

UNIVERSIDAD ANAHUAC
ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO

**CROMADO DURO EN PUNZONES Y MATRICES
UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FABRICACION
DE TRANSFORMADORES ELECTRICOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO
ELECTRICO**

PRESENTA

Mateo García Vázquez

MEXICO, D.F. 1991

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

881217
3
201



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Objetivo.
Justificación.
Alcance.

CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1 Marco de referencia.
2.2 Propiedades del cromo duro.
2.3 Desventajas del cromo duro.
2.4 Aplicaciones industriales

CAPITULO 3

DESCRIPCION DEL PROCESO

3.1 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un transformador eléctrico.
3.2 Diagrama de flujo del proceso de cromado duro.

CAPITULO 4

PUNZONES Y MATRICES

4.1 Fabricación de punzones y matrices
4.2 Equipo para el proceso de cromado duro.
4.3 Fallas posibles en punzones y matrices.

CAPITULO 5 CROMADO DE PUNZONES Y MATRICES

- 5.1 Capacidad de producción
- 5.2 Equipo para el proceso de cromado duro.
- 5.3 Composición de baños de cromo duro
(cromado de punzones y matrices)

CAPITULO 6 CONTROL DE CALIDAD

- 6.1 Medida y control de espesores.
- 6.2 Medida y control de dureza.
- 6.3 Medida y control de adherencia.
- 6.4 Medida y control de desgaste.
- 6.5 Pruebas con la herramienta cromada.

CAPITULO 7 ANALISIS DE COSTOS

- 7.1 Costo del proceso.
- 7.2 Costo del cromado.

CAPITULO 8 CONCLUSIONES

ANEXOS

- Anexo I : Índice de figuras.
- Anexo II: Índice de tablas.
- Anexo III: Programa para el cálculo de tolerancias.
- Anexo IV: Comparación de la dureza del cromo duro.
- Anexo V: Consumo de ácido crómico.
- Anexo VI: Tabla comparativa de aceros.
- Anexo VII: Estudio de amortización del equipo.

BIBLIOGRAFIA

OBJETIVO

El trabajo que a continuación se presenta tiene como principal objetivo el desarrollo de una técnica para la aplicación de recubrimiento de cromo duro sobre punzones y matrices utilizados para el troquelado de placas en el proceso de fabricación de los transformadores eléctricos.

Se pretende que las herramientas adquieran una mayor dureza superficial y mejor resistencia al desgaste, logrando de esta manera aumentar su vida útil, reduciendo los costos originados por el excesivo consumo de las herramientas.

Desde el punto de vista costo - beneficio, se procederá a comparar los punzones cromados contra aquellos que normalmente se utilizan sin cromar, esto es con el fin de determinar de una manera práctica la conveniencia de este tipo de procesos dentro de la industria.

JUSTIFICACION

Debido a la necesidad de un mejor aprovechamiento de las herramientas para la fabricación de los transformadores eléctricos, se ha pensado en recubrir las con una película de cromo duro para reducir su consumo durante el proceso.

Con este trabajo se dará una visión mas amplia del gran número de beneficios que se pueden obtener en la industria al utilizar este tipo de procesos.

Por lo general este tipo de punzones tiene una duración promedio de 2000 a 3500 golpes, lo que representa una fuerte inversión en herramientas, la cual además de afectar el acabado de las piezas se refleja directamente en el costo del producto terminado.

El área de troquelado es la que utiliza este tipo de piezas por lo cual representa las condiciones mas críticas dentro del proceso donde se registra el mayor consumo de herramientas, por tal motivo se toma como base esta área específica en donde se pueden obtener resultados a corto plazo.

ALCANCE

Uno de los alcances que se plantea en este trabajo es el de promover dentro de la industria en especial la Metal-Mecánica la utilización de este tipo de procesos para reducir al máximo el excesivo consumo de herramientas y que en un futuro se puedan desarrollar otras aplicaciones.

Esta tesis cubrirá en forma concreta la aplicación del cromado duro sobre punzones y matrices sin considerar ningún otro tipo de herramientas.

Se realizará un análisis de costos para darle una mayor solidez a los objetivos del trabajo y comprobar su efectividad tomando en consideración tanto el proceso como el producto terminado. El trabajo se considera como una aplicación práctica de la Ingeniería, debido a que propone una posible solución para los problemas de la industria en general, lo cual es una de las principales metas del Ingeniero.



Capítulo 2

2.1 MARCO DE REFERENCIA

Durante años ha habido una revolución en la industria de cromo duro, el rápido aumento en su aplicación a gran escala, principalmente en la industria automotriz ha conducido a la utilización de diversos métodos para controlar los procesos y productos.

Esta necesidad ha sido subsanada a través de investigaciones efectuadas en laboratorios. Durante los años 40's importantes informes se lograron obtener y en base a esto se realizó el trabajo que a continuación se presenta.

Es difícil incluir en este texto de moderada extensión todas las aplicaciones posibles del proceso de cromado duro, por lo cual se contempla un caso particular, mismo que se explica en detalle.

2.2 PROPIEDADES DEL CROMO DURO

Propiedades Físicas: Al hablar de propiedades físicas de una sustancia o material se puede pensar en infinidad de ellas, mas por tratarse de una tesis aplicable al campo Metal-Mecánico se tomarán en cuenta únicamente las mas representativas, las cuales son:

- a) Dureza
- b) Ductilidad
- c) Resistencia a la corrosión
- d) Resistencia al desgaste

a) Dureza:

Es costumbre decir que para que una superficie resista al desgaste es necesario que ésta sea dura; sin embargo, no siempre la superficie mas dura es la que tiene mayor resistencia al desgaste.

La dureza del metal viene referida en base a diferentes métodos como lo son el Rockwell, el Brinell y el Vickers, siendo el primero el mas adecuado para el proceso de cromo duro.

La medida de la dureza de varios metales tratados galvanicamente se presentan condensados en la tabla del anexo IV, (estas se basan en los trabajos realizados por Mc Maughtan y Hothersall). Cabe mencionar que todos los métodos utilizados para medir la dureza de los recubrimientos de pared delgada se ven influenciados por la dureza del metal base. La dureza máxima con que suelen quedar las herramientas después de un templado es de 62 a 65 Rc; esto considerando a un acero rápido y la menor dureza que suelen tener las herramientas es de 28 a 30 Rc.

b) Ductilidad:

La ductilidad es una propiedad que permite al material ser doblado, estirado, ensanchado, formado o permanentemente distorcionado sin llegar al punto de ruptura. Un material que tiene alta ductilidad, no se considera ni duro ni quebradizo. Debido a las características del cromo duro se puede

considerar menor del 1% de la longitud total del recubrimiento, esto es considerado de esta forma porque sería un problema tratar de establecer un patrón efectivo y práctico para cada tipo de herramienta, por lo que se toma como válida la anterior consideración.

c) Resistencia a la corrosión:

Esta es una propiedad muy importante debido a que permite una gran repulsión a la suciedad y grasa, pues no deja que se adhieran agentes extraños durante el proceso.

El cromo duro tiene la ventaja de resistir un gran número de agentes corrosivos, pero nunca se debe desechar la consideración que esto depende de la existencia de grietas o poros, porque en caso de aparecer estos durante el recubrimiento puede resultar contraproducente debido a que el cromo es anódico a ciertos metales lo cual provoca una aceleración en la oxidación en el mismo metal base.

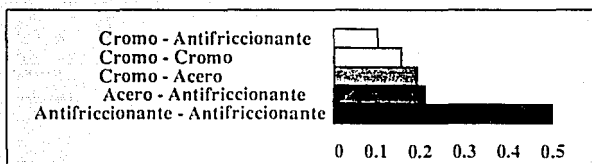
d) Resistencia al desgaste:

Los revestimientos del cromo duro son utilizados no solo donde se requiera una dureza superficial, sino donde se tiene que procurar también que las herramientas conserven sus dimensiones originales por el mayor tiempo posible.

La gran resistencia de estos depósitos reside probablemente en su estructura alcanzada durante los recubrimientos.

Sistemáticas investigaciones han dado por resultado que la resistencia al desgaste aumenta con la dureza del metal base, esto quiere decir que se debe tomar en cuenta el tipo de material sobre el cual se va a depositar el cromo.

El rozamiento sobre la superficie es mínima sobre las superficies cromadas si esto se compara con la fricción de un sólido contra otro sólido sin cromar. Para darse cuenta de lo anterior se muestra en la gráfica 2.1 el coeficiente de rozamiento por medio de un diagrama de barras.



Gráfica 2.1 Coeficiente de rozamiento estático.

Propiedades Químicas: Dado a sus características podemos decir que el cromo duro resiste a casi todos los agentes químicos. A continuación se presenta una tabla basada en los estudios efectuados por el Instituto Electro-Químico de Barcelona en donde se enumeran las principales propiedades químicas del cromo duro.

Número Atómico	24
Peso Atómico	52.01
Densidad (gr/cm ³)	7
Peso Especifico	6.9-7.1
Fusión (°C)	1900
Ebullición (°C)	2200
Resistividad Eléctrica (MΩ/cm ²)	40
Conductividad Térmica (cal/cm ²)	0.165

Tabla 2.1 Propiedades químicas generales del cromo duro.

2.3 DESVENTAJAS DEL CROMO DURO

Al igual que sus ventajas, el cromo duro tiene una serie de desventajas que pueden llegar a presentarse durante el trabajo de la pieza cromada, entre las cuales se encuentran:

- a) Ataque de halógenos
- b) Velocidad de trabajo
- c) Maquinado
- d) Fisuras de contracción

a) Ataque de halógenos:

El cromado es fuertemente atacado por halógenos como el Fluor (F_2), Cloro (Cl_2), Bromo (Br_2) y el Yodo (I_2). Esto se debe de considerar al momento de utilizar la herramienta cromada cuidando que el área no sea afectada por este tipo de elementos.

b) Velocidad de trabajo:

Cuando las velocidades de trabajo son muy altas y las cargas de trabajo sobre la superficie son elevadas, no se recomienda el cromo duro debido a que su rozamiento sería muy grande, de la misma manera no se recomienda aplicar sobre aleaciones ligeras (latón, zinc, aluminio, etc.) debido a lo anterior.

Cabe aclarar que al depositar el cromo duro sobre una superficie no cambian las características del metal base, sino que se proporciona una dureza superficial.

c) Maquinado:

Por lo general una pieza cromada es muy difícil de maquinar, debido a la dureza del mismo. En caso de maquinar se utilizan buriles de carburo para lograr una penetración efectiva.

d) Temperatura de trabajo:

Cuando se alcanza una temperatura muy elevada la dureza tiende a disminuir. La dureza se mantiene constante hasta los 400 a 500 °C, sobrepasando la temperatura de 630 °C, la dureza tiende a disminuir.

La disminución anterior se puede observar en la tabla 2.2 en donde las cantidades que se presentan son un promedio de las que realmente se obtienen.

Dureza Vickers (V)	1000-600
Dureza Brinell (B)	750-550
Dureza Rockwell (RC)	70-75

Tabla 2.2 Disminución de la dureza debido al cambio de temperatura.

e) Fisuras por contracción:

Las fisuras aparecen en todos los recubrimientos de cromo duro, por lo general son muy finas y no se detectan a simple vista.

Como éstas no continúan a través de todo el espesor del recubrimiento, el poder protector de éste no disminuye.

2.4 APLICACIONES INDUSTRIALES

El cromado duro es aplicable en diversas ramas de la industria; a continuación se enlistan algunas de las áreas en donde se recurre a éste proceso. Cabe mencionar que estas son las mas representativas, lo cual no quiere decir que sean las únicas.

- Industria automotriz
- Industria del papel
- Industria textil
- Industria eléctrica
- Industria laminadora
- Industria tipográfica
- Industria de fotograbado
- Industria militar
- Industria naval
- Equipos neumáticos
- Equipos hidráulicos
- Equipos agrícolas
- Equipos mineros
- Instrumentos de precisión
- Equipos de corte y maquinado



Capítulo 3

3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION DE UN TRANSFORMADOR ELECTRICO

En este capítulo se describirá en forma general el proceso de construcción de un transformador eléctrico.

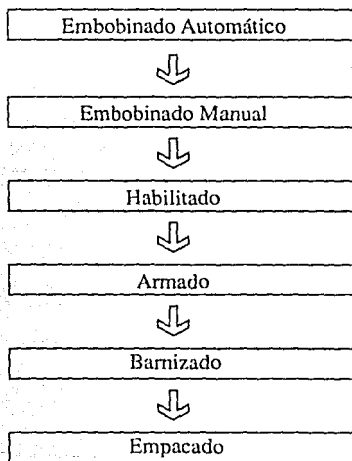


Diagrama 3.1 Proceso de fabricación de un transformador .
El anterior es un diagrama de flujo tipo utilizado por RTC (Bobinadores Unidos S.A.)

3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CROMADO DURO

Para conocer la forma de aplicación del cromo duro sobre una pieza es necesario considerar cada uno de los pasos que intervienen durante el proceso, por lo que a continuación se presenta el diagrama de flujo general del mismo.

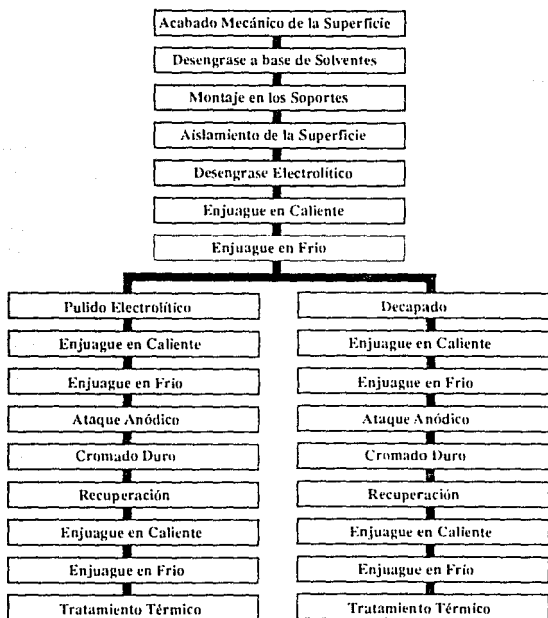


Diagrama 3.2 Proceso de cromado duro.

Brevemente se desarrollarán cada una de las etapas presentadas en el diagrama de flujo anterior, desde luego éste estudio se basa en las prácticas realizadas por Moirriset.¹

a) Acabado superficial:

Para asegurar un baño uniforme y que no se presenten irregularidades en la superficie es necesario que a las piezas a cromar se les aplique un rectificado superficial para obtener un mejor acabado. Para el caso específico de un baño de cromo duro se requiere un terminado con una rugosidad de 1 a 3 micras²

b) Desengrase por solventes:

El objetivo de esta operación es el de remover todas las impurezas y grasas que pudieran quedar en la pieza después del acabado superficial.

Por lo general se utiliza un solvente orgánico, como el tetracloruro de carbono o tricloretileno.

