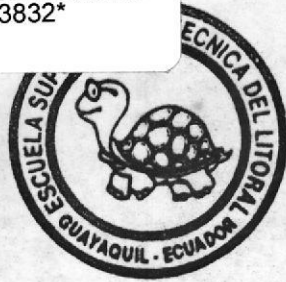




D-13832

T
621.437
N 218



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica

"RECUPERACION DE CILINDROS DE
MOTORES MEDIANTE CROMADO DURO"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

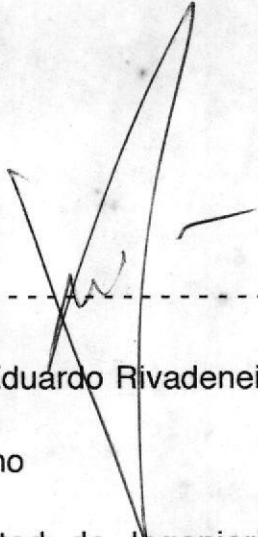
Presentada por:

JAIME NARANJO M.

GUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO
1993




Ing. Eduardo Rivadeneira P.

Decano


Facultad de Ingeniería

en Mecánica.



Ing. Julián Peña E.

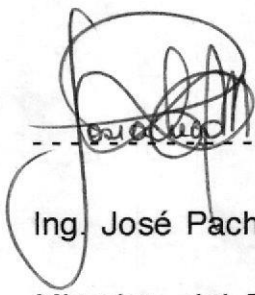
Director de Tesis.



Ing. Jorge Félix N.

Miembro del Tribunal de

Grado.



Ing. José Pacheco M.

Miembro del Tribunal de

Grado.

AGRADECIMIENTO

AI ING. JULIAN PEÑA E.

Director de tesis, por su ayuda
y colaboración para la
realización de éste trabajo.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

A MI ESPOSA

A MIS AMIGOS

DECLARACION EXPRESA



BIBLIOTECA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jaime Naranjo M.", is written over a horizontal dotted line.

JAIME NARANJO M.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto dar una concepción de lo que representa la aplicación de la ingeniería en el proceso de la recuperación de partes desgastadas .

La parte del motor a recuperar serán los cilindros del bloque , que debido al trabajo que han ejecutado se produce el desgaste del mismo y por lo tanto la interrupción de su funcionamiento.

La tecnología de la electrodeposición nos brinda la oportunidad de restaurar dichos cilindros a través del Cromo Duro, a fin de aumentar sus propiedades mecánicas como son : su dureza, la resistencia a la fricción y resistencia a elevadas temperaturas.

A través de este proceso de reposición , se pretende poner a consideración una alternativa tanto técnica -económica de solución viable a las expectativas del sector industrial.

Dentro del esquema planteado se presentará, primeramente un

estudio de factibilidad de los posibles sectores donde podrá aplicar dicho proceso, exponiendo fundamentos teóricos que respalden y justifiquen el desarrollo de esta técnica de electrodeposición del cromo con fines ingenieriles.

La parte complementaria introducirá aspectos relacionados con el procedimiento experimental del cromado duro, de tal forma que se realice una diversidad de pruebas encaminadas a obtener variables óptimas dentro del proceso.

Del resultado de dichas pruebas se obtendrá comportamientos definidos de cada una de las variables propuestas a consideración durante el ensayo, las cuales serán tema de análisis y de discusión para poder llegar a la optimización del proceso, tanto en el aspecto técnico como el económico.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN..... | V |
| INDICE GENERAL..... | VII |
| INDICE DE FIGURAS..... | X |
| INDICE DE TABLAS..... | XII |
| INDICE DE ABREVIATURAS..... | XIV |
| INTRODUCCION..... | XVII |
| I. EL CROMADO DURO COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACION DE CILINDRO DE MOTORES. | |
| 1.1 Período de vida de los cilindros de motores..... | 19 |
| 1.2 Estudio de factibilidad..... | 27 |
| 1.3 Alternativas de recuperación..... | 28 |
| 1.3.1 Adquisición de un bloque nuevo de motor..... | 28 |
| 1.3.2 Rectificación y encamisado con nuevos cilindros..... | 29 |
| 1.4 Recubrimiento electrolítico en cromo duro..... | 30 |
| 1.4.1 Electroquímica del proceso..... | 33 |
| 1.4.2 Variables en consideración..... | 68 |

II. CONSTRUCCION DEL MODELO EXPERIMENTAL

Y ENSAYOS

| | |
|---|-----|
| 2.1 Elementos constitutivos del modelo..... | 75 |
| 2.2 Preparación de la pieza a recubrir..... | 83 |
| 2.3 Control de variables..... | 89 |
| 2.3.1 Temperatura..... | 89 |
| 2.3.2 Corriente suministrada..... | 91 |
| 2.3.3 Concentración del baño..... | 93 |
| 2.3.4 Tiempo del recubrimiento..... | 105 |
| 2.4 Pruebas..... | 107 |
| 2.4.1 Dureza..... | 110 |
| 2.4.2 Rugosidad..... | 112 |
| 2.4.3 Adherencia..... | 114 |
| 2.4.4 Análisis de microestructura..... | 116 |
| III. ANALISIS DE RESULTADOS | |
| 3.1 Técnico..... | 126 |
| 3.2 Económico..... | 129 |

| | Pág. |
|---|------|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| APENDICES | |
| A 1 Control de calidad. | 141 |
| A 2 Defectos encontrados en el proceso de cromado..... | 143 |
| A 3 Concentración del baño mediante grados Bé..... | 151 |
| A 4 Equivalente electroquímica de los metales..... | 152 |
| A 5 Concentración de ácido crómico y sulfato..... | 153 |
| A 6 Pesos específicos de la solución de ácido crómico.... | 154 |
| BIBLIOGRAFIA. | 155 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág |
|---|-----|
| 1 Rectificador..... | 40 |
| 2 Calentador eléctrico..... | 53 |
| 3 Agitador horizontal..... | 55 |
| 4 Filtro..... | 56 |
| 5 Bastidor..... | 57 |
| 6 Pulidora..... | 63 |
| 7 Cuba electrolítica..... | 77 |
| 8 Resistencia..... | 78 |
| 9 Anodo de hierro..... | 80 |
| 10 Bastidor..... | 81 |
| 11 Diagrama de bloques para preparación de piezas..... | 84 |
| 12 Célula de hull..... | 97 |
| 13 Gráfico de deposición..... | 100 |
| 14 Diagrama de bloque para pruebas..... | 109 |
| 15 Rugosímetro..... | 113 |
| 16 Diagrama de fuerzas..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| 17 Metalografía de probetas a 100X de ampliación..... | 120 |
| 18 Espesores vs. Tiempo. | 121 |
| 19 Espesores vs. Concentración. | 122 |
| 20 Espesor vs. Temperatura. | 123 |
| 21 Dureza vs. Espesor. | 124 |
| 22 Dureza vs. Temperatura. | 125 |
| 23 Dureza vs. concentración. | 126 |

INDICE DE TABLAS

| | | Pág |
|-------|---|-----|
| I. | Tipos de motores comerciales..... | 20 |
| II. | Horas para overhaul..... | 21 |
| III. | Elementos y materiales..... | 23 |
| IV. | Datos de costos..... | 30 |
| V. | Sulfatos para baños de cromo..... | 36 |
| VI. | Variación de temperatura..... | 90 |
| VII. | Comparación de corriente aplicada y teórica a ocho voltios..... | 92 |
| VIII. | Comparación de corriente aplicada y teórica a cinco voltios..... | 92 |
| IX. | Comparación de corriente aplicada y teórica a doce voltios..... | 93 |
| X. | Ajuste de concentración de cromo y ácido sulfúrico..... | 153 |
| XI. | Muestreo del espectrofotómetro para el cromo..... | 102 |
| XII. | Muestreo del espectrofotómetro para el hierro..... | 103 |

| | Pág. |
|---|------|
| XIII. Tiempo de exposición para cinco voltios..... | 106 |
| XIV. Tiempo de exposición para ocho voltios..... | 106 |
| XV. Tiempo de exposición para doce voltios..... | 107 |
| XVI. Datos de dureza en función de la temperatura..... | 112 |
| XVII. Grados Bé..... | 151 |
| XVIII. Equivalente electroquímico..... | 152 |
| XIX. Pesos específicos de la solución de ácido crómico..... | 154 |



BIBLIOTECA

INDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------|---------------------------|
| A | Corriente de operación |
| Amp | Amperio |
| C | Concentración |
| Cm | Centímetro |
| cil | Cilíndro |
| °C | Grado centígrado |
| d | Densidad |
| Dm ² | Decímetro cuadrado |
| dil | Dilusiones |
| E | Equivalente eletroquímico |
| e | Espesor |
| e' | Eficiencia |
| Ft | Pie |
| gr | Gramo |
| HP | Caballos de poder |

| | |
|----------------|----------------------|
| hr | Horas |
| I | Corriente |
| KN | Dureza knoop |
| l | Litro |
| L | Longitud |
| m | Metro |
| m ² | Metro cuadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| M | Masa |
| mils | Milésima de pulgada |
| min | Minuto |
| NA | Normalmente aspirado |
| OVH | Overhaul |
| P | Potencia requerida |
| p | Peso específico |
| PE | Potencia real |
| ph | Ión hidrónio |
| pot | Potencia |
| pulg | Pulgada |
| PVC | Polivinyll cloruro |

| | |
|-------|-------------------------|
| r | Radio |
| R | Resistencia |
| RPM | Revoluciones por minuto |
| s | Superficie |
| sol | Solución |
| t | Tiempo |
| T | Turbo |
| TA | Turbo aspirado |
| vol | Voltio |
| V | Volumen |
| V | Voltaje aplicado |
| % | Porcentaje |
| \$ | Sucres |
| m | Micras |
| Π | Pi |

INTRODUCCION

El tema ha desarrollarse es la aplicación de un principio electroquímico para la recuperación de un elemento mecánico, en este caso los cilindros de un bloque de motor, a través del cromo duro.

Se desea principalmente desarrollar una nueva alternativa para brindar a los diferentes sectores de trabajo una nueva concepción de la electrodeposición a nivel ingenieril.

De los ensayos realizados se procedera graficar curvas que nos determinen el rango de optimización del baño electrolítico, de acuerdo a las especificaciones o propiedades que se desee obtener en el cilindro a recuperar.

Para obtener la deposición de un metal sobre otro, se basa

XVIII

en el hecho de producir una adhesión molecular de los metales a través de la circulación de energía eléctrica entre dos elementos, en este caso el ánodo y el cátodo.

Las pruebas se las llevara a cabo en dos situaciones diferentes, la una será el cromado de las probetas y la otra el cromado del bloque. Cada una de las probetas serán sometidas a una preparación que con lleva a una serie de pasos para posteriormente ser cromada.

Durante el cromado se llevará un control de la temperatura y de la corriente suministrada, posteriormente se realizarán pruebas de laboratorio como son de dureza, medición de espesor, rugosidad y adherencia.

CAPITULO I. EL CROMADO DURO COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACION DE LOS CILINDROS DE UN BLOQUE DE MOTOR.

1.1 PERIODO DE VIDA DE LOS CILINDROS DE UN MOTOR

La vida o duración de todo elemento que se encuentra en funcionamiento depende de las condiciones de operación y del mantenimiento al que es sometido .

De tal manera que el tiempo de duración de los cilindros de un motor dependen especialmente de las condiciones de lubricación y de la carga a la que se somete dicho motor.

En lo referente a las condiciones de lubricación se debe tener muy en cuenta el estado del fluido refrigerante, en este caso el aceite, de tal manera que debe realizar un análisis químico de los elementos presentes en dicho medio, como por ejemplo: la cantidad de carbono, metales, etc., y poder emitir un diagnóstico de la situación del motor.

Para condiciones de carga se debe tener muy en cuenta la

capacidad de operación de dicho motor.

Para realizar todo este estudio existen algunos planes de mantenimiento que ofrecen ciertas empresas como por ejemplo CATERPILLAR, de esta forma se puede llevar una ficha mecánica de cada uno de los motores que se encuentran dentro de este sistema de operación.

De acuerdo a información brindada por la empresa antes mencionada dentro de este plan se encuentran motores del tipo (Tabla No. I):

TABLA No. I

TIPOS DE MOTORES COMERCIALES

| motor | pot.NA | pot.T | pot.TA | #cil. | t de OVH |
|-------|--------|--------|--------|-------|----------|
| 3204 | 100 hp | 180 hp | 160 hp | 4 | 6000 |
| 3306 | 125 hp | 220 hp | 200 hp | 6 | 10000 |
| 3408 | 225 hp | 375 hp | 300 hp | 8 | 12000 |
| 3508 | 310 hp | 680 hp | 580 hp | 8 | 18000 |
| D399 | 690hp | ----- | ----- | 16 | 20000 |

Información proporcionada por CATERPILLAR.

que son los más comerciables en nuestro medio y por lo tanto los más utilizados por el consumidor.

Cada uno de los utilitarios del mencionado plan de mantenimiento recibe su diagnóstico, y por lo tanto la situación en que se encuentra dicho motor, y el tiempo en que va a necesitar un overhaul, el período varia desde las 6000 horas hasta las 20000 horas de opereación dependiendo del tipo o capacidad del motor (Tabla No.II).

TABLA No. II

HORAS PARA OVERHAUL

| TIPO DE MOTOR | HORAS PARA OVERHAUL |
|---------------|---------------------|
| 3204 | 6.000 |
| 3306 | 10.000 |
| 3408 | 12.000 |
| 3508 | 18.000 |
| D399 | 20.000 |

Datos proporcionados por CATERPILLAR.

USOS PRINCIPALES

Los mayores usos de electrodeposición de cromo duro son :

- Aplicaciones a la resistencia al desgaste .
- Mejoramiento del rendimiento y la vida de las cilindros y
- Salvamento de partes.

La tabla No. III lista partes en los cuales el cromo duro es aplicado y nos brinda información con respecto al espesor y el tiempo del recubrimiento. El tiempo de recubrimiento puede ser reducido por el uso de una alta velocidad o la mezcla de baños catalíticos.

TABLA No. III
ELEMENTOS Y MATERIALES

| Partes | Metal base | Espesor micras |
|-----------------------|------------------------|----------------|
| Moldes plásticos | Acero de herramientas | 5-13 |
| Rines de pistón | Acero y hierro fundido | 150-255 |
| Cilindros hidráulicos | Acero 1045 | 13 |
| Herramientas | Acero | 7.5-13 |
| Válvulas | Acero | 7.5-13 |
| Cilindros | Hierro fundido | 255 |

Datos obtenidos de (7).

RESISTENCIA AL DESGASTE

Una amplia información nos indica la efectividad y el rendimiento de las placas de cromo y la reducción del desgaste de los elementos por fricción.

El promedio de vida del recubrimiento de cromo es aproximadamente 5 veces que el fabricado en metal base.

Los vástagos de las válvulas son recubiertas con una capa rápida de alrededor de 0.25 μm (0.01 mils) para reducir el desgaste. Ejes hidráulicos para toda clase de equipos son recubiertos con 2 a 3 μm (0.08 a 0.12 mils) de cromo duro para incrementar la vida útil (7).

RECUPERACION DE PARTES

El recubrimiento de cromo duro es algunas veces usado para restaurar superficies desgastadas o mal maquinadas.

El hecho de que un depósito de cromo puede significativamente reducir el esfuerzo de fatiga debe ser considerado en determinar si el recubrimiento de cromo puede ser usado de forma segura o no.

El recubrimiento de cromo duro es usado para restaurar a sus dimensiones originales las superficies desgastadas de grandes elementos para máquinas a diesel. En estas

aplicaciones en las cuales los recubrimientos usualmente se encuentran desde 125 a 1000 μm (5 a 40 mils). Las excelentes cualidades al desgaste y bajo coeficiente de fricción del cromo son altamente ventajosos. El recubrimiento es conveniente evitarlo al depositarlo en áreas de filetes como una precaución contra fallas de fatiga.

El recubrimiento de cromo duro es aplicado a platos de impresión y para componentes de estereos (7).

FACTORES DE SELECCION

La decisión de usar el recubrimiento de cromo duro en una parte específica debe ser basado en las siguientes consideraciones:

- Dureza inherente y resistencia al desgaste del cromo electrodepositado.
- Espesor de cromo requerido
- Forma, tamaño y construcción de la parte a ser

recubierta, y clase del metal del cual esta hecho.

- Requerimientos dimensionales (7).

1.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

SECTORES INVOLUCRADOS

Para este caso se ha realizado una investigación de los sectores que podrían resultar los más beneficiados con dicho proceso, de tal manera que se los ha separado o designado en tres grupos: El automotriz, El marino e Industrial.

Dentro del sector automotriz se ha introducido los equipos de tipo caminero como son tractores, retroexcavadoras, etc., y los vehículos que son empleados en nuestro medio como sistema de transporte.

En el sector marino los motores son empleados como sistema de propulsión o como generadores.

Y el sector industrial que los utilizan generalmente como generadores y en otras como un sistema impulsor por medio de bandas.

Como se puede observar los motores son el corazón de todo sistema y por lo tanto la necesidad de mantenerlos en muy buenas condiciones. Pero todo equipo tiene su período de funcionamiento y llega el momento de las reparaciones lo cual implica un desmontaje de todo el motor, cambio de piezas, etc. , por lo tanto se tiene que tomar en cuenta el aspecto económico de dicha reparación.

1.3 ALTERNATIVAS DE RECUPERACION

1.3.1 ADQUISICION DE UN BLOQUE NUEVO DE MOTOR

Dicha situación se presenta cuando los cilindros del bloque ya no tienen ninguna solución para poder ser utilizados, es decir cuando estos ya han sido rectificadas en su totalidad y ya no existe una medida de pistón que pueda ser empleado en la dimensión de dicho cilindro. Por lo tanto dicho bloque tendrá que ser recuperado de otra manera para ponerlo nuevamente en funcionamiento.

