



D-12029



T
641.733
L 795

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica

**ALUMINIZADO POR INMERSION EN CALIENTE
SOBRE METALES FERROSOS**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de

INGENIERO EN MECANICA

Presentado por:

RUBEN DARIO LOAIZA MUÑOZ



BIBLIOTECA

Guayaquil

Ecuador

AÑO

1002

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos, por el apoyo que significa ser miembro de una gran familia.

Al Ing. Julián Peña, por la información y dirección brindada para el desarrollo de esta investigación.

A la ESPOL, por la instrucción recibida durante estos años de estudio.

DEDICATORIA

A mis abuelos,
Mélida y José
como un homenaje
a su sexágésimo
segundo aniversa-
rio de bodas.

DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, le corresponden exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ruben Dario Loaiza Muñoz', with a long horizontal stroke extending to the right.

RUBEN DARIO LOAIZA MUÑOZ

Ing. Nelson Cevallos
DECANO FAC. ING. MEC.

Ing. Jorge Peña
DIRECTOR TESIS


Ing. Jaime Barrera
TRIBUNAL DE GRADO

Ing. José Pacheco
TRIBUNAL DE GRADO

RESUMEN

Los metales ferrosos son muy susceptibles a la corrosión en cualquier tipo de atmósfera en el que se encuentren, razón por la cual, es necesario desarrollar alternativas que aumenten la resistencia a la corrosión de estos metales.

Los recubrimientos metálicos, constituyen una de estas alternativas, siendo el proceso de recubrimiento por inmersión en caliente uno de los más empleados por su facilidad de aplicación, su costo relativamente bajo y por las excelentes características que presenta. cabe destacar que este método de aplicación solo emplea metales de bajo punto de fusión, como el zinc, estaño, plomo y aluminio, debido a que estos no provocan cambios térmicos en el metal base.

En el capítulo 1, se enuncian los principios que rigen los recubrimientos metálicos, los métodos de aplicación más comunes y los parámetros a seguir para una mejor selección del método de aplicación. Se describe el proceso de inmersión en caliente empleando aluminio como metal de recubrimiento, las variables que tienen influencia sobre sus características, aplicaciones, ventajas y desventajas frente



a otro tipo de recubrimiento aplicado por inmersión en caliente, así como también, tratamientos posteriores que podrían desarrollarse. Se realiza un análisis del aluminizado, destacando la formación y las características propias de cada una de las capas.

En el capítulo II, se describen las características mecánicas y físicas del metal base y del recubrimiento. Se indican los pasos seguidos durante el proceso de aluminizado y el control ejercido sobre las variables del proceso mediante el desarrollo de las siguientes pruebas: pruebas de aceptación: Pruebas mecánicas; y pruebas de resistencia a la corrosión. Los resultados obtenidos de estos ensayos se presentan en las tablas incluidas en este capítulo.

El capítulo III, consiste en el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior; aquí se exponen mediante gráficos las características que se alcanzaron durante el desarrollo de este proceso.

Finalmente, se concluye sobre los beneficios que se han obtenido en base a los resultados alcanzados y a las observaciones realizadas durante el ejercicio de esta experimentación; se presentan también varias recomendaciones que ayudaran a mejorar y facilitar la práctica del proceso de aluminizado por inmersión en caliente.



INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN	5
INDICE GENERAL.....;	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCION	13
CAPITULO I.....;	15
TECNICA DE LOS RECUBRIMIENTOS POR INMERSION EN CALIENTE	15
1.1.Principios de los recubrimientos metálicos	15
1.1.1. Método de aplicación	19
1.1.2. Selección del método.....	22
1.2.Proceso de aluminizado por inmersión en caliente	23
1.2.1. Preparación superficial.....	30
1.2.2. Inmersión.....	40
1.2.3. Tratamientos posteriores.....	41
1.3.Variables presentes en el proceso.....	42
1.4.Análisis del aluminizado.....	43
1.4.1. Síntesis metalográfica.....	47
1.4.2. Propiedades.....	50
1.5.Ventajas y desventajas del aluminizado con	

[illegible]

INDICE DE FIGURAS

N°		pág.
1.	Recubrimiento noble.....	18
2.	Recubrimiento sacrificial.....	19
3.	Preparación superficial	40
4.	Influencia de los aleantes en el baño	45
5.	Diagrama de equilibrio Fe - Al combinado con un esquema del recubrimiento de aluminio.,	48
6.	Proceso de desengrasado y decapado.....	66
7.	Proceso de fluxado.....	67
8.	Horno de sales para fundición del metal de recubrimiento.....	68
9.	Banco de lijas.....	75
10.	Mesa Lun-Minor.....	76
11.	Microdurometro Leitz.....	73
12.	Probeta para ensayo de tracción.....	79
13.	Durometro Wilson.....	81
14.	Horno de caja.....	85
15.	Macroscopio.....	86
16.	Cámara de Niebla salina.....	89
17.	Metalografías del recubrimiento: Baño I	91
18.	Metalografías del recubrimiento: Baño II	92

19.	Espesor capa externa: Baño I.....	94
20.	Espesor capa aleada: Baño I.....	95
21.	Espesor capa externa: Baño I.....	96
22.	Espesor capa aleada: Baño II.....;	97
23.	Gráfico comparativo de dureza.....	99

INDICE DE TABLAS

N°

pág.

I.	Técnicas de recubrimientos metálicos de menor aplicación.....	23
II.	Comparación de las características técnicas obtenidas por diferentes métodos de aplicación	28
III.	Resumen sobre el origen de varias impurezas...	35
IV.	Características técnicas de los ácidos de decapado.....	38
V.	Temperatura aproximada -de operación del tratamiento.....	55
VI.	Resultados de la ASTM sobre corrosión atmosférica de aleaciones de Zn y Al;.,.....	56
VII.	Desarrollo de la corrosión de los recubrimientos de Al-Si vs. los de Zn.....	56
VIII.	Identificación de probetas: Baño I.....	71
IX.	Identificación de probetas: Baño II.....	72
X.	Resultados Ensayo de adherencia: Baño I.....	73
XI.	Resultados Ensayo de adherencia: Baño II.....	74
XII.	Espesor de la capa externa (Um): Baño I.....	7
XIII.	Espesor de la capa aleada (Um): Baño I.....	78
XIV.	Espesor de la capa externa (Um): Baño II.....	78
xv.	Espesor de la capa aleada (Um): Baño II.....	78

XVI.	Identificación de probetas para el ensayo de tracción.....	80
XVII.	Resultad& del ensayo de tracción.....	80
XVIII.	Resultados ensayo de dureza: Baño I. 700°C...	82
XIX.	Resultados ensayo de dureza: Baño I. 750°C...	82
XX.	Resultados ensayo de dureza: Baño I. 800°C...	83
XXI.	Resultados ensayo de dureza: Baño II. 700°C..	83
XXII.	Resultados ensayo de dureza: Baño II. 750°C..	84
XXIII.	Resultados ensayo de dureza: Baño II. 800°C..	84
XXIV.	Identificación de probetas para al ensayo en la cámara de niebla salina.....	88



BIBLIOTECA

INTRODUCCION

El objetivo principal de esta investigación, es el de realizar un estudio del proceso de aluminizado por inmersión en caliente sobre metales ferrosos, efectuando un control sobre las distintas variables que tienen influencia directa sobre las características de calidad del recubrimiento.

Este control consiste en tomar una de estas variables y asignarle diferentes valores, mientras el resto de las variables permanecen con un valor constante; lo cual se realiza en el transcurso de todo el proceso con cada una de las variables a investigar. Se procede entonces a realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos, estudio que permite apreciar los efectos que han producido dichas variables, y de este modo se puede concluir cual es el rango de operación mas apropiado para obtener un recubrimiento de óptimas condiciones.

Posteriormente, se evalúan las características de calidad del recubrimiento que se ha obtenido; aplicando las siguientes pruebas: Pruebas de aceptación del recubrimiento: medición de espesor y ensayo de adherencia; Pruebas de re-

sistencia a la corrosión: ensayo en la cámara de niebla salina y ensayo a elevada temperatura; y Pruebas mecánicas: ensayo de dureza y de tracción.



CAPITULO 1



TÉCNICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE

1.1 PRINCIPIOS DE LOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.

La aplicación de los recubrimientos metálicos para proteger a otros metales contra la corrosión está basada en el principio fundamental que afirma que un metal no sufrirá corrosión a menos que esté en contacto con un ambiente corrosivo.

Basándonos en este principio fundamental se puede afirmar que, cualquier forma de barrera continua que se interponga entre la superficie del metal y el medio corrosivo al que se halle expuesto, tendrá propiedades anticorrosivas constantes.

Un recubrimiento metálico continuo entonces, excluiría completamente del ambiente corrosivo al metal base. De ser posible esta continuidad solo se necesitaría conocer la resistencia del metal de recubrimien-

to frente a este ambiente corrosivo en particular.

Sin embargo, en la practica no es posible obtener recubrimientos metálicos continuos, debido a que en ellos se producen discontinuidades sea durante su aplicación, por corrosión del metal de recubrimiento o por daños mecánicos subsecuentes.

Estas discontinuidades constituyen una característica inherente en los recubrimientos metálicos lo que permite que el metal base sea expuesto al medio corrosivo en áreas localizadas, dando lugar a la formación de pares galvánicos entre metales desiguales.

En función de estos pares galvánicos los recubrimientos metálicos se dividen en dos tipos generales (1); aquellos en los que el metal de recubrimiento constituye el ánodo del par galvánico son llamados Sacrificiales o anódicos y, aquellos en los que el metal de recubrimiento actúa como cátodo llamados Nobles o catódicos.

Los recubrimientos, como por ejemplo: Níquel, Plata, Cobre, Plomo, Cromo, todos ellos sobre el acero o sobre otro metal ferroso son nobles porque el metal que actúa como recubrimiento tiene un potencial de elec-

1): Ver Apéndice A.

tródo mayor que el del metal base: es decir, el metal de recubrimiento es noble o catódico con respecto al metal base. En tanto que los recubrimientos, como por ejemplo: el zinc, el cadmio, y en ciertos medios también el aluminio y el plomo, todos ellos sobre un metal ferroso son anódicos porque el metal de mayor potencial de electródo es el metal base, por lo que éste sera el cátodo y el metal de recubrimiento el anodo.

En los recubrimientos nobles una discontinuidad o porosidad que se encuentre expuesta en la dirección de la corriente galvánica acelera el ataque del metal base, registrándose una corrosión por picadura, en la que cada poro o discontinuidad se transforma en una picadura penetrante que al transcurrir el tiempo puede llegar a perforar el metal base.

Consecuentemente es muy importante que el recubrimiento noble siempre sea preparado con el mínimo número de discontinuidades o poros, y que de existir cualquiera de ellos, éste sea lo más pequeño posible.-

La dirección de la corriente galvánica en los recubrimientos nobles, va desde el metal base a través del electrolito hacia el metal de recubrimiento, tal como

lo indica la figura 1

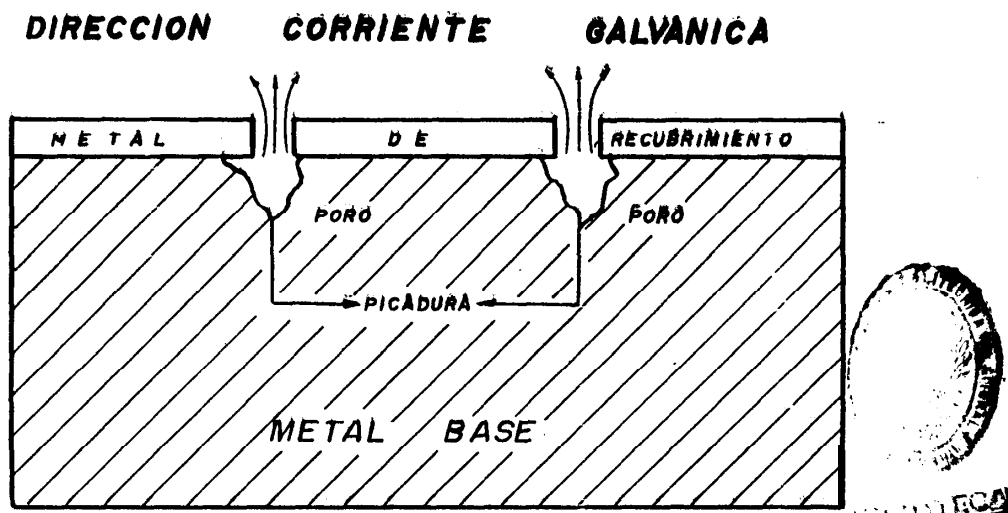


Fig. 1. Recubrimiento Noble

En los recubrimientos sacrificiales la dirección de la corriente galvánica a través del electrolito va desde el recubrimiento hacia el metal base, lo cual da como resultado, la protección del metal base y la disolución del metal de recubrimiento. Ver figura 2.

De lo anteriormente expuesto se deduce que, el grado de porosidad o discontinuidad del recubrimiento sacrificial no es de mayor importancia contrario a lo que ocurre con lo recubrimientos nobles.

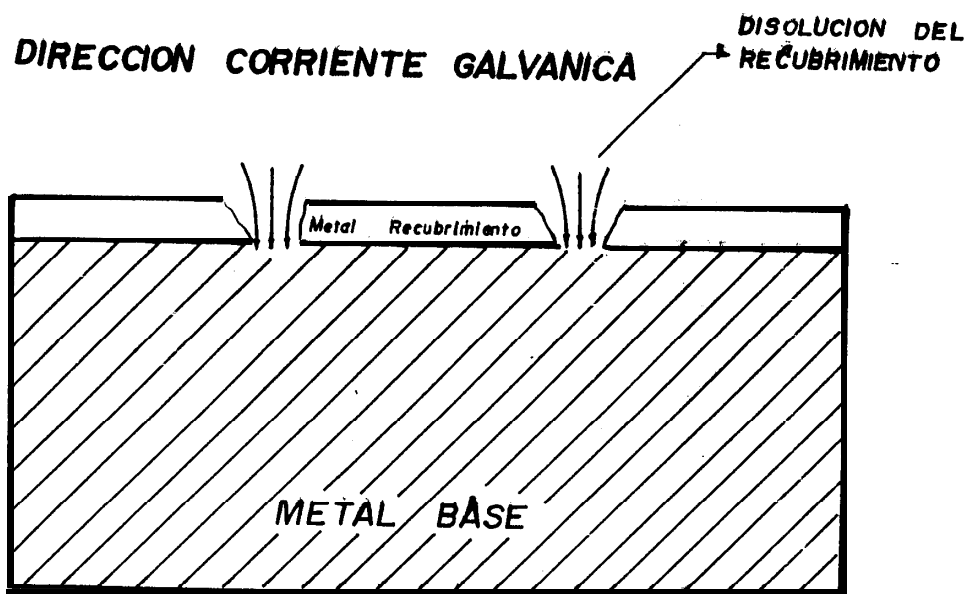


Fig. 2 Recubrimiento Sacrificial

1.1.1. Métodos de aplicación.

Los recubrimientos metálicos son aplicados en un amplio rango de métodos, muchos de los cuales se aplican también a los no metales tales como plásticos y polímeros. En términos de tonelaje del producto terminado, el método de electrodeposición es el principal, pero técnicas más sofisticadas han sido desarrolladas para propósitos específicos en los que el costo y la calidad son las características principales.

Los métodos de recubrimiento metálico de mayor aplicación son: electrodeposición, inmersión en caliente, aspersión, difusión y chapeado.



a) **Electrodeposición.**- El proceso consiste en sumergir la pieza a ser recubierta en una solución del metal a depositar y pasar una corriente directa entre la pieza y un electrodo. Las características del depósito dependen de factores tales como temperatura, densidad de corriente, tiempo y composición química del baño. Estos recubrimientos pueden formarse por capas de un solo metal o por capas de varios metales.

b) **Inmersión en caliente.**- Este recubrimiento se aplica a piezas metálicas sumergiéndolas en un baño del metal de recubrimiento fundido. Los metales que se emplean para este Proceso son los que tienen un bajo punto de fusión como son: zinc, Estaño, Plomo y Aluminio, debido a que la temperatura máxima alcanzada durante el proceso de recubrimiento no provoque cambios térmicos en el metal base.

Un recubrimiento normal por inmersión en caliente consta de una capa de aleación interna forma-

da por difusión del metal de recubrimiento en el metal base y de una capa externa formada por el metal empleado como recubrimiento.

Las principales características del recubrimiento como adherencia, espesor, uniformidad y continuidad son controladas por la temperatura, composición química del baño, tiempo de inmersión, velocidad de extracción de la pieza.

c) **Aspersión.**- Es el único proceso comercial que emplea un aparato portátil. El proceso consiste en alimentar un alambre del metal de recubrimiento, dirigirlo continuamente hacia la llama de fundición y pulverizarlo para obtener así partículas liquidas del metal, las cuales son sopladas hacia la superficie a ser protegida.

d) **Difusión.**- Esta técnica se la conoce también con el nombre de "Aleación Superficial". El proceso consiste en empaquetar las piezas junto con materiales sólidos o exponerlos a ambientes gaseosos que contengan el metal de recubrimiento y se forman como resultado del siguiente proceso: el metal soluto es puesto en contacto con la superficie del solvente y esto produce la difusión que

consiste en la absorción gradual del soluto dentro de la celosía del solvente.

e) Chapeado.- Se realiza sometiendo láminas yuxtapuestas del metal base y metal de recubrimiento a temperatura y presión suficientemente grandes como para provocar la soldadura entre ellos.