La temperatura de trabajo dependerá del grado de impureza que contenga la pieza, es decir, se puede aplicar tanto a temperatura ambiente como a la de evaporación (en caso extremo).

c) Montaje en los soportes:

El siguiente paso es montar las piezas en los bastidores especiales. Las piezas permanecerán montadas hasta finalizar la operación de cromado.

d) Aislamiento de las superficies:

Una vez montadas las piezas se procede a aislar las partes que no van a ser cromadas.

Para este proceso se utiliza por lo general algún tipo de polímero como el plastisol o polietileno para el caso de los soportes; para las piezas se recurre a barnices plásticos o celulósicos, como el cloruro de polivinilo.

1. G.Moirriset - International Minerals and Chemical Corp.

2. J. Blanco A. Tecnología Instrumental de Control

e) Desengrase electrolítico:

El siguiente paso es aplicarles un baño electrolítico, esto con el fin de desengrasar las piezas separando los residuos que pudieran haber quedado en la aplicación de los solventes.

Para este proceso se utiliza una concentración que puede variar dependiendo del material a cromar, esta proporción para el caso de los aceros es la que a continuación se muestra.

Carbonato de Sodio (Na_2CO_3)	30-45(gr/lt)
Fosfato Trisódico (Na_3PO_4)	15-30(gr/lt)
Sosa Caústica (NaOH)	7-15(gr/lt)

La temperatura de este baño es alrededor de 90°C , a una tensión de trabajo de 6 volts y una intensidad de corriente que varía de 3 a 5 amperes.

Esta operación dura de 3 a 5 minutos, dependiendo de la cantidad de grasa e impureza que presenten las piezas y la cantidad de las mismas.

f) Enjuague en caliente:

Debido a que se someten las piezas a diversos baños durante todo el proceso es necesario enjuagar las mismas para evitar que sustancias de una tina pasen y contaminen las otras, para esto se introducen las piezas a un tanque de agua que mantiene una temperatura de $55 - 60^\circ\text{C}$.

g) Enjuague en frío:

Por los mismos motivos del enjuague en caliente se introducen las piezas a una tina de agua con temperatura del medio ambiente.

Hasta el momento el procedimiento es el mismo durante todo el proceso; el siguiente paso tiene dos alternativas: el pulido electrolítico o el decapado; únicamente se recurre a una de los dos.

h) Pulido electrolítico:

El principal objetivo de esta operación es el de suprimir las posibles asperezas del material en la superficie, dándole cierto acabado.

La composición es como sigue:

Acido Fosfórico (H ₃ PO ₄)	875(gr/lt)
Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	700(gr/lt)
Anhídrido Crómico (CrO ₃)	90(gr/lt)

La temperatura de este baño fluctúa entre los 70 y 75 °C, con una tensión de 5 a 7 volts y con una intensidad de corriente de 60 a 70 A/dm².

i) Decapado:

En el caso de no aplicarse el pulido electrolítico se recurre al decapado.

Este es un proceso que tiene por objeto el disolver cualquier partícula de óxido que pudiera tener el material antes de cromarlo, la composición del baño es como sigue:

Anhídrido Crómico (CrO ₃)	220(gr/lt)
Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	2(gr/lt)

La temperatura del baño se establece entre 50 y 55 °C con una tensión de 6 volts y la intensidad de corriente oscila de 20 a 30 A/dm². El tiempo de operación para cualquiera de las dos opciones es de 1 a 3 minutos.

j) Ataque anódico:

La finalidad de este proceso es el de incrementar el poder de adherencia de las piezas a cromar, para esto se recurre a una composición idéntica a la del cromo duro pero se invierte la polaridad del baño.

El trabajo se realiza a la temperatura de 55 °C, con una tensión de 5 volts y la intensidad de corriente varía de 30 a 50 A/dm².

La duración de esta etapa es de 3 a 5 minutos.

k) Baño de cromo:

Esta es la operación mas importante del proceso, pues de ella dependen los resultados obtenidos.

Los baños se componen de la siguiente manera:

Anhídrido Crómico (CrO3)	150-400(gr/lt)
Acido Sulfúrico (H2SO4)	1.5-4.0(gr/lt)

Lo anterior quiere decir que entre el ácido sulfúrico (H2SO4) y el ácido crómico (CrO3), existe una relación de 1 a 100.

La tensión varía de acuerdo a la carga de trabajo y esta puede ser de 4 a 7 volts, la intensidad de corriente varía de 20 a 80 A/dm².

El tiempo de aplicación varía en base al espesor que se desee (ver cap. 5 de esta tesis).

l) Recuperación:

Al sacar las piezas de los baños de cromo duro éstas deben de ser sumergidas en un tanque de recuperación de agua limpia, esto con el fin de recuperar el ácido crómico que pudiera quedar en los soportes.

Después de los enjuagues correspondientes las piezas se pueden sumergir en una solución de bisulfito de sodio (NaHSO₃) al 20% mejorando con esto su apariencia. A continuación se dejan secar para posteriormente aplicarles un tratamiento térmico.

m) Tratamiento Térmico:

Este consiste en sumergir las piezas cromadas en un baño de aceite a una temperatura de 150 a 200 °C, durante dos horas.

Con lo anterior se eliminan los gases (oxígeno e hidrógeno) que hayan absorbido tanto las piezas como la película de cromo durante el cromado y el decapado, disminuyendo los posibles esfuerzos internos.



Capítulo 4

4.1 FABRICACION DE PUNZONES Y MATRICES.

SELECCION DE MAQUINADO:

Para la fabricación de los punzones y matrices utilizados en ésta tesis, se requieren herramientas y máquinas que los puedan producir de una manera precisa y en forma económica.

Dicha economía depende en gran medida de la selección apropiada del proceso de maquinado. Los factores considerados para esto son:

- A) Volumen de producción.
- B) Calidad del producto terminado.
- C) Ventajas y limitaciones de los equipos a utilizar.

Los métodos de fabricación se clasifican de acuerdo al proceso de manufactura, en éste caso particular se recurre al maquinado con desprendimiento de viruta.

Para obtener las dimensiones requeridas por el diseño de las piezas utilizadas en ésta tesis, se recurren a dos procesos que abarcan los siguientes puntos:

Fabricación de Punzones

A) Refrentado
B) Centrado
C) Barrenado
D) Cilindrado
E) Templado
F) Rectificado

Fabricación de Matrices

A) Refrentado
B) Centrado
C) Fresado
D) Cepillado
E) Templado
F) Rectificado

Una vez conocidos los anteriores procesos, brevemente se dará una explicación de cada uno, empezando por el de fabricación de los punzones y posteriormente con el de las matrices.

a) Refrentado:

Cuando una superficie plana requiere ser maquinada en torno, la operación es conocida como refrentado, en este caso la pieza es montada en un mandril, como se ilustra en la figura 4.1

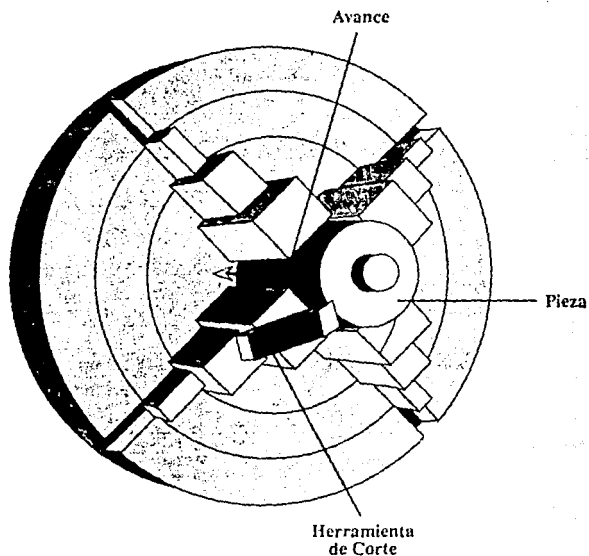


Figura 4.1 . Refrentado de un punzón o matriz.

b) Centrado:

Esta operación se realiza en un torno convencional y consiste en hacer coincidir el centro del eje teórico de la pieza con el eje central del torno, tal

y como se puede ver en la figura 4.2

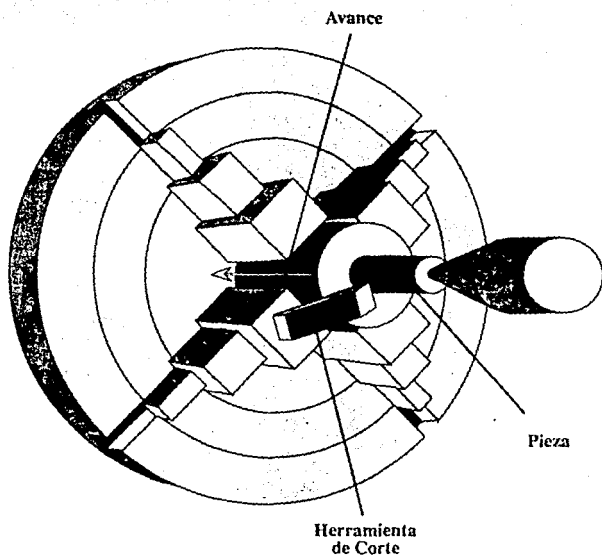


Figura 4.2 . Centrado de un punzón.

c) Barrenado:

Para llevar a cabo esta operación se recurre a una de las máquinas herramientas más simples, el taladro. La operación es sencilla y su objetivo es el de perforar la pieza forzando contra ella una broca que gira.

La velocidad de giro depende de las condiciones y características del material sobre el cual se trabaja.

d) Cilindrado:

Por medio de ésta operación, se le proporcionan las dimensiones generales a las piezas. Esto se logra por medio de un buril de corte recto, donde los ángulos de afilado dependen del material y la máquina que se utilice, ya sea torno o cepillo.

e) Templado y Revenido:

El templado se lleva a cabo precalentando la pieza a tratar, a una temperatura = de 700 °C, para más tarde alcanzar una temperatura de trabajo entre 800y 1000°C durante 2 a 4 horas (esto para el caso específico de ésta tesis, pues para un caso general varían las temperaturas de trabajo). El revenido viene a continuación del templado y consiste en un baño de aceite a una temperatura de 600 a 900 °C, durante 2 a 4 horas. Esta operación se efectúa con el fin de reducir los posibles esfuerzos internos que pudiesen adquirirse durante el templado.

f) Rectificado:

Por medio de éste proceso se le proporciona a las piezas las dimensiones preestablecidas en el diseño de las mismas.

En esta operación la presión utilizada para el desprendimiento de metal es mínima y dependiendo de la clase de material se determina el tipo de rectificadora más adecuada; en el caso de los punzones y matrices se recurre a una rectificadora cilíndrica.

Para el caso de las matrices se implementa el fresado y el cepillado, ésto para complementar las operaciones comunes mencionadas anteriormente.

Fresado:

En la máquina fresadora se lleva a cabo la producción de piezas por el control mecánico del desplazamiento de las mismas, y el movimiento de corte de una herramienta giratoria con múltiples aristas cortantes. En el caso de ésta tesis se utiliza una fresadora para la ranuración y refrentado de las matrices.

Cepillado:

Esta operación se efectúa para desprender material mediante el desplazamiento de la pieza en línea recta contra una herramienta de un solo filo. En éste caso se efectúan los cortes con un cepillo de codo, el cual se aplica para desbastar el centro de la matriz.

Desde luego todas las operaciones descritas en éste capítulo actúan a una velocidad de corte y giro específicas, las cuales se representan por medio de la siguiente ecuación, aplicable a las piezas utilizadas en esta tesis.

$$V_c = \pi D \times N / 1000 \dots\dots\dots (1)$$

donde: V_c = Velocidad de corte (mt/min)
 D = Diámetro (mm)
 N = Velocidad de rotación (RPM)

La velocidad de corte se expresa como la velocidad a la cual la pieza pasa por el cortador. El factor desconocido de la velocidad de corte es la velocidad de giro de la pieza (N), la cual depende del material que se trabaje, esto se puede definir de acuerdo a la tabla 4.1.

MATERIAL	PULIDO (A)	DESBASTE (B)
Aceros de corte libre (1112,1315)	75-100	25-45
Aceros al carbón (1010,1025)	70-90	25-40
Aceros medios (1030,1050)	60-85	20-40
Aceros al níquel (2330)	60-85	20-35
Cromo-Níquel (3210,5140)	45-60	15-25
Hierro gris blando	40-45	25-30
Latón	85-110	45-70
Aluminio	70-110	30-45
Plásticos	90-150	30-60

Profundidad de corte (A) de 0.38 a 2.39mm
 Profundidad de corte (B) de 4.75 a 9.53mm

Tabla 4.1 . Velocidades de corte típicas (mt/min).

Aplicando la ecuación # 1, y de acuerdo a la tabla anterior, para el caso específico de ésta tesis las velocidades de corte son las mismas por tratarse del mismo material, por lo cual, se tiene que la velocidad de corte es:

$$V_c = \pi (5.25 \times 90) / 1000$$

$$V_c = 1.40 \text{ mt/min.}$$

CORTADORES (PUNZON Y MATRIZ)

Las dimensiones de los útiles cortadores se calculan en función del perímetro de las piezas a cortar, la disposición del fleje, el sistema de amarre y las fuerzas que intervienen durante la operación de corte.³

En éste caso particular, por tratarse de piezas muy pequeñas (cuya dimensión máxima es de 600 mm y el espesor del fleje es de 3 a 5 mm), se pueden utilizar fórmulas simples que garantizan el correcto funcionamiento y vida útil esperada de las mismas, de acuerdo al diseño preestablecido.

Estas fórmulas se presentan en la tabla de especificaciones 4.3, aplicable tanto para los punzones como para las matrices. Es necesario considerar los esfuerzos desarrollados durante el corte, para lo cual se presentará un breve estudio sobre este tema .

Fuerzas que intervienen durante la operación de corte de una pieza.

Las principales fuerzas consideradas en todo sistema de corte son: la fuerza de corte, fuerza de extracción y la fuerza de expulsión.

La fuerza de corte (F) se representa por medio de la ecuación:

$$F = Kc \times p \times e \dots\dots\dots (2)$$

donde: F = Fuerza de corte (kg)

Kc = Carga de ruptura por cizallamiento (Kg/mm)

p = Perímetro a cortar (mm)

e = Espesor del fleje (mm)

Para conocer los valores de la carga de ruptura (Kc) se recurre a la tabla 4.2, la cual muestra dicho parámetro para diversos materiales.

3. Metrología geométrica dimensional (AGT Editor S.A.)

CARGA DE RUPTURA AL CIZALLAMIENTO			
MATERIAL	MATERIAL RECOCIDO (FRIO)	MATERIAL AGRIO (FRIO)	ACEROS EN CALIENTE (900°C)
Aluminio	9	16	-
Duraluminio	18	40	-
Cobre	20	30	-
Plomo	3	-	-
Latón	28	38	-
Acero Suave	33	45	15
Acero Semiduro	50	70	20
Acero Duro	70	90	28
Acero Inoxidable	50	56	20

Tabla 4.2 Valores de carga de ruptura por cizallamiento.

