móvil que doble el clavo. El doblado se realizará en una prensa base rígida acanalada en la cual se colocará el clavo. Los canales asegurarán que el eje de rotación estará perpendicular al plano entre el área doblada y el eje de los agujeros. Una rueda constructiva completa y de material fuerte transmitirá una fuerza de flexión siempre perpendicular a la superficie del clavo. Aparecen muescas en la superficie del clavo al alejar el ángulo para que al recuperarse el material, quede doblado a 15° ?

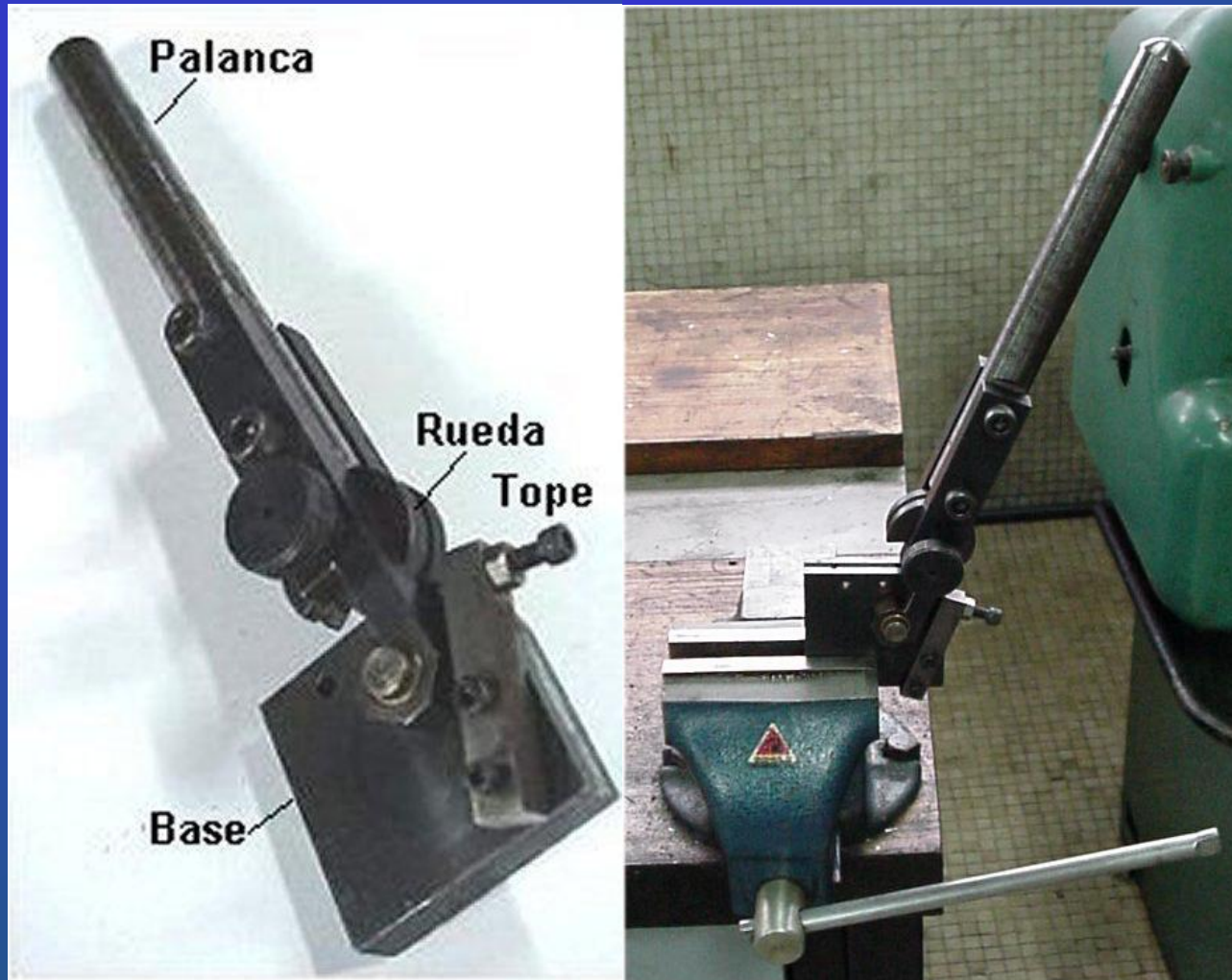
Presenta tres inconvenientes:

- * No se garantiza la permanencia de la sección perpendicular al plano entre el área doblada y el eje de los agujeros.
- * La precisión del doblado sería precaria.
- * Aparecen muescas en la superficie del clavo al alejar el ángulo para que al recuperarse el material, quede doblado a 15° ?

Presenta dos inconvenientes:

- * Se requiere una rueda constructiva completa y de material fuerte que transmita una fuerza de flexión siempre perpendicular a la superficie del clavo.
- * Aparecen muescas en la superficie del clavo al alejar el ángulo para que al recuperarse el material, quede doblado a 15° ?

Herramienta dobladora



Resumen del proceso de fabricación



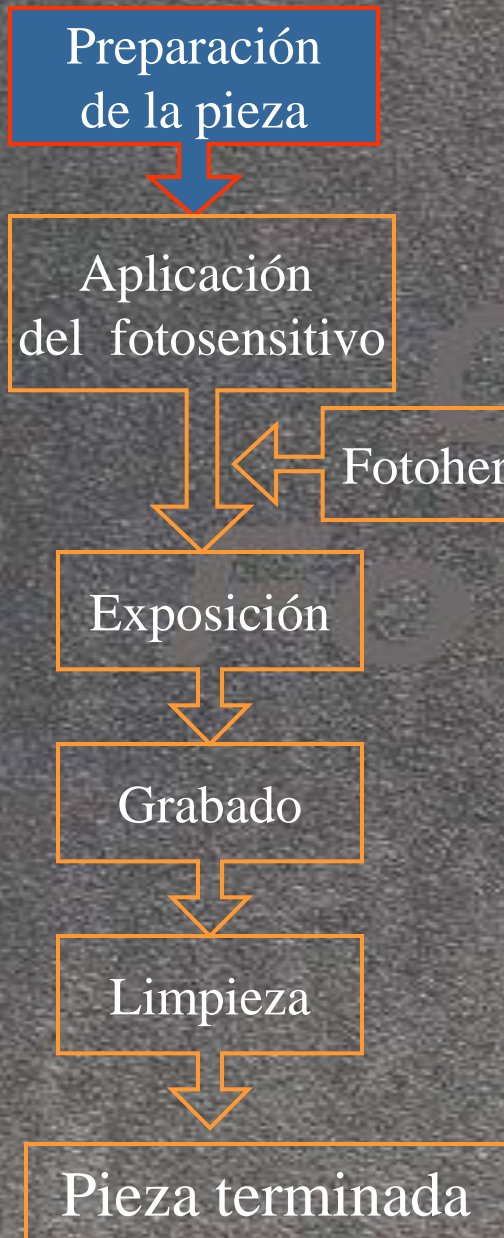
Resumen del proceso de fabricación



Grabado Fotoquímico

Es una aplicación derivada del maquinado fotoquímico, consiste en labrar caracteres o figuras sobre la superficie del metal por medio de la remoción selectiva de material a través del uso de una máscara o película fotosensitiva.

Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



Preparación de la pieza

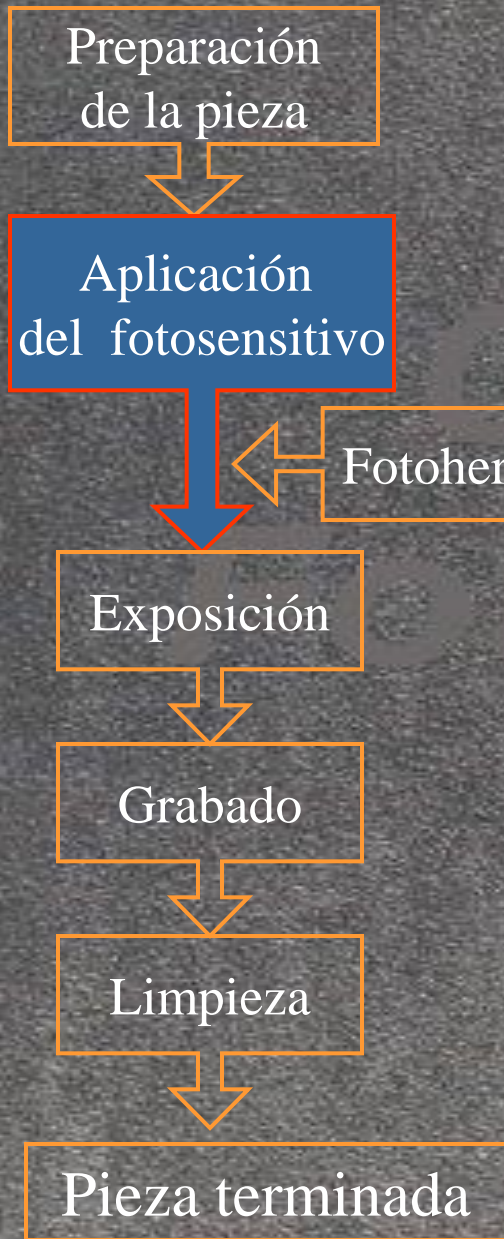
La superficie del metal debe estar libre de contaminantes (grasa y capas de óxido).

Acabado superficial Se eliminan las impurezas y se preparan las superficies con técnicas, para evitar hasta se eliminan rayas o corrosiones.

El desengrasado: Se limpia la superficie de capas de grasa.

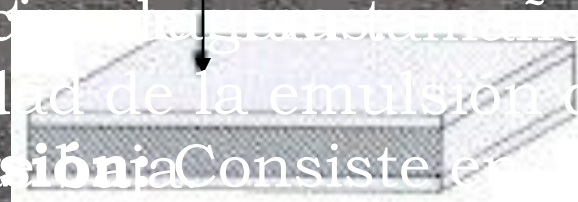
El decapado: Es un proceso en el cual la pieza se limpia de adherencia de la emulsión fotosensitiva.

Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



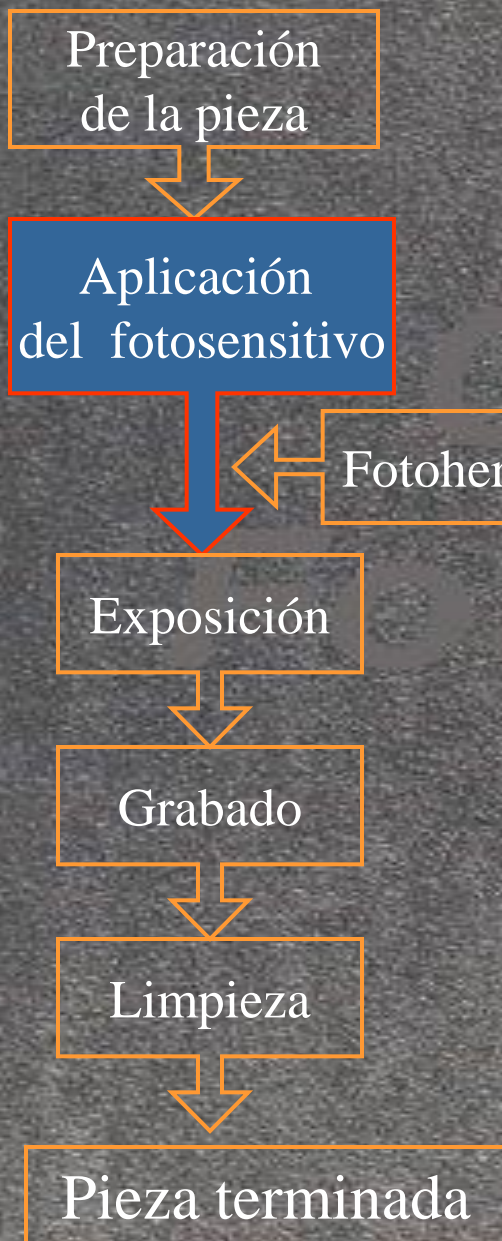
Aplicación y secado de la emulsión fotosensitiva

La aplicación de la emulsión fotosensitiva puede realizarse de tres maneras: **Spray**, **Stencils** y **Inmersión**. La viscosidad de la emulsión debe ser adecuada para el método que se utilice. **Stencils** consiste en utilizar una máscara que permite la aplicación de la emulsión en las áreas que se grabarán.



Inmersión: Consiste en sumergir la pieza en la emulsión fotosensitiva. **Centrifugadora:** Consiste en una máquina que gira la placa, lo que ayuda a aplicar la emulsión de manera uniforme. **Emulsión fotosensitiva:** Sustancia que al secarse se convierte en una película que reacciona al exponerse a la luz. Una vez revelada se le llama **fotoresistencia**. **Pintado:** Se realiza con un pincel o una brocha, un método que requiere mucha precisión. **Centrifugadora:** Consiste en una máquina que gira la placa, lo que ayuda a aplicar la emulsión de manera uniforme. **Emulsión fotosensitiva:** Sustancia que al secarse se convierte en una película que reacciona al exponerse a la luz. Una vez revelada se le llama **fotoresistencia**. **Pintado:** Se realiza con un pincel o una brocha, un método que requiere mucha precisión.

Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



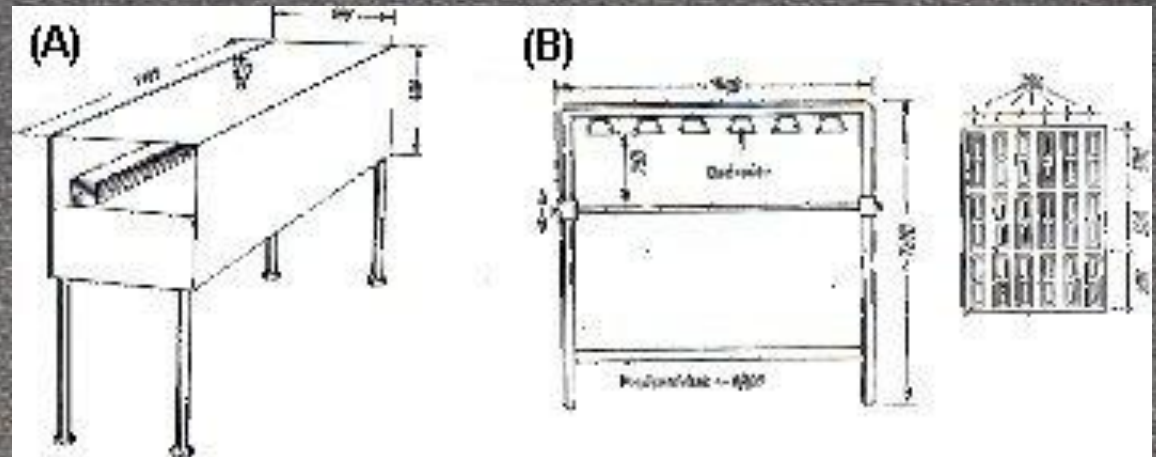
Aplicación y secado de la emulsión fotosensitiva

- El secado se realiza según las especificaciones del fabricante.

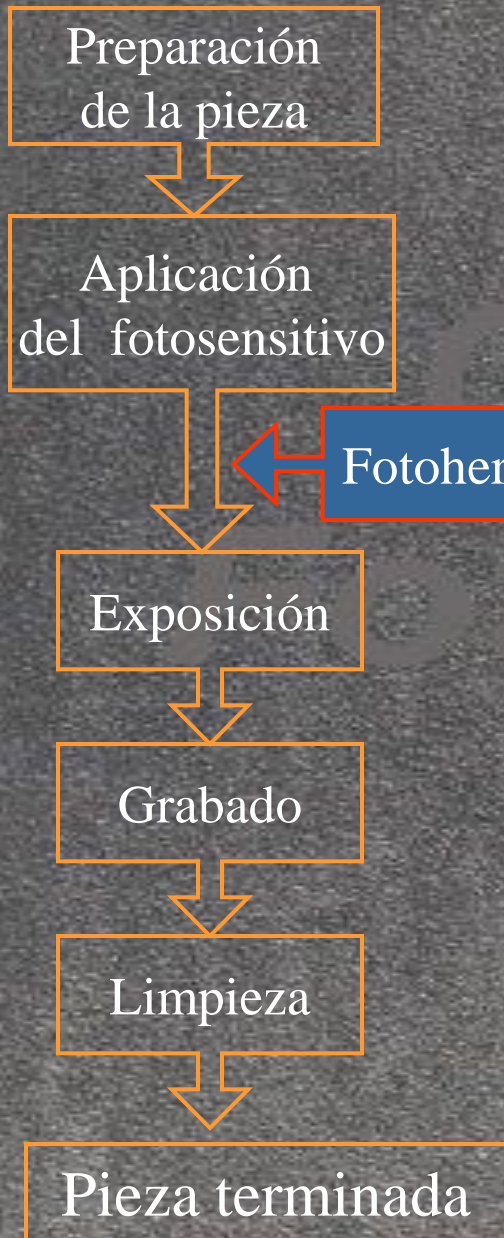
- Para el secado se utilizan dos tipos de hornos:

A) Horno de aire

B) Horno de infrarrojos



Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



Elaboración

- A mano alzada o con instrumentos

- Mediante el uso de etiquetas autoadhesivas

- **Fotoherramienta**
Elemento que imprime en la superficie de la película fotosensitiva los caracteres que definen las zonas a grabar.

- Fotolitografía

- Fotocopiado

- Ploteado

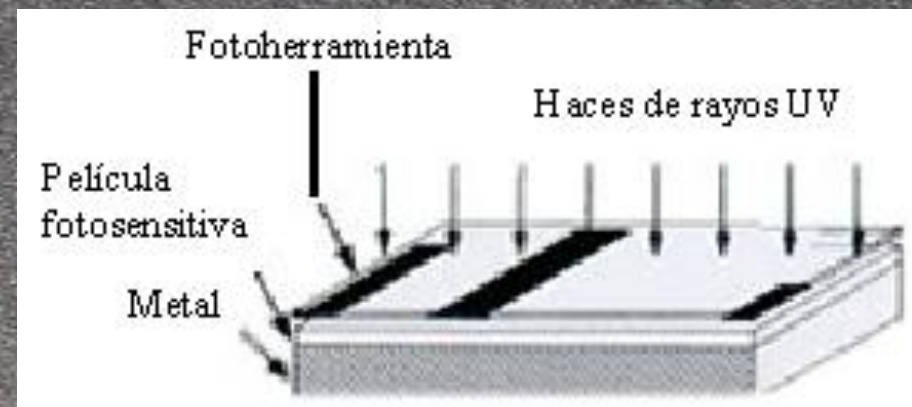
- Inyección de tinta o láser

Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



Exposición

Procedimiento que consiste en polimerizar las áreas expuestas por medio de la incidencia de la luz ultravioleta, modificando su estructura química para incrementar la resistencia a los químicos usados en el revelado.

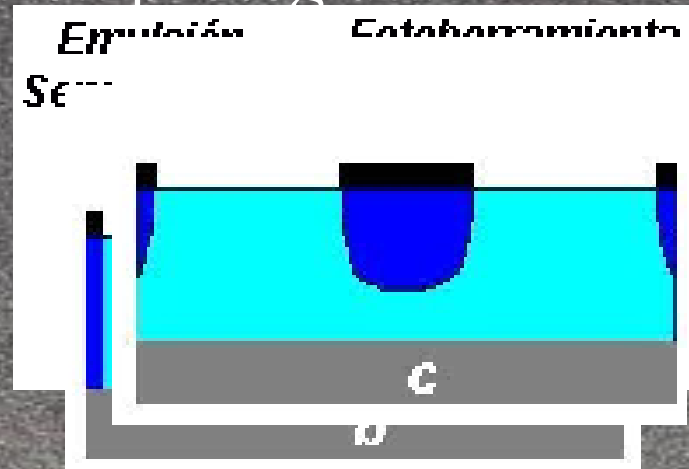


Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)

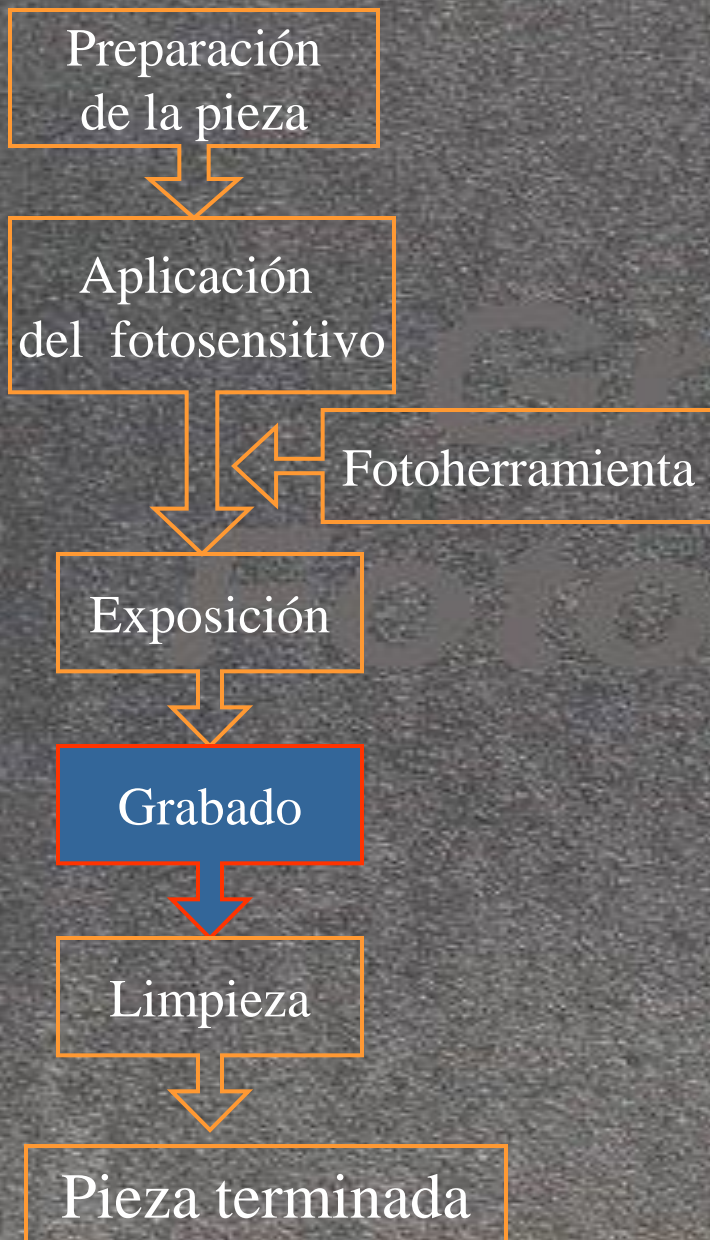


Proceso de exposición

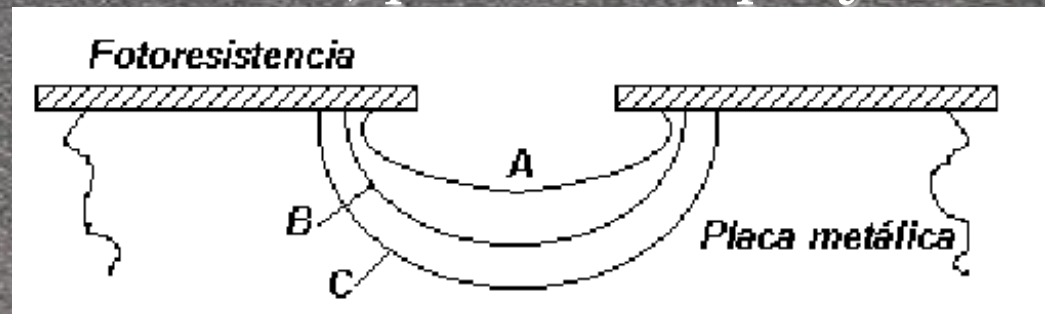
B) El tiempo de exposición: Si el tiempo de exposición es excesivo, la luz sensibiliza las capas superficiales de la película, en las zonas expuestas, la luz sensibiliza la película hasta llegar en forma casi ortogonal a la superficie del metal base, y to seguira haciendo hasta velar toda la película.



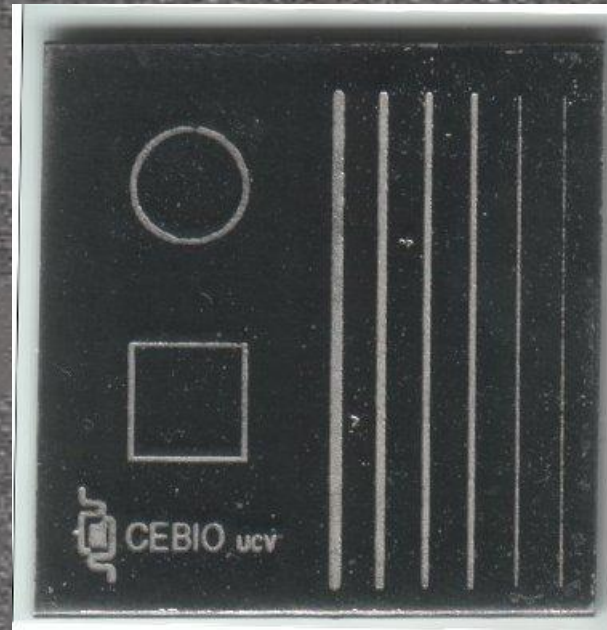
Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



Grabado
El ácido produce un socavamiento interno que avanza en todas direcciones. El ácido penetra en metal, el grabado resultante se incrementa internamente por debajo de la película expuesta. El ataque debe realizarse por simple inmersión, con agitación mecánica, por aire o spray.



Grabado Fotoquímico (Descripción del proceso)



Metodología

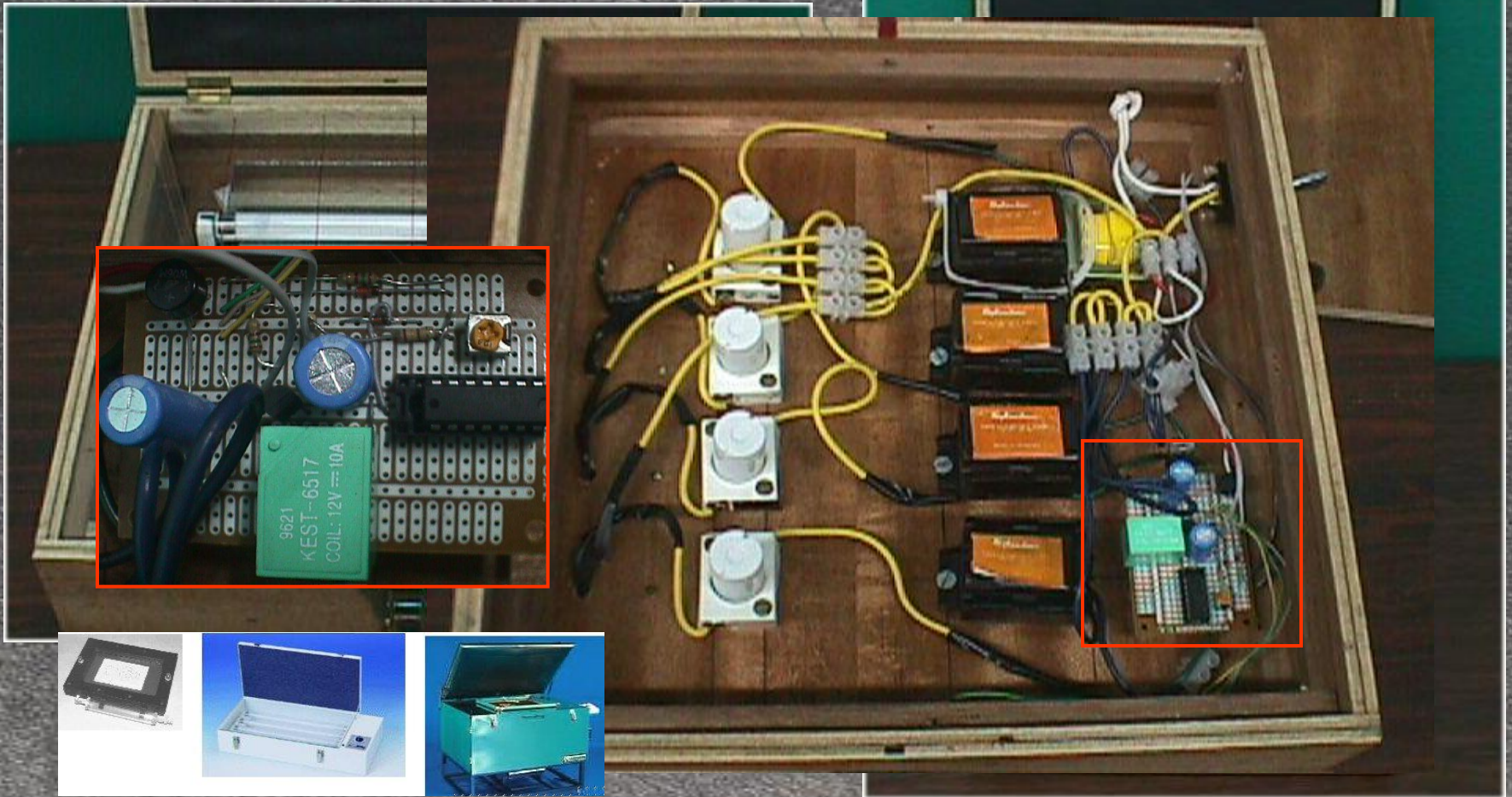
- Equipos utilizados
Horno secador



Metodología

- Equipos utilizados

Cámara de exposición



• Sustancias utilizadas



- **Desgrasante:** Solución acuosa de H_2SO_4 (10% v/v)
- **Decapado:** Solución acuosa HNO_3 (40% v/v) + HCl (4% v/v)
- **Pasivado:** Solución acuosa HNO_3 (20% v/v).
- **Ataque:** Solución acuosa de FeCl_3 23°Bé (1.25 g/cm^3) + HNO_3 (2% v/v)
- **Fotoresistencia:** KPR DYE BLUE
Alphamets Sensibilizador y Revelador para fotograbado en metal.

• Probeta-Fotoherramienta

Zona de resolución



Zona de distorsión

Placa Láminas de acetato 316L

• Procedimiento experimental

Parámetros generales de trabajo

Aplicación de la fotorresistencia

- ✓ Pintado

Secado de la película fotosensitiva

- ✓ Temperatura de secado: 45°C
- ✓ Tiempo de secado: 25 min

Exposición

- ✓ Intensidad de la exposición: 12000 lux promedio.
- ✓ Distancia de exposición: 3cm.

Ataque (Grabado)

- ✓ Agitación: 180 R.P.M.
- ✓ Temperatura de ataque: 55°C

Preparación de las probetas

- **Grupo 1** (14 probetas): Se aplicó Sand Blasting hasta obtener una $Ra=1.64\mu\text{m}$.

- **Grupo 2** (14 probetas): Desbastadas con papeles abrasivos hasta una $Ra = 0.05\mu\text{m}$.

- **Grupo 3** (14 probetas): Pulidas con papeles abrasivos hasta una $Ra = 0.02\mu\text{m}$.

- **A cada una de las 42 probetas se le sometió a los siguientes tratamientos:**

 - Desgrasado: 5min, 55°C .

 - Decapado: 5min, 55°C .

 - Pasivado: 5min, Temperatura ambiente.

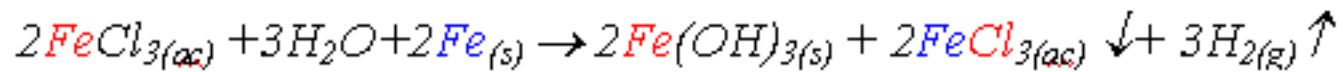
Luego de cada uno de los pasos se sumergen en agua (40°C).

Determinación del tiempo óptimo de exposición

- Se tomaron cinco placas tratadas de cada Grupo, recubiertas con emulsión fotosensitiva y secadas en el horno.
- Se realizaron varios ensayos con la fuente luminosa, exponiendo cada grupo, en una serie de tiempos muy próximos y a intervalos de 30seg. (EI, 30, 60, 90 y 120seg).
- La aplicación de la emulsión y el revelado se realizó dentro de un recinto aislado a la luz externa para evitar el velado de la emulsión fotosensitiva.

Determinación del tiempo de ataque

- Una vez determinado el tiempo óptimo de exposición para cada Grupo se tomaron tres probetas de cada grupo y se sometieron al ataque a 10, 15 y 20 minutos.



- Luego se procedió a la limpieza de las probetas con solventes orgánicos y detergente.
- Se realizó la inspección visual y se fotografiaron los caracteres grabados usando un microscópio óptico (50X).

Análisis de resultados

Pruebas de exposición

• **Grupo 3 (Ra = 0.63 μm) 905 segs** Es la sexta prueba de exposición de los resultados de los resultados de la sexta prueba de exposición.

✓ El tiempo de exposición es suficiente para la superficie de este grupo de la película. En la película de este grupo de la película es mayor que el tiempo de exposición de la película de este grupo de la película. Es difícil tratar en sujeción si se utiliza la película.

✓ La película fotosensitiva es tan irregular como la superficie, esto hace que las partes delgadas de la película se sensibilicen más rápido que las gruesas. Estas últimas determinan el tiempo de exposición de toda la superficie.

Pruebas de ataque

Resultados de las probetas del Grupo 1.



10 minutos



15 minutos



20 minutos

Las superficies mate o muy rugosas no son recomendables para este proceso.

Análisis de los resultados (Pruebas de ataque)

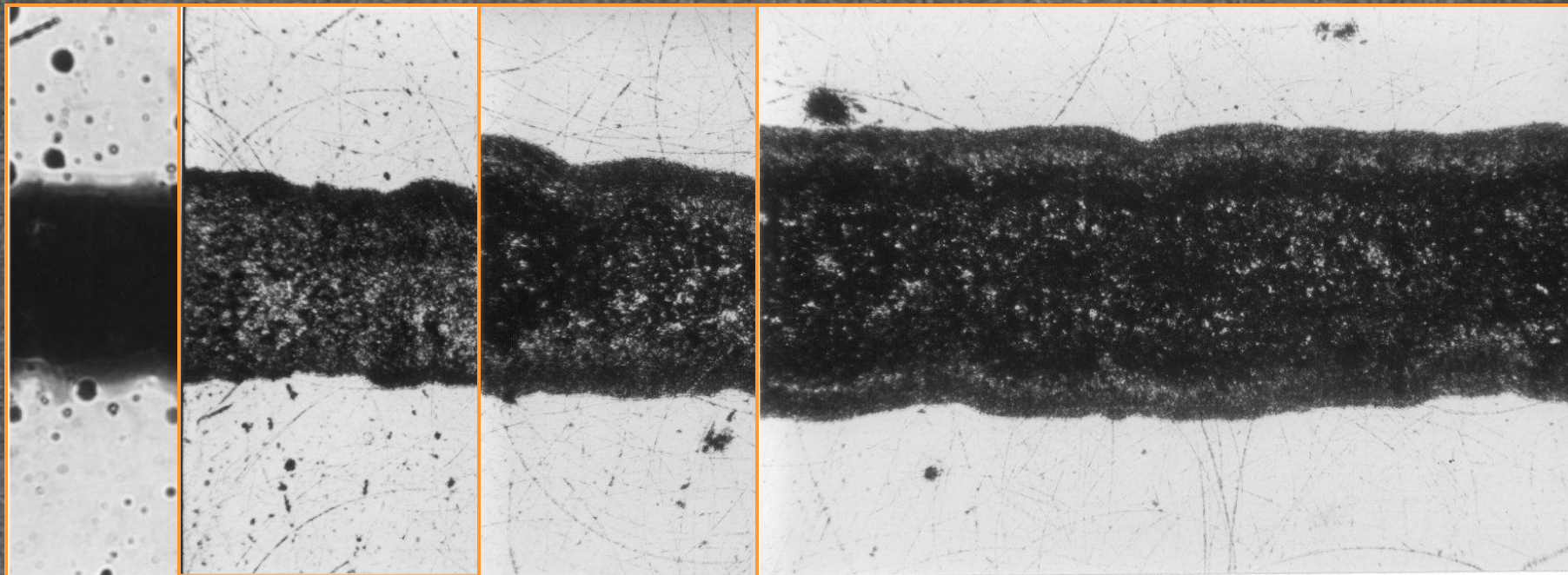
La distorsión es la diferencia porcentual entre la medida del grosor promedio de la línea grabada y la medida real de la línea en la fotoherramienta

$$\textit{Distorsión} = 100 \frac{\text{Medida obtenida} - \text{Medida fotoherramienta}}{\text{Medida fotoherramienta}}$$

La diferencia porcentual se define como variación del grosor promedio de la línea grabada entre dos tiempos consecutivos de ataque

$$\textit{Diferencia} = 100 \frac{\text{Medida } T_1 - \text{Medida } T_0}{\text{Medida } T_0}$$

Análisis de los resultados (Pruebas de ataque)

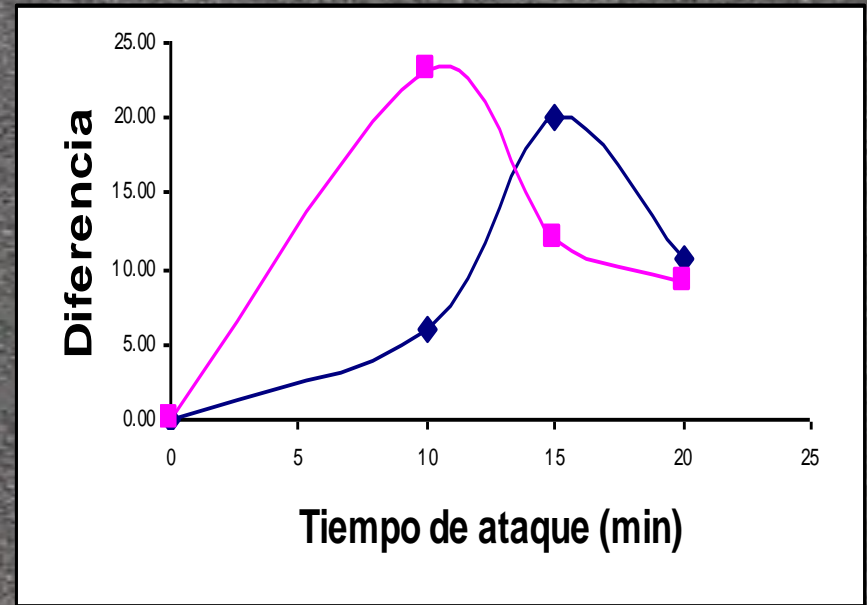
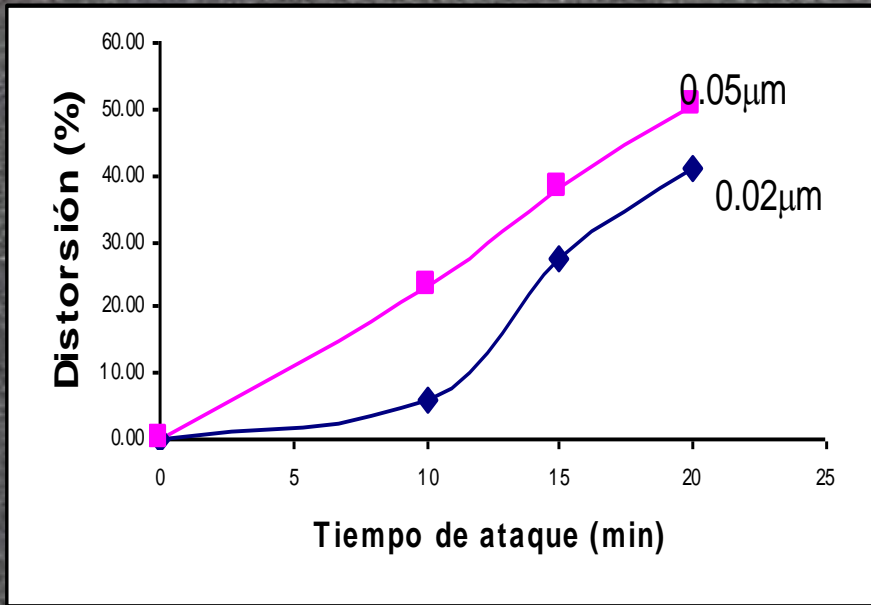


10 minutos

15 minutos

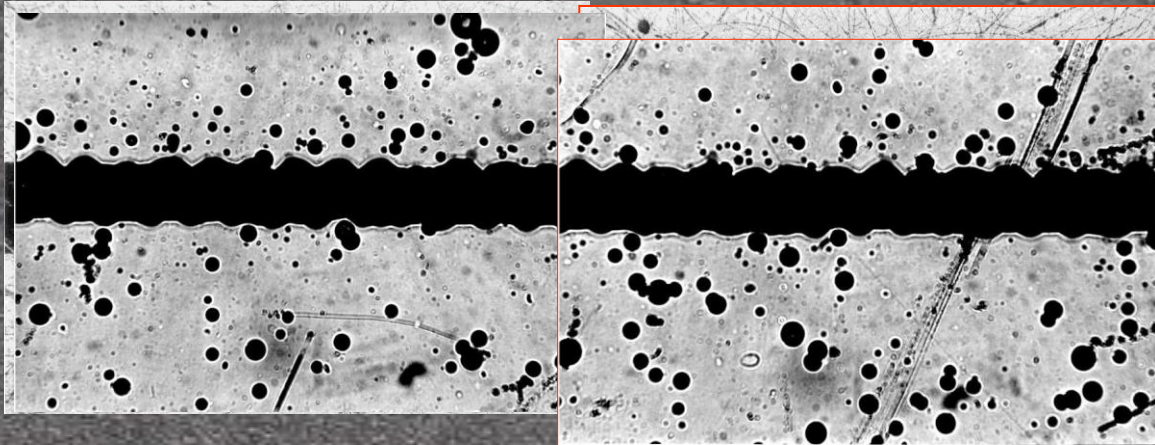
20 minutos

Análisis de los resultados (Pruebas de ataque)



Las probetas del Grupo 2 cuya rugosidad es mayor ($0.05\mu\text{m}$) presentan un ataque más agresivo que en las probetas del Grupo 3 de rugosidad menor ($0.02\mu\text{m}$). A medida que disminuye el tiempo de ataque la anchura de los caracteres crece pero no a la misma velocidad, tal como lo comprueban las gráficas de diferencia.

Para trabajos de precisión no es recomendable usar impresoras de inyección de tinta



Las líneas 1 y 2, que debían medir 0.1 y 0.2mm, resultan

- Al revisar la fotoherramienta las líneas miden 0.25mm.
ser exactamente iguales

- Las impresoras imprimen en grosores multiples a 1/100”

CONCLUSIONES

- Para grabar caracteres en acero inoxidable A316L se deben seguir los siguientes parámetros:
- Se diseñó e instaló un sistema para realizar fotograbado en metal, con la finalidad de obtener los caracteres para grabar caracteres. Tiempo de exposición: 30 segundos; intensidad luminosa: 1200 Lux; tiempo de ataque: < 10 min.
- Líquido de ataque: FeCl_3 (23° Bé) + HNO_3 (1% v/v)
- Ataque: 55°C con agitación

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de fotografías a alta resolución a través de un sistema de adquisición de imágenes mediante el uso de métodos fotográficos, ya sea a través de una cámara digital o de un sistema de adquisición de imágenes por computadora (DVI) para garantizar la uniformidad de la iluminación en toda la superficie de exposición química, para obtener piezas de alta precisión.



GRACIAS...