Las técnicas mencionadas son las de aplicación más común, sin embargo, existen técnicas que aún siendo de menor aplicación tienen importancia en campos específicos.

En la tabla 1, se resumen varias de estas técnicas de menor aplicación junto con el mecanismo involucrado en el proceso y un ejemplo de aplicación.

1.1.2. Selección del Método.

Debido a la existencia de un sinnúmero de materiales y métodos a ser elegidos, no existe un acuerdo general sobre el sistema óptimo para un propósito en particular.

El metal elegido para el recubrimiento, junto con la forma y dimensión del artículo a tratar, la tem-

T A B L A 1

TECNICAS DE RECUBRIMIENTO METALICOS DE MENOR APLICACION

METODO	MECANISMO INVOLUCRADO	-EJEMPLO
GALVANOPLASTIA POR INMERSION	Desplazamiento de iones del metal en solución hacia el metal a ser recubierto $XM_1^{n+} + M_2 \rightarrow M_1 + YM_2^{m+}$ donde $XM = YM$	M_1 : Cu desde $CuSO_4$ M_2 : Fe
GALVANOPLASTIA POR IMPACTO	La adhesión se lleva por el intimo contacto entre las dos superficies sólidas químicamente limpias. M_1 -(polvo) + M_2 (vapor) impacto M_1 (recubrimiento sólido)	M_1 : Zn M_2 : Fe
EVAPORACION EN VACIO	Evaporación a baja presión de acuerdo a la ecuación de Clausius. Seguida por condensación sobre una superficie fría. M_1 (sólido) M_2 (vapor) M_2 sólido sobre M_1	M_1 : Al M_2 : Fe
ASPERSION POR PLASMA	Metales o materiales refractarios, o compuestos son aplicados por fundición en un gas inerte ionizado	M_1 : Tr, Mb, alúmina Zirconio M_2 : Una variedad de <u>subs</u> trato <u>metálicos</u>
GALVANOPLASTIA POR CEPILLADO	M_1 es un electrogalvanizado sobre pareas localizadas por un cepillado.	M_1 : Ni M_2 : Fe o Cu
M_1 = METAL DE RECUBRIMIENTO M_2 = METAL BASE		

temperatura máxima que puede soportar el artículo durante el tratamiento, las cualidades físicas exigidas al recubrimiento y las limitaciones impuestas por el costo, determinan el procedimiento que se debe usar para su aplicación.

- a) Efecto del proceso de recubrimiento sobre las propiedades del metal base.- La aplicación de cualquier tipo de recubrimiento puede afectar las propiedades físicas o mecánicas del material base y cualquiera de tales efectos debe ser considerado cuando elegimos el tipo de recubrimiento y su método de aplicación.

En los procesos de inmersión en caliente aparte del riesgo de distorsión, las altas temperaturas involucradas pueden producir recocimiento del metal base, como por ejemplo: el suavizamiento del latón y cobre durante el estañado en caliente. Además, zonas aleadas de dureza y brillo intermetálico son producidas durante el proceso como resultado de la difusión del metal de recubrimiento líquido dentro del metal base sólido, por ejemplo: en el estañado de acero la zona aleada de FeSn_2 .



b) Factores económicos.- Obviamente son de importancia cuando elegimos el metal de recubrimiento y su método de aplicación. En general, aunque con algunas excepciones, los costos del proceso podrían ser arreglados en orden ascendente según el método: por inmersión en caliente, aspersión y chapeado.



De acuerdo al costo del metal de recubrimiento se los puede agrupar como de menor costo al Zinc Cobre y Plomo: luego en un grupo intermedio, al Níquel, Estaño, Estaño/Plomo, cadmio y Aluminio; y en el grupo de los de alto costo tenemos al Oro, Plata, Paladio y Rodio, aunque las relaciones de costo pueden variar con el tiempo como resultado de la oferta y la demanda.

c) Propiedades del Recubrimiento.- Un análisis de las propiedades físicas y mecánicas del recubrimiento se realiza cuando procedemos a elegir un metal y un método de aplicación sobre un artículo en particular.

La apariencia, color y brillo son importantes en aplicaciones decorativas. El Estaño y el aluminio normalmente recubren como depósitos opacos

aunque pueden ser abrillantados luego; el Plomo es un recubrimiento opaco.

Los colores de los recubrimientos varían desde blanco azulado del cromo, al amarillo para el Oro o latón, o el rojo de los bronce.

La reflectividad después del pulido varía también con el metal de recubrimiento siendo muy alto para la Plata y el Rodio, y progresivamente decreciente para el Aluminio, Paladio, Estaño, Zinc, Oro y Plomo.

La dureza, resistencia mecánica y resistencia del desgaste, son propiedades primarias no necesariamente interrelacionadas. Se podría citar a los recubrimientos de acuerdo a su dureza; tienen alta dureza el Cromo, Níquel y Rodio; dureza intermedia el Cobre, Zinc, Cadmio, Plata; y suaves, el Estaño, Plomo, Oro e Indio.

La resistencia a la temperatura, que es una combinación del punto de fusión y de la resistencia a la oxidación, puede ser muy importante; el orden preferido de los metales de recubrimiento para aplicaciones a elevadas temperaturas es: Pla-

ta, Aluminio, Níquel, Renio, Cromo, Paladio, Platino y Rodio.

La conductividad eléctrica de los recubrimientos a menudo es de importancia secundaria dado que ellos son de sección muy **delgada** y se encuentran en paralelo con el **sustrato metálico** que es de mayor sección transversal y que por lo general es buen conductor eléctrico.

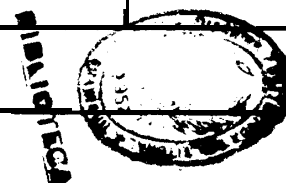
Existen otras Propiedades de los recubrimientos como son la adherencia, ductilidad, uniformidad y continuidad o porosidad, las cuales dependen del **método de aplicación**.

En la tabla II, se realiza una **comparación** de las **características** técnicas obtenidas por diferentes métodos de aplicación.

2 PROCESO DE ALUMINIZADO POR INMERSION EN CALIENTE.

La buena resistencia a la corrosión en diferentes medios y la buena protección a altas **temperaturas**, a mas de la posibilidad de combinar **simultáneamente** el recubrimiento de los artículos con su tratamiento **térmico**

TABLA II COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS OBTENIDAS POR DIFERENTES METODOS DE APLICACION						
PROCEDIMIENTOS	Temperatura aproximada del tratamiento (°C)	Espesor normal del recubrimiento. (mm)	Aplicaciones usuales	Adherencia	Uniformidad	Continuidad o porosidad.
INMERSION EN CALIENTE: ZINC ESTAÑO PLOMO ALUMINIO	460 320 370 700-1000	0.040 0.0015 0.005-0.020 0.025	Láminas, flejes, barras, perfiles alambres, tubos, planchas, piezas fundidas	2 ^a	3	3
DIFUSION: ZINC CROMO ALUMINIO	360 1350 900	0.06 0.15 0.80	Pequeñas piezas fundidas y accesorios	1	2	1
ASPERSION: TODOS LOS METALES COMUNES	ALREDEDOR DE 100	0.10 - 0.50	Grandes estructuras, reconstrucción de piezas desgastadas	5	b	5
CHAPEADO: NIQUEL ACERO INOXIDABLE COBRE ALUMINIO	1240 1200 1000 480	10 - 20% de espesor compuesto.	Láminas, alambres planchas, flejes	3	1	2
DESPOSITO DE VAPOR: CASI TODOS LOS METALES	Algo mayor que la temperatura ambiente	Menos de 0.0010	Piezas pequeñas aplicaciones especiales	4	b	4
a: LOS NUMEROS SE REFIEREN AL ORDEN DE PREFERENCIA b: LA UNIFORMIDAD DEPENDE DE LA HABILIDAD DEL OPERADOR						



durante el proceso de aluminizado, hacen que esta tecnología presente un amplio espectro de aplicaciones industriales.

El aluminizado por inmersión en caliente, es el resultado de un proceso físico-químico que consigue una verdadera unión entre el hierro base y el aluminio.

El éxito de esta operación de deposición de aluminio sobre metales ferrosos solo es posible alcanzarlo después de someter la superficie del metal base a una buena preparación superficial. Gran parte de la dificultad que presenta este proceso se atribuye a la película tan tenaz de óxido de aluminio que se forma fácilmente y que durante la operación de inmersión dirige a la interfase hierro-aluminio.

Otro factor no menos importante que el anterior, es la gran cantidad del compuesto hierro-aluminio que se forma durante la operación de inmersión debido a que este compuesto es muy frágil.

El proceso de aluminizado por inmersión en caliente en función de la forma y de las dimensiones de los productos de lo puede realizar en dos formas diferentes como son: Aluminizado en continuo, el cual se aplica a ban-

ción de los recubrimientos, sino también en los aspectos **de acabado superficial y estético**. Por lo tanto, es muy importante poseer **un conocimiento real** de la naturaleza de los elementos contaminantes superficiales, **así como también de los métodos y procesos** de limpieza a fin de obtener resultados efectivos en la preparación superficial de las piezas.

Las impurezas **que se pueden encontrar** sobre la superficie del metal base se clasifican en tres tipos: **orgánico, inorgánico y metálico**. **corresponden al** primer grupo los **ácidos** grasos medios y superiores, aceites lubricantes y humectantes. **El segundo grupo** esta formado por los **óxidos, carburos e hidruros metálicos** resultantes de la corrosión o de tratamientos térmicos. **Las impurezas de tipo metálico están** constituidas principalmente por **residuos debidos a** operaciones de maquinado.

En general el Proceso de preparación superficial consiste en tres pasos fundamentales: **desengrasado, decapado y fluxado**.

- a) **Desengrasado.-** Mediante el desengrasado se eliminan las impurezas de tipo **orgánico**. Existen una serie **de métodos de desengrasado**; sin embargo, la

eficacia de cada uno depende de ciertas características técnicas de aplicación, como por ejemplo: número de piezas, masa, forma geométrica y características del metal constituyente de los elementos a proteger.

El método más antiguo y extendido de desengrasado se basa en el empleo de los álcalis. Estos saponifican los compuestos orgánicos para que puedan ser arrastrados fácilmente en un enjuague debido al nuevo grado de solubilidad presente en el compuesto orgánico.

Entre las soluciones alcalinas mas empleadas tenemos la soda cáustica, el carbonato de sodio, fosfatos (ortofosfato sódico, hexafosfato sódico, hexametafosfato cálcico y manganésico) y silicatos alcalinos, encontrando para cada uno de ellos múltiples aplicaciones y logrando una acción eficaz previa la identificación del agente contaminante.

Con el objeto de que el agente de limpieza actúe mas eficazmente en la eliminación de toda la gama de líquidos y solidos grasos y de otras sustancias extrañas que pueden estar depositados en

las superficies de las piezas metálicas que se van a desengrasar se acostumbra emplear mezclas en las que entran a formar parte diversos compuestos alcalinos.

La pieza que se desea limpiar debe ser sumergida en una cuba que contiene la solución alcalina a la temperatura de ebullición, además es necesario someter la solución a un estado de agitación permanente para lo cual las cubas que se emplean deben ser lo suficientemente grandes como para permitir el agitado. La solución alcalina empleada depende de la previa identificación de las impurezas, por ejemplo, para grasas de origen animal o vegetal se utilizan la soda cáustica, carbonato sódico o silicatos alcalinos.

Los jabones y detergentes sintéticos constituyen otro método de desengrasado. Los jabones están compuestos de sales alcalinas y ácidos grasos superiores, mientras que los detergentes se componen de una variedad de hidrocarburos alifáticos y aromáticos sulfonados.

La principal acción de los jabones y detergentes sintéticos es la de reducir la tensión superfi-

cial del agua frente al aceite, y la de ser excelentes emulsionantes. Su mecanismo de acción se basa en la oposición al efecto de coalescencia de las grasas y aceites de origen mineral, determinándose luego su eliminación por enjuague.

El uso de disolventes en el desengrasado es efectivo para un grupo no muy numerosos de piezas; los disolventes de mayor uso son kerosene, gasolina, petróleo, hidrocarburos clorados, etc.

La limpieza superficial obtenida por aplicación de disolventes no puede ser definitiva en un trabajo relativo a nuestro propósito, más bien se constituiría en una acción inicial de un tratamiento en el que participan mas de una solución limpiadora.

Los disolventes son mayormente aplicados en estructuras o piezas muy grandes o para separación de considerables cantidades de grasa y aceites, y en muchos casos requieren ser calentados para ser más efectivos.

La tabla III presenta un resumen acerca del tipo de impurezas que se encuentran en determinadas

, TABLA III

RESUMEN SOBRE EL ORIGEN DE VARIAS IMPUREZAS	
ORIGEN	SUCIEDADES EVENTUALES
FUNDICION	ARENAS Y ESCORIAS
LAMINADO, FORJA	CALAMINAS DIVERSAS
TREFILADO	ACEITES, GRASAS, METALES DIVERSOS
EMBUFIDO, CORTE	ACEITES, GMSAS
TALADRADO Y TORNEADO	ACEITES, GMSAS, VIRUTAS, POLVO METALICO, GRASAS PIROGENADAS
FRESADO	BORAX, FUNDENTES
MOLDEADO	POLVOS ABRASIVOS
TRATAMIENTO EN CALIENTE, ESTAMPADO, MATRIZADO	OXIDOS, GMSAS QUEMADAS
MANIPULACION	MANCHAS DIVERSAS
ALMACENAMIENTO	GRASAS, ACEITES, OXIDOS METALICOS

piezas según su origen o procedencia.

- b) Decapado.- La preparación superficial que se realiza en el proceso de aluminizado debe eliminar todas las impurezas sólidas adheridas a la superficie del metal base, como son, la cascarilla de óxido, productos de la corrosión, arena o partículas ligeras que de no ser eliminadas van a obstaculizar la difusión.

Los métodos empleados para su eliminación pueden ser mecánicos o químicos. Dentro del método mecánico tenemos el cepillado, limpieza abrasiva y agitación en tambor giratorio que no son efectivos en este proceso.

El método químico se basa en la inmersión del metal en un ácido diluido hasta que la cascarilla se halla disuelto o desprendido, por lo que es posible alcanzar un estado de limpieza que corresponda a una "superficie enteramente metálica", es decir, exenta de toda impureza.

Las piezas de hierro fundido se sumergen en ácido fluorhídrico diluido para remover silicatos de molde de hierro gris o maleable, los mismos que

son insolubles a los ácidos sulfúrico y clorhídrico. La concentración de dicha solución es del 5 % en volumen a la temperatura ambiente y durante un tiempo aproximado de 25 minutos.

Para eliminar la herrumbre y la cascarilla de óxido se emplean los ácidos sulfúrico y clorhídrico. El grado de eficacia de estos ácidos varía con la concentración, tiempo de aplicación, temperatura y naturaleza del óxido tratado. En la práctica se emplea ácido sulfúrico de 5 % a 10 % de **concentración en volumen**, y de 60 a 80° C de temperatura, empleando además un inhibidor catódico para disminuir el ataque al metal y la fragilización del acero por hidrógeno. El inhibidor catódico empleado **puede ser una sustancia orgánica** como la cola, la quinolina, los aceites sulfonados, etc.



El ácido clorhídrico se emplea ~~aproximadamente~~ **aproximadamente** a la misma concentración 5% a 10% y a temperatura ambiente.

Para cualquiera de estos dos ácidos el tiempo que exige el descascarillado oscila entre los 15 y 25 minutos, según el tipo de cascarilla que se

encuentre en la superficie del metal base. La ta
bla IV especifica las características técnicas
de empleo de cada uno de estos ácidos.

TABLA IV

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS ACIDOS DE DECAPADO

ACIDO	CONCENTRACION (%)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)
FLUORHIDRICO	5	AMBIENTE	25
CLORHIDRICO	5-10	AMBIENTE	15-25
SULFURICO	5-10	60-80	15-25

c) **Fluxado.**- Este proceso consiste en la inmersión de las piezas en un baño de sales fundidas. En general, el fundente se emplea como agente **acti-**
vante de la superficie del metal base, pero en realidad el fundente es un reductor **quimicamente** activo que neutraliza la oxidación del metal ba-
se cuando la pieza se introduce en el baño del metal fundido.

Al fundente se le atribuye la Propiedad de **disol**
ver las impurezas que aún se encuentran en el **me**

tal base, bajo la forma de óxidos, cloratos, sulfatos y principalmente la de disolver los elementos contaminantes residuales o de reciente formación. La estabilidad química que posee le permite mantener una espuma muy activa a la temperatura del baño del metal fundido, permitiendo realizar la función de limpieza a gran velocidad.

Como ejemplo de los baños de fluxado tenemos el baño de cloruros, el cual consiste de cloruro de amonio y por lo menos dos de los cloruros de zinc, sodio, potasio, litio, calcio, magnesio y bario, a una temperatura entre el punto de fusión del baño y cerca de 650°C , conteniendo además un metal no ferroso con una solubilidad en aluminio líquido no mayor a 8% por peso y a 700°C .

A continuación en la figura 3, se presenta un esquema del proceso de preparación superficial completo.