Como se mencionó con anterioridad aparte de esta fuerza es necesario prever la fuerza de extracción de la pieza, la cual se considera aproximadamente el 7 % del valor de la fuerza de corte del punzón y la fuerza de expulsión la cual representa normalmente un 1.5 % de la fuerza de corte.

Una vez conocidos lo anterior se procederá a definir la tabla de especificaciones dimensionales de los punzones y matrices, por medio de las ecuaciones que se representan en la tabla 4.3.

Las operaciones se desarrollarán en forma particular para este trabajo, pero es posible considerar aplicables dichas ecuaciones para otros casos, por lo cual se elaboró un programa en computadora capaz de definir dichas premisas, el cual se encuentra en el anexo III de este trabajo.

ECUACIONES

$$I_r = 95 \sqrt{d^3 / e} \times K_c \dots\dots\dots (3)$$

$$I_o = 95 \sqrt{bh^3 / (b+h)} \times e \times K_c \dots\dots\dots (4)$$

$$d_{min} = (K_c / 40) e \dots\dots\dots (5)$$

$$E_{mc} = 0.6 F > 8 \dots\dots\dots (6)$$

$$E_{pp} = 0.5 E_{mc} + 10 \dots\dots\dots (7)$$

$$E_{pm} = 0.8 E_{mc} + 8 \dots\dots\dots (8)$$

$$A = B + 2 A_t \dots\dots\dots (9)$$

$$L_{pp} = A + M \dots\dots\dots (10)$$

$$e_1 = 0.7 E_{mc} + 3 > 12 \dots\dots\dots (11)$$

$$e_2 = 2e + 3 \dots\dots\dots (12)$$

Tabla 4.3 Formulario aplicable al dimensionamiento de las herramientas de corte. (en la siguiente página se describe cada uno de los parámetros mencionados en ésta tabla)

DONDE:

- A = Ancho de la matriz de corte (mm).
- At = Ancho de travesaño > 20 mm
- e = Espesor de fleje (mm)
- e1 = Espesor de extractor (mm)
- e2 = Espesor de guía (mm)
- F = Fuerza de corte (Kg)
- Emc = Espesor de matriz de corte (mm)
- Epp = Espesor de placa porta punzón (mm)
- Epm = Espesor de placa porta matriz (mm)
- Ir = Longitud máxima admitida en el punzón redondo (mm)
- Io = Longitud máxima admitida en el punzón ovalado (mm)
- Kc = Carga de ruptura (Kg/mm)
- Lpp = Largo de placa porta matriz (mm)
- M = 40 mm si $A < 100$ mm
- M = 50 mm si $A > 100$ mm

En base a las ecuaciones de la tabla 4.3 se conformó la tabla 4.4, en la cual se muestran las dimensiones generales de los punzones y matrices aplicados en ésta tesis.

CONCEPTO	SIMBOLOGIA	PUNZON REDONDO (MM)	PUNZON OVALADO (MM)
LONGITUD NORMALIZADA DEL PUNZON	L	65	50
LONGITUD MAXIMA ADMISIBLE	I	78.85	65
DIAMETRO MINIMO DEL PUNZON	dMin.	5.25	5.25
ESPESOR DE PLACA PORTAPUNZON	Epp.	17	17
ESPESOR DE PLACA PORTA MATRIZ	Epm.	16.90	16.90
ESPESOR DE LA MATRIZ DE CORTE	Emc.	14	14
ESPESOR DE LA BRIDA	Eb.	16.25	14.12
ESPESOR DE PLACA DE APOYO	Ea.	3	3
ESPESOR DE EXTRACTOR GUIA	e	12.80	12.80
ESPESOR DE LAS GUIAS	e*	9	9
LARGO DE LA MATRIZ DE CORTE	C	63.63	63.63
LARGO DE PLACA PORTA MATRIZ	A*	100	100
LARGO DE LAS GUIAS	Lg	75	75
ANCHO DE LA MATRIZ DE CORTE	A	60	60
ANCHO DE PLACA PORTA MATRIZ	C*	63.60	63.60
ANCHO DE FLEJE	B	25	25
ANCHO APROXIMADO DE GUIAS	Ag	20	20
FUERZA DE CORTE	P	40	40

Tabla 4.4 . Dimensionamiento de los punzones y matrices utilizados en esta tesis.

A continuación se presentan una serie de dibujos en los cuales se detallan las dimensiones generales de los útiles cortadores, así como las de los punzones y matrices aplicables en ésta tesis.

La secuencia de los dibujos es como sigue:

- A) Piezas que conforman un útil cortador.
- B) Dimensiones de matrices redondas y ovaladas.
- C) Dimensiones de punzones redondos y ovalados.
- D) Placa porta punzón.
- E) Placa porta matriz.
- F) Placa de corte.

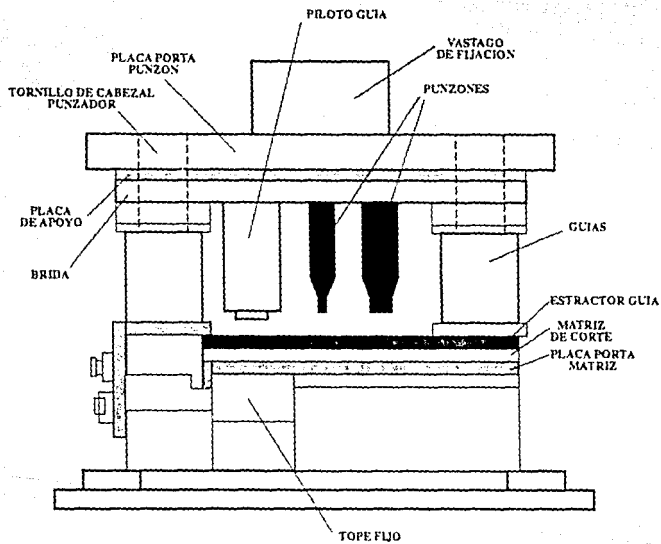
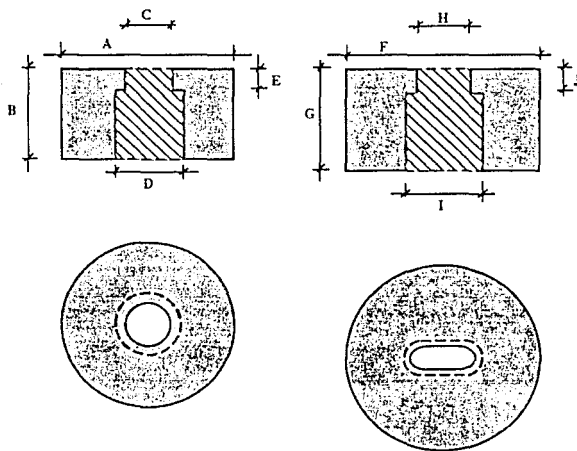


Figura 4.3 Piezas que conforman un Util Cortador.

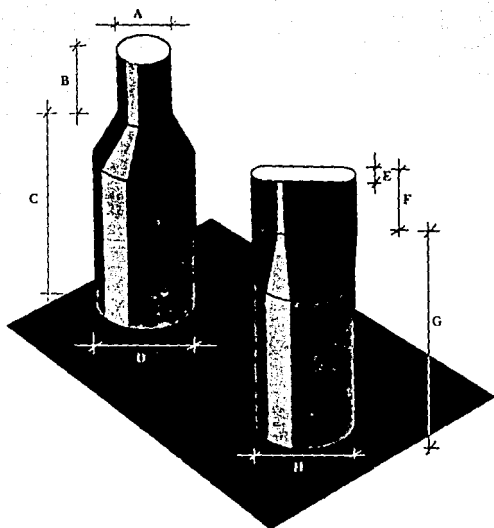


MATRIZ REDONDA

MATRIZ OVALADA

CONCEPTO	MM	TOLERANCIA
A	24.5	+/- 0.05
B	15.8	+/- 0.05
C	5.5	+/- 0.06
D	5.7	+/- 0.06
E	10.8	+/- 0.05
F	31.0	+/- 0.05
G	19.0	+/- 0.05
H	5.5	+/- 0.06
I	5.7	+/- 0.06
J	10.8	+/- 0.05

Figura 4.4 Dimensiones generales de las matrices utilizadas en esta tesis de acuerdo a los datos proporcionados por Bobinadores Unidos S.A. de C.V.

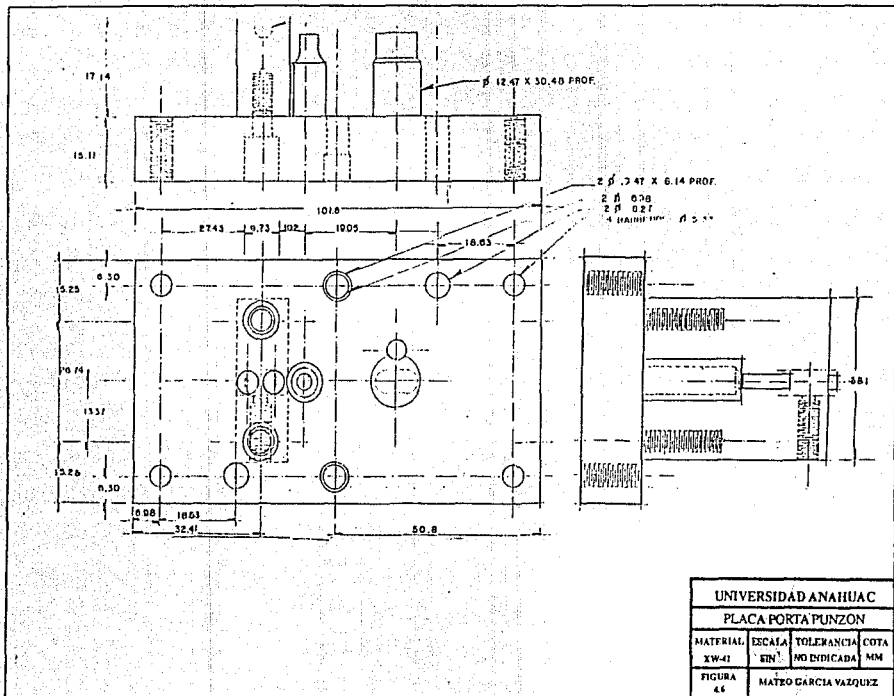


PUNZON REDONDO

PUNZON OVALADO

CONCEPTO	MM	TOLERANCIA
A	5.5	+/- 0.05
B	11.9	+/- 0.05
C	65.6	+/- 0.06
D	9.5	+/- 0.06
E	4.7	+/- 0.05
F	20.0	+/- 0.05
G	55.0	+/- 0.06
H	12.7	+/- 0.06

Figura 4.5 Dimensiones generales de los punzones utilizados en esta tesis de acuerdo a los datos proporcionados por Bobinadores Unidos S.A. de C.V.

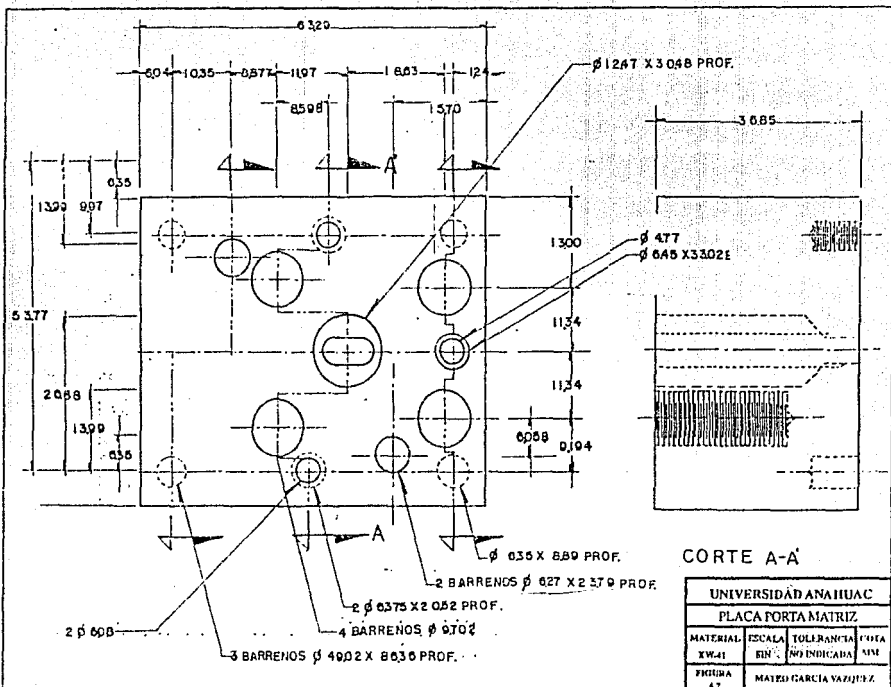


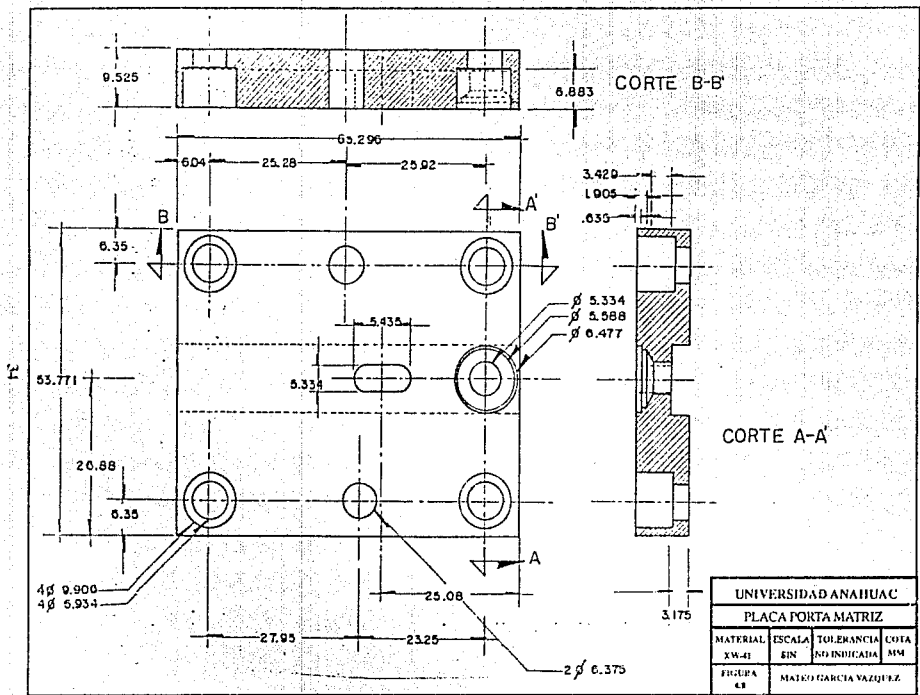
UNIVERSIDAD ANAHUAC

PLACA PORTA PUNZON

MATERIAL	ESCALA	TOLERANCIA	COTA
XW-41	SIN	NO INDICADA	MM
FIGURA	MATEO GARCIA VAZQUEZ		
46			

33





UNIVERSIDAD ANAHUAC			
PLACA FORTA MATRIZ			
MATERIAL	ESCALA	TOLENCIA	COTA
XW-41	1:1	NO INDICADA	MM
FIGURA	AUTOR		
41	MATEO GARCIA VAZQUEZ		

4.2 NATURALEZA DE LA HERRAMIENTA.

Para la fabricación de las herramientas que se manejan en este trabajo se utilizan dos tipos de acero, uno para los punzones y matrices y el otro para el fleje sobre el cual se trabaja.

Para el primer caso el acero especificado en el diseño de Bobinadores Unidos es el ASSAB - XW41, debido a que este tipo de aceros tiene la característica de presentar una menor deformación en comparación a otros y presentan una gran resistencia al desgaste, lo cual reduce el costo de materiales.⁴

Las características químicas del acero XW41 se presentan en la tabla 4.5 y las propiedades mecánicas del mismo se presentan en la tabla 4.6.

ELEMENTO	CONCENTRACION
CARBONO (C)	1.7
MANGANESO (Mn)	0.25
SILICIO (Si)	0.25
CROMO (Cr)	12.0
VANADIO (V)	0.80
MOLIBDENO (Mo)	0.80

Tabla 4.5 Propiedades químicas del acero XW41 (ASSAB).

4. Este acero puede ser sustituido por otro similar de otro fabricante, tal y como se muestra en las tablas del anexo VI.

OPERACION	RANGO
TEMPERATURA DE FORJA INICIAL (°C)	1105
TEMPERATURA DE FORJA FINAL (°C)	925
RECOCIDO (°C)	870/900
DUREZA (Rc)	60/64
RANGO DE REVENIDO (°C)	260/290
MEDIO DE TEMPLE	AIRE
TEMPLADO (°C)	994/1040

Tabla 4.6 Propiedades mecánicas del acero XW41 (ASSAB).

Por otra parte es importante conocer el tipo de material sobre el cual se va a trabajar (en este caso particular es el fleje que será troquelado). Para la fabricación de las placas para los transformadores eléctricos se utiliza un acero especial con un alto contenido de silicio, estos tipos de aceros aumentan la resistividad del material y reducen las posibles pérdidas magnéticas y fallas por el fenómeno de la histéresis.

Las pérdidas magnéticas de los aceros al alto silicio están dadas en función del espesor de las placas, tal y como se indica en la tabla 4.7.

La desventaja de este tipo de aceros es que son muy frágiles y de laminación complicada, con lo cual se dificulta también su maquinado. Normalmente el espesor de placa que se maneja en un transformador es de \approx 3 a 5 mm.

MATERIAL ESPESOR (mm)	PERDIDA DE WATT POR 0.07 gr		
	0-1.5	1.5-3	3-7
Chapa de acero 0.5% Si	1.30	1.55	2.50
Chapa de acero 1.0% Si	1.17	1.35	2.17
Chapa de acero 2.5% Si	1.01	1.14	1.30
Chapa de acero 3.5% Si	0.82	0.94	1.05
Chapa de acero 4.0% Si	0.72	0.83	0.94

Tabla 4.7 Pérdidas magnéticas en función del espesor.

4.3 FALLAS POSIBLES EN PUNZONES Y MATRICES.

Existen 6 factores que influyen en cierto modo en la vida útil de las herramientas, éstas son las más representativas, sin embargo, no son las únicas. A continuación se describirán brevemente:

- A) Fallas en el diseño mecánico.
- B) Fallas en el acero.
- C) Fallas por un maquinado deficiente.
- D) Fallas debido al tratamiento térmico.
- E) Fallas debidas a un mal rectificado.
- F) Fallas por factores mecánicos.

A) Fallas en el diseño mecánico.

Es de suma importancia considerar que una pieza mal diseñada puede provocar una reducción notable en la vida útil de la misma, sin poder cubrir el tiempo estimado de trabajo previsto por el usuario.

Los defectos más comunes de un mal diseño mecánico son dos: la fractura provocada en la pieza por una holgura excesiva entre las mismas y los cambios bruscos de dirección.

B) Fallas en el acero.

En los aceros de alta velocidad, y en los de alto contenido de carbono-cromo, se puede dar el caso de ser demasiado frágiles en el servicio, no importando el cuidado que se tenga en la fabricación e inspección del acero pueden llegar a presentar ese tipo de fallas.

Tomando en cuenta los estudios realizados por Latrobe Steel Co. se presentan por lo general tres fallas: poros, vetas y grietas internas.

C) Fallas por un maquinado deficiente.

En los procesos de maquinado que involucran cualquier operación de corte o formado en frío pueden presentarse dificultades, principalmente

fracturas, éstas por lo general son debidas a dos factores , el primero es por no seguir los detalles de los planos y por las operaciones forzadas de las mismas.

D) Fallas debido al tratamiento térmico.

Estas se presentan cuando el tratamiento térmico de las piezas no es el correcto, es decir, que no se cuida el proceso de templado, revenido, etc..

Las piezas pueden fallar cuando el austenizado se efectúa a temperaturas demasiado elevadas de acuerdo al acero a tratar, también sucede cuando las temperaturas de austenizado son bajas y no uniformes, cuando el temple (enfriamiento) se realiza rápidamente y cuando las piezas son retempladas sin recocerlas previamente.

E) Fallas por un mal rectificado.

El rectificado en una herramienta es una operación básica, pues de este proceso depende en gran medida el que las piezas actúen como se prevee en el diseño. El hecho de rectificar una pieza, entre otras cosas, es el de reducir o eliminar las cascarillas de las superficies descarburizadas y proporcionar las dimensiones deseadas.

Las fallas por un mal rectificado se deben principalmente a la dureza del material a tratar, efectuar la rectificación con la piedra tapada, por rectificar con un grano demasiado duro o por la remoción rápida del metal.

F) Fallas por factores mecánicos.

Existen un gran número de factores que intervienen en este tipo de fallas entre los cuales se encuentran la concentración excesiva de los esfuerzos, las fallas por la fatiga del material, la alimentación defectuosa de las herramientas de corte o del fleje, la sobrecarga accidental sobre las piezas, la existencia de cierto juego entre las piezas y la alimentación en una misma operación de una o más piezas.

Las anteriores son las principales causas mecánicas por las cuales pueden llegar a fallar las piezas.



Capítulo 5

5.1 CAPACIDAD DE PRODUCCION

Dentro de los objetivos , justificación y alcance de ésta tesis se propuso considerar un proceso que lograra un incremento en la vida útil de los punzones y matrices utilizados en el proceso de fabricación de placas de transformadores eléctricos, lo cual puede realizarse siempre y cuando se considere la cantidad de piezas a tratar.

De acuerdo a una serie de pruebas de las herramientas en cuestión, llevadas a cabo en RTC, se estableció como referencia la tabla 5.1.

PIEZAS	CANTIDAD MENSUAL	CANTIDAD ANUAL
Punzón redondo	600 piezas	7200 piezas
Punzón ovalado	1600 piezas	19200 piezas
Matríz redonda	100 piezas	1200 piezas
Matríz ovalada	150 piezas	1800 piezas

Tabla 5.1 Cantidad de piezas utilizadas en un año.

El hecho de trabajar con un tipo específico de herramientas (como es el caso de ésta tesis) representa una gran ventaja, pues simplifica el trabajo para conocer la capacidad productiva de una planta debido a que las características de los materiales son las mismas y su comportamiento durante el proceso es similar.

Las piezas escogidas para ésta tesis son las que representan el mayor costo global en la fabricación de las placas de los transformadores, debido a que son las que más se utilizan para este trabajo.

Con los datos de la tabla 5.1 se puede definir el alcance de éste trabajo y la capacidad de la planta tipo requerida.

5.2 EQUIPO PARA EL PROCESO DE CROMADO DURO.

Para éste tipo de procesos es difícil establecer una instalación en serie que pueda aplicarse a cualquier trabajo en forma general, por el contrario, cada equipo debe responder en lo posible a una serie de características iguales o similares.

La planta destinada al trabajo de cromado duro debe reunir las condiciones normales para toda clase de talleres galvánicos.

Conocidas las características de las piezas a cromar se procede a determinar el equipo necesario para el proceso de cromado duro.

A continuación se detallará el equipo básico de una planta piloto.

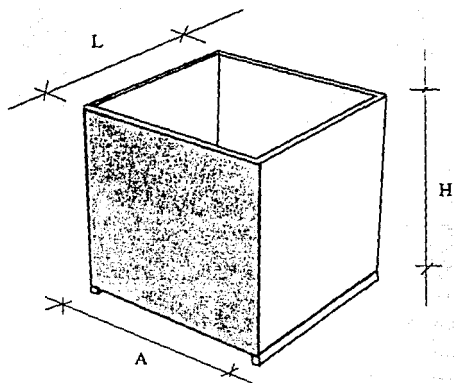
- a) Tinas de cromado.
- b) Tinas de enjuague.
- c) Tina para recuperación de material.
- d) Equipo de aspiración.
- e) Generador.
- f) Rectificador de corriente.
- g) Conductores.
- h) Reóstato.
- i) Anodo.
- j) Bastidores.

a) Tinas de cromado.

Estas son un elemento indispensable en todo proceso galvánico, la capacidad de las mismas depende de la producción y forma de las piezas.

En la figura 5.1 se muestra una tina de deposición cuyas dimensiones obedecen a la capacidad de producción definida en el capítulo 5.1. En dichas dimensiones se está considerando la disposición de los ánodos, la distribución de los termostatos y el tamaño del bastidor.

La tina es por lo general de acero recubierta por una capa termoplástica (por lo general polietileno), lo anterior para reducir el desgaste prematuro.



Tina para cromado duro

	mm	Tolerancia
Altura (H)	1050	+/-5
Largo (L)	1050	+/-5
Ancho (A)	900	+/-5

Figura 5.1 Dimensiones de la tina de cromado duro (caso particular para ésta teís, cota en mm).

b) Tinas de enjuague.

Las tinas de enjuague tienen las mismas dimensiones que las de cromado y difieren en que estas últimas son fabricadas con fibra de vidrio para reducir el costo del equipo.

c) Tinas para recuperación de material.

Estas tinas poseen las mismas características que las de cromado.

d) Equipo de aspiración.

El controlar los vapores desprendidos durante los baños de cromado es indispensable, debido a que la concentración máxima permisible de ácido crómico en la atmósfera es de 0.1 mg por metro cúbico de aire, siendo peligrosa para la salud una concentración mayor, por otro lado es importante puesto que estos gases pueden afectar al equipo existente.

El equipo de aspiración está compuesto por una campana extractora, un extractor de aire y ductos para su extracción.

En éste caso particular se recurre a una campana de extracción de acero inoxidable con las dimensiones que se muestran en la figura 5.2.

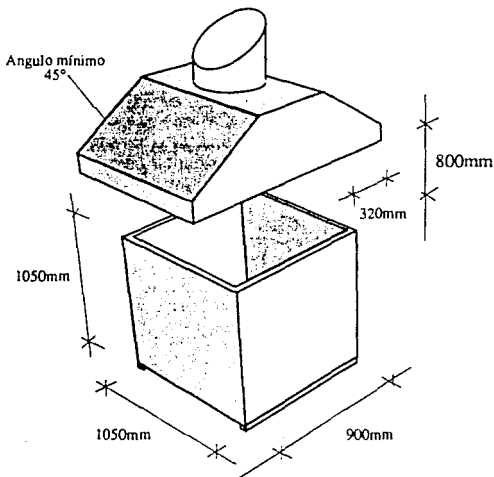


Figura 5.2 Dimensiones de la campana de extracción (caso particular de ésta tesis, cota en mm).

Lo que respecta al extractor de aire es necesario considerar el más conveniente de acuerdo a la corriente en el cuarto o área de trabajo, el grado de contaminación del aire y la cantidad de aire a remover.

Considerando lo anterior y en base a los estudios efectuados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists se opta por un extractor de 16 a 30 metros por minuto.

e) Generador.

En cualquier tipo de proceso es necesaria una fuente de poder que genere la tensión suficiente para los requerimientos de la planta.

En el proceso de cromado duro se considera un generador de bajo voltaje, esto en base a la cantidad de piezas a cromar y la capacidad total de la planta. Para una planta tipo aplicable a ésta tesis se requieren por lo menos 1000 amperes. con lo cual se asegura una producción continua.

f) Rectificador de corriente.

Debido a que la corriente se distribuye en las plantas, la mayoría de las veces, en forma de corriente alterna (CA), es necesario transformarla en corriente directa (CD) para cualquier tipo de proceso electrolítico.

La función de los rectificadores de corriente es de limitar una superficie a través de la cual pasa una corriente, de tal manera que esta actúa en una sola dirección con facilidad y con dificultad para cualquier otra. Al utilizar corriente directa se puede garantizar una uniformidad en el voltaje.

g) Conductor.

Cuando se manejan corrientes de 100 A o más, la medida de los conductores es un factor muy importante, debido a la resistencia de los mismos con lo cual se genera una pérdida en el potencial disponible.

Para obtener las pérdidas en dichos conductores se recurre a la siguiente ecuación:

$$P_c = I^2 \times R \dots\dots\dots (13)$$

donde:

- P_c = Pérdida en conductores (watt)
- I = Intensidad de corriente (Amp.)
- R = Resistencia (Ω)

Los conductores son por lo general de cobre y su medida depende de la longitud del cable y de la capacidad de corriente que circula por el. Las medidas recomendadas en los procesos electrolíticos es de 6.35 mm por cada 200 Amp.⁵

h) Reóstatos.

El reóstato es un elemento formado por un alambre de resistencia el cual permite mantener una temperatura constante en el baño durante todo el proceso. La resistencia efectiva de los reóstatos se puede definir como una caída de voltaje tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C_v = I \times R \dots\dots\dots (14)$$

donde:

- C_v = Caída de voltaje (Volt).
- I = Intensidad de corriente (Amp)
- R = Resistencia (Ω)

i) Anodo.

En el proceso de cromado duro el elemento vital del cual depende en gran parte una buena deposición es el ánodo.

Por lo general los ánodos varían dependiendo del tipo de la superficie a cromar, siendo el más común el de forma plana, esto con el fin de permitir un mejor flujo de corriente entre ellos y las piezas.

Para el proceso de cromo duro se utilizan ánodos de aleación de plomo al 6% de antimonio..

Las dimensiones de estos no deben sobrepasar los 50 mm de ancho y el

5. Manual de los usuarios de revestimientos de cromo duro.

largo depende de las piezas a cromar, respetando una relación mínima de 2:1.⁶

En base a lo anteriormente descrito, los ánodos utilizados en ésta tesis deberán ser no mayores a 40 mm de ancho y con 250 mm de longitud, tal y como se muestra en la figura 5.3.