1.3.2 RECTIFICACION Y ENCAMISADO CON NUEVOS CILINDROS

En éste caso nos queda la opción de rectificar a una sobre medida e introducir un nuevo cilindro, de esta forma cada vez que se desgata o llegue al final de su período de funcionamiento, se tendrá que reemplazar por uno nuevo.

RECUPERACION DEL CILINDRO POR ELECTRODEPOSICION

Dicha alternativa nos presenta la bondad de poder recuperar un cilindro a sus dimensiones originales, dependiendo de las condiciones en que se encuentre el mismo. Estas condiciones pueden ser que el cilindro no haya sido rectificado y por lo tanto puede ser recuperado hasta la condición de un bloque estandar, y operar satisfactoriamente.

A continuación en la Tabla No. IV se presentan costos

de bloques nuevos y de camisas para los motores de mayor comercialización en nuestro medio.

TABLA No. IV
DATOS DE COSTOS

| Motor | Bloque nuevo | Camisas |
|-------|--------------|-----------|
| 3204 | \$22'179.792 | \$175.144 |
| 3306 | \$27'801.323 | \$297.766 |
| 3408 | \$29'808.864 | \$330.999 |
| 3508 | \$61'669.440 | \$651.793 |
| D399 | \$83'749.560 | \$616.529 |

1.4 RECUBRIMIENTO ELECTROLITICO EN CROMO DURO

Es producido por electrodeposición a partir de una solución de ácido crómico (H_2CrO_4) y un anión catalítico en apropiada proporción, en éste caso ácido sulfúrico (H_2SO_4). El metal producido es extremadamente duro y resistente a la corrosión.

El proceso es usado para reconstruir un maquinado mal ejecutado o de partes desgastadas, en tronco de válvulas de automotores , rines de pistón , bielas, etc..

La electrodeposición en cromo duro es también conocido como electrodeposición de cromo industrial y difiere de la electrodeposición de cromo decorativo en los siguientes aspectos:

- Depósitos de cromo duro son destinados principalmente para incrementar la vida de servicio de partes funcionales por el aumento de la resistencia en:
 - a) desgaste
 - b) abrasión
 - c) temperatura
 - d) corrosión

- Depósitos de cromo duro son además aplicados

para restaurar dimensiones de partes desgastadas.

- Cromo duro normalmente es depositado en rangos o espesores de 2.5 a 1000 μm (0.1 a 40 mils) y para ciertas aplicaciones de considerable espesor, mientras para revestimiento decorativo rara vez excede 1.3 μm (0.05 mils).

- Con ciertas excepciones, el cromo duro es aplicado directamente en la base del metal, el cromo decorativo es aplicado sobre chaquetas interiores de niquel o de cobre-niquel, ya sea usado bajo condiciones de brillo (7).

1.4.1 ELECTROQUIMICA DEL PROCESO

LEY DE FARADAY

La electrólisis, de los depósitos metálicos se debe a la corriente eléctrica, ésta pasa a través de una solución llamada electrolito, entre dos electrodos conductores llamados ánodo y cátodo. Los cambios tienen lugar principalmente en los electrodos. En la electrólisis de soluciones galvánicas acuosas, el metal se disuelve a partir de los ánodos o bien el oxígeno se libera sobre ellos y el metal o el hidrógeno se depositan sobre los cátodos.

El principio fundamental de la electrólisis es la conocida Ley de Faraday, la que puede expresarse mediante los siguientes enunciados:

- 1.- La cantidad de cualquier elemento libera ya sea en el cátodo o en el ánodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de la electricidad que atraviesa la solución.

- 2.- Las cantidades de elementos o radicales diferentes liberados por la misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos equivalentes.

Se puede decir que el cambio en la valencia puede sustituirse por la cantidad de un elemento. Esto incluye procesos de oxidación y reducción.

El peso equivalente de un elemento, es su peso atómico dividido entre su valencia que muestra en el compuesto de que se trata (2) (3) (8).

BAÑOS DE ACIDO CROMICO

El ácido crómico (H_2CrO_4) es la fuente del metal(Cr) en los baños de recubrimiento de cromo duro. Sin embargo el ácido crómico por si solo no puede depositarse sobre el metal base

sin la ayuda de los catalizadores. Los catalizadores que han sido probados con resultados exitosos son los aniones ácidos, siendo el primero el ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Cuando la concentración del ácido crómico es baja, no es práctica para la producción por las diferentes razones:

- a) El rango del recubrimiento esta muy limitado.
- b) Las soluciones son más sensibles a la contaminación.
- c) Poseen una alta resistencia eléctrica.
- d) Requieren de un alto voltaje para su operación.

Las condiciones de operación y composición para los baños de cromo y ácido sulfúrico estan dados en la tabla No. V.

TABLA No. V

ACIDO SULFURICO PARA BAÑOS DE CROMO DURO

| TIPO DE BAÑO | ACIDO CROMICO (gr/l) | A.SULFURICO (gr/l) | DENSIDAD DE CORRIENTE (Amp/dm ²) | TEMP. (°C) |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|---|---------------|
| BAJA CONCENTRACION | 250 | 2.5 | 31-62 | 52-63 |
| ALTA CONCENTRACION | 400 | 4.0 | 16-54 | 43-63 |

Datos recopilados de (7).

Los baños de baja concentración son utilizados debido a que son capaces de recubrir más rápidamente que un baño de alta concentración y además minimizan las pérdidas por arrastre.

Una alta concentración del baño tiene la ventaja de ser menos sensibles a los cambios de concentración, es más fácil de controlar y tiene una mejor repartición de la potencia (2) (5) (7).

Debido a que el baño es de alta concentración es más conductivo y por lo tanto puede ser operado a voltajes más bajos y provocan menos temperatura de operación.

Usualmente el mejor rango de operación es desde 195 a 300 gr/L de ácido crómico (7).

ELEMENTOS DEL BAÑO ELECTROLITICO

GENERADORES

El requisito más esencial para el proceso de depósito electrolítico es una fuente de corriente directa de bajo voltaje. Frecuentemente se emplea un generador impulsado por un motor puesto en marcha por la corriente comercial.

Las partes más esenciales del generador son: la armadura, los omanes, el conmutador y las escobillas (5).

La consideración más importante al escoger un embobinado para los generadores es el mantener un voltaje constante cuando la carga de un tanque cambia mucho.

El tipo de motor que se emplee para operar el generador está determinado por la fuente de corriente disponible y por la potencia de salida requerida, tomando en cuenta además la eficiencia del generador.

Para determinar la capacidad del motor se puede utilizar las siguientes formulas: $P = A \cdot V$ y $PE = 100 / e' \cdot P$, donde P es potencia requerida, A es la corriente de operación, V es el voltaje aplicado, PE es la potencia real del generador, e' es la eficiencia requerida. Si esta potencia requerida se la divide para 746 y se obtiene la potencia del motor en HP(8).

RECTIFICADORES

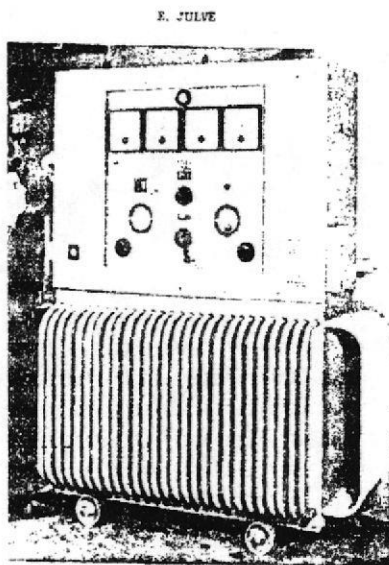
Como la energía eléctrica se distribuye a las plantas en

forma de corriente alterna, es necesario para poder usarla rectificarla, transformandola a corriente directa, y para reducir el voltaje se usa un transformador reductor.

Actualmente existen tres tipos de rectificadores de uso común en la industria galvanotécnica, en los cuales las superficies de las placas rectificadoras consisten respectivamente en : 1) óxido cuproso, 2) sulfuro cuproso de magnesio y 3) selenio.

La eficiencia eléctrica inicial de estos rectificadores a carga completa es relativamente alta, alrededor de un 70 %. Las eficiencias de operación de algunos tipos de rectificadores son menores del 50 %, en vista de que se genera una cantidad de calor considerable por el paso de la corriente a través de las placas del rectificador, y su eficiencia decrece a temperaturas altas, es necesario, por consiguiente, proveerlo de refrigeración. Esta se suministra comunmente por medio de aire limpio y frío

solplado con ventiladores. Preferentemente el aire debe ser movido directamente desde fuera para evitar polvo, vapores y humo, los cuales reducen la eficiencia. También se emplea aceite refrigerante pero éste puede introducir ciertos riesgos de incendio (5) (8).



BIBLIOTECA

FIG. No. 1 RECTIFICADOR

TIPOS DE CORRIENTE

El electrodeposición de metales se hace casi exclusivamente

con corriente directa, han sido propuestas algunas modificaciones en las cuales la corriente es interrumpida o invertida. Tales modificaciones pueden influenciar la polarización del ánodo o del cátodo, y por lo tanto, la eficiencia del electrodo, cambiando la estructura o calidad de los depósitos (3) (7) (8).

CONDUCTORES

Con corrientes pequeñas derivadas , pueden usarse cualquier alambre conductor ordinario. Con corrientes altas la medida de los conductores es un factor importante. Los dos factores que gobiernan el tamaño mínimo de los conductores son la pérdida de potencial disponible debido a la resistencia y calentamiento de los conductores. La principal razón para usar conductores de baja resistencia es que la fem disponible es siempre limitada y si hay una resistencia apreciable en el conductor, esto equivale a reducir el voltaje del generador en una cantidad proporcional al producto de la corriente y de la resistencia,

es decir, la caída IR .

El metal más comúnmente utilizado es el cobre, deberá realizarse cualquier esfuerzo para reducir la longitud de las barras conductoras, pero si son superiores a 20 ft. la sección transversal deberá incrementarse a fin de que no se transmitan más de 500 amp/pulg².

Las barras planas son mejores conductores que las redondas ya que brindan mayores puntos de apoyo, exponen mayor área a la radiación y pueden ser fácilmente colocadas en las paredes; dos o más barras pueden unirse las unas a las otras y armarse los conductores de la capacidad que se desee (8).

CONTACTOS

Es muy importante el método de hacer contactos a lo largo del circuito. La resistencia de un contacto mal hecho puede ser varias veces tan grande como el de las barras conductoras. Es muy común realizar conecciones con pinzas

especiales y de manera permanente.

Los ganchos de los ánodos deberían ser, siempre que sea posible moldeados, insertados, atornillados o soldados dentro de los ánodos a fin de que hagan contactos permanentes (2) (3) (8).

MEDICION DE CORRIENTE

INSTRUMENTOS ELECTRICOS

El propósito del amperímetro es medir la corriente que fluye en un circuito , en cualquier momento , mientras que un voltímetro se usa para medir diferencia de potencial entre dos partes de un circuito. La diferencia esencial entre un amperímetro y un voltímetro, es que el primero va colocado en serie con el tanque , es decir en el circuito principal, de modo que toda la corriente pasa por él. La resistencia del amperímetro es muy baja , de modo de presentar una mayor sensibilidad . El voltímetro está conectado a través del tanque , es decir en paralelo, y de

modo general utiliza una bobina de un gran número de vueltas de alambre fino.

La densidad de corriente obtenida numéricamente es solo una aproximación y no la verdadera que necesitará el sistema. En objetos de forma irregular o con entrantes profundas, la densidad de corriente y espesor de depósito pueden ser más de cinco veces mayores en unas partes que en otras (3) (5).

TANQUES

Primeramente, se considerará el material del que van a ser construídos, de tal manera que los factores a tomar en cuenta serán los siguientes, 1) resistencia al ataque de las soluciones concernientes, 2) fuerza mecánica para las cargas en cuestión y 3) costo, incluyendo inversión, mantenimiento u depreciación . Otros factores como la conductividad eléctrica y la térmica pueden también influir en la elección de los materiales (2) (3) (8).

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales que se han utilizado o se han sugerido para la construcción de tanques incluyen la madera, hierro.

Para tanques experimentales pequeños, vidrio, hierro esmaltado y materiales plásticos. Las soluciones que van a estar en contacto con dichos materiales son: 1) neutras, 2) ácidas y 3) alcalinas. Cuando los materiales no poseen la resistencia química deseada, se pensará en forros o revestimientos adecuados (5).

MADERA

Anteriormente la mayoría de los tanques estaban hechos de madera, forrados si era necesario con otros materiales.

Este uso general de la madera se debía no sólo a su bajo costo o especial adaptabilidad para un propósito

determinado, sino también al hecho de que pueden ser fabricados por carpinteros y su equipo ordinario.

La madera no es resistente a la acción de las soluciones como lo son muchas otras sustancias y, a los precios actuales un tanque de madera bien hecho puede costar tanto como otro hecho de distinto material.

Las propiedades deseables de la madera para tanques galvanizadores son: impermeabilidad y carencia de constituyentes de fácil solución. Las maderas que han resultado más satisfactorias son ciprés, arce y sequoia.

La vida útil de un tanque de madera depende de su construcción, deberán ser reforzados no solo con remaches de monel en los extremos sino también con varillas que atraviesen las duelas (5).

FORROS PARA MADERA

Para agua o soluciones neutras se puede usar tanques de

madera sin forros. De esta manera se mantienen las duela húmedas e hinchadas, conservándolas bien unidas. Para soluciones fuertemente alcalinas no son recomendables los tanques de madera ya que aún con forro es atacada por el álcali.

Para baños ácidos más débiles el interior del tanque puede ser pintado con barnices que contengan plásticos sintéticos (5).

HIERRO Y ACERO

Para soluciones alcalinas se utilizan exclusivamente tanques de hierro o acero.

Estos deberán ser de metal de una medida gruesa, pues de otra manera se deforman rápidamente o se corroen en el exterior.

Las uniones se las realiza por medio de soldadura autógena o de arco, preferiblemente con doble ceja.

La desventaja de los tanques de acero es que son conductores y por lo tanto propensos a producir un corto circuito (2) (5).

FORROS DE HULE Y PLASTICO

Los tanques forrados de hule se usan bastante para baños de ácido y neutros. El hule de calidad adecuada es muy resistente a tales soluciones y sus propiedades aislantes evitan los cortocircuitos.

Para el cromado se emplean generalmente tanques de acero, provistos de un forro de vidrio fundido, de plástico como el polietileno (5).

VIDRIO, HULE COMPACTO Y HIERRO ESMALTADO

Son relativamente baratos y prácticamente inafectables por ácidos y álcalis, permiten la observación de la posición y condición de los electrodos. Si se calientan gradualmente pueden contener soluciones calientes aunque algunas veces están mal templados y pueden rajarse en cualquier momento. El hule es bastante resistente a las soluciones ácidas, pero no a las alcalinas. El hule se suaviza a temperaturas altas por lo tanto no es recomendable subir la temperatura a más de 40°C.

El hierro esmaltado tiene prácticamente la misma resistencia a los ácidos y a los álcalis que el vidrio, pero tiene la desventaja que después de largo uso tiende a despostillarse (2) (3) (5).

AISLAMIENTO ELECTRICO

En cualquier caso, pero especialmente cuando se usan

tanques de metal o forrados de metal, es necesario usar algún metal aislante para sostener y separar las barras conductoras a lo largo de la orilla de los tanques. La dificultad principal está en obtener materiales aislantes que no absorban la solución o sean atacados por ella. Si las tiras aislantes se impregnan con la solución se hacen conductoras de la electricidad. Bajo estas condiciones no solo hay pérdida de corriente sino ataque a las barras conductoras. Lo más común es usar tiras de madera. El hule endurecido, bakelita y otros plásticos son muy adecuados, siendo compensados el gasto por la mayor resistencia.

El vidrio es satisfactorio en todos aspectos, excepto por su fragilidad (3) (5).

ANODOS

En cualquier proceso electroquímico, el estado de los ánodos utilizados ejerce una gran influencia en la calidad del depósito obtenido.

Los ánodos de fundición no suelen ser tan puros, si bien poseen en general buena solubilidad.

Para evitar que las posibles impurezas de los ánodos pasen al baño se acostumbra a ensacarlos en fundas de tela tupida, de fibra natural o artificial, las cuales permiten el intercambio iónico con el baño, reteniendo el material insoluble.

En casos especiales se utilizan ánodos de tipo insoluble, y cuando las piezas poseen una forma muy irregular, se usan, a su vez ánodos suplementarios o auxiliares, que permiten una mejor distribución de la corriente eléctrica.

Acero de bajo contenido de carbono puede ser utilizado por cortos períodos de trabajo (sin cubierta de plomo) y cuando tienen cubierta por largos períodos (2) (3) (5) (7).

ELEMENTOS DE CALEFACCION

La mayoría de los baños electrolíticos necesitan de un sistema de calefacción, debido a la elevada concentración de la solución y a las densidades de corriente empleadas.

La calefacción de los baños se lo realiza directamente en el recipiente por medio de resistencias eléctricas de inmersión, o bien mediante serpentines de plomo o acero inoxidable a través de los cuales pasa gas o vapor.

La calefacción mediante energía eléctrica es más cómoda y limpia aunque no es tan económica, pudiendo ser controlada mediante sistemas termoreguladores.

Constan básicamente de una resistencia eléctrica aislada, introducida dentro de un tubo de acero inoxidable revestido de plomo, cuando se emplea para calentar soluciones ácidas, se puede introducir la resistencia en un tubo de cuarzo o de

porcela especial, cuando se utiliza para fines más generales. Los calentadores de cuarzo presentan la ventaja de tener una mayor resistencia al ataque químico de soluciones ácidas o moderadamente alcalinas.