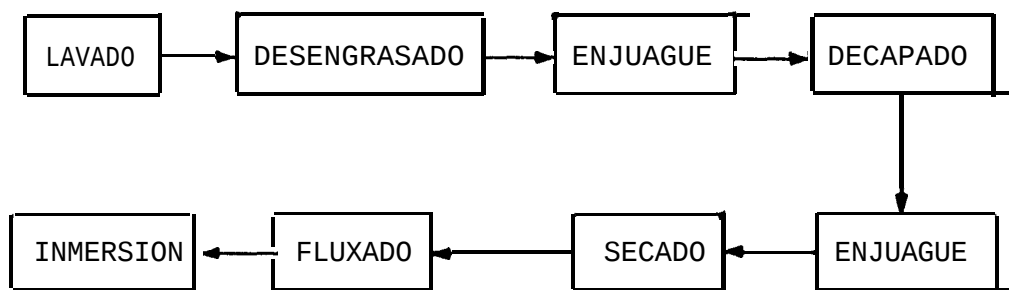


FIGURA 3 PREPARACION SUPERFICIAL

1.2.2. Inmersión.

Una vez concluido el proceso de preparación superficial se prosigue entonces a la inmersión de las piezas en el baño de aluminio fundido cuya temperatura será un poco mayor a la de su punto de fusión, 660°C .

La operación de inmersión se efectúa lo más rápido posible con ayuda de ganchos, pinzas o canastillas, permaneciendo dentro del baño unos cuantos segundos. Durante el periodo de inmersión, las piezas se suben y se bajan varias veces para eliminar el aire que halla podido quedar atrapado y además para asegurar que el aluminio líquido entre en contacto con la to

talidad de la superficie de la pieza inmersa dentro de el.

Para evitar la formación de una **capa** de aleación **ex**cesivamente gruesa debida a la temperatura que conservan las probetas luego de salir del **baño** de aluminio, éstas deben ser enfriadas de una forma que siendo lo más rápidamente posible no sea brusca, **pa**r-a lo cual las piezas se colocan en una corriente de aire procedente de un ventilador.

Cuando se sabe que las condiciones de trabajo son las probables **causas de** un crecimiento excesivo de la capa aleada, el articulo debe ser templado tan pronto como sea posible, empleandose como baños de templado, un baño de aceite o de aceite flotando **so**bre agua.

1.2.3. Tratamiento Posterior,

El tratamiento posterior se lo considera como parte del proceso de recubrimiento y se lo incluye para alcanzar uno o más de los siguientes resultados.

a.- Reducción del espesor de recubrimiento mediante la reduccion de la cantidad de **metal** fundido **adheri**

do al artículo al momento de sacarlo del baño. Los métodos empleados para este propósito son frotado, centrifugado o por chorro de aire mientras el recubrimiento aún este fundido.

b.- Mejorar las propiedades o la apariencia del recubrimiento. Tales tratamientos incluyen cromatizado, fosfatizado, rolado superficial o de nivelación.

c.- Cambiar las características del recubrimiento, para distinguirlo de los tratamientos más superficiales mencionados en b, los recubrimientos de aluminio algunas veces son "recocidos" por medio de hornos con el propósito de convertir todo el recubrimiento en una sola capa aleada lo cual da mayor resistencia al calor.

3 VARIABLES PRESENTES EN EL PROCESO.

Como se anoto este tipo de recubrimiento está constituido por dos capas: una capa aleada interna y una capa externa del metal de recubrimiento.

Estas capas se caracterizan por diferentes grupos de propiedades que pueden obtenerse mediante su crecimiento controlado. Este control consiste en la selección a

deuada de las siguientes variables: temperatura del baño, tiempo de inmersión, composición química del baño y del metal base, velocidad de extracción, velocidad de enfriamiento, siendo las más importantes: temperatura del baño, composición química del baño y tiempo de inmersión.

a) Temperatura del baño.- Este método de recubrimiento es aplicable únicamente con metales que poseen un punto de fusión relativamente bajo. En el caso del aluminio el punto de fusión es de 660°C .

El control de la temperatura del baño es importante por cuanto a elevadas temperaturas se incrementa el espesor de la capa intermetálica y disminuye el espesor de la capa de aluminio puro causado por un aumento en la fluidez del baño.

Otro factor negativo a elevada temperatura, es la aceleración en la formación de óxidos o un aumento en las pérdidas de aluminio. Estas pérdidas se deben a que el rango de temperatura de operación del proceso va desde 700 a 900°C , el cual es mayor al punto de fusión del aluminio.

b) Tiempo de inmersión.- Esta variable influye direc-

tamente sobre el espesor de la capa intermetálica, es decir, a mayor tiempo de inmersión mayor espesor de dicha capa. Sin embargo, no ejerce influencia sobre la capa externa de aluminio debido a que ésta depende en mayor grado, de la velocidad de extracción así como de la temperatura del baño.

El tiempo de inmersión y la temperatura del baño deben mantener un relativo equilibrio puesto que se requiere un mayor tiempo de inmersión a bajas temperaturas para lograr alcanzar un calentamiento integral de la pieza, así como, para reducir en lo posible el espesor de la capa aleada.

- c) Composición química del baño y del metal base.- La composición química del baño afecta principalmente al espesor de la capa intermetálica. Añadiendo elementos tales como silicio, antimonio, cromo, berilio, manganeso, se dificulta el crecimiento de la capa aleada; en tanto que el calcio, estaño, incrementan dicho espesor. El sodio metal no ejerce influencia sobre el espesor del recubrimiento pero ayuda a desaparecer la discontinuidad que se forma en la capa aleada.

En la figura 4 se observa la forma como afectan al

espesor de recubrimiento la adición de algunos de los elementos aleados mencionados.

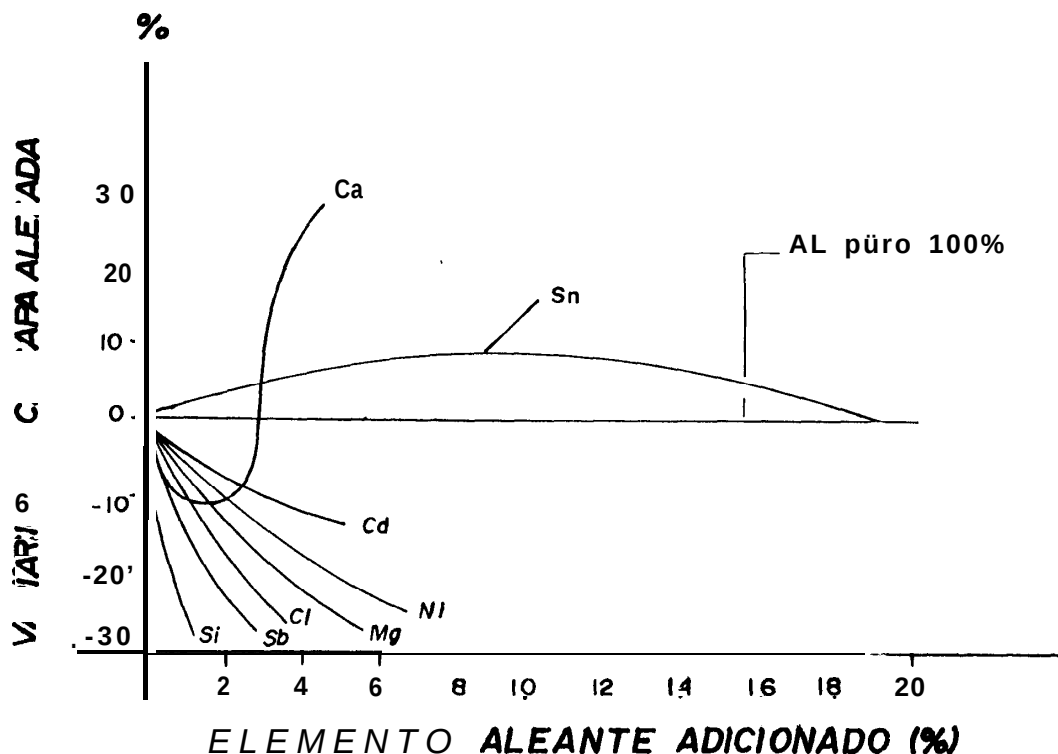


Fig. 4.- Influencia de los aleantes en el baño

Como se puede apreciar el silicio y el antimonio adicionados en menor cantidad al baño de aluminio puro producen una mayor disminución en el espesor de la capa aleada, lo cual es conveniente si la pieza ha de someterse a un conformado posterior al aluminizado.

En lo referente a la composición química del metal se sabe que cuando este tiene un mayor contenido de

carbón, o en caso de ser aleado, el recubrimiento es más delgado en su capa aleada, en tanto que su capa externa es más gruesa y más uniforme.

La elección del metal base, sin embargo depende de los requerimientos de servicio y resistencia de la pieza a ser recubierta antes que del efecto que ella pueda causar sobre el rendimiento del recubrimiento.

1) Velocidad de extracción.- La velocidad de extracción de las piezas por ningún motivo debe ser mayor a la velocidad de escurrimiento del aluminio fundido. El valor de esta variable va a afectar directamente al espesor de la capa exterior. Para velocidades mayores a 2.5 cm/seg., se obtendrá recubrimientos gruesos de mala calidad debido al chorro que se presenta por el exceso de aluminio; una velocidad menor a 2.5 cm/seg., permitirá el drenaje máximo de aluminio obteniéndose un recubrimiento de mayor calidad y más delgado.

) Velocidad de enfriamiento.- la velocidad de enfriamiento debe ser lo más rápida posible pero no brusca, debido a que, si es lenta se produce un avance de la difusión hacia la capa externa de aluminio puro, lo cual hace que la capa de aleación aumente su

espesor excesivamente dando malas características mecánicas al recubrimiento.

ANÁLISIS DEL ALUMINIZADO.

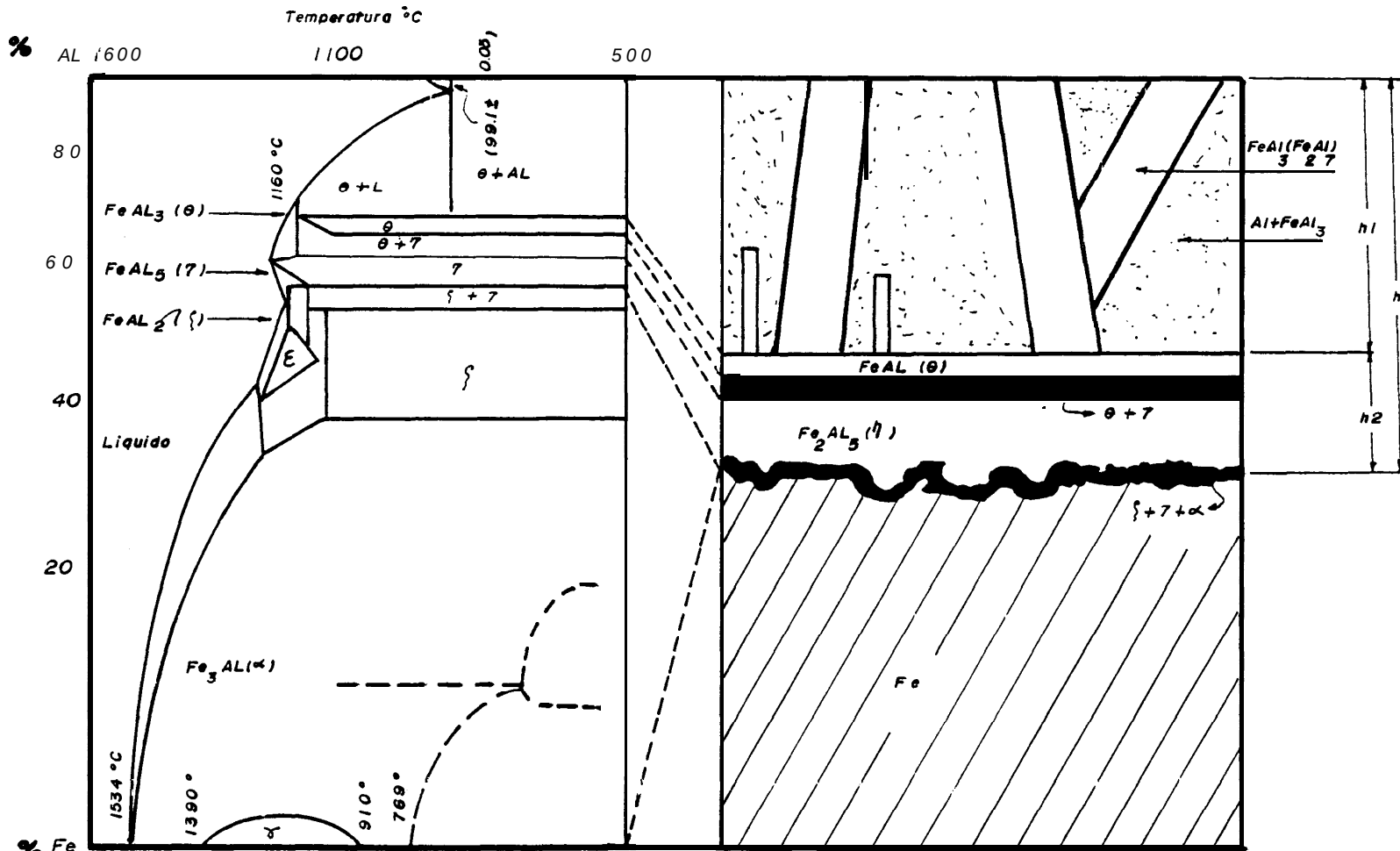
Este análisis consiste en realizar un estudio sobre la estructura metalográfica y las propiedades que presenta el recubrimiento.

1.4.1. Síntesis Metalográfica.

Para desarrollar un análisis sobre la estructura metalográfica del recubrimiento, es conveniente emplear un diagrama de fase o de equilibrio hierro - aluminio combinado con un esquema del recubrimiento de aluminio, como el presentado en la figura 5.

Los recubrimientos de aluminio por inmersión en caliente constan de dos capas: una exterior de aluminio virtualmente puro y una capa Interior o de transición, la cual da lugar a que la adherencia entre el recubrimiento y el metal base sea muy fuerte.

La capa de transición se forma por difusión del metal fundido dentro del metal base, está compuesta por varias de las fases intermedias del sistema hie



h_1 = espesor de la capa externa
 h_2 = espesor de la capa de transición
 h = espesor del recubrimiento

FIGURA

5. DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Al COMBINADO CON UN ESQUEMA DEL RECUBRIMIENTO DE Al.

r-ro-aluminio, y se caracteriza por su particular resistencia a la corrosión frente a salmueras y lechías, y en algunas disoluciones de ácidos.

La capa de transición esta compuesta por dos zonas que se originan desde la superficie del metal base. Una zona considerablemente gruesa de cristales columnares de fase Fe_2Al_5 de crecimiento direccional, una zona fina de cristales de fase FeAl_3 , las cuales están separadas entre sí por una delgada película constituida por dos fases η en tanto que la película que separa la fase del metal base se constituye de varias fases tales como: FeAl_2 , FeAl , Fe_3Al , Fe_2Al_5 .

Del espesor y homogeneidad de esta capa dependen las propiedades mecánicas que inciden en el trabajo posterior de la pieza recubierta, por lo que las mejores características de ductilidad se obtienen cuando dicho espesor no excede de 0.050 mm.

La capa externa es resistente a la corrosión en ambientes oxidantes a temperatura ambiente, o a elevada temperatura como consecuencia directa de la formación de una capa fina de óxido de aluminio (Al_2O_3) sobre la superficie del recubrimiento.

La capa exterior está constituida por cristales columnares de fase FeAl_3 que constituyen el esqueleto de esta capa y los espacios entre estos cristales se llenan con aluminio de un 98% de composición eutéctica más $\text{AL}(\text{FeAl}_3 + \text{Al})$.

Para la resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas es preferible que el recubrimiento sea por entero un compuesto hierro - aluminio y no una capa compuesta y delgada recubierta con aluminio puro, para lo cual hay que controlar las condiciones de formación evitando que el contenido de aluminio en la zona superficial sea muy grande. Cuando el contenido de aluminio se acerca al 50 % la superficie es quebradiza y se descascara, pero si este contenido se aproxima al 10% se obtiene máxima protección.

1.4.2. Propiedades.

El proceso de aluminizado por Inmersión en caliente permite obtener las siguientes propiedades:

a.- Mejora la calidad de los productos de acero y de fundición, desde el punto de vista de su resistencia a la corrosión y de su valor decorativo.

Mayor resistencia a la corrosión en atmósferas industriales y en particular en ambientes rurales y marinos en relación con los productos galvanizados.

Resistencia a la corrosión asegurada para productos en contacto con soluciones ácidas, lejías y salmueras, así como también para el petróleo crudo y productos petrolíferos de refino.

Garantía de resistencia a elevadas temperaturas de estos productos en atmósferas oxidantes hasta 950°C. El aluminio proporciona protección al acero sin alteración hasta 480°C por encima de esta temperatura al recubrimiento se mezcla con el acero y forma un recubrimiento refractario que proporciona protección contra la oxidación y descamación hasta 950°C.

Ausencia de toxicidad en contacto con alimentos.

Mejora la calidad estética y decorativa, la cual puede elevarse aún más sometiendo el producto a un proceso de oxidación anódica para su coloreado.

b.- Posibilidad de tratamiento térmico de los productos sumergidos en el baño de aluminio simultáneamente con la formación de un recubrimiento protec-

tor.

Además del hecho importante de conjugar dos procesos básicos, este procedimiento se caracteriza por varios detalles que lo diferencian de los tratamientos térmicos convencionales.

Menor tiempo de duración del tratamiento térmico.

Obtención de una estructura de grano fino y homogénea.

Ausencia de efectos superficiales desfavorables como descarburización y oxidación.

No precisa de atmósfera protectora.

La combinación de estos dos procesos permite obtener productos con elevada resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas a partir de materiales comunes y baratos.

c.- Posibilidad de trabajado en caliente sin formación de cascarilla en los aceros previamente aluminizados.

Por último se puede anotar como propiedad la gran adherencia del recubrimiento, a tal que, una lámina puede doblarse 180° alrededor de un diámetro igual al doble de su espesor sin que se estropee.

1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ALUMINIZADO CON RESPECTO A OTROS RECUBRIMIENTOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE.

El metal más empleado en este proceso es el Zinc, por lo tanto, en el desarrollo de esta sección se da mayor importancia a las ventajas y desventajas del aluminizado frente al galvanizado por inmersión en caliente.

Las principales desventajas que se presentan son:

a.- El mayor punto de fusión del aluminio (680°C). La elevada temperatura de operación que usualmente supera los 700°C produce una reducción en las propiedades físicas del artículo. La tabla V presenta las temperaturas aproximadas del tratamiento para varios metales.

b.- La reacción muy rápida que ocurre entre el hierro y el aluminio conduce a una pronta formación de la aleación y al incremento de la escoria. Si se emplea un crisol de hierro, como en el galvanizado, éste sería rápidamente atacado, por lo que es preferible utilizar

un crisol cerámico.

c.- El proceso de fluxado es mucho más difícil con alu minio que con zinc o estaño.

d.- La capa de óxido sobre el aluminio fundido, aunque delgada es más tenaz. Cualquier artículo saliendo del baño, está sujeto a ser contaminado en un tiempo muy breve con éste óxido o con burbujas del metal enredados en él.

e.- En lo referente al aspecto del recubrimiento se sa be que el zinc recubre en condiciones de brillo en tan to que el aluminio lo hace como depósito opaco, aunque luego puede ser abrillantado.

f.- Dificultad de producir recubrimientos uniformes y continuos sobre artículos de forma irregular, es decir, que tengan huecos o ángulos de reentrada en los que el aire puede quedar atrapado.

g.- Las partes de poca longitud y sección transversal delgada pueden torcerse a la temperatura de operación. Tales partes por lo tanto deben ser bien sostenidas o inmersas en posición vertical para así minimizar el torcimiento.

TABLA V

TEMPERATURA APROXIMADA DE OPERACION DEL TRATAMIENTO	
METAL DE RECUBRIMIENTO	TEMPERATURA APROXIMADA °C
ZINC (Zn)	460
ESTAÑO (Sn)	320
PLOMO (Pb)	370
ALUMINIO (Al)	700 - 1000

Entre las principales ventajas que presenta el proceso de aluminizado en caliente se pueden anotar las siguientes:

- un incremento sustancial en la resistencia a la corrosión en atmósferas rurales, industriales y marinas comparados con productos galvanizados y aún la posibilidad de aplicar productos aluminizados en casos en que los recubrimientos galvanizados no garantizan protección anticorrosiva.

Las tablas VI y VII muestran los resultados de 20 años de estudio conducidos por la ASTM sobre la resistencia a la corrosión atmosférica de recubrimientos galvanizados y recubrimientos de aluminio y de aleación aluminio-silicio respectivamente.

TABLA VI

RESULTADOS DE LA ASIM SOBRE CORROSION ATMOSFERICA DE ALEACIONES DE Zn Y Al

SITIO DE ENSAYO	TIPO DE ATMOSFERA	TASA DE PENETRACION (MILLS/YEAR)		RELACION DE TASAS Zn/Al
		Zn	Al	
STATE COLLEGE	RURAL	0.041	0.025	16.4
PHOENIX, ARIZ	RURAL	0.007	0.001	7.0
ALTOONA, PA.	INDUSTRIAL	0.240	0.040	6.0
NEW YORK, N.J.	INDUSTRIAL	0.220	0.038	5.8
KEY WEST, FLA.	MARINO	0.022	0.0035	6.3
LA JALLA, CAL.	MARINO	0.069	0.029	2.4

La tasa de penetracion se basa en la pérdida de peso de probetas de ensayo durante 10-20 años.

T A B L A VII

DESARROLLO DE LA CORROSION DE LOS RECUBRIMIENTOS DE Al - Si vs LOS DE Zn

SITIO DE ENSAYO	TIPO DE ATMOSFERA	TASA DE PENETRACION (MILLS/YEAR)		RELACION DE TASAS Zn/Al-Si
		Zn	Al/Si	
KEARNY, N.Y.	INDUSTRIAL	0.159	0.027	5.9
SOUTH BEND, PA	SEML RURAL	0.016	0.016	4.6
KURE BEACH, NC	MARINO	0.061	0.010	6.1

Tasa de penetración basada en la pérdida de peso de probetas de 4 x 6 pulgadas expuestas de 2-4 años.

* Tablas VI y VII tomadas de Corrosión Source Book NACE; K.Coburn Seymour. U.S.A. 1984

Basándonos en estos estudios podemos anticipar que los recubrimientos de aluminio por inmersión en caliente tienen una esperanza de vida de 3 a 5 veces mayor que la de los recubrimientos galvanizados de espesor equivalente.

- En la industria agrícola y de alimentación los recubrimientos de aluminio son 10 veces más resistentes a la corrosión en silos que los recubrimientos de zinc.

- con respecto a la reflectividad de los recubrimientos después del pulido, estos son progresivamente decrecientes en el siguiente orden: aluminio, estaño, zinc y plomo.

6 APLICACIONES.

Los recubrimientos de aluminio por inmersión en caliente están sustituyendo en muchas aplicaciones a los aceros más caros de aleaciones ricas resistentes a la corrosión y al calor.

El proceso de aluminizado garantiza el poder alcanzar recubrimientos continuos y uniformes en el rango de 8 a 79 mils, sobre productos fabricados de los siguientes materiales:

- Elementos de maquinas, herramientas, prensas, forjas, y otros tipos de maquinas y equipos pesados.
- c.- Industria automovilística, por ejemplo en los múltiples de escape, los elementos de suspensión, elementos del bastidor y volantes de coches.
- d.- Ingeniería civil y arquitectónica,
- Equipos y accesorios de edificios.
 - Elementos para puentes y viaductos.
 - Barreras de protección de autopistas.
 - Instalaciones para agua y para agua potable, sin propiedades tóxicas.
- e.- Industrias agrícolas y de alimentación; no hay toxicidad en contacto con alimentos, resistencia a la corrosión elevada.
- Equipos y maquinaria agrícola.
 - Contenedores, alimentadores y mezcladores de forraje y ensilados especiales. (10 veces más resistentes a la corrosión que los recubrimientos de zinc)
 - Elementos para instalaciones y maquinaria para plantas azucareras y otros tipos de empresas industriales de alimentos.
- f.- Industria minera y extractiva; en elementos de ma-



quinaria y equipos de minería a cielo abierto.

g.- Plantas de energía y equipos de ingeniería.

- Cambiadores de calor.
- Sistemas de enfriamiento.
- Elementos para parrillas de hornos.

h.- Ingeniería e industria metalúrgicas.

- Muelles, tornillos y remaches aluminizados con tratamiento simultaneo del material.

CAPITULO II

TECNICA OPERATIVA



BIBLIOTECA

2.1 ESTUDIO DEL METAL BASE.

El empleo de un metal base de alto contenido de carbono y con una buena preparación superficial permite obtener recubrimientos de aluminio con espesores más uniformes y de capa aleada más delgada, sin embargo, el metal base empleado depende básicamente de los requerimientos de servicio.

Para el desarrollo de esta tesis se eligió como metal base un acero AISI 1020 empleado para la construcción de cilindros de gas de uso doméstico, cuya composición química es la siguiente:

Carbono	: 0,18 - 0,20 %
Manganeso	: 0,30 - 0,60 %
Fósforo	: 0,04 % máximo
Azufre	: 0,05 % máximo

y cuyas características o propiedades mecánicas son:

Resistencia a la tracción: 517 MPa

Resistencia a la fluencia: 439 MPa

Dureza Brinell : 130 HB

2.2 ANALISIS DEL METAL DE RECUBRIMIENTO.

El metal de recubrimiento empleado es un aluminio comercialmente puro, muy resistente a la corrosión, no tóxico, ni magnético y de gran maquinabilidad.

Este metal se lo aplicó puro y en una composición con 4 % en peso de magnesio (Mg) con el propósito de comparar el efecto de éste elemento aleante sobre las características técnicas del recubrimiento.



BIENALTECA

3 EQUIPOS.

Los equipos utilizados se mencionan a continuación:

- a) Discoton, empleado para el corte de probetas: utiliza un disco de carburo.
- b) Esmeril y grata circular, para la preparación de bordes y para una limpieza mecánica superficial i-

nicial.

- c) Balanza analítica, empleada **para** pesar el metal de recubrimiento y las sales de fluxado.
- d) Horno de caja, para fundir las **sales empleadas en** el fluxado y para realizar **el ensayo a elevada temperatura**.
- e) Horno de Sales con crisol de grafito # 6 **para** fundir el metal de recubrimiento.
- f) Banco de lijas y Mesa Lun - Minor, en la **preparación** de las probetas para la observación **metalográfica**.
- g) Durómetro Wilson, para medir **la dureza** Erinnel.
- h) Microdurómetro Leitz, para observar y medir el espesor de las capas del recubrimiento,
- i) Microscopio metalográfico Olympus **PME**, para obtener fotos metalográficas del recubrimiento.
- j) Macroscopio superficial, para observar cambios superficiales en las probetas luego-de realizado el

ensayo de elevada temperatura.

2.4 PREPARACION SUPERFICIAL DE LAS PROBETAS.

Previo a la preparación superficial, se determina el numero de probetas a prepararse según las variables que intervienen en el proceso.

Para estudiar el efecto de la temperatura del baño de recubrimiento se seleccionarán 3 valores: para los tiempos de inmersión 8 valores, y se eligieron tambien 2 baños de recubrimiento. Por lo tanto el numero de probetas a prepararse es, $8 \times 3 \times 2 = 48$; pero, debido a los ensayos que se realizan posterior al recubrimiento se hace necesario duplicar el número de probetas, por tanto son 96.

Las probetas son de forma rectangular y sus dimensiones son las siguientes:

Largo : 68 mm

Ancho : 32 mm

Espesor : 3 mm

Una vez determinado el número de probetas y sus dimensiones, procedemos a realizar el proceso de prepara-

ción superficial:

- 1.- Limpieza mecánica: Una vez cortada la probeta y suavizados sus bordes en el esmeril, se procede a eliminar en gran parte las suciedades adheridas a la superficie por manipulación o almacenamiento, empleándose para esta, una **grata circular**.
- 2.- Desengrasado: Se lo realiza empleando una solución de soda cáustica con 17 % de concentración. Las probetas son sumergidas en dicha solución por un lapso de 90 minutos a temperatura ambiente. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión en la solución **de desengrasado**, las probetas son **lavadas** con agua y un detergente sintético, para retirar de la superficie metálica residuos de la solución desengrasante.
- 3.- Decapado: Como solución para el proceso de decapado se empleo **ácido clorhídrico** al 10 % de concentración. Las probetas fueron sumergidas en esta solución por un lapso de 60 minutos, manteniendo la solución a temperatura ambiente. concluido el tiempo, las probetas son retiradas, **lavadas con** agua y **secadas** con **aire** caliente.

baño del triple eutéctico de cloruro de sodio, potasio y litio conteniendo 5 % de fluoruro de sodio a una temperatura de 550°C y durante 5 segundos.

El calentamiento de estas soluciones se lo efectuó en el horno de caja, empleando recipientes metálicos para contener las soluciones de fluxado y lavado.

El proceso de fluxado constituye el último, dentro del proceso de limpieza o preparación superficial, es decir, concluido el fluxado, las probetas están listas para ser sumergidas en el baño del metal de recubrimiento.

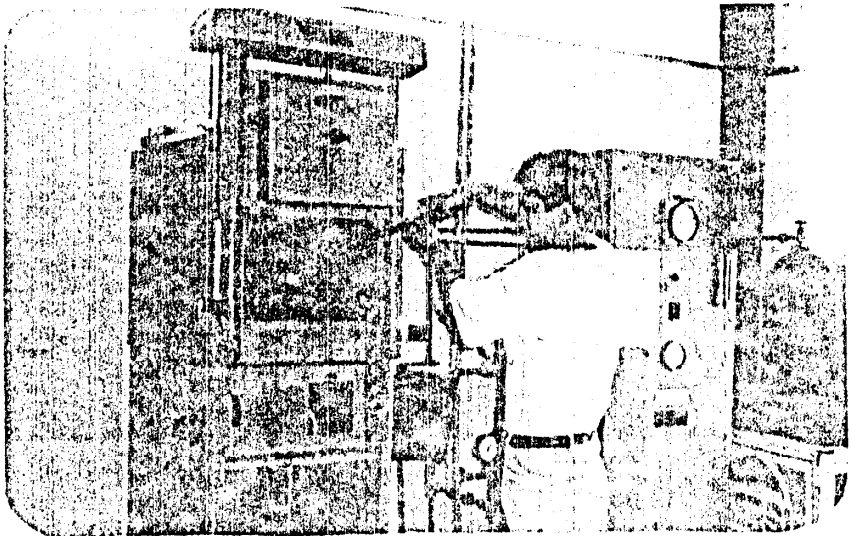


fig. 7 Proceso de Fluxado

2.5 INMEHSION.

Para fundir el metal de recubrimiento se emplea un horno de sales con crisol de grafito #6. Cuando el metal está fundido y a la temperatura de trabajo deseada, se procede entonces a realizar la innieruion de las probetas, una por una, para lo cual se sujeta la probeta por medio de un alambre y a través de un orificio previamente taladrado por uno de sus extremos. La inmersión se la realiza varias veces para evitar que burbujas de aire queden atrapadas entre el metal de recubrimiento y el metal base ocasionando una mala adherencia.



fig. 3 Inmersión

2.6 CONTROL DE LAS VARIABLES PRESENTES.

Uno de los principales propósitos de este estudio es observar y analizar los cambios que se producen en las características básicas de los recubrimientos cuando se varían los valores de los factores que afectan dichas características.

Para poder observar dichos cambios, se realizan varios ensayos de, inmersión, en los que se van asignando valores distintos, uno a uno, a cada factor, mientras los demás permanecen constantes.

2.6.1. Temperatura del baño.

El rango de temperatura en el que se ejecutan los recubrimientos de aluminio por inmersión en caliente varía desde 700°C hasta 800°C. Para poder comparar el efecto que produce trabajar con distintos valores de temperatura sobre las características del recubrimiento, se eligieron las siguientes temperaturas: 700, 750 y 800°C, realizando dos ensayos de inmersión para cada temperatura.

2.6.2. Tiempo de inmersión.

Los tiempos de inmersión elegidos para el desarrollo de este proceso son los siguientes: 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 segundos, rango dentro del cual se podrá observar claramente los cambios que se producen por efecto del tiempo de inmersión sobre la capa del recubrimiento.

2.6.3. Composición química del baño.

Se preparan dos tipos de baños:

- Baño 1, compuesto de 700 gramos de aluminio comercialmente puro.
- Baño 2, es un compuesto de aluminio con 4% de magnesio, para el cual fue necesario fundir 672 gramos de aluminio y 28 gramos de magnesio.

2.6.4. Rapidez de extracción.

La capa exterior se forma a partir del metal de recubrimiento que se adhiere a la superficie de la probeta cuando ésta es extraída del baño. Una rápida extracción aumenta la velocidad de enfriamiento y disminuye el tiempo de drenaje, provocando una capa exterior muy gruesa y un elevado consumo de aluminio.

Como regla general se debe tener presente que la velocidad de extracción no debe ser mayor a la velocidad de escurrimiento del aluminio fundido. Generalmente la velocidad de extracción es del orden de 2.5 cm/seg.

Para su posterior identificación cada probeta fue numerada de acuerdo a las tablas que se presentan a continuación.

TABLA VIII
IDENTIFICACION DE PROBETAS: BAÑO I

Temperatura °C	Tiempo de inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	34-33	35-36	37-38	39-40	41-42	43-44	45-46	47-48
750	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32
800	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16

TABLA IX

IDENTIFICACION DE PROBETAS: BAÑO II

Temperatura °C	Tiempo de inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	49-50	51-52	53-54	55-56	57-58	59-60	61-62	63-64
750	65-66	67-68	69-70	71-72	73-74	75-76	77-78	79-80
800	81-82	83-84	85-86	87-88	89-90	91-92	93-94	95-96

2.7 REQUERIMIENTO DE ACEPTACION DEL RECUBRIMIENTO.

2.3.1. Adherencia.

- El ensayo de adherencia del recubrimiento se lo realiza por el " Método del limado " señalado en la norma INEN 950 " Recubrimientos Metálicos. Determinación de la adherencia. Método de Ensayo ", que dice:

"El ensayo consiste en preparar un corte en la probeta perpendicularmente a la superficie recubierta: colocar la probeta así cortada en una mordaza y limar la parte expuesta. La acción del limado debe ejecutarse de tal modo que la dire-

cción del ataque de la lima sea del metal base al del recubrimiento, intentando desprender a éste por descascaramiento. El ángulo aproximado de ataque es de 45". Al finalizar el limado comprobar si existen desprendimientos del recubrimiento ó si se han producido escamaciones".

El texto completo de la norma INEN 950 se presenta en el apéndice B 1.

Se procede entonces a tomar una probeta en la que se ejecuta un corte para obtener una muestra con las siguientes dimensiones: 34 × 20 × 3 mm, luego se sujeta la muestra en una mordaza dejando expuesta la superficie de corte para comenzar a limar. Concluido el limado se realiza la observación de la muestra y los resultados obtenidos se anotan en las siguientes tablas.

S TABLA X

RESULTADOS ENSAYO DE ADHERENCIA: BAÑO 1 __

Temperatura °C	Tiempo Inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
750	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
800	SF	SF	F	F	F	F	F	F

SF: sin falla

F : falla

TABLA XI

RESULTADOS ENSAYO DE ADHERENCIA: BAÑO II

Temperatura °C	Tiempo Inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
750	SF	SF	SF	SF	SF	SF	F	SF
800	SF	SF	SF	SF	F	F	F	F

SF: sin falla

F: falla

2.7.2. Espesor.

Este ensayo se efectuó tomando como guía la norma INEN 601 " Recubrimientos Metálicos y No Orgánicos. Determinación del Espesor del Recubrimiento por el Método del Microscopio ".

El texto completo de esta norma se presenta en el apéndice B 2.

Para la ejecución de este ensayo, se procede a tomar una probeta por cada ensayo de inmersión realizado, ob

teniéndolo de ellas una muestra con las siguientes dimensiones:

Largo : 34 mm

Ancho : 12 mm

Espesor: 3 mm

Para evitar el redondeo de las aristas o la formación de rebabas al pulir las muestras se preparó una mordaza metálica por medio de la cual se la sujeta y luego se procede a pulir.

El pulido se lo realiza en un banco de lijas, empleando lijas de 180 - 240 - 320 - 400 y 600, es decir del abrasivo más grueso al mas fino, alternando la dirección del pulido en ángulos de 90° , cada vez que se pasa de una lija a otra.

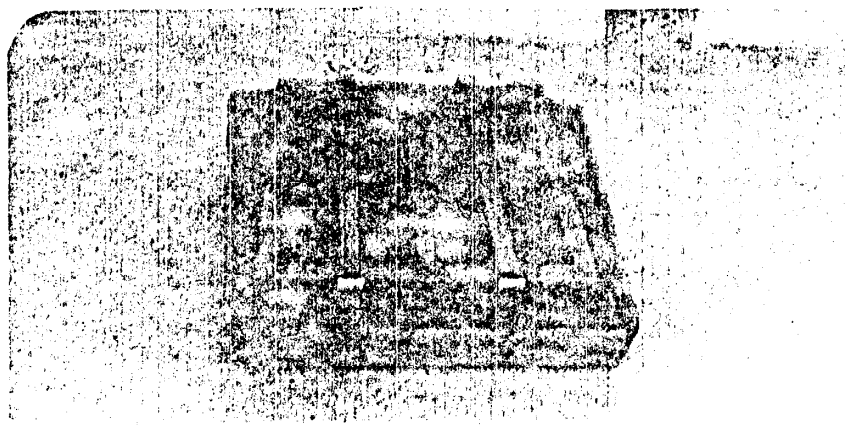


Fig. 9 Banco de Lijas

El pulido final se lo realiza en la mesa Lun - Minor a baja velocidad, 250 rpm, empleando como abrasivo pasta de diamante.

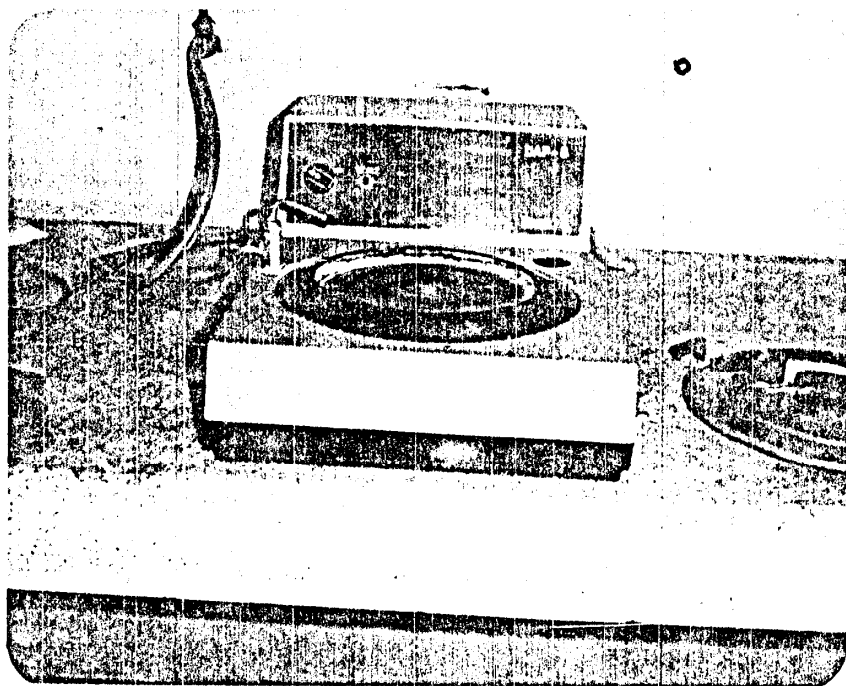


Fig. 10 Mesa Lun-Minor

Concluido el pulido de la probeta se realiza el ataque químico empleando como reactivo una solución de ácido fluorhídrico 2% en volumen con agua destilada 98 % en volumen.

Luego del ataque químico, la muestra esta lista para la observación metalográfica, la misma que se realiza a través del microdurometro Leitz, tomando 6 medicio-

nes para luego obtener un valor promedio.

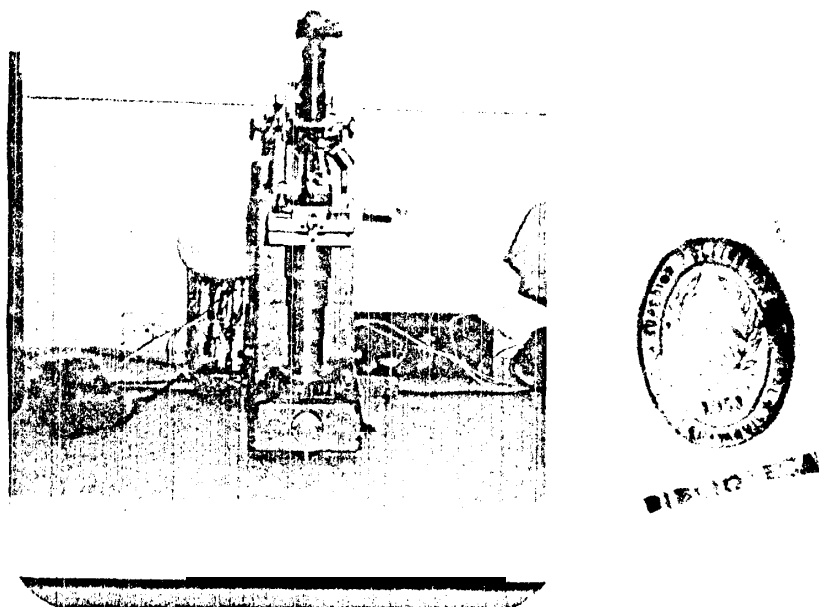


Fig. 11 Microdurómetro Leitz

A continuación se Presentan las tablas con los valores promedios obtenidos para cada ensayo de inmersión.

TABLA XII

ESPESOR DE LA CAPA EXTERNA (Um) .- BAÑO I

Temperatura °C	Tiempo Inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	16,6	20,8	24,4	29,2	35,2	38,4	42,6	44,4
750	20,4	30,2	32,8	38,2	44,6	49,5	53,0	55,8
800	32,8	39,5	51,2	66,5	66,5	73,3	76,5	81,5

TABLA XIII

ESPEJOR DE LA CAPA ALEADA (Um). - BAÑO I

Temperatura °C	Tiempo de inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	20,8	31,6	36,4	38,2	41,8	44,4	50,4	51,0
750	27,6	33,2	46,2	51,0	60,4	65,6	69,2	73,4
800	70,3	80,5	88,2	132,5	132,5	148,5	157,0	166,5

TABLA XIV

ESPEJOR DE LA CAPA EXTERNA (Um). - BAÑO II

Temperatura °C	Tiempo de inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	20,7	26,4	26,5	37,6	43,8	43,2	48,0	52,8
750	35,6	51,3	57,1	56,5	67,1	71,8	68,2	72,9
800	42,6	73,5	86,3	104,8	115,5	118,2	131,3	135,7

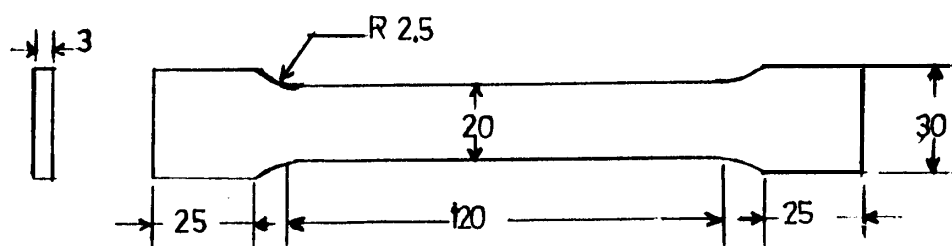
TABLA XV

ESPEJOR DE LA CAPA ALEADA (Um). - BAÑO II

Temperatura °C	Tiempo de Inmersión (seg.)							
	20	30	40	50	60	70	80	90
700	25,6	28,4	37,6	42,0	45,6	49,8	53,3	59,2
750	49,5	54,3	61,8	65,6	71,7	75,4	82,8	78,2
800	51,3	92,2	102,6	124,8	139,8	145,3	162,2	168,6

2.a.1. Ensayo a la ti-acción.

Este ensayo tiene por objeto observar si la resistencia a la tracción del metal con el recubrimiento varia con respecto a la del metal sin recubrir cuyo valor es de 517 MPa, determinado por medio de un ensayo que emplea la probeta que se muestra en la siguiente figura.



nota: medidas en mm

fig. 12.- Probeta para ensayo de tracción

Fue necesario preparar 6 probetas, identificando cada una de ellas con un número del 1 al 6, luego se procedió a recubrir una a una todas las probetas como se indica en la tabla que se presenta a continuación.

TABLA XVI

IDENTIFICACION DE LAS PROBETAS
PARA EL ENSAYO DE TRACCION

Identificación	Tipo de baño	tiempo inmersión (seg)	temperatura °C
1	1	90'	700
2	1	70	750
3	1	60	800
4	2	90	700
5	2	70	750
6	2	60	800

Concluido el proceso de recubrimiento se realizo el ensayo de tracción a cada una de estas probetas, para lo cual se emplea la Máquina Universal de Ensayo de tracción Instron 1128. Los resultados obtenidos en este ensayo se presentan en la tabla xvii, e indican la resistencia a la tracción del metal base más la capa de recubrimiento.

TABLA XVII

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCION

Número de probeta	1	2	3	4	5	6
Resistencia Tracción Mpa	513	518	521	509	515	518

Los resultados que se presentan en las siguientes tablas, señalan el valor de dureza del metal de recubrimiento y el metal base.

TABLA XVIII

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO I 700°C

Tiempo inmersión (seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	72	72	71	70	72	72	69	67
	2	72	72	72	70	72	71	68	67
	3	72	72	72	70	71	72	69	68
Promedio HRB		72	72	72	70	72	72	69	67
Valor HB		130	130	130	125	130	130	123	119

TABLA XIX

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO 1 750°C

Tiempo inmersión (seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	73	73	73	72	71	72	73	70
	2	72	73	73	72	73	73	74	73
	3	72	73	70	72	72	73	73	70
Promedio HRB		72	73	72	72	72	73	73	71
Valor HB		130	132	130	130	130	132	132	127

TABLA XX

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO I 800°C

Tiempo de inmersión (seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	74	75	74	72	75	78	80	82
	2	74	72	74	73	75	79	80	82
	3	74	75	73	73	74	78	80	80
Promedio HRB		74	74	74	73	75	78	80	82
Valor HB		135	135	135	131	137	144	150	153

TABLA XXI

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO II 700°C

Tiempo de inmersión(seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	65	70	74	66	67	66	65	69
	2	71	70	65	65	74	68	70	65
	3	69	70	167	70	65	68	68	69
Promedio HRB		68	70	70	67	70	67	68	68
Valor HB		121	125	125	119	125	119	121	121

TABLA XXII

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO II 750°C

Tiempo de inmersión (seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	75	75	70	69	73	71	71	74
	2	76	73	70	71	72	71	76	72
	3	73	71	68	72	75	71	70	72
Promedio HRB		74	73	70	71	74	71	72	73
Valor HB		135	132	125	127	135	127	130	132

TABLA XXIII

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA.- BAÑO II 800°C

Tiempo de inmersión (seg)		20	30	40	50	60	70	80	90
Identaciones	1	70	75	72	70	67	72	76	70
	2	72	70	68	71	70	78	69	65
	3	72	77	71	70	67	72	74	70
Promedia HRB		71	74	70	70	69	74	73	68
Valor HB		127	135	125	125	123	135	132	121

2.9 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA CORROSION.

2.9.1. Ensayo a elevada temperatura.

Este ensayo se realizo de acuerdo a la norma INEN 1193 " Recubrimientos Metalicos. Determinación del Comportamiento a elevadas temperaturas. Método de Ensayo ".

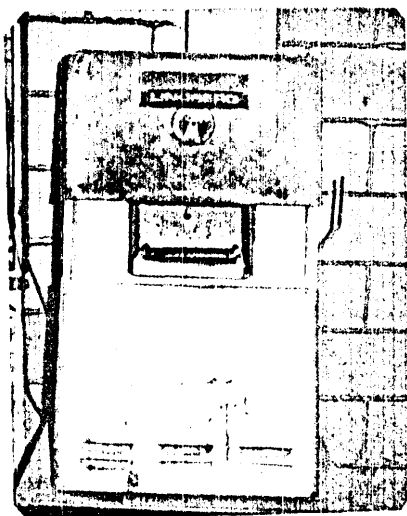
El texto completo de esta norma, se presenta en el apéndice B 3.

En este ensayo es emplean las mismas muestras que se utilizaron en el ensayo de dureza.

Estas probetas son calentadas hasta 300°C y mantenidas a esta temperatura durante 1 hora en un horno de caja, luego se las enfria bruscamente sumergiéndolas en un recipiente que contiene agua destilada a temperatura ambiente.

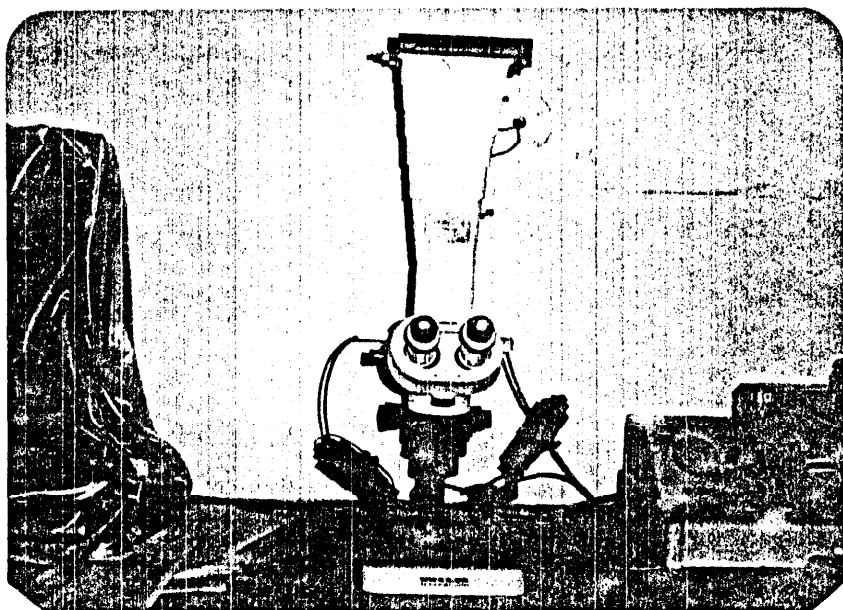
Fig. 14

Horno de Caja



Concluido el enfriamiento, las muestras son retiradas y secadas para entonces proceder a la observación superficial de las mismas.

La observación minuciosa en todas y cada una de las muestras, demostró que ninguna de ellas presentaba defectos de adherencia tales como exfoliaciones, rajaduras o ampolladuras. Para la observación de las probetas se utilizó un macroscopio. (fis. 15)



Fis. 15 Macroscopio

2.9.2. Ensayo en la Cámara de Niebla Salina.

Para proceder a realizar este ensayo se sigue la norma INEN 1173 "Recubrimientos Metálicos. Determinación de la Resistencia a la Corrosión. Ensayo de la Niebla Sa-

lina ".

El texto completo de esta norma se presenta en el apén
dice B 4.

Esta norma tiene como principio someter la probeta a la acción de la niebla de cloruro de sodio bajo condiciones controladas y por un tiempo determinado, para luego evaluar los efectos de corrosión producidos; pero esta norma no especifica:

- a) el tipo de probeta
- b) el periodo de exposición
- c) la interpretación de resultados

Dejándolos como detalles que deben ser especificados por la norma de requisito de cada producto, o establecidos por acuerdo de las partes interesadas.

Para realizar este ensayo se seleccionaron 12 probetas con las siguientes dimensiones:

Largo : 68 mm

Ancho : 32 mm

Espesor: 3 mm

La identificación de estas probetas se indica en la siguiente tabla.

TABLA XXIV
IDENTIFICACION DE PROBETAS
ENSAYO CAMARA NIEBLA SALINA

TIPO DE BAÑO		I			II		
Temperatura inmersión °C		700	750	800	700	750	800
Tiempo inmersión (seg.)	50	40	24	8	56	72	88
	70	44	28	12	60	76	92

El tiempo seleccionado para el ensayo es de 264 horas (11 días), el mismo que será menor en caso de aparición de signos de corrosión en las probetas.

La atomización de la solución salina se la efectúa dos veces por día, en periodos de 4 horas cada uno.

Al concluir este ensayo se procede a realizar la observación de las probetas, notandose que ninguna de ellas presenta indicios de corrosión o cambio superficial alguno.

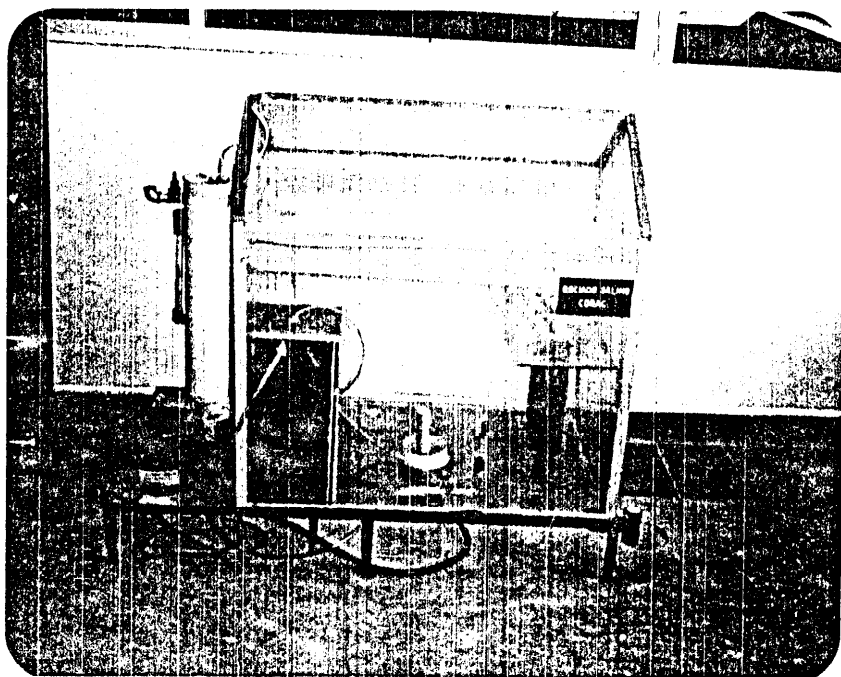


Fig. 16 Cámara de Niebla Salina

CAPITULO III



ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se procederá al estudio de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas o ensayos, a las que fueron sometidas las probetas empleadas durante el desarrollo de esta investigación.

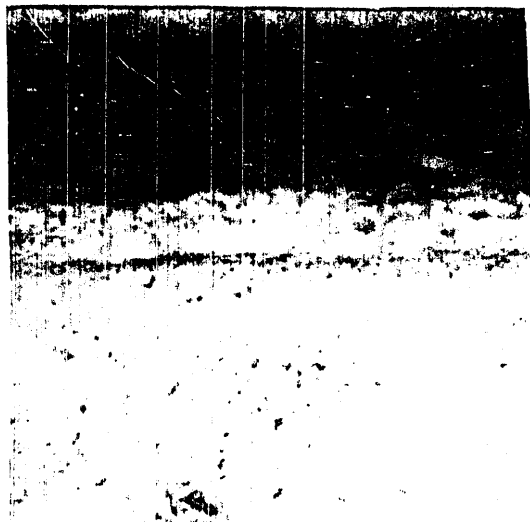
1.- Observando los resultados del ensayo de adherencia presentados en las tablas X y XI para recubrimientos con el baño I y II, se puede ver que para temperaturas de 700 °C y 750 °C, no se presentan fallas de adherencia para ninguno de los tiempos de inmersión ensayados; sin embargo, a 800 °C, se presentan fallas de adherencia en las probetas recubiertas con el baño I, para tiempos de inmersión mayores de 30 segundos, y para las probetas recubiertas con el baño II las fallas de adherencia se presentan para tiempos de inmersión mayores a 50 segundos.

2.- Los resultados obtenidos durante el ensayo de medición

de espesor, y las metalografías a 200 x de los recubrimientos que se presentan en las figuras 17 y 18.



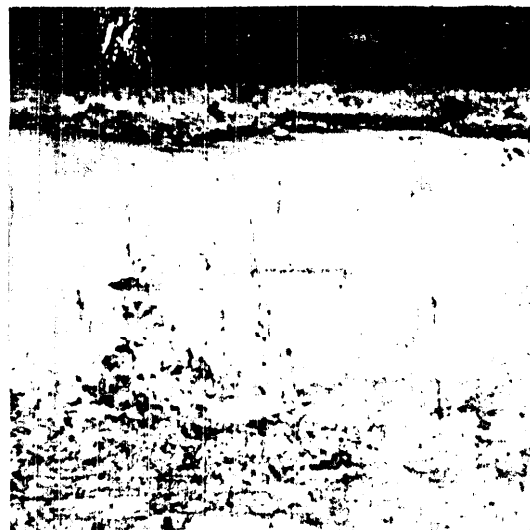
Temperatura baño: 700°C
Tiempo inmersión: 40 seg.



Temperatura baño: 700°C
Tiempo inmersión: 90 seg.



Temperatura baño: 800°C
Tiempo inmersión: 40 seg.

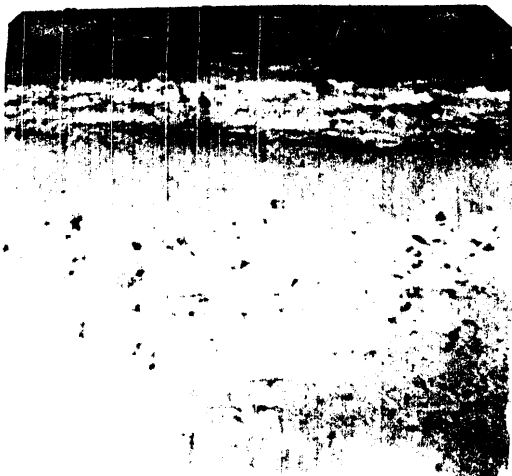


Temperatura baño: 800°C
Tiempo inmersión: 90 seg.

Fig. 17 Metalografías del recubrimiento. Baño 1



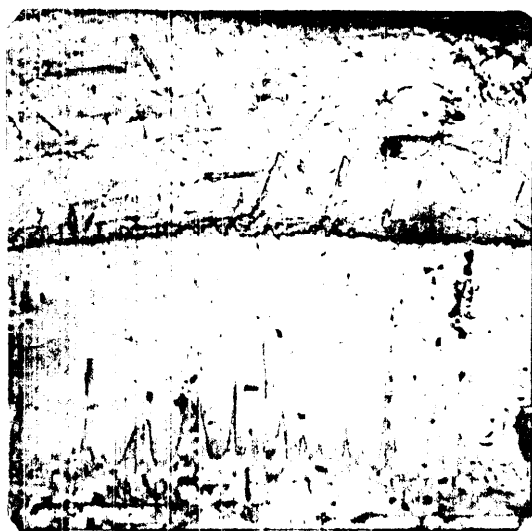
Temperatura baño: 700°C
Tiempo inmersión: 40seg.



Temperatura baño: 700°C
Tiempo inmersión: 90scg.



Temperatura baño: 800°C
Tiempo inmersión: 40 seg.



Temperatura baño: 800°C
Tiempo inmersión: 90 seg.

Fig. 18 Metalografías del Recubrimiento. Baño II

demuestran que independientemente del tipo de baño, el espesor de la capa aleada se incrementa al elevar la temperatura del baño y el tiempo de inmersión. Este comportamiento se observa en los gráficos 19, 20, 21 y 22, en los que se relaciona la influencia de la temperatura del baño y el tiempo de inmersión, sobre el espesor del recubrimiento. Dichos gráficos se elaboraron a partir de los resultados anotados en las tablas XII, XIII, XIV y XV.

Con los resultados obtenidos en el ensayo de adherencia y los datos que proporcionan estos gráficos, se determina que los recubrimientos con el baño I mantienen buena adherencia siempre que el espesor de la capa aleada no sea mayor a 80 μm ; y para recubrimientos con el baño II, existe buena adherencia hasta espesores de 125 μm .

- Los resultados que se presentan en la tabla XVII, indican que independientemente del tipo de baño empleado (baño I o II), al incrementar la temperatura y el tiempo de inmersión, la resistencia a la tracción también se incrementa, esto se debe al aumento de la sección transversal de la probeta ensayada, pues a mayor temperatura y tiempo de inmersión mayor espesor de la capa de recubrimiento..

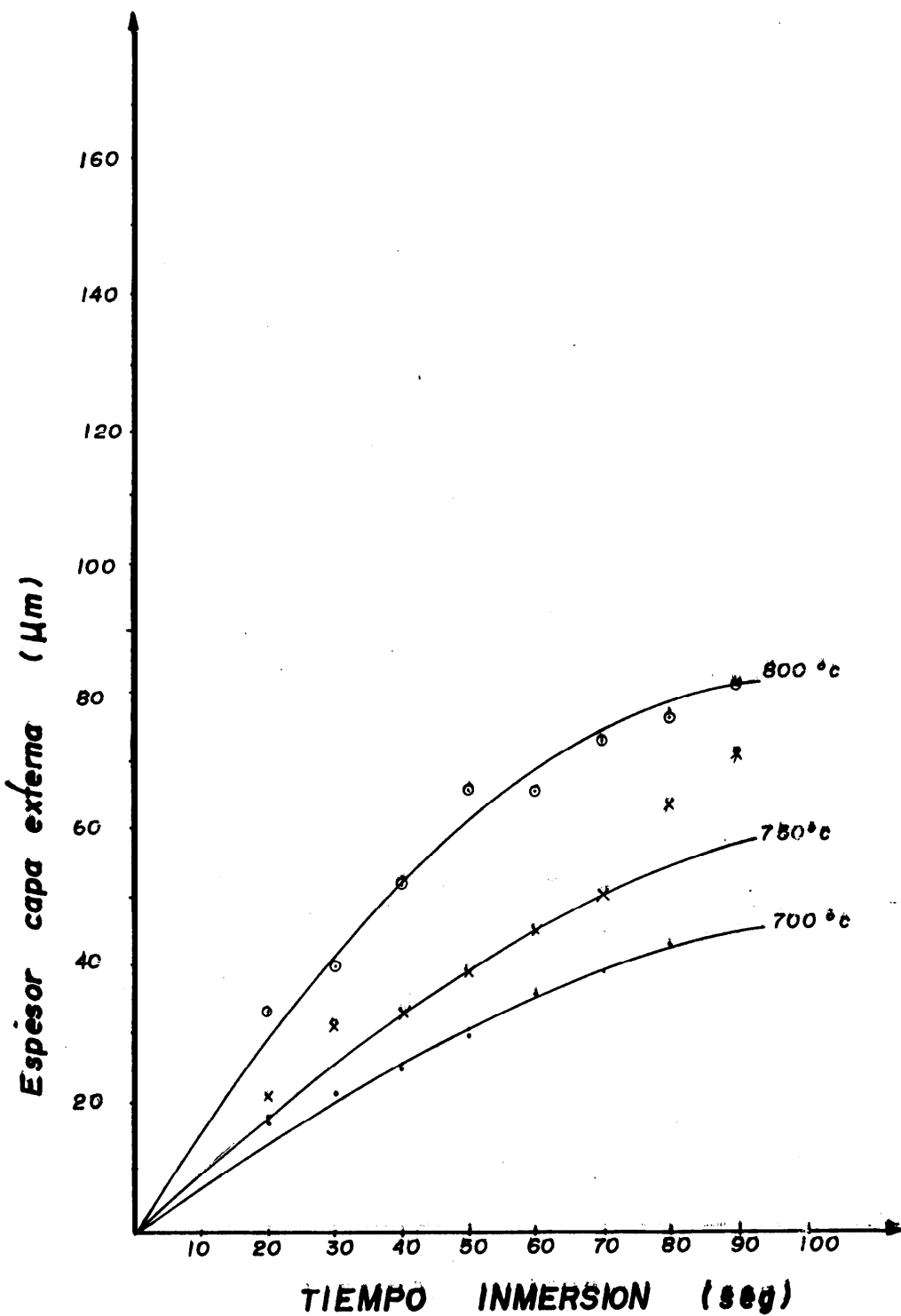


Fig 19. Espesor capa externa. Baño I

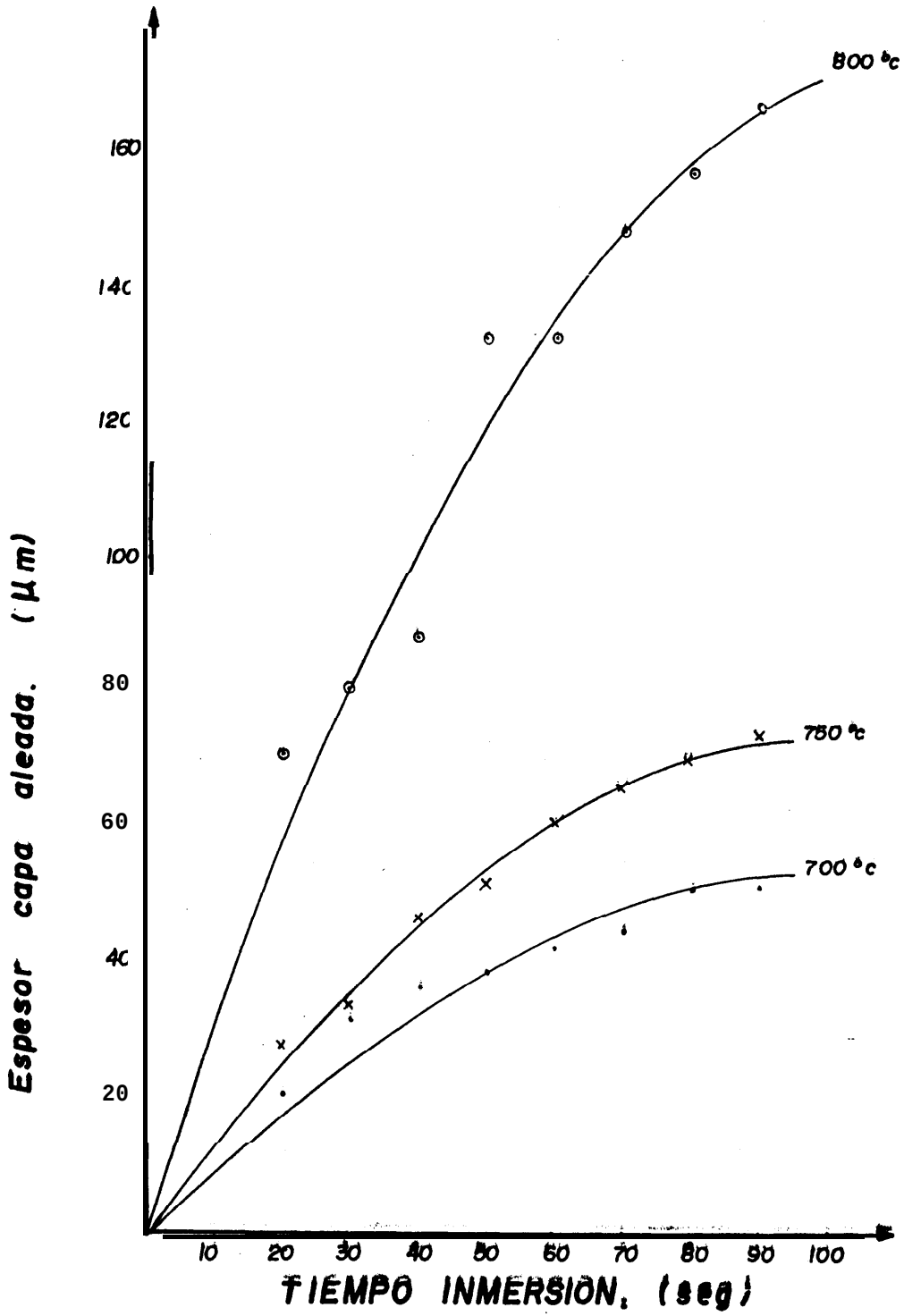


Fig. 20. Espesor capa aleada. Baño I.

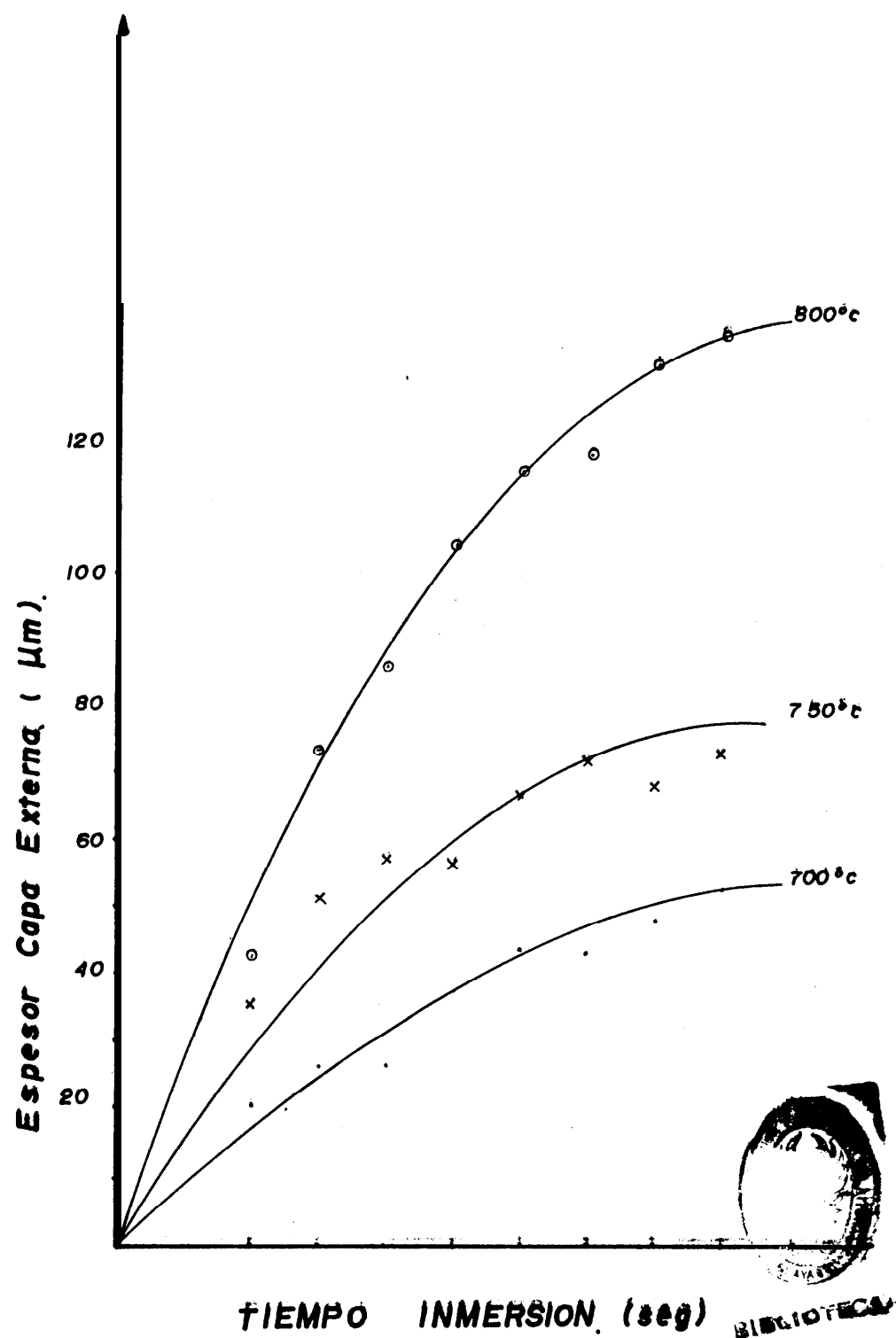


Fig 21. Espesor capa Externa. Baño II.

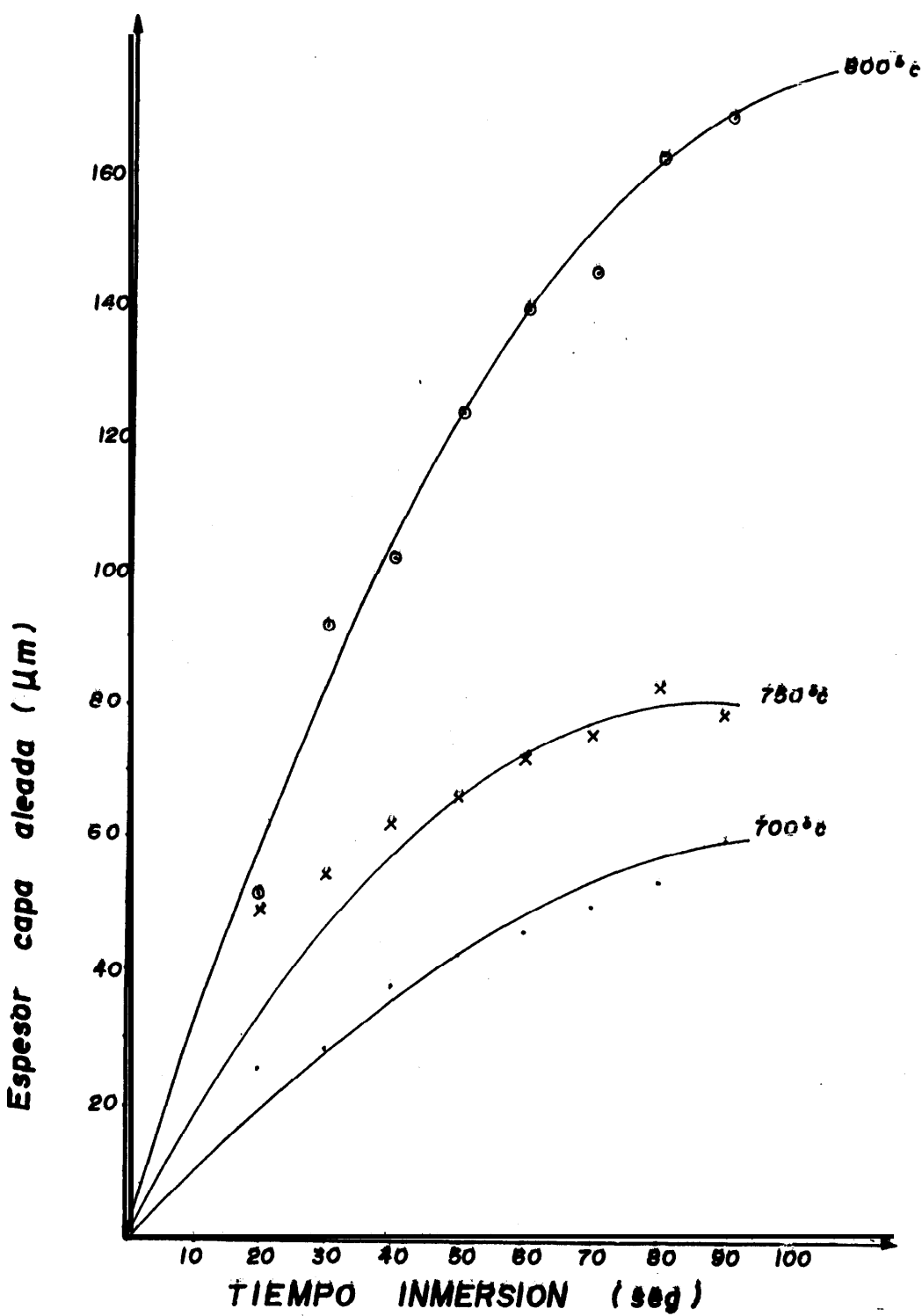


Fig 22. Espesor capa aleada. Baño II

4.- Los resultados obtenidos durante el ensayo de dureza indican que al incrementar el tiempo y la temperatura de inmersión, independientemente del tipo de baño empleado, el valor de la dureza también se incrementa. Este incremento en la dureza se debe al incremento en el espesor de la capa aleada, la misma que presenta gran dureza.

sin embargo el aumento en la dureza del metal del recubrimiento comparado con el valor de dureza del metal base solo es significativo para una temperatura de inmersión de 800° c, siendo aún más significativo para los recubrimientos con el baño I.

La figura 23, presenta un gráfico comparativo de dureza.

5.- Los resultados obtenidos del ensayo de elevada temperatura, señalan claramente la gran resistencia de estos recubrimientos, tanto con el baño I como con el II, al efecto que producen las altas temperaturas. Esta alta resistencia a las elevadas temperaturas se debe a la difusión de la capa intermetálica en la capa externa, de tal manera que toda la capa de recubrimiento llega a ser intermetálica.

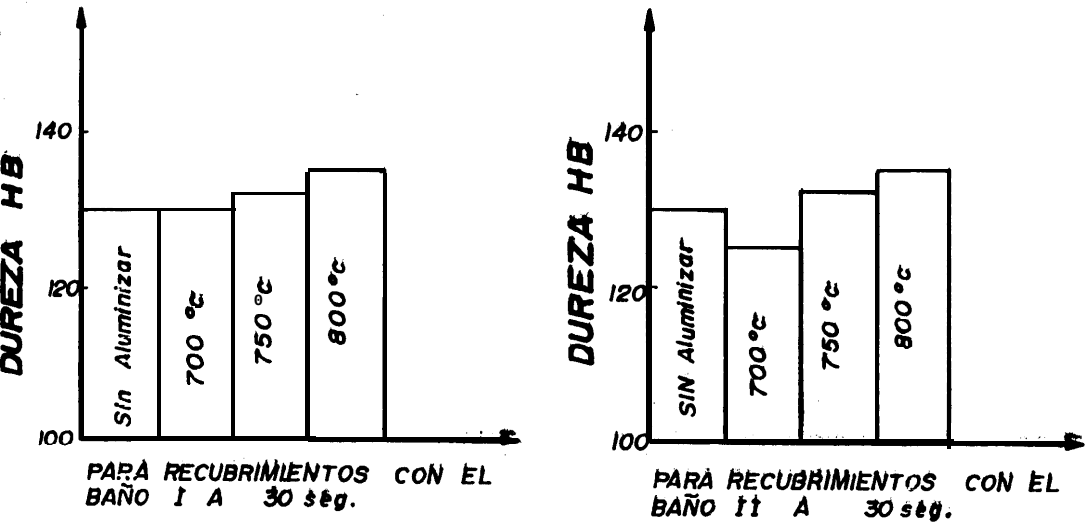


Fig. 23 Gráfico comparativo de dureza

6.- El resultado obtenido en la cámara de niebla salina, es el espetado, pues sedan la información que se presenta en el capítulo I y en el apéndice c, se conoce que en general estos recubrimientos son altamente resistentes a la corrosión en atmósferas industriales, urbanas y particularmente en ambientes rurales y marinos. Debido a la gran resistencia característica de este recubrimiento, en los tiempos de exposición recomendados para el ensayo en la cámara de niebla salina, no se evidencia ningún tipo de alteración en las probetas sometidas a esta prueba.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El espesor máximo de recubrimiento fue de 304,3 μm (0,3043 mm), el mismo que se obtuvo a una temperatura de 800°C, en un tiempo de inmersión de 90 seg., utilizando el baño II. En tanto que el espesor mínimo de recubrimiento fue de 37,4 μm (0,0374 mm), obtenido con el baño I a 700°C durante 20 segundos, comprobándose que a mayor temperatura y/o tiempo de inmersión, mayor espesor del recubrimiento.
- Los resultados y la experiencia práctica obtenida durante el desarrollo de este trabajo, permite llegar a la conclusión de que el rango óptimo de temperaturas para el baño es de 700°C a 800°C, puesto que a mayor temperatura la capa de óxido que se forma sobre la superficie del metal fundido es muy gruesa, dificultando el proceso de recubrimiento pues aumenta la posibilidad de que parte de esta capa de óxido quede atrapada entre la capa aleada y la externa, disminuyendo la buena adherencia.
- Se comprueba que el espesor del recubrimiento para una temperatura constante, es una función parabólica del

tiempo de inmersión, función que se observa en los gráficos 19, 20, 21 y 22.

- 4.- Los tiempos de inmersión necesarios para alcanzar recubrimientos de óptimas características no son Mayores a 90 seg., siendo posible obtener recubrimientos de hasta 0,3 mm de espesor.
- 5.- La adición de magnesio como elemento aleante del baño, disminuye el crecimiento de la capa aleada, mejora la adherencia y la uniformidad entre las capas, obteniéndose piezas con un espesor de recubrimiento más grueso y con buena adherencia.
- 6.- Por los resultados obtenidos de los ensayos en la cámara de niebla salina y en el de elevada temperatura, se concluye que el recubrimiento presenta excelente resistencia a la corrosión en atmósferas salinas, y que puede ser aplicado sobre equipos o piezas empleados en trabajos a altas temperaturas, protegiendo eficazmente y por mucho tiempo al metal base.
- 7.- Los tiempos de inmersión de las probetas ensayadas en las soluciones de desengrasado y decapado, varían de acuerdo a la concentración, temperatura y a la agitación en que se encuentren dichas soluciones.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda observar cuidadosamente el cumplimiento efectivo de todos y cada uno de los pasos a seguir durante el proceso de preparación superficial; pues éste resulta crítico para la obtención de un recubrimiento de óptimas características.
- 2.- Para evitar obtener recubrimientos con mala adherencia se aconseja realizar varias inmersiones de la Pieza en el baño de recubrimiento.
- 3.- Si se desea realizar una medición del espesor de recubrimiento mediante análisis metalográfico, se recomienda colocar la muestra en una mordaza metálica previamente preparada, para evitar el redondeo de bordes y esquinas del recubrimiento. A través del microscopio metalográfico, se puede apreciar claramente la forma de las capas, y obtener una medición exacta y real del espesor del recubrimiento.
- 4.- Para evitar un consumo excesivo de aluminio ocasionado por la presencia de lodos de hierro - aluminio, que se formarían al emplear recipientes de acero, se recomienda

da el uso de recipientes de material refractario.

- 5.- Es necesario ejercer un control sobre la velocidad de enfriamiento, pues si ésta es muy alta, se obtendría recubrimientos frágiles; por el contrario, si es muy lenta se presentaría un aumento en el espesor de la capa aleada. Por estas razones, se recomienda que al retirar la pieza del baño de recubrimiento, se la coloque sobre una superficie muy limpia, en donde deberá ser enfriada por una corriente de aire proveniente de un ventilador.
- 6.- Los recubrimientos de aluminio por inmersión en caliente son más eficientes que los recubrimientos galvanizados en la industria agrícola y la alimenticia, a la igual que para recubrir elementos que posteriormente sean empleados en trabajos a elevadas temperaturas, puesto que resisten hasta los 950°C.
- 7.- Con respecto a la inversión de energía, el aluminizado requiere un consumo aproximado de 10000 a 20000 Kcal/m²* trabajando en óptimas condiciones; y requiere un consumo de ácidos, disolventes desengrasantes y de sales fundentes, entre 0.10 y 0.15 kg/m²*, por lo que este proceso se recomienda para piezas que se empleen en ambientes para los cuales el aluminizado sea

más resistente que el galvanizado, como lo son las atmósferas marinas, rurales, y a elevada temperatura.

8.- Los resultados obtenidos pueden servir de guía para en caminar otras investigaciones; así, estudiar los cambios que se presentan al añadir una mayor cantidad de magnesio, ó al ensayar la adición de un elemento aleante diferente: perfeccionar el proceso de preparación superficial; desarrollar algún proceso posterior al de recubrimiento, como por ejemplo, Un anodizado.



APENDICE A

CORROSIÓN GALVÁNICA.

Usualmente una diferencia de potencial existe entre dos metales disímiles cuando ellos están inmersos en un corrosivo o una solución conductora, Si estos metales son puestos en contacto o conectados eléctricamente de alguna forma, esta diferencia de potencial produce un flujo de electrones entre ellos. La corrosión del metal menos resistente a la corrosión usualmente es incrementada y el ataque al metal más resistente disminuye, esto comparado con el comportamiento de estos metales cuando ellos no están en contacto. El metal menos resistente se llama ánodo, y el metal más resistente cátodo. Usualmente en todos estos tipos de acoples el cátodo se corroe muy poco o no se corroe.

SERIE EMF Y GALVÁNICA.

Brevemente, el potencial entre metales expuestos a soluciones conteniendo aproximadamente un gramo atómico en peso de sus respectivos iones (unidad de actividad) es medido exactamente a temperatura constante. La siguiente tabla A-i presenta una tabulación que a menudo es llamada Fuerza Electromotriz o Serie EMF. Por simplicidad; todos los potenciales son referidos con respecto al electrodo de hidrógeno (H_2/H^+) al cual arbitrariamente se los designa con el valor cero. El potencial entre metales se determina tomando

do la diferencia absoluta entre sus potenciales normales EMF. Esta tabla solo es útil para metales puros.

En los problemas de corrosión actuales, el acoplamiento galvánico entre metales en equilibrio con sus iones raramente ocurre. Dado que muchos materiales de ingeniería son aleaciones, el acoplamiento galvánico entonces usualmente incluye una o dos aleaciones metálicas. Bajo estas condiciones, la serie galvánica dada en la tabla A-2 mantiene una predicción más segura de las relaciones galvánicas que las series EMF. Esta tabla se basa sobre mediciones de potencial y corrosión galvánica ensayados en agua de mar no contaminada conducidos por The International Nickel Company at Harbor Island, N.C. Idealmente, series similares para metales y aleaciones en todos los ambientes y a varias temperaturas son necesarios, Pero esto requeriría un infinito número de ensayos.

TABLA A-1

EQUILIBRIO METAL-ION METAL (UNIDAD DE ACTIVIDAD)		POTENCIAL DE ELECTRODO VS. ELECTRODO NORMAL DE HIDROGENO A 25°C. VOLTIOS
 NOBLE 0 CATODICO	Au-Au ⁺³	+1.498
	Pt-Pt ⁺²	+1.2
	Pd-Pd ⁺²	+0.987
	Ag-Ag ⁺	+0.799
	Hg-Hg ⁺²	+0.788
	Cu-Cu ⁺²	+0.337
ACTIVO 0 ANODICO 	H ₂ -H ⁺	0.000
	Pb-Pb ⁺	-0.126
	Sn-Sn ⁺²	-0.136
	Ni-Ni ⁺²	-0.250
	Co-Co ⁺²	-0.277
	Cd-Cd ⁺²	-0.403
	Fe-Fe ⁺²	-0.440
	Cr-Cr ⁺³	-0.744
	Zn-Zn ⁺²	-0.763
	Al-Al ⁺³	-1.662
	Mg-Mg ⁺²	-2.363
	Na-Na ⁺	-2.714
	K-K ⁺	-2.925

APENDICE B 1

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA. METODO DE ENSAYO.

OBJETO: Esta norma establece los métodos de ensayo para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados sobre base también metálica.

ALCANCE: Esta norma se aplica a todo tipo de recubrimiento depositado por cualquiera de los métodos usuales (inmersión en caliente, electrolíticamente, por metalizado, mecánicamente, etc.).

TERMINOLOGIA: La terminología aplicable a esta norma se establece en la Norma INEN 610.



METODO DE ENSAYO: Método del limado.- El ensayo consiste en preparar un corte en la probeta, perpendicularmente a la superficie recubierta; colocar la probeta así cortada en una mordaza o entenalla y limar la parte expuesta. La acción del limado debe ejecutarse de tal modo que la dirección de ataque de la lima sea del metal base al recubrimiento, intentando desprender a éste por descascaramiento. El ángulo aproximado es de 45° . Al finalizar el limado, comprobar si existen desprendimientos del recubrimiento o si se han producido escamaciones.

APENDICE B 2

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS Y NO ORGÁNICOS. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO POR EL MÉTODO DEL MICROSCOPIO.

OBJETO: Esta norma establece el método para determinar microscópicamente el espesor de recubrimientos metálicos y recubrimientos no orgánicos, en especial de óxidos, pero también de porcelana y esmaltes vitreos, especialmente sobre base metálica.

ALCANCE: Este método de ensayo se aplica a muestras extraídas de las piezas que han recibido el recubrimiento. Pudiendo estar el corte, en Principio, a cualquier ángulo respecto de la superficie significativa, esta norma limita el método a una sección perpendicular, obteniéndose, por tanto, muestras metalográficas transversales para ser ensayadas.

MÉTODO DE ENSAYO

Exactitud del método. En el mejor de los casos, este método garantiza una exactitud de $\pm 0,8 \mu\text{m}$.

Principio. En una muestra metalográfica con superficie de corte perpendicular a la superficie significativa, se mide el espesor de recubrimiento microscópicamente en uno o varios puntos determinados.

Instrumental. Microscopio metalográfico, equipo para extraer y preparar muestras metalográficas.

Reactivos. La tabla 1 indica los reactivos recomendables para el ataque químico de la muestra antes de ser sometida a la observación en el microscopio, dependiendo del tipo de recubrimiento así como del metal base.

Tabla 1. Reactivos y su aplicación.

REACTIVOS	APLICACIÓN/OBSERVACIONES
ACIDO NITRICO ($d=1,42$) (HNO_3) 5 VOLUMENES. ALCOHOL ETILICO (95 $^{\circ}$ /o) ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 95 VOLUMENES	DEPOSITOS DE Cr ó Ni SOBRE ACERO ATACA EL ACERO
SOLUCION DE AMONIACO (NH_4OH) 1 VOLUMEN AGUA OXIGENADA (3%) (H_2O_2) 1 VOLUMEN	DEPOSITO DE Ni SOBRE Cu Y SUS ALEACIONES, INCLUYENDO RECUBRIMIENTOS DE Cu SOBRE ACEROS Y METALES FERROSOS Y ALEACIONES DE ZINC. ATACA AL COBRE.
ACIDO CROMICO 20g. (CrO_3) SULFATO DE SODIO 1,5 g (Na_2SO_4) AGUA DESTILADA 100ml.	PARA DEPOSITOS DE Cd Y Zn EN ACERO Y PARA DEPOSITOS DE Ni SOBRE ALEACIONES DE Zn. ATACA EL ZINC Y EL CADMIO.
CLORURO FERRICO 10 g ($\text{Fe}.\text{Cl}_3.6\text{H}_2\text{O}$) ACIDO CLORHIDRICO ($d=1,16$ a $1,18$) (HCl) 2ml. AGUA DESTILADA 95 ml.	PARA DEPOSITOS DE Pb ó Cu EN ACERO ATACA EL ACERO.
ACIDO NITRICO ($d=1,42$) (HNO_3) 1 VOLUMEN ACIDO ACETICO (CH_3COOH) 1 VOLUMEN	PARA DEPOSITOS MÚLTIPLES DE Ni EN ACERO Y Cu. PERMITE DISTINGUIR CADA DEPOSITO DE Ni (MATE, SEMIBRILLANTE O BRILLANTE). ATACA EL NIQUEL.
ACIDO FLUORHIDRICO ($d=1,14$) (HF) 2% EN VOLUMEN. AGUA DESTILADA 98% EN VOLUMEN	PARA ALEACIONES DE ALUMINIO ANODIZADAS. ATACA EL ALUMINIO Y ALEACIONES.

APENDICE B 3

RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS. METODO DE ENSAYO.

OBJETO: Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia de los recubrimientos sometidos a altas temperaturas.

ALCANCE: Esta norma se aplica a todo tipo de recubrimiento sobre base metálica de acero, aleaciones de zinc, cobre o de aluminio.

TERMINOLOGIA: La terminología aplicable a esta norma se establece en la Norma INEN 610.

METODO DE ENSAYO.

Principio. El método de ensayo consiste en someter la probeta recubierta a calentamiento hasta una temperatura prevista y, luego, a enfriamiento brusco con agua. Se constatan luego los defectos de adhesión y otras fallas del recubrimiento.

Instrumental.

Horno. Que permite el calentamiento uniforme y controlado de las probetas hasta la temperatura deseada.

Recipiente. Con agua destilada a temperatura ambiente.

Procedimiento. Preparar las probetas de acuerdo a lo que se especifique en las normas particulares de producto, o según lo convenido por las partes interesadas; colocar a las piezas en el horno y, dependiendo del material base de que estén fabricadas, calentarlas a las temperaturas indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas de calentamiento

METAL BASE	TEMPERATURA ($^{\circ}$ C)
acero	300
zinc y aleaciones	150
cobre y aleaciones	250
aluminio y aleaciones	250



El tiempo de calentamiento es de una hora, a las temperaturas indicadas, con tolerancia de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Enfriar bruscamente las probetas en agua a temperatura ambiente.

Resultados. Inspeccionar las probetas para determinar la presencia de exfoliaciones, ampolladuras, rajaduras u otros defectos atribuibles al calentamiento.

Informe de resultados. Reportar en un informe los siguientes

tes aspectos:

- a) material base
- b) metal de recubrimiento
- c) probeta
- d) temperatura de ensayo
- e) estado superficial del recubrimiento luego del ensayo
- f) causas posibles de las fallas aparentes.

APENDICE B 4

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE LA NIEBLA SALINA.

OBJETO: Esta norma describe el ensayo de la niebla salina (NSS-test), para determinar la resistencia de recubrimientos metálicos a la corrosión.

ALCANCE: Esta norma se aplica a recubrimientos metálicos sobre base metálica, en especial acero.

Esta norma no especifica:

- a) el tipo de probeta
- b) el periodo de exposición
- c) la interpretación de resultados.

Estos detalles deben ser especificados en las normas de requisitos de cada producto en particular, o establecidas por el acuerdo de las partes interesadas.

Existiendo difícilmente relación directa entre la resistencia a la acción de la niebla salina y la resistencia a la corrosión en otro medio distinto, el ensayo aquí descrito no debe considerarse como guía para evaluar la resistencia a la corrosión del artículo ensayado, en cualquier otro ambiente donde se aplique.



El alcance de esta norma se halla limitado por la difícil reproductibilidad del ensayo, toda vez que deben tomarse en cuenta las siguientes variables que están presentes:

- En la solución atomizada:

- a) composición de la solución pulverizada (impurezas)
- b) valor de pH
- c) concentración (debido a la tolerancia admitida).

- En la atomización:

- a) modalidad de atomización
- b) presión de aire en el chorro
- c) preparación del aire de atomización
- d) atomización permanente o alternada
- e) tiempo de atomización
- f) tamaño de las gotas en la niebla
- g) velocidad de atomización de la solución
- h) cantidad de niebla depositada por unidad de superficie.

- En la cámara de ensayo:

- a) temperatura
- b) humedad relativa del aire
- c) tamaño y forma

d) inclinación de la cubierta.

- En las probetas:

a) ángulo formado por las Probetas con la horizontal

b) forma de sujeción

c) posición relativa de las probetas entre sí

d) tratamiento de las probetas antes y después del ensayo.

TERMINOLOGIA: La terminología que se aplica a esta norma se establece en la Norma INEN 510.

METODO DE ENSAYO.

Principia. El método de ensayo consiste en someter la probeta a la acción de la niebla de cloruro de sodio (NaCl) bajo condiciones controladas y por el tiempo determinado, para luego evaluar los efectos de corrosión producidos.

Reactivos.

Solución.- La solución se prepara disolviendo cloruro de sodio (NaCl) en agua destilada (o deionizada) para producir una concentración de 50 ± 5 g/l. El cloruro de sodio debe ser blanco y debe producir una solución incolora en el agua. Debe estar libre de cobre y níquel, y no debe contener más del 0,1 % de yoduro de sodio, ni más del 0,4% de

impurezas totales, calculadas para la sal seca. Si el pH de la solución preparada de esta manera está fuera del rango 6,0 - 7,0, debe investigarse por la posible presencia de impurezas indeseables, ya sea en la sal o en el agua. El pH de la solución salina debe ajustarse de tal modo que el pH de la solución recolectada dentro de la cámara este entre 6,5 y 7,2. El control del pH debe basarse en mediciones electrométricas a 25°C, pero un papel de prueba de pH de rango corto, que pueda ser leído en incrementos de 0,3 pH o menos, y que haya sido calibrado contra mediciones electrométricas, también podrá usarse para inspecciones de rutina. Cualquier corrección necesaria sólo deberá efectuarse por adición de ácido clorhídrico o hidróxido de sodio de grado analítico. Deberá prestarse atención a los posibles cambios en el valor del pH, como resultado de la pérdida de dióxido de carbono de la solución, al ser ésta atomizada. Estas variaciones se pueden evitar, reduciendo el contenido de dióxido de carbono en la solución, por ejemplo, mediante precalentamiento a 35°C o más antes de introducir la solución al aparato de ensayos, o por preparación de la solución con agua recientemente hervida. La solución debe filtrarse antes de verse en el reservorio del aparato de ensayos, para retirar cualquier impureza sólida que pueda bloquear las aberturas del dispositivo atomizador.

Probetas.

- El número y tipo de probetas, su forma y dimensiones, deben seleccionarse de acuerdo a la especificación que corresponda al recubrimiento o al producto ensayado. si no hay especificación, los detalles concernientes a las probetas deben determinarse por mutuo acuerdo entre las partes interesadas.
- Las probetas deben ser totalmente desengrasadas antes de iniciar el ensayo. El método empleado dependerá de la naturaleza de la superficie y de los contaminantes presentes y, en todo caso, debería excluir el uso de abrasivos o solventes que puedan atacar la superficie de las probetas. Deben tomarse precauciones para que las probetas no se contaminen después del desengrase, por manipuleo excesivo o descuido.
- Si las probetas han sido cortadas de una pieza recubierta de grandes dimensiones, el corte deberá efectuarse de modo que el recubrimiento no resulte afectado en el área adyacente al corte. A menos que se especifique otra cosa, la superficie de corte deberá protegerse recubriéndola con un medio adecuado, estable para las condiciones del ensayo, por ejemplo: pintura, cera o cinta adhesiva,

Preparación del ensayo.

- Las probetas deben colocarse dentro de la cámara, de modo que no queden en la trayectoria directa de la salida de niebla por las boquillas de atomización. Se Pueden utilizar deflectores para evitar el impacto directo del chorro de solución sobre las probetas.
- El ángulo con el cual se expone la probeta dentro de la cámara es muy importante. La superficie expuesta debe ser, en principio, plana, colocada hacia arriba en la cámara, formando un ángulo lo más cercano posible a 20° con la vertical. Este ángulo debe estar, para cualquier caso, entre 15° y 30° . Para el caso de superficies irregulares, como ocurre cuando se trata de piezas completas, estos límites deben observarse tan estrictamente como sea posible.
- Las probetas deben acomodarse de tal manera que no tengan contacto entre sí o con la cámara, y de modo que las superficies que deben ensayarse estén expuestas a la libre circulación de la niebla salina. Las probetas deben colocarse a diferentes niveles dentro de la cámara, siempre y cuando la solución no gotee de un nivel más alto, ya sea de las probetas o los soportes, a las probetas del nivel inferior.

- Los soportes para las probetas deberán ser hechos de materiales inertes no-metálicos, tales como vidrio, Plástico o madera apropiadamente recubierta. Si es necesario colgar las probetas, el material utilizado no deberá, en ningún caso, ser metálico (alambres o cables), y deberá ser de fibra sintética (p.e. nylon), algodón u otros materiales aislantes.

Procedimiento.

- Una vez colocadas las probetas en la cámara, regular la temperatura interior a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$, asegurando que la fluctuación de temperatura, durante el ensayo, sea mínima.

- La solución en cada uno de los dispositivos de recolección deberá tener una concentración de cloruro de sodio de $50 \pm 10 \text{ g/l}$ y el valor del pH deberá estar en el rango de 6,5 a 7,2. El promedio de solución recolectada por cada dispositivo de recolección, para un periodo mínimo de 24 horas, deberá ser de 1 a 2 ml/h, para una superficie horizontal de recolección de área igual a 80 cm^2 .

- La solución salina que ha sido atomizada una vez, no debe reutilizarse.

- El periodo de duración del ensayo debe especificarse en

la norma relativa al recubrimiento o al producto en particular. si no se especifica, deberá acordarse mutuamente entre las partes interesadas. Los periodos recomendados de exposición son: 24 - 64 - 144 -192 - 240 -264 -480 - 720 h.

- La atomización no deberá interrumpirse durante el periodo de duración del ensayo, La cámara podrá abrirse solamente para rápida inspección visual de la posición de las probetas y para renovar la solución de sal en el reservorio cuando esta operación no pueda llevarse a cabo desde el exterior de la cámara.

- si la finalización del ensayo depende de la aparición de los primeros signos de corrosión, las probetas tendrán que ser inspeccionadas con más frecuencia. Por esta razón, las probetas; bajo este régimen de ensayo, no deberán colocarse en la cámara juntamente con otras que requieran de régimen de ensayo a periodo predeterminado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Annual Book of ASTM Standards Vol.1.3 (Philadelphia Annual Book 1973)
- 2.- A S M Metals Handbook Vol.2; A.S.M. - U.S.A. 1974
pág. 489 - 497
- 3.- Barrand Pierre, Robert Gadeau, Enciclopedia del aluminio Vol. 2: Ediciones URMO S.A. España 1981: pág. 13 - 17, 159 - 164.
- 4.- R.M. Burns y W.W. Bradley, Recubrimientos protectores de los metales. Ediciones Interciencias - Madrid 1966
pág. 302 - 304, 306 - 309.
- 5.- K. Coburn Seymour, Corrosion Source Book, NACE U.S.A.
pág. 137 - 145.
- 6.- A. Gierrek y L. Bajk, Revista Pinturas y acabados industriales. Vol. 22; Imprenta Juvenil S.A. Barcelona 1980, pág. 29 - 34.
- 7.- N.K. Gupta, Aluminized Ferrous metal articles, Indian Patent 49,520; England C.A. Vol. 48, 1954
- 8.- A. Gierrek, Coating of pearlite or block-heart casting with aluminum by hot dipping, Ger. Offen 2,245 164. Alemania C.A. Vol. 79, 1973
- 9.- Uhlig H. Herbert, Corrosion and Corrosion control,

- Jhonn Wiley and sons, Inc. U.S.A. 1963; pág. 198 - 207
- 10.- Uhlig H. Herbert, Corrosion Handbook, Jhonn Wiley and sons, Inc. U.S.A. 1948; pág. 1030 - 1034
- 11.- W. Hohge, Hot dip aluminum coating process, U.S. patent 2,738,289 Official Gazette Vol. 704; 1953
- 12.- P. Molera, P. Tierra, Revista Deformación metálica, Num. 117, Prensa XXI, S.A. España 1986; pág. 65 - 70.
- 13.- J. Mc. Dermontt. Electroless Plating and Coating of metals, Naves Data Corporation U.S.A., 1972; pág. 101 - 103.
- 14.- Kird Raymond, Othmer Donald, Enciclopedia de Tecnología Química, Editorial Hispano-americana, México 1963 pág. 59 - 63.
- 15.- L. Shreir, T. Corr, Corrosion, Vol. 2, Butterworth Boston 1979; pág. 13.48 - 13.50; 13.55 - 13.57; 14.17 - 14.28.
- 16.- M. Serra, Recubrimientos de acero al carbono por el proceso de inmersión en baño de aluminio fundido, Instituto del hierro y del acero, España 1956. pág. 897 - 907.



APENDICE C





TABLA C I

RESUMEN DE LOS DATOS DE PERDIDA DE PESO AL CABO DE UNA EXPOSICION POR 10 AÑOS			
LOCALIDAD	PERDIDA DE PESO (g/m ²)		
	AL-2S	ALCLAD 17ST	17ST
N.Y.	19	21	42
SANDY HOOK	24	19	36
N.J.	1,7	4,5	1,4
KEY WEST, FLA	2,7	5,0	-
LA JALLA, CALF.	22	13	45
STATE COLLEGE, PA.	0,7	0,7	1,4
PHOENIX, ARIZ.	0,07	0,07	0,3

TABLA C II

TIEMPO DE APARICION DEL 100% DE HERRUMBRE EN ATMOSFERAS INDUSTRIALES (CLEVELAND, OHIO)					
PRODUCTO	PESO ORIGINAL DEL RECUBRIMIENTO	AÑOS PARA APARICION 100% HERRUMBRE	PESO ORIGINAL DEL RECUBRIMIENTO	AÑOS PARA APA- RICION 100% HERRUMBRE	SIN EVIDENCIA EN 10 AÑOS SIN EVIDENCIA EN 10 AÑOS SIN EVIDENCIA EN 10 AÑOS
BARBED WIRE	0,25	1,4	0,28		
FIELD FENCE	0,37	3,5	0,22		
FABRIC	0,29	2,5	0,24		