Figura 5.3 Anodo para cromado duro (caso particular para esta tesis)

j) Bastidores.

En cuanto a la distribución y sujeción de las piezas se puede decir que de esta operación depende el 70 % de éxito. Entre las piezas debe existir una separación que permita el libre flujo de corriente, evitando que la corriente aplicada a una pieza no interfiera con la aplicada a otras piezas. Aunque no es una norma, en el caso de las pequeñas piezas, la separación entre ellas no debe ser menor al ancho de la pieza mayor a tratar.⁷

De acuerdo a lo anterior, la separación mínima entre los punzones no debe ser menor de 30mm (en promedio) y el espacio entre las matrices no deberá ser menor de 90 mm. En la figura 5.4 se muestra un bastidor tipo utilizado para la sujeción de los punzones y matrices utilizados para este

6. Trans. Journal Electrochem Soc. vol. 92 pág. 537,1947.

7. Monthly Rev. American Electroplaters Soc. vol.29,pág. 301,1942.

trabajo.

Por lo general se fabrican de cobre, latón o bronce, debido a que estos materiales son buenos conductores de corriente.

La longitud de las barras que sostienen a los sujetadores varían de acuerdo al tamaño de la tina., en éste caso se considera una tina especial con capacidad para la cantidad de piezas establecidas en el capítulo 5.1.

Cabe mencionar que no es recomendable cromar piezas de diferentes tamaños simultáneamente debido a que esto puede ocasionar que la corriente varíe y por lo tanto la deposición no sea uniforme en toda la tina.

En cuanto al sistema de sujeción, en las figuras 5.5 y 5.6 se muestran los tipos de sujeciones utilizados para este caso específico.

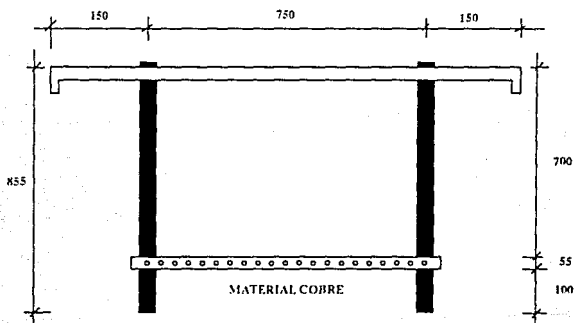


Figura 5.4 Bastidor tipo para punzones y matrices (caso particular de ésta tesis, cota en mm)

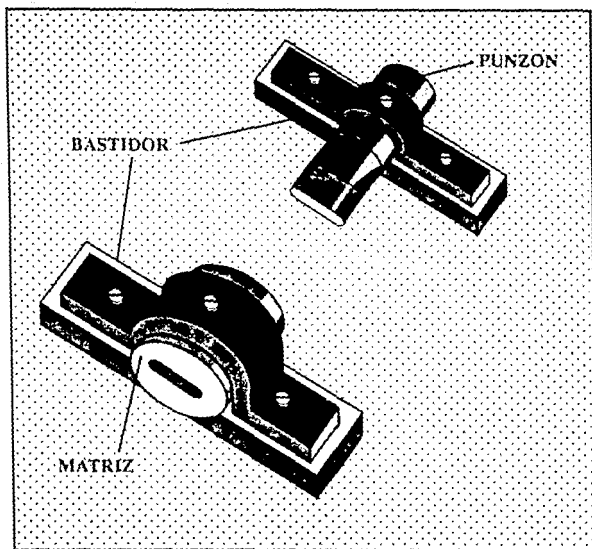


Figura 5.5 Sujeción de un punzón y matriz ovalada (tipo)

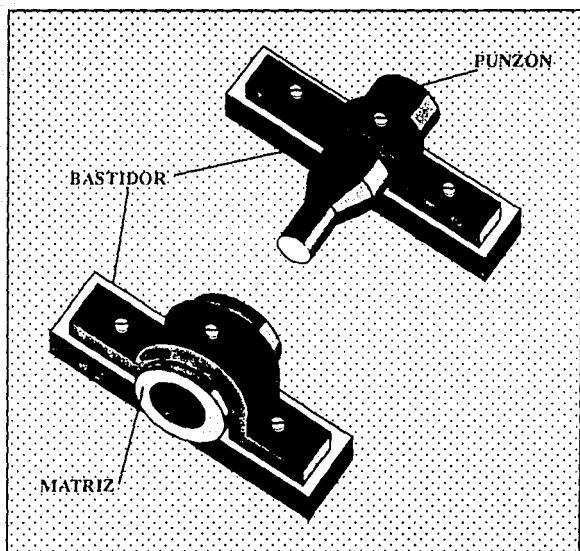


Figura 5.6 Sujeción de un punzón y matriz redonda (tipo)

Tomando en cuenta el equipo mencionado en éste capítulo se muestra a continuación un esquema de la distribución de una planta tipo de cromado duro.

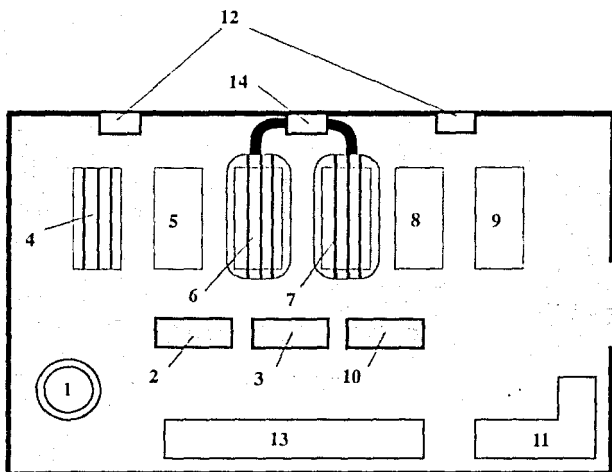


Figura 5.7 Planta tipo para cromado duro.

- 1) Tina de desengrase por solventes
- 2) Mesa de montajes
- 3) Tina de aislamiento
- 4) Desengrase electroлитico
- 5) Enjuague agua fría
- 6) Ataque anódico
- 7) Tina de cromado
- 8) Enjuague agua fría
- 9) Enjuague agua caliente
- 10) Tina de recuperación de soluciones
- 11) Mesa de control de calidad
- 12) Rectificador de corriente
- 13) Mesa de desmontaje
- 14) Desgasificador eléctrico

5.3 CROMADO DE PUNZONES Y MATRICES

En el cromado duro, con fines técnico-industriales, se atiende más que al brillo a la dureza y resistencia del depósito contra el desgaste. En éste tipo de baños se ha observado que no solo el ácido crómico y el ácido sulfúrico son los agentes reguladores del aspecto de los recubrimientos del cromo duro, se puede decir que es de mayor importancia el control de la temperatura, y la densidad de corriente del baño.

El baño de cromo duro está compuesto por una solución de 250 gr/lit de anhídrido crómico (CrO_3) y 2.5 gr/lit de ácido sulfúrico (SO_4) ó 250 gr/lit de anhídrido crómico (CrO_3), 1.5 gr/lit de ácido sulfúrico (SO_4) y 1 gr/lit de ácido fluorsilícico (HSiF).

El espesor de la capa de cromo duro es notablemente mayor a la del cromo decorativo, dicho espesor puede formarse de .001 a .5 mm.

Los baños de cromo duro están compuestos de una sal metálica y de un catalizador, el primer elemento del cual se separa el cromo es el anhídrido crómico, el cual no debe tener una riqueza menor de 99% y cuyo análisis de la cantidad correspondiente es aproximadamente la que se muestra a continuación:

ANHIDRIDO CROMICO	99.20%
SULFATOS	0.15%
HIERRO	0.13%
INSOLUBLES	0.12%
CROMO TRIVALENTE	0.15%
HUMEDAD	0.35%

Tabla 5.2 Análisis de calidad del anhídrido crómico.

El elemento que actúa como catalizador es el ácido sulfúrico.

VARIACIONES DE LOS ELEMENTOS DURANTE EL PROCESO.

Como el contenido de ácido sulfúrico y de otros ácidos extraños es esencial para la deposición del cromo, las cantidades deben permanecer uniformes para lograr buenos resultados. Al preparar el baño hay que considerar que el contenido en sulfúrico del ácido crómico para los productos comerciales es del 2%, el ácido sulfúrico necesario se añade en cantidades exactas para lograr una condición estable.

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS DE CROMADO.

Las propiedades físicas de los baños de cromo duro dependen íntimamente de las condiciones de funcionamiento, las cuales influyen directamente en el rendimiento electrolítico.

Si a temperatura constante la densidad aumenta el rendimiento electrolítico disminuye, variando con esto el aspecto del recubrimiento, si por el contrario la temperatura aumenta permaneciendo constante la densidad de corriente el rendimiento electrolítico aumenta.

Según lo anterior, para una determinada concentración existen unos límites muy próximos dentro de los cuales los recubrimientos de cromo duro alcanzan una mejor calidad (ver figura 5.8). Para obtener los mejores resultados se debe mantener constante la temperatura del baño por medio de un control automático con variación de 1°C.

El rendimiento electrolítico, según la temperatura y densidad de corriente, oscila entre 8 y 15%, la tensión entre 3.8 y 4.5 volts y la densidad de corriente entre 10 y 20 A/dm².

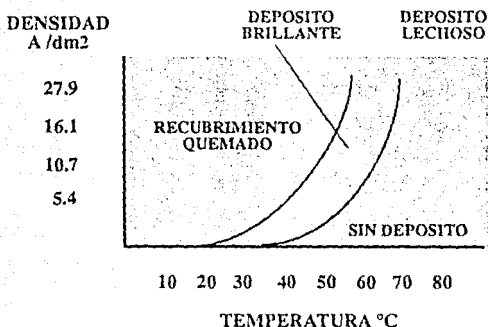


Figura 5.8 Amplitud de la escala de cromado en un baño típico.

Las características de funcionamiento más favorables para obtener en un corto tiempo un depósito de cromo duro es a una temperatura de 55 °C y una densidad de corriente de 40 a 60 A/dm².^e

De acuerdo a los espesores de los recubrimientos el tiempo de duración del depósito de los baños de cromo duro es de suma importancia, de ello depende en gran medida el rendimiento electrolytico de los mismos.

El contenido de anhídrido crómico durante la deposición es un factor muy importante para reducir o aumentar los límites de los recubrimientos útiles. Es posible obtener recubrimientos de cromo aceptables aún con una concentración de anhídrido crómico de solo 75 gr/l.

Una vez conocida la composición de los baños de cromo duro se procedera a describir la manera de obtener un buen depósito, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- El poder penetrante y de cubrimiento de los baños de cromo duro.
- El rendimiento electrolytico de los baños de cromo duro.
- La corriente y temperatura durante el proceso de cromado duro.

8. Bil Finger, Z. Metallkunde 2 - 27, 1948.

a) Poder penetrante y de cubrimiento de los baños de cromo duro.

El poder penetrante en este tipo de baños es muy pobre y está influenciado, entre otras cosas, por la concentración del ácido crómico, la densidad de corriente, la temperatura y el rendimiento electrolítico. Sobre el poder penetrante de los baños existe una investigación de H.L. Farber, de la cual se conoce que el poder penetrante aumenta a temperatura constante al incrementar la densidad de corriente y disminuye en el caso de mantener la densidad de corriente constante y al aumentar la temperatura.⁹

El poder de recubrimiento es la capacidad que tiene un baño de ser depositado en todos los puntos de la superficie de las piezas, independientemente del espesor de la capa. Los valores son paralelos al poder de penetración, estando influidos por la temperatura y la densidad de corriente. El poder penetrante es siempre negativo, oscilando entre el -15 y -100%.

A continuación se muestra una gráfica que involucra al poder de penetración con la concentración del ácido crómico de un baño.

PENETRACION %

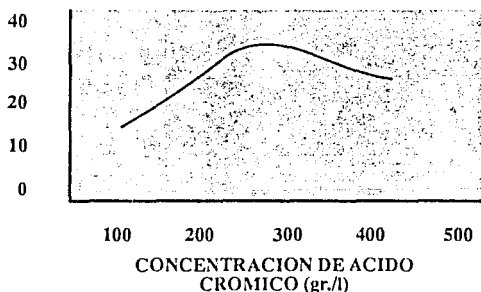


Figura 5.9. Influencia en la penetración del depósito de cromo con respecto a la cantidad de ácido crómico.

9. Cromogenia y química Curiente S.A. de C.V., Barcelona-España.

b) Rendimiento electrolítico.

El rendimiento electrolítico general es del 15 al 25% y tiene la característica de que depende un poco de la concentración de ácido crómico, pero si está muy ligado al contenido de ácidos extraños.

El rendimiento electrolítico decrece de modo continuo con la elevación de la temperatura y aumenta con la densidad de corriente. Si la concentración de ácido sulfúrico es incrementada, también aumenta hasta en un 1.2% pasada la cual vuelve a decaer lentamente.

Para conocer este rendimiento se puede recurrir a la gráfica de la figura 5.10, en la cual se relacionan la concentración de ácido crómico con el rendimiento catódico.

RENDIMIENTO CATODICO (%)

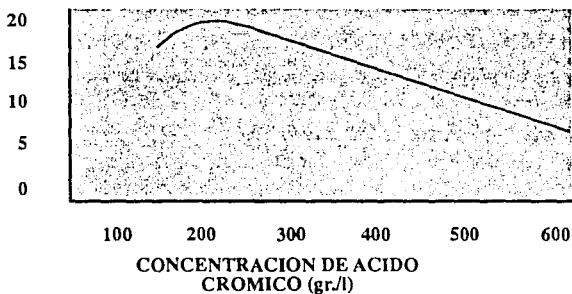


Figura 5.10 Rendimiento catódico en función del ácido crómico.

e) Corriente y temperatura durante el cromado duro.

De las cuatro condiciones principales para obtener buenos resultados durante un baño de cromo duro ya se ha hablado sobre los ácidos, pero existen otros dos parámetros de igual importancia los cuales son la corriente y la temperatura. Por medio de la tabla 5.3 se puede conocer el tiempo necesario para lograr un espesor deseado siempre y cuando se consideren la temperatura ideal y la densidad de corriente necesaria.

ESPOSOR (MICRONES)	TEMPERATURA DEL BAÑO (°C)											
	40			45			50			55		
	DENSIDAD DE CORRIENTE (A/dm ²)											
	24	24	30	40	30	40	46	62	30	40	46	62
	RENDIMIENTO DE CORRIENTE (%)											
19.90	16.60	18.00	18.80	16.80	17.90	18.80	20.10	16.40	17.00	17.50	19.10	
DURACION EN MINUTOS												
0.2	0.70	1.00	0.60	0.50	6.00	0.50	0.40	0.30	0.70	0.50	0.40	0.30
0.5	1.60	2.00	1.20	0.90	1.30	1.00	0.80	0.50	1.30	1.00	0.80	0.60
0.7	2.00	3.00	2.00	1.40	2.00	1.40	1.10	0.80	2.00	1.50	1.20	0.80
1.0	3.00	3.40	2.40	2.00	2.70	2.00	1.50	1.10	2.60	2.00	1.60	1.10
1.3	4.00	4.00	3.00	2.30	3.20	2.40	2.00	1.40	3.30	2.50	2.10	1.40
2.5	7.00	9.00	6.00	5.00	6.00	5.00	4.00	3.00	7.00	5.00	4.00	3.00
5.1	14.00	17.00	12.00	9.00	13.00	10.00	8.00	5.00	13.00	10.00	8.00	6.00
7.6	22.00	26.00	18.00	14.00	19.00	14.00	11.00	8.00	20.00	15.00	12.00	8.00
10.2	29.00	34.00	24.00	18.00	26.00	19.00	15.00	11.00	26.00	20.00	16.00	11.00
12.7	36.00	43.00	30.00	23.00	32.00	24.00	19.00	14.00	32.00	25.00	21.00	14.00
15.2	43.00	52.00	35.00	28.00	38.00	29.00	23.00	16.00	39.00	30.00	25.00	17.00
17.8	50.00	1.10	41.00	32.00	45.00	34.00	27.00	19.00	46.00	35.00	29.00	20.00
20.3	58.00	1.90	47.00	37.00	52.00	38.00	30.00	22.00	52.00	40.00	33.00	22.00
22.9	1.50	1.17	53.00	41.00	58.00	43.00	34.00	24.00	59.00	45.00	37.00	25.00
25.4	1.12	1.26	59.00	46.00	1.40	48.00	38.00	27.00	1.50	50.00	41.00	28.00
50.8	2.24	2.52	1.58	1.32	2.80	1.36	1.16	54.00	2.10	1.40	1.22	56.00
76.2	3.36	4.18	2.57	2.18	3.12	2.24	1.54	1.21	3.15	2.30	1.24	1.60
101.0	4.48	5.44	3.56	3.40	4.16	2.32	2.32	4.20	3.20	2.44	1.52	1.28
127.0	6.00	7.10	4.55	3.50	5.20	4.00	3.10	2.15	5.25	4.10	3.25	2.20
152.0	7.12	8.36	5.54	4.36	6.24	4.48	3.48	2.42	6.30	5.00	4.60	2.48
178.0	8.24	10.20	6.53	5.22	7.28	5.36	4.26	3.90	7.35	5.50	4.47	3.16
203.0	9.36	11.28	7.52	6.80	8.32	6.24	5.40	3.36	8.40	6.40	5.28	3.44
229.0	10.48	12.54	8.51	6.54	9.36	7.20	5.42	4.30	9.45	7.30	6.29	4.12
254.0	12.00	14.20	9.50	7.40	10.40	8.00	6.20	4.30	10.50	8.20	6.50	4.40

NOTA: LAS EXPRESIONES DEL TIPO 15 INDICAN HORAS Y MINUTOS; POR EJEMPLO, 15 SIGNIFICA UNA HORA Y CINCO MINUTOS.

Tabla 5.3 Relación entre la temperatura, densidad de corriente, espesor del depósito y el tiempo para la velocidad de deposición de cromo.

Existe una relación entre estos dos factores representada en la figura 5.11.

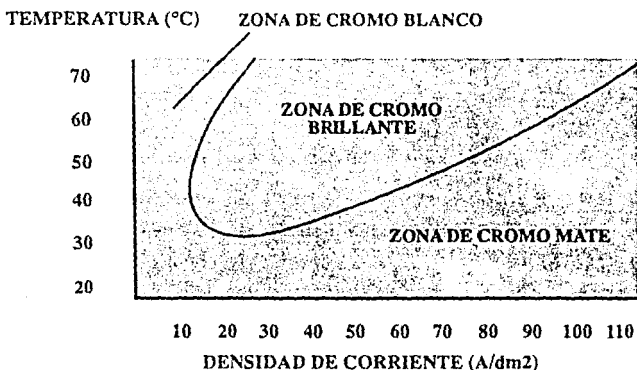


Figura 5.11. Relación entre la temperatura y la densidad de corriente del baño de cromo duro.

La intensidad de corriente es posible conocerla tomando en consideración la superficie a cromar (s) y la densidad de corriente utilizada (d).

A la superficie considerada se le debe añadir un porcentaje debido a posibles fallas de corriente, del operador, de la concentración del baño, etc..., siendo considerado hasta un 20%.

La intensidad de corriente total (I) está dada por:

$$I = \frac{s \times d}{2} \dots\dots\dots (15)$$

donde:

I = Intensidad de corriente (A)

s = superficie (dm²)

d = Densidad de corriente (A/dm²)

Aplicando todas las características mencionadas en este capítulo, se conformó un cuadro (tabla 5.4) con las especificaciones correspondientes

tomando en cuenta que las piezas sobre las cuales se aplican los criterios anteriores son los punzones y matrices involucrados en el desarrollo de ésta tesis.

VARIABLE	PUNZON		MATRIZ	
CANTIDAD DE CrO ₃ (gr.)	1.140	1.830	0.446	0.538
CANTIDAD DE SO ₄ (gr.)	0.022	0.036	0.008	0.010
INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	22.33	35.83	8.833	10.66
TENSION (V)	6	6	6	6
TEMPERATURA (°C)	50	50	50	50
DENSIDAD DE CORRIENTE (A/dm ²)	62	62	62	62
SEPARACION DE LAS PIEZAS (MM.)	30	30	90	90
FUERZA DE PENETRACION (%)	28	28	28	28
RENDIMIENTO CATODICO (%)	18	18	18	18

Figura 5.4 Composición del baño de cromo duro para las piezas utilizadas en ésta tesis.

Esta tabla se elaboró para el desarrollo de este trabajo, todos los cálculos se basan en la producción preestablecida en el capítulo 5.1.

Todos los datos se lograron comprobar por medio de la experimentación, de acuerdo con el desarrollo teórico de los capítulos anteriores.



Capítulo 6

6.1 MEDIDA Y CONTROL DE ESPESORES

La medida y control de espesores al término de un baño electrolítico son de vital importancia para el buen desempeño de las piezas cromadas durante su vida útil. Estas medidas tienen ya importancia real cuando se trata de piezas que deben ser rectificadas, aunque la condición no sea imperativa, es preciso asegurarse de la posibilidad de recuperar el espesor necesario en todos los puntos de la superficie, pero sobre todo, se deberá tener especial cuidado cuando se trate de un cromado a la cota, en estos casos la menor desviación del espesor tiene una gran importancia, tomando en cuenta que no se podrán corregir con rectificado.

Los espesores en cada punto del revestimiento se miden habitualmente por diferencia entre dimensiones que entonces ofrece la pieza y las que se tenían antes de aplicarles el baño de cromo.

El espesor de los revestimientos de cromo duro se aprecia por lo general en centésimas de milímetro, el cual es en muchos de los instrumentos de medición la precisión límite.

Para este caso particular se debe considerar que se manejan espesores que van de 5 a 7 micras y que la capacidad de producción es alta, por tal motivo se debe trabajar con un instrumento de precisión de rápido y fácil manejo, siendo el más apropiado el indicador de tipo carátula o cuadrante.

La comparación o verificación por medio de un indicador como el que se considera se aplica tanto a dimensiones lineales como a formas geométricas.

Con este aparato se puede comparar la diferencia de espesor que pueda existir entre dos piezas o más debidas a un incremento en el material (cromo depositado).

Para un comparador con una legibilidad de 0.001 mm por ejemplo, los engranes están calculados de tal manera que al desplazarse un milímetro el palpador, la aguja da una vuelta completa al cuadrante dividido en 100 partes.

Se ajusta en cero en la cota mínima por seguridad, ya que si el palpador se ajusta a la cota máxima puede llegar el momento en el cual el palpador no haga contacto con el punto mínimo o cota mínima.

A continuación se representa la forma en que actúa un indicador de carátula convencional en la figura 6.1.

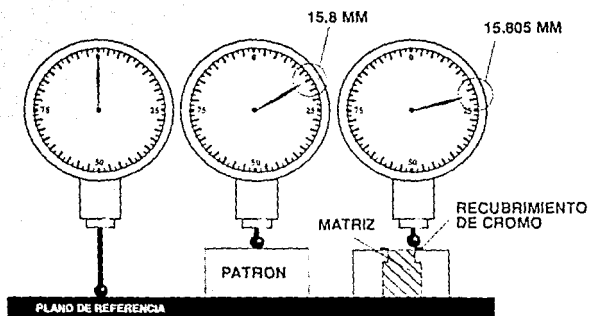


Figura 6.1 Indicador de carátula o cuadrante.

Existen otros tipos de controles dimensionales pero no son adecuados para esta aplicación debido a que en estos procesos se requieren probar la mayor cantidad de piezas posibles en el menor tiempo posible y los rangos de prueba son muy pequeños.

6.2 CONTROL DE DUREZA

Los datos que se conocen sobre la dureza en los revestimientos de cromo difieren notablemente debido en parte, a la diversidad de condiciones durante el cromado, y en parte a posibles errores durante la medición.

El cromo electrolítico, a la temperatura aproximada de 200 °C comienza a reblandecerse y cuando sobrepasan los 600°C la dureza desciende bruscamente, ésta disminución limita el empleo de los recubrimientos para aceros de alta velocidad.¹⁰

La temperatura tiene un efecto regulador sobre la dureza de los revestimientos de cromo, con una temperatura por encima de los 60 °C la dureza vuelve a descender(esta temperatura es la considerada durante el baño normal).

La medición de la dureza de la película de cromo duro es un proceso muy delicado, debido a que los espesores que se manejan son muy pequeños. Es posible conocer la dureza teórica de un depósito en base a una ecuación la cual representa el principio fundamental del método de medición conocido como Rockwell. Este método consiste en aplicar una carga sobre el metal que se quiera medir con un indentador o penetrador de diamante.

La ecuación es como sigue:

$$R_c = P / (0.1029) d_i \dots\dots\dots (16)$$

donde:

- R_c = Dureza (kg/mm)
- P = Carga aplicada (Kg)
- d_i = Diagonal de impresión (mm)

Aplicando esta ecuación a los datos conocidos sobre las piezas en cuestión se ha podido obtener una serie de resultados que se muestran a continuación:

10. Cromogenia y química Curiente S.A. pág. 367.

PARTIDA	CARGA (KG)	dl (MM)	Rc (KG/MM2)
A	70	.01	68
B	500	.09	68
C	1000	.22	68
D	1500	.33	68
E	2500	.55	68
F	5000	1.10	64
G	7500	1.65	64
H	7700	1.69	64
I	7800	1.71	62
J	8000	1.76	60
K	8500	1.87	58
L	8800	1.93	58
M	9000	1.98	56
N	9500	2.09	56

Tabla 6.1 Pruebas de dureza.

Los resultados arrojados en la tabla anterior son los datos registrados durante las pruebas realizadas en Bobinadores Unidos, en base a los cuales se pudo comprobar que la dureza adquirida para un trabajo regular es de 56 a 58 Rc.

6.3 CONTROL DE ADHERENCIA

Actualmente no existe un procedimiento capaz de asegurar una adherencia efectiva de 100%, por lo cual las pruebas que se realizan en las piezas (punzones y matrices) son fundamentalmente cualitativas.

Estas pruebas indican solamente si la capa aplicada se adhiere bajo ciertas condiciones o no. El resultado de estas únicamente da una idea sobre la adherencia de la capa, pudiendo ser esta pobre, buena o excelente.

Básicamente los resultados de las pruebas dependen de dos factores: el metal base y la ductilidad del depósito. El método utilizado para comprobar la adherencia de las deposiciones electrolíticas de cromo duro el de Jacquet, el cual consiste en desprender una banda del depósito por medio de la aplicación de una carga conocida comparando la capacidad de adhesión de varios espesores en una misma pieza hasta lograr definir el espesor que más resistencia presente.

Basándose en la experiencia se puede asegurar que es necesaria una investigación profunda para poder controlar este tipo de procesos, por el momento, los resultados cualitativos de este procedimiento sirven únicamente para decidir, dentro de lo posible, si un depósito es o no aceptable con respecto a su adherencia.

En la figura 6.3 se muestra una prueba típica de Jacquet.

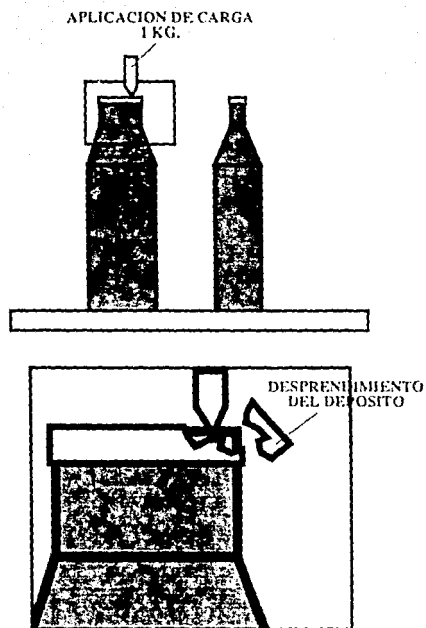


Figura 6.2 Prueba de Jacquet.

6.4 CONTROL DE DESGASTE

Los revestimientos de cromo duro son aplicables a las piezas donde la dureza superficial es importante, pero también se procura que el desgaste de la misma se reduzca al mínimo.

Al trabajar con películas de cromo duro es muy difícil establecer un patrón general o escala para el control de desgaste de las piezas, sin embargo, se recurre a un método conocido como el de Piersol, el cual es sencillo y de aplicación rápida.

Este proceso consiste en desgastar a la pieza sobre un disco a una velocidad definida calculando así el tiempo que tarda la película de cromo duro en desaparecer. Los resultados, por ser en forma experimental, no son una cifra significativa de la calidad del trabajo, el experimento termina cuando el material base ha quedado expuesto en la zona de contacto.

En las pruebas realizadas sobre los punzones y matrices de ésta tesis, se consideró una presión de carga de 1 kg/cm y una velocidad del disco de 6 cm/seg. con la cual se obtuvo la siguiente tabla:

PIEZA	VELOCIDAD CM/SEG.	CARGA KG/CM ²	# DE VUELTAS	PROMEDIO
PUNZON	6	1	117	87%
PUNZON	6	1	109	89%
MATRIZ	6	1	135	92%
MATRIZ	6	1	130	86%

Tabla 6.2 Pruebas de resistencia al desgaste.

Los mejores resultados se obtuvieron con un metal base que poseía una dureza de 60 a 62 Rc.

Cabe mencionar que con materias primas base más duras la resistencia al desgaste decrece.

6.5 PRUEBAS CON LA HERRAMIENTA CROMADA.

A lo largo de este trabajo se ha venido desarrollando con sus diferentes etapas y respectivas características , el proceso de cromado duro; tomando en consideración que en todo trabajo lo más importante son los resultados obtenidos, se efectuaron pruebas sobre los punzones y matrices mencionados en los capítulos 4 y 5, bajo condiciones normales de operación, es decir, con una carga real y con las dificultades que por lo general se presentan en este tipo de procesos.

Con los datos arrojados por estas pruebas, es posible conocer el promedio, la desviación estandar y la media de la producción de piezas cromadas para que en el futuro se logre un control de calidad estable. Estos tres conceptos son los más generalizados para representar los datos obtenidos durante las pruebas referidas.

Promedio:

Se refiere a un número intermedio al cual todos los eventos tienden a aproximarse, éste es representado por la siguiente ecuación:

$$X = \sum_{i=1}^n Xi/n \dots\dots\dots (17)$$

donde:

- X = Promedio (%)
- n = Número de pruebas.
- Xi= Número de piezas.

Desviación estandar:

En forma parecida se define la desviación estandar, con la diferencia que para conocerla se relacionan la cantidad de eventos con el promedio preestablecido, esta se representa con la siguiente ecuación:

$$St = \sqrt{\sum_{i=1}^n ((X_i - \bar{X})^2 / (n-1))} \dots\dots\dots (18)$$

donde:

St = Desviación estandard (%).

Media:

La media es una medida representativa de aciertos y eventos, es conocida también como el promedio aritmético y está representada por la siguiente ecuación:

$$S = 1/n \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (19)$$

donde:

S = Media (%).

La idea de realizar este tipo de operaciones es para establecer un patrón verídico de funcionamiento de la producción y así poder formar una historial del proceso el cual permita un mejor desarrollo del mismo. De las ecuaciones anteriores se sabe que para el caso específico de ésta tesis el promedio de una falla en la producción es de un 4%, la desviación de la producción total es de un 12% y la media de una falla en la producción es de un 4%.

Se debe tomar en cuenta que en realidad la veracidad y eficacia de todo proceso, en especial en uno de esta naturaleza, se puede comprobar únicamente en base a la experimentación.

Los resultados anteriores se basan en una serie de pruebas de taller las cuales se llevaron a cabo en las instalaciones de Bobinadores Unidos S.A. de C.V., dichas pruebas están ilustradas en las gráficas de las figuras 6.4 y 6.5.

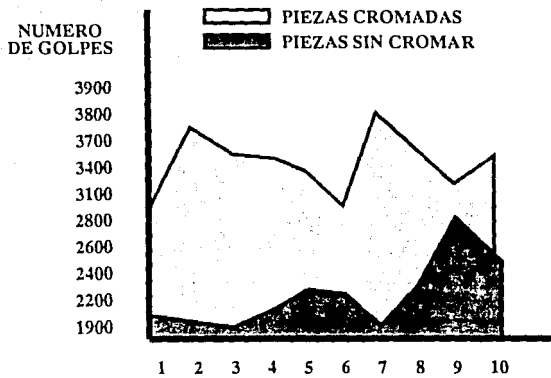


Figura 6.3 Gráfica de pruebas sobre piezas ovaladas

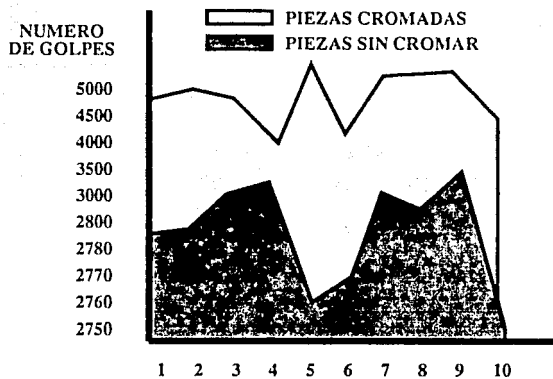


Figura 6.4 Gráfica de pruebas sobre piezas redondas



Capítulo 7

7.1 COSTO DEL PROCESO

Este capítulo es un soporte para la tesis , ya que durante todo el desarrollo de la misma se mostró el proceso de cromado duro con sus ventajas y desventajas, su capacidad como agente externo para lograr un incremento en la vida útil de las piezas tratadas, pero falta un punto de suma importancia , el costo del cromado.

Para conocerlo se consideran dos costos principales:

- A) El costo del equipo.
- B) El costo del proceso.

A continuación se darán a conocer los costos reales del equipo básico necesario para montar una planta tipo de cromado duro, haciendo la aclaración de que en dichos costos no se consideran los costos por la instalación ni los gastos de administración debido a que el fin de ésta tesis no es el estudio económico del proceso, pero desde luego deben de tomarse en cuenta pues definitivamente influyen en la decisión de todo proyecto.

En el anexo VI se presenta un estudio de amortización del equipo aplicado a este proceso en particular.

El desglose de precios que a continuación se presenta sirve como indicador para establecer parámetros de costos dentro de los cuales se puede manejar información elemental para todo proceso electrolítico.

COSTO DEL EQUIPO BASE PARA UNA PLANTA PILOTO DE CROMADO

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
1	Tina para enjuague de agua caliente y fría con capacidad de 1000 litros, en fibra de vidrio de 105x90x105 cm	4	\$ 489,600	\$1,958,400
2	Tina para deposición de cromo duro y ataque electrolítico con capacidad para 1000 lts, de placa de acero con recubrimiento de un polímero de 105x90x105 cm	3	\$1,804,800	\$5,414,400
3	Rectificador de corriente para una carga máxima de 1000 amperes.	2	\$3,220,970	\$6,441,940
4	Equipo de extracción para aire.	1	\$7,364,800	\$7,364,800
5	Equipo para aislamiento de superficies del soporte.	1	\$1,303,900	\$1,303,900
6	Mesa de trabajo mecánico.	1	\$3,970,000	\$3,970,000
7	Materiales accesorios, basidores, luminarias, etc.	1	\$6,400,000	\$6,400,000
8	Anodos, aleación plomo 94% antimonio 6%, de 25 x 40cm	25	\$ 435,000	\$10,875,000
TOTAL				\$ 43,728,440

Tabla 7.1 Costo del equipo de cromado.

Nota: Los costos presentados en este cuadro son los considerados en el mes de Noviembre de 1990.

Por otra parte a continuación se procederá a calcular el costo por la deposición de cromo duro por pieza, de tal forma que sea posible efectuar una comparación económica entre el costo de una pieza cromada y otra sin cromar.

7.2 COSTO POR LA DEPOSICION DEL CROMO DURO

En el estudio de cromado duro se consideran unicamente los factores que intervienen directamente en los costos de producción del recubrimiento.

El costo por cromar una superficie (en este caso los punzones y matrices) está compuesto por:

- A) El cromo depositado en forma de metal.
- B) El consumo de electricidad.
- C) La mano de obra.
- D) Los materiales accesorios para el aislamiento.

A) El cromo depositado en forma de metal:

El cromo depositado en la superficie de una pieza y el que queda impregnado en los soportes por defecto del aislamiento se obtiene exclusivamente del consumo de ácido crómico del baño, pero este consumo viene acompañando por las pérdidas por la aspiración y el arrastre durante el enjuague.

En base las condiciones anteriormente descritas y a pruebas efectuadas por Guillet se ha podido establecer un parámetro por medio del cual se puede llegar a conocer aproximadamente la cantidad de ácido crómico utilizado durante el depósito.

Las pruebas efectuadas por Guillet se basan en la suposición de una deposición de cromo duro sobre una superficie de 1 dm², a la cual se aplican capas de cromo de 1 a 5 micras de espesor. A los gramos que resultan de estos depósitos se le agrega un porcentaje debido al arrastre (20%) y otro a debido a las pérdidas durante el enjuague (8%), en el caso específico de ésta tesis se optó por aplicar recubrimientos de 5 micras con el fin de poder facilitar su control.

La cantidad de ácido crómico utilizado se muestra en la tabla 7.2, naturalmente estos valores varían en cuanto a pérdidas por un mal depósito por lo cual se anexa a la misma tabla un porcentaje que ampara todas las variables, éste se considera por lo general hasta un 30%.

AREA (dm ²)	Gr(Cro3)	Gr(SO ₄)	PERDIDAS DE CROMO			TOTAL Gr.
			20%	8%	30%	
1	8.33	0.006	1.66	0.66	2.49	13.14
2.37	19.7	0.014	3.93	1.56	5.90	31.15
0.94	7.83	0.005	1.56	0.62	2.34	12.35
3.81	31.8	0.002	6.32	2.51	9.48	50.06
1.13	9.42	0.006	1.86	0.74	2.81	14.84

Tabla 7.2 Cantidad de cromo duro depositado, de acuerdo a las características descritas en esta tesis.

B) Consumo de electricidad:

La corriente eléctrica necesaria para la deposición de una película de cromo duro se calcula considerando la cantidad de vatios/hora que se consumen con tres operaciones principales las cuales son el desengrase, el ataque anódico y el cromado duro.

Por otra parte se debe considerar una pérdida de hasta un 40 % debido a fugas, ensayos previos, repeticiones, caída de tensión, etc.

Trabajando con los rectificadores y considerando un rendimiento aceptable se logró conformar la tabla 7.3, en la cual se muestra la cantidad de watt/hora mínima necesaria para el cromado de una pieza.

AREA	DESENGRASE	CROMADO	ATAQUE	FUGAS	TOTAL
	(dm ²)		Watt / hora		
1	1.66	100	0.83	40.99	143.48
2.37	3.93	237	1.96	97.16	340.06
2.94	1.56	94	6.78	96.34	192.68
3.81	6.82	381	3.16	156.2	546.67
1.13	1.87	113	0.93	46.32	162.12

Tabla 7.3 Cantidad de watt/hora necesario para el cromado de una pieza.

C) Mano de obra:

En la práctica, el trabajar en un proceso como el de cromado duro a su máxima capacidad es poco común, por ello es prudente consultar continuamente las partes de producción que señalarán si debe o no modificarse el procedimiento y en que parte del mismo.

En el cálculo de mano de obra influyen, además de los conocimientos, la experiencia y habilidad de los operarios, la forma, el volúmen y dificultad de la pieza a tratar, así como la posibilidad de que el trabajo pueda o no ser organizado en grandes lotes.

Este capítulo de mano de obra comprende únicamente lo que concierne a la operación de cromado, la preparación de la pieza y de las mezclas químicas, sin considerar los trabajos mecánicos de construcción de los bastidores, pulido de las piezas a tratar ni gastos por administración.

La mano de obra considerada está compuesta por un especialista y dos ayudantes, esto para el caso de una planta tipo como en la que se efectuaron las pruebas para este caso particular.

D) Materiales accesorios:

Estas piezas no precisan para su aislamiento más que de pequeñas cantidades de productos químicos, pues sólo debe ser aislado el gancho o soporte, que suele permanecer en forma permanente, por lo menos en la mayor parte de la superficie.

Otras por el contrario, requieren de barnices, ceras, etc., por lo cual resulta difícil dar cifras generales y por ello se procede a calcular este costo para el caso del consumo máximo de cada tipo de aislante (aproximado), tomando en cuenta el coeficiente de aprovechamiento después del cromado de la pieza mayor.

El coeficiente de consumo es por lo general de un 10% del valor total del ácido crómico a utilizar durante todo el proceso.

Como es natural, todos estos valores son necesariamente aproximados, puesto que en un trabajo tan complejo como el de la deposición electrolítica las variaciones que se presentan son constantes e impredecibles.

De acuerdo a los factores expuestos en éste capítulo, el costo para cromar un punzón y una matriz con un espesor de capa de ≈ 5 micras se presenta en el cuadro de la tabla 7.4.

COSTO UNITARIO POR DEPOSICION DE CROMO DURO

A) Costo unitario por deposición de ácido crómico (5 micras).

CONCEPTO	MATRIZ	PUNZON	MATRIZ	PUNZON
Depósito (Gr)	7.83	19.75	9.42	31.81
Pérdidas (Gr)	2.18	5.49	8.83	2.61
Fallas (Gr)	2.34	5.90	9.48	2.81
Total (Gr)	12.35	31.50	50.06	14.84
Total (\$)	162.7	573.2	659.8	195.6

B) Costo unitario por mano de obra.

CONCEPTO	MATRIZ	PUNZON	MATRIZ	PUNZON
Técnico (\$)	291.8	291.8	291.8	291.8
Ayudante (2)(\$)	326.6	326.6	326.6	326.6
Total (\$)	618.4	618.4	618.4	618.4

Nota: El salario mínimo considerado para estos trabajos es el aplicable en el Distrito Federal, México.

C) Costo unitario por el consumo de energía.

CONCEPTO	MATRIZ	PUNZON	MATRIZ	PUNZON
Energía (KW/hr)	3.85	34	54	16.2
Total (\$)	520	459	729	218

D) Costo unitario por materiales y accesorios.

CONCEPTO	MATRIZ	PUNZON	MATRIZ	PUNZON
Material (Gr)	1.23	3.11	5.0	1.48
Total (\$)	14.43	36.43	58.56	17.35

En base a los datos establecidos en este capítulo, se forma el siguiente cuadro el cual representa el costo por la deposición de cromo duro de las piezas utilizadas para este trabajo.

PIEZA	COSTO UNITARIO
Punzón ovalado	\$ 1687.13
Punzón redondo	\$ 1049.45
Matríz redonda	\$ 2065.93
Matríz ovalada	\$ 1315.59



Capítulo 8

CONCLUSIONES

Durante años ha habido una revolución en la industria de los tratamientos de galvanoplastia, de acuerdo al constante crecimiento de las diferentes aplicaciones de estos procesos, principalmente en la industria metal-mecánica, se ha desarrollado un gran número de métodos para controlar los diferentes procesos y productos.

El proceso descrito en ésta tesis es el utilizado en forma garantizada en muchas plantas industriales de cromado duro que operan actualmente en el país, pero es normal y frecuente encontrarse con infinidad de problemas que es necesario solucionar, pues para cada caso se debe considerar una solución diferente. Debido a lo anterior se puede explicar el hecho de que exista muy poca información que pueda ser aplicada para varios casos a la vez.

El cromado duro en México se debe promover y estimular para encontrar la forma más adecuada de solucionar los problemas por el excesivo gasto que se tiene durante el proceso de fabricación de placas de transformadores eléctricos, en el caso particular de ésta tesis, y en general para toda la industria.

Es necesario recalcar que el tipo, cantidad y forma de las piezas que por lo general se croman es un punto muy importante para la selección adecuada de estos procesos.

En ésta tesis se asentaron las bases para conocer, desde el punto de vista económico, las ventajas que se obtienen al utilizar este tipo de procesos, aunque en la mayoría de los casos no se cuenta con el apoyo tecnológico indispensable para crear una infraestructura capaz de solucionar o reducir el problema que representa el alto costo de las herramientas utilizadas durante cualquier trabajo de troquelado.

En conclusión se puede afirmar de una manera objetiva que de acuerdo a las pruebas realizadas en ésta tesis los resultados arrojados indican que este proceso aporta, para el caso particular de ésta tesis, hasta un 38% de incremento en la vida útil de las mismas, tomando en consideración una variación que depende en la mayoría de los casos del control de calidad que se efectúe.

Cabe recordar que este proceso es aplicable no solo sobre las piezas nuevas, sino para la recuperación de piezas que han sufrido un desgaste

logrando restablecer sus dimensiones originales recuperando parte de la vida útil de las mismas.

Desde el punto de vista económico se puede notar a simple vista que el proceso de cromado duro es una inversión rentable, ya que la recuperación de las herramientas amortiza el costo inicial del equipo.

El criterio anterior es válido y necesario para el desarrollo de las nuevas aplicaciones, las cuales permitan una mayor producción a un costo menor.

En éste capítulo se explicaron las ventajas y resultados de la utilización del método de cromado duro sobre punzones y matrices, pero es necesario comparar los costos reales de las piezas sin cromar contra el costo de una pieza cromada, en función de la vida útil de la misma, que se puede representar como el beneficio de su aplicación, por tal motivo a continuación se desarrollará un pequeño cuadro comparativo por medio del cual se podrá conocer, desde el punto de vista económico, los resultados de ésta tesis.

Este cuadro comparativo se obtiene de la relación representada por las siguientes ecuaciones:

$$\text{COSTO} = C_p / C_{pc} \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{VIDA UTIL} = V_u / V_{uc} \dots\dots\dots (21)$$

donde:

C_p = Costo de la pieza sin cromar.

C_{pc} = Costo de la pieza cromada.

V_u = Vida útil de la pieza sin cromar.

V_{uc} = Vida útil de la pieza cromada.

De acuerdo a las tablas 6.3 y 6.4 es posible comparar la vida útil de cada pieza cromada con las que no lo están, en promedio se obtiene una cierta ventaja en cuanto a la resistencia de las piezas, pero en lo que respecta al costo de las mismas se puede apreciar que es similar lo cual no afecta mucho al costo del producto terminado.

Para comprobar lo anterior, de acuerdo a las ecuaciones establecidas en éste capítulo se presenta el siguiente cuadro:

	PUNZON	PUNZON	MATRIZ	MATRIZ	INCREMENTO)
Costo con cromo	\$ 17,049	\$ 20,687	\$ 22,065	\$ 24,315	+ 9 %
Costo sin cromo	\$ 16,000	\$ 19,000	\$ 21,000	\$ 23,000	
Vida útil (golpe) con cromo	4,823	3,517	4,900	5,100	+ 38%
Vida útil (golpe) sin cromo	2,966	2,185	3,000	3,000	

Considerando los porcentajes anteriores se puede notar que el costo por el proceso significa un incremento de solo el 9% del producto, en cambio se obtiene un incremento de hasta el 38% en la vida útil de la pieza.

Para el desarrollo de este trabajo se presentaron una serie de limitantes que influyeron en el desempeño de la misma.

El problema principal fue la carencia de bibliografía acerca de estos procesos en nuestro país, para lo cual fué necesario recabar la información en el extranjero .

Para la aplicación de las pruebas se presentó el problema para localizar una empresa interesada en prestar la maquinaria y tiempo de operación para efectuar los estudios correspondientes.

En México existen pocos talleres de cromado duro, por lo que fué necesario localizar un taller confiable, el cual accedió a efectuar las pruebas.



Anexos

ANEXO I

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
2.1	Coefficiente de rozamiento	7
3.1	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un transformador eléctrico.	11
3.2	Diagrama de flujo del proceso de cromado duro.	12
4.1	Refrentado de una pieza.	18
4.2	Centrado de una pieza.	19
4.3	Piezas que conforman un útil cortador.	29
4.4	Dimensiones de la matriz.	30
4.5	Dimensiones del punzón.	31
4.6	Placa porta punzón.	32
4.7	Placa porta matriz.	33
4.8	Placa de corte.	34
5.1	Tina para baño electrolítico.	41
5.2	Campana de extracción.	42
5.3	Anodo.	45
5.4	Bastidor tipo.	46
5.5	Sujeción de punzón y matriz ovalada.	47
5.6	Sujeción de punzón y matriz redonda.	48
5.7	Distribución de una planta tipo.	49

5.8	Amplitud de la escala de cromado.	52
5.9	Concentración de ácido crómico.	53
5.10	Rendimiento catódico.	54
5.11	Relación temperatura/densidad.	56
6.1	Indicador de cuadrante.	59
6.2	Prueba de Jacquet.	63
6.3	Gráficas de pruebas con punzones ovalados.	67
6.4	Gráficas de pruebas con punzones redondos.	68

ANEXO II

INDICE DE TABLAS

TABLA		PAGINA
2.1	Propiedades químicas del cromo .	7
2.2	Disminución de la dureza por cambio de temperatura.	9
4.1	Velocidad de corte.	22
4.2	Valores de carga de ruptura.	24
4.3	Formulario para dimensiones de los punzones y matrices.	25
4.4	Dimensionamiento de punzones y matrices.	27
4.5	Propiedades químicas del acero.	35
4.6	Propiedades mecánicas del acero.	36
4.7	Propiedades magnéticas del fleje.	36
5.1	Capacidad de producción.	39
5.2	Análisis de calidad de anhídrido crómico.	50
5.3	Relación temperatura/densidad de corriente.	55

5.4	Composición del baño de cromo duro.	57
6.1	Pruebas de dureza.	61
6.2	Pruebas de resistencia al desgaste.	64
7.1	Costo del equipo.	70
7.2	Cantidad de cromo depositado por área.	73
7.3	Cantidad de watts/ hr por deposición por pieza.	73

ANEXO III

PROGRAMA PARA CALCULAR LA TOLERANCIA DE UN PUNZON Y UNA MATRIZ EN GENERAL (LENGUAJE BASIC)

```
000 REM: PROGRAMA PARA EL CALCULO DE TOLERANCIAS.
010 INPUT "JUEGO MAXIMO (JMAX) ";J1
020 INPUT "JUEGO MINIMO (JMIN) ";J2
030 J3 = (J1-J2) /2
040 INPUT "DIAMETRO ";D
050 IF D 1 AND D 3 THEM LET D= , LET G=1
060 IF D 3 AND D 6 THEM LET D= , LET G=2
070 IF D 6 AND D 10 THEM LET D= , LET G=3
080 IF D 10 AND D 18 THEM LET D= , LET G=4
090 IF D 18 AND D 30 THEM LET D= , LET G=5
100 IF D 30 AND D 50 THEM LET D= , LET G=6
110 IF D 50 AND D 80 THEM LET D= , LET G=7
120 IF D 80 AND D 120 THEM LET D= , LET G=8
130 IF D 120 AND D 180 THEM LET D= , LET G=9
140 IF D 180 AND D 250 THEM LET D= , LET G=10
150 IF D 250 AND D 315 THEM LET D= , LET G=11
160 IF D 315 AND D 400 THEM LET D= , LET G=12
170 IF D 400 AND D 500 THEM LET D= , LET G=13
180 i = (0.45(D(1/3)) + 0.001D)
190 INPUT "ESPECIFICAR LA CALIDAD DE TOLERANCIA"
200 IF IT = 5 LET T = 7i
210 IF IT = 6 LET T = 10i
220 IF IT = 7 LET T = 16i
230 IF IT = 8 LET T = 25i
240 IF IT = 9 LET T = 40i
250 IF IT = 10 LET T = 64i
260 IF IT = 11 LET T = 100i
270 IF IT = 12 LET T = 160i
280 IF IT = 13 LET T = 250i
290 IF IT = 14 LET T = 400i
300 IF IT = 15 LET T = 640i
310 IF IT = 16 LET T = 1000i
320 PRINT "LA TOLERANCIA ES DE T=";T
330 PRINT "EL JUEGO ES DE J=";J3
```

NOTA: PARA APLICAR EL PROGRAMA ES NECESARIO CONSIDERAR EL DIAMETRO NOMINAL DE LA PIEZA.

ANEXO IV

DUREZA

BRINELL		ROCKWELL		VICKERS
Bola de 10mm		C	B	carga
Carga 3000Kg		150kg	100kg	10 kg
ø de la huella en mm	DUREZA	punta de diamante (120°)	bola (1/16)	punta de diamante (136°)
----	----	67	----	900
----	----	66	----	865
----	----	65	----	832
----	----	64	----	800
2.30	712	63	----	772
2.35	687	62	----	746
----	670	61	----	720
2.40	633	60	----	697
2.45	627	59	----	674
2.50	601	58	----	653
----	600	57	----	633
2.55	578	56	----	613
2.60	555	55	----	595
2.65	534	54	----	577
----	524	53	----	560
2.70	514	52	----	544
2.75	495	51	----	528
2.80	475	50	----	513
2.85	461	49	----	498
----	451	48	----	484
2.90	444	47	----	471
2.95	429	46	----	458
----	421	45	----	446
3.00	415	44	----	434
3.05	401	43	----	423
3.10	388	42	----	412
----	381	41	----	402
3.15	375	40	----	392
3.20	363	39	----	382
3.25	352	38	----	372
3.30	341	37	----	363
----	336	36	109	354
3.35	331	35	108.5	345

BRINELL		ROCKWELL		VICKERS
Bola de 10mm		C	B	carga
Carga 3000Kg		150kg	100kg	10 kg
Ø de la huella en mm	DUREZA	punta de diamante (120°)	bola (1/16)	punta de diamante (136°)
3.40	321	34	108	336
3.45	311	33	107.5	327
3.50	302	32	107	318
3.55	293	31	106	310
3.60	285	30	105.5	302
3.65	277	29	104.5	294
3.70	269	28	104	286
3.75	262	27	103	279
----	258	26	102.5	272
3.80	255	25	101.5	266
3.85	244	24	101	260
3.90	241	23	100	254
3.95	235	22	99	248
4.00	228	21	98.5	243
4.05	223	20	97.5	234
4.10	217	18	96.5	230
4.20	207	16	95.5	217
4.25	202	15	95	213
4.30	196	13	93	209
4.35	192	12	92	204
4.40	187	10	91	193
4.45	183	9	90.5	191
4.50	179	8	89.5	187
4.55	174	7	88	184

Comparación de la huella de impresión de la dureza de un depósito de cromo duro.

ANEXO V

AREA dm ²	ESPESOR micra	Gr (CrO ₃)	PERDIDAS		
			arrastre	enjuague	fallas
1	0.01	1.66	0.33	0.13	0.49
1	0.02	3.33	0.66	0.26	0.99
1	0.03	5.00	1.00	0.40	1.50
1	0.04	6.66	1.33	0.53	1.99
1	0.05	8.33	1.66	0.66	2.49

Cantidad de ácido crómico utilizado de acuerdo a un espesor dado en una superficie de 1 dm². (de acuerdo a Guillet).

AREA dm ²	ESPESOR micra	DESENGRASE	CROMADO vatio / hora	ATAQUE	FUGA
1	0.01	1.66	100	0.83	40.99
1	0.02	3.33	200	1.66	81.99
1	0.03	5.00	300	25.0	132.0
1	0.04	6.66	400	33.3	175.9
1	0.05	8.33	500	41.6	204.6

Cantidad de vatios/hora utilizados para cromar una superficie de 1 dm². (de acuerdo a Guillet).

ANEXO VI

TABLA COMPARATIVA CON OTRAS MARCAS DE ACEROS

ASSAB	AISI	SOLAR	LATROBE	CH	BOHLER	ATLAS	SOBESDORS
D.F.2	G-1	Azteca IIA	Bodger	FOI	Anotit.s	Keenatin	16
---	A-2	May II - B	Select BFM		Special	Cromo Loy	65
X W41	D-2	Nahoa II C	Olimpic FM	FD2	K.N.L.	F.N.S.	63(364)
X W 5	D-4	Tolteca IID	GSN Mo	FD3	Special	N.M.	62
HWTI	L-6	Kripton VII	N.D.S.	HMW	G.N.M.E.	Ultimo 6	84

Tabla comparativa del acero tipo ASSAB con otras marcas.

CONCEPTO	CON CROMO	SIN CROMO
Operación	\$ 25,872,000	\$ 22,344,000
Mantenimiento	\$ 19,110,000	\$ 25,578,000
Amortización	\$ 101,432,000	\$ 87,456,000
Total	\$ 146,414,000	\$ 135,378,000
DIFERENCIA ANUALIZADA :		\$ 11,036,000

Lo anterior significa que con el simple hecho de invertir un poco más se podría operar una planta de cromado duro para una capacidad de 30,000 piezas.

Cabe decir que éste estudio se basa en la aplicación de cromo duro al 100 % de las piezas, por lo cual se debe reconocer que si el incremento de vida útil que se logra con la deposición del cromo duro es del 38%, se puede considerar que la inversión se efectuaría sobre el 62% de las piezas, con lo cual se reduce considerablemente el costo por la operación y mantenimiento en general.



Bibliografía

BIBLIOGRAFIA

- 1* A. García Mateos.
Ajustes Tolerancias y Calibres.
Editorial U.R.M.O.
México D.F.
- 2* American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
Manual práctico.
Editado por A.C.G.I.H. ,1983
U.S.A.
- 3* A. Nash William .
Resistencia de materiales.
Editorial Mac Graw Hill.
México D.F.,1962.
- 4* Anderson James, Tatro Earl E.
Teoría del taller.
Editorial Gustavo Gili, S.A.
Barcelona,España ,1972.
- 5* Apraiz Jose.
Aceros especiales.
Editorial Dossat S.A. ,5ta edición.
Madrid,España.
- 6* Apraiz Jose.
Tratamientos térmicos en los aceros.
Editorial Dossat S.A.,8va edición.
Madrid,España.
- 7* Blanco J.A.
Tecnología del Instrumental del control.
Editorial C.E.D.E.L.
México D.F.

- 8* Blum William y Hogabbom G.B.
Galvanotécnia y Galvanoplastía.
Editorial C.E.C.S.A. ,4ta edición.
México D.F.,1972.
- 9* Chavallier M.
Metrología Dimensional.
Editorial T.E.A.
México D.F.
- 10* Chopin R. Gregory, Jaffe Bernard y Summerlin Lee.
Química.
Editorial Publicaciones Cultural S.A. 10a edición.
México D.F.
- 11* Dawes Chester L.
Transformadores.
Editorial C.E.C.S.A.
México D.F.
- 12* Grahan y Pinkerton.
Manual de Ingeniería de recubrimientos electrolíticos.
México D.F.
- 13* Guillet E.
Manual de los usuarios de revestimientos en cromo duro.
Editorial U.R.M.O.
México D.F.
- 14* Harmen E. Davis, Eral Trowell George,Clement T.
Ensayo e inspección de los materiales en Ingeniería.
Editorial C.E.C.S.A.7a edición.
México D.F.
- 15* King William A.
Resistencia de materiales.
Editorial Trillas.
España,1980.

- 16*** Ramos Watanave Sergio.
Manual de métodos de procesos de fabricación.
Editorial A.G.T.
México D.F.
- 17*** Shigley Joseph Edward.
Diseño en Ingeniería Mecánica.
Editorial Mac. Graw Hill.
México D.F.