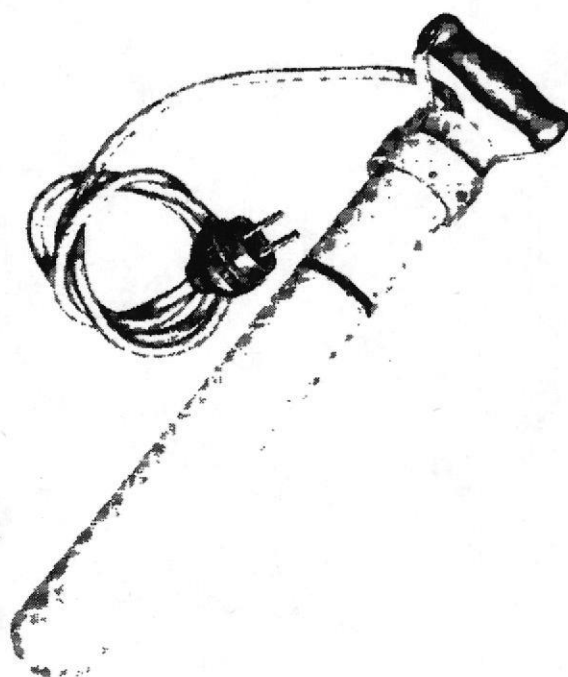


FIG. No. 2 Calentador de cuarzo.

ELEMENTOS DE AGITACION

Para lograr una permanente homogéneidad en el baño, y permitir un adecuado transporte iónico, es preciso un dispositivo de agitación. Uno de los sistemas de agitación utilizados es insuflar aire comprimido por medio de serpentines que llevan pequeños orificios, por los cuales se produce la agitación de la solución. Este tipo de agitación requiere de un sistema de filtración, ya que el aire comprimido remueve lodos en el fondo del recipiente.

Otro sistema de agitación consiste en producir un desplazamiento horizontal, vértical o circular del cátodo.

Al producir este tipo de movimiento permite una deposición uniforme y la utilización de altas densidades de corriente.

De los tres movimientos el mayormente empleado es el horizontal, aplicando éste vaivén a la barra catódica

mediante una palanca una acodada, movida por transmisión o por un motor acoplado a la cuba (5) (7).

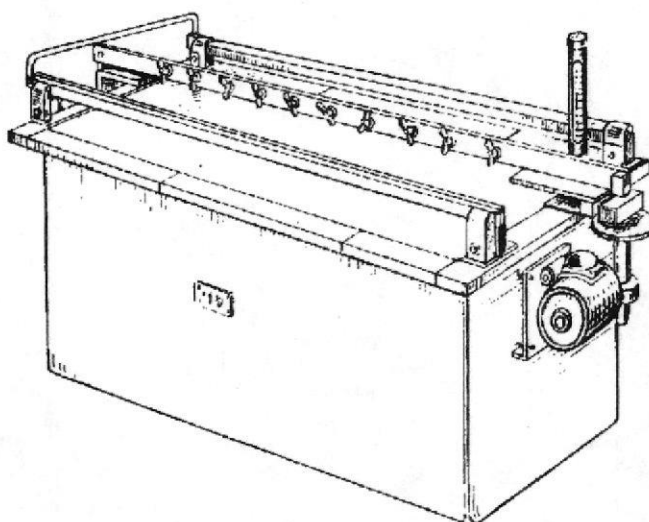


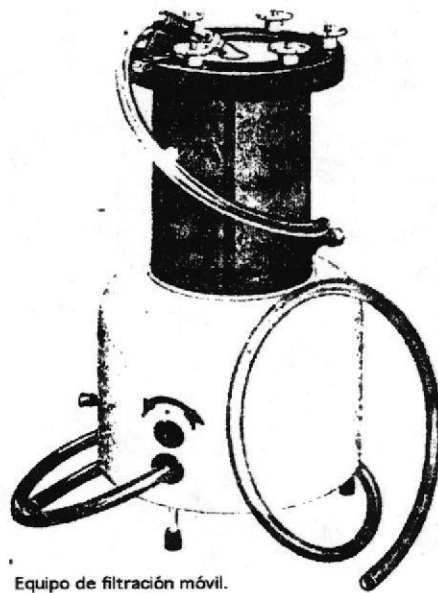
FIG. No.3 AGITADOR DE TIPO HORIZONTAL.

ELEMENTOS DE FILTRACION

Es indispensable que el baño se encuentre libre de toda suciedad, ya que el polvo, lodos, compuestos químicos insolubles, etc., pueden dar lugar a depósitos ásperos o rugosos y además disminuir su brillo.

Se utilizan distintos procedimientos para la filtración de

las soluciones, desde los conos de filtración hasta los filtros prensa, incluyendo además los filtros de candela, las unidades filtrantes precubiertas y los filtros centrífugos (3) (5).



Equipo de filtración móvil.

FIG. No. 4 FILTRO MOVIL

BASTIDORES O ARMADURAS

Para un mejor trabajo y un buen contacto entre las barras

conductoras y las piezas a tratar se utilizan unos ganchos, de formas diversas, denominadas bastidores o armaduras.

Los objetos a tratar cuelgan de los bastidores, que son construídas de un material conductor, y estos a su vez cuelgan de la barra catódica.

Los bastidores se construyen de acuerdo con la forma y tamaño de la pieza, es decir que no tienen una forma definida o universal (5) (7).

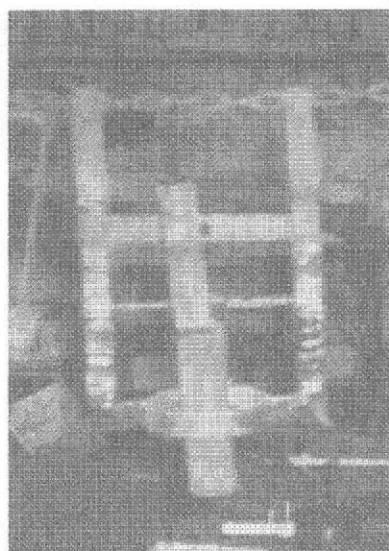


FIG. No. 5 BASTIDOR.

ELIMINACION DE CONTAMINANTES DE LA ATMOSFERA DE TRABAJO.

El proceso de recubrimiento de cromo produce una niebla de ácido crómico, que es altamente tóxico, la máxima concentración admisible es para 8 horas continuas de exposición es de 0.1mgr. de niebla de ácido crómico por m³ de aire. Este valor de concentración esta de acuerdo con las recomendaciones de la conferencia Americana de Industriales . Debida a la extrema toxicidad de la niebla es necesario proveer de una ventilación de 60 m³/min*m². de área de solución .

Generalmente este humo es expulsado desde el tanque de la solución a través de una capucha de expulsión lateral a lo largo de los lados del tanque. La velocidad del aire dentro de la capucha debe ser 600 m/ min o más (7).

MANTENIMIENTO

El mantenimiento para un tanque en una instalación , se debe realizar periódicamente.

Diariamente:

- Chequeo de la temperatura.
- Chequeo de la concentración del baño.
- Limpieza de las barras de distribución y conexiones eléctricas.

Semanalmente:

- Análisis de los contenidos de ácido crómico y ácido sulfúrico.

Mensualmente:

- Remoción de todos los cedimentos y purga del tanque.
- Control del cromo trivalente para recubrimiento de interiores.

Semestralmente:

- Revisión de los tanques, que no exista fugas y el revestimiento no este deteriorado.

- Limpieza e inspección de los rectificadores.
- Chequeo y calibración del amperímetro (3) (7).

METAL BASE

La mayoría de los depósitos se los realiza en aleaciones ferrosas, sin embargo en numerosas aplicaciones aeroespaciales requieren de recubrimiento de cromo en aleaciones base de aluminio y níquel.

Desde el punto de vista de procesamiento, el recubrimiento de cromo duro puede ser aplicado a aceros debido a su dureza en su superficie o composición química, el metal base debe ser lo suficientemente fuerte para soportar la capa de cromo en servicio. Similarmente las fundiciones pueden ser recubiertas, siempre que sean capaces de conducir la corriente requerida y libres de : vacios, perforaciones, inclusiones de silicato grueso, astillas y filos rebordeados.

El proceso completo para la obtención de un recubrimiento comprende varias operaciones.

- Desbastado o esmerilado
- Pulido
- Decapado, y
- Desengrasado

DESBASTADO

Es la primera operación a que se somete la superficie de una pieza. En algunos casos, el desbastado no es necesario, pues la superficie del objeto a tratar posee ya las adecuadas características de tersura; pero cuando el objeto es de recién fabricación, y reciente fundición, posee rebabas, escamas, y a veces, incluso costras , que es preciso eliminar, a fin de que la superficie quede convenientemente preparada para el posterior pulido.

Según el estado de la superficie de la pieza se utilizan para llevar acabo la operación de desbastado , desde muelas de

distinto grano hasta discos de fieltro impregnados de esmeril, corindón, granate, tierra de trípoli e incluso piedra pómez, además de distintas productos elaborados con polvo de aleaciones de acero o compuestos de boro y vanadio.

Cuando el material a desbastar posee gran cantidad de costras de óxido u otro tipo de impurezas, suele emplearse, para grandes producciones, el procedimiento del arenado a presión. El efecto abrasivo, se debe, en éste método, al choque y rozamiento de las partículas arenosas contra la superficie del metal a tratar (5) (8).

PULIDO

La operación que sigue al desbastado es el pulido propiamente dicho. Aunque esta denominación se aplica a todas las operaciones que tienen por objeto alisar la superficie de un metal, ya sea mecánicamente o electrolíticamente, pueden diferenciarse tres tipos de

pulido: el pulido esmerilado, que procede a la operación del desbastado, el pulido suave que sigue a éste pulido-esmerilado y el pulido abrillantado, que antecede, en la mayoría de los casos .

En esencia, no existe gran diferencia entre estos tipos de pulido, distinguiéndose únicamente en la clase de discos y en la finura del grano, de 200-220 en adelante, siendo la clase de tela empleada de tipo blando.

Cuando las piezas a pulir poseen perfiles irregulares, con partes entrantes y salientes a los que no pueden llegar el tipo de muelas y discos descritos, se utilizan gratas o cepillos circulares, constituidos por finos hilos de metal, de fibras animales o bien de fibras artificiales (5) (8) .



FIG. No. 6 PULIDORA.

Estos cepillos han sido especialmente útiles para hacer desaparecer pequeñas manchas e imperfecciones aparecidas sobre la pieza después del pulido con discos o muelas (5) (8).

DESENGRASADO

Cuando las piezas llegan, están recubiertas, de una película más o menos gruesa de grasa procedente de la mecanización de las mismas o del contacto manual.

Para eliminar esta capa de grasa de distintas procedencias,

adherida a la superficie del metal a recubrir y cuya presencia impediría la activación de dicha superficie dificultando o impidiendo con su presencia la deposición sobre ella del metal deseado.

Pueden distinguirse cinco procedimientos de desengrasado, algunos de ellos parecidos entre sí:

- Desengrase con disolventes orgánicos.
- Desengrase por emulsión.
- Desengrase por inmersión en soluciones alcalinas.
- Desengrase electrolítico con soluciones alcalinas.
- Desengrase con ultrasonidos.

En general, se acostumbra a proceder a un primer desengrasado con disolventes orgánicos, seguido de un desengrase químico por inmersión o por un desengrase electrolítico (5) (8).

DECAPADO

La mayor parte de los metales están expuestos a formar una capa de óxido, difícil de eliminar mediante las operaciones mencionadas.

Para eliminar la capa de óxido es necesario utilizar el método de decapado. Para realizar esta operación se han utilizado diversos ácidos según la clase de metal o la clase de impureza a eliminar.

De todos ellos los más utilizados son el ácido clorhídrico y sulfúrico, en diversas concentraciones.

Los ácidos empleados en esta operación, al mismo tiempo que disuelven y arrancan las costras adheridas al metal.

La concentración de las soluciones clorhídricas utilizadas para el decapado varía entre 6 a 20% en peso de ClH , pudiéndose trabajar a temperatura ambiente o a 45°C .

El decapado con ácido clorhídrico es más caro que con el ácido sulfúrico, sin embargo el ataque es más rápido, dándole a la pieza un aspecto más liso y brillante. El inconveniente es su dificultad para almacenar, su costo y los gases tóxicos que desprende durante la operación.

Cuando la solución desprende gases tóxicos, estos recipientes deben llevar un dispositivo de aspiración y extracción.

Otro procedimiento para decapar piezas cuando existe una gran cantidad de costras de óxido y calaminas, es el arenado a presión, y consiste en proyectar un chorro continuo de arena u otro material abrasivo. Se utilizan técnicas diferentes para el arenado: el arenado en húmedo y el arenado en caliente. La más empleada es la primera, proyectando a gran velocidad un chorro fino de material abrasivo conjuntamente con agua, evitando de esta manera la producción de sílice, sumamente peligroso para la salud de los operarios (5) (8).

1.4.2 VARIABLES EN CONSIDERACION

DENSIDAD DE CORRIENTE

Lo más deseable es el uso de altas densidades de corriente que sea posible, incrementando por lo tanto la tasa de producción de una unidad dada.

Dentro de ciertos límites, un incremento de la densidad de corriente, disminuye el tamaño del cristal.

Sin embargo, cuando la densidad de corriente excede del valor límite para un baño dado y para una temperatura dada hay una marcada tendencia en la producción de depósitos rugosos y arborescentes. Un incremento posterior en la densidad de corriente proporcionará depósitos esponjosos o quemados, los cuales contienen hidróxidos o sales básicas ocluidas.

Todos estos cambios son consistentes cuando se incrementa la densidad de corriente, la concentración disminuye, en tanto que la polarización aumenta. La densidad de corriente límite en una solución dada ha sido empleada para calcular la composición y el espesor de la película catódica y viceversa.

Para determinar la corriente a aplicarse se emplea la fórmula:

$$W = I \cdot E \cdot t$$

W Peso depositado (gr)

I Corriente generada (amp)

t Tiempo de exposición (hr)

E Equivalente electroquímica (gr/amp-hr)

$$W = \frac{e}{s} \cdot p$$

e Espesor (micras)

p Peso específico (gr/cm³)

s Superficie a recubrir (dm²)

E = $\frac{\text{Peso atómico}}{\text{cte. Faraday} \cdot \text{Valencia}}$

Para determinar la $I_{teórica}$ (8):

$$s=2\pi rL = 2*3.14*44.6*50= 1.38 \text{ dm}^2$$

$$p=1.1678 \text{ gr/cm}^3(\text{tabla No. XIX})$$

$$\text{Peso atómico}= 51.996$$

$$\text{Valencia}= 6 (\text{Tabla No. XVIII})$$

$$E= 51.996/6*26.8= 0.323 \text{ gr/amp-hr}$$

$$W=80/1.38*1.1678=49.64 \text{ gr}$$

$$I= 49.64/1.33*0.323= 115.6 \text{ amp}$$

TEMPERATURA

En general un incremento de la temperatura ocasiona un aumento del tamaño de los cristales.

El incremento en la talla de los cristales corresponde a una disminución de la polarización para más alta temperatura.

Los depósitos tersos y grano fino, se producen frecuentemente mediante soluciones calentadas, y

obtener altas temperaturas al igual que la densidad de corriente sean benéficas. La densidad de corriente elevada contrarresta el efecto de la temperatura alta.

La influencia de la temperatura está condicionada por una solubilidad mayor de la sal metálica, lo que a su vez proporciona una conductividad más alta de la solución.

Una elevada temperatura incrementa la movilidad de los iones metálicos y disminuye la viscosidad de la solución, así que la película catódica se ha reaprovisionado más rápidamente, lo cual reduce la tendencia a la formación de estructuras arborescentes e incrementa también la densidad de corriente obtenida a partir de un voltaje dado.

Otra ventaja de las altas temperaturas es que hay menos absorción de hidrógeno por los depósitos y

menos tensión y tendencia de producir fisuras (7).

COMPOSICION DEL BAÑO

Los metales pueden depositarse solamente a partir de soluciones que tienen disueltos compuestos de esos metales.

Entre las ventajas que tenemos por el uso de soluciones fuertes encontramos, primero, una conductividad mayor; segundo, una más alta densidad de corriente permitida; y tercero, una eficiencia catódica más elevada.

Las desventajas, primero, un costo más alto tanto inicial para la preparación de los baños y para retiro de las piezas, en virtud de que se tienen soluciones más voluminosas, más corrosivas y viscosas; la segunda, la tendencia de cristalización sobre las paredes del tanque y los electrodos; y

tercero, un probable descenso de la eficiencia anódica.

Se utilizan concentraciones intermedias, pero la tendencia actual es la de emplear soluciones lo más concentrada posible.

Para cualquier condición de operación dada, ciertas concentraciones de los constituyentes del baño representan las óptimas para determinados resultados; cuando estas condiciones han sido definidas, deben mantenerse lo más cercana posible a ellas.

En la mayoría de los casos, las concentraciones de los diferentes constituyentes del baño deben de variarse en forma proporcional(7) (8).

TIEMPO DE RECUBRIMIENTO

Es un factor más importante ya que el tiempo que la pieza se encuentre en exposición al baño, se podrá determinar el espesor que alcanzará dicho recubrimiento. Por medio de esta variable se puede determinar el consumo de energía y por lo tanto el costo del trabajo a realizarse.

CAPITULO II. CONSTRUCCION DEL MODELO EXPERIMENTAL Y
ENSAYOS

2.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MODELO.

GENERADOR- RECTIFICADOR

El empleado es de una capacidad de 20 voltios y de 1000 amperios.

El sistema de enfriamiento es por medio de un ventilador interior que le proporciona y una adecuada temperatura para el sistema, además de evitar que se filtren todo tipo de elementos en el interior del rectificador.

La acometida para el generador es directamente de las líneas de suministro de energía, de tal manera que es trifásica.

El panel de controles se encuentra sobre la misma máquina de tal manera que se tiene un dominio absoluto sobre la misma, además de poseer un sistema de protección en caso de existir un sobre voltaje.

CUBA ELECTROLITICA

Para la prueba se empleará una cuba de material plástico (pvc), debido a las propiedades que presenta: de resistencia al ácido, resistencia a la temperatura .

Se debe en lo posible construir las cubas con un refuerzo a una distancia de 1/3 de la altura, para evitar que ésta se deforme producto de la presión ejercida por el fluido en el interior.

Para la prueba o el cromado de los cilindros del bloque se utilizará una cuba de hierro de mayores dimensiones, con una capacidad de 1000 litros, el interior se encuentra

recubierto con una capa de fibra de vidrio, de tal manera que pueda proporcionarle el aislamiento y protección necesaria al tanque.

El tanque debe encontrarse ubicado sobre una superficie bien preparada de tal manera que no vaya a existir la posibilidad de que el tanque empiece a deteriorarse por la parte exterior y por lo tanto correr el riesgo de producir fisuras en la fibra de vidrio.

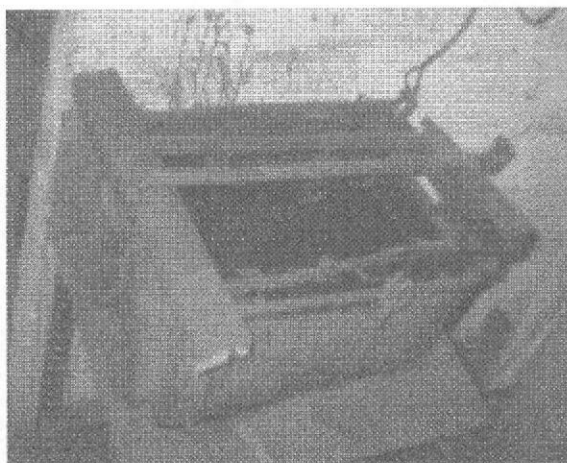


FIG. No. 7 CUBA ELECTROLITICA.

RESISTENCIA

La resistencia poseerá una longitud de 30 cm. de longitud con 10 cm. de zona fría, de tal manera que el nivel de la solución se deberá encontrar siempre a la altura de la zona fría ya que de no ser así la resistencia se podría quemar.

Se la construirá de hierro y con una potencia de 1200 watts a un voltaje de 220 volt., para evitar que el ácido la destruya se la protegerá con una cubierta de plomo de forma rectangular, debido la forma del molde donde se la fundirá.



FIG. No. 8 RESISTENCIA ELECTRICA

ANODOS

Se construirán dos tipos de ánodos, uno se empleará para las pruebas con las probetas y el otro para el recubrimiento de los cilindros del bloque.

El primer ánodo se fundirá en un molde de arena, los elementos fundamentales serán el plomo y el estaño de tal manera de conseguir la mejor fluidez de la corriente a través del mismo.

Para el bloque se construíran los ánodos de hierro sin recubrimiento de plomo, ya que son más livianos y por lo tanto más manejables en el instante de su instalación en el bloque. Se debe tener muy en cuenta que se puede realizar la prueba de éste modo ya que solo se los empleará una vez y se la podría catalogar como una prueba corta sin que el ácido los deteriore.

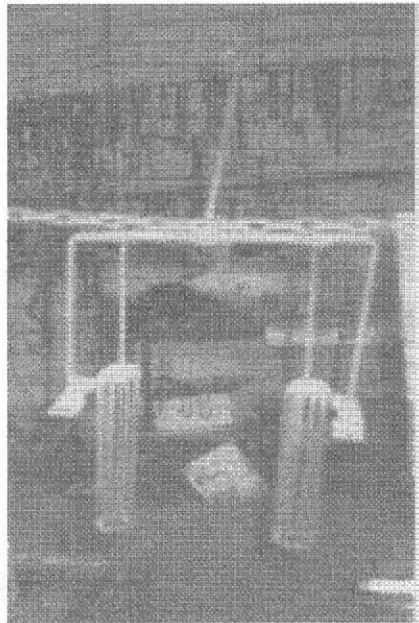


FIG. No. 9 ANODO DE HIERRO.

BASTIDORES

Se los elaborará de la forma más adecuada, conforme se acople mejor a la pieza a recubrir.

El material que se empleará es de hierro, de tal manera que se pueda conformar de la manera más apropiada como se muestra en la fig. No. 10.

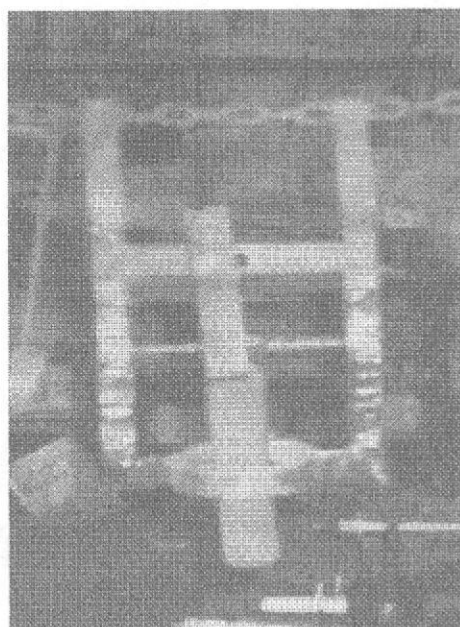


FIG. No. 10 BASTIDOR DE HIERRO.

Deberá ajustarse de una manera que proporcione un buen contacto tanto con la barra conductora, al igual que con la pieza.

Los extremos del bastidor se doblarán de tal manera que se pueda sujetar de la barra conductora y proporcionar facilidades de manejo durante el movimiento de la misma, ya sea en el instante de introducirla en el baño como en el

momento de sacarla del mismo.

CONTACTOS

Se los realizará de tal manera que se pueda tener mejor fluidez de corriente, la conexión se la ejecutará mediante platinas de hierro para proporcionar la mayor área de contacto.

Los cables para dicho proceso será de un calibre 4.0 y evitar que el mismo se caliente y exista pérdida de potencia por emisión de calor, se puede enfriar los cables con agua y evitar una mayor pérdida de energía.

ELEMENTO DE AGITACION

El movimiento horizontal será proporcionado por un sistema que va conectado a un motor el cual le transmite un desplazamiento a través de un eslabón.

Este movimiento es muy lento para producir una mejor deposición de los iones metálicos y mejorar la fluidez de energía. Este tipo de movimiento se aplicó al bloque de tal forma de conseguir una deposición más uniforme.

2.2 PREPARACION DE LA PIEZA A RECUBRIR.

Para proceder con éste paso es fundamental que se elabore un procedimiento a seguir para no tener problemas durante la electrodeposición.

Para simplificar y detallar cada uno de los procedimientos a seguir se presenta un diagrama de bloques, ver fig. No. 11 que pretende ofrecer una guía para ejecutar dicho trabajo.

En éste caso se presenta dos caminos a seguir ; el uno implica la preparación del bloque y el otro de las probetas que un momento determinado se unen para llegar al mismo fin, el cromado.

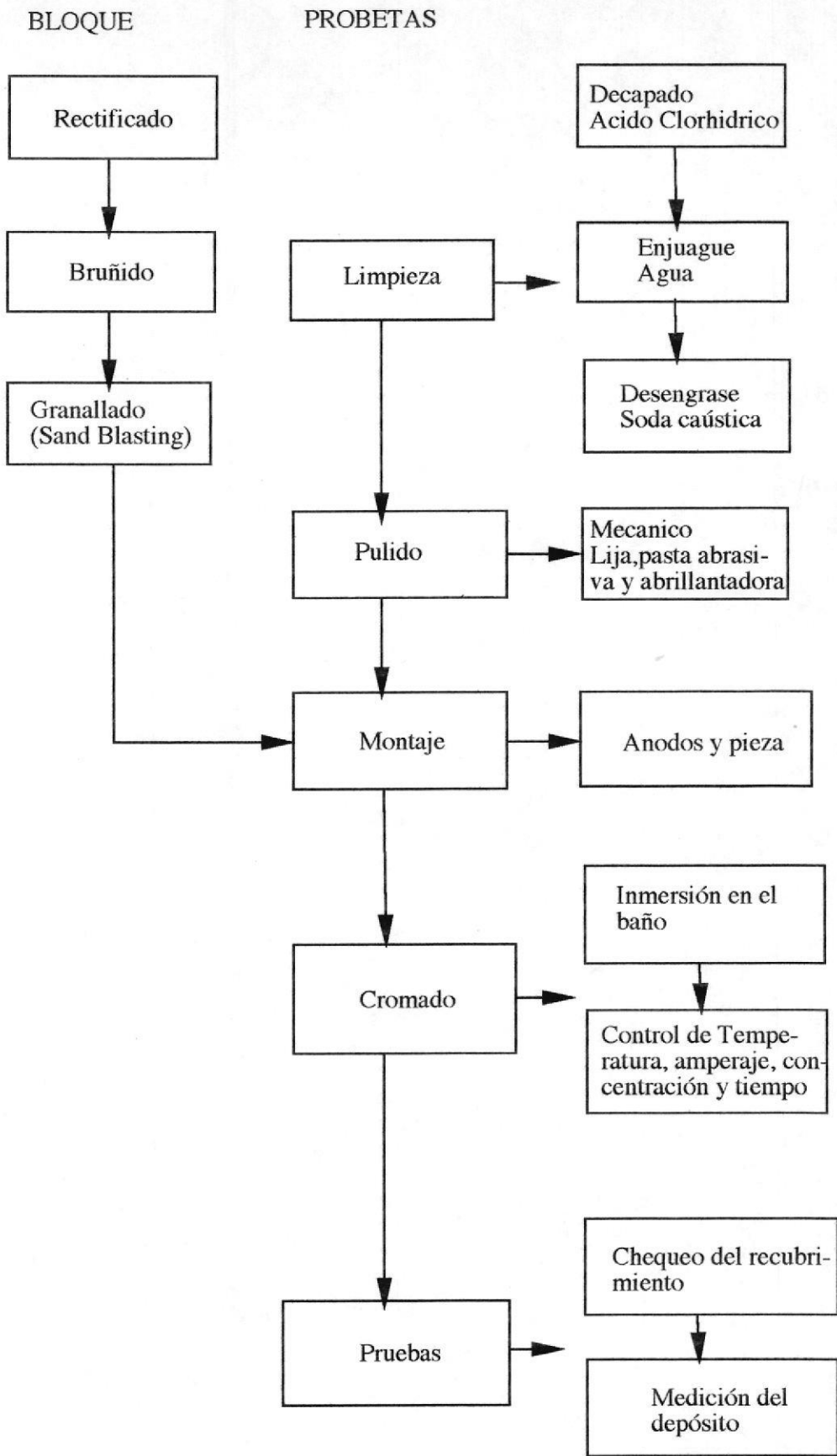


FIG. No. 11
DIAGRAMA DE BLOQUE PARA PREPARACION DE PIEZAS

DECAPADO

Se lo realizará empleando ácido clorhídrico en una concentración al 2%, que se preparará en una cuba de PVC donde se introducirán las probetas por un período de 5 min. a fin de eliminar la capa de óxido que se encuentra sobre la superficie.

Se debe tener cuidado ya que durante el manejo de las probetas estas quedan impregnadas del ácido y es muy tóxico.

Una vez realizada dicha operación se procede a un enjuague con agua para que el ácido no continúe actuando sobre las probetas.

PULIDO

Para éste trabajo se empleará un equipo denominado motor tool, que funciona con aire comprimido a una velocidad de

12000 a 24000 RPM.

En el extremo de la herramienta se coloca un dedo de fieltro el cual será cubierto por una goma y luego por una pasta abrasiva que posee un tamaño de grano 200 para conseguir que las rayaduras desaparezcan de la superficie.

Una vez conseguido éste objetivo se empleará un nuevo dedo de fieltro con pasta abrasiva de tipo 500 para conseguir un mejor acabado y la eliminación total de óxido que existiese.

De acuerdo al pulido realizado se pueden conseguir rugosidades muy bajas y de gran brillantes.

DESENGRASE ELECTROLITICO

El baño consistirá de una solución de soda caústica y de cianuro de sodio de tal manera que se desprendan los residuos de elementos contaminantes de la superficie y no vayan a ser causa de una deficiente deposición.

En éste caso la pieza se convierte en el ánodo y el tanque metálico en el cátodo, de tal manera que todo elemento adherido se desprenda de la probeta y se depósite sobre el tanque.

La composición del baño consta de 45 gr/l. de soda y 0.5gr/l. de cianuro.

RECTIFICADO, BRUÑIDO Y ARENADO DEL BLOQUE

Este proceso se lo realizará para eliminar la ceja que existe en el cilindro producto del trabajo realizado.

En éste caso se empleará una cuchilla de punta de diamante y se debe evitar que la rectificadora sea muy profunda y así tener un mínimo de espesor a recuperar con cromo.

La rectificadora posee un movimiento planetario para el

husillo de rectificar. La profundidad del corte varía con la dureza del material y el diámetro del cilindro de trabajo y depende en forma muy especial de la experiencia del operador.

El bruñido es una forma de pulido, se mejora el acabado de la superficie, se remueve muy poco material. El bruñido comprende dos etapas: reducción y coloración.

La reducción consiste en la eliminación de rayaduras y otras marcas producto de las operaciones realizadas y la coloración es un acabado más fino y de eliminación de lustre.

Para proporcionar una porosidad adecuada se realizará un arenado en cada uno de los cilindros con coridón. Aparte de la porosidad le brinda una superficie para que el cromo tenga una mayor penetración y adherencia.

2.3 CONTROL DE VARIABLES

2.3.1 TEMPERATURA DEL BAÑO

Afecta tanto a la conductividad baño como a la corriente requerida. Si la potencia disponible en un recubrimiento es satisfactorio, puede ser obtenido a bajas temperaturas; pero si el suministro de potencia es el adecuado, es ventajoso trabajar a temperaturas más altas de 66°C debido a la rápida deposición y la mejora de la durabilidad del depósito. Para una temperatura de 43 a 49°C las densidades de corriente adecuadas son de 8 a 30 Amp/dm².

Para éste caso se trabajo a una temperatura de 45°C que es la temperatura más adecuada para esta deposición.

Además se destinaron tres probetas para proceder a una electrodeposición a diferentes temperaturas que son de 30,45 y 60°C., Obteniendose los siguientes resultados que se presentan en la Tabla No. VI:

TABLA No. VI

VARIACION DE LA TEMPERATURA

| T(°C) | KN | t(hr) | I(amp) | e(mm) | V(vol) | C(gr/l) |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|
| 30 | 630 | 3.20 | 152 | 0.14 | 8 | 240 |
| 45 | 711.5 | 3.20 | 152 | 0.18 | 8 | 240 |
| 60 | 720 | 3.20 | 152 | 0.22 | 8 | 240 |

El control de la temperatura es necesario ya que un incremento de 20°C, puede causar un cambio de un 5% en el espesor del cromo deseado, de tal manera que necesitará un reajuste de la densidad de corriente o bien del tiempo del recubrimiento (7).

Para un control automático, es importante que el termostato sea colocado en el baño en un lugar donde pueda sensar lecturas de cualquier cambio significativo en la temperatura, no se debe encontrar cerca de los elementos de calefacción.

Un movimiento rápido de la solución ayuda a promover la uniformidad de la temperatura (8).

2.3.2 CORRIENTE SUMINISTRADA

La eficiencia de corriente del cátodo varia con la densidad de corriente, incrementando la densidad de corriente se incrementa su eficiencia. Estas variables tienen un efecto definido en la apariencia y dureza del depósito, generalmente dependen del área a recubrirse y del voltaje a aplicarse (5) (7).

Como se realizó en el punto 1.4.2 de manera que dividiendo la corriente para el área se obtiene la densidad de corriente a suministrarse. De los cálculos realizados y del experimento se obtiene los siguientes resultados, que se presentan en las Tablas No. VII, VIII Y IX :

TABLA No. VII

COMPARACION DE CORRIENTES A 8 VOL.

| horas | $I_{\text{teórico}}$ | I_{aplicado} |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 1.20 | 115.6 | 152 |
| 2.20 | 107.2 | 152 |
| 3.20 | 80.76 | 152 |

TABLA No. VIII

COMPARACION DE CORRIENTES A 5 VOL.

| horas | $I_{\text{teórico}}$ | I_{aplicado} |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 1.20 | 43.33 | 150 |
| 2.20 | 72.71 | 150 |
| 3.20 | 84.82 | 150 |

TABLA No. IX
COMPARACION DE CORRIENTES A 12 VOL.

| horas | $I_{\text{teórico}}$ | I_{aplicado} |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 1.20 | 216.66 | 154 |
| 2.20 | 148.41 | 154 |
| 3.20 | 126.91 | 154 |

2.3.3 CONCENTRACION DEL BAÑO

Los baños de recubrimiento en cromo de todos los tipos de deben estar sujetos a análisis químicos periódicos para controlar la composición del baño. El control de la solución puede ser simplificada si un registro es llevado de manera que se pueda saber el comportamiento durante su uso. Los cambios de composición dependen de : El número de hora-amperio

de corriente que pasa a través del baño, el número de purgas realizados, las pérdidas de dispersión y por evaporación llegando alrededor del 2 al 5% durante un día de operación. Los controles de la solución debería ser hecho en intervalos periódicos (semanalmente o mensualmente) dependiendo de la tasa de producción (7).

El contenido de ácido crómico puede ser determinado por un hidrómetro en el baño provisto de otros contaminantes, tales como hierro o cobre que no se encuentran presentes en cantidades significativas. Los hidrómetros calibrados en onzas de ácido crómico por galón a la temperatura de operación (5) (7) (8).

Hidrómetros Boumé pueden ser usados en muestras, la lectura puede ser convertida a concentración usando la tabla No XVII.

Periódicamente se deben comparar las concentraciones obtenidas por análisis químico y el

obtenido por el hidrómetro. Los ajustes del baño crómico se pueden realizar directamente usando la tabla X (4) (7).

El ácido sulfúrico puede ser determinado con un alto grado de exactitud por un método gravimétrico o por medio de la centrífuga.

La mayoría de los tubos de la centrífuga graduados pueden ser calibrados para el ácido sulfúrico, sin embargo, la técnica debería ser comparada con el análisis químico o con la técnica gravimétrica. Los ajustes de concentración de ácido sulfúrico en baños de cromo puede ser simplificada con el uso de la tabla No. X (4) (7).

CONTAMINANTES

En cualquier baño de cromo, debería mantenerse libre de cantidades excesivas de Cu, Fe y de cromo trivalente, que decrementa la conductividad del baño y

requieren el uso de un voltaje de operación muy alto para producir una densidad de corriente dada.

El cromo trivalente puede ser formado por la descomposición de organismos, pero generalmente resulta de una muy baja relación de ánodo a cátodo, una relación que siempre se encuentra en superficies internas de cilindros. El cromo trivalente puede ser reóxidado a cromo hexavalente electrolizando la solución de 60 a 66°C, y una relación de área ánodo/cátodo de alrededor de 30/1, usando una densidad de corriente de 60 Amp/dm² (6) (7).

Alrededor de 50amp-h/L es requerido para reóxidarse 15 gr/L de cromo trivalente, éste proceso se realiza durante el período de apagado, es decir cuando no está en producción el equipo.

CELULA DE HULL

Uno de los métodos prácticos más utilizados para el

control de los baños electrolíticos, consiste en la observación en cubetas de pequeña capacidad y someter a las condiciones de funcionamiento el electrolito.

Esta reproducción de los factores que intervienen en el proceso nos permite en todo momento conocer y corregir los defectos que puedan producirse.

La célula está construída con material plástico transparente y posee una capacidad de 267 ml., pero pueden utilizarse otras células de una capacidad de hasta 1 lt (5).

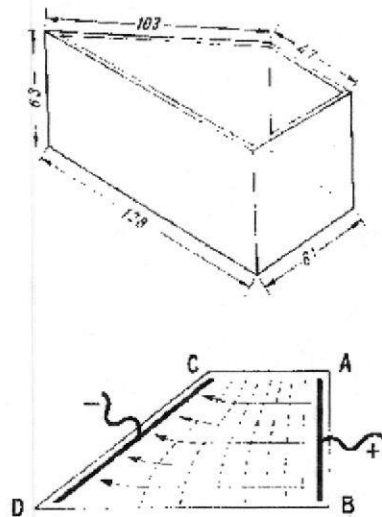


FIG. No. 12 CELULA DE HULL.

El ánodo se coloca contra la cara AB de la célula y el cátodo contra la cara CD, la forma trapezoidal de la célula permite una distribución progresiva de la densidad de corriente catódica, variando desde un valor mínimo (punto D) a un valor máximo (punto C) constituyendo una de las características esenciales.

Mediante éste método y utilizando probetas construídas en forma rectangular , ya sean de latón o de hierro, convenientemente pulidas, se logra reproducir sobre las mismas condiciones de temperatura, densidad de corriente, agitación, etc., determinando las condiciones favorables o desfavorables en que se encuentra el baño.

De ésta manera podemos controlar e informarnos de la concentración apróximada de las sustancias presentes en el medio electrolítico.

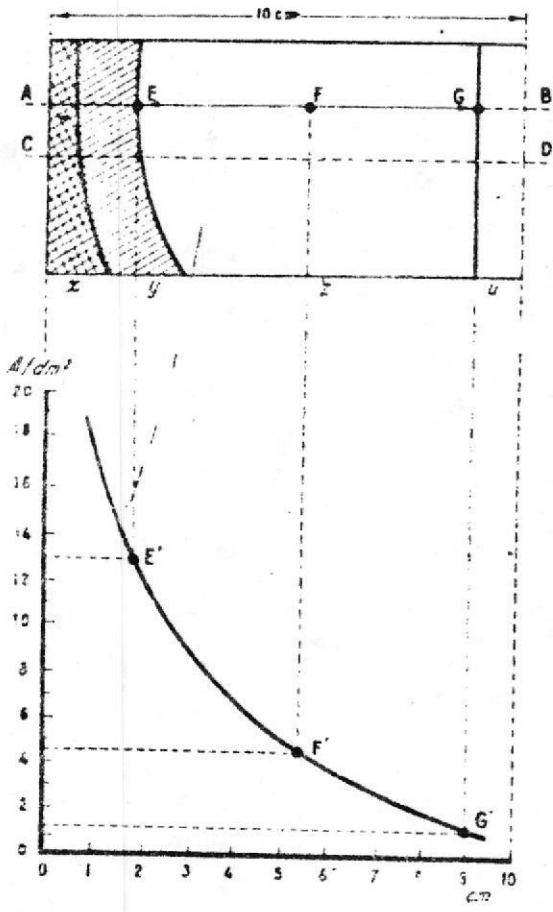
Para realizar el control se coloca el catódo (placa de

hierro), se realizan las conexiones correspondientes y se procede a la electrólisis de la solución con agitación, a la temperatura usual del baño, con una intensidad de corriente y de tiempo en función del tipo de recubrimiento que se ensaye.

Al cabo de ese tiempo, se saca el cátodo, se enjuaga con agua y se seca, comparando su aspecto con el de otras placas patrón previamente obtenidas con el baño en estudio en condiciones conocidas.

Para realizar esta comparación se suele considerar la zona dentro de la línea de trazos ABCD.

La zona X representa un área cuyo depósito es rugoso, por exceso de la densidad de corriente; la zona Y corresponde a un depósito mate; la zona Z corresponde a un buen depósito, con características brillantes; y la zona U corresponde a un área con una muy baja densidad de corriente, FIG. No. 13(5).



Aspecto de una probeta obtenida mediante la célula de hull.

FIG. No. 13 GRAFICO DE DEPOSICION

ANALISIS QUIMICO

Para realizar una comparación y un control del estado del baño electrolítico se realiza un análisis químico en paralelo con la prueba de la célula de hull, de tal manera de poder tener una mayor exactitud de la situación de dicho baño.

Para realizar éste análisis se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica, que nos ayuda a determinar la presencia de metales en el baño, mediante comparaciones con una solución estandar.

Para poder realizar dicha comparación la muestra de la solución se la tendrá que diluir para que se encuentre dentro de los rangos de comparación y luego proceder al análisis (4) (6).

Comparando con el estandar se obtuvieron los

siguientes resultados presentados en la Tabla No. XI:

TABLA No. XI

MUESTREO DEL ESPECTROFOTOMETRO PARA EL ACIDO

| | Concentración | Absorvancia |
|-----------|---------------|-------------|
| Estandar | 5 | 0.185 |
| Muestra 4 | 1.70 | 0.065 |
| Muestra 3 | 14.20 | 0.540 |

Dentro de las normas de comparación, la concentración se mantiene dentro del rango estandar de comparación que es de 4 microgramos por litro.

De la misma manera se determina la presencia de hierro en la solución, obteniendose los siguientes resultados:

TABLA No. XII

MUESTREO DEL ESPECTROFOTOMETRO PARA HIERRO

| | Concentración | Absorvancia |
|-----------|---------------|-------------|
| Estandar | 2 | 0.056 |
| Muestra 3 | 1 | 0.024 |
| Muestra 4 | 140 | 0.346 |

Para poder determinar la cantidad de cromo y de hierro presentes, se toma una muestra de 1cc. de la solución del baño y se la diluye, mediante el hidrómetro se determina la densidad y la concentración a la que se encuentra el baño Tabla No. XVII

Para el cromo se aplican las siguientes fórmulas:

$$C * V_{de\ sol} / d * \#de\ dil.$$

CrO₃ 1.70 * 50*50*50*50 72618.54
 1.1705* 125

$$\text{CrO}_3 = 72.62 \text{ gr/kilo de sol.}$$

Para obtener el resultado en gr/lt. aplicamos la fórmula siguiente (4):

$$d = M/V$$

$$V = M/d$$

$$V = 1000/1.164$$

$$V = 859 \text{ ml.}$$

Luego se procede a una regla de tres y obtener el resultado:

| | |
|---------|-------|
| 1000ml. | x |
| 859ml. | 72.62 |

$$x = 84.54 \text{ gr/lt}$$

$$\text{CrO}_3 = 84.54 \text{ gr/lt.}$$

Para determinar la cantidad de cromo se emplean los pesos moleculares de los elementos (6):

| | | |
|------------------|------------|------|
| CrO ₃ | 52 + 3(16) | 1.92 |
| Cr | 52 | |

De tal forma que si multiplicamos la cantidad de CrO₃ por el factor calculado obtendremos:

$$84.54 * 1.92 = 162.32 \text{ gr/lt. de Cr.}$$

De igual manera se procede para obtener la cantidad de hierro, obteniendose una cantidad de 6.81 gr/lt. de hierro presentes en la solución.

2.3.4 TIEMPO DEL RECUBRIMIENTO

Depende exclusivamente del espesor que se necesite obtener para el recubrimiento de la pieza, claro que se debe tener muy en cuenta que conforme se incrementa el tiempo de deposición existe un mayor consumo de energía.

Por lo tanto se han realizado pruebas para diferentes tiempos y obtener el más adecuado y recomendable

para la recuperación de la pieza en proceso, se presentan las siguientes Tablas.

TABLA No. XIII

TIEMPO DE EXPOSICION PARA 5 VOL.

| t(hr) | KN | T(°C) | I(amp) | e(mm) | V(vol) | C(gr/l) |
|-------|-----|-------|--------|-------|--------|---------|
| 1.20 | 610 | 45 | 150 | 0.03 | 5 | 240 |
| 2.20 | 615 | 45 | 150 | 0.085 | 5 | 240 |
| 3.20 | 635 | 45 | 150 | 0.095 | 5 | 240 |

TABLA No. XIV

TIEMPO DE EXPOSICION PARA 8VOL.

| t(hr) | KN | T(°C) | I(amp) | e(mm) | V(vol) | C(gr/l) |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|
| 1.20 | 645.5 | 45 | 152 | 0.08 | 8 | 240 |
| 2.20 | 710 | 45 | 152 | 0.13 | 8 | 240 |
| 3.20 | 711.5 | 45 | 152 | 0.14 | 8 | 240 |

TABLA No. XV
TIEMPO DE EXPOSICION PARA 12 VOL.

| t(hr) | KN | T(°C) | I(amp) | e(mm) | V(vol) | C(gr/l) |
|-------|-----|-------|--------|-------|--------|---------|
| 1.20 | 690 | 45 | 154 | 0.15 | 12 | 240 |
| 2.20 | 712 | 45 | 154 | 0.18 | 12 | 240 |
| 3.20 | 716 | 45 | 154 | 0.22 | 12 | 240 |

2.4 PRUEBAS

Para someter a las probetas a cada una de las pruebas deben tener una debida preparación, ya que es fundamental que presenten condiciones muy favorables para obtener buenos datos.

Primeramente las probetas deben ser cortadas de manera transversal a la deposición .

Luego se procede al montaje de la misma, para posteriormente ser pulidas tanto en lija como en un paño

con alumina, una vez que se ha conseguido obtener una superficie libre de imperfecciones se procede al ataque químico y a luego su estudio de acuerdo al ensayo a realizarse.

Para proceder con cada una de las pruebas se ha realizado un esquema o diagrama de bloques de manera que se pueda seguir una secuencia de cada una de los ensayos ha efectuarse.

Se presenta éste esquema con el fin de obtener precisos y mejores datos de cada una de las probetas sometidas a los ensayos Fig.No. 14.



BIBLIOTECA

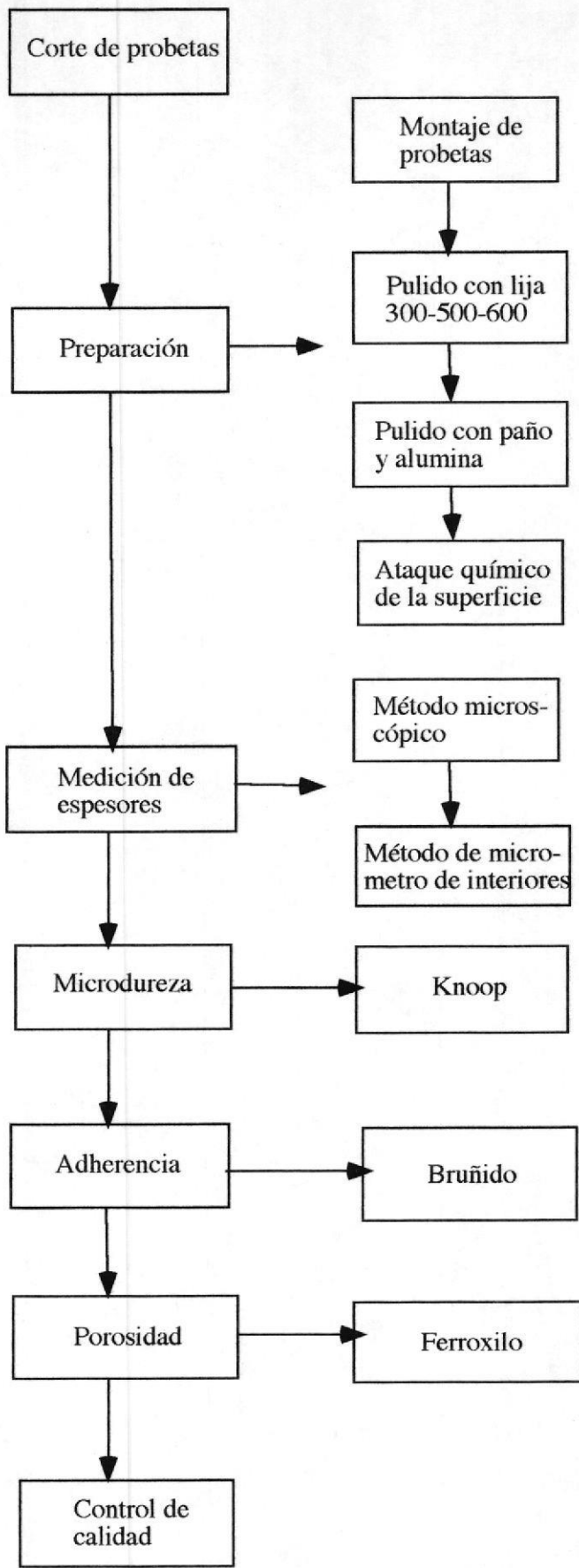


FIG. No. 14
DIAGRAMA DE PRUEBAS

2.4.1 DUREZA

La dureza de la electrodeposición de cromo es una función de las condiciones del recubrimiento. En general la electrodeposición de cromo en rangos brillantes es óptimamente duro.

Debido a que las medidas de la dureza son difíciles de realizar, los valores son dependientes de las condiciones de la prueba.

La dureza del recubrimiento no puede ser determinada por los probadores de dureza comunes como son la Brinell y Rockwell debido a que la capa de cromo duro es muy fina para realizar estas pruebas.

Los valores de dureza mayormente aceptados y más confiables son aquellos obtenidos con el indentador VICKER o el indentador KNOOP. De tal manera que la

prueba debe ser hecha sobre una superficie cuidadosamente preparada y pulida, preferiblemente en una sección transversal del recubrimiento para eliminar cualquier posible influencia del metal base en los valores de dureza obtenida.

Las rajaduras en el recubrimiento de cromo duro influyen en los valores de dureza, dependiendo del indentador utilizado y de la carga aplicada. En general cargas más livianas son más sensibles a las variaciones de dureza resultan en valores de dureza más altos.

Cuando se realiza pruebas de microdureza, es importante obtener impresiones muy exactas y agudas, particularmente cuando se usan cargas muy livianas.

En investigaciones de dureza a la rayadura se encontró que los depósitos de cromo de duro brillantes o

semibrillantes poseen la mejor combinación de dureza y resistencia al desgaste (5) (8).

Los datos obtenidos de dureza bajo la norma ASTM 348 se presentan en la tabla No. XVI considerando que la mayor influencia sobre la misma tiene la temperatura.

TABLA No. XVI

DATOS DE DUREZA DE ACUERDO A LA TEMPERATURA

| Temperatura(°C) | Dureza (KN) |
|-----------------|-------------|
| 30 | 630 |
| 45 | 711.5 |
| 60 | 720 |

2.4.2 RUGOSIDAD

Depende específicamente de la preparación de la pieza, de cada uno de los procedimientos o pasos que se llevo a cabo durante el pulido de la misma. De tal manera que se pueden conseguir superficies que

posean rugosidades hasta de 0.09 mils con el recubrimiento metálico, en éste caso el cromo (5).

La rugosidad que se va a obtener para el caso de los cilindros será la misma que tenga una vez que el bloque ha sido rectificado y bruñido que en éste caso se obtuvo una rugosidad de 3.43 mils.

Para esta prueba se utilizó un rugosímetro de la marca MITUTOYO, la parte que registra el estado de la superficie es una punta de diamante que es transformada en una señal eléctrica y convertirla en una lectura.

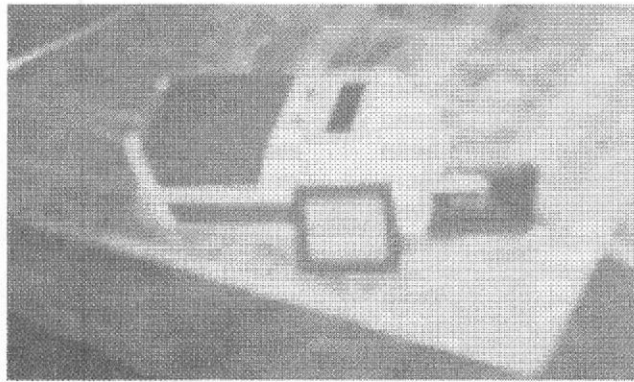


FIG. No.15 RUGOSIMETRO

2.4.3 ADHERENCIA

Es un factor muy importante para el depósito, ya que poco servirá que éste tenga una dureza, brillo, etc. si se desprende fácilmente del metal base.

Existen varios métodos para determinar la adherencia del recubrimiento, que son de tipo cualitativo y cuantitativo.

Para el tipo cualitativo se practicará el bruñido que consiste en someter la pieza a un bruñido, de tal manera que si el metal base se desprende, ha existido una mala adherencia del recubrimiento.

En la prueba de tipo cuantitativo, la probeta se somete a una carga de 25 toneladas, que la proporciona una prensa que posee una capacidad de carga de 50 toneladas. De tal manera que la probeta se la ubica sobre dos apoyos en los extremos y luego se aplica la carga sobre una superficie de 3.875 pulgadas cuadradas, como se puede ver en la siguiente figura.

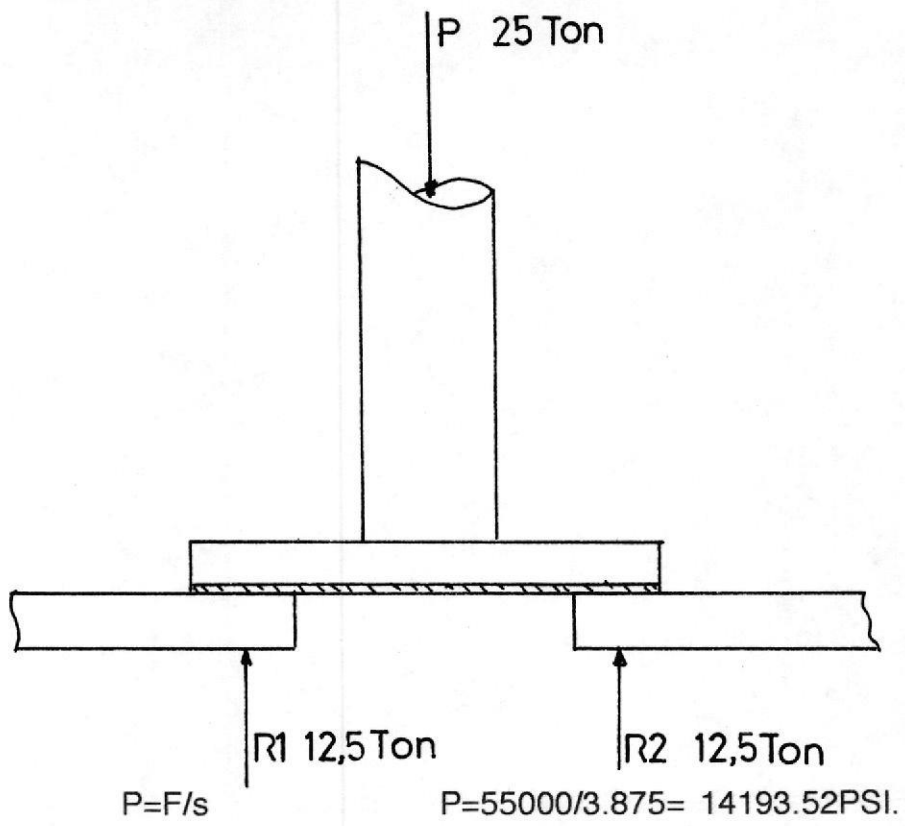


FIG. No. 16 DIAGRAMA DE FUERZAS.

Para poder realizar una comparación de la presión a la que somete el material base del cilindro del motor de combustión interna, se proporciona los siguientes datos: para motores a diesel de 6 cilindros durante la combustión se generan presiones de 2100 a 2900 psi. mientras que la probeta durante el ensayo soporto una presión de 14193.52 psi. en el instante en que el recubrimiento se despostillo de la superficie del metal base.

2.4.4 ANALISIS DE MICROESTRUCTURA

Primeramente se debe proceder a un ataque químico que consiste en una solución de ácido clorhídrico al 2%, posteriormente se somete a un enjuague muy cuidadoso con agua y alcohol para evitar que existan residuos de ácido sobre el metal y continúe su ataque.

El metal depositado posee cristales muy pequeños de tal manera que nos indica el grado de dureza que existe en el recubrimiento.

Existen pequeños resquebrajamiento en el cromo, pero presenta una distribución muy uniforme del mismo sobre el metal base (1).

No presenta depósitos nodulares, ni poblaciones de cristales grandes, y en ciertas partes de la capa algunas lagunas de carburo que le proporcionan mayor dureza, fig. No.17

ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO

Depende primordialmente de la distribución del campo potencial , que es controlado por la colocación de los ánodos, la posición relativa de los lados y de la superficie del tanque.

La variación del espesor depende de la preparación de la superficie, del control de las condiciones del baño y de la uniformidad de la fuente de poder (5) (8).

Algunos métodos para determinar el espesor son: baño de eliminación electrolítico, mediciones microscópicas en la sección transversal, mediciones de precisión de las dimensiones antes y después del recubrimiento para determinar el espesor por diferencia, etc.

Para éste caso se realizó mediante el empleo del microscópio metalográfico, de tal manera que se

pueden apreciar espesores de hasta 2 micras.

La medida del espesor se realiza con la sección de la pieza cortada perpendicularmente a su superficie, convenientemente pulida o esmerilada.

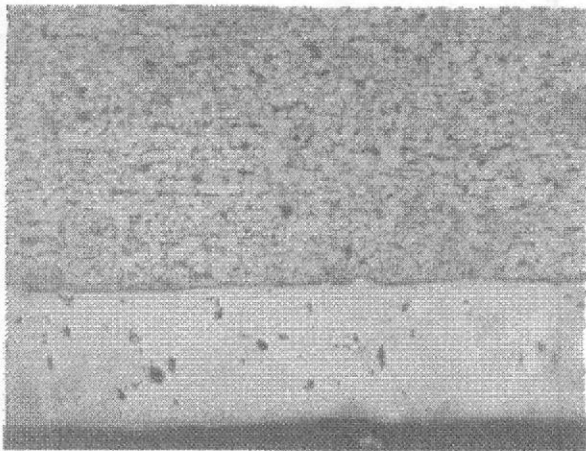


Foto a 100x de ampliación.
 Probeta a 8 hr. de deposición y
 8 vol.

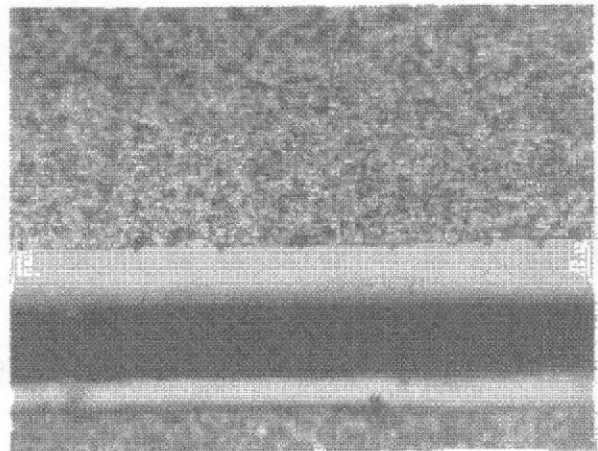


Foto a 100x de ampliación.
 Probeta a 3.20 hr. de deposición y
 8 vol.

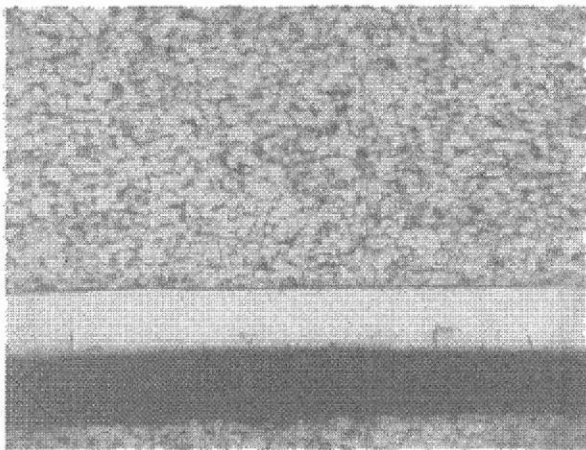


Foto a 100x de ampliación.
 Probeta a 3.20 hr. de deposición y
 5 vol.

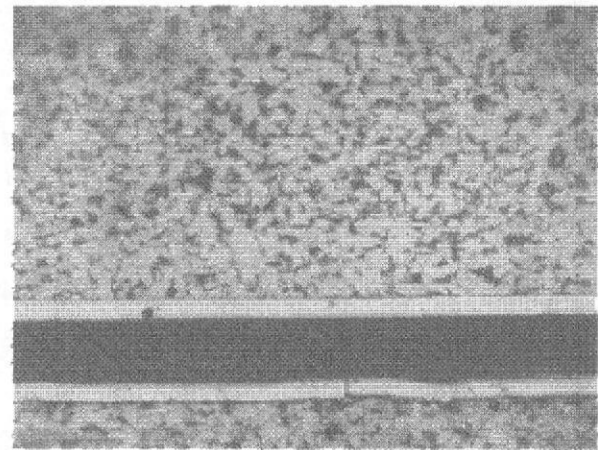


Foto a 100x de ampliación.
 Probeta a 1.20 hr. de deposición y
 8 vol.

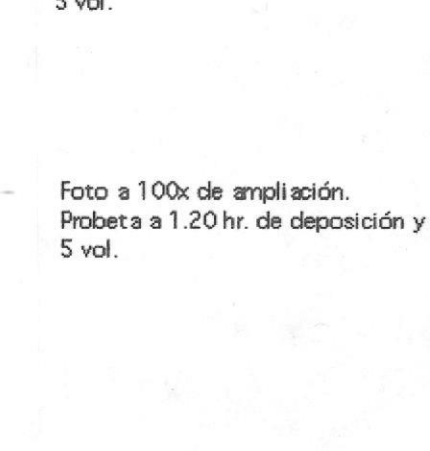


Foto a 100x de ampliación.
 Probeta a 1.20 hr. de deposición y
 5 vol.

FIG. No. 17

10/10/2010

10/10/2010

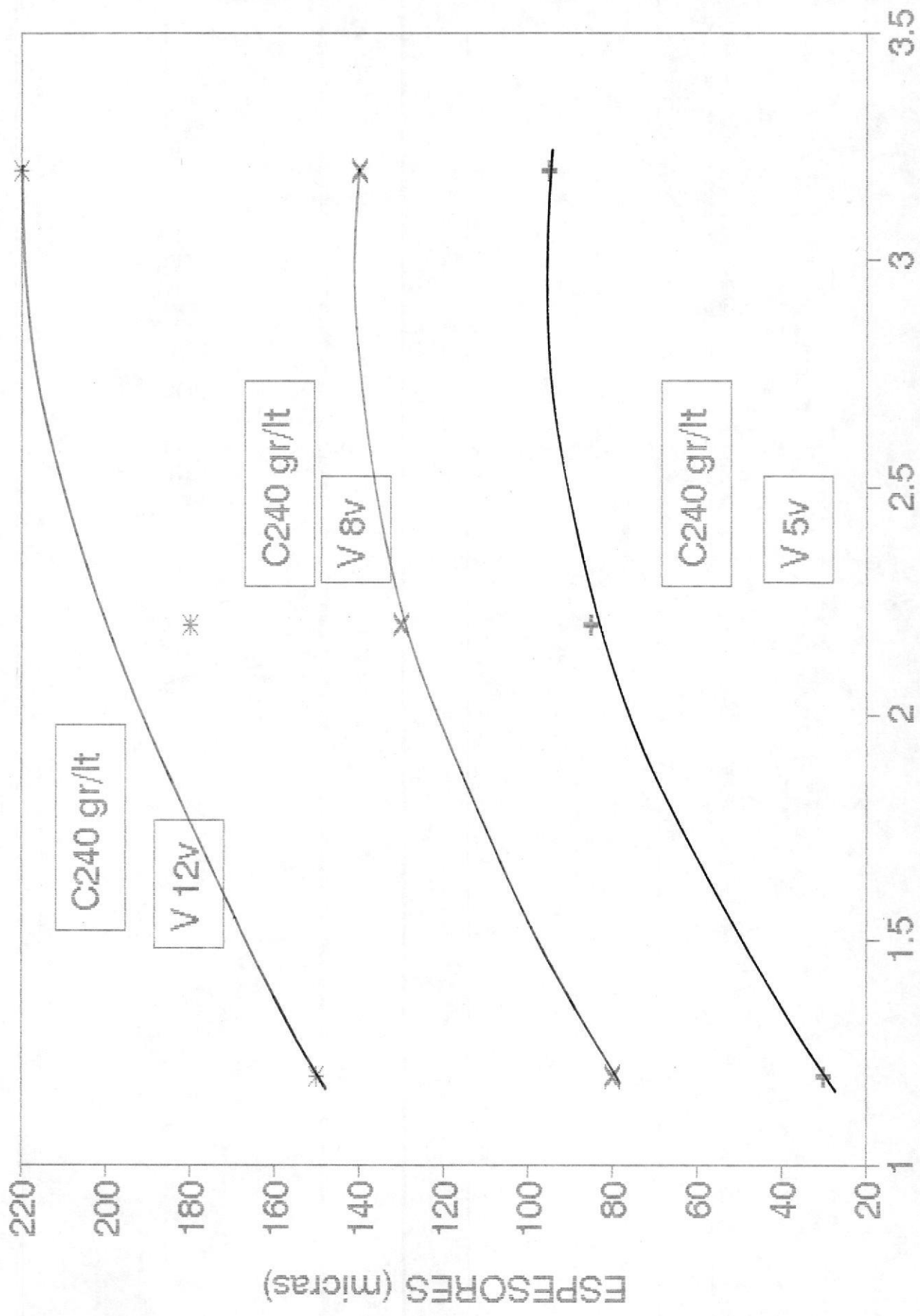
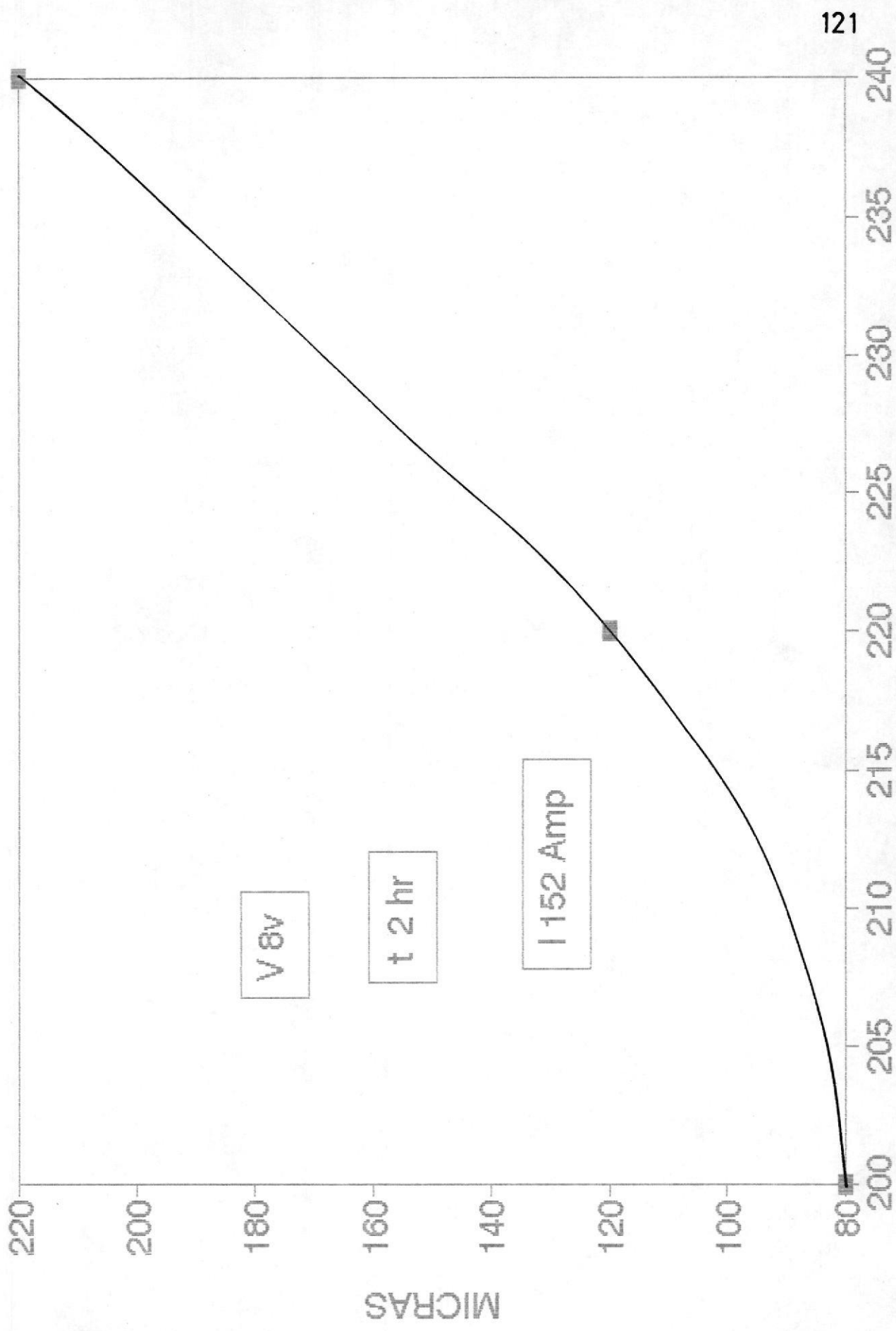
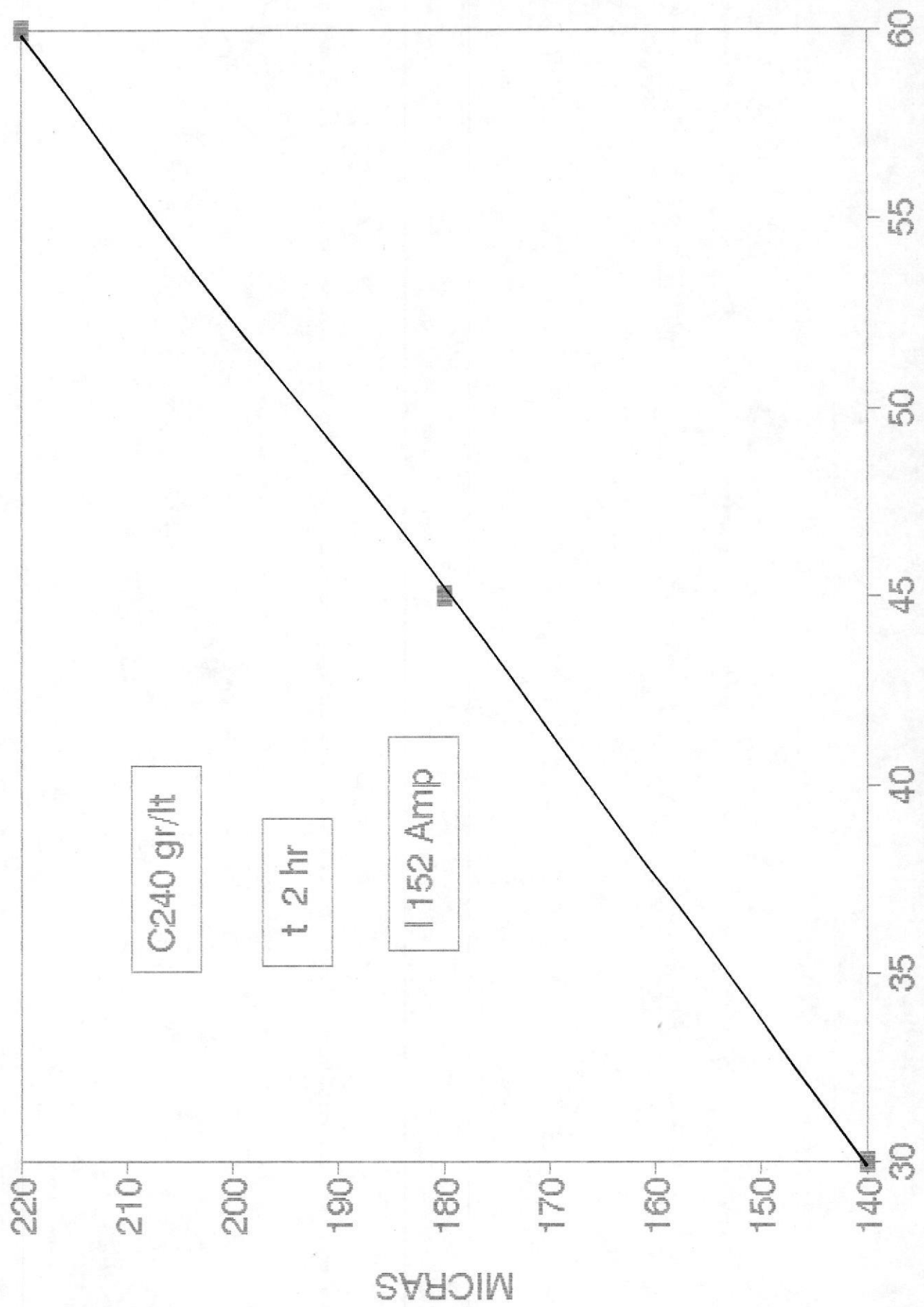


FIG.#18 ESPEORES VS. TIEMPO T(hr)



FIG#19 ESP. VS CONC. (gramos/litros)



FIG#20 ESPEJOR VS TEMPERATURA (C)

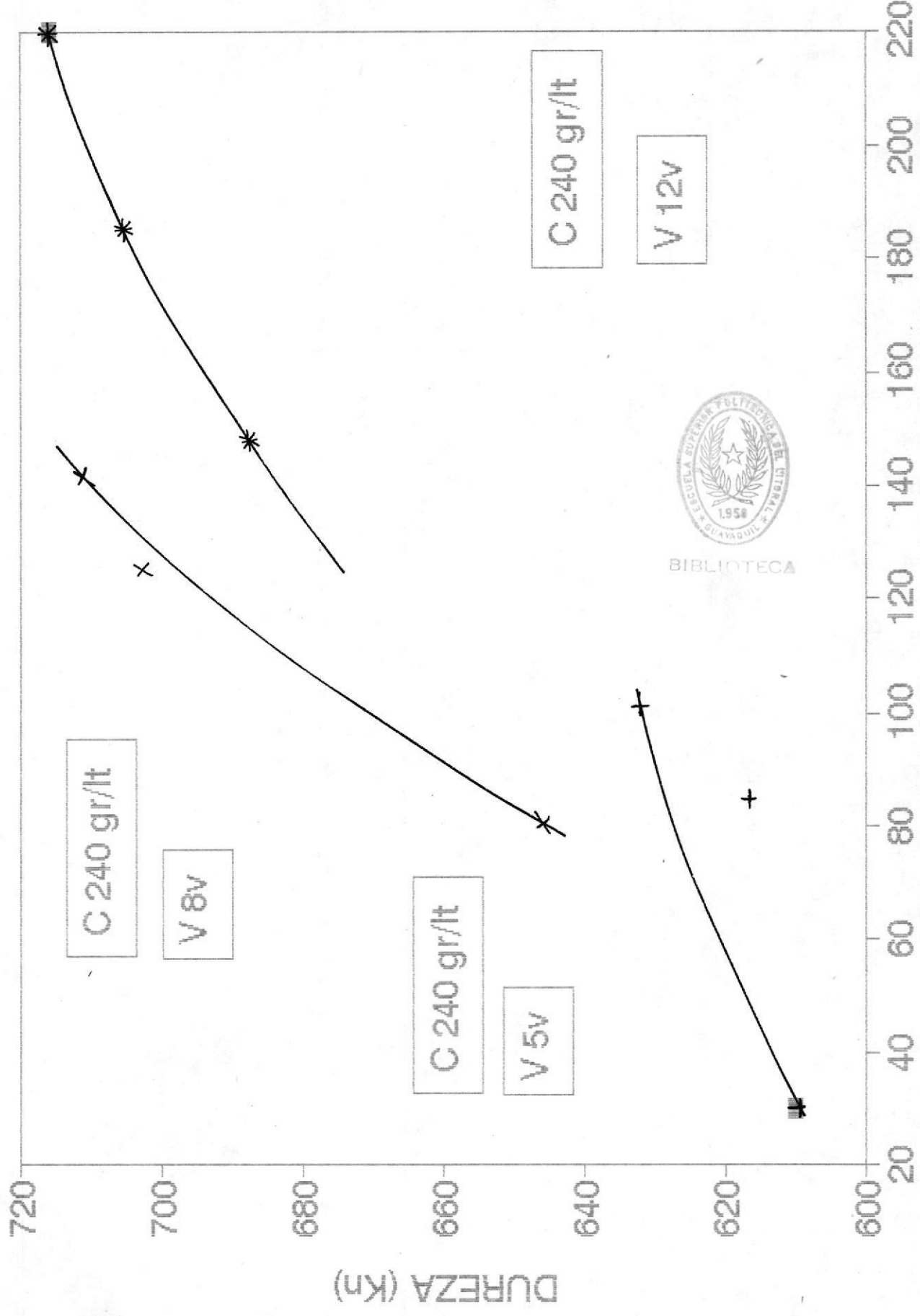


FIG.#21 DUREZA VS. ESPESOR (micras)

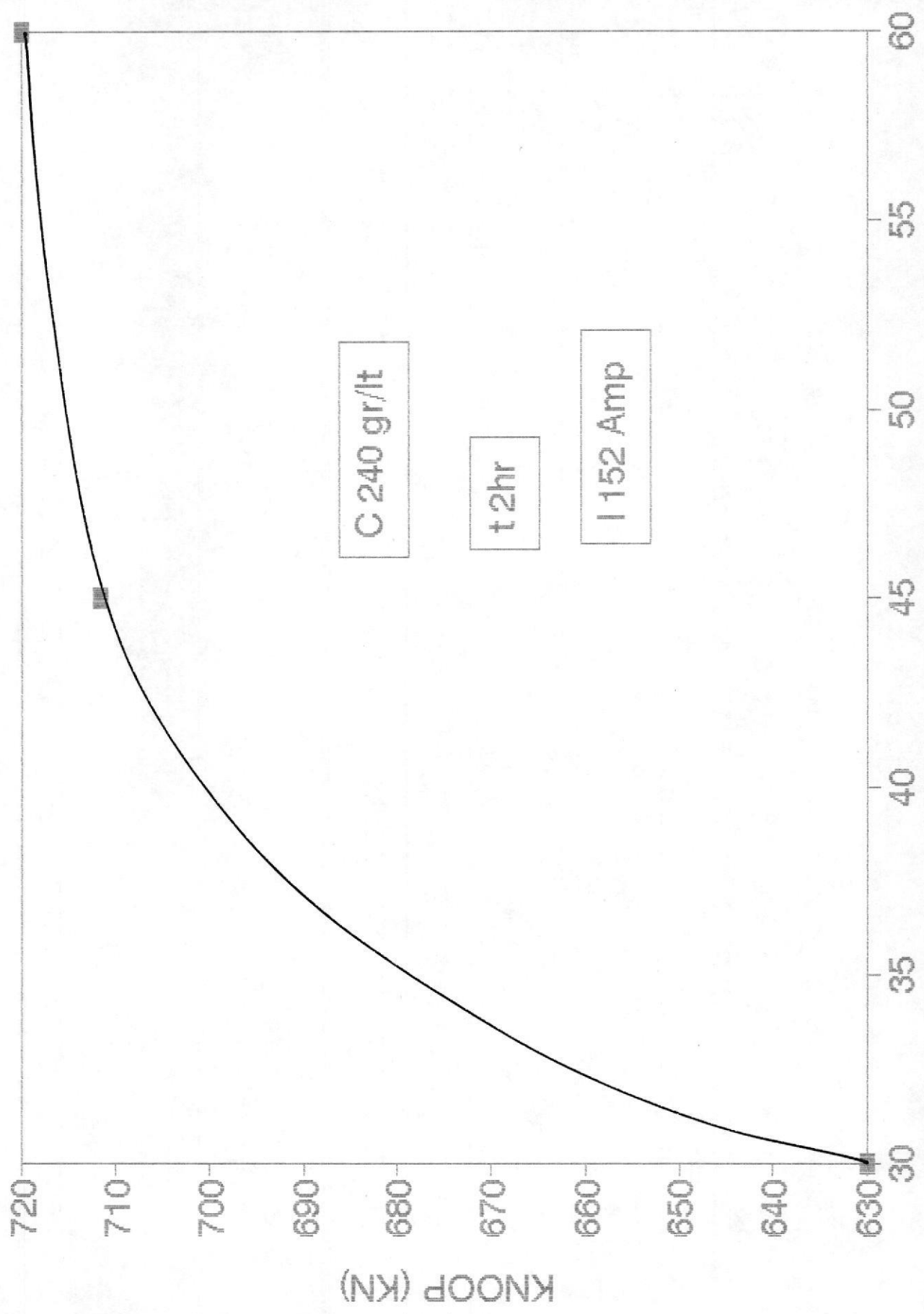


FIG.#22 DUREZA VS TEMPERATURA (C)

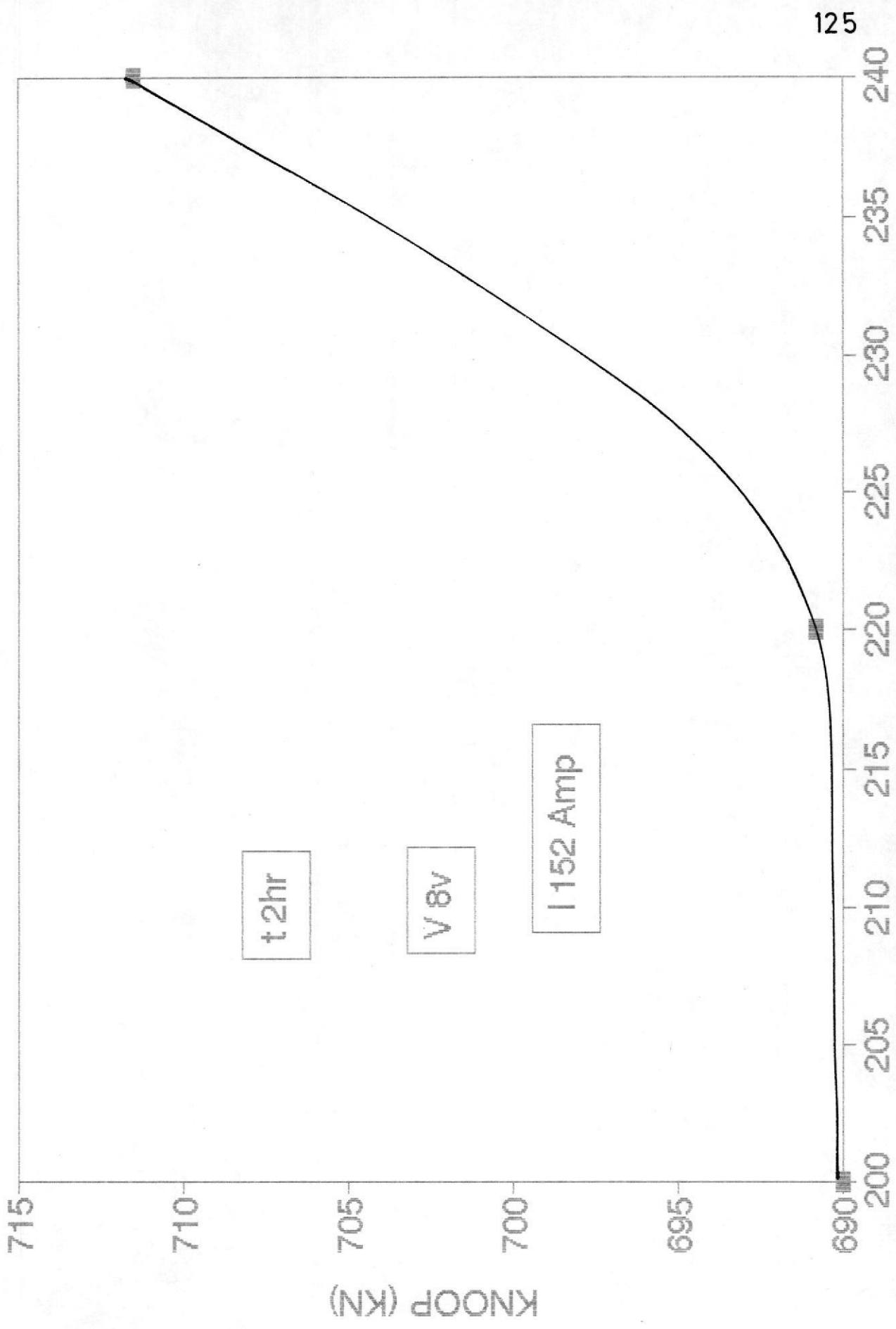


FIG.#23 DUREZA VS CONC. (gramos/litros)

CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 TECNICO

- Cada una de los figuras trazados nos presenta el comportamiento del proceso de electrodeposición del cromo duro para cada una de las variables consideradas durante las pruebas.

- De lo observado en la Fig.No.18 los espesores varían conforme se incrementa el voltaje suministrado, de tal manera de poder determinar el tiempo necesario para una determinada aplicación o necesidad del espesor del recubrimiento. Nos brinda la oportunidad de saber la energía que va consumir dicho proceso y poder determinar el rango más conveniente para la electrodeposición.

- La concentración si influye en el rango de deposición del cromo ya que se puede visualizarse en la Fig.No. 19 la variación que existe entre una baja concentración y una alta concentración, ya que la segunda produce una mayor fluidez de los iones metálicos de la solución hacia el metal base.

- La temperatura es una variable importante dentro del rango de deposición, ya que conforme se incrementa la temperatura el espesor va aumentando producto de la mayor circulación de corriente en el medio eletrolítico y por lo tanto los iones metálicos se depositan con mayor facilidad sobre el metal base como se ve en la Fig.No. 20.

- En lo concerniente a la contaminación con

una alta concentración se tiene un mayor control de la misma, además de proporcionar un período de vida mayor al baño ya que se puede observar en el análisis químico que el desgaste del baño es bien bajo.

- Con respecto a la dureza que se obtendrá se puede recurrir a la Fig.No. 21 y observar que para cada rango existe un consumo de energía y un tiempo de exposición, de tal manera que se puede controlar para tener la situación más ventajosa para dicho proceso. Conforme la dureza se va incrementando dentro de su límite, el grado de estrechez entre prueba y prueba es menor, para éste caso el límite de dureza de 65 HRC. Dentro de esta propiedad se debe tener muy en cuenta la temperatura que es un factor muy influyente sobre la misma como se puede ver en la Fig.No.22, conforme

se va incrementando la misma la dureza aumenta.

- Con respecto a la concentración no influye mayormente sobre la dureza ya que se mantiene dentro de un rango constante como se comprueba en la Fig.No. 23, por lo tanto se puede trabajar normalmente en cualquier rango escogido para la prueba, pero en éste caso se trabajo a 45°C y una concentración de 240 gr/l para no incrementar demasiado la dureza.

3.2 ECONOMICO

- Inicialmente debe tenerse en cuenta los siguientes parámetros antes de establecer el costo de cualquier tipo de pieza que va a ser recuperada mediante el cromo duro .
Estos son:
 - a) El tipo de material con que está

fabricada la pieza:

- Hierro fundido
- Acero

- b) El espesor ha recuperar en cromo duro.
- c) Determinar el tipo de trabajo al que va a ser sometido.

Con base a estas premisas, se establecen los siguientes costos:

Reemplazo por una camisa

Para un bloque de seis cilindros cuyas dimensiones son:

- Diámetro 114.529 mm.
- Longitud 210.000 mm.

De tal manera que para repararlo es necesario invertir lo siguiente:

| | |
|-------------------------|-----------|
| -Camisa | \$175.144 |
| -Rectificado del bloque | \$ 60.000 |
| -Mano de obra | \$ 80.000 |

El costo por unidad es de \$ 315.144

El costo final será de \$ 1'890.864

Recuperandolo con cromo

Para éste caso es evidente que ninguno de los cilindros del bloque se va a ha encamisar, y que el espesor que se recuperará con cromo es el desgaste generado hasta el momento, más el provocado por el rectificado del bloque.

Este espesor en cromo recuperado dejará el cilindro en la medida al que encontraba anteriormente.

De tal forma que el costo será:

| | |
|-----------------------------|------------|
| -Rectificado | \$ 60.000 |
| -Cromado | \$ 180.000 |
| -Rectificado final | \$ 30.000 |
| El costo por unidad será de | \$ 350.000 |

El costo Total \$2'100.000

Para un bloque de diez y seis cilindros cuyas dimensiones son:

- Diámetro 158.78 mm.
- Longitud 360.00 mm.

De tal manera que se Invertirá:

- Camisa \$ 616.529
- Rectificado \$ 135.000
- Mano de obra \$ 120.000

El costo por unidad será: \$ 871.529

El valor total será: \$15'687.432

Recuperandolo con cromo

- Rectificado \$ 135.000
- Cromado \$ 350.000
- Rectificado final \$ 100.000
- Mano de obra \$ 120.000

El costo por unidad será: \$ 705.000

El costo total será: \$ 12'690.000

Resumiendo en el primer caso tendremos un valor de \$ 209.136 desfavorable par el

cromado y para el segundo caso un valor de \$ 2'100.000 a favor del cromado.

Por lo tanto para el segundo se está invirtiendo solo en camisas el 70% del costo de la reparación, mientras que con el cromado solo se invierte un 49% del costo de la reparación.

En base a estas dos premisas obtenemos un ahorro del 21% de la inversión.

INFRAESTRUCTURA

Para poder determinar un costo exacto de la inversión se deben tener en cuenta muchos aspectos que durante el proceso e l montaje de la planta van aconteciendo.

Pero de acuerdo al estudio realizado los factores más importantes a considerar son los siguientes:

- Sitio a ubicar la planta.
- Tipo de construcción de la planta.
- Elementos que componen la planta.
- Medidas de seguridad que poseerá la planta.

Sitio a ubicar la planta.- Es importante ya que de esto va a depender el costo del terreno donde se construirá la planta, y sobre todo se debe considerar la dimensión del mismo.

Tipo de construcción de la planta.- Los materiales que se van a emplear para dicha estructura, ya que tiene que ser lo más aireada posible y que presente la mayor disponibilidad y distribución de trabajo.

Elementos que componen la planta.-
Comprenden cada uno de los equipos con que se va a contar para el proceso de trabajo, de tal manera que sino existen todos los componentes necesarios no se podría ejecutar el trabajo deseado.

Medidas de seguridad.- Es decir cada uno de los elementos que protejan la vida y salud del trabajador, que existan las zonas de trabajo debidamente marcadas, extintores, botiquines, etc.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- Para obtener una capa de 220 micras de cromo, el tiempo óptimo de recubrimiento fue de tres horas, aunque para cilindros con grado de desgaste mayor será necesario un mayor tiempo de exposición.
- El voltaje necesario de aplicación es de ocho voltios. Con éste se obtiene un recubrimiento con una adherencia muy buena y sin provocar quemaduras sobre la superficie del cromo. Además la temperatura no se incrementa sin control, ya que produciría una dureza muy elevada.
- En lo concerniente a la concentración del baño la más adecuada se encuentra en los 240 gr/l de ácido crómico, de tal manera de producir una adecuada

conducción de la energía eléctrica y por ende de los iones metálicos de cromo sobre el metal base.

- Una vez que se tienen todas las variables controladas se obtiene una superficie de una resistencia a la rayadura muy adecuada de tal manera que durante su funcionamiento no va a existir la posibilidad del desgaste prematuro del cilindro.

- Es muy importante notar que el cromo duro es aplicable para sistemas grandes, para equipos vetustos y que no se pueden encontrar repuestos en nuestro medio, de tal forma que es una solución de beneficio, tanto técnico como económico que nos da un ahorro del 20% respecto a la alternativa de encamisar los cilindros que se utiliza comunmente en nuestro medio.

- Cuando se trabaje en áreas muy cerradas que no poseen la debida ventilación es necesario que el

operario lleve siempre una máscara anti-gases ya que estos producen un daño grave e irremediable en el transcurso del tiempo que se encuentre sometido a la exposición de dichos gases.

- Si el operario al tomar una pieza del baño electrolítico, no tiene ninguna protección en sus manos, es recomendable que inmediatamente se enjague las manos con agua y jabón para evitar que el ácido provoque quemaduras en las mismas.

Se recomienda lo siguiente:

- Se plantea esta alternativa estudiada como una solución más viable tanto técnica como económica, la misma que redundaría en beneficios de los usuarios de estos motores de combustión interna a nivel industrial (motores estacionarios).
- Considerando que el máximo desgaste de un cilindro de

motor nuevo está en el orden de las 300 micras, y así mismo considerando que en este trabajo se ha obtenido un máximo de 220 micras, producto de la duración de la prueba, por lo tanto se recomienda incrementar el tiempo de electrodeposición a unas 8 horas tomando en cuenta que el espesor alcanzado no sobrepase las 600 micras ya que se corre el riesgo de fragilización del cromo.

A P E N D I C E S



Apendice A1

CONTROL DE CALIDAD

Generalmente la examinación visual es suficiente para determinar apariencia y rugosidad de la superficie recubierta de cromo duro.

El recubrimiento debería tener las mismas características que el metal base antes del recubrimiento y debería estar libre de picaduras y nódulos. El depósito no debería exhibir excesiva variación de espesor, principalmente de depósitos que tienen crecimientos dendríticos, deberían ser rechazados.

Para el desarrollo de procesos y verificación de calidad, pruebas destructivas pueden ser usadas para determinar el patrón de rayadura y de adherencia entre el recubrimiento y el metal base. El patrón de rayadura puede ser desarrollado por decapados.

La calidad de la adherencia puede ser determinado por:

- a) Un test de perforación, b) De dobladura , c) Examinando la linea de adherencia metalográficamente y d) Prueba de martilleo.

Un .cromo bien adherido no falla al alejarse de su linea de unión; sin embargo falla por rajaduras o resquebrajamiento.

Apendice A2

DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL PROCESO DE CROMADO
CROMO POROSO

Las porosidades que caracterizan a los depósitos de cromo son indeseables para la resistencia a la corrosión, y disminuyen la resistencia a la fatiga en la parte recubierta. Sin embargo en partes donde la lubricación es necesaria, porque promueve la acción humectante y promueve la retención del aceite después de la lubricación inicial.

La mayoría de las superficies cilíndricas recubiertas de cromo requieren de una superficie interrumpida, que se puede obtener por un ataque químico de cromo, por medio del granallado, por estriado o por un máquinado.

Se producen dos tipos de porosidades, la una del tipo punta de alfiler y la de tipo de canal.

Para los dos tipos de porosidades, el % de la misma es generalmente controlada entre el 20 y 50 % total del área. Una porosidad muy baja como del 5% se acerca al Cr denso y es susceptible a estriación debido a la escasa distribución de aceite. La porosidad de un 75% puede causar un alto desgaste inicial del anillo y un consumo excesivo de aceite, durante el funcionamiento del motor.

Los cilindros cubiertos con cromo de óptima porosidad dan tasas de desgaste de 1/3 a 1/10 de mejor rendimiento que aquellos de hierro fundido o de acero.

Un método mecánico como el arenado severo proveen de una porosidad controlada de la superficie a recubrir.

Existen métodos electroquímicos de la superficie después que ha sido recubierta, de tal manera que la porosidad se adquiere por un decapamiento anódico en

ácido crómico.

Para terminar con el proceso se realizó un pulimento o bien un bruñido.

Para evitar el desgaste acelerado en servicio, las superficies finales deben ser muy bien limpiadas de abrasivos y de partículas de cromo.

PROBLEMAS Y PROCEDIMIENTOS CORRECTIVOS

Operaciones de falla del baño del recubrimiento de cromo pueden resultar por bajas velocidades de la deposición o que existan elementos indeseables.

RECUBRIMIENTO POBRE

- El contenido de ácido crómico es bajo.
- Los catalizadores se encuentran en proporciones bajas.
- La temperatura muy alta.

- La densidad de corriente muy baja.
- Anodos pasivos o escalados. Se corrige limpiando y reactivando los ánodos; se utiliza altas densidades de corriente hasta que se obtenga una gasificación uniforme. Chequear que exista un buen contacto del ánodo.
- Gas atrapado que impide que la solución se acerque a algunas áreas. Se evita la gasificación agitando las partes a recubrir.

DEPOSITOS QUEMADOS

- La relación del ácido crómico es demasiado alta en relación con los catalizadores. Se corrige añadiendo catalizadores o disminuyendo el contenido de ácido crómico.
- La densidad de corriente demasiado alta.
- La temperatura demasiado baja.
- Algunas partes reciben demasiada densidad de corriente y otras no.
- Espaciamiento del ánodo demasiado cercano.

- Demasiada área del ánodo dentro de una determinada área para la parte que esta siendo recubierta. Se corrige eliminando los ánodos excedentes del tanque; diseñar la forma de los ánodos conformantes para minímir la densidad de corriente en las áreas de alta densidad, y si es necesario se utilizá una capa protectora no conductiva en está área.

BAJA VELOCIDAD DEL RECUBRIMIENTO

- Contenido de ácido crómico demasiado alto.
- Relación del ácido con total del catalizador demasiado alto.
- Temperatura demasiado alta.
- Densidad de corriente muy baja.
- Anodos escalonados.
- Tamaño de conductores insuficiente o inadecuados en los circuitos de ánodo y cátodo.

- Pérdida de corriente o debilitamiento de la misma.
- El rectificador dañado.
- Alta resistencia en los contactos de las barras, se corrige limpiando los contactos para disminuir las resistencias de contacto, no siempre depende del voltaje de control, sino del amperaje.
- Gran variedad de partes en el tanque restringen la densidad de corriente apropiada para cada una de las partes.
- El tanque sobre cargado con piezas.
- Alto contenido de impurezas metálicas, se corrige descartando una porción del baño y reajustando la dilución.

DEPOSITOS NODULARES

- Superficie rugosa antes del recubrimiento.
- Contenido de ácido muy alto, se corrige removiendo porción del baño y reajustando la

solución.

- Temperatura baja.
- Contenido de ácido sulfúrico bajo.
- Densidad de corriente muy alta.

DEPOSITOS PICADOS

- Metal base picado.
- El material suspendido en la solución, se corrige filtrando y sacando el material.
- Agentes de activación de superficie usados, causan perforaciones pequeñas y profundas cuando el espesor del recubrimiento se depósita.
Se corrige reemplazando con solución fresca.
- Evitar el uso de supresores de niebla; partes plásticas como corcho, balsas que al descomponerse pueden formar productos de desajuste que pueden crear las picaduras.
- Burbujas de gas que se adhieren a las partes, se corrige mejorando el acabado de la superficie

antes del recubrimiento, y agitando las partes durante el proceso.

- Que la pieza se encuentre magnetizada, se debe desmagnetizarla.
- Insuficiente limpieza antes del recubrimiento.
- Hollin sobre la superficie a recubrir.

ADHERENCIA POBRE

- Contaminantes que no han sido removidos.
- Rango excesivo de pulverizado en la pieza, cuando el metal base se fractura no se adhiere el material del recubrimiento.
- Que exista una sola fase en el rectificador.
- Interrupción de la corriente durante el recubrimiento.
- Solución fría.

TABLA No. XVII

| °Bé | acido crómico | |
|------|---------------|--------|
| | g/L | oz/gal |
| 10.5 | 113 | 15.0 |
| 11.0 | 119 | 15.8 |
| 11.5 | 124 | 16.5 |
| 12.0 | 130 | 17.3 |
| 12.5 | 137 | 18.2 |
| 13.0 | 144 | 19.1 |
| 13.5 | 149 | 19.8 |
| 14.0 | 153 | 20.4 |
| 14.5 | 159 | 21.2 |
| 15.0 | 165 | 22.0 |
| 15.5 | 172 | 22.9 |
| 16.0 | 178 | 23.7 |
| 16.5 | 184 | 24.5 |
| 17.0 | 191 | 25.4 |
| 17.5 | 198 | 26.3 |
| 18.0 | 204 | 27.2 |
| 18.5 | 211 | 28.1 |
| 19.0 | 218 | 29.0 |
| 19.5 | 224 | 29.8 |
| 20.0 | 230 | 30.6 |
| 20.5 | 237 | 31.5 |
| 21.0 | 244 | 32.4 |
| 21.5 | 250 | 33.3 |
| 22.0 | 257 | 34.2 |
| 22.5 | 264 | 35.1 |
| 23.0 | 271 | 36.0 |
| 23.5 | 279 | 37.1 |
| 24.0 | 287 | 38.2 |
| 24.5 | 294 | 39.1 |
| 25.0 | 301 | 40.0 |
| 25.5 | 308 | 40.9 |
| 26.0 | 315 | 41.9 |
| 26.5 | 323 | 42.9 |
| 27.0 | 331 | 44.0 |
| 27.5 | 338 | 45.0 |
| 28.0 | 346 | 46.0 |
| 28.5 | 354 | 47.1 |
| 29.0 | 362 | 48.2 |
| 29.5 | 370 | 49.2 |
| 30.0 | 378 | 50.2 |
| 30.5 | 387 | 51.5 |
| 31.0 | 399 | 53.0 |
| 31.5 | 406 | 54.0 |
| 32.0 | 415 | 55.2 |

Apendice A4

TABLA No.XVIII

EQUIVALENCIAS ELECTROQUIMICAS



BIBLIOTECA

| NOMBRE | VALENCIA |
|----------|----------|
| ANIMONIO | 3 |
| ARSENICO | 3 |
| CADMIO | 2 |
| CROMO | 3 |
| | 6 |
| COBALTO | 2 |
| COBRE | 1 |
| | 2 |
| ORO | 1 |

TABLA No. X EQUIVALENTES DE CONVERSION PARA ACIDO CROMICO

| Acido crómico a añadir (gr/l) | Acido crómico requerido Kg por volumen de baño L | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 380 | 760 | 1140 | 1510 | 1890 | 2270 | 2650 | 3030 | 3410 | 3790 |
| 4.0 | 1.4 | 2.9 | 4.3 | 5.7 | 7.1 | 8.5 | 9.9 | 11.3 | 12.7 | 14.2 |
| 11.0 | 4.3 | 8.5 | 12.8 | 17.0 | 21.3 | 25.5 | 29.8 | 34.0 | 38.3 | 42.5 |
| 19.0 | 7.1 | 14.2 | 21.3 | 28.3 | 35.4 | 42.5 | 49.4 | 56.7 | 64.0 | 70.8 |
| 26.0 | 9.9 | 19.8 | 29.8 | 39.7 | 49.4 | 59.4 | 69.4 | 79.4 | 89.4 | 99.3 |
| 30.0 | 11.3 | 22.7 | 34.0 | 45.3 | 56.7 | 68.0 | 79.4 | 90.7 | 102.0 | 113.0 |
| 37.0 | 14.2 | 28.3 | 42.5 | 56.7 | 70.8 | 85.3 | 99.3 | 113.0 | 128.0 | 142.0 |
| 49.0 | 18.4 | 36.8 | 55.3 | 73.9 | 92.1 | 111.0 | 129.0 | 147.0 | 162.0 | 184.0 |
| 56.0 | 21.3 | 42.5 | 64.0 | 85.3 | 106.0 | 128.0 | 149.0 | 170.0 | 191.0 | 213.0 |
| 64.0 | 24.1 | 48.1 | 72.1 | 96.6 | 121.0 | 145.0 | 169.0 | 193.0 | 216.0 | 241.0 |
| 75.0 | 28.3 | 56.7 | 85.3 | 113.0 | 142.0 | 170.0 | 199.0 | 227.0 | 255.0 | 284.0 |

TABLA No. X EQUIVALENTES DE CONVERSION PARA SULFATO

| ACIDO SULFURICO A AÑADIR (gr/l) | Acido sulfurico requerido,ml por volumen de baño L | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 380 | 760 | 1140 | 1515 | 1890 | 2270 | 2650 | 3030 | 3410 | 3790 |
| 0.08 | 15 | 30 | 47 | 62 | 77 | 92 | 109 | 124 | 139 | 154 |
| 0.15 | 30 | 62 | 92 | 124 | 154 | 186 | 216 | 249 | 278 | 308 |
| 0.22 | 47 | 92 | 139 | 186 | 231 | 284 | 323 | 370 | 417 | 465 |
| 0.30 | 62 | 124 | 186 | 249 | 308 | 370 | 432 | 494 | 556 | 619 |
| 0.37 | 77 | 154 | 231 | 308 | 385 | 462 | 539 | 619 | 696 | 773 |
| 0.45 | 92 | 186 | 284 | 370 | 462 | 556 | 648 | 740 | 835 | 962 |
| 0.53 | 110 | 216 | 323 | 432 | 539 | 648 | 758 | 864 | 974 | 1080 |
| 0.60 | 124 | 249 | 370 | 494 | 619 | 740 | 864 | 989 | 1113 | 1237 |



Apendice A6

TABLA No. XIX

PESOS ESPECIFICOS DE LAS SOLUCIONES DE ACIDO CROMICO

| DENSIDAD(gr/cm ³) | CONCENTRACION(gr/l) |
|-------------------------------|---------------------|
| 1.14 | 200 |
| 1.15 | 215 |
| 1.16 | 229 |
| 1.17 | 243 |
| 1.18 | 257 |
| 1.19 | 272 |
| 1.20 | 288 |
| 1.21 | 301 |
| 1.22 | 316 |

15

B I B L I O G R A F I A

- 1 GEORGE L. KEHL. The principles of metallographic laboratory practice, Mcgraw-Hill Book Company, United States of America.
- 2 FREDERICK A. LOWENHEIN. Electroplating, Mcgraw-Hill Book Company, United State, 1978, p 188.
- 3 Mr. Frank H. EWENS. Handbook on Electroplating, Wcanning & CO. LTD., 1963, p 144.
- 4 KENNETH E. LANGFORD, Análisis de baños electrolíticos, Aguila-Madrid, 1963, p 38.
- 5 ENRIQUE JULVE SALVADO, Recubrimientos electrolíticos brillantes, Cedel-Barcelona, 1963, p 53.
- 6 HUGO KRAUSE, Análisis de baños electrolíticos y recubrimientos en galvanotecnia, José Montesó-Barcelona, 1962, p 40.
- 7 HYMAN CHESSIN, M&T CHEMICAL and EVERETT H. FERNALD,

106

Metals Handbook, Novena edición, pág 170.

- 8 WILLIAM BLUM Y GEORGE B. HOGABOOM, Galvanotecnia y Galvanoplastia, Continental - Mexico, 1958, p 35.