

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA Y
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE
RECUBRIMIENTOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE
DE ZINALCO SOBRE ACERO 1018

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA MECÁNICA)

PRESENTAN:

CARLOS ERNESTO HERREJÓN MESTA
JUAN MIGUEL PERALTA RESENDIZ



DIRECTORES DE TESIS:

M. en I. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO
DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN

MÉXICO D.F

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DETERMINACIÓN DE LA
MICROESTRUCTURA Y RESISTENCIA A LA
CORROSIÓN DE RECUBRIMIENTOS POR
INMERSIÓN EN CALIENTE DE ZINALCO
SOBRE ACERO 1018

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO
DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN



NOS ENCONTRAMOS EN DEUDA CON MUCHAS PERSONAS Y AMIGOS QUE HAN
CONTRIBUIDO A LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

EN PRIMERA INSTANCIA A NUESTROS DIRECTORES DE TESIS

DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN

M.I. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO

QUE DESDE EL INICIO DEL DESARROLLO DE ESTA TESIS NOS BRINDARON SU APOYO
TOTAL.

AL ING. JESÚS ROVIROZA LÓPEZ

M.I. MAGDALENA TRUJILLO BARRAGÁN

ING EDUARDO GARDUÑO

POR SU AMISTAD Y TODAS SUS OBSERVACIONES QUE FUERON ESCENCIALES PARA
NOSOTROS.

FINALMENTE QUEREMOS AGRADECER A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO POR EL GRAN HONOR, POR EL PRIVILEGIO INMENSO E IMPAGABLE DE
PERMITIRNOS ENTRAR EN SU SENO. TODOS CUANTOS NOS CONOCEN SABEN QUE
PORTAMOS EL LEMA DE LA UNAM COMO UNA ESTRELLA DE AGUAS EN NUESTRO
CORAZÓN.

CARLOS Y MIGUEL



NO HAY SATISFACCIÓN MAS GRANDE EN LA VIDA QUE ALCANZAR LAS METAS PROPUESTAS. PARA LLEGAR A ELLAS INTERVIENEN DIVERSOS FACTORES Y MUCHAS PERSONAS QUE NOS ALIENTAN, ANIMAN Y AYUDAN A LOGRARLAS, NOS MOTIVAN A CONTINUAR POR EL DIFÍCIL CAMINO A LA SUPERACIÓN.

POR LO ANTERIOR ME HE PERMITIDO DEDICAR ESTE TRABAJO:

AL CREADOR DE TODAS LAS COSAS.... **DIOS** GRACIAS POR HABERME DADO LA OPORTUNIDAD DE CONTINUAR CON VIDA.

A MI QUERIDA ALMA MATER **LA UNAM** DE QUIEN LLEVARE CON ORGULLO EN MI CORAZÓN SU ESCUDO HASTA EL ULTIMO DÍA DE MI VIDA.

MI PADRE: POR SER MI EJEMPLO DE RECTITUD, DISCIPLINA, HONRADEZ Y FORTALEZA POR TU APOYO Y AMISTAD INVALUABLE Y POR EL HECHO DE SER MI PADRE, MI GUÍA Y MI CONSEJERO EN TODO MOMENTO.

MI MADRE: POR EL HECHO DE SERLO, MERECEES TODO MI CARIÑO, RESPETO Y DEDICACIÓN. A TI, ESTE PEQUEÑO PASO DE MUCHOS QUE DARÉ CON TUS ENSEÑANZAS.

MIS HERMANAS ILI Y GABY: QUE SON MI FUENTE DE INSPIRACIÓN, FORTALEZA Y MOTIVO DE SUPERACIÓN CONSTANTE.

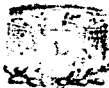
MI HERMANO JUAN MIGUEL PERALTA RESENDIZ: AMIGO Y COMPAÑERO DE MUCHAS BATALLAS, POR TU APOYO, COMPRENSIÓN, ESFUERZO, DEDICACIÓN Y ENSEÑANZAS. GRACIAS HERMANITO, Y NO OLVIDES QUE SIEMPRE ESTARÉ DETRÁS DE TI, EN TODO MOMENTO, COMO TU SOMBRA.

FAMILIA BARRAGÁN: POR SU APOYO INCONDICIONAL Y ENTRAÑABLE AMISTAD.

A MIS PROFESORES DESDE LA INFANCIA HASTA LA UNIVERSIDAD A QUIENES AGRADECERÉ ETERNAMENTE EL HABERME TRANSMITIDO TODOS SUS CONOCIMIENTOS SIN PEDIR NADA A CAMBIO, TAN SOLO UN POCO DE ATENCIÓN. POR AGUANTARME Y POR FORMAR LO QUE AHORA SOY.

A MIS COMPAÑEROS DE LA UNAM Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA INFLUYERON EN EL RESULTADO DE ESTE TRABAJO.

CARLOS



DEDICATORIAS

ESCRIBIR ESTA TESIS REQUIRIÓ DE MUCHO ESFUERZO, AMOR, CONFIANZA, AYUDA Y PACIENCIA DE MUCHAS PERSONAS, POR LO QUE SIGUE AQUÍ MI LARGA LISTA PARA AGRADECERLES DESDE LO MÁS PROFUNDO DE MI CORAZÓN.

EN PRIMER LUGAR **A DIOS** Y A LA MUJER QUE HA SIDO PARA MI EL PARADIGMA DE INTELIGENCIA Y HERMOSURA, **MI MAMÁ**, QUIEN ES MI EJEMPLO DE LUCHA, ESFUERZO Y ADMIRACIÓN, SIENDO LA QUE HA IMPULSADO HASTA EL DÍA DE HOY TODOS MIS SUEÑOS, POR LO QUE INFINITAMENTE TE VIVIRÉ AGRADECIDO, TE DEDICO ESTE TRABAJO CON TODO MI AMOR **MAMI**.

A MI PADRE:

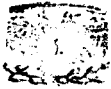
POR TU AMOR, COMPENSIÓN EN TODO MOMENTO, A TI TE HAGO NO SOLO PARTICIPE SINO PARTE FUNDAMENTAL EN EL RECORRIDO Y ALCANCE EN ESTA META.

A MIS HERMANOS:

ÁNGEL, MARIA Y MI SOBRINO RODRIGO, POR SU APOYO EN TODO MOMENTO A LO LARGO DE TODO ESTE TIEMPO.

A CARLOS ERNESTO HERREJON:

POR SER EL MEJOR AMIGO QUE DIOS PUSO EN MI CAMINO Y CON EL CUAL HE PASADO MOMENTOS MUY AGRADABLES, SIENDO UN GRAN APOYO QUE HA ESTADO A MI LADO EN LOS MOMENTOS MÁS ADVERSOS Y CON QUIEN HE LUCHADO POR OBTENER ESTE TRABAJO, REPRESENTANDO EN MI VIDA EL HERMANO QUE SIEMPRE NECESITE.



FAMILIAS ROJAS, JASSO Y GARCÍA:

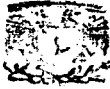
TODOS USTEDES QUE ME HAN ACOMPAÑADO A LO LARGO DE MI VIDA Y QUE HE RECIBIDO SU GRAN CARIÑO EN LAS BUENAS, Y EN LAS MALAS, SIENDO DEL CONOCIMIENTO DE USTEDES LO QUE ME A COSTADO LLEGAR HA ESTE PUNTO DE MI VIDA Y EL CUAL QUIERO COMPARTIR CON USTEDES.

FAMILIA HERREJÓN: A USTEDES QUE ME HAN APOYADO EN TODO MOMENTO CON UN RESPALDO INCONDICIONAL.

A CUTZI CITLALLI GUZMÁN LÓPEZ: SIENDO PARTE FUNDAMENTAL DE ESTE TRABAJO Y DE MI VIDA CON TU GRAN APOYO Y CONSEJOS EN LOS PEORES MOMENTOS, ASÍ COMO EN LOS BUENOS A LO LARGO DE LA CARRERA.

A LA LIC. VERÓNICA BARRAGÁN BARRAGÁN: SIENDO PARTICIPE INTELLECTUAL DE ESTE TRABAJO, YA QUE TODOS TUS CONSEJOS ME HAN SERVIDO DE MUCHO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, Y QUE ME HAN SERVIDO PARA MI VIDA PERSONAL POR LO QUE TE ESTOY MUY AGRADECIDO.

JUAN MIGUEL PERALTA R

**ÍNDICE TEMÁTICO****OBJETIVO****CAPÍTULO 1**

1.- GENERALIDADES SOBRE RECUBRIMIENTOS	-2-
TIPOS DE RECUBRIMIENTOS	-2-
1.1 Electrodeposición	-3-
1.2 Electroformado	-5-
1.3 Deposición sin electricidad	-6-
1.4 Recubrimiento por conversión	-6-
a) <u>Tratamientos químicos</u>	-7-
b) <u>Anodizado u oxidación anódica</u>	-7-
c) <u>Pavonado</u>	-9-
1.5 Recubrimientos por deposición física a partir de fase vapor.....	-9-
1.6 Deposición química a partir de fase vapor.....	-12-
1.7 Recubrimientos orgánicos	-14-
1.8 Recubrimiento pulverizado	-16-
1.9 Proceso de recubrimiento térmico	-17-
a) Proyección térmica	-17-
b) Revestimiento duro	-18-
c) Revestimiento flexible	-19-
1.10 Procesos de recubrimiento mecánico. Aleado mecánico	-19-
1.11 Recubrimientos por inmersión en caliente	-20-
a) Galvanización en caliente o galvanizado	-21-
a.1) <u>Galvanización por vía seca</u>	-22-
a.2) <u>Galvanización por vía húmeda</u>	-23-
b) Aluminizado por inmersión en caliente	-28-
c) Estañado	-29-
d) Terneplate	-29-

CAPÍTULO 2

2.- GENERALIDADES SOBRE ZINALCO	-31-
2.1 Antecedentes	-31-
2.2 Propiedades del Zinalco	-34-
2.2.1 Propiedades físicas	-34-
2.2.2 Propiedades mecánicas	-35-
2.3 Resistencia a la corrosión	-38-
2.4 Campos de aplicación	-40-

**CAPÍTULO 3**

3.- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO	-45-
3.1 Cómo se genera	-45-
3.1.1 Material base	-45-
- Composición química	-45-
3.1.2 Recubrimiento	-46-
- Composición química	-46-
3.2 Equipo empleado	-46-
3.3 Producción del material	-48-
3.4 Evaluación de la unión	-51-
3.4.1 Microscopía electrónica	-51-
3.4.2 Obtención de tamaño de espesores	-52-
3.4.3 Ensayo de microdureza	-53-
3.5 Ensayo de corrosión	-54-

CAPÍTULO 4

4.- EXPERIMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS	-59-
4.1 Análisis de las propiedades mecánicas	-59-
4.1.1 Datos y gráfica de espesor de cada probeta	-59-
4.1.2 Datos y gráfica de dureza de cada probeta	-62-
4.2 Microestructura y análisis químico	-65-
4.3 Ensayo de corrosión	-101-

CAPÍTULO 5

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	-107-
5.1 Análisis del espesor del recubrimiento de cada probeta	-107-
5.2 Análisis de durezas del recubrimiento de cada probeta	-108-
5.3 Análisis de la microestructura y el análisis químico	-110-
5.4 Análisis de corrosión	-114-

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES	-118-
APENDICES	-122-
BIBLIOGRAFIA	-129-

OBJETIVO

- Caracterizar recubrimientos de zinc sobre aceros al carbono, obtenidos mediante inmersión en caliente, particularmente en lo relativo a su microestructura, su dureza y su resistencia a la corrosión en medios salinos y relacionar estos resultados con diversas condiciones de procesamiento a fin de optimizar el proceso y vislumbrar algunas posibilidades de aplicación industrial.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES SOBRE RECUBRIMIENTOS



1. GENERALIDADES SOBRE RECUBRIMIENTOS.

TIPOS DE RECUBRIMIENTOS.

La expresión recubrimiento de los metales se refiere, normalmente, a una capa de material, relativamente delgada, que recubre a un metal o aleación. Ver figura 1.1

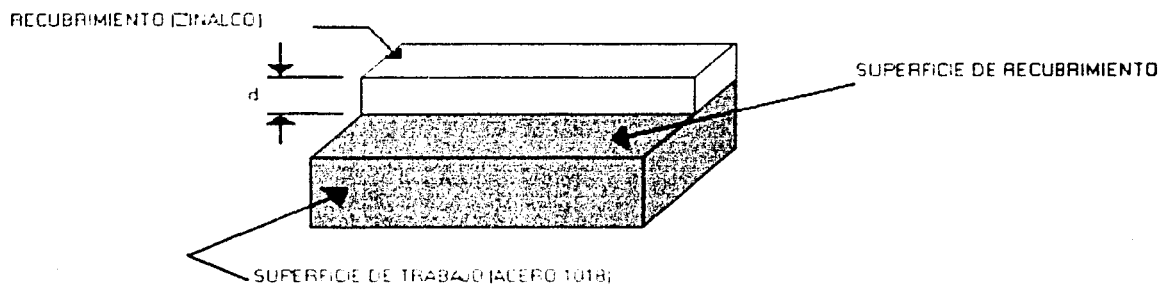


FIGURA 1.1.- VISTA DEL CORTE DE UN RECUBRIMIENTO DE ESPESOR d SOBRE UN MATERIAL BASE.

Los recubrimientos de los metales se aplican para conseguir alguna propiedad superficial deseada que no tiene el metal base. En general, las propiedades del conjunto vienen determinadas por las del metal protegido y por las del metal protector.

El aspecto predominante en la tecnología de recubrimientos metálicos es, sin lugar a dudas, la vida esperada del material, una vez recubierto. Para lograr la optimización del sistema¹ es necesario tomar en cuenta varios factores: la composición del recubrimiento; su estructura; su porosidad y adherencia; la temperatura de trabajo del sistema a recubrir; la compatibilidad en general entre los materiales; la disponibilidad

¹ Entiéndase como sistema la combinación entre el metal protector, el metal a proteger y los elementos que en su conjunto lograrán el recubrimiento



del material de recubrimiento; y por supuesto, el costo que engendrará el proceso que se elija.

Los productos hechos de metal casi siempre están recubiertos, ya sea con pintura, chapeado u otros procesos. Las razones o motivos principales para recubrir un metal son:

- 1) Proporcionar protección contra la corrosión a la superficie de trabajo;
- 2) Mejorar el aspecto del producto, por ejemplo, para proporcionar un color o textura específicos;
- 3) Aumentar la resistencia al desgaste y reducir la fricción de la superficie;
- 4) Mejorar la conductividad eléctrica;
- 5) Aumentar la resistencia eléctrica;
- 6) Preparar una superficie metálica para un procesamiento posterior;
- 7) Recuperar las superficies gastadas o erosionadas durante periodos de trabajo.

La característica común de estos procesos es que producen un recubrimiento adicional sobre la superficie del material a recubrir. La finalidad de estos procesos, es obtener una buena adhesión entre el recubrimiento y el material base, para que éste ocurra la superficie a recubrir debe estar adecuadamente preparada.

Dentro de los recubrimientos industriales más importantes podemos mencionar los siguientes:

1.1 Electrodeposición.

La electrodeposición, también conocida como recubrimiento electrolítico, es un proceso químico en donde se deposita un material metálico a partir de iones, que se encuentran en una solución electrolítica, dentro de la cual se sumerge la pieza a revestir, que funciona como cátodo. El ánodo generalmente lo constituye el metal con el que se



recubre. Se pasa corriente directa proveniente de un transformador de corriente externa (Fuente de Poder) entre el ánodo y el cátodo. El electrolito es una solución acuosa de ácidos, bases o sales que conducen corriente eléctrica mediante el movimiento de iones metálicos del recubrimiento, que están en solución.

Como resultado, los iones metálicos se adhieren al cátodo o material a recubrir, por efecto de las cargas eléctricas combinadas con la solución electrolítica, produciéndose como reacción el recubrimiento que se busca. Ver figura 1.2.

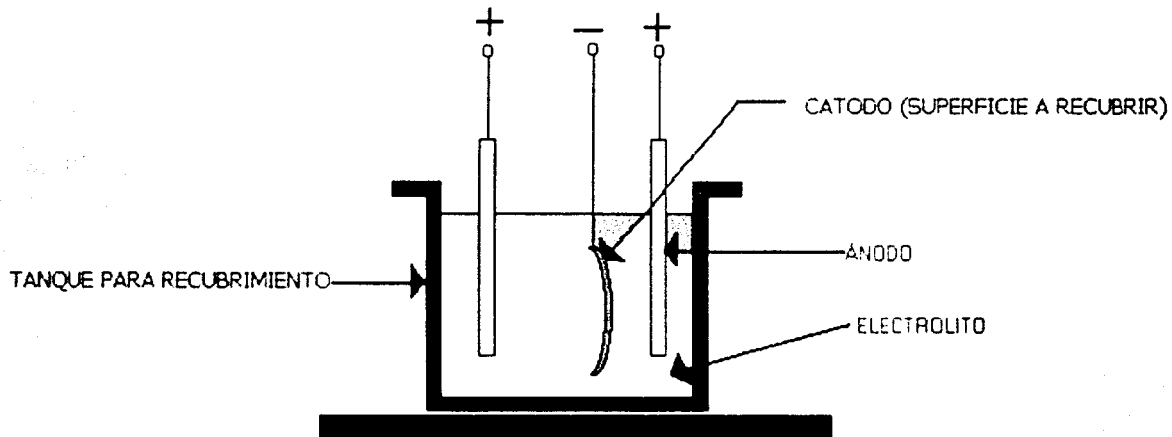


FIGURA 1.2.- DISPOSICIÓN PARA LA ELECTRODEPOSICIÓN

Métodos y aplicaciones: existen diversos equipos para la electrodeposición y su elección depende del tamaño y de la geometría de las piezas; los resultados que se persiguen; y del metal para recubrir. Los métodos principales son: 1) deposición en tambor; 2) deposición en estantes; y 3) deposición en tiras.

Los metales que se utilizan de manera más común en el recubrimiento por electrodeposición incluyen al zinc, el níquel, el estaño, el cobre y el cromo. El acero es



el metal que más comúnmente se recubre, dado su alto índice de aplicación, así como la gran susceptibilidad a la corrosión. También es posible utilizar metales preciosos como el oro, la plata y platino.

1.2 Electroformado.

Este proceso es virtualmente igual que la electrodeposición, pero su propósito es muy distinto. El electroformado implica la conformación electrolítica de metal en un patrón hasta obtener el grosor requerido; y al final del proceso, se remueve el patrón para dejar la parte formada.

Mientras que el grosor que se obtiene de una electrodeposición común es de aproximadamente 0.002" (0.05 mm) o menos, a menudo los recubrimientos de las partes electroformadas son mucho más gruesos, por lo que el ciclo de producción es proporcionalmente más largo.

Los modelos que son más utilizados en el electroformado son: 1) sólidos o 2) desechables. Los patrones sólidos tienen un ahusamiento u otra geometría que permite la remoción de la parte electrodepositada. Los modelos desechables se destruyen durante la remoción de la parte, ; se usan cuando la forma de la parte imposibilita un patrón sólido.

Por lo general, las partes electroformadas se fabrican de aleaciones de cobre, y de níquel-cobalto. Una aplicación reciente con mucha demanda implica la producción de moldes para discos compactos de lectura mediante láser y discos de video.



1.3 Deposición sin electricidad.

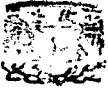
Este recubrimiento se produce completamente mediante reacciones químicas y no se requiere una fuente externa de corriente eléctrica. La deposición del metal en la superficie de una parte, ocurre en una solución acuosa que contiene los iones del metal para recubrimiento que se vaya a utilizar. El proceso incluye el uso de un agente reductor y la superficie de la pieza de trabajo que actúa como catalizador para la reacción.

Son pocos los metales que pueden procesarse mediante esta técnica. El costo generalmente es mayor que en los recubrimientos electrolíticos. El metal para deposición sin electricidad más común es el níquel y algunas de sus aleaciones (Ni-Co, Ni-P y Ni-B). También se usa el cobre y, en menor grado el oro como metales para deposición con este proceso. La deposición con níquel, se usa para aplicaciones que requieren alta resistencia a la corrosión y al desgaste. La deposición con cobre se usa para recubrir a través de orificios de tableros de circuitos impresos.

Las ventajas de la deposición sin electricidad son: 1) espesores de capa uniformes sobre geometrías de partes complejas, 2) el proceso puede usarse en materiales base a recubrir metálicos y no metálicos y 3) no necesita de corriente eléctrica directa para realizar el proceso.

1.4 Recubrimiento por conversión.

Es una familia de varios procesos en los cuales se forma una película delgada de óxido, fosfato, o cromato sobre una superficie metálica mediante reacción química o electroquímica. La inmersión y la aspersion son los dos métodos comunes que exponen la superficie metálica a los productos químicos reactivos. Los metales comunes tratados mediante este método son el acero (incluyendo el acero galvanizado), el zinc y el



aluminio. Sin embargo, casi cualquier producto de metal puede aprovechar este tratamiento. Las causas más importantes para usar procesos de recubrimientos por conversión son: 1) se logra protección contra la corrosión; 2) se utilizan como preparación para pintura; 3) provocan una reducción del desgaste; 4) permiten que la superficie mantenga adheridos en mejores condiciones lubricantes para procesos de formado metálico; 5) aumentan la resistencia eléctrica de la superficie; 6) se logran acabados decorativos; y 7) permiten identificación de partes mediante grabados.

Los procesos de recubrimiento por conversión pueden ser:

a) Tratamientos químicos. Estos procesos operan exponiendo el metal a recubrir a ciertos productos químicos que forman películas superficiales delgadas y no metálicas. Los dos principales recubrimientos se hacen con fosfatos y cromatos. La utilización de los fosfatos implican la transformación de la superficie del metal a recubrir en una película protectora de fosfato mediante la exposición a soluciones de ciertos fosfatos; los metales a recubrir más comunes son: el zinc y el acero. El recubrimiento con cromato se adhiere al metal a recubrir en diversas formas de películas de cromatos, mediante soluciones acuosas de cromatos.

b) Anodizado u oxidación anódica. Este es un tratamiento electrolítico que produce una capa de óxido estable sobre una superficie metálica. Ver figura 1.3.

El proceso del anodizado consta, de tres etapas: a) la oxidación del metal aluminio y formación sobre su superficie de una película dura de óxido, b) la disolución del metal aluminio en el electrolito y c) el desprendimiento de oxígeno en el ánodo.

El fundamento de la anodización no es otro que el de la oxidación anódica. Este fenómeno consiste en la producción de una capa de óxido, más o menos



hidratada, en la superficie metálica sumergida en un medio electrolítico y con la intervención de una corriente eléctrica. Esta fuente exterior suele ser corriente continua, aunque, a veces, también se aplica una corriente alterna pero con una potencia mucho mayor que la utilizada en el alumbrado convencional.

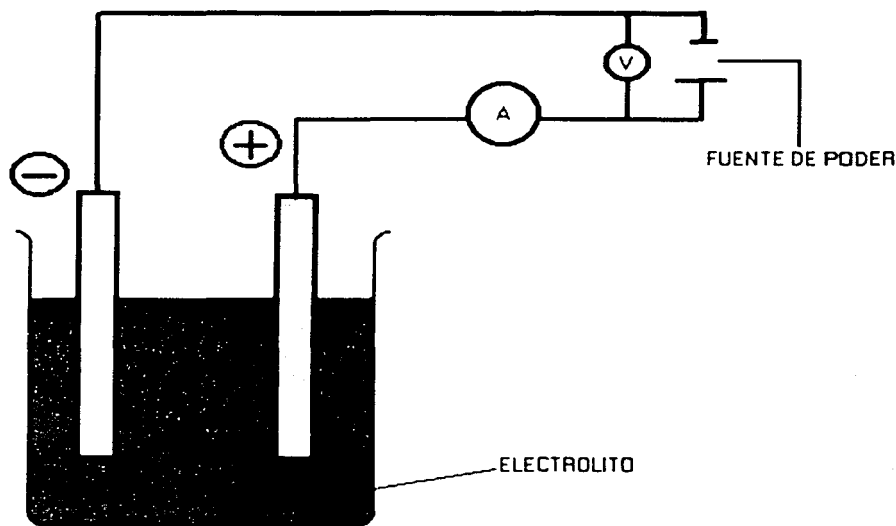


FIGURA 1.3.- REPRESENTACION ESQUEMÁTICA DE LA INSTALACIÓN PARA EL ANODIZADO.

Los factores que influyen en la calidad del anodizado dependen de la naturaleza del metal al que se aplica el proceso; del tipo del electrolito que se utiliza; y de las condiciones de trabajo tales como concentración y temperatura del electrolito, voltaje y densidad de corriente, etc.

Sus aplicaciones más comunes son sobre el aluminio y el magnesio, pero también se aplica sobre zinc y en el titanio. Este tipo de recubrimientos se usan principalmente para propósitos decorativos y protección contra la corrosión.



c) Pavonado. Este proceso consiste en recubrir el hierro con una capa de color rojizo ocre de óxido ferroso-férrico (Fe_2O_3) que protege al hierro de forma más eficiente que cualquier otro tipo de óxido de hierro. Dicho recubrimiento de óxido se forma al calentar las piezas de acero en un baño básico de sales fundidas oxidantes a la temperatura de unos 260 a 425 °C, algunas veces se emplea una base de nitrato sódico y potásico para producir un recubrimiento de color azul. Después de conservar el material inmerso durante algunos minutos, se retira para templarse en agua.

Actualmente la técnica del pavonado se limita a tres aplicaciones industriales:

- a) Acabado de piezas de acero rápido. La capa de magnetita aumenta la vida de estas piezas.
- b) Protección de piezas de acero obtenidas pulvimetalúrgicamente. Este procedimiento de conformación metálica implica existencia de porosidad residual. Y las técnicas convencionales de recubrimientos metálicos realizadas en disoluciones y sales fundidas no son aptos para este tipo de piezas, pues se introducen en los poros y después ocasionan problemas internos de corrosión. Por este motivo el acero pulvimetalúrgico se pavona en fase vapor.
- c) Acabado decorativo de piezas de artesanía.

1.5 Recubrimientos por deposición física a partir de fase vapor.

Se refiere a una familia de varios procesos en los cuales se convierte el material a su fase de vapor en una cámara de vacío y luego se condensa sobre la superficie del material a recubrir como una película muy delgada. Se usa para aplicar una amplia



variedad de materiales de recubrimiento: metales, aleaciones, cerámica, compuestos inorgánicos e incluso ciertos polímeros. Ver figura 1.4.

Los recubrimientos son películas delgadas de aluminio aplicadas con laca transparente para proporcionar un aspecto de plata o cromo. Son usados en juguetes, plumas y trofeos.

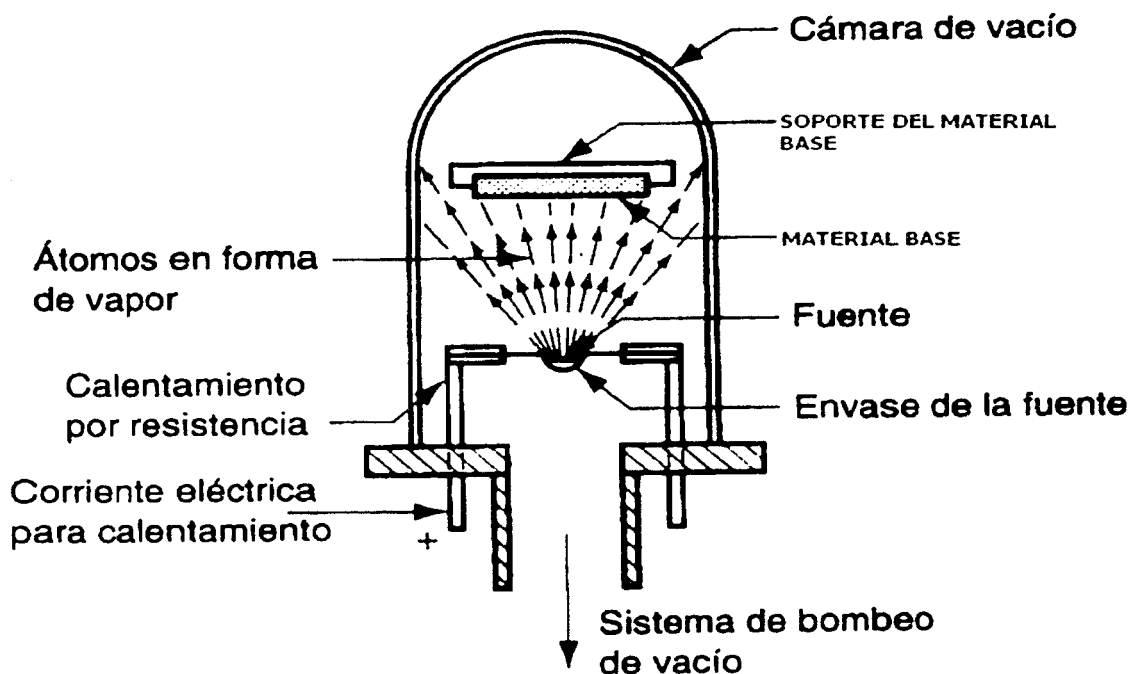


FIGURA 1.4.- INSTALACIÓN PARA LA DEPOSICIÓN FÍSICA A PARTIR DE LA FASE VAPOR POR EVAPORACIÓN AL VACÍO

Todos los procesos de deposición física a partir de una fase vapor consisten en los siguientes pasos: 1) síntesis del vapor de recubrimiento, 2) transporte del vapor al



material a recubrir y 3) condensación de los vapores sobre la superficie del material. La secuencia anterior se realiza dentro de una cámara de vacío.

La síntesis del vapor del recubrimiento se obtiene mediante diversos métodos, tales como el calentamiento por resistencia eléctrica o el bombardeo con iones para vaporizar un sólido (o líquido) existente. La deposición física a partir de una fase vapor se agrupa en tres tipos principales:

a.- Evaporación al vacío, donde el equipo es relativamente bajo en costo y es sencillo; la adhesión del recubrimiento no es tan buena como para otros procesos de deposición física del vapor. Los materiales comunes en este recubrimiento son: Ag, Al, Au, Cr, Cu, Mo y W.

b.- Bombardeo de partículas atómicas, el cual tiene una mejor adhesión del recubrimiento que el obtenido por evaporación al vacío. Es posible recubrir compuestos, con velocidades de deposición más lentas y un control de proceso más difícil. Ver figura. 1.5.

Los materiales comunes de recubrimiento son: Al_2O_3 , Au, Mo, SiO_2 , TiC.

c.- Recubrimientos iónicos, los que tienen la mejor cobertura y adhesión del recubrimiento, el control de proceso es más complejo y las velocidades de deposición más altas. Los materiales comunes de este recubrimiento son Ag, Au, Cr, Mo, Si_3N_4 y TiC.

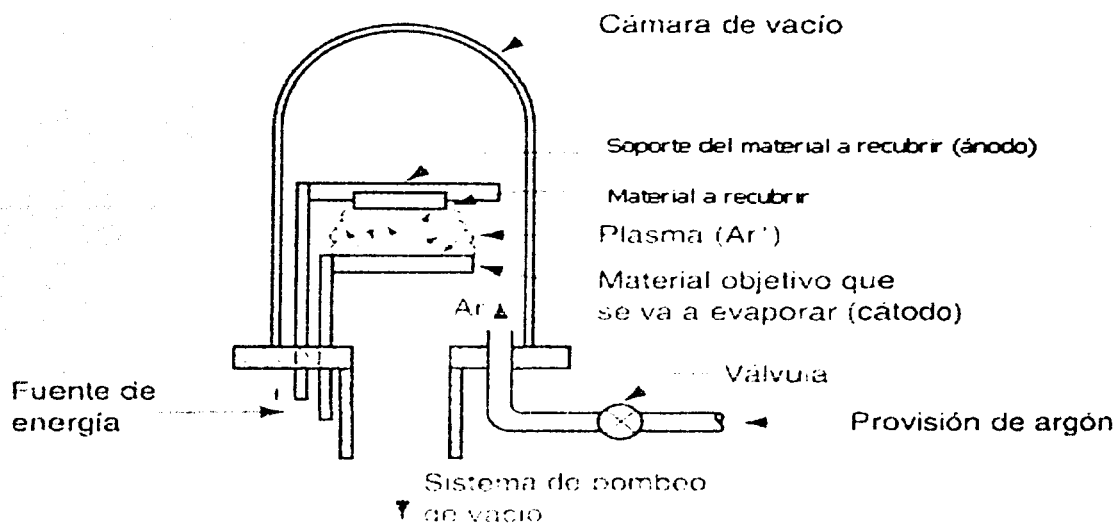
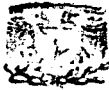


FIGURA 1.5.- UNA INSTALACIÓN POSIBLE PARA EL BOMBEO DE PARTICULAS ATÓMICAS

1.6 Deposición química a partir de fase vapor.

La deposición química a partir de la fase vapor implica la interacción entre una mezcla de gases y la superficie de un material a recubrir calentado, provocando la descomposición química de algunas de las partes del gas y la formación de una película sólida en el material. Las reacciones ocurren en una cámara sellada. El producto de la reacción (ya sea un metal o un compuesto) forma un núcleo y crece en la superficie del material para formar el recubrimiento. Casi todas las reacciones de deposición química de vapor requieren calor. Sin embargo, dependiendo de los productos químicos implicados, las reacciones pueden ser provocadas por otras fuentes de energía, tales como la luz ultravioleta o un plasma.

La deposición química del vapor incluye un amplio rango de presiones y temperaturas; y se aplica a una gran variedad de materiales de recubrimiento y de materiales a recubrir (sustrato). Ver figura 1.6.



La ventajas que se citan comunmente para la deposición química a partir de la fase vapor incluyen: 1) es posible depositar materiales refractarios a temperaturas debajo de su punto de fusión o de sinterizado, 2) es posible controlar el tamaño de grano, 3) el proceso se realiza a presión del ambiente normal (no requiere equipo de vacío) y 4) hay una buena unión del recubrimiento a la superficie del material. Las desventajas incluyen que: 1) la naturaleza corrosiva y tóxica de los productos químicos, por lo general, requiere una cámara cerrada al igual que equipo de bombeo y disposición especial; 2) ciertos ingredientes para la reacción son relativamente costosos.

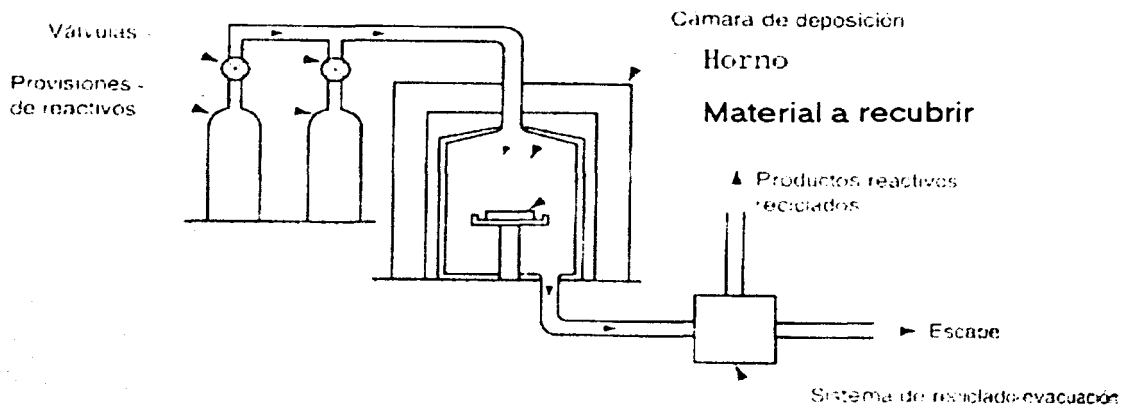


FIGURA 1.6.- UN REACTOR COMÚN USADO EN LA DEPOSICIÓN QUÍMICA DE VAPOR

Los metales convenientes para recubrimiento mediante deposición química de vapor incluyen al tungsteno, el molibdeno, el titanio, el vanadio y el tantalio. La deposición química a partir de la fase vapor es especialmente adecuada para la deposición de compuestos, tales como el óxido de aluminio (Al_2O_3), el dióxido de silicio (SiO_2), el nitruro de silicio (Si_3N_4), el carburo de titanio (TiC) y el nitruro de titanio (TiN).



Los gases o vapores reactivos que se utilizan normalmente son hidruros metálicos (MH_x), cloruros (MCL_x), fluoruros (MF_x) y carbonilos [$M(CO)_x$], en donde M es el metal que se va a depositar.

Los procesos de deposición química se realizan en un reactor, que consiste en: 1) sistema de provisión de reactivos, 2) cámara de deposición y 3) sistema de reciclado/evacuación. El sistema de provisión de reactivos incorpora reactivos para la cámara de deposición en las proporciones adecuadas. La cámara de deposición contiene los materiales y las reacciones químicas que conducen a la deposición de los productos de reacción sobre la superficie del material. En cuanto al sistema de reciclado/evacuación, su función es volver inofensivos los subproductos de la reacción de recubrimiento de la deposición química a partir de la fase vapor. Esto incluye la recolección de materiales tóxicos, corrosivos y flamables, seguida por una disposición y procesamiento adecuado.

1.7 Recubrimientos orgánicos.

Este tipo de recubrimientos son polímeros y resinas, producidos en forma natural o sintética, generalmente formulados para aplicarse como líquidos que se secan o endurecen como películas de superficie delgadas en materiales. Estos recubrimientos se aprecian por la variedad de colores y texturas posibles, su capacidad de proteger la superficie del material, su bajo costo y la facilidad con que se aplican. Aunque casi todos los recubrimientos orgánicos se aplican en forma líquida, algunos se aplican como polvos.

Las formulaciones de los recubrimientos orgánicos contienen lo siguiente:

1) Los aglutinantes, los cuales en los recubrimientos orgánicos son polímeros y resinas que determinan las propiedades del recubrimiento en el estado sólido, tales como la resina, propiedades físicas y la adhesión a la superficie del material.



2) Los tintes y pigmentos proporcionan color al recubrimiento. Los tintes son productos químicos solubles que dan color al recubrimiento líquido, pero no ocultan la superficie cuando se aplican. Los pigmentos son partículas sólidas de tamaño uniforme y microscópico que se dispersan en el líquido de recubrimiento, pero no se disuelven en él. No sólo dan color, sino también ocultan la superficie que está debajo.

3) Los solventes se usan para disolver el aglutinante y otros ingredientes que constituyen el recubrimiento líquido. Los solventes comunes usados son: hidrocarburos, alcoholes, ésteres, acetonas y solventes clorados.

4) Los aditivos en los recubrimientos orgánicos incluyen a los dispersantes, insecticidas y fungicidas. Estos ingredientes se formulan para tener una amplia variedad de recubrimientos, tales como pinturas, lacas y barnices.

Método de aplicación.- Este depende de varios factores como la composición del líquido de recubrimiento, el espesor requerido, la velocidad de producción y consideraciones de costos, tamaño de partes y requerimientos ambientales. Para cualquiera de los métodos de aplicación, es de vital importancia que la superficie se prepare en forma conveniente. Esto incluye la limpieza y el posible tratamiento de la superficie.

Los métodos disponibles para aplicar recubrimientos orgánicos líquidos incluyen el uso de la brocha y rodillos (ver figura 1.7), la aspersion, la inmersión y el recubrimiento con flujo.

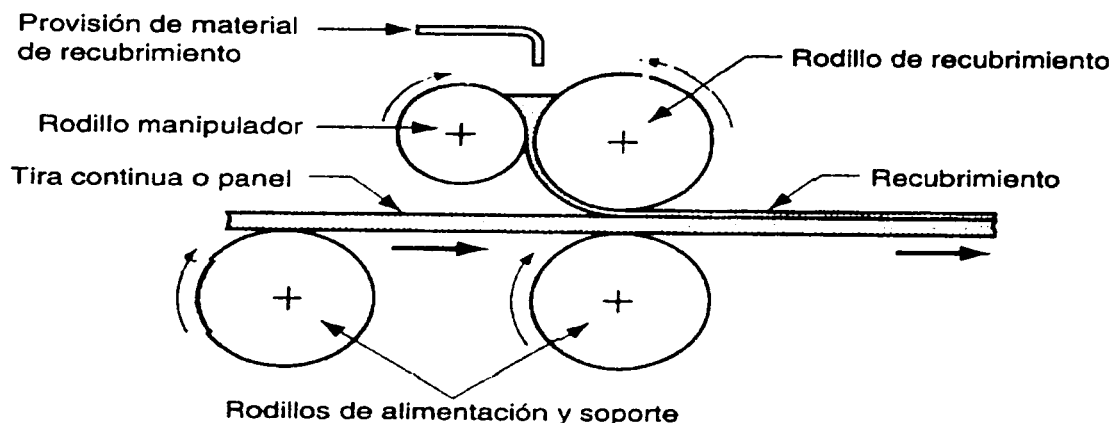


FIGURA 1.7.- MÉTODO DE RECUBRIMIