

Universidad Nacional de Ingeniería

**Programa Académico de Ingeniería Geológica, Minera
y Metalúrgica Departamento de Metalurgia**



Anteproyecto de una Planta de Anodizado de Aluminio en el Perú

T E S I S

**Presentada por el Bachiller
José V. Rendón Dávila**

**Para obtener el Título de:
INGENIERO METALURGISTA**

Lima - Perú

1974

A G R A D E C I M I E N T O

Agradezco a mi profesor y amigo Ing. Luis Alva Saldaña por su acertada asesoría y desinteresada - colaboración en haberme facilitado los reactivos y el rectificador de corriente con los que se hicieron los experimentos.

Al Ing. Pedro M. Angeles B. por su comprensión y estímulo. Al

Al Ing. Palomino de METINSA por sus inapreciables datos y ayuda.

Mi eterno reconocimiento al Ing. Cabrera y a la señora Eliana Infantes sin cuya ayuda no hubiera terminado este trabajo.

A los señores Estanislao Valenzuela y Toribio Rosas.

DEDICATORIA:

A mis alumnos

**" Si alguien tiene que hablar en mi
tumba, será un estudiante"**

José María Arguedas

I N D I C E

Introducción

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.- Exposición de Motivos	1
2.- Empleo del Proceso en la Industria Metalúrgica	
2a. Empleo del Electropulido	2
2b. Empleo del Anodizado	3
3.- Consideraciones teóricas sobre los procesos de Electropulido y Anodizado	7
3.A. Electropulido como paso previo	7
3.A.1. Ventajas del electropulido sobre el puli do mecánico	7
3.A.2 Estudio de Jacquet	10
3.A.3 Temperatura Anódica	12
3.A.4 Formación de la capa anódica	12
3.A.5 Composición de la capa anódica	13
3.A.6 Fenómenos de Pasivación	14
3.A.7 Electrodes cristalización	16
3.B. El anodizado	17
3.B.1 Mecanismo de oxidación anódica	18
3.B.2 Punto de vista de Fischer	19
3.B.3 Flujo Electroosmótico	19
3.B.4 Teoría de las 2 capas	21
3.B.5 Crecimiento de la capa de óxido	23

CAPITULO II

TECNOLOGIA GENERAL

1.- Estudio de la materia Prima	26
1.A. Aluminio	
1.B. Aleaciones de aluminio empleadas en anodiza do	27
2.- Procedimiento Industrial del Proceso de Anodizado	28

2.A. Operaciones y Procesos Unitarios	28
2.B. Flow Sheet General	29
2.C. Descripción de cada una de las operaciones y Procesos Unitarios	28
2.C.1 Desengrase	28
2.C.2 Enjuague	33
2.C.3 Decapado o Ataque básico	35
2.C.4 Neutralizado	39
2.C.5 Electropulido	41
2.C.6 Anodizado	46
2.C.7 Teñido	54
2.C.8 Sellado	56
3.- Producto obtenido	58
3a. Propiedades Mecánicas	58
A. Dureza	58
B. Frajilidad	59
C. Resistencia al desgaste	60
D. Resistencia a la Fatiga	62
E. Propiedades anticorrosivas	62
F. Propiedades Dieléctricas	63
4.- Parte Experimental	
4a. Objetivo y Plande Práctica	66
4b. Material y Equipo	67
4c. Esquemas de Aparatos y Equipos	68
4d. Experimentos	70
4e. Observaciones y Conclusiones	83

CAPITULO III

INGENIERIA GENERAL

1.- Especificaciones de Equipo a construir en el País	84
1.a. Cubas o tanques	84
1.b. Sistema de Extractores	87
1.c. Tanques de reactivos	91
1.d. Bastidores	94
1.e. Equipo de Control de Temperatura	96

2.-	Especificaciones del Equipo a Comprar	96
2.a.	Rectificadores	96
2.b.	Caldero de vapor	99
2.c.	Refrigerador	103
2.d.	Suavizadores de Agua	104
3.-	Plant Layout o distribución de Planta	107
4.-	Especificaciones de Edificios y Obras Civiles	108

CAPITULO IV

ECONOMIA GENERAL

1.-	Estimación de la Inversión . . . . .	.109
2.-	Estimado de Costo de Producción . . . . .	.114
2.a.	Materia Prima . . . . .	.114
2.b.	Mano de Obra . . . . .	.115
2.c.	Mantenimiento, Abastecimientos, servicios	.116
2.d.	Gastos Indirectos . . . . .	.116
3.-	Balance Económico . . . . .	.118
4.-	Indices de Evaluación Económica . . . . .	.119

CAPITULO V

1.-	Algunas Plantas de Anodizado en el Perú	
	METINSA . . . . .	.120
	MORAVECO . . . . .	.128
	RECORD S.A . . . . .	.136
2.-	Designaciones para Acabados de Aluminio . . .	.140
3.-	Clase de Rugosidades . . . . .	.143

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

En cumplimiento con las exigencias del Programa de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica presento la siguiente tesis para obtener el título de Ingeniero Metalurgista. Este trabajo se ocupa del diseño de una planta de anodizado de aluminio y consta de 5 capítulos, en los cuales desarrollo tanto la parte de fundamentos teóricos del anodizado y las 3 partes esenciales del diseño de cualquier planta industrial, a saber Tecnología, Ingeniería y Economía. Por último incluimos un apéndice con una descripción somera de algunas de las principales plantas de anodizado que están trabajando en Lima.

En la actualidad la producción de piezas de aluminio anodizado apenas cubren el 50% de la demanda nacional, ésta unida a la demanda de los países vecinos pertenecientes al grupo subregional del pacto andino, hace factible la instalación y puesta en marcha de una planta de esta categoría. Mas aún, como veremos en la parte de Economía, con una inversión mediana se obtienen considerables utilidades en un tiempo relativamente corto.

Debo advertir que este trabajo, no es un proyecto acabado de diseño, por lo tanto, adolece de defectos de precisión y detalle, por lo que desde ya trato de justificarlos. Mas de otro lado diré que dentro de los límites de anteproyecto goza de la seriedad y exactitud adecuada que le confiere completa confiabilidad.

1.- EXPOSICION DE MOTIVOS

La cada vez más grande demanda del aluminio y su utilización también creciente deviene de las propiedades específicas del elemento en mención; esas propiedades son fundamentalmente su escaso peso por unidad de volumen, su comportamiento superficial frente al intemperismo ambiental y la considerable mejora en sus propiedades físicas cuando se alía con pequeñas cantidades de otros metales como: cobre, silicio, zinc, magnesio, etc.

Se puede hablar mucho en favor del elemento N° 13, mas para ser específicos nos concretaremos hacer notar que; la cualidad de poder adquirir simultaneamente propiedades superficiales convenientes y un acabado vistoso, amen de la facilidad de su manipulación; ha sido, la principal razón de su amplia utilización en nuestro medio.

El acabado que se puede dar al aluminio es un factor primario que hace el producto francamente comercial y que eleva su precio en mercado a porcentajes muy altos. En este sentido, diremos que es un comportamiento normal de todo consumidor ver en los productos, la apariencia externa en primer lugar y las propiedades o mejor, la calidad en segundo lugar. Los procesos que embellecen cualquier artefacto, utensilio, máquina, etc, llaman consiguientemente poderosamente la atención de cualquier industrial o profesionales de la materia.

El anodizado como proceso de acabado, dá al aluminio y aleaciones comerciales, las características plásticas necesarias a costos relativamente bajas, a esto se añade el incremento de propiedades físicas tales como: resistencia al uso, a la abración a la humedad y medios corrosivos.

En el Perú son pocas las industrias que anodizan aluminio, estando seguro de que el proceso sólo se realiza en Lima. Sin embargo, el volumen de producción no es lo suficiente como para satisfacer la demanda nacional y mucho menos la que deviene del mercado andino. Podemos decir también que hay muchas plantas pequeñas que a la vez que rea-

lizan trabajos de galvanoplastia efectuan también anodizado de piezas de aluminio, pero, las condiciones de trabajo son rudimentarias y sin adecuado control y optimización de los baños; lo que trae como consecuencia mala calidad de los productos. En este trabajo intento llenar un poco el vacio existente proporcionando una serie de datos y elementos que sirvan de guia a los pequeños industriales que intenten o que ya estén trabajando en tan interesante proceso, a la par que desarrollo el trabajo general del diseño de planta.

2.- EMPLEO DEL PROCESO EN LA INDUSTRIA METALURGICA

2.a Empleo del Electropulido: Hay que hacer notar que el electropulido se emplea tanto para la industria como para la investigación.

El empleo del electropulido industrial es debido a veces para mejorar propiedades funcionales de las partes tratadas y otras por las ventajas económicas que representa la sustitución del tradicional pulido mecánico por el electropulido. A veces resulta ventajoso para mejorar las condiciones de salubridad ambientales en relación con pulidos que forman polvillo.

El electropulido ha dado resultados muy satisfactorios para la fabricación de herramientas de corte y de ciertas piezas que trabajan a fricción. Incluye también piezas de joyería, máquinas de afeitar, adornos de automóvil, plumas fuentes, pantallas de reflectores, adornos arquitecturales y reflectores térmicos para piezas de vehículos espaciales.

Cabe resaltar el hecho de que hay ciertos criterios contrapuestos en las ventajas y desventajas que hay entre el pulido mecánico y el electrolítico; sobre el particular hay bastante literatura (Una parte de la cual puede encontrarse de "Cleaning and Finishing of Aluminum and Aluminum Alloys" de Metal Handbook, tomo N° 2, página 618). No obstante, sólo la práctica puede confirmar o no las ventajas y desventajas del electropulido. El alisado que se puede

Obtener tiene un límite. Un acabado brillante y uniforme para grandes superficies es difícil de obtener, siendo la calidad del acabado función, muchas veces, de la pureza u homogeneidad del material a tratar. Además la calidad del electropulido depende de las operaciones ha tener en cuenta para poder asegurar las ventajas de un buen electropulido.

Las posibilidades como medio de investigación dependen de muchos factores. Se emplea en investigaciones sobre óptica, sobre propiedades magnéticas y particularidades electro^líticas, así como para los estudios de difracción electrónica. La corrosión y resistencia al envejecimiento dependen en gran parte del estado de la superficie. Los exámenes microscópicos para estudiar varias propiedades de los metales relacionados con la estructura del material, incluyen muchas veces el electropulido y bruñido sucesivos de las superficies a examinar. Basandonos en nuestra experiencia, podemos asegurar, que las condiciones de observación de los detalles - en una probeta metalográfica mejoran en un 60 a 80% que con un pulido mecánico ordinario.

2.b Empleo del Anodizado del Aluminio: Más del 5% del aluminio producido se anodiza, la capa de óxido proviene de un número de cualidades aprovechables, desde dar una efectiva protección al metal base, hasta suministrar un buen aislamiento eléctrico, y desde un buen efecto decorativo hasta constituir el soporte ideal para las emulsiones fotográficas y para la manufactura de clisés de imprenta.

La información más en detalle que se encuentra en la literatura está referida a los siguientes items:

A.- Protección contra la corrosión.- Con el proceso de anodizado con ácido sulfúrico corrientemente empleado, se consiguen capas de óxido sobre el aluminio y sus aleaciones de espesores adecuados (no menores de 140 a 200 micras) con excelentes capacidades de absorción y de protección contra la corrosión. El sellado al cromato es esencial y para condiciones de corrosión severas se protege con una imprimación

de barniz. Existen varias imprimaciones y barnices para impregnar el óxido. El objeto de estos tratamientos es el de proveer al óxido de un sellado adicional protector de la superficie.

B.- Aislamiento eléctrico.- El aislamiento eléctrico del aluminio a través del anodizado tiene ventajas, en ciertos casos, respecto a otros aislamientos. La capa de óxido es delgada, resistente al calor, tiene una, relativamente, buena conductividad calórica y resiste a la acción del vapor de agua y acción de otros agentes corrosivos. Las resquebrajaduras y limitada elasticidad y las dificultades de obtener capas que puedan soportar uniformemente varios centenares de voltios y la gran higroscopicidad de las capas de óxido limitan, no obstante, el campo de aplicación de sus propiedades aislantes. Siendo la higroscopicidad de la capa anódica un factor negativo para el mantenimiento de la resistividad del material. Se debe poner especial atención en el secado y subsiguiente impregnación, mejorándose de esta manera la constancia de las características aislantes. Se obtiene buenos resultados secando al vacío a 105 ó 110°C siguiendo con una impregnación con parafina, cerisina, barnices aislantes u otros plásticos bajo presión.

C.- Acabados decorativos.- El anodizado seguido de una impregnación es método efectivo de acabado con fines decorativos. Junto con algunos tratamientos previos de la superficie, se consiguen excelentes resultados. Las capas de óxido al ser tratadas con soluciones orgánicas o inorgánicas, los poros absorben la materia colorante, o el colorante reacciona químicamente con la capa oxidada. Los materiales a base de aluminio que son pintados para servicio en ambientes severamente corrosivos son anodizados antes de ser pintados.

D.- Base para un recubrimiento metálico posterior.- La porosidad inherente a la película anódica favorece el electrorecubrimiento con metales como el cromo. Para el caso, se usa generalmente un baño de anodizado de ácido fosfórico.

E.- Detección de defectos de superficie.- La solución de anodizado de ácido crómico puede usarse como medio de inspección para la detección de pequeñas grietas de superficie. Cuando una pieza que contiene un defecto superficial es extraída del baño de anodizado y luego lavada y secada rápidamente el ácido crómico atrapado en los defectos emerge y mancha la película anodizada adyacente al defecto.

F.- Permite aplicación de emulsiones fotográficas y litográficas.- La porosidad de la película anódica suministra un medio mecánico para conservar la emulsión. Las capas de óxido impregnadas se comportan como placas fotográficas. La capa a impregnar con emulsión debe ser blanca o casi incolora y presentar cierta porosidad de adecuado espesor. Tales capas pueden obtenerse anodizando aluminio de 99.5 de pureza en soluciones de ácido sulfúrico preferentemente al 15% a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ con una densidad de corriente anódica de 25 Amp/dm² durante 45 minutos.

El anodizado se emplea en imprenta para aumentar la vida útil de las placas de imprimir. Tal incremento es debido a la gran resistencia de la capa de óxido anódico y a la capacidad de transferencia de tintas grasas. Esta última propiedad asegura un fijado firme de la imagen en la placa. En el mismo sentido una capa de absorción coloidal del agua, obtenida por mordentado de las placas, se refuerza firmemente. Para la impresión con placas anodizadas se necesita menos tinta, lo que favorece la estabilidad del papel. Las capas de óxido obtenidas para su empleo en placas de imprimir deben ser duras, resistentes al desgaste y deben tener una buena capacidad de absorción.

G.- Aumento de la resistencia al desgaste.- Las capas de óxido de gran resistencia al desgaste pueden ser de la misma resistencia y espesor de las capas usuales. Su formación presenta como dificultad la producción de gran cantidad de calor y en consecuencia una pérdida de óxido por disolución química y un aspecto de mordentado de la superficie. Para evitarlo no es suficiente enfriar el baño. La

mayor parte del calor se origina en la base de los poros, en el borde donde crece el espesor del óxido y para evitar el calentamiento debe enfriarse las propias piezas durante todo el proceso de anodizado.

Una solución para producir una capa anódica gruesa ha sido proporcionada por N. D. Tomashov y que contiene: 200 gr/lit de ácido sulfúrico. Se emplea a 1-3°C, la densidad de corriente anódica 2.5 A/dm² y el tiempo de anodizado 240 minutos. El voltaje del baño se aumenta gradualmente de 23 a 60-70 V al anodizar la aleación AK4. Se obtiene espesores de 150-175 micras con el aluminio y de 100 micras sobre la aleación AK4. Se produce un ligero incremento de dimensiones después de anodizada la pieza.

Las condiciones de anodizado indicadas se consiguen sólo con un enfriamiento intensivo de las piezas.

3.- CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE LOS PROCESOS DE ELECTROPULIDO Y ANODIZADO

3. A ET Electropulido como paso previo:

En el ítem 2. a hemos hecho mención a la discrepancia entre diferentes autores y técnicos sobre las ventajas o desventajas del electropulido sobre el pulido mecánico o pulido químico. A continuación, ampliaremos el tema con las siguientes consideraciones producto de una investigación bibliográfica.

3. A.1 Ventajas del electropulido sobre el pulido mecánico:

En rendimiento y economía el pulido electrolítico y el químico ofrecen las siguientes ventajas sobre el pulido mecánico.

Rendimiento

- a. No se introducen contaminantes dentro de la superficie metálica. Los procesos químicos y electrolíticos extraen los contaminantes inicialmente presentes en la capa superficial o incrustados en el metal durante las operaciones precedentes. El abrillantado de las superficies por estos procesos da los mejores resultados en la reflexión total o especular.
- b. Las superficies anodizadas y teñidas que han sido pulidas química o electrolíticamente tienen una brillantez, claridad y dureza no obtenibles en superficies pulidas mecánicamente. El anodizado reduce los valores de reflexión en menor grado en las superficies pulidas química o electrolíticamente que en las pulidas mecánicamente.
- c. El abrillantado químico o electrolítico del aluminio previo al electrorecubrimiento suministra mejor adhesión y continuidad a los recubrimientos. Esto da a su vez resistencia a la co-

rosión y el uso.

Economía

- a. Los costos en mano de obra son más bajos que en el pulido mecánico.
- b. Los procesos son rápidamente adaptables a la alta producción de piezas que debido a su forma, no pueden ser pulidas mecánicamente y piezas que requieren del pulido en un alto porcentaje de su superficie. Esto también va con las ampliaciones de una misma planta. También la modificación de las máquinas automáticas de pulido mecánico para acomodarlas a piezas de diferente configuración puede ser más caro que cambiar a un pulido químico o electrolítico.
- c. Incorporación de procesos dentro de una línea de anodizado automático o electrorecubrimiento puede resultar en economía de espacio, equipo y operaciones y puede eliminar una o más operaciones de limpieza en el ciclo de pre-tratamiento. El quitado de rebabas puede ser totalmente eliminado debido a la alta velocidad con que el electropulido arrastra el metal de las esquinas y de los fillos.

Para continuar, es necesario aclarar que, hay mucha literatura técnica que suministran información específica, tanto sobre el electropulido como del anodizado, mientras que podemos afirmar que pocos han ocupado su tiempo a estudiar minuciosamente los fenómenos que tienen lugar en la superficie metálica durante tales procesos, tal es la razón de que sean manuales y libros de recopilaciones experimentales los que inundan el mercado bibliográfico; antes que tratados serios de investigación. Esa es la razón que me ha llevado a introducir en esta tesis un resumen de las consideraciones teó-

ricas extraídas de la obra de unos cuantos investigadores que se han avocado a este problema, así tenemos que:

A E. I. Shpitaskiy puede considerársele como el padre del electropulido, pues fue el primero en patentar y llevar a cabo en Alemania y en Rusia, procesos para las primeras piezas electropulidas. En sus trabajos, producto del estudio de los procesos anódicos, resalta los siguientes puntos como característicos del electropulido.

1. La polarización de los electrodos metálicos conduce, en ciertas condiciones, a la pasivación del ánodo que desaparece agitándo la solución o al interrumpir la corriente polarizante.
2. Bajo ciertas condiciones estos fenómenos inestables de pasivación están relacionados con una pulsación de la corriente; por ejemplo, un cambio espontáneo, periódico, más o menos rápido y marcado en la intensidad de corriente.
3. Los fenómenos de la pasivación del ánodo y la pulsación de la corriente están reflejados en una forma anómala de la curva Intensidad versus voltaje; dentro de un cierto intervalo, un incremento en el potencial no origina cambio en la intensidad de la corriente.
4. La pulsación de la corriente va acompañada por cambios visualmente observables de la superficie del ánodo.
5. A cierta intensidad de corriente, característica del metal y la solución dados, ocurre la transformación de la superficie mate de ánodo en una superficie brillante, esta transformación va acompañada en ciertos casos, por una pulsación en la intensidad de la corriente.

Para Shpitaskiy, el metal se abrillanta cuando bajo las condiciones eléctricas y del electrolito la superficie del metal se pasiva dando lugar a la

anomalía en la curva I-V, donde la intensidad de co rriente no aumenta a pesar del incremento de la caída de potencial.

La relación entre la intensidad de corriente y el voltaje ha sido motivo de estudios, tales como:

3.A.2 Estudio de Jacquet.- Este investigador hace un estudio teórico de la curva I-V (mostrada en la figura N° 4) explicando cada una de las partes de la misma de la siguiente manera:

Comenzando se vé que a un aumento de voltaje corresponde un aumento proporcional en la intensidad de corriente. Esta parte de la curva está comprendida entre A y B, correspondiente a la disolución normal de ánodo donde las irregularidades aún no desaparecen. A partir de la intensidad disminuye hasta alcanzar un voltaje V_2 a partir del cual la intensidad se hace constante.

Según Jacquet, el electropulido comienza en V_2 y continua hasta V_3 , alcanzándose el máximo brillo de la superficie a un voltaje cercano a V_3 . Para él, las microasperezas y el brillo de metal pulido se debe a la polarización del ánodo y a la inmediata aparición de una capa viscosa alrededor del mismo. Esa capa está constituida de productos formados por el metal que se disuelve en el electrolito.

La capa anódica tiene menor conductividad eléctrica que el electrolito y siendo paralela a la superficie del ánodo es mas angosta al frente de las microproyecciones que frente a las microdepresiones de modo que las primeras se disuelven mas rápido que las segundas, siendo el resultado de tal proceso un alisamiento de la superficie. Según esto las condiciones óptimas de pulido estarán en la máxima relación V:I o sea la máxima resistencia de la capa anódica. (Ley de Ohm).

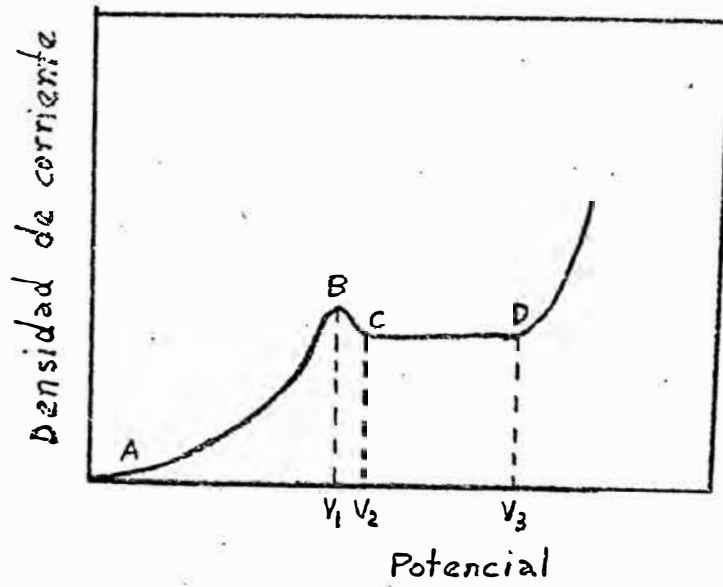


Fig 1. Relación entre la densidad de corriente anódica y el potencial en el electropulido.

E. Darmoy y sus colaboradores probaron con diferentes electrolitos encontrando que aquellos para los cuales la relación $V:I$ era mayor, daban lugar a un mejor pulido.

Sin embargo, las observaciones de Jacquet y seguidores no dan respuesta completamente satisfactoria al fenómeno del electropulido ya que hay algunas aleaciones que pulen bien a potenciales mayores que V_3 o sea cuando ya hay desprendimiento de oxígeno en el ánodo. Es necesario entonces tomar en consideración otros factores, que junto con la película viscosa anódica influyen en el proceso de electropulido.

3.A.3 Temperatura Anódica.- Las investigaciones hechas por D. Geis y W. Fischer mostraron que aumentando el potencial anódico también aumenta la temperatura de la capa anódica en una forma concordante con la curva $I-V$ mientras que la temperatura del resto del electrolito permanece constante.

Como se dijo anteriormente, la capa anódica que es el electrolito adyacente a la superficie y de una composición dada cuando aumenta la intensidad de la corriente, se enriquece en compuestos productos de la disolución aumentando de esta forma la resistencia al paso de corriente y, por consiguiente, aumenta la temperatura. El súbito aumento de temperatura correspondiente a la parte horizontal de la curva $I-V$ se explica por cambios cualitativos en la capa anódica a más de la resistencia eléctrica que ofrece la misma.

3.A.4 Formación de la Capa Anódica.- Según W. C. Elmore la función decisiva de la película anódica no se debe a las diferencias en la resistencia eléctrica desde el cátodo a las microproyecciones y microfondos sino a las diferencias de velocidad en la difusión de los productos formados por el metal y el

electrolito. Se presume que la corriente eléctrica es transportada de la solución por iones de hidrógeno y del metal por difusión de iones metálicos.

De acuerdo con Elmore, la película anódica desempeña un doble papel en el proceso de electropulido:

1. Origina una fuerza contraelectromotriz.
2. Cuando ésta alcanza un valor dado la película anódica limita la intensidad de la corriente que pasa a través del baño sugiriendo que bajo estas condiciones se forma la porción horizontal de la curva I-V.

Según Fedotieff el punto de vista de Elmore es incorrecto, puesto que, en caso de disolución anódica, el proceso está limitado por la lentitud de la difusión de los aniones a la superficie de disolución y no por la difusión de los cationes del metal que van a la solución. Aparte de esto es conocido que el electropulido, de un cierto número de metales, tales como por ejemplo el cobre puede producirse con la simultánea evolución del oxígeno o sin ella.

- 3.A.5 Composición de la Capa Anódica.- K. P. Batashev y E. N. Nikitin han analizado la película de cobre formada en el electropulido de cobre en una solución de ácido fosfórico. Las muestras fueron tomadas 200 segundos después de conectar la corriente y 200 segundos después del incremento del potencial del ánodo. En el primer caso el contenido de cobre y de fosfato de la capa anódica corresponde a la fórmula Cu HPO_4 mientras que en el segundo corresponde a $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$.

Los investigadores suponen que el CuHPO_4 es el primer producto que se forma con el cobre. Después que una solución saturada de hidrofosfato de cobre

ha sido formada en la capa anódica y después que la polarización ha alcanzado un valor suficientemente alto llega a ser posible la formación de fosfato tricúprico.

La máxima concentración de iones de cobre ocurrirá en los microfondos. Es en estas regiones donde el fosfato tricúprico se forma en primer lugar. Las microproyecciones estando más favorablemente si tuadas en cuanto a la difusión de los productos de disolución darán una concentración inferior de iones cobre; por tal motivo, se cubrirán con el hidrofosfato de cobre conteniendo iones hidrógeno y teniendo una conductividad más alta. La concentración del fosfato tricúprico en los microfondos aumenta hasta un límite. Este proceso va acompañado por un incremento de potencia.

- 3.A.6 Fenómenos de Pasivación.- Debe anotarse que los agentes pasivantes entran en la composición de muchos electrolitos para pulido. De este modo, por ejemplo, el electrolito usado para el pulimento del acero al carbono contiene ácido crómico además de ácido sulfúrico y fosfórico, y se sabe que con la ausencia del ácido crómico el efecto del pulido no se logrará y la superficie del ánodo no llega a hacerse brillante.

La posibilidad de pasivación del ánodo en el curso de los procesos de electropulido ha sido discutido por muchos investigadores. V. I. Layner considera que la base del proceso del electropulido es una pasividad anódica localizada que se presenta como resultado de la concentración de polarización. Tal pasividad de acuerdo con Layner, se produce como resultado de la película viscosa anódica del electrolito, que tiene una alta resistencia eléctrica llenando los microfondos de la superficie; y así limita la disolución del metal en estas regiones.

Los procesos que ocurren durante el electropulido del cobre no siempre confirman las diferentes opiniones relativas al mecanismo de pasivación. Así según Hedges, la película anódica visible se elimina como resultado de la formación en el ánodo; y por influencia del oxígeno que se produce de una película invisible protectora.

Las observaciones, a pesar de todo, sugieren que una superficie electropulida no sea pasiva, pero está en disposición de convertirse rápidamente en pasiva.

A. V. Fortunatov y A. V. Finkelstein han analizado la película negra que cubre la superficie de un ánodo de cobre pulido en una solución de ácido fosfórico. Han encontrado que la película es de óxido de cobre. Hallaron que la superficie del metal debajo de la película estaba parcialmente pulida. Los investigadores mencionados consideran el electropulido del cobre como un proceso que implica la formación intermedia de una película de óxido de cobre con la disolución subsiguiente de esta película en el ácido ortofosfórico.

A. I. Levin sugiere que a cierto potencial de ánodo, en el cual se observa una vigorosa evolución de oxígeno, se forme una capa de óxido en la superficie del ánodo. Como resultado de la concentración de las líneas de fuerza de la corriente en las microproyecciones de la superficie del metal se produce allí un cambio de la tensión superficial de la capa, su rotura localizada y por consiguiente una intensa disolución del metal en estos puntos.

Varios investigadores han intentado determinar por difracción de electrones si está presente o no una capa pasivada en la superficie del metal electropulido. Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten ninguna conclusión definitiva.

Lacombe, Maurice y Chaudron por determinación de los potenciales de solución llegan a la conclusión de que el Aluminio y el zinc se cubren de una capa de óxido como consecuencia del electropulido.

La pasivación anódica, si se produce en el proceso de pulido no puede considerarse sólo como el resultado de formación de una película protectora estable en la superficie del metal.

G. Francis y W. Kelner han estudiado, con ayuda de un oscilógrafo, la relación del potencial con la aparición de los fenómenos periódicos en el electropulido de la plata. El mejor efecto de pulido se obtiene en las condiciones en las que se produce la máxima frecuencia de las variaciones, en la intensidad de la corriente. Las experiencias de estos y otros investigadores más sugieren que en un número de casos, fenómenos periódicos, tales como una sucesión de estados activos y pasivos del ánodo, favorecen el alisado u abrillantado de la superficie de un metal.

3.A.7 Electrodes cristalización.-- Nuevos puntos de vista basan la teoría del electropulido en un posible proceso de electrodes cristalización, el opuesto a la electrocristalización en la depositación catódica de metales.

El fenómeno ha de considerarse en su base como una diferencia de los potenciales de solución de las distintas caras del cristal. En el proceso de disolución anódica, todas las microzonas en estado de tensión interna se eliminan y la superficie queda con un aspecto de mordentado homogéneo. La polarización total del ánodo queda definida por las polarizaciones individuales de dichas microzonas. Bajo esas circunstancias se generan diferencias de potencial que permiten la mayor velocidad de disolución de determinadas microzonas, pero en función de

las caras cristalinas.

La disolución anódica, que provoca una peculiar rotura de la red cristalina interviene directamente en la formación del mordentado anódico.

Según esta teoría, los principales factores del electropulido de un metal son: el micromordentado electrolítico de la superficie del metal y la disolución inicial de sus elementos más activos en relación con la estructura cristalina. La corriente eléctrica efectúa, principalmente, el desplazamiento de los potenciales de disolución entre las aristas, caras y planos de la red cristalina. La composición del electrolito actúa en relación con la capacidad de disolución de las caras de los distintos cristales.

De todos los acápites anteriores se puede concluir que los trabajos sobre electropulido que se han publicado demuestran que no existe una sola teoría aceptada generalmente. Las existentes no siempre han tenido una confirmación experimental y no explican todos los fenómenos que caracterizan el proceso. A lo máximo podemos decir que las observaciones de laboratorio y la propia experiencia industrial nos incitan a decir que el electropulido está estrechamente relacionado con la pasivación anódica.

3.B El Anodizado: El empleo de los métodos comunes, tales como son los recubrimientos electrolíticos, barnizados, pinturas, etc. es más difícil en el aluminio y sus aleaciones que en los otros metales. Sin embargo, la peculiaridad del aluminio de recubrirse de una capa de óxido protector se aprovecha al máximo y más aún se trata de engrosar la película por medio de recubrimientos electroquímicos, térmicos o electrolíticos.

Este último procedimiento es el que produce mejores resultados, lográndose películas hasta de 0.8 mm. de grosor que dan alta resistencia a la corrosión y

mejora las propiedades mecánicas, eléctricas y físicoquímicas del metal.

Los estudios llevados a efecto, han demostrado que las propiedades de la capa anódica dependen esencialmente del electrolito empleado, así tenemos que con los ácidos acético, clorhídrico y nítrico no se forma película mientras que con el sulfúrico, fosfórico o crómico la capa obtiene además de grosor un mejoramiento en sus propiedades.

El anodizado es pues una oxidación anódica y el proceso consta de:

1. Oxidación del aluminio
2. Disolución del metal en el electrolito
3. Desprendimiento de oxígeno del ánodo

3.B.1 Mecanismo de la Oxidación Anódica.- Muchos investigadores han trabajado a este respecto entre los que cabe destacarse a Trummel, Fischer, Samartsev y el grupo de G. V. Akimov.

Todos los investigadores coinciden en señalar que en el proceso se forman 2 películas, una superficial y otra interna que se tornan porosas por acción del electrolito y a través de estos continúa la formación de óxido de aluminio hasta llegar a un espesor tal que la permeabilidad al electrolito disminuye asintéticamente o, para ser más prácticos, se detiene.

Rummel dice: "Los poros de la capa superficial están parcialmente rellenos de gas y el paso de la corriente eléctrica y el oxígeno es el resultado de una descarga en el seno del gas". Este investigador encontró que en el aluminio se forma una primera capa superficial con una caída de tensión de hasta 60 Volts. y otra de caída de tensión proporcional al grosor de la misma, además descubrió que el crecimiento de la capa procede del interior de la capa más cercana al metalbase a la inversa de lo que ocurre en los recubrimientos.

Otra investigación del investigador fué, que los poros estan orientados en la dirección del campo eléctrico y concluye en que la alta concentración de las líneas de corriente eran la causa de la elevación de la temperatura en el ánodo.

3.B.2 Punto de vista de Fischer.- Considera que la oxidación del aluminio en ácido exálico y sulfúrico comienza con la formación de una película compacta a partir de los iones metálicos disueltos aledaños al ánodo; a un incremento del potencial anódico la película se agrieta, por acción del burbujeo de oxígeno; por tales fisuras penetra el electrolito y el oxígeno para repetir nuevamente el proceso; ensanchando de este modo la capa. El calor generado ayuda la disolución del óxido y aumenta la porosidad de la capa. Se produce pues 2 fenómenos bien diferenciados: una disolución del óxido del óxido de la capa ya oxidada y la formación de óxido en la base de los poros.

3.B.3 Flujo electroosmótico.- A. Samartsev cree que el electrolito forma una disolución de aluminio, que posteriormente se oxida y se precipita en forma porosa sobre la superficie anódica. Las conclusiones de Samartsev an lugar a que se considere el fenómeno de **ELECTROOSMOSIS**, que no es mas que el flujo eléctrico a través del electrolito dentro de las microporosidades.

Por efecto del flujo electroosmótico el electrolito disuelve el film de óxido y va ensanchando los poros provocando una pérdida de peso del óxido que pasa al baño. Se estima que los poros ocupan un volumen de 42 a 45% del volumen total de la capa de óxido.

El grueso de la capa crece pero la velocidad va disminuyendo. Así vemos que los datos obtenidos por N.P. Fedotiev y S.I. Grilijes dan las siguientes curvas.

Las curvas nos muestran que al empezar el proceso es espesor de la capa anódica es igual al teórica-

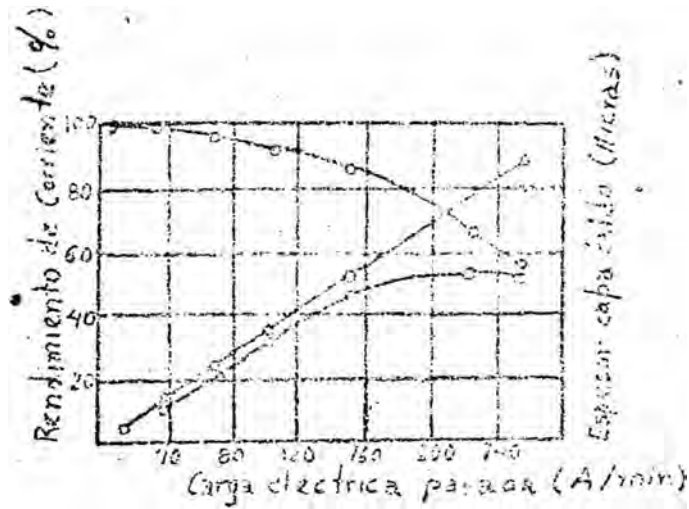


Fig 2. Relación entre el espesor de la capa de óxido, el rendimiento de la corriente y la cantidad de electricidad que ha pasado por el electrodo.
 1. Rendimiento de la corriente
 2. Espesor equivalente
 3. Espesor observado

Reactivo: H_2SO_4 al 15 % ; 23 ± 2 °C 2.5 A/dm²

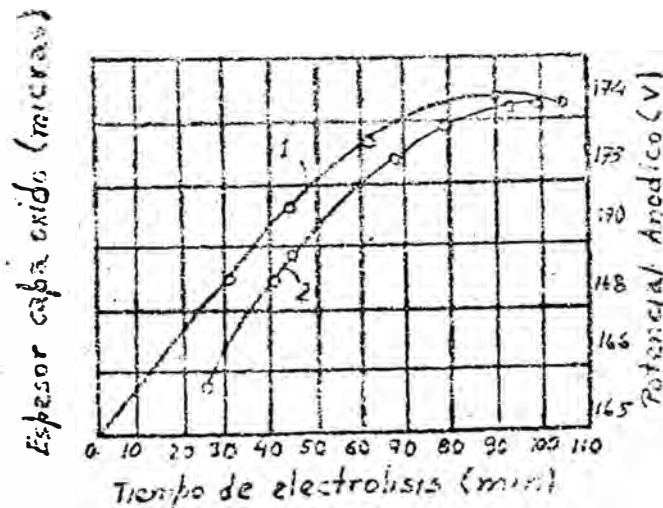


Fig 3. Relación entre el espesor de la capa de óxido, el potencial anódico y tiempo de oxidación
 1. Espesor de la capa
 2. Potencial anódico

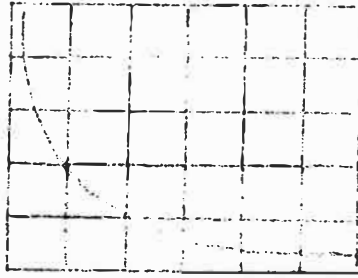
mente esperado; la película crece aumentando también el potencial y por consiguiente la resistencia esto dá lugar a un aumento de la temperatura en el ánodo a medida que avanza el proceso va disminuyendo la velocidad del formado de la capa hasta que prácticamente cesa e incluso comienza a disolverse la película de óxido. Si se continua la disolución de la superficie se mordenta.

Cuando aumenta el espesor aumenta en forma proporcional la resistencia, bajando la densidad de corriente y la velocidad de crecimiento de la capa. - Esto se lleva a cabo cuando se trabaja con ácidos crómico y oxálico.

Cuando se anodiza con ácido sulfúrico la curva es distinta por razones que aún no se conocen muy bien. G.V. Akimov y su grupo de investigadores atribuyen tal fenómeno a un cambio en el proceso anódico; en este caso el aumento de conductividad cuando crece la capa se explicaría por la neutralización de los iones oxígeno a la entrada de los poros, favorecido por la migración de iones positivos del ánodo hacia el cátodo.

3.B.4 Teoría de las dos capas.- Según esta teoría, se tienen 2 capas. Una en contacto directo con el metal fina y densa de 0.01 - 0.1 micra y otra capa hidratada mas gruesa que alcanza 100 micras o mas. Las siguientes figuras son bien explicativas.

Como se aprecia, una vez formado el film anódico delgado, este es atacado por el electrolito dando lugar a una capa menos densa y porosa; por los poros se introduce el electrolito y forma una nueva capa fina que así mismo se disuelve, engrosando la capa superficial; el proceso se repite constantemente hasta un límite. Se nota además, que como se dijo en páginas anteriores la capa de óxido crece del metal hacia la superficie. Los poros son cónicos con la ba



Tiempo

Fig 4. Cambio de densidad de corriente con el tiempo a tensión constante al anodizar aluminio con electrolito de ácidos crómico y oxálico.



Fig 5. Representación esquemática de una capa de óxido de aluminio obtenida por anodizado.

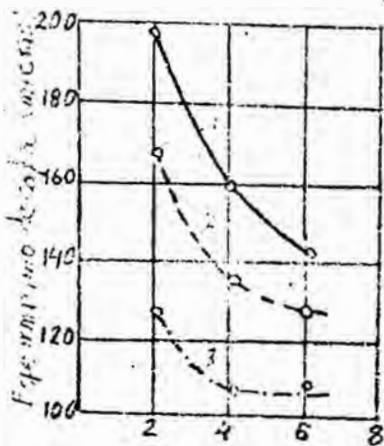


Fig 6. Relación entre el espesor de la capa de óxido alcanzable por anodizado, concentración de ácido y densidad de corriente.

1. 2N H₂SO₄ (96 g/l)
2. 4N H₂SO₄ (196 g/l)
3. 6N H₂SO₄ (294 g/l)

se hacia afuera.

3.B.5 Crecimiento de la capa de óxido.- En un principio el aumento de la capa de óxido queda limitada por el aumento de temperatura del electrolito pegado al metal especialmente en la parte más estrecha de los poros por ser más difícil el intercambio de calor. Incluso si se refrigera el electrolito o la pieza a anodizar la capa alcanza un límite. La mayor intensidad de corriente y concentración del electrolito permite un mayor rompimiento de la capa pero limita el espesor que puede alcanzarse.

Las curvas anteriores explican claramente que;

- a. A mayor concentración del electrolito menor espesor de la capa anódica.
- b. A mayor densidad de corriente menor espesor de la capa.

Un estudio de la variación del voltaje del baño y el tiempo de oxidación muestra una curva como esta (curva mostrada por Fedotiev y que no nos [↑] aclara si es a densidad de corriente constante).

La cual tiene 4 regiones correspondientes a los siguientes procesos:

- a. Frenado al crecimiento del voltaje en los primeros segundos lo que indica la formación de una película delgada de gran resistividad.

- b. Reducción del voltaje (de 10 a 15%) que termina cuando se crean los poros en el film.

- c. Crecimiento continuo del voltaje al aumentar el espesor de la capa y la profundidad de los poros.

- d. Aumento brusco del voltaje indicando la rotura de la capa de óxido. Esto sólo ocurre en capas de mucho espesor y no en casos normales.

A continuación presentamos una curva experimental que ejemplifica lo anteriormente enunciado (ver fig.).

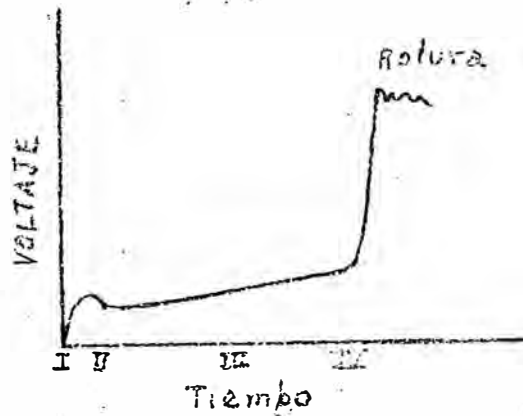


Fig 7. Voltaje del baño en relación con el tiempo de oxidación en el aluminio.

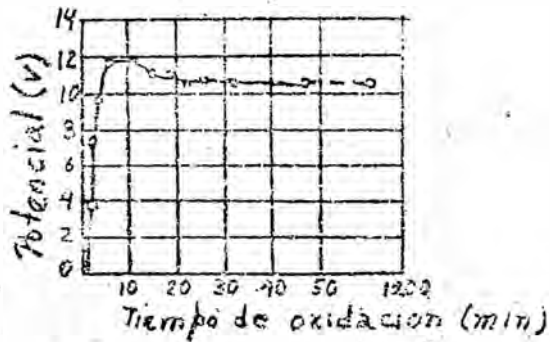


Fig 8. Cambio de voltaje del baño en relación al tiempo de oxidación del aluminio.

Electrolito: 4N de H_2SO_4 (196 g/l)

CAPITULO II

1. Estudio de la Materia Prima
2. Procedimiento Industrial del Proceso de Anodizado
3. Producto Obtenido
4. Parte Experimental

1.- ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA

1.A Aluminio:

Generales.- El aluminio es el principal miembro del grupo de los metales ligeros. De color blanco plateado y su configuración atómica es 2-8-3. La presencia de 3 electrones en la capa exterior da lugar a que el aluminio sea trivalente en los compuestos básicos y monovalente en algunos otros.

La más importante propiedad del aluminio es su baja gravedad específica 2.7 un tercio que el del hierro. Además es plástico y químicamente resistente a la acción de los ácidos nítrico y orgánicos aunque es atacado por los álcalis.

El aluminio es un metal fácilmente deformable debido a que tiene una red cristalina cúbica de cara centrada.

Las propiedades del aluminio varía con su pureza. La adición de ciertos alcantes pueden mejorar algunas propiedades, tales adiciones son generalmente magnesio, silicio, cobre, zinc y manganeso.

Desde 1945, el aluminio y sus aleaciones se han usado en los edificios, en forma de piezas estructurales.

El anodizado y el coloreado con fines decorativos han tenido un gran auge.

Por otro lado, hemos de decir que desgraciadamente nuestro país no explota yacimientos de aluminio, por lo que éste tiene que ser importado. De este modo, como las cotizaciones del aluminio son muy cambiantes el costo del producto terminado variará bastante en espacios relativamente cortos de tiempo.

Según algunos ingenieros peruanos hay bastantes posibilidades de poder obtener aluminio de caclines peruanos, tales opiniones se cimentan en estudios que se están llevando a cabo en algunas universidades. De cristalizarse las investigaciones, la materia prima dejará de ser un problema; y por consiguiente, se incrementará la necesidad de crear nuevas plantas de anodizado.

1. B Aleaciones De Aluminio Empleadas En Anodizado:

Entre las aleaciones de aluminio forjadas que se anodizan en Acido Sulfúrico tenemos:

1100 (2S)	99.0 + Al
2011 (11S)	5.5 Cu, 0.5 Pb, 0.5 Bi
2014 (14S)	4.4 Cu, 0.8 Si, 8.8 Mn, 0.4 Mg
2017 (17S)	4.0 Cu, 2 Ni, 0.5 Mg
2024 (24S)	4.5 Cu, 1.5 Mn, 0.6 Mg
5052 (52S)	2.5 Mg, 0.25 Cr
5053 (53S)	1.3 Mg, 0.7 Si, 0.25 Cr
5056 (56S)	5.2 Mg, 0.1 Mn, 0.1 Cr
6061 (61S)	1.0 Mg, 0.6 Si, 0.25 Cu, 0.25 Cr
6151 (A51S)	1.0 Si, 0.6 Mg, 0.25 Cr
7075 (75S)	5.5 Zn, 2.5 Mg, 1.5 Cu

Además:

5005
3003
2117
6062
6053
6063

Y aleaciones de aluminio fundido:

45 5 Si
142. 4 Cu, 2 Ni, 1.5 Mg
195. 4.5 Cu
214. 3.8 Mg
355. 5 Si, 1.3 Cu, 0.5 Mg
356. 7 Si, 0.3 Mg
380. 8.5 Si, 3.5 Cu

Además:

13
218
319

2.- PROCEDIMIENTO INDUSTRIAL

2.A Operaciones y Procesos Unitarios:

Operaciones Unitarias.- Existen como tales:

- a. Puesta en bastidores
- b. Desengrase
- c. Lavado y Enjuague
- d. Sellado
- e. Almacenamiento

Procesos Unitarios.- Tales como:

- a. Decapado
- b. Neutralizado
- c. Electropulido
- d. Anodizado
- e. Teñido

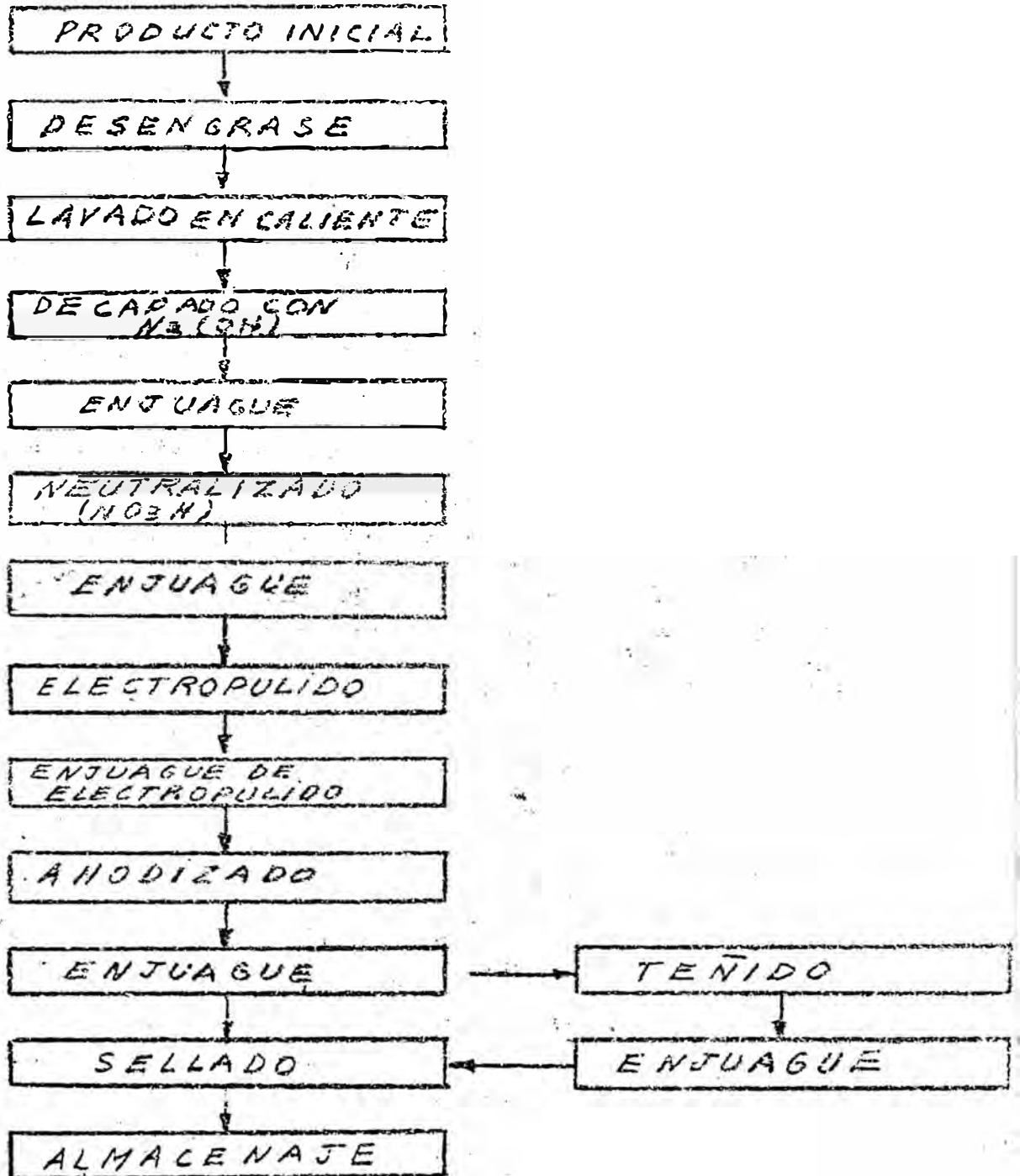
Algunas de estas operaciones y procesos unitarios son descritos posteriormente.

2.C Descripción de Cada Una de las Operaciones y Procesos Unitarios:

Cada una de las operaciones que se llevan a cabo en el anodizado de piezas de Aluminio y aleaciones tiene sus particularidades, las mismas que mueven a describirlas buscando en lo posible ser lo más sintético, pero no sacrificando claridad; por lo que en algunas partes de la descripción parecerá que nos salimos un poco del tema, sin embargo, considero que tales apartes, antes que confundir, coadyuvarán en el logro del fin de este ítem.

2.C.1 Desengrase.- La superficie original influye en un buen pulido, los mejores resultados se obtienen cuando la rugosidad está entre los números 8 hasta 10

2.- FLOW SHEET O. DIAGRAMA DE FLUJO.



(ver anexo 3) aumentando el acabado en un promedio de 2 (doble).

El tratamiento previo de desengrase incluye la eliminación de encima de la superficie de las trazas de grasa provenientes de las máquinas de formado de las piezas-embutidos, extrusiones, etc.-cascarillas y productos orgánicos. Las grasas se eliminan con disolventes orgánicos como petróleo y sus derivados o dicloroetano. En muchos casos los disolventes orgánicos pueden reemplazarse por soluciones de la composición siguiente:

Detergente	90 - 100 gr/lit
Sosa cáustica	20 40 gr/lit
Fosfato trisódico	10 - 20 gr/lit

Tal solución a 80 - 90°C por un tiempo de 5 - 10 min. elimina grasas de origen animal o vegetal.

Si se usan disolventes orgánicos, se sigue con un tratamiento electrolítico de desengrase con un baño de:

Sosa cáustica	20 gr/lit
Fosfato trisódico	30 gr/lit
Sosa calcinada	40 gr/lit
Agua	2 gr/lit

A 80 - 90°C una densidad de 10 Amp/dm² y por 5 - 7 min las piezas se conectan al cátodo. Después del tratamiento se lava prolijamente con agua caliente y luego con fría.

Las cascarillas y los productos de una posible corrosión pueden eliminarse en el curso del electropulido, aunque no es recomendable, puesto que se necesita más tiempo de electropulido y porque al eliminarse la cascarilla deja unas depresiones que no siempre se eliminan con el electropulido. La cascarilla por lo menos, es mejor eliminarla antes del elec

tropulido con papel de lija fino.

No deja de ser importante señalar que la naturaleza de la suciedad ha de tenerse en cuenta para escoger un proceso o una solución para desengrase; así tenemos que hay los siguientes tipos de suciedades: Aceites animales o vegetales: Estos materiales son saponificables, aunque la reacción es usualmente lenta e incompleta. Estos aceites son insolubles en agua y solubles en benceno e hidrocarburos clorados. **Esta clase de suciedad proviene del uso de compuestos pulidores, aceites para corte, compuestos a base de grasa y lubricantes para troqueles y moldes.**

Aceites compuestos: La mayoría de los aceites que se usan son de esta clase, como los aceites lubricantes para motor, aceites mineral sulfurado y aceite de manteca sulfurado.

Suciedades inorgánicas: Son manchas que resultan de algún tratamiento previo (térmico) y son difíciles de eliminar.

Pasando a otro acápite, diremos que "no todas las operaciones de electrorecubrimiento" en este caso no todas las piezas a anodizar requieren el mismo grado de limpieza para que la operación tenga éxito. En este sentido aclararemos que hemos visto diferentes plantas utilizando diferentes sistemas de limpieza y obtener iguales buenos resultados.

Método de Aplicación de las soluciones limpiadoras.- Para iniciar la marcha del nuevo equipo, deberán tomarse en consideración: el tamaño, peso y configuración de las piezas, así como el grado de limpieza requerido. Las partes pequeñas se colocan de ordinario en soportes o en canastas para su inmersión en tanques o su transportación a través de las máquinas lavadoras; en muchos casos se las puede limpiar en tambores o barriles rotatorios. Las partes demasiado

grandes para ser limpiadas en tanques para limpiarse en tanques se las puede limpiar a mano o con sopletes de vapor. Las piezas delgadas pueden ser remojadas y enjuagadas en forma individual para evitar que se deterioren. La forma de la pieza es importante, puesto que los ángulos agudos internos, concavidades y otras entrantes, son difíciles de limpiar. Las piezas se pueden manejar colocando chorros en un lavador de aspersion de manera que alcancen los entrantes, usando limpiadores de remojo o electroliticos. Debe tomarse en cuenta el escurrimiento de la solución limpiadora y el del agua de enjuagar.

El grado de limpieza requerido dependerá de la operación de acabado que siga. Por lo tanto, el equipo deberá seleccionarse para que proporcione los resultados deseados.

Limpieza en el tanque: Se realiza sumergiendo las piezas en los tanques de la solución de limpiado. Expuesto a grandes rangos, un buen procedimiento para limpiar piezas cubiertas con gruesas capas de suciedad sería:

- a. Remover el grueso de la suciedad remojando las piezas en un tanque con una mezcla de disolvente que se emulsione por si misma.
- b. Enjuagar
- c. Remover el aceite, grasa y otras impurezas remanentes remojando el trabajo en un tanque con una solución alcalina caliente.
- d. Enjuague
- e. Quitar la cascarilla u óxido por decapado.
- f. Enjuagar y neutralizar si fuese necesario.
- g. Proseguir con el proceso de fabricación o de acabado que se desee.

Esta disposición es bastante flexible, Las etapas a. y b. pueden omitirse cuando la suciedad sea moderadamente gruesa; las etapas e. y f. se pueden

omitir también cuando no se forme óxido. Una manera efectiva para empezar a limpiar piezas de metal que tenga una gruesa capa de suciedad acumulada en el taller es la de remojar previamente las piezas en un tanque con mezcla disolvente autoemulsionable (a, o cerca de la temperatura ambiente). Después de este remojo previo, las piezas deberán pasar a un enjuagado de presión (caliente si es posible).

La agitación de la solución limpiadora en el tanque es muy útil mejorándose el proceso con la adición de calor. Con la agitación, la fuerza mecánica de la solución permite el continuo contacto del metal con solución limpia.

Una buena agitación de la solución se obtiene instalando unas hojas de metal enfrente de los serpentines de vapor del tanque para utilizar las corrientes de convección formadas en el calentamiento de la solución. Estas laminas metálicas dirigen la corriente de la solución hacia arriba y la alejan de los serpentines, conservándola de este modo en circulación continua a través del tanque. También se puede obtener una agitación excelente con un agitador por élice.

2.C.2 Enjuague.-Ante todo advertiremos que el enjuague y las operaciones relacionadas con el mismo tienen vigencia para todos los enjuagues que se efectúan en el proceso de anodizado en su totalidad, sin embargo; hay naturalmente algunas variaciones de un proceso a otro, tales variaciones se especificarán en su respectivo lugar.

Un mal enjuague puede nulificar la acción del proceso anterior y posterior al mismo. Aún cuando en tales procesos se tomen toda clase de precauciones y se controlen todas las posibles variables. En consecuencia el enjuague debe considerarse como una parte integral de toda operación electroquímica de la naturaleza que estamos tratando.

En el caso específico del desengrase, es obvio, que el traslado continuo de piezas desde el tanque limpiador hasta el tanque de enjuagar, tiende a convertir el agua de este último en una solución débil de los materiales limpiadores. Esto debe evitarse reemplazando constantemente el agua con agua fresca, para diluirlo y para eliminar por flotación el aceite eliminando de las piezas.

En los lugares donde el agua es dura, es necesario con frecuencia utilizar vapor condensado, o tratar el agua para eliminar cualquier mineral disuelto que contenga, para proporcionar un enjuagado que produzca un grado satisfactorio de limpieza y un mínimo de piezas rechazadas, especialmente en el andizado. El enjuagado puede ser muy efectivo en tanques de agua corriente, especialmente si son agitados por medios mecánicos o a mano.

Las aspersiones son inmejorables para enjuagar cualquier tipo de piezas, en especial las que son huecas o tienen agujeros ciegos. La aspersión es más rápida y más limpia porque el agua no se utiliza 2 veces y es en general más efectiva y económica que el enjuagado en tanques. Por lo tanto, puede verse que existe muy buenas razones para instalar aspersores, siempre que sea posible.

a. Especificaciones para tanques o aspersores:

1. Para evitar que la solución limpiadora se seque sobre la pieza, los tanques o aspersores de enjuagar deberán ubicarse de modo que el trabajo pase inmediatamente de la limpieza al enjuagado.
2. Los tanques de enjuagar deben tener una constante corriente de agua limpia. Los mejores resultados se obtienen cuando el agua corre constantemente por 2 tubos horizontales perforados, uno cerca del fondo del tanque y otro arriba del nivel del agua (véase fig.23).

3. Los tanques de enjuagar deberán tener compuertas o grandes tubos para derrames, a fin de ayudar a conservar la superficie del agua libre - de capas de aceite.
 4. Si fuese factible, úsense 2 tanques de enjuagar en lugar de uno. Si el espacio del taller no permite tener dos tanques, instálese un separador dividiendo el tanque.
 5. El equipo de enjuagar por aspersion deberá tener suficientes boquillas para rociar el trabajo desde cualquier ángulo.
- b. Práctica recomendada: Para este item nos referiremos a los autores Scheifele B.F.H., Deut. Farven-7, 8,8-18 (1974) y a las publicaciones de la A.S.T.M. "Tentative Recommended Practices for Cleaning Metals Prior to Electroplating" y de la "ASM Committee on alkaline Cleaning of Metals" de 1958 y 1959 respectivamente.

2.C.3 Decapado o Ataque Básico.- El ataque alcalino reduce o elimina las rajaduras superficiales, picadura, líneas o huellas de extrusión y otras imperfecciones. Sin embargo, estas imperfecciones pueden acentuarse si no se renuevan completamente la solución antes del trabajo

- a. Caracter y Control de la solución.- El hidróxido de sodio es el alcalí más comunmente empleado. Su reacción con el aluminio es exotérmica produciendo hidrógeno gaseoso y aluminato de sodio y puede causar elevación en la temperatura del baño dependiendo de la interrelación entre la velocidad del metal extraído y el volumen del tanque. Acabados uniformes como ese pueden obtenerse con mayor dificultad con cargas o velocidades mayores de disolución en pequeños tanques. Debido a que el incremento de la temperatura causa un ataque más rápido y mayor deflexión de los constituyentes químicos en el baño.

La concentración del hidróxido de sodio en la solución del tanque usualmente va desde 15 a 60 gr/lit, para la mayoría de las aplicaciones, una concentración de 30 a 45 gr/l es la adecuada. La selección de la concentración es influenciada por el acabado deseado, la temperatura de operación del baño, la cantidad de agua, el tiempo de transferencia entre el ataque y el enjuague.

El control de la solución es mantenido por un regular análisis de las muestras para determinar el hidróxido de sodio libre y el aluminato de sodio libre (Aluminio). En un método común de operación la concentración del hidróxido de sodio libre no deben bajar de valores de 20 a 30 gr/lit cuando se requiere un medio de ataque profundo. La concentración normal de trabajo del aluminio es cerca de 30 gr/lit o alrededor de 2.5% en peso. Cuando el contenido de Aluminio de la solución es de 5.2 a 7.5 gr/lit y el hidróxido de sodio cerca de 38 gr/lit la pieza puede abrillantarse y ser más reflectivo; esto indica que la solución esta cerca de la saturación y debe ser reemplazado en parte o completamente.

La determinación de la gravedad específica también es un control muy útil de la solución. Una solución que tiene una Grav. Esp. de 1.15 a 1.18 mientras que se mantiene el contenido de hidróxido de sodio libre de 30 a 38 gr/lit puede considerarse casi ya saturada. Cuando esta condición es alcanzada el acabado no tendrá un decaído uniforme y sí una apariencia brillante.

A medida que el contenido de aluminio de la solución crece la solución se hace más viscosa. Esto puede dar lugar a un enjuague más deficiente y puede incrementar la cantidad de impurezas sobre la superficie.

b. Equipo y Procedimientos de Operación.-Los tanques y las bobinas de calentamiento para el ataque alcalino pueden ser hechos de acero medio. Se requiere ventilación para los tanques debido a que los humos tóxicos son un riesgo para la salud del personal y debido a que el aire contaminado con alca li ataca y corroe el aluminio no protegido en el área de trabajo. Especialmente durante los periodos de alta humedad. Debe también suministrarse una eficiente ventilación para extraer los humos y vapores generados durante la transferencia de las piezas al primer tanque de enjuague.

Algunas veces se usa una capa o colchón de espuma para reducir la cantidad de baho. La espuma se forma usualmente por la adición de agentes activadores de superficie al baño. Generalmente basta con una o dos pulgadas de espuma sobre la superficie.

La pieza a ser procesada puede colocarse sobre un bastidor adecuado o cargada en canastas para su inmersión en la solución de ataque. Las piezas que van a ser procesadas a canastas deben acomodarse adecuadamente para evitar la formación de burbujas de gas o aire. Para obtener óptimos resultados, es aconsejable agitar la solución ya sea por aire o moviendo las piezas mismas.

Los bastidores o canastas se utilizan de común cuando el ataque es seguido por un tratamiento por un tratamiento subsecuente, tal como un abrillantado químico. El acero inoxidable es un material adecuado para las canastas de ataque debido a que resiste las condiciones corrosivas de las soluciones usadas en estos procesos de limpieza y acabado. Las canastas para el ataque no pueden usarse para el anodizado porque no pueden hacerse contactos eléctricos.

En general las temperaturas del baño van de 50 a 82°C. La temperatura específica de operación es determinada por el acabado deseado, el tiempo del ciclo, el equipo y la concentración de los constituyentes del baño.

Después del ataque el trabajo debe ser enjuagado inmediatamente. Una alta temperatura y un prolongado tiempo de ataque puede causar un deterioro del reactivo y de la pieza.

Cuando se usa un solo tanque también puede haber deterioro. La pieza no debe permanecer demasiado tiempo en el primer enjuague que sigue al ataque debido a que este tanque usualmente contiene suficiente hidróxido de sodio residual para causar manchas o nubosidades en el acabado.

Los puntos de soldadura, áreas riveteadas o bordes en pliegue pueden contener pequeñas rajaduras o endaduras que atrapen solución alcalina. El enjuagado puede no quitar la solución atrapada, con el resultado que la solución alcalina dejara un residuo de polvo blanco después de que concluya el proceso de acabado. El anterior fenómeno también puede ocurrir después del proceso de anodizado. Este fenómeno es muy perjudicial.

- c. Cambios Dimensionales.- El ataque en soluciones alcalinas puede extraer una cantidad considerable de metal. (La fig. ~~10~~ muestra los cambios dimensionales que ocurren cuando materiales laminados de varias aleaciones con base de aluminio fueron atacados por 2 y 3 minutos. En una solución de hidróxido de sodio agitada por aire (5% en peso) operada a 71 ± 2°C.)
- d. Destiznado.- Durante la limpieza y la operación de ataque, el tizne (película residual de gris a negra). Se deposita sobre la superficie de la pieza. Este depósito generalmente está formado

de hierro, silicio, cobre u otros constituyentes de aleación (en materiales de base aluminio) que son insolubles en hidróxido de sodio,

Cuando el ataque va a ser seguido por anodizado, el tizne puede quitarse por medio de la misma solución de anodizado (en flujo de corriente). Esta práctica, sin embargo, generalmente no puede controlarse para producir un acabado de apariencia uniforme. El procedimiento recomendado es quitar al tizne en una solución preparada específicamente para este propósito.

Los fluoruros se añaden usualmente a las soluciones para ayudar a quitar el tizne de las aleaciones de aluminio con alto contenido de silicio. Se obtienen buenos resultados con una solución de tres partes de ácidos nítricos y una parte de ácido hidrófluórico a temperatura ambiente.

Después de cada operación o proceso viene un enjuague en agua fría.

- 2.C.4 Neutralizado u Ataque Acido.-** En este proceso se usa generalmente soluciones de ácidos nítrico, hidrófluórico, hidróclórico y mezcla de ácidos con sales así tenemos la siguiente solución que es muy utilizada:
- | | |
|-----------------------------------|------------------|
| Acido Nítrico (concentrado) . . . | 3 parte por vol. |
| Acido hidrófluórico (concentrado) | 1mparte por vol. |
| Temperatura del baño | 21 °C |
| Tiempo de inmersión | 15 a 60 segundos |

Los humos de las soluciones son corrosivas y el baho arrastrado por los gases constituyen un peligro para la salud. Se requiere ventilación para las soluciones que trabajan incluso a temperatura ambiente. Los tanques son de acero inoxidable o plástico. Los tanques son de acero inoxidable o plástico. Los tanques de plástico se emplean con soluciones que contienen ácido hidróclórico e hidrófluórico. Puede requerirse bobinas de enfriamiento porque el ataque

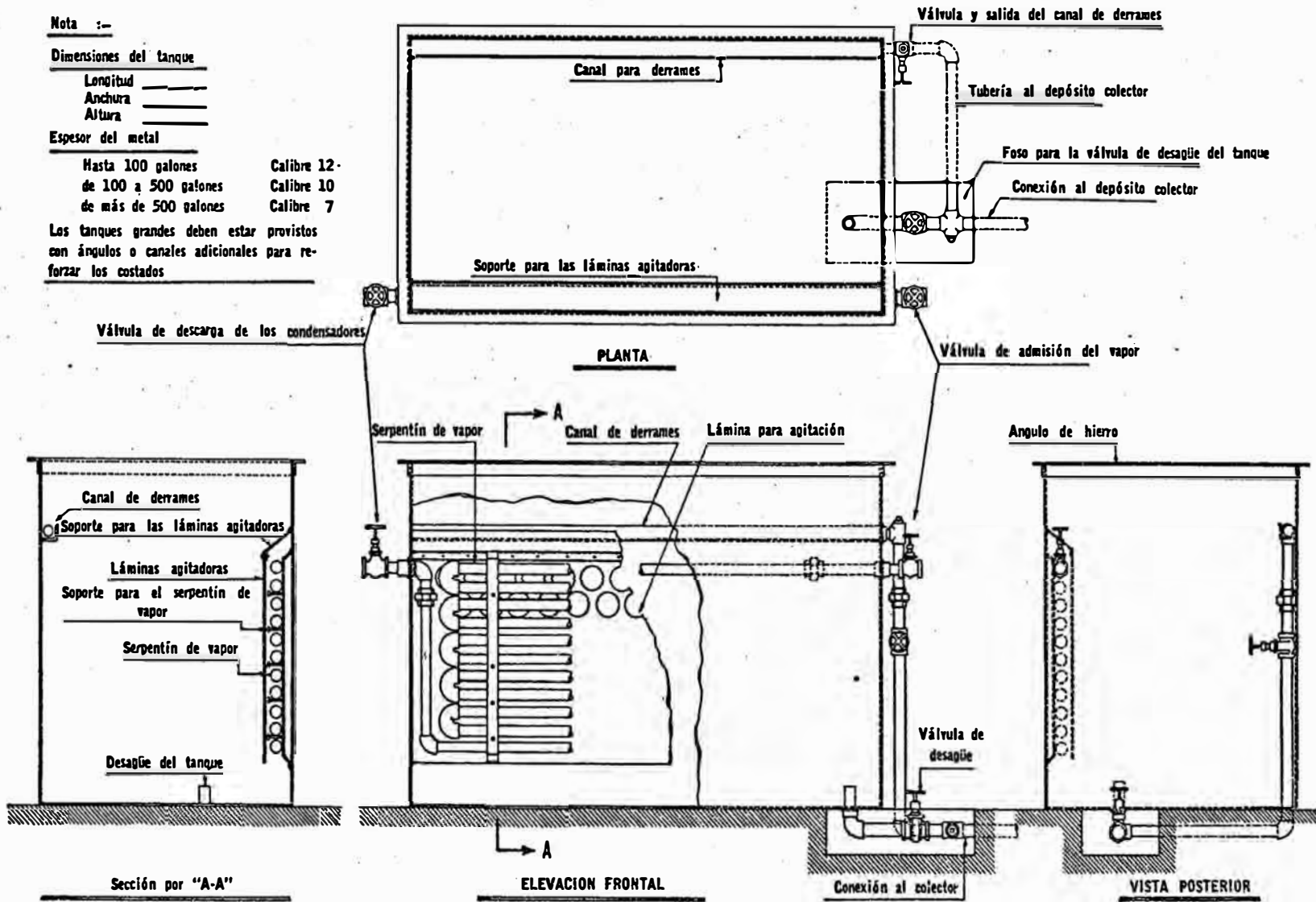


FIG. 1. Tanque limpiador de piezas (Cortesía de Oakite Products, Inc.)

genera calor. Se necesitan también bobinas de calefacción en caso de soluciones que operan a alta temperatura.

El ataque ácido se usa a menudo sólo, pero puede usarse en conjunción con el ataque alcalino, tanto precediéndolo o siguiéndolo. Es usado antes del ataque alcalino cuando se tiene que quitar óxidos y después del ataque alcalino cuando el problema es el tizne.

2.C.5 Electropulido.- Esta es una de las operaciones de más importancia en el proceso de anodizado; tanto por ser un reemplazo del pulido mecánico y que por tanto hay que ajustar las condiciones de operación a términos económicos que justifiquen su utilización, como que la eficiencia que se logre en el mismo gravitará decididamente en los resultados de la pieza acabada.

En la Tabla N° 1 se da la composición de los electrolitos usados en el electropulido del aluminio y las condiciones de trabajo.

Las soluciones pueden dividirse en 2 grupos a. Los que contienen fosfatos, alcalis y ácido fluobórico, tienen baja velocidad de disolución del metal, se emplean para piezas de elevada reflexión. Son adecuados para pulir aluminio de gran pureza. b. Las que contienen ácidos sulfurico, fosfórico, y crómico. Posee mayor velocidad de disolución del metal pero tiene límites en su capacidad de acabados brillantes. Se emplea para aluminios de diferentes grados de pureza y aleaciones.

Hay soluciones de ácido perclórico y anhídrido acético pero es muy delicado trabajar con ellas por el peligro constante de explosión.

Otro electrolito sugerido consiste en una solución de 1,000 mililitros de ácido fosfórico (densidad 1.7) y 50 ml de peróxido de hidrógeno (30%). Es para

T A B L A N° 1

SOLUCIONES Y CONDICIONES DE TRABAJO PARA EL ELECTROPULIDO DEL ALUMINIO

SOLUCION % en Peso		DENSIDAD DE CORRIENTE ANODICA	VOLTAJE	TEMPERATURA	TIEMPO DE TRATAMIENTO
Ortofosfórico	65	20 - 25	12 - 15	70 - 80	2 - 5
Sulfúrico	15				
Crómico	16				
Agua	14				
Ortofosfórico	43	30 - 50	12 - 15	70 - 80	2 - 5
Sulfúrico	43				
Crómico	3				
Agua	11				
Ortofosfórico	36	20 - 40	12 - 15	70 - 90	1 - 5
Sulfúrico	36				
Crómico	4				
Agua	24				
Ortofosfórico	82	20 - 40	12 - 15	70 - 80	1 - 3
Sulfúrico	12				
Agua	6				
Fosfato Trisódico	5	3 - 6	12 - 15	80 - 90	5 - 8
Sosa (calcinada)	15				
Hidrofluórico	1.25	1.5 - 3	20 - 30	30	10 - 12

utilizar a temperatura ambiente con una densidad de 1.5 Amp/dm², un voltaje de 11 Volt. y tiempo de electropulido de 5 minutos.

La pureza de aluminio es un factor muy importante en el electropulido del metal, para aleaciones de aluminio-silicio se mencionan soluciones que contienen ácido hidrofloxídrico.

Para aluminio con 5% de silicio se recomienda electrolito con 13% de ácido hidrofloxídrico y 52% de glicerina, 20 Amp/dm², 25°C, 10 min. Durante esta operación debe agitarse la operación.

- a. Soluciones de Acido Fluobórico.- Las soluciones de ácido fluobórico y fosfatos han sido estudiados por N. P. Fedotov, B. N. Armatov y N. I. Ragmerova. Quienes descubrieron que para pulir el aluminio era preferible que tuviera una pureza no inferior de 99.8 %. El coeficiente de reflexión que se puede obtener con pulidos mecánicos para las radiaciones visibles es de 74 a 75 % con el electropulido se puede obtener 80 a 97 %.

Las soluciones de ácido fluobórico se preparan disolviendo ácido bórico en ácido hidrófluorhídrico. La adición del ácido bórico debe hacerse con cuidado, agitando constantemente la solución y en pequeñas dosis, esperando que la dosis anterior haya terminado su reacción. La solución concentrada de HBF_4 obtenida se diluye en agua destilada. La concentración óptima para el electropulido es de 1.25 %. Un aumento de la concentración del 5% produce una intensa disolución del aluminio acompañado de un mordentado de la superficie y una disminución del coeficiente de reflexión.

Las condiciones de trabajo son: 30°C (rango óptimo 27 a 35°C), 1.5 a 3.0 Amp/dm² y tiempo de 10 a 15 minutos.

En el tratamiento se forma una película perjudicial de óxido que se debe eliminar. Se recomienda para ello una inmersión en las siguientes soluciones:

- | | |
|--------------------------|-------|
| 1. Acido Fosfórico (75%) | 45 ml |
| Acido Crómico | 10 gr |
| Agua | 1 lit |
| 2. Acido Crómico | 15 gr |
| Carbonato Sódico | 20 gr |
| Agua | 1 lit |

A 75°C y un tiempo de 1 - 3 minutos. Se lavan las piezas y se anodizan.

- b. **Soluciones Alcalinas.**- Uno de los principales factores que influyen en el electropulido alcalino es la concentración del alcali libre en la solución. Aunque los iones alcalinos no forman parte de los constituyentes necesarios para preparar la solución, se forman en el baño por un proceso de hidrólisis. Al emplear la solución, la concentración de los iones alcalinos aumenta por reacción del disulfato sódico y el aluminio. La concentración alcalina óptima en la solución es de 15 - 18 gr/lit. Si la concentración es mayor o menor se reduce considerablemente la reflexividad.

La temperatura de trabajo es de 90 °C. A temperaturas mas bajas se produce una oxidación anódica y a mayor temperatura se puede modentar el metal.

(Las condiciones de trabajo constan en la tabla) ~~25~~. Las superficies a electropulir se lavan, se anodizan y después se sellan.

- c. **Soluciones de Acidos Fosfóricos, Sulfúrico y Crómico.**- Las piezas pulidas con ácido fluobórico o electrolito alcalino necesitan de anodizado, mientras que aquellas pulidas con ácido fosfórico, sulfúrico y crómico no necesitan de él porque adquieren una película que las protege de la corrosión. De este modo solo será necesario un anodizado extra cuando se requiera un producto de grosores excepcionales en la película anódica.

La concentración de las soluciones con dichos ácidos puede variar entre amplios márgenes: 36 a 82 % para el ácido fosfórico, 15 a 46 % para el sulfúrico y 4 a 12 % para el crómico. En el caso de aluminio de alta pureza, se recomienda: ácido fosfórico 43%, sulfúrico 43%, crómico 3% y

agua 11%. El aluminio puro se puede electropulir con electrolito sin ácido sulfúrico. No obstante hay mas tendencia al picado.

El electropulido del aluminio en las soluciones que tratamos exige una tensión elevada debido a que se forma sobre el aluminio una película de óxido de alta resistencia eléctrica. La temperatura favorece el acabado brillante. El tiempo de tratamiento se puede reducir aumentando la densidad de corriente. Aunque las soluciones de este tipo que permiten el electropulido de otros metales puros son muy sensibles a la presencia de impurezas en este caso bajan la reflexividad y la calidad del acabado. Mientras que con electrolitos que contengan ácido fosfórico, sulfúrico y crómico se pueden obtener coeficientes de reflexión de 75 a 90 % de reflexividad en un aluminio de 99.6% de pureza. Al tratar otro aluminio del 99.16 % de pureza el coeficiente de reflexión que se obtiene es de 68.5 a 80 % y se observan picadas algunas zonas de la superficie.

2.C.6 Anodizado.- Según Fedotev "El empleo a gran escala (....), ha demostrado que los electrolitos mas adecuados para el anodizado de las aleaciones de aluminio son a base de ácidos oxálico y crómico". Sin embargo, según datos proporcionados por algunas plantas de anodizado nacionales, este proceso es demasiado caro en comparación con el anodizado con ácido sulfúrico. A esto hay que agregar el hecho de que los otros ácidos tienen que comprarse en el exterior razón por la cual es mas aún inconveniente el primer proceso.

En vista de las anteriores consideraciones hemos escogido el proceso de anodizado con ácido sulfúrico por lo cual nos limitaremos al procedimiento específico. Es conveniente, no obstante, hacer notar

que toda planta de anodizado tiene una versatilidad muy grande para cambiar de un proceso a otro por lo que daremos una amplia bibliografía sobre el particular, evitando agrandar este trabajo.

a. Proceso en Acido Sulfúrico.- Hay que aclarar inicialmente, que las piezas o los ensamblajes que contienen uniones o endiduras que pueden atrapar electrolito no deben anodizarse en ácido sulfúrico.

La concentración del ácido (gravedad específica 1.84) en la solución de anodizado es de 12 20% en peso. Una solución que contiene 35.9 litros de ácido sulfúrico por 373 litros de solución es capaz de producir un recubrimiento anódico que cuando es sellado en una solución hirviente de dicromato cumple con los requerimientos adecuados (MIL-A-8625).

La solución de anodizado de ácido sulfúrico debe cumplir:

1. La concentración de los cloruros no debe ser mayor de 0.02%.
2. La concentración del aluminio debe ser menor de 20 gr/lit.
3. El contenido de ácido sulfúrico debe estar entre 165 y 200 gr/lit.

Al comenzar la operación de anodizado el voltaje se ajusta para producir una densidad de corriente de 12 Amp/pie² o lo que es lo mismo 1.29 Amp/dm². El voltaje se aumentará suavemente conforme se aumenta el contenido de aluminio en el baño. La tabla 2 da el voltaje requerido para anodizados de varias aleaciones de aluminio forjado y fundido en baños de ácido sulfúrico.

Cuando se obtiene una densidad de corriente de 12 Amp/ por pie cuadrado (1.29 Amp/lit) el proceso de anodizado se continua hasta que se obtenga el peso de recubrimiento necesitado después de lo

T A B L A N° 2

VOLTAJE REQUERIDO PARA EL ANODIZADO CON ACIDO
SULFURICO A 12 AMPERIOS/PIE CUADRADO

ALEACIONES FORJADAS

<u>ALEACION</u>	<u>VOLTAJE</u>
1100	15.0
2011	20.0
2014	21.0
2017	21.0
2024	21.0
2117	16.5
3003	16.0
3004	15.0
5005	15.0
5050	15.0
5052	14.5
5056	16.0
5357	15.0
5053	15.5
6061	15.0
6062	15.0
6063	15.0
6151	15.0
7075	16.0

ALEACIONES FUNDIDAS

<u>ALEACION</u>	<u>VOLTAJE</u>
13	26.0
43	18.0
142	13.0
195	21.0
214 (a)	10.0
218 (a)	10.0
319	23.0
355	17.0
356	19.0
380	23.0

(a) Densidad de corriente, 9 amperios por pie cuadrado

cual se interrumpe el flujo de corriente y las piezas son extraídas inmediatamente de la solución y se enjuagan. (La figura 8 muestra el efecto del tiempo sobre el grosor del recubrimiento depositado en un adorno de automóvil que fue anodizado en ácido sulfúrico al 15% a 20-25°C. Ambas soluciones fueron operadas a una densidad de corriente de 1.29 Amp/dm².)

Presentamos un flow-sheet y una tabla de condiciones empleadas típicamente en el anodizado de piezas estructurales por el proceso de ácido sulfúrico

- b. Anodizado Duro.- La primera diferencia entre el anodizado con ácido sulfúrico y el anodizado duro es la temperatura de operación y la densidad de corriente al cual se lleva a cabo. El anodizado duro produce una película considerablemente más pesada que la producida por el anodizado convencional para un tiempo dado. El peso del recubrimiento obtenido como una función del tiempo son comparados para 2 procesos en la fig.

El proceso de anodizado duro emplea un baño de ácido sulfúrico que contiene 10 al 15% de ácido en peso con o sin adiciones, la temperatura de operación del baño va desde 0 a 10°C y la densidad de corriente esta entre 20 y 36 Amp/pie² (2.15 a 3.9 Amp/dm²). Las temperaturas más altas dan lugar a la formación de películas más suaves y más porosas. Este cambio en las características del recubrimiento reducen significativamente la resistencia al uso y tiempo a limitar el grosor de la película. Las temperaturas de operación excesivas dan lugar a la disolución del recubrimiento y pueden dañar la pieza.

Se usan comunmente procesos patentados. Uno de los más comunes de estos procesos utiliza una

solución que contiene 460 gr. a 595 gr. de ácido sulfúrico y 46 a 79 gr. de ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) por cada 3.8 lit. Esta solución se opera a $10^{\circ}C$ y una densidad de corriente de 2.7 a 3.9 Amp/dm² (el voltaje se incrementa gradualmente desde 0 hasta 40 a 60 voltios; el tiempo de recubrimiento es de 25 min por 22 milésimas de milímetro de grosor de recubrimiento).

c. Limitaciones del Proceso.- La composición de la aleación de aluminio, la superficie final, los procesos previos, los tratamientos térmicos o el uso dado influyen la calidad de los recubrimientos anódicos. Las limitaciones impuestas a cada una de estas variables sobre los diferentes procesos de anodizado se indican a continuación:

1. Composición de la aleación.- El proceso con ácido sulfúrico puede utilizarse para cualquiera de las aleaciones comerciales, mientras que el proceso de anodizado duro está usualmente limitado a aleaciones que contienen menos de 3% de cobre y 7% de silicio.

Dos o más aleaciones diferentes pueden ser anodizadas en un mismo tiempo y en un mismo baño si los requerimientos de anodizado son idénticos. Esta condición es más crítica para el proceso con ácido sulfúrico. La tabla indica las aleaciones comerciales que pueden ser anodizadas juntas en un mismo baño de ácido sulfúrico.

2. Acabado de superficie.- Las películas anódicas acentúan las irregularidades de superficie.

Los materiales en planchas deben laminarse a partir de lingotes homogéneos y de los cuales se han de quitar las cascarillas u óxidos. Las láminas revestidas deben ser manipuladas con cuidado para prevenir la abrasión mecánica.

El grado de anodizado debe especificarse para los productos extruidos por lo cual las operaciones de fábrica son controladas para mi nimizar las marcas longitudinales del estampado y otros efectos de superficie.

Las irregularidades de superficie deben ser quitadas de los productos forjados y las superficies de los mismos deben limpiarse por un pro ceso que extraiga los lubricantes atrapados.

Las piezas coladas pueden anodizarse, previendo que su composición este dentro los límites de los procesos descritos con el nombre de "composición de aleaciones". Desde el punto de vista de la apariencia uniforme, sin embargo, el anodizado no es deseable para las piezas for jadas debido a su falta de uniformidad en su composición y su porosidad. El anodizado usualmente revela las líneas de flujo del metal inherente a los procesos de coladas en forma de a presión y esta condición es negativa si se desea una apariencia uniforme. En general es beneficioso un tratamiento térmico de disolución pre vio, para obtener la mayor uniformidad y el mejor brillo de anodizado obtenible en piezas fundidas.

3. Proceso Previo.- Debido al efecto sobre el acabado de superficie el soldado puede afectar la apariencia del recubrimiento anódico, por las ra zones discutidas anteriormente. Además la composición de las soldaduras no son usualmente adecuadas para el anodizado.

El punto presión ultrasónica u otros tipos de procedimiento de soldado donde no hay intrusión de un metal extraño, escorio u otros con taminantes no afectan la apariencia del recubrimiento anódico.

4. Tratamiento Térmico.- La diferencia en la condición de las aleaciones, no tratables termicamente no tienen marcado efecto sobre la uniformidad del recubrimiento anódico. Los elementos aleantes en solución tienen efecto pequeño, pero el efecto es mayor cuando los están precipitados de la solución sólida. Deberá evitarse la condición de recocido cuando se desea la máxima claridad en la película anódica.
5. Inserciones.- Las inserciones o adhesiones de otros metales que no sean el aluminio deben enmascararse para prevenir el quemado y la corrosión, en las áreas aldeañas. El enmascaramiento debe sellar completamente la interfase entre el metal insertado y el metal aparente para prevenir la absorción de las soluciones la cual puede dar lugar a la corrosión y el manchado. Por eso es aconsejable introducir las inserciones después del anodizado.

T A B L A N° 3

COLOREADO DEL ALUMINIO ANODIZADO CON PIGMENTOS INORGANICOS POR DOBLE DESCOMPOSICION †

<u>Color</u>	<u>Solución 1 g/l</u>	<u>Solución 2 g/l</u>	<u>Pigmento Formado</u>
Azul	Ferrocianuro Potásico 10 - 50	Cloruro Férrico 10 - 100	Azul de Prusia
Pardo	Ferrocianuro Potásico 10 - 50	Sulfato de Cobre 10 - 100	Ferrocianuro de Cobre
Negro	Acetato de Cobalto 50 - 100	Permanganato Potásico 15 - 25	Oxido de Cobalto
Amarillo	Dicromato Potásico 50 - 100	Acetato de Plomo 100 - 200	Cromato de Plomo
Amarillo oxo	Hiposulfito Sódico 10 - 50	Permanganato Potásico 10 - 50	Sesquióxido de Manganeso
Blanco	Acetato de Bario 10 - 50	Sulfato Sódico 10 - 50	Sulfato de Bario
Naranja	Dicromato Potásico 5 - 10	Nitrato de Plata 50 - 100	Cromato de Plata

† Las piezas se sumergen primero en la primera solución y luego en la otra, con un previo lavado entre una y otra sumerjida.

En la actualidad el teñido se realiza en un solo tanque, existiendo para el efecto colorantes adecuados y que venden diferentes fábricas principalmente Norteamericanas, Alemanas y Francesas.

2.C.7 Teñido.-

El anodizado seguido de una impregnación es un método efectivo de acabado con fines plásticos ó decorativos. El teñido se realiza antes del sellado con un material colorante orgánico o inorgánico. El espesor de la absorción depende del grosor y porosidad del recubrimiento anódico, de la composición del elemento colorante y de las condiciones de trabajo. Para una misma materia colorante, la intensidad del coloreado aumenta al aumentar el grosor y la porosidad de la capa de óxido. En este sentido diremos que la capa teñida es transparente, y su apariencia es afectada por las características de reflectividad básica del aluminio. Por esta razón los colores de los artículos coloreados no se pueden comparar con los acabados obtenidos por pinturas o esmaltes.

La máxima uniformidad del teñido se obtiene, por reducción de todas las variables del proceso anodizado a un mínimo y luego, manteniendo un estricto control del baño de teñido. La renovación del baño del teñido deberá hacerse lo más continuo posible. A este respecto el mejor anodizado para colorear se obtiene con una solución de 20 % de ácido sulfúrico a 15-23 °C y 1.0-1.5 Amp/dm² de corriente continua durante 30-45 minutos.

Se consigue una buena intensidad de coloración con espesores de óxido de 80-100 micras.

Es preferible colorear inmediatamente después de anodizar, pero eliminando por completo la solución empleada para el anodizado. Para comprobar la total eliminación del ácido de anodizado se puede -

comprobar la existencia de residuos en el agua saliente del chorro de limpieza con un indicador apropiado. Si no se emplea dicho control se recomienda neutralizar los residuos del baño con solución de amoníaco. La capacidad de absorción del óxido disminuye rápidamente después del anodizado. El intervalo entre anodizado y teñido no debe superar los 50 minutos y, en todo caso, deben guardarse las superficies anodizadas en agua fría. Las soluciones se emplean generalmente a temperatura ambiente. Algunas composiciones adecuadas se dan en la Tabla

2.3.8 Sellado: Cuando se hace en forma apropiado, el sellado convierte parcialmente la alúmina del anodizado a un monohidrato de aluminio conocido como bohemita. Si el recubrimiento va a ser coloreado el teñido debe preceder al sellado, por que la forma anhidra del recubrimiento se liga más fácilmente con los tintes que la forma monohidratada.

La resistencia a la corrosión del aluminio anodizado depende grandemente de la efectividad de la operación del sellado. El sellado sera inefectivo, sin embargo, a menos que el recubrimiento anódico sea continuo, suave adherente, uniforme en apariencia y libre de superficies a empañadas y areas pulvulentas.

Después del sellado la resistencia al manchado del recubrimiento anódico también es incrementado. Por esta razón es aconsejable sellar las piezas sujetas a manchado durante su servicio.

a. Piezas Anodizadas de Acido Sulfúrico.- Se se llan en agua ligeramente acidificada ((pH= 4 a 6) a circa de 98 a 100 °C.A. temperaturas por debajo de 88°C el cambio de la forma cristalina del recubrimiento no se lleva a cabo satisfactoriamente en un tiempo razonable.

Una solución específica de sellado contine 5 a 10% en peso de Dicromato de Potacio y suficiente hidroxido de sodio para mantener el pH entre 5 y 6. Esta solución se prepara por adición de dicromato de potacio al tanque de operación llenado parcialmente y agitando hasta que el dicromato de potacio se disuelva completamente. Se completa el volumen del tanque hasta el nivel de operación y calentando hasta la tempera

tura adecuada, después de lo cual se regula el pH añadiendo Hidróxido de Sodio (el cual da al baño un color amarillento).

Para el sellado, la pieza recientemente anodizada y enjuagada se sumerge en la solución a 99 ± 1 °C por 10 a 15 minutos. Después del sellado la pieza se seca a una temperatura no mayor de 107 °C.

El control de esta solución consiste en mantener esta temperatura y el pH adecuado. La solución se descarga cuando hay una excesiva cantidad de sedimento en el tanque o cuando la superficie esta contaminada con materiales extraños.

Nos se sellan las piezas que han recibido cualquiera de los recubrimientos de anodizado duro.

Hay que recordar que el agua para la solución de sellado puede afectar significativamente la calidad de los resultados obtenidos en el tratamiento, por lo que hay que tener especial interés en controlar las condiciones y la solución pues de nada valdrá todos los cuidados en las anteriores operaciones y procesos si se va a tener un al sellado.

3.- PRODUCTO OBTENIDO

PROPIEDADES DE LAS PIEZAS ANODIZADAS.- Antes de hablar de propiedades de la pieza anodizada, deberíamos hacerlo de las propiedades de la capa anódica, que en última instancia definirá el uso de la pieza. Además las propiedades intrínsecas del metal base permanecen casi invariables después de ser anodizado.

En este sentido diremos, que las propiedades de la capa anódica varía ampliamente según el electrolito que se está usando y las condiciones de operación empleadas.

A continuación intentaremos enumerar algunas de las principales propiedades de la capa de óxido anódico y su influencia sobre el metal base

3a PROPIEDADES MECANICAS

A) Dureza.- La tabla N° 1 da algunos datos comparativos relacionados con la microdureza de los diferentes materiales y de la cual se puede sacar interesantes conclusiones, como el que la dureza del film o película natural supera al acero templado.

TABLA N° 1 MICRODUREZAS DE VARIOS MATERIALES

Coridón:	2000
Película de óxido sobre aluminio puro: ...	1500
Herramientas de acero templado:	1100
Herramientas de acero templado y revenidas a 300°C:	642
Película de óxido sobre aluminio de pureza comercial:	600
Herramientas de acero:	364
Película de óxido sobre aleación AK4:	350
Acero con 17% de cromo:	321
Aleación AK4:	93
Fundición de Aluminio:	30

Nota.- Todas las aleaciones de aluminio con notación rusa se encuentran en el apéndice.

B) Fragilidad.- Después del anodizado, la película de óxido queda fuertemente adherida al metal base, pero en cambio tiene una gran fragilidad propia y se resquebraja fácilmente bajo la acción de doblado. La tendencia a la fragilidad de tal capa puede emplearse como criterio en relación con su elasticidad obteniéndose resultados muy adecuados. La elasticidad máxima de la capa de óxido se obtiene por anodizado con electrolito de ácido crómico. Las capas formadas por anodizado con ácido sulfúrico son frágiles, puesto que son relativamente delgadas. La elasticidad de las capas aumenta al aumentar la temperatura del baño de anodizado (ver tabla 2) y disminuye al aumentar la densidad de corriente. (ver fig 1).

TABLA N^o 2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE ANODIZADO SOBRE LA ELASTICIDAD DE LAS CAPAS DE ÓXIDO SOBRE EL ALUMINIO

(Solución 4N (196g/lt) H₂SO₄; densidad de corriente 1 Amp/dm² tiempo de anodizado 20 min.)

<u>Temperatura</u> <u>°C</u>	<u>Angulo de doblado de las probetas - en grados.</u>		
	<u>Primeras</u>	<u>Fisuras</u>	<u>Roturas Continuas</u>
2.5	0.75		1.62
10.	0.60		1.50
20.	1.00		2.00
30.	1.75		3.00
40.	2.25		3.6

La tabla N^o 2 muestra los resultados de algunas pruebas mecánicas, hechas sobre probetas de 1 mm. de espesor de duraluminio. Una película de óxido de un espesor de unas 6 micras origina una reducción de un 10% sobre la elongación; una capa de 14 micras producida usando una densidad de corriente alterna de 3 AMP/dm² origina una reducción de 20%.

Fig. N° 1 EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE SOBRE LA ELASTICIDAD DE LA CAPA DE OXIDO ANODICA.

Condiciones: Electrolito; Acido Sulfúrico al 20%
Temperatura: 20°C

La cantidad de carga eléctrica pasando por el electrolito es constante.

C) Resistencia al Desgaste.- Además de una gran dureza la película de óxido posee una gran resistencia al desgaste. Cuando se lubrica, la capa de óxido absorbe y retiene el lubricante en sus poros y en consecuencia, mejora el coeficiente de rozamiento de la superficie. Como puede verse los resultados dados en la tabla N° 3, obtenidos por medida de resistencia al rozamiento de la superficie sobre probetas de aleación AK4 después de rozarias con una probeta de acero; el anodizado reduce en sólo el desgaste de la aleación de aluminio sino también la del acero. Una de las propiedades más importantes de la capa anódica es la resistencia a la erosión.

TABLA N° 2 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ROZAMIENTO DE UNA ALEACION DE ALUMINIO (AK4) ANODIZADO Y UNA PROBETA DE ACERO

Condiciones de Trabajo	Aleación	Desgaste de la Probeta		Coeficiente de Rozamiento
		Aleación AK4	Acero	
Lubricación con aceite	No	4.0	1.0 ⁺	0.011
Carga de 150kg/cm ²	Anodizada	7.0	3.0 ⁺	0.012
Duración de la prueba 5 horas		4.0	3.5 ⁺	0.012
	Anodizada	0.0	0.0 ⁺	0.013
		0.0	0.0 ⁺	0.013

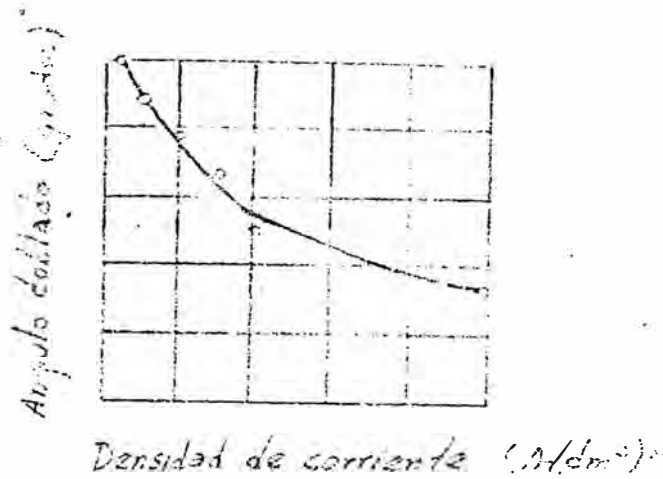


Fig 12. Efecto de la densidad de corriente sobre la elasticidad de la capa de óxido anódica.

Electrolito: 20 % H_2SO_4 ; 20 °C .La cantidad de carga eléctrica pasa por el electrolito es constante.

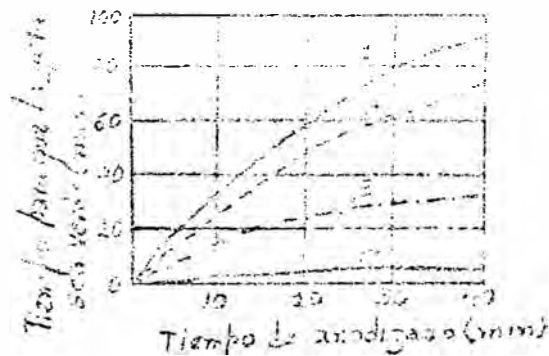


Fig 13. Ensayos de método de la gota-solución estandar
Condiciones: 1.2 A/dm²; 20 °C. Capa reducida con 10 % bicromato potásico a 35° durante 20 minutos.

1. Aleación desnuda; 2 % Mg
2. Aleación desnuda; 4 % Mg
3. Duraluminio recubierto.
4. Duraluminio desnudo.

Sin Lubricacion

Carga de 25Kg/cm ²	No	15.0	11.5 ⁺	0.26
	Anodizada	12.0	11.4 ⁺	0.26
	Anodizada	2.0	2.0	0.16
		3.0	1.0	0.20

(+) Incremento en peso de aluminio de la probeta de acero por emborradura.

D) Resistencia a la Fatiga.- El anodizado también incrementa en cierta forma la resistencia a la fatiga. Si además el recubrimiento se trata con lanolina o con un aceite base de barniz aumenta aún más por añadirse a sus propiedades anteriores la resistencia a la corrosión.

No obstante investigaciones más recientes han demostrado que no siempre se aumenta la resistencia a la fatiga al anodizar cualquier aleación de aluminio y, de hecho, siempre tienen mucha influencia las condiciones de trabajo.

Propiedades Anticorrosivas.- El efecto protector del anodizado depende del espesor y continuidad de la capa de óxido. La menor probabilidad de penetración de la corrosión y la mayor efectividad de la protección de la capa son esenciales para la protección del metal. La mejor protección se obtiene con las capas de óxido sobre metal puro, aunque este sea el revestimiento de otro metal base (revestimiento electrolítico). La presencia de elementos sobre los que no se forma la capa de óxido disminuye la resistencia a la corrosión. La fig. 2 muestra los resultados obtenidos mediante la prueba estandar de la gota en capas de óxido de distintas aleaciones anodizadas con ácido sulfúrico.

La resistencia aumenta con el tiempo de anodizado, es decir con el espesor de la capa de óxido. De las aleaciones probadas la que muestra resistencia a la corrosión más baja es el duraluminio, que contiene un 5% de cobre

Ensayos por el método de la gota con solución estandar
Condiciones de anodizado: $1.2A/dm^2$, $20^{\circ}C$. Capas reducidas con solución de 10% de dicromato potásico a $35^{\circ}C$ durante 20 minutos

1. Aleación desnuda, 2% de magnesio
2. Aleación desnuda, 4% de magnesio
3. Duraluminio recubierto
- 4' Duraluminio desnudo

Propiedades dieléctricas.- Se sabe que el óxido natural tiene una alta resistividad eléctrica. Las investigaciones comprobaron que la rotura del film no tiene lugar sino a una temperatura de $500^{\circ}C$. La conductividad eléctrica y las pérdidas dieléctricas del film se deben principalmente al agua absorbida. La resistividad de una película de óxido de aluminio natural a temperatura ambiente es de $10^9 ohm/cm$ y es del orden de $10^{13} ohm/cm$ a $250^{\circ}C$. La humedad atmosférica es desfavorable en las propiedades aislantes.

Las propiedades aislantes del óxido natural se mejoran llenando los poros con materiales aislantes orgánicos e inorgánicos; cerecina, barniz, baquelita, etc. Este tratamiento además mantiene estable las propiedades dieléctricas. La conductividad eléctrica del film aumenta con el uso (envejecimiento).

La tensión que causa la rotura de un film no sellado es de 200 a 300 V; si se aumenta el espesor de la capa, ésta se hidrata más fácilmente, aumentando la conductividad eléctrica; por lo tanto sólo se puede buscar un grosor de película límite. Cada aleación presenta particularidades en este sentido por lo que es necesario hacer pruebas para cada

una de ellas. Las propiedades dieléctricas no solo dependen del espesor de la capa, sino también de las condiciones de trabajo con las que ha sido obtenida. Las figuras Nº 3 y 4 muestran la relación entre el voltaje de rotura de la capa con corriente continua y corriente alterna de densidad de 30 A/dm². La curva 1 muestra la relación ante dicha empleando una solución de 2% de ácido oxálico, la curva 2 la de la capa obtenida con una solución de ácido sulfúrico 2% y la 3 la de la capa obtenida con una solución de ácido crómico al 2%. Empleando corriente continua con solución de ácido oxálico el voltaje del baño era de 100 a 150 V, al emplear sulfúrico el voltaje era de 60 a 80 V y con una solución de ácido crómico 100-140 V.

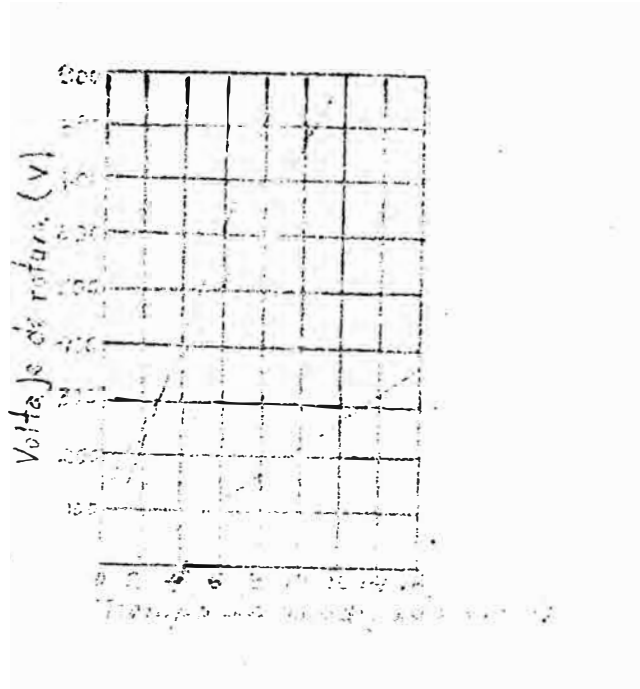


Fig 14. Relación entre la tensión de rotura y tiempo de anodizado para corriente continua.

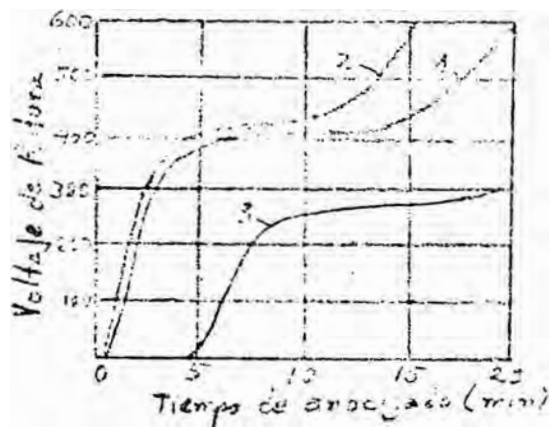


Fig 15. Relación entre la tensión de rotura y tiempo de anodizado, para corriente alterna.

4.- PARTE EXPERIMENTAL

4.a) Objetivo y Plan de prácticas:

El fin que mueve a hacer cualquier tipo de experimentos de laboratorio es; si las condiciones operativas que van a determinar un proceso son las mas adecuadas y las que van a dar los mejores resultados. Sobre la base de las especificaciones enlistadas en handbooks o manuales, revistas especializadas y patentes o datos de plantas ya en operación se dá inicio a una serie de experimentos destinados a igualar o mejorar los resultados obtenidos por ellos.

En razón de que el presente trabajo no pretende ser un trabajo consumado de diseño, como ha hecho notar en páginas anteriores, me he permitido programar experiencias de comprobación en otros. Tales experiencias aunque apartándose algo del tema central no pueden mirarse con indiferencia ya que dentro de las condiciones de nuestro país, para no hablar ya de la Universidad, hacer tal trabajo constituye un esfuerzo más que pequeño. Y mas bien constituyen base para trabajos mas profundos y extensos - que nos permitirán sobreponernos a la dependencia tecnológica y científica.

4.b) Material y equipo:

1 Rectificador de corriente alterna a continua de las siguientes características 0 - 20 volt. - 50 Amp.

1 Termometro corriente de 5 a 150°C

1 Estufa

1 Cronometro

1 Secadora

5 Vasos de 250 cm³

1 Vaso de 700 cm³

1 Sistema de Refrigeración

Reactivos:

- Acido Sulfúrico

- Acido Fosfórico

- Acido crómico

- Acido Nitrito

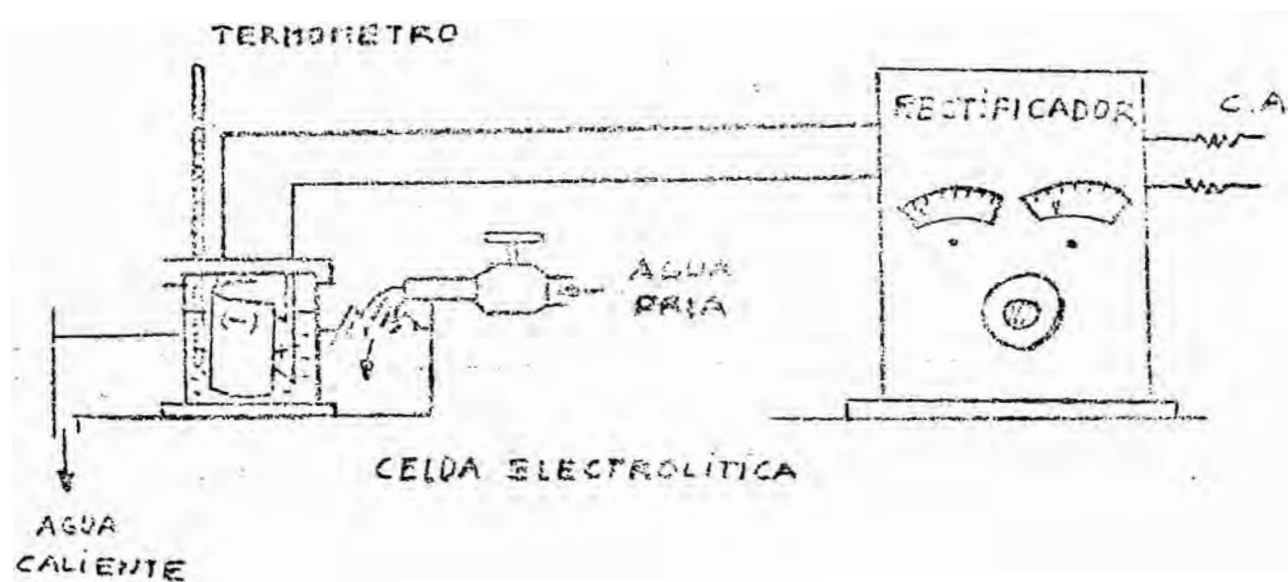
- Hidróxido de Sodio

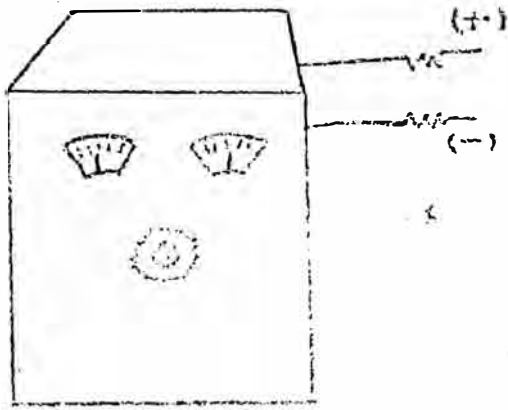
Gasolina

Agua destilada

Detergente corriente

4.3.- ESQUEMAS DE APARATOS Y EQUIPO.-





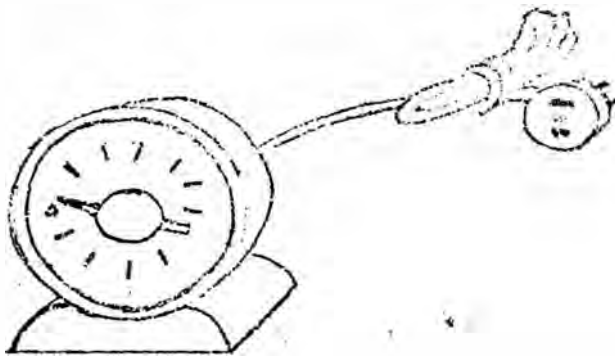
RECTIFICADOR



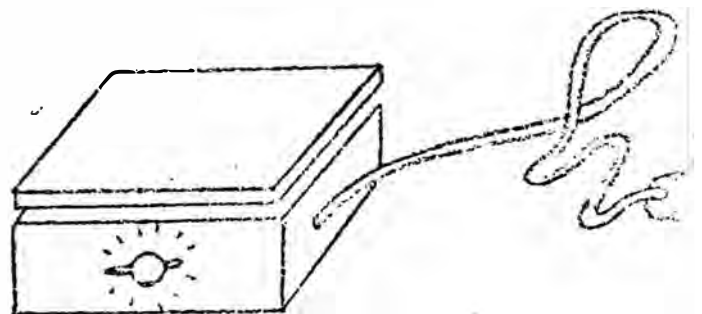
CELDA ELECTROLITICA



TERMOMETRO



CRONOMETRO



ESTUFA

EXPERIMENTO N°1

PRUEBAS DE ELECTROPULIDO

Preparación del electrolito.-

- Acido Ortofosfórico	405 gr.
- Acido Sulfúrico	273 gr.
- Acido Crómico	25 gr.
- Agua	132 gr.

Volumen total: 600 cc.

Condiciones iniciales de Operación:-

- Voltaje 35 voltios
- Amperaje Variable
- Temperatura 70 - 80°C

Tabulaciones de los datos.-

Probeta	tiempo (min)	Temperatura (°C)	
		Inicial	Final
1	1	---	---
2	2	90	---
3	3	83	90
4	4	83	90
5	7	86	88
6	9	96	88

VARIACION DE LA INTENSIDAD Y EL VOLTAJE

<u>Tiempo</u>	<u>Voltaje</u>	<u>Amperaje</u>	<u>Volt/Amp</u>
0:30	7.0	46.0	0.152
1:00	7.0	48.0	0.146
1:30	7.0	48.0	0.146
2:00	7.0	49.0	0.163
2:30	7.0	43.0	0.162
3:00	7.25	44.0	0.165
3:30	7.5	36.0	0.208
4:00	7.5	36.0	0.208
4:30	7.8	26.0	0.300
5:00	8.0	25.25	0.317
5:30	7.8	26.0	0.300
6:00	7.8	27.0	0.289
6:30	7.8	27.5	0.284
7:00	7.7	28.25	0.273
7:30	8.2	19.00	0.431
8:00	8.25	18.50	0.445
8.30	8.25	18.5	0.445
9:00	8.25	19.0	0.433

EXPERIMENTO N° 2

ELECTROPULIDO
(2do. Experimento)

Las mismas condiciones que el primero y tambien el mismo electrolito

Tabulaciones de los Datos.-

<u>Probeta</u>	<u>Tiempo</u>	<u>Voltaje</u>	<u>Amperaje</u>
1	20	15	10
2	25	15	11
3	30	15	12
4	35	15	--
5	40	15	3
6	45	15	2

Observaciones a la Lupa Estereográfica.-

- 1.- La probeta se recubrió de una capa blanca de consistencia pulverulenta, la cual se desprende cuando se raspa con un cuchillo. Hay zonas brillosas y otras partes picadas.
- 2.- También tiene pátina blanca pulverulenta; mayor cantidad de picaduras.
- 3.- De igual modo está con pátina (la que podría ser - óxido de aluminio). Está más picada que las anteriores.

- 4.- Película transparente, a muchos aumentos se observan cristalitos transparentes. Da la sensación de que esos cristalitos son los que se convierten en la sustancia blanca.
- 5.- Superficie más brillante, presenta pocas picaduras - (a manera de cráteres). Hay también cristalitos transparentes pero en menor cantidad que la probeta 4.
- 6.- La probeta muestra un brillo satisfactorio, pero siempre hay cristalitos. Presionando fuerte con una hoja de acero se logra desprenderlos tornándose a polvo blanquecino, lo que confirma de que se trata de óxido de aluminio pulverulento.

EXPERIMENTO N° 3

PRUEBAS DE CRECIMIENTO DE PELICULA ANODICA

Condiciones:

Temperatura de baño:	21°C
Concentración H_2SO_4	14.6%
Temperatura de sellado	93°C
Tiempo de sellado	30 minutos

Datos experimentales:

Intensidad	1,850 Amperios
Voltaje:	17.5 voltios

Procedimiento:

Se puso 12 piezas de aluminio al baño de anodizado, una cada 5 minutos. Total del tiempo empleado: 35 min; - cada pieza estaba numerada.

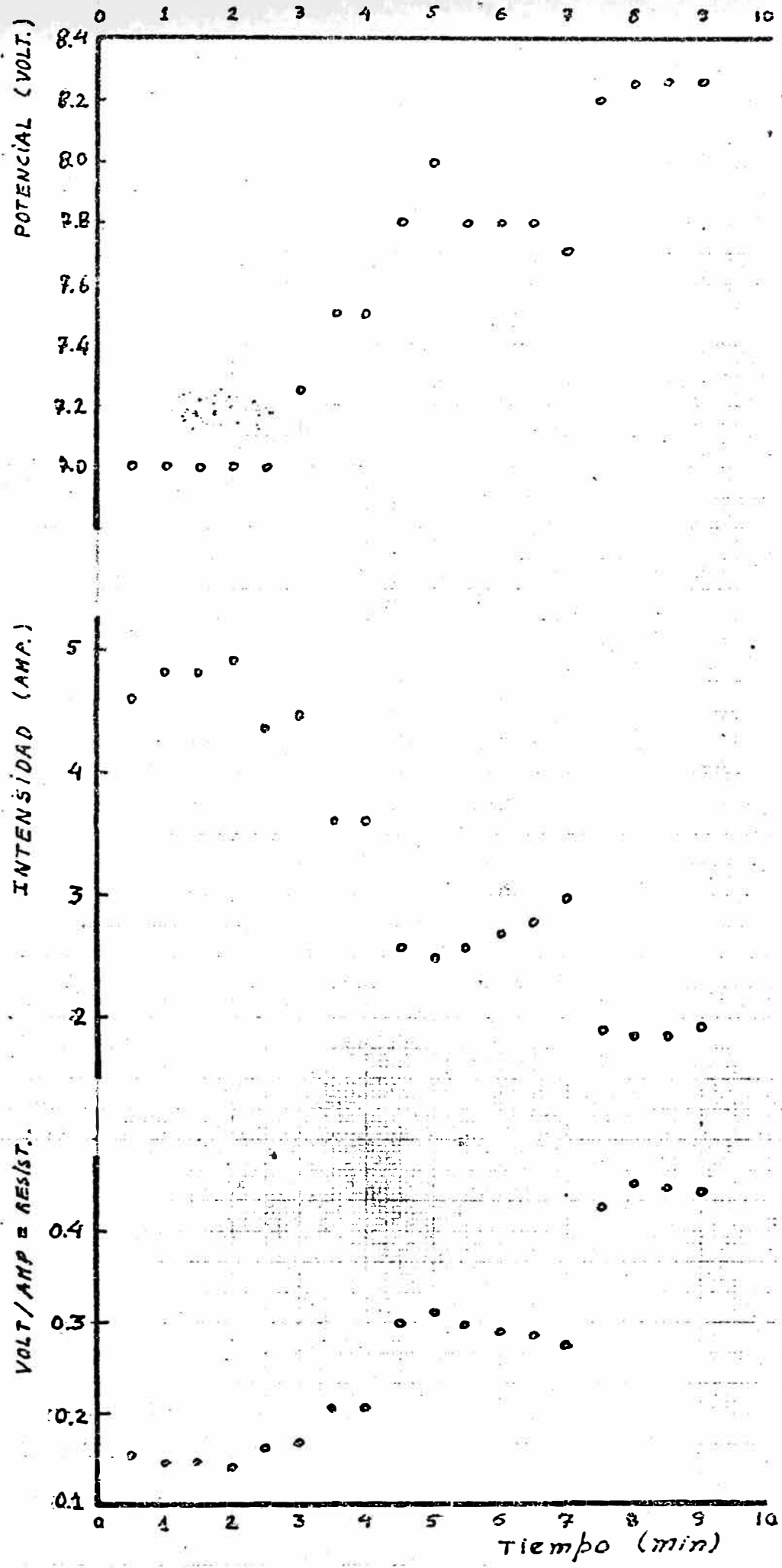
Despues de que cada pieza recibía su tratamiento se puso a secar. Luego se procedió a tomar lectura en el medidor de espesores TESTALU WALTER, el mismo que en realidad dá el voltaje de rotura de la capa anódica.

A la platina se le tomó lectura en las 4 caras, la do A y lado B y luego se sacó un promedio.

Tabulación de los Datos.

<u>Probeta</u>	<u>Tiempo</u>	<u>Voltaje de rotura</u>	<u>Grosor</u>
1	5	210	5.0
2	10	291	8.0
3	15	341	8.9
4	20	345	9.0
5	25	467	10.6
6	30	591	12.8
7	35	682	14.3
8	40	770	15.5
9	45	890	16.3
10	50	944	16.5
11	55	1000	16.8
12	60	1060	17.0
13	130	1230	19.3

Datos adicionales: 1.64 Amp/ dm².



EXPERIMENTO N°4

CRECIMIENTO DE LA CAPA ANODICA
(2do. Experimento)

Condiciones.-

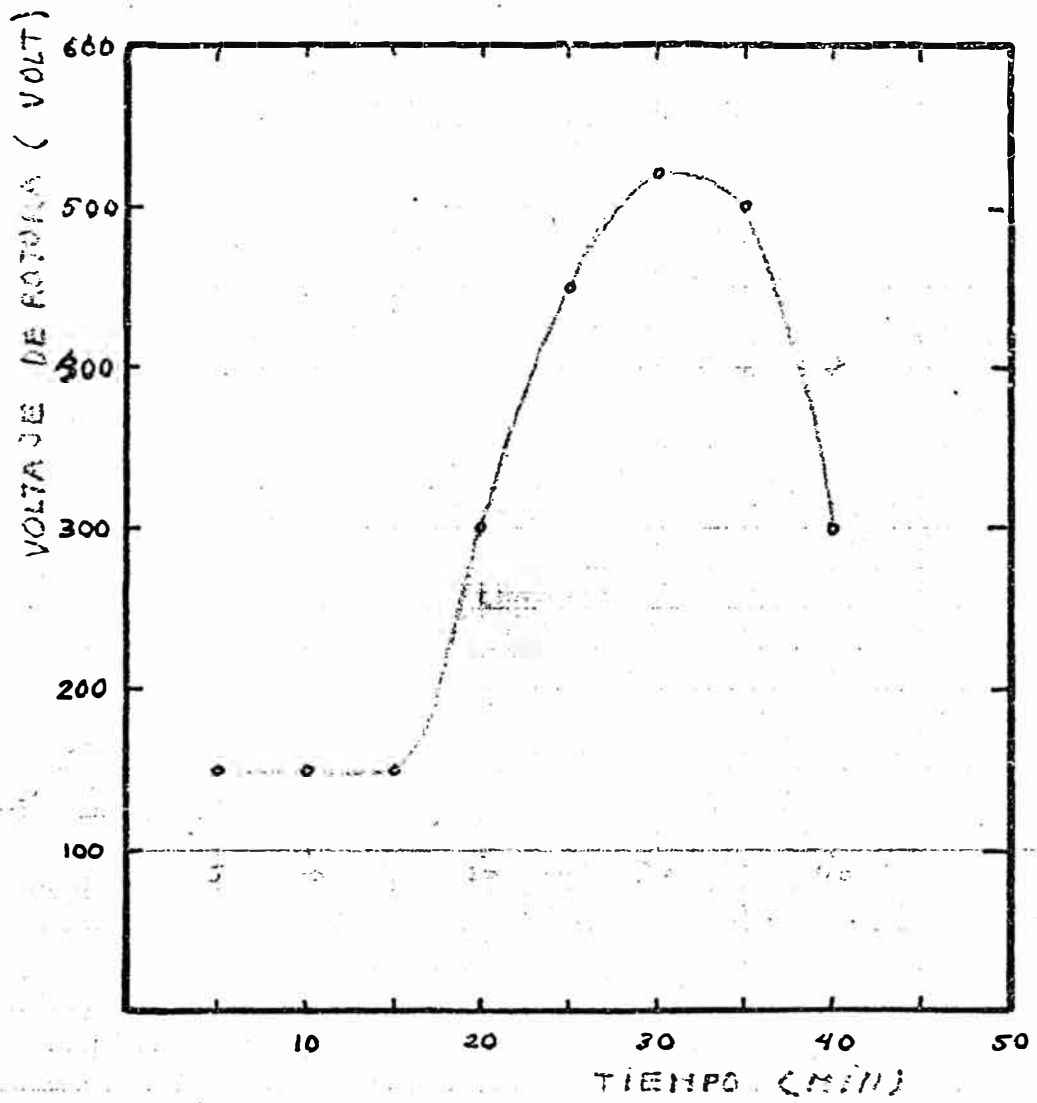
Electrolito: H_2SO_4 al 15%
Temperatura Inicial: 24°C
Voltaje Inicial: 15 volt.

Procedimiento.-

- (A) Lavado con detergente y enjuagado
- (b) Decapado con NaOH: 3%
- (c) Neutralizado con HNO_3 al 10%
- (d) Anodizado y enjuagado
- (e) Sellado en H_2O a 100 °C

Tabulación de Datos.-

<u>Probeta</u>	<u>Tiempo (min)</u>	<u>Voltaje de rotura</u>	<u>Temperatura Electrolito</u>
1	5	150	24.0
2	10	150	26.0
3	15	150	----
4	20	300	24.0
5	25	450	24.0
6	30	525	24.0
6	30	525	24.0
7	35	500	24.0
8	40	280	26.0



EXPERIMENTO N° 5

VARIACION DE LA INTENSIDAD Y EL VOLTAJE DURANTE
EL ELECTROPULIDO

Al hacer este experimento queremos comprobar las afirmaciones hechas por Fedofieff referentes a las teorías del electropulido.

Se debe anotar que hemos tomado nota de la variación de la temperatura; ya que nuestro dispositivo de refrigeración no es lo eficiente que se quería. La platina de aluminio fue proporcionada por la Fábrica "Record".

Electrolito.-

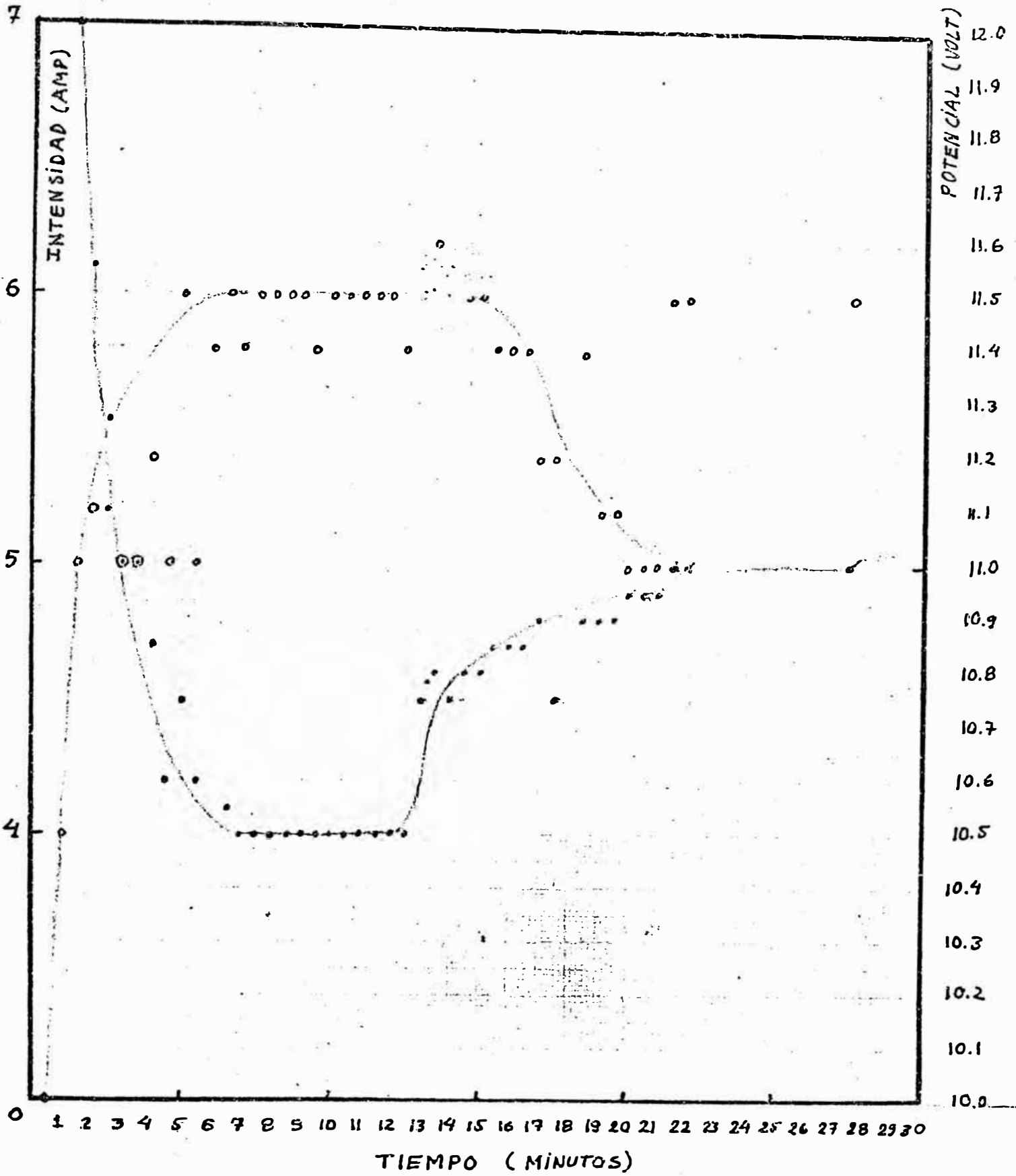
Es el mismo que se empleó en anteriores experimentos.

Tabulaciones.-

TIEMPO Min.	Intensidad Amp. —	Voltaje Vol.	Temperatura °C
0.5	14	10	58
1.0	10	10.5	50.6
1.5	7	11	59
2.0	6.1	11.1	59.5
2.5	5.5	11.1	60.8
3.0	5.0	11.0	61.0
3.5	5.0	11.0	61.0
4.0	4.7	11.2	61.0
4.5	4.2	11.0	61.0
5.0	4.5	11.5	61.0
5.5	4.2	11.0	62.5
6.0	4.0	11.4	62.5
6.5	4.1	11.5	62.5
7.0	4.0	11.4	62.5
7.5	4.0	11.5	63.0
8.0	4.0	11.5	63.5
8.5	4.0	11.5	63.5
9.0	4.0	11.5	63.8
9.5	4.0	11.4	64.0
10.0	4.0	11.5	64.0
10.5	4.0	11.5	64.5
11.0	4.0	11.5	65.0

(Cont.)

Tiempo Min	Intensidad Amp.	Voltaje Vol.	Temperatura °C
11.5	4.0	11.5	65.5
12.0	4.0	11.5	65.0
12.5	4.0	11.4	65.0
13.0	4.5	11.5	65.5
13.5	4.6	11.6	65.5
14.0	4.5	11.5	65.0
14.5	4.6	11.5	64.0
15.0	4.6	11.5	63.8
15.5	4.7	11.4	63.8
16.0	4.7	11.4	64.0
16.5	4.7	11.4	64.5
17.0	4.8	11.2	63.5
17.5	4.5	11.2	70.0
18.0		----	----
18.5	4.8	11.4	67.0
19.0	4.8	11.1	65.5
19.5	4.8	11.1	65.0
20.0	4.9	11.0	67.5
20.5	4.9	11.0	66.0
21.0	4.9	11.0	65.5
21.5	5.0	11.5	70.0
22.0	5.0	11.5	71.0
27.5	5.0	11.5	58.0



Observaciones y Conclusiones.-

Observaciones.- Se hace notar que las condiciones en que se llevaron a cabo los experimentos han sido lo más aproximado posible a los ideales.

- 2.- El sistema de refrigeración daba eficiencias no tan altas como hubiera sido nuestro deseo ya que solo permitió obtener temperaturas cercanas a la temperatura ambiente de agua.
- 3.- Excepto el experimento 1, y el último, las pruebas se hicieron poniendo probetas en la misma celda y luego se fué sacando una a una a intervalos de tiempo regulares, sin embargo no se tubo en cuenta que de esta forma se alteraba también la densidad de la corriente.
- 4.- En el quinto experimento se comprueba la presencia de un lapso de tiempo durante el cual las condiciones electricas se mantienen constantes.

Conclusiones .-

- 1.- Según el experimento N°4 podemos concluir que para las condiciones y el electrolito empleado el tiempo que mejores resultados dieron para la el anodizado fue de 30 minutos; tiempo que coincide con el comunmente empleado en la práctica industrial.

CAPITULO III

INGENIERIA GENERAL

- 1.- Especificaciones de Equipo a construir en el País.
- 2.- Especificaciones de Equipo a comprar
- 3.- Plant Layout o Distribución de Planta
- 4.- Especificaciones de Edificios y obras civiles

1. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO A CONSTRUIR EN EL PAIS.

2a. Cubas o Tanques.- Todos los tanques ya sean de Enjuague, solución o electrolíticos, tiene ciertas características generales comunes. El fondo del tanque deberá estar al menos a 10 cm. sobre el nivel del piso y soportado por un material no poroso. Para aislarlo a fin de evitar las corrientes eléctricas vagabundas debe usarse un material aislante, como bakelita por ejemplo.

No necesitando de tanques complicados, que tengan formas especiales, en nuestros tanques podemos colocar el desagüe del mismo en el fondo y cerca de una esquina. Si es posible daremos al tanque una pequeña inclinación hacia el desagüe.

Los tanques tienen muchos dispositivos accesorios como con barras ánodo o cátodo, serpentines para calentamiento o enfriamiento, líneas de agitación por aire, aspersores, dispositivos de control, revestimientos y diagramas.

No están demás aclarar que las partes mas vulnerables del tanque es el fondo, por lo que se ha de tener cuidado en reparar con anterioridad tal parte, a fin de evitar imprevistos y paradas antieconómicas del proceso y a veces de la planta íntegra.

En el caso de nuestra planta se requeriría de 14 tanques

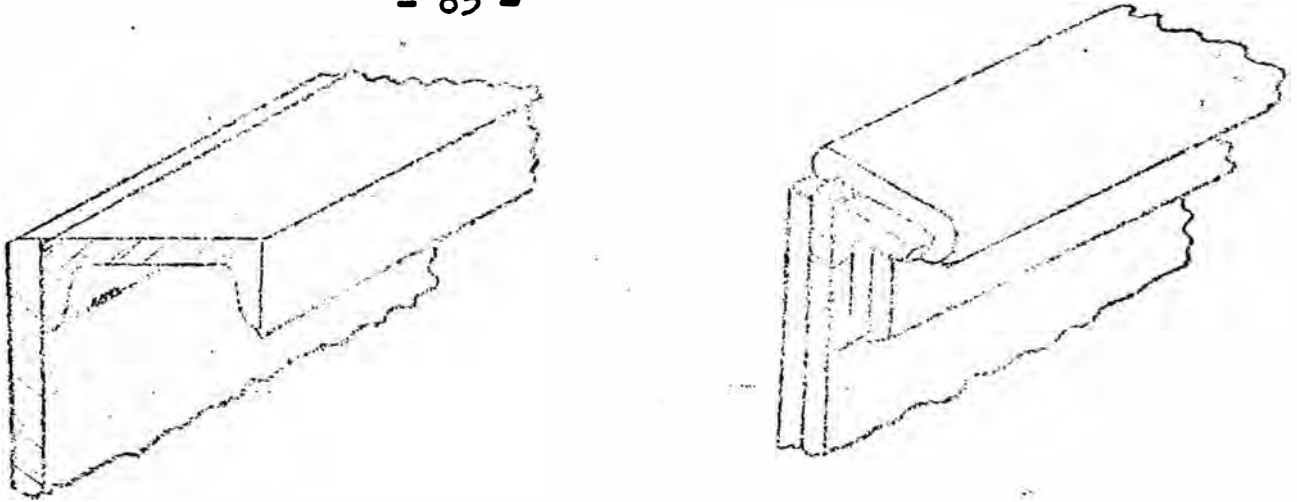


FIG 22. CERCOS DE HIERRO PARA TANQUES CON Y SIN REVESTIMIENTO



FIG 23. INSTALACION TIPICA DE UN SERPENTIN PARA TANQUE

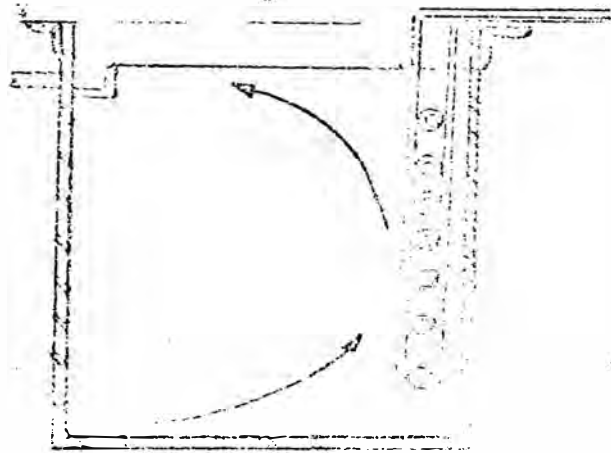


FIG 24. SERPENTIN INSTALADO EN UN TANQUE CON REBOADERO

(inicialmente); los cuales son de 3 tipos. (a) Aquellos que no van a sufrir la acción química de parte de las soluciones que contengan, (b) Aquellos que contendrán soluciones químicas que actuaran atacándolos, (c) Los que además de estar sometidos a acción química, también sufriran acción electroquímica

Tipo A:	Enjuague en caliente	1
	Enjuague en frío	5
Tipo B:	Desengrase	1
	Decapado	1
	Neutralizado	1
Tipo C:	Electropulido	1
	Anodizado	2
	Sellado	<u>2</u>
	Total	14

Los del primer tipo son de acero sin ningún revestimiento son de forma paralelepípeda como vemos en la siguiente figura.

Estos tanques disponen de una salida de rebose en un extremo y la entrada de agua en el otro, La toma de agua se hace por medio de una llave colocada sobre el nivel del tanque o puede colocarse también una tubería sumergida en el líquido del mismo en tal forma que el agua clara penetre al fondo.

Es conveniente disponer de un canal de desagüe que puede ser una llave o un tapón en el fondo del tanque, con el fin de vaciar y limpiar facilmente el mismo.

Con el propósito de facilitar el proceso de enjuague, puede colocarse tuberías en el fondo para agitar la solución por medio de aire comprimido. Si el enjuague tiene

que hacerse en caliente, se haran los arreglos necesarios, en lo referente a las instalaciones adicionales, para el calentamiento.

Los del segundo tipo se hacen de acero inoxidable, es común hacerlos de acero corriente, pero en tal caso se tendrá que revestirse las paredes interiores con un material aislante, tales como resinas o plomo, ese no será el caso de nuestro diseño. Las dimensiones de los tanques son los mismos que en el caso precedente.

Los tanques del tipo C, tienen las mismas dimensiones interiores que los dos anteriores, pero además están forrados de un material aislante y buen conductor de la corriente eléctrica en el caso del anodizado y electropulido y de un revestimiento aislante del calor (como fibra de vidrio) para el caso del sellado. Se acostumbra a tapar los tanques de sellado a fin de evitar las fugas de calor junto con los vapores que son muy abundantes.

En cuanto a:
Costos; el siguiente cuadro es suficientemente claro:

CUADRO N°

	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario (i)</u>	<u>Costo Total.</u>
Tipo A	6	180,000	1'080,000
Tipo B	3	230,000	690,000
Tipo C	5	400,000	<u>2'000,000</u>
			3'770,000Soles

(i) Costos que involucran todos los accesorios, como recubrimientos, intercambiadores de calor. Estos costos son estimados según datos proporcionados por el Ing° Palomino de METINSA.

13. Extractores de Gases y Vapores.- La ventilación Industrial tiene como propósito principal controlar la contaminación atmosférica, siendo -

encialmente de 2 tipos; (a) General o de Dilución y (b) Local. Como regla general se prefiere la extracción local siendo a veces coadyubada por la general.

Sistemas de Extractores locales para operaciones en tanques.- Los extractores más usados son los de campana los que pueden clasificarse en, 1) Campana, 2) Campanas extractoras laterales y 3) Campanas de techo. Para el caso de procedimiento de anodizado se emplea normalmente el segundo tipo. Se puede idealizar mejor tales instalaciones viendo los siguientes gráficos.

El objeto de un sistema extractor lateral en un tanque de superficie descubierta, es hacer que todos los contaminantes que se eleven de, o sean liberados en la superficie del tanque o de las superficies de las piezas fluyan hacia la campana extractora y penetren en la misma.

En el diseño del extractor y la campana hay que tener en cuenta que la velocidad de ventilación debe ser más elevada para un tanque corto y ancho, que para uno largo y angosto.

Para el caso que nos ocupa hacemos uso de las tablas dadas por Allen Brand en el Manual de Recubrimientos Electro-líticos Págs. 707 - 710. De esa forma calculamos la:

Capacidad.-

Los tanques que llevan campanas extractoras de aire son:

1. Decapado: con NaOH
2. Neutralizado: con NO_3H
3. Electropulido: con Acido Crómico
4. Anodizado: con H_2SO_4

Considerando las dimensiones de los 4 tanques iguales

$$6.50 \times 0.80 \times 1.50 \text{ m.}$$

El área total libre será:

$$6.50 \times 0.80 = 5.20 \text{ m}^2$$

Y la relación ancho a largo del tanque:

$$0.80/6.50 = 0.12$$

Por medio de tablas tenemos que para:

Decapado: Con NaOH 60°C (140°F) Combinaciones A y C

Velocidad de Captación mínima: 75 pies/min.

Velocidad de ventilación: 130 pie³/min/pie²

Flujo de gases: 130 x 5.2 x 10.76 = 6,300 pie³/min

Neutralizado: HNO₃ gases de Oxido de Nitrógeno 60°C (140°F)

Combinaciones A y D

Suficiente con ventilación general adecuada

Electropulido: Gases de Ac. Crómico e Hidrógeno 60°C (140°F)

Combinaciones A y C

Velocidad de captación mínima: 75 pie/min.

Velocidad de ventilación 130 pie³/min/pie²

Flujo de gases

130 x 5.2 x 10.76 = 6,300 pie³/min.

Anodizado: H₂SO₄ 60°C (140°F)

Combinaciones A y D

Suficiente con ventilacion general adecuada

Total flujo necesario 6,300 + 6,300 = 12,600 pie³/min

Ampliación Electropulido = $\frac{6,300}{18,900}$ pie³/min

Ventilación General: La ventilación general puede hacerse por medio de un sistema central de ventilación por ventiladores en el techo o por ventiladores en la pared como se muestra en la figura.

La velocidad de ventilación general debería ser de 6 a 60 cambios de aire por hora, dependiendo de la toxicidad de la atmósfera (Allen Brand).

Siendo las dimensiones de la planta aproximadamente:

50 m x 30 m. x 6 m.

y escogiendo 20 cambio de aire por hora, tendremos

50 x 30 x 6 x 20 = 1,800 m³/hora ó 63,600 pie³/hora

ó 1,060 pie³/minuto

Aplicando fórmula de apuntes de clase, pág. 36 para un tiro de 1.75" podemos calcular la:

Potencia: HP

$$HP = \frac{(\text{pie}^3/\text{min}) \times h}{6,356 \times \text{Eficiencia}}$$

P. PARA SER UNA VELOCIDAD EN LA CAMERA DE 1000

30 DISEÑADO PARA LA ENTRADA DE...

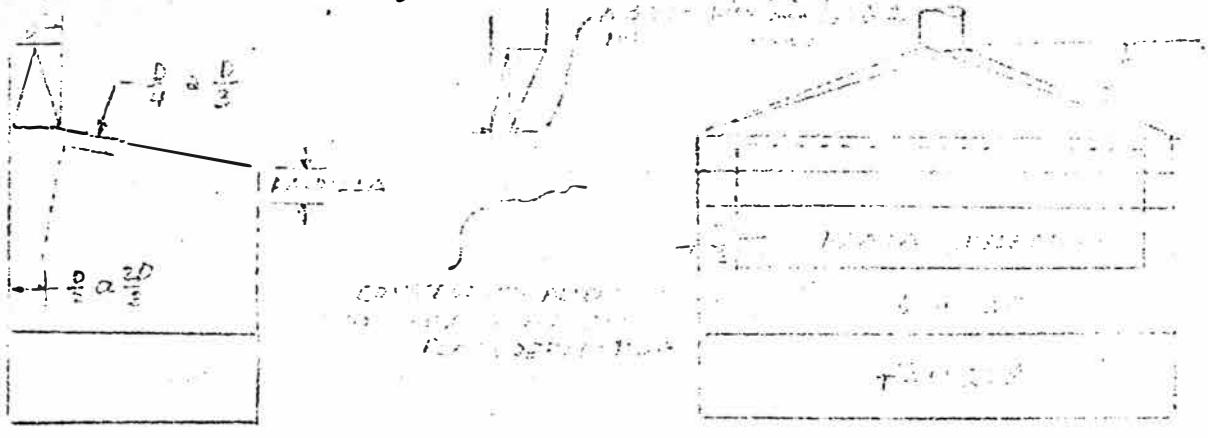
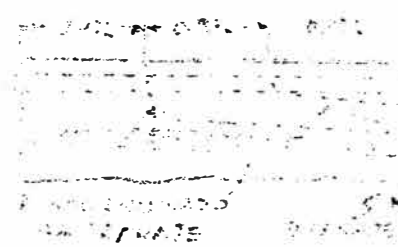
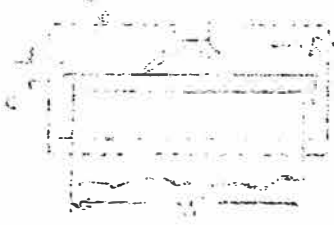
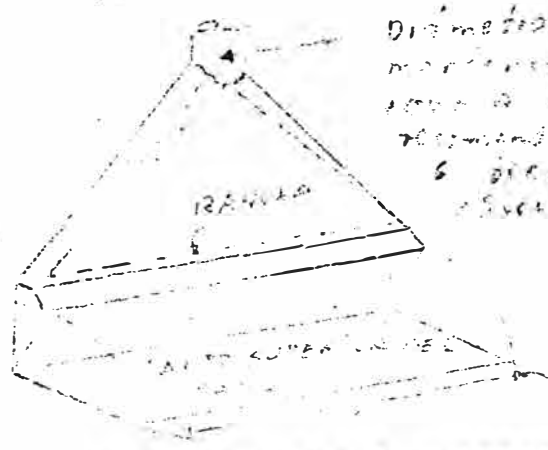


Fig 25. Campana cerrada



SI SE UTILIZAN DEBEN SER...

Fig 26. Campanas extractoras laterales



Diámetro del tubo para mantener la velocidad de 1000 a 1200 lts/min. con a 100 m/min. de velocidad. Para tener un diámetro de 6 pies (1.83 m. de diámetro) tubo extractor.

Fig 27. Campana lateral extractora.

Luego, para el flujo total: $18.900 + 1,060 = 19,960 \text{ pie}^3/\text{min}$

$$\text{HP} = \frac{19,960 \times 1.75}{6,356 \times 0.5} \quad 11$$

Multiplicando por un factor de seguridad de 1.5 dá 16.5 HP

Costo: según Cecil Chilton

Para 17HP 1,160\$ 49,880 soles (1959)

Considerando un 7 % de incremento anual

$$1974 - 1949 = 25 \qquad 25 \times 0.07 = 1.75$$

Costo en 1974:

$$49,880 \times 2.75 = 147,000 \text{ Soles Oro.}$$

1c. Tanque de reactivos.- Cuando se recibe el reactivo a granel debe proporcionarse tanques de almacenamiento para soluciones concentradas. Estos se sitúan con frecuencia en una posición elevada, desde la cual se alimentará con mayor facilidad y por simple gravedad a los puntos de utilización de la planta a través de tuberías. Los materiales de construcción se elijan sobre la base de los reactivos que se están manejando.

Se requerirán dispositivos y tuberías especiales para recibir el reactivo del tanque transportador a granel y su instalación deberá hacerse de acuerdo con las instrucciones del vendedor o fabricante. Los carros tanques se vacían de ordinarios por presión de aire o por medio de una bomba que traen consigo acoplada al mismo vehículo. El tanque de almacenamiento debe ser de capacidad suficiente para recibir al menos un embarque, calculando o previniendo un cierto margen de seguridad en casos de emergencia.

En el caso de nuestro anteproyecto, se ha considerado 3 tanques, uno para almacenar ácido sulfúrico, un segundo para ácido nítrico y un último para solución de hidróxido de sodio. Las capacidades y otras especificaciones, pasamos a describir a continuación.

Acido Sulfúrico; Sabemos que una planta de las características de la que tratamos tiene un consumo de 3930 Kg/mes de ácido comercial (98%) y sabiendo que

tiene una densidad de 1.788, obtenemos un volumen de

$$V = 3,930/1.788 = 2,197 \text{ litros --- (1.5 seguridad)}$$

$$2,197 \times 1.5 = 3,295 \text{ litros}$$

$$3,295/3.78 = 870 \text{ galones}$$

Dimensiones Básicas.- Los tanques son cilíndricos y

$$V = B \times H = 0.785 D \times H \quad (D = H)$$

$$H = \sqrt{V/0.785} = \sqrt{3.295/0.785} = \sqrt{4.18} = 2.04 \text{ m.}$$

$$H = D = 2.04 \text{ metros.}$$

Costo; según Chilton para tanques de acero pág. 52 curva 1

$$800 \$ \text{ --- } 800 \times 43 = 34,000 \text{ Soles Oro en 1949}$$

Acido Nítrico.- Consumo de 1050 Kg. por mes, al 50% y según tabla 27 (Kenneth) 1.317 Kg/lit.

$$V = 1050/1.317 = 803.5 \text{ lit.}$$

$$803.5 \times 1.5 = 1205 \text{ lit. --- 318 galones}$$

Dimensiones básicas; igual que caso anterior

$$H = \sqrt{1.205/0.785} = \sqrt{1.535} = 1.24 \text{ m.}$$

$$H = D = 1.24 \text{ metros}$$

Costo; según Chilton curva 3

$$820 \text{ --- } 820 \times 43 = 35.300 \text{ Soles Oro en 1949}$$

Soda Caustica.- Consumo mensual 1,200 Kg. Solución al 56%

Consideramos la densidad igual a 1 (uno)

$$V = 1,200 \text{ lit.}$$

$$1,200 \times 1.5 = 1,800 \text{ lit. --- 475 galones}$$

Dimensiones Básicas; como en casos anteriores

$$H = \sqrt{1.8/0.785} = \sqrt{2.29} = 1.51 \text{ m.}$$

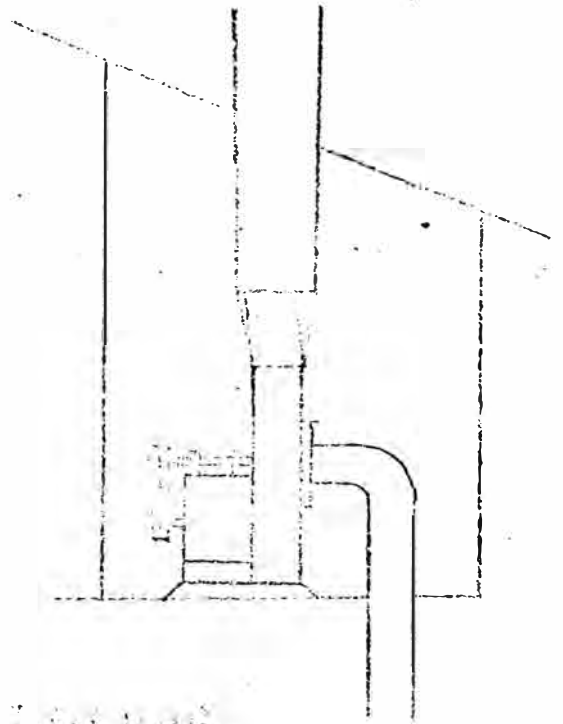
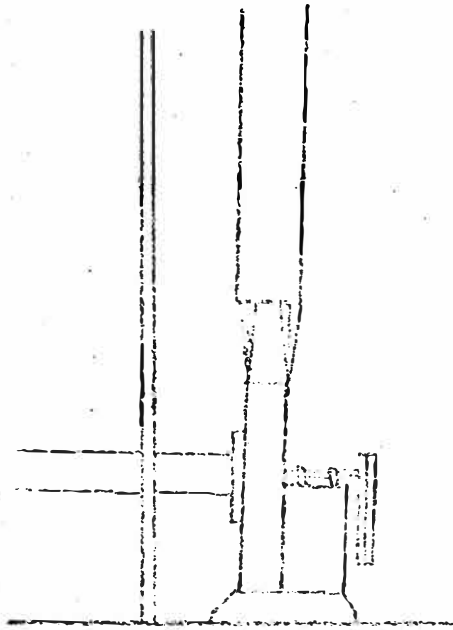
$$H = D = 1.51 \text{ metros}$$

Costo; según Chilton curva 3

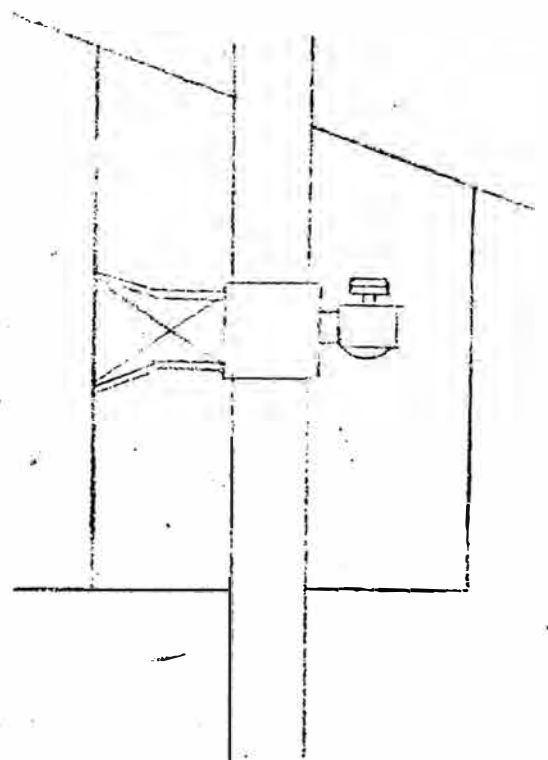
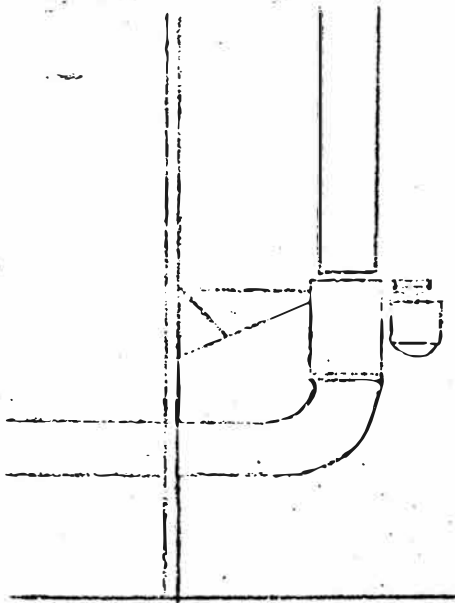
$$940 \$ \text{ --- } 940 \times 43 = 40,000 \text{ Soles Oro}$$

Resumen: Considerando 7% de incremento anual

Tanque	Costo en 1949	Costo en 1974
Ac. Sulfúrico	34,000 Soles Oro	95,250 Soles
Ac. Nítrico	35,300	99,000
Soda Caust.	40,000	<u>109,900</u>
Total:		302,150 Soles Oro



VENTILADOR VERTICAL



VENTILADOR AXIAL

1d. Bastidores.- Los bastidores para anodizado deben ser -
diseñados teniendo en cuenta la eficien-
cia en la carga y descarga de las piezas y de manera que es-
tas se mantengan en una posición favorable para que mejor -
se anodicen las superficies importantes; deben incluirse im-
portantes características en cada bastidor diseñado, tales
como:

(a) Capacidad de transporte de Corriente.- El bastidor de-
be ser lo sufi-
ciente grande para llevar la correcta cantidad de corri-
ente a cada pieza unida a él. Si los espacios libres -
es demasiado estrecho el recubrimiento anódico será de
un grosor inadecuado o muy débil, con quemaduras como
resultado del sobrecalentamiento.

Al diseñarse los soportes o bastidores deberá usarse
pues los que mejor satisfagan los requerimientos de ca-
pacidad de corriente, rigidez, limitación de peso, colo-
cación de la pieza, limitación de espacio y facilidad -
de construcción. Antes de hacerse el bastidor, debe de-
terminarse el número de piezas a colocar en él.

(b) Disposición de las piezas.- Los bastidores deberán fa-
cilitar la apropiada dis-
tribución de las piezas para permitir un buen drenaje,
minima acción de los efectos de los gases y aire atra-
pado. El área efectiva anodizar es la parte del área -
total de las piezas colocadas en el bastidor y que van
a recibir el espesor especificado.

(c) Vida de Servicio.- Los bastidores deben tener adecuada
resistencia mecánica y suficiente
resistencia a la corrosión y al calor, para resistir el
ambiente de cada fase del ciclo de anodizado

Siempre que sea posible, el contacto debe hacerse sobre
una superficie poco importante de la pieza que se oculte
posteriormente. Los contactos empernados se usan en basti-
dores para anodizado dura convencional. Sin embargo el em-

pernado requiere más tiempo de cargado y descargado que los contactos por presión o con alambre.

El aluminio y el titanio comercialmente puros, son los materiales mas comumente usados para bastidores de anodizado. Sin embargo los bastidores hechos de aluminio tienen la desventaja de anodizarse con las piezas. El recubrimiento anódico debe quitarse del bastidor o al menos de los contactos antes de volverlo a usar (se recomienda NaOH al 5 % y 40 ó 60°F.

El número de piezas que pueden colocarse sobre un soporte tipo sencillo depende principalmente de la limitación del peso total del mecanismo elevador, del tamaño de los tanques y de la capacidad de la fuente de corriente.

Despues de diseñado un bastidor deberá hacerse un modelo y evaluarlo en forma experimental, los siguientes datos serán útiles.

Material	Peso Lib/pul ³	Resistencia Tensión ₂ Lib/pul ²	Resistividad Micromhs-cm	Seguridad Amp/pul ²
Aluminio	0.098	30,000	2.82	630

Deberá examinarse cuidadosamente las piezas por vetas de gas, picaduras, rugosidades, quemaduras, bolsas de gas y otros defectos que pueden resultar de una mala colocación.

1e. Equipo de Control de Temperatura.- Para todos los procesos de anodizado debe regularse la totalidad de la temperatura de la operación del baño y mantener la propia temperatura en la interface de la superficie de la pieza y el electrolito.

La temperatura de operación para la mayoría de los baños de anodizado se controla para que esté en el rango de ± 1.5 °C. Este grado de control hace necesario mecanismos de control sensitivos.

En los sistemas de calentamiento por vapor como es el caso de nuestro diseño es ventajoso tener una válvula "throttling" para prevenir el sobrecalentamiento de cualquiera de las soluciones. En algunas instalaciones como en nuestro caso es necesario de un intercambiador para prevenir la contaminación del electrolito y el sistema de vapor por una rotura de la línea de vapor en el baño de anodizado

Se usan termostatos para controlar la temperatura en el baño y activar los elementos de calentamiento. En casos simples en los que no se tengan termostatos, se usará únicamente termómetros corrientes

2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO A COMPRAR

2a. Rectificadores.- Estos aparatos además de comportarse como transformadores, también rectifican la corriente eléctrica, es decir la pasan de alterna (C.A.) a continua (C.C.), siendo esta última la que se utiliza en los procesos electrolíticos.

Dos son los rectificadores más comunmente usados en el electrorecubrimiento; el de selenio y el de silicio. Cada uno de ellos tiene características propias, así el primero da voltajes desde 6.9 y hasta 12 volt y 1.500 a 2,000 amperios de corriente continua, mientras que las unidades de silicio es para voltajes un tanto más altos y da hasta 25,000 amperios

En lo que respecta a los costos no son tan diferentes entre unos y otros, sin embargo, la esperanza de vida de

los rectificadores de selenio es de 6 a 8 años, mientras que los de silicio es prácticamente indefinida.

En general todo rectificador tiene una eficiencia que es menos, de 1, debido al gasto que hace el aparato en transformar la corriente alterna en corriente continua. En este sentido aclararemos que una unidad nueva instalada y que tenga menos de 65% de eficiencia, nos indica que estamos frente a un diseño inadecuado.

Programa de Control para Anodizado.- Inicialmente, el aluminio antes de ser anodizado ofrece poca resistencia, por lo que, a menos que la corriente sea controlada automáticamente (ACC) se dará lugar a una excesiva corriente cuando se aplique el suficiente voltaje en los electrodos del tanque. Conforme progresa el proceso, aumenta también la resistencia; así que manteniendo la corriente constante el voltaje del tanque se eleva debiendo prevenir se llegue a niveles de voltajes excesivos y dañinos al proceso. Para ello hay rectificadores que vienen equipados con dispositivos automáticos del control en base a programas pre-establecidos. Tales como los sistemas ACC y AVS.

Se pueden adquirir rectificadores pequeños en muchas casas especializadas de nuestro país, pero los de alto amperaje son adquiridos en el extranjero, en casas tales como:

Cliton Supply Co, en Chicago

Macarr Inc. Scr Series Rectifiers

American Rectifier Corporation

Para el cálculo del Costo; tendremos en cuenta la cifra dada por el Ing. Velarde de SIAM, de 80,000 Soles para un rectificador de 15 voltios y 1,500 amperios, osea 1,500 x 15 Watts marca Schering de Berlin, ya que nosotros necesitamos rectificadores de 15 voltios y 15,000 amperios osea 15,000 x 15 watts.

Aplicando la correlación de Chilton
$$C_1 = 80,000 \left(\frac{15,000 \times 15}{1,500 \times 15} \right)^{0.6} = 80,000 \times 4 = 320,000 \text{ soles}$$

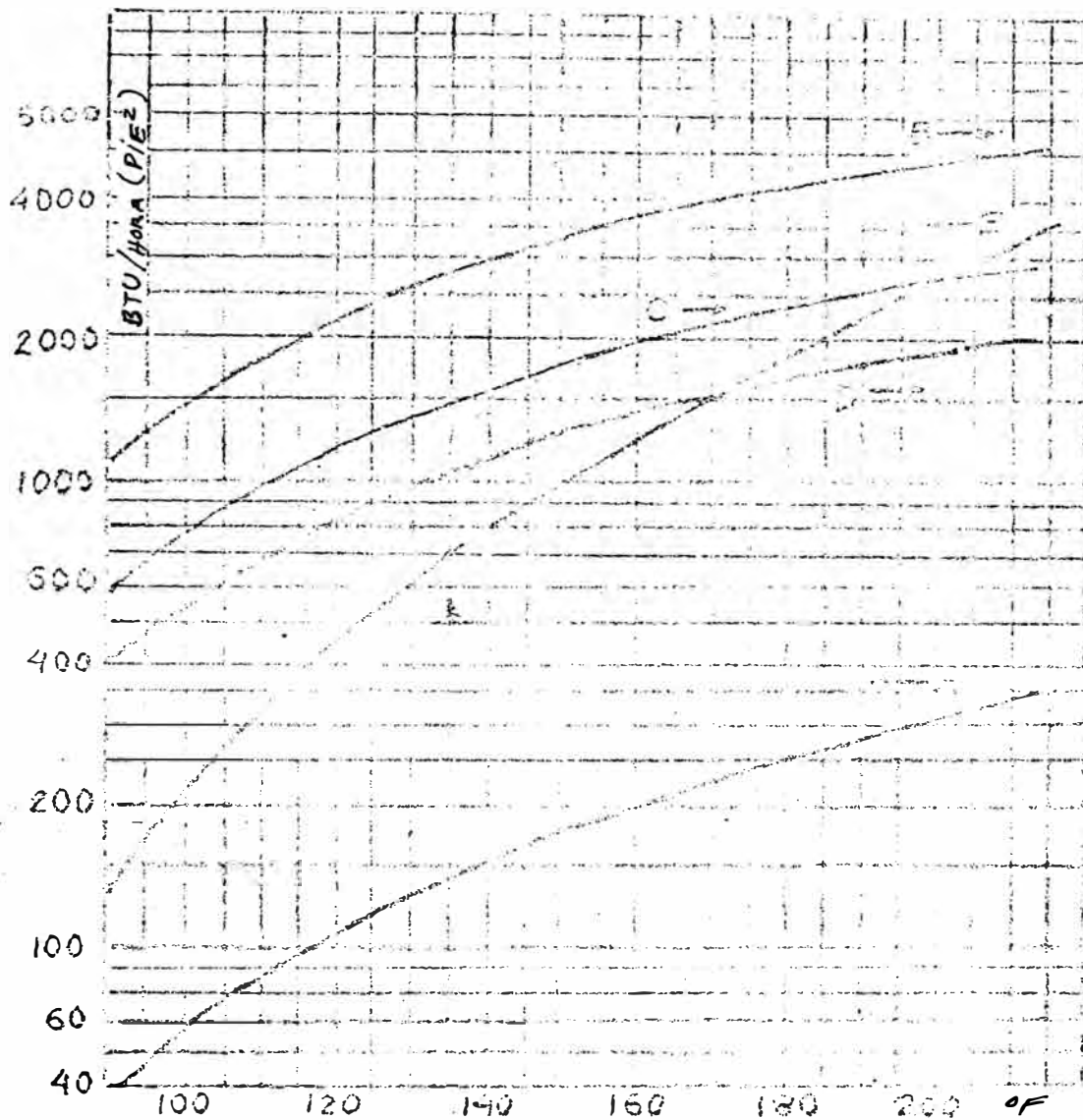


Fig 29. Perdidas de calor en aire tranquilo a 60 °F para tanques de agua sin cubierta. Curva A.-Perdida a través de las paredes del tanque, acero desnudo-léase la escala de la izquierda. Curva B.-Perdida de calor a través de las paredes del tanque-aislamiento de 1 pulgada(25.4 mm)-léase la escala de la derecha. Curva C.-perdida a través de las paredes del tanque, aislamiento de 2 pulgadas(51 mm)-léase la escala de la derecha. Curva D.-Perdida de calor a través de las paredes del tanque, aislamiento de 3 pulgadas(75 mm)léase la escala de la derecha. Curva E.-Perdida a través de la superficie del líquido en aire tranquilo, léase escala de la izquierda.

Xoro. Siendo dos rectificadores: $320,000 \times 2 = 640,000$ Soles

2b. Caldero de Vapor:- Para el diseño de este aparato se debe tener en cuenta las pérdidas de calor en los alrededores de los tanques las cuales pueden calcularse a partir de la Fig. 29 y la Fig. 30

Si el reactivo o solución fluye dentro del tanque el calor requerido por eso es:

$$\text{BTU/hr} = \text{gal/min de flujo de agua} \times \text{Elevación de la temp } ^\circ\text{F} \times 500$$

La remoción de calor por el metal que se está procesando es:

$$\text{BTU/hr} = \text{lb metal/hr} \times \text{calor específico de metal} \times \text{elevación de la temperatura } ^\circ\text{F}$$

Bajo las anteriores consideraciones se procede al cálculo, considerando únicamente los tanques donde hay calentamiento de solución, los cuales son:

Tanque	Temperatura	Tiempo
1. Desengrase	85°C (190°F)	15 min
2. Enjuague en caliente	60°C (140°F)	1 min
3. Decapado	60°C (140°F)	10 min
4. Electropulido	50°C (122°F)	5 min
5. Sellado	100°C (212°F)	30 min

Sabemos que la planta es de 100 ton/mes o lo que es lo mismo: 0.139 ton/hora ó 306 lib/hora.

La dimensión de los tanques es: 6.50 x 0.80 x 1.50 m.

Desengrase.- 85°C (190°F) y un tiempo de 15 minutos

Asumimos una alimentación continua de solución de 1 gal/min y una velocidad del aire de 5 pies/seg Así hacemos los cálculos de modo semejante al ejemplo de las páginas 601 y 602 del Manual de Recubrimientos Electro-líticos de Kenneth.

1. Area de Superficie (E)	Pérdida en Aire tranquilo	Pérdida por Extracción BTU/hr
$6.50 \times 0.80 = 5.20 \text{ m}^2$	lo	
57.2 pie^2		
$57.2 \times 2,600\#$	$149,000 \times 3+$	447,000

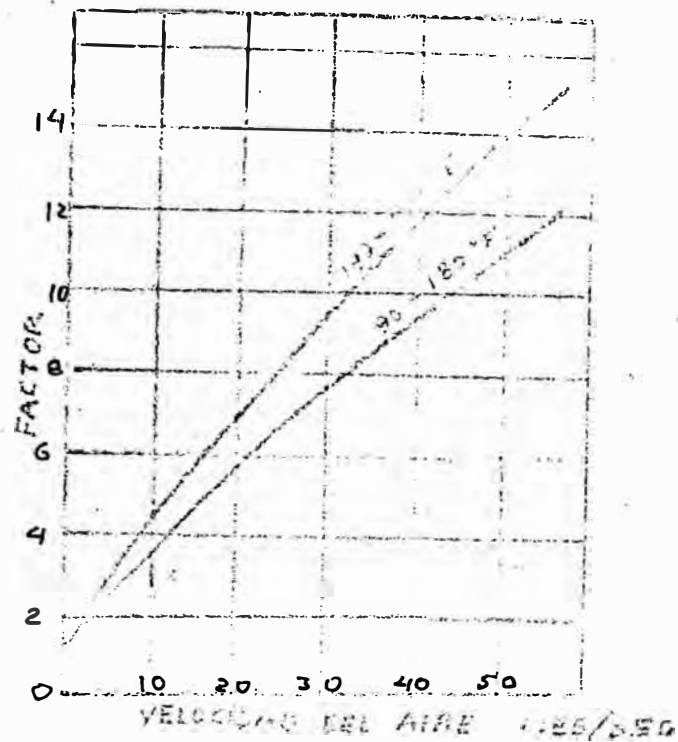


Fig 30. FACTOR APROXIMADO PARA PERDIDAS DE CALOR POR LA SUPERFICIE DEL AGUA A VARIAS VELOCIDADES DEL AIRE (PIES/SEG).

2. Area de la Pared (A)

$0.205m^2 \text{ --- } 225.5 \text{ pie}^2$

225.5×280

63,300

$\frac{63,300}{510,300}$

En gráficos.

Para mantener la temperatura a 190°F el calor necesario será:

(a) Pérdida de calor al rededor	510,300
(b) Para calentar la solución nueva 1 gal/min (140 - 70) x 500	60,000
(c) Para calentar piezas de aluminio 300 x 0.215 x 120	<u>7,750</u>
	578,050BTU/hr

Enjuague en Caliente.- 140°F y un tiempo de 1 minuto

1. Area de Superficie (E)	Pérdida en aire Tranquilo	Pérdida por Extracción BTU/hr
57.2 x 800	45,600 x 2.4	109,000
2. Area de Pared (A)		
225.5 pie ² x 150	34,000	<u>34,000</u>
		143,000

Para mantener el agua a 140°F

(a) Pérdida de calor al rededor	143,000
(b) Para calentar agua nueva 1 gal/min x (140-70) x 500	35,000
(c) Para calentar piezas de aluminio (viene caliente).	<u>-----</u>
	178,000BTU/hr

Decapado.- 140°F y un tiempo de 10 minutos

1. Area de Superficie (E)	Pérdida en aire Tranquilo	Pérdida por Extracción BTU/hr
57.2 pie ² x 800	45,600 x 2.4	109,000
2. Area de Pared (entre A y B)		
225.5 pie ² x (150 - 25)		<u>28,200</u>
		137,200

Para mantener la solución a 140°

(a) Pérdida de calor alrededor		137,200
(b) Para calentar solución nueva 1 gal/min x (140 - 70) x 500		35,000
(c) Para calentar piezas de aluminio. (vienen calientes)		<u>-----</u>
		172,200 BTU/hr

Electropulido.- 122°F por 5 minutos

1. Area superficie (E)	Pérdida en aire Tranquilo	Pérdida por Extracción
57.2 pie ² x 445	25,500 x 2.4	61.180
2. Area de pared (entre A y B)		
225.5 pie ² x 125	28.150	<u>28.150</u>
		89,330 BTU/hr

Para mantener la solución a 122°F

(a) Pérdida calor alrededores		89,330
(b) Para calentar solución nueva 1 gal/min x 52 x 500		26,000
(c) Para calentar aluminio 300 x 0.215 x 52		<u>3,000</u>
		118,330 BTU/hr

Sellado.- 212°F por un tiempo de 30 minutos

1. Area de Superficie (E)	Pérdida en aire Tranquilo	Pérdida por Extracción
57.2 pie ² x 2600	149,000x2.4	356.500
2. Area Pared (B)		
225.5 pie ² x 48	10,850	<u>10,850</u>
		369,350

Para mantener la solución a 212°F

(a) Pérdida calor alrededor		367,350
(b) Para calentar solución nueva 1 gal/min x 142 x 500		71,000
(c) Para calentar carga aluminio 300 x 0.215 x 142		<u>9,180</u>
		447,530 BTU/hr

Requerimiento total de calor

	BTU/hora	Tiempo(min)	Calor Perdido (BTU/
Desengrase	578,050	15	144,300
Enjuague	178,000	1	2,960
Decapado	172,200	10	28,750
Electropulido	178,200	5	9,830
Sellado	<u>495,060</u>	<u>30</u>	<u>447,530</u>
	1'941,640	57	633,370

Total calor realmente consumido: 1'941.640 BTU/hr

Total calor consumido por anodizado

633,370 x (60/57) = 667,000 BTU/hr

Para calcular los requerimientos de Energía usamos la siguiente fórmula:

Lib vapor/hora = $\frac{\text{BTU/hr}}{\text{Entalpia} \times \text{eficiencia}}$

Asumimos una Temperatura de vapor saturado de 250°F (solo necesitamos 212°F) y una eficiencia de caldero de - 0.5 Según la tabla 2 para:

Temperatura de Vapor Saturado	Presión Manométrica	Entalpia Evaporación
250°F	15 lib/pulg ²	960 BTU/libra

Luego:

Lib Vap/hora = $\frac{1'941,640}{960 \times 0.5} = 4,040$

BHP = (Lib Vap/hr) / 35 = 4,040 / 35 = 116 BHP

Según Taggart para un caldero de 150 HP el costo del caldero instalado con todos sus accesorios es de 2,350 \$ en 1937. Considerando un factor de incremento anual de 7 %

1974 - 1937 = 37 37 x 0.07 = 2.59

Costo en 1974:

2,350 x 3.59 = 8,415 \$

Osea: 8,415 x 43 = 362,300 Soles Oro

2c. Refrigerador.- En el anodizado la razón usual para el enfriamiento es la de extraer el calor causado por el paso de la corriente a través de la solución. Las cantidad del enfriamiento se calcula fácilmente me...

dianate la siguiente fórmula.

$$\frac{\text{Voltios} \times \text{Amperios}}{3.4} = \frac{\text{BTU}}{\text{hora}}$$

Esta expresión simplificada no tiene en cuenta que la caída de tensión a través de la solución es menos que el voltaje del tanque. Ya que el proceso se realiza a temperatura ambiente se desestima la pérdida de calor por las paredes.

Después de hacer conversiones de las 100 toneladas por mes que es la capacidad de nuestra planta, se llega a obtener que en la planta se trata 300 Lib. de Aluminio por hora lo cual nos permite poder calcular la capacidad del refrigerador en base a la ecuación anterior.

$$\frac{14 \text{ Volt.} \times 2,300 \text{ Amp.}}{3.4} = 9,470 \frac{\text{BTU}}{\text{hora}}$$

Empleando la ecuación 10 de la ag. 611 del Manual de Recubrimientos Electrolíticos.

$$\text{Toneladas de Refrigeración} = \frac{9,470}{12,000} = 0.79$$

Por un factor de seguridad de (2.0) = 0.79 x 2.0 = 1.58

Siendo 2 tanques = 1.58 x 2 = 3.16

Costo, según la tabla de la pág. 57 del libro de Cecil Chilton, curva 3.

$$\$ 1,120 \times 43 = 53,000 \text{ Soles Oro}$$

Considerando un 7 % de incremento anual

$$1974 - 1949 = 25 \quad \text{----} \quad 25 \times 0.07 = 1.75$$

Costo en 1974

$$53,000 \times 2.75 = 145,750 \text{ Soles Oro}$$

2d. Suavizadora de Agua.-- Basados en cambio catódico.

Consta de un cilindro de acero en cuyo fondo hay una resina especial. La resina toma iones calcio y magnesio y los cambia por iones de sodio. Cuando la resina se satura por el tiempo prolongado de funcionamiento, se le trata con solución concentrada de Na Cl o Na_2CO_3 ; el calcio reemplazará al calcio y magnesio atrapados.

X. En la práctica, después de lavada la resina se habren las llaves de suministro de agua, después de que pasa cierta cantidad de agua se prueba la dureza de la misma, si es alta se procede a la adicción de mas sales regeneradoras.

El aparato está equipado con válvulas para introducir la solución regeneradora. Las instalaciones más modernas, se limpian automáticamente durante el proceso de ablandamiento. La regeneración dura más o menos una hora (variando de acuerdo a las dimensiones básicas y la capacidad del aparato.)

El grado de suavidad puede ser comprobada añadiendo gotas de una solución jabonosa normal a un volumen conocido de agua, sacudiendo esta y contando el número de gotas necesarias para obtener una capa de espuma de jabón sobre la superficie.

Los suavizadores o desionizadores son entregados junto con las instrucciones de funcionamiento y de mantenimiento

La Capacidad, se calcula en base a la cantidad de agua que se necesitará en todos los tanques de la instalación - que requieran de agua, ellos son 15 por lo que:

$$15 \text{ tanq.} \times 1 \text{ gal/min/tang} \times \frac{1 \text{ lit}}{0.264 \text{ Gal}} = 56.8 \text{ lit/min}$$

El costo; lo podemos calcular sabiendo que "Un intercambiador de iones desmineralizador, marca ROVIC, modelo 330, capacidad de regeneración en 10 grados de dureza alemana o 179 p.p.m. aproximadamente 650 lit.

Rendimiento por minuto de 4.5 lit."

Cuesta: 36,691.20 Soles Oro (1974).

Luego aplicando la correlación de Chilton

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{X_1}{X_2} \right)^{0.6}$$

$$C_1 = 36,691 \left(\frac{56.8}{4.5} \right)^{0.6} = 36,691 \times 4.56 \\ = 167,900 \text{ Soles Oro}$$

Distribuidor del
agua dura

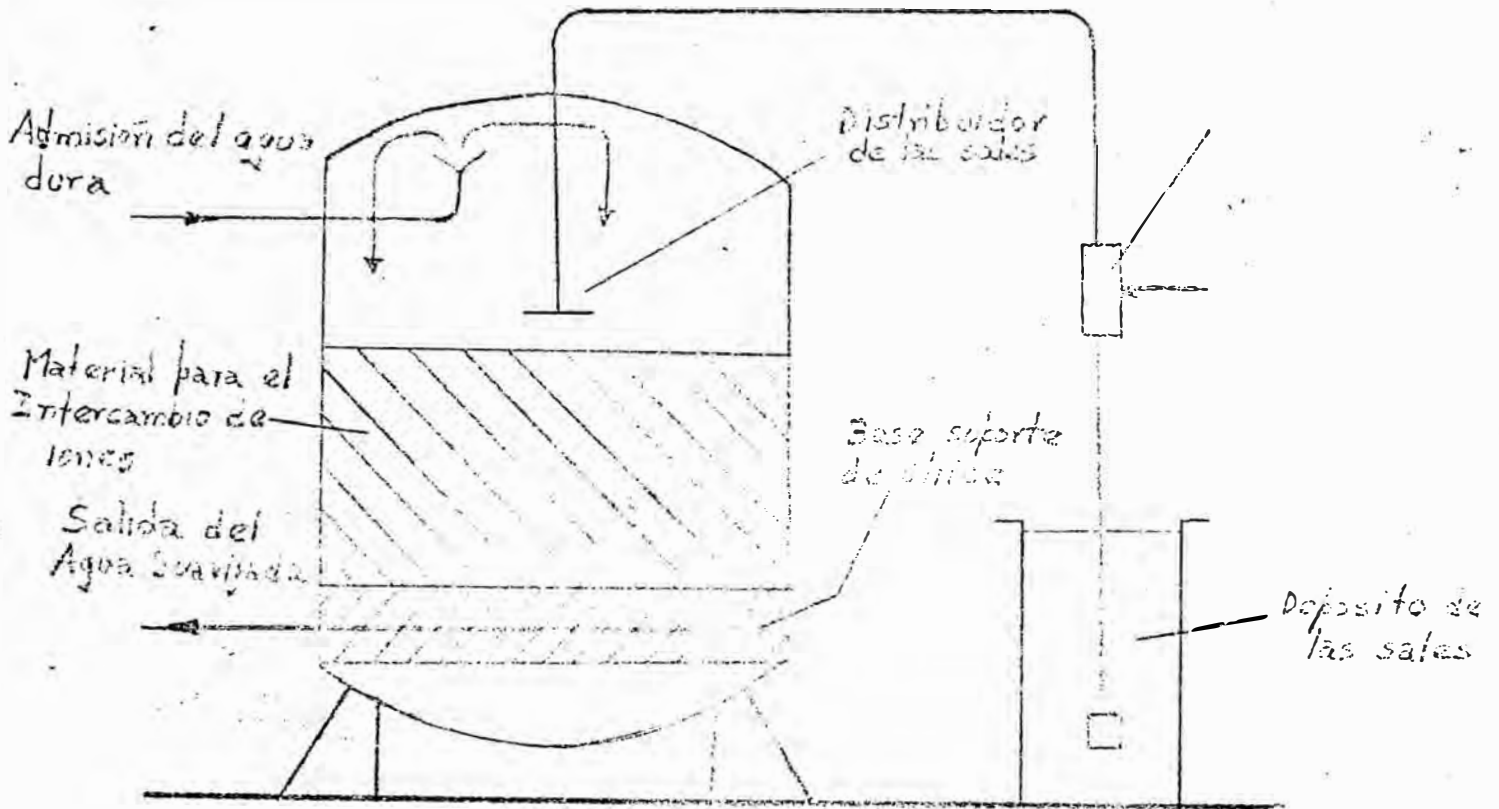


Fig 31. DIAGRAMA DE UN SUAVIZADOR DE AGUA "PERMUTIT" DE PERMUTACION CATODICA

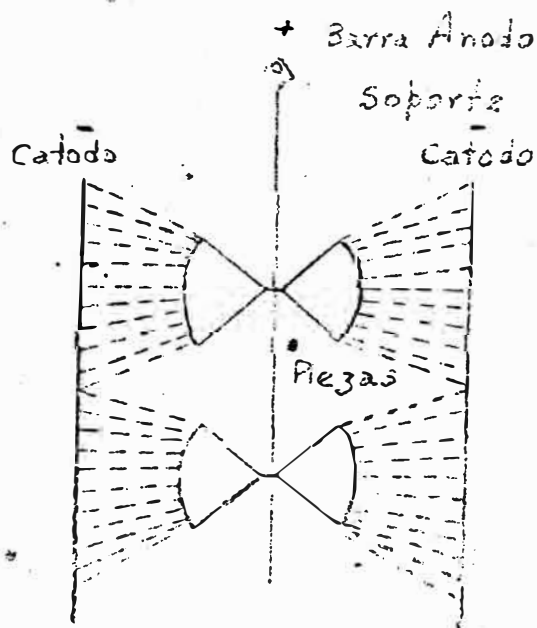
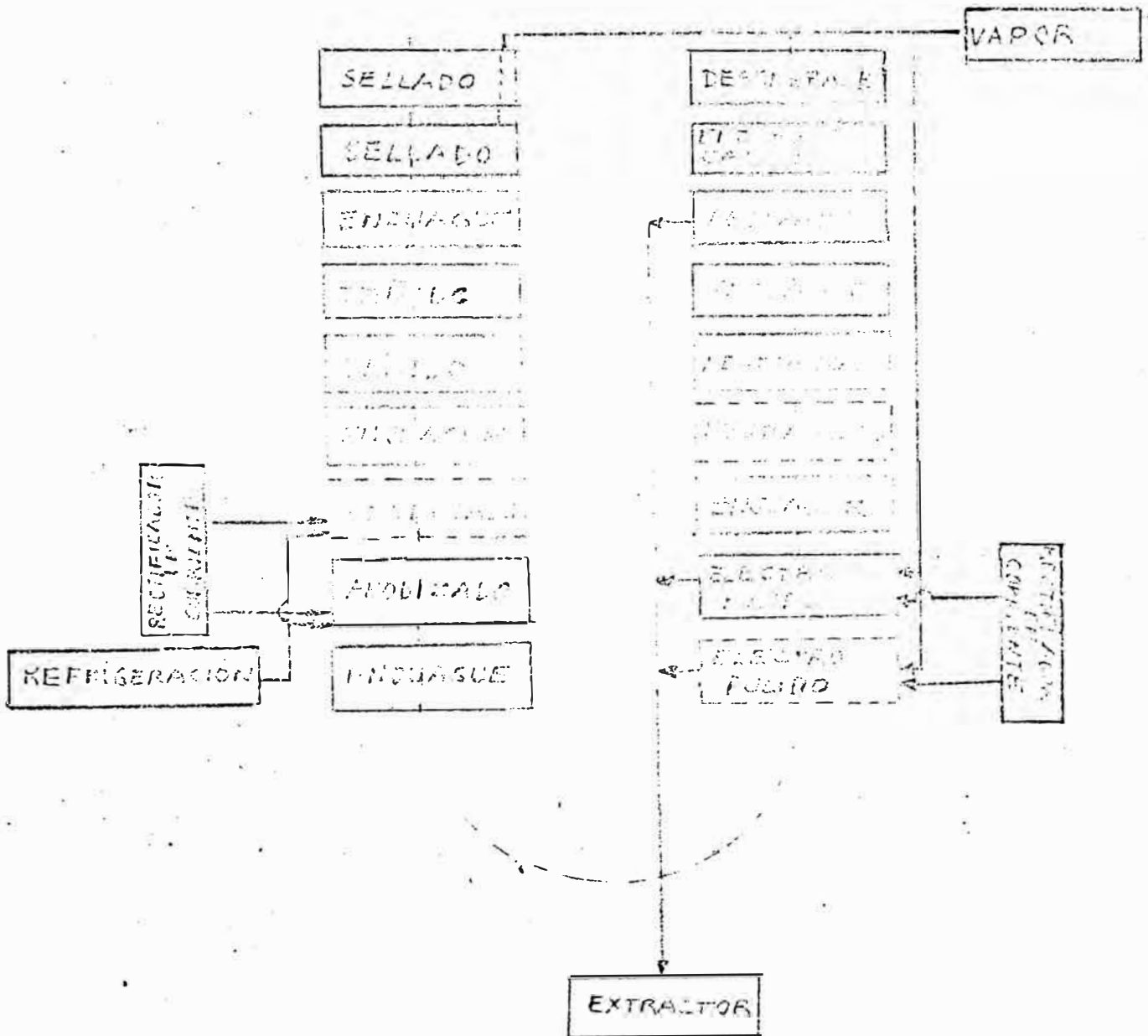
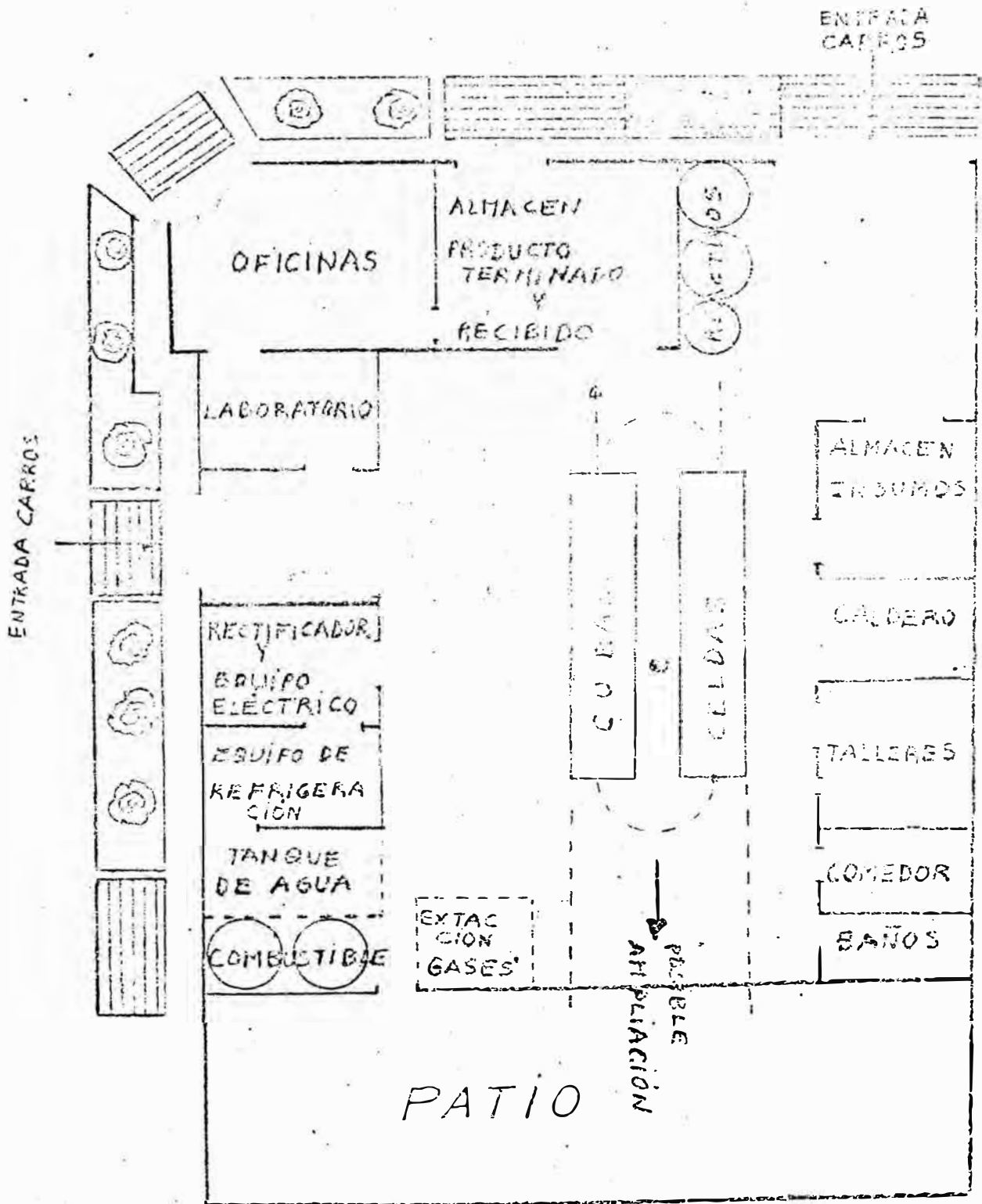


Fig 32. DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE EN UN SOPORTE PARA EL PROCESADO DE LAS PIEZAS.

3.- PLANT LAYOUT O DISTRIBUCION DE PLANTA



4.- EDIFICIOS Y OBRAS CIVILES.



CAPITULO IV

ECONOMIA GENERAL

- 1.- Estimación de las Inversiones
- 2.- Costo de Producción
- 3.- Balance Económico
- 4.- Índices de Evaluación del Proyecto

1.- ESTIMACION DE LAS INVERSIONES

1.1 Equipo Instalado.-

Caldera de calentamiento	362,300.00
Estractores de gas	147,000.00
Suavizador de agua	167,900.00
Rectificadores	640,000.00
Cubos o tanques	3'770,000.00
Refrigerador	145,750.00
Tanques de reactivos	302,150.00
	<hr/>
	5'535,100.00

1.2 Tuberías.- Se considera el 10% del costo del equipo instalado (segun Cecil Chilton)----- 553,510.00

1.3 Instrumentación.- Puesto que la planta no será automatizada ni requerirá de muchos controles se considera 2% del costo de equipo instalado:-
----- 110,702.00

1.4 Instalaciones electricas.- Consideramos un 5% del equipo instalado----- 276,755.00

1.5 Edificio.- Puesto que va a construir más de lo normal, oficinas baños etc. consideramos 8% de equipo instalado ----- 442,808.00

1.6 Servicios.- Se considera en este caso 10% del equipo instalado----- 553,510.00

7'472,485.00

COSTO FISICO DE LA PLANTA.-

Costo de Ingeniería y Construcción.-

Calculado como el 15% del costo físico de la planta:

----- 1'120,872.75

Costo Directo.- Costo físico de la planta + costo de
Ing. y Construcción:----- 8'593,357.75

Imprevistos:

8% del costo directo 687,468.62

Capital fijo: Costo directo + imprevistos 9'280,825.37

Capital de Operación.- Aplicamos la siguiente fórmula (Sacada de la Tesis de Grado del Ing. Julio Bonelli Arenas "Proyecto de una Planta de Sulfato de ALUMINIO") -- que da suficiente aproximación a nuestro estimado.

$$Co = vm (m + 4M + 0.5 MQ)$$

Siendo:

Co = Capital de operación

vm = Capacidad mensual de la planta (tn)

m = Costo de la materia prima por unidad de producción (soles/ ton.)

M = Costo de la mano de obra por unidad de producción (soles/ ton.)

Q = Ciclo de producción (1/30) 30 dias de trabajo al mes

Costo Materia Prima.-

Reactivos

Acido sulfúrico:	7,467.00	
Acido nítrico:	10,710.00	
Soda cáustica:	11,760.00	
Acido fosfórico:	40,000.00	
Acido crómico:	3,000.00	
	<hr/>	
	72,937.00	soles/mes----- 72,937.00

Combustible

4,800 galones/mes a 4.20 galón

4,800 x 4.20 ----- 20,160.00

Energía Eléctrica----- 73,900.00

166,997.00 soles/
mes.

Calculo de m

$$m = \frac{166,997.00}{100} = 1,670.00 \frac{\text{soles}}{\text{Ton}}$$

Calculo de M (Según el cálculo de costo hecho en el estimado del costo de producción)

$$M = \frac{151,900}{100} = 1,519.00 \text{ soles/ton.}$$

Capital de Operación *

$$Co = 100 (1,670.00 + 4 \times 1,519.00 + 0.5 \times 1,519 \times \frac{1}{30})$$

$$Co = 100 (1,670.00 + 6,070 + 25.3)$$

$$Co = 777,130 \text{ soles}$$

Inversión Total

Capital Fijo + Capital de Operación

$$9'280,826.40 + 777,130.00 = 10'057,956.40$$

* Se tomo el capital de operación de un mes porque es lo que se tendra que invertir el primer mes.

2.- ESTIMADO DEL COSTO DE
PRODUCCION

Materia Prima

Reactivos:

72,937.00 x 12875,244.00 soles

Combustible:

20,160.00 x 12.....241,920.00 "

Energía Eléctrica:

73,800.00 x 12.....886,800.00 "

Total materia prima 2'003,964.00 Soles

Mano de obra mensual..... 151,900.00

Horas-hombre por mes 328 x 30= 9,840.00

Valor hora-hombre.- 151,900

9,840 = 15.42

Horas hombre/ton. 9,840

100 = 9.84

Planilla anual empleados: 398,400.00

Planilla anual obreros: 1'424,400.00

Mano de obra anual.

151,900 x 12 1'822,800.00

26. Manu de obra

CANTON		MUNICIPIO		CANTON	
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					
K					
L					
M					
N					
O					
P					
Q					
R					
S					
T					
U					
V					
W					
X					
Y					
Z					

CANTON	MUNICIPIO	CANTON				MUNICIPIO				TOTAL					
		1	2	3	4	5	6	7	8						
INDUSTRIAL						24						36	96		
AGRICULTURA				1		3						24	96		
EVALUATE												26	96		
CONSTRUCCION		1				3						3	96		
COMERCIO				2		16				23		10	96		
TRANSPORTE		1						8				8	96		
SERVICIOS				2		8				16		16	96		
SUPERMERCADO			1			16			24			24	96		
		1	1	1	1	3	4		8	8	24	16	56	216	304

CANTON				MUNICIPIO			
A		1		1	500		1500
B		1		1	500		1500
C		1		1	500		1500
D		2		1	500		1500
E		1		1	500		1500
F		1		1	500		1500

c) Gastos generales de Planta

40% del costo de mano de obra

1'822,800 x 0.40 729,120.00

1'256,040.00

2.7 Depreciación: 10% del capital -
fijo

9'280,826.40 x 0.10..... 928,082.60

Seguros: 1% del costo físico

7'472,485.00 x 0.01 74,724.85

1'002,807.45

Costo anual de la Manufactura

Costo directo + gastos indirectos + depreciación:

.....6'635,101.65

Costo de manufactura unitaria = $\frac{\text{Costo anual de manufactura}}{\text{Producción anual}}$

$$= \frac{6'635,101.65}{100 \times 12} = 5,529.25 \text{ soles.}$$

3.- BALANCE ECONOMICO

El precio de venta del producto en el mercado nacional según los registros de la sección contabilidad de Metales Industriales S.A. (METINSA) (1,974) es de 104,000.00 soles/ton.

De producto anodizado y puesto que en 1.974, los perfiles - de aluminio sin anodizar se vende a un promedio de 83,550.00 soles/ton.:

El costo del aluminio mas el costo agregado por - anodizado será:

$$83,550.00 + 5,529.25 = 89,079.25 \text{ soles/ton.}$$

$$\text{Utilidad} = 104,000.00 - 89,079.25 = 14,920.75 \text{ soles-Ton.}$$

$$\text{Utilidad bruta anual} = 14,920.75 \times 1,200. = 17'904,900.00$$

Impuestos a las utilidades: 25% de la utilidad bruta

$$17'904,900 \times 0.25 = 4'476,250.00$$

Utilidad Neta

$$17'904,900 - 4'476,250 = 13'428,650.00 \text{ Soles}$$

4.- INDICES DE EVALUACION ECONOMICA

1.- Retorno antes de los impuestos

$$\begin{aligned} \text{RAI} &= \frac{\text{Utilidad Bruta}}{\text{Inversión total}} = x 100 \\ &= \frac{17'904,900}{10'057,956.40} \times 100 \\ &= 179\% \end{aligned}$$

2.- Retorno después de los Impuestos

$$\begin{aligned} \text{RDI} &= \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Inversión total}} = x 100 \\ &= \frac{13'428,650}{10'057,956.40} = 134\% \end{aligned}$$

3.- Tiempo de recuperación

$$\text{Tr} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Utilidad neta} + \text{depreciación}}$$

$$\text{Tr} = \frac{10'057,956.40}{13'428,650 + 1'002,807.50}$$

$$\text{Tr} = \frac{10'057,956.40}{14'431,457.50} = 0.70 \text{ años} = 8.4 \text{ meses}$$

CAPITULO V

A N E X O S

1. Algunas Plantas de Anodizado en el Perú
2. Designación para Acabados de Aluminio
3. Clase de Rugosidades

1. Algunas Plantas de Anodizado en el Perú

M E T I N S A

Localización de la Planta.

Se encuentra localizada en el Km. 8 de la carretera Central en el lado derecho de la misma.

Materia Prima.

Se utiliza aluminio importado de Venezuela de ALUMINIO DEL CARONI. Este material cumple las condiciones ASTM 6063, con un contenido de magnesio de 0.4 y de 0.6 de silicio, teniendo como impurezas menores Fe, Zn, Ti. etc. El costo aproximado del aluminio es de 40 a 42 soles kilo.

El aluminio es convertido en barras o perfiles, ángulos, alambres, etc. en la misma fábrica; la misma que tiene una fundición no sólo de aluminio, sino también de bronce y latones, obteniéndose el producto semiacabado por extrusión.

Los reactivos tales como: soda caústica, desengrasantes, detergentes y tintes son importados; los otros como los ácidos sulfúricos y nítrico son nacionales.

Producto Obtenido:

En la planta se anodizan especialmente perfiles arquitecturales de toda clase, filetes, tubos y piezas de carpintería metálica. También se anodizan piezas pequeñas pero excepcionalmente.

Es política de la empresa anodizar sólo sus productos, no aceptando hacer anodizados para otras firmas.

El grosor de la película anódica de los productos acabados tienen apenas 12 micrones.

Instalaciones y Equipo:

1. Máquina Pulidora; hay 2 máquinas pulidoras automáticas de las siguientes características:
 - a) Marca METABO, 5 HP; consta de una faja transportadora que hace mover los perfiles, los cuales pasan por debajo de 4 rodillos en discos de trapo, el material abrasivo es expulsado por una boquilla en forma automática.
 - b) De 6 HP; en esta máquina el perfil permanece quieto y son los discos de trapo de pulido los que se desplazan a lo largo de la mesa, teniendo en los extremos sendas mallas de pasta abrasiva sólida. El sistema de regulación es neumático.
2. Extractor de Polvo de 10.5 HP
3. Tanques de 5.85 m³ fueron fabricados por LIGOLD
4. Caldera de vapor; para calentar las soluciones calientes
5. Refrigerador; capacidad 20 frigorías, marca DUNHAM BUSH modelo: SS, 460 volt.
6. Rectificador: 13 - 25 Volt. y 2,300 a 3,000 amp.
marca Dr. W.KAMPSCHOLTE & CIE.
440 volt 76 Amp 60 Hz 3
18 volt 2,500 Amp.
7. Extractor de Vapores de Decapado: 5 - 6 m³/min
Potencia del motor: 6.6 HP
8. Desionizador de Agua
9. Montecarga o Tecla automático; marca: DEMAG
10. Aparatos de Control
Para determinar el grosor de la película se tiene:
TESTALU WALTER
ANSIEST ETABLESSIMENT
ANDRE WALTER
37 Boulevard, Sanit Michel - Paris
Especificaciones; N° 6971 Tipo TES
120 - 220 Volt 1 Amp.
Costo Aprox. 30,000 soles oro

11. Bastidores; son perfiles rectangulares (sección), al cual se le ha atornillado, empernado o amarrado dos barillas del mismo metal, a las cuales se amarran con alambre de aluminio .

FLOW SHEET



Tiempo de Proceso.-

Desengrase	15 min
Enjuague	
Decapado	10
Enjuague	
Neutralizado	1 min
Enjuague	
Anodizado	30 min
Enjuague	
Sellado	<u>30 min</u>
	86 min
Si hay	
Teñido	20 min
Los enjuagues 2 min	
cada uno	<u>10 min</u>
	116 min (1)

Comentarios.- Según el Ing. Palomino de METINSA el proceso de anodizado con ácido sulfúrico es más conveniente que el de ácido crómico; entre otras cosas, por la mejor controlabilidad de las condiciones de operación, así como por el costo pues un kilo de Crómico vale 10.00 soles mientras que de ácido sulfúrico 1.90 soles. Según el mismo Ingeniero en el Perú no hay una planta que tenga el proceso del ácido crómico, lo cual he podido comprobar que así es.

(1) Sin tener en cuenta el tiempo de pulido mecánico.

Costos Unitarios de los reactivos.-

Acido acético	30 soles/kilo
Pasta líquida	18 soles/kilo
Pasta Block	630. c/u de 20 kg.
Discos trapo	409.30 c/u
Acido sulfúrico	1.90 soles/kilo (98%)
Acido nítrico	10.20 soles kilo (50%)
Soda caústica	9.80 soles kilo (56%)

Costos mensuales en METINSA

Pasta block	15,277.50 soles
Pasta líquida	3,240.00
Discos	61,395.00
Acido sulfúrico	7,467.00
Acido nítrico	10,710.00
Soda caústica	11,760.00
	109,849.50 soles oro.

Condiciones del anodizado de perfiles.-

Como pudimos observar en un pizarrín:

Superficie máxima carga:	2,100 dm ³ ,
Amperaje total requerido:	2,300 Amp.
Tiempo de anodizado	: 30 minutos
Ácido sulfúrico	: 16.0 14.0 %
Ácido nítrico	: 10.0 8.0 %
Soda caústica	3.0 2.0 %

DISPOSICION DE LA SECCION PULIDO MECANICO

Economía.-

Estimado de la Inversión (cuando se inició la planta) doce millones de soles.

Producción mensual aproximada: 80 a 100 Ton.
de producto.

Mayo 1974 : 115,78 Ton.,
de producto.

Consumo mensual de energía eléctrica: 73,900
soles.

Consumo de combustible: 150 galones petro -
leo/hora

Precio de venta del producto: Costo de más -
barato de los productos 130 soles/metro

Consumo de agua: 60 m³ día.

Consumo mensual H₂SO₄ = 3,930 kilos (98%)

HNO₃ = 1,050 kilos (50%)

Na OH = 12,200 kilos

Pasta pulir = 485 kilos

Líquido pulir = .195 kilos

Petróleo = 4,800 galones

PLANTA DE GALVANOPLASTIA DE "MORAVECO"

Localización de la Planta.-

Se encuentra situada al norte de la ciudad de Lima, a unos 500 mts. del Aereopuerto Internacional "Jorge Chávez", a un lado de la carretera a Ventanilla. Esta Planta es nueva y moderna y tiene un local suficientemente grande para posibles ampliaciones posteriores.

Materia Prima.-

Siendo el niquelado y el cromado los procesos principales la materia prima viene a ser los reactivos que se gastan en ellos los cuales son entre otros: Acido sulfúrico, Sulfato, doble de Níquel, Sulfato de Cobre y Oxido Crómico. En cuanto a las piezas que se tratan son en su mayor parte los ribetes y otras partes brillantes de artefactos eléctricos, domésticos o de oficina, también adornos de automoviles, etc. Estas piezas son traídas de la Fundición de propiedad de la misma empresa y son en su casi totalidad piezas pequeñas obtenidas por moldeo a presión de aleaciones de aluminio, cobre y fierro; las cuales llegan a la planta en menzión con bastantes rebabas y otras irregularidades.

Producto Obtenido.-

Como ya dijimos se obtienen piezas cobreadas y niqueladas y/o cromadas, las mismas que son enviadas a otras plantas para ensamblarse en otros tantos aparatos. La planta es pues una parte complementaria de una operación mayor. Agregaremos que siendo nueva la planta recién se está consiguiendo

estandarizar los procesos, obteniéndose por el momento no tan buenos resultados.

Procedimiento Industrial.-

Dos son las secciones bases:

- 1.- Pulido Mecánico.- A las piezas se les desbasta con esmeril para quitarle las asperezas más prominentes; luego viene el pulido con discos de trapo, que junto con la pasta de pulir dan a la superficie el acabado necesario para que las piezas pasen al procesamiento electrolítico. Algunas piezas necesitan de un pulido extremo o bruñido, tal es el caso de las bases de las planchas domésticas.
- 2.- Procesamiento Electrolítico.- Se realiza en una sección separada de la anterior, en la cual están dispuestas dos filas de celdas o cubas, distribuidas de la forma más eficiente a mi manera de ver. Este proceso consta de las siguientes etapas:
 - a) Tanque de desengrase junto con una solución de hidróxido de sodio diluido aquí se quita las manchas y tismes de grasas provenientes del pulido mecánico.
 - b) Enjuague a temperatura ambiente.
 - c) Decapado electrolítico con ácido sulfúrico, disuelto con 3 volt. 150 amp. y un tiempo de 4 minutos.
 - d) Enjuague con agua.
 - e) Tanque de ácido sulfúrico al 2.5%.
 - f) Tanque de ácido sulfúrico al 15%.
 - g) Enjuague a temperatura ambiente (2 tanques).
 - h) Cobreado, con cianuro de cobre durante 3 minutos, para producir una capa de cobre bri-

llante que sirve como base para el niquelado.

- i) Pasivado, con inmersión en una solución de H_2SO_4 .
- j) Enjuagado con agua a temperatura ambiente.
- k) Niquelado, con sulfato doble de níquel. 4.5 volt. y 103 amp. durante 3 min. Aquí se emplea una espuma humectante para evitar fuga excesiva de gases.
- l) Enjuague con agua a temperatura ambiente.
- m) Enjuague con agua caliente.
- n) Activad, de la superficie con sales de mercurio.
- o) Cromado, con ácido crómico a 38°C.

A continuación viene el secado y por último un control de calidad visual y alguna prueba de dureza y brillantes.

FLOW SHEET

Pulido mecánico

Desengrase

Lavado con
Agua caliente

Decapado

Lavado

Cobreado

Enjuague

Pasivado

Enjuague

Niquelado

Enjuague

Cromado

Secado

DISPOSICION DE LAS CELDAS

Limpieza de piezas con aire comprimido	
Acondicionamiento de las piezas en soporte.	Piezas acabadas
Baño caliente: Desengrase	Enjuague caliente
Enjuague con radical 10-18	Enjuague frío
Decapado con radical 10-12 NaOH	Celda de cromado
Decapado de Fierro	Activado con 0.01 Hg
Enjuague con agua	Enjuague
H ₂ SO ₄ al 5% neutralizar Cu	Niquelado brillante 10 a 15 minutos
H ₂ SO ₄ al 2.5% para sanar	Según tamaño de piezas
Enjuague a Presión	
Baño de Cadmiado	Celdas para
Solución de H ₂ SO ₄	Realizar
Sal de Cu (CNCu)+abrillantador	Lavados o enjuagues
Enjuague	Celda que contiene H ₂ SO ₄ que actúa de activador
Pasivado	
Enjuague	Baño con agua
Baño ácido: CuSO ₄ ánodo de cobre	Pasivado con H ₂ SO ₄
	Enjuague con agua

INSTALACIONES EN EL PROCESO GALVANICO

Equipo Principal.

Rectificadores.- De fabricación alemana, cada celda tiene su rectificador.

Tanque.- Los tanques de enjuague son de acero de 1/4" de 0.80 m. de ancho, 1.20 m. de altura y 2.50 m. de largo en los extremos superiores tienen tubos laterales para agua que sale a presión sobre las piezas tratadas.

El calentamiento de la solución es eléctrica por medio de resistencias longitudinales sumergidas verticalmente.

En el fondo hay una tubería que conduce aire a presión para producir agitación.

Los tanques para soluciones están revestidas de material protector y tienen agitación neumática en unos casos y mecánica en otros, a diferencia de los tanques de enjuague no tienen rebozadero.

Los tanques para tratamientos electroclíticos también son de acero revestido. Los electrodos -- anódicos son en todos los casos de material insoluble. La agitación es neumática en todas las celdas menos en el cobreado donde la agitación las realizan las piezas, mismas al moverse en forma oscilatorio horizontal.

Hay extracción general.

Instalaciones en Pulido Mecánico.-

Hay 7 máquinas pulidoras, cada una de las cuales vá rebajando las asperezas e irregularidades, de modo que al finalizar en la última etapa, la pieza tiene la superficie adecuada para el siguiente proceso. Los discos de trapo hacen las veces de rueda de esmeril y están graduadas así:

- Polea 60 grueso
- Polea 120 medio
- Polea 180 fino
- Polea 220 bruñido

Estas máquinas son marca WECA de fabricación Argentina y tienen las siguientes características:

Voltaje 220

Velocidad 3400 RPM

Corriente trifásica 60 ciclos

Tipo PL8

Hay también una máquina automática de pulido que trabaja sobre varias piezas a la vez.

Extractores.- Puesto que en esta operación se dá lugar a desprendimiento de bastante polvillo, para cada una de las máquinas hay un extractor de polvo.

Instalaciones en el Proceso Galvánico.-

Rectificadores.- De fabricación alemana, cada celda tiene su rectificador.

Tanques.- Los tanques de enjuague son de acero -- $\frac{1}{4}$ " de 0.80 m. de ancho, 1.20 m. de altura y 2.5 m. de largo. En los extremos superiores tienen tubos laterales para agua, que sale a presión sobre las piezas tratándose.

El calentamiento de la solución eléctrica por medio de resistencias longitudinales sumergidas - verticalmente.

En el fondo hay una tubería que conduce aire a presión para producir agitación.

Los tanques de las soluciones están revestidos de material protector y tienen agitación neumática en unos casos y mecánica en otros, a diferencia de los tanques de enjuague que no tienen rebozadero.

Los tanques para tratamientos electrolíticos, también son de acero revestido. Los electrodos - anódicos son en todos los casos de material insoluble. La agitación es neumática en todas las celdas menos en el cobreado donde la agitación la realizan las piezas, mismas al moverse en forma oscilatoria horizontal.

Hay ventilación general muy potente.

FABRICA DE OLLAS Y BAJILLA "RECORD S A"

Materia Prima.-

El aluminio de que se fabrica las piezas es importado de España, en lo que respecta a las planchas de acero, que también entran en la fabricación de ciertas piezas que produce la fábrica, está siendo comprado de SIDERPERU. Las piezas de aluminio se hacen en una fábrica del mismo dueño localizada en Vitarte.

En cuanto a ciertos reactivos y los tintes para colorear las piezas anodizadas, todos ellos son importados directamente del extranjero (Alemania).

Producto Obtenido.-

Se fabrica y trata una variedad amplia de piezas tamaños pequeños tales como:

Ollas	Jarra	Ollas a presión
Cafeteras	Posillos	Accesorios de adorno
Teteras	Azafates	Enchapes
Azucareras	Ceniceros	Pérfiles medianos
Cucharones	Portarraciones	Zartenes
Espumaderas	Lecheras	Calentadores
Baldes	Coladeras	Piezas arquitecturales

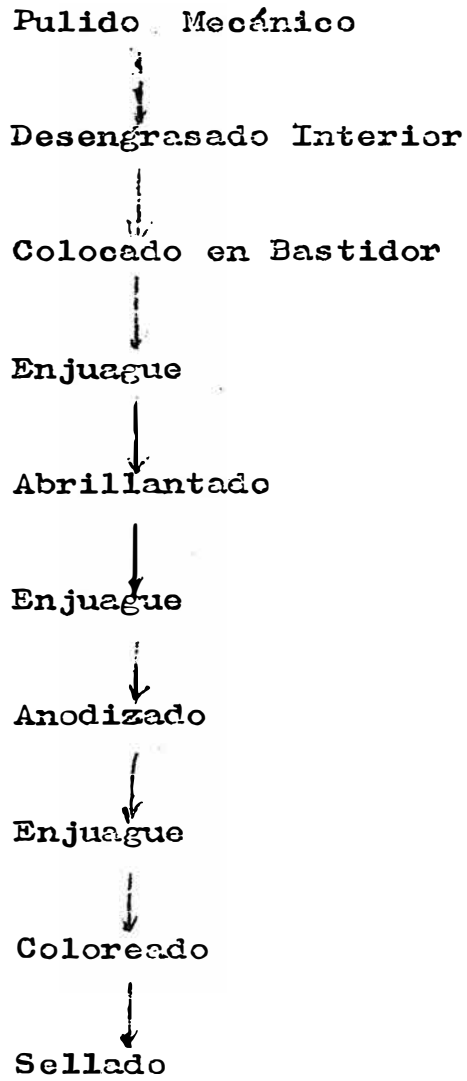
Procedimiento Industrial.-

Las piezas de aluminio que vienen de la sección de pulido mecánico pasan por las siguientes etapas:

- a) Desengrasado.- Hecho a mano con líquido denominado Limpiol
- b) Puesta en Bastidores.- Aquí se colocan las piezas en los soportes, los cuales tienen diferentes formas según los diferentes diseños a anodizar.

- c) Enjuague.- De decapado, se realiza en una cuba rectangular llena de una solución de soda cáustica, donde se meten y sacan las piezas (no hay agitación de solución) que están ya, en bastidores. Esta operación se hace a mano. .
Las cubas son de 4.00 x 0.80 x 1.10 m. aprox. y están todas coronadas por un extractor, que deja mucho que desear de 5 HP.
- d) Abrillantado químico.- Utiliza ácidos fosfórico, crómico y sulfúrico a una temperatura de 105°C.
- e) Enjuague, en agua corriente temperatura ambiente
- f) Anodizado.- Emplea ácido sulfúrico a una temperatura de 22° a 25°C.
- g) Enjuague, en agua corriente.
- h) Coloreado, o teñido, existen 8 cubas de iguales dimensiones, pero que contienen diferentes colorantes cada una. La temperatura del baño es - de 60°C.
- i) Sellado, en agua a 98°C durante un tiempo de al rededor de 20 minutos variando, de acuerdo a la tonalidad que quiere obtenerse.

FLOW SHEET



ARREGLO DE PLANTA

Abrillantado

Enjuagado

Anodizado

E
n
j
u
a
g
u
e

E
n
j
u
a
g
u
e

Anodizado

A
n
o
d
i
z
a
d
o

E	E
n	n
j	j
u	u
a	a
g	g
u	u
e	e
E	
n	N
j	a
u	
a	O
g	H
u	
e	

Sellado

Teñido

Teñido

Teñido

Teñido

Teñido

Teñido

Teñido

2. Designaciones para acabados de Aluminio (a)

Acabados Mecánicos -M	Acabados Químicos (b) -C
Como se fabrica	Limpiado sin ataque
M10 Sin especificación particular	C10 Sin especificación
M11 Acabado brillante de conformado	C11 Desengrasado
M12 Acabado no brillante de conformado	C12 Limpiado inhibidor alcalino
M1X Otros (a ser especificados).	C1X Otros.
Pulido	Atacado
M20 Sin especificación	C20 Sin especificación
M21 Alta reflexión	C21 Mate fino
M22 Media reflexión	C22 Mate medio
M2X Otros	C23 Mate tosco
	C2X Otros
Textura direccional	Abrillantado
M30 Sin especificación	C30 Sin especificación
M31 Satinado fino	C31 Alta reflexión
M32 Satinado medio	C32 Brillo difuso
M33 Satinado tosco	C3X Otros
M34 Frotado a mano	
M3I Escobillado	
M3X Otros	

Textura direccional	Película de Conversión Química
M40 Sin especificación	C40 Sin especificación
M41 Mate extra-fino	C41 Acidos crómico-fluorohídrico,
M42 Mate fino	C42 Aci. crom. fluor. fosfor.
M43 Mate medio	C43 Cromado alcalino
M44 Mate tosco	C4X Otros
M45 Rayado fino	
M46 Rayado medio	
M47 Rayado tosco	
M4X Otros	
Recubrimientos Anódicos A	Recubrimientos Resinos y otros de tipo orgánico (d) R
A10 Sin especificación	R10 Sin especificación
A11 Preparación para otros recubrimientos	R1X Otros
A12 Recubrimientos ácido crómico	
A13 Duro resistente a abrasión y uso	
A1X Otros	
Protectores y Decorativos 0.4 mil	Recubrimientos vitreos (Porcelana y cerámica) (d) V
A21 Claro (natural)	V10 Sin especificación
A22 Color entero	V1X Otros
A23 Color impregnado	
A2X Otros	
Arquitectural clase II (c) (0.4 0.7 mil)	Electro-recubrimiento con otro metal (d) E
A31 Claro (natural)	E10 Sin especificación

A32 Color entero	E1X Otros
A33 Color impregnado	
A3X Otros	

Arquitectural, Clase I (c) Recubrimientos laminados
 0.7 a más mil.) (d) L

A41 Claro (natural)	L10 Sin especificación
A42 Color entero	L1X Otros
A43 Color impregnado	
A4X Otros	

- (a) Todas las designaciones son precedidas por las letras "AA" para identificarlas como designaciones de la Asociación del Aluminio. Los ejemplos de acabados de aluminio se dan en la publicación de la asociación del aluminio de la cual es derivado esta lista.
- (b) Incluye recubrimientos de conversión química y limpieza electroquímica y tratamientos de --
 abrillantado.
 Metal Handbook Vol. 2 Pág. 634.
- (c) Clasificación establecida en los estándares de la asociación del aluminio para recubrimientos anódicos sobre aleaciones de aluminio para apli
 caciones arquitecturales, Enero 1962
- (d) Se pueden usar éstas designaciones, hasta que -
 se desarrollen otras más completas.

3. Número de clase de Rugosidades de superficies

Los números de la clase de rugosidad de superficie referidos en este trabajo son los establecidos en la especificación Standard Rusa Gost 2789-51 correspondientes a las medidas perfilométricas siguientes:

Clase número	Alturas Medidas de las <u>mi</u> croasperezas (micras).
1	125 - 200
2	63 - 125
3	40 - 63
4	20 - 40
5	10 - 20
6	6.3 - 10
7	3.2 - 6.3
8	1.6 - 3.2
9	0.8 - 1.6
10	0.5 - 0.8
11	0.25 - 0.5
12	0.12 - 0.25
13	0.06 - 0.12
14	hasta 0.06

BIBLIOGRAFIA

1. Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos . CIA EDITORIAL S A ,1967.Por Kenneth Graham.
2. Ingeniería Química del Diseño de Plantas Industriales. por Vilibrant,Frack.
3. Electropulido y Anodizado de Metales por Fedotieff y Grilijes. Editorial Gustavo Gili S.A. 1972.
4. Metal Handbook .. Volumen II .. pag 486.
5. Manual de Recubrimientos Electrolíticos Industriales Por Ollard & Smith.
6. Perry's Chemical Engineers Handbook . Por Perry, Chilton y Kirkpatrick.
7. Cost Engineering in the Processes Industries. Por Cecil Chilton.
8. Apuntes de clase del curso de Diseño de Plantas Metalúrgicas I y II .
9. General Metallurgy. Por Sevryukov,Kuzmin y Chelishchev. Moscú,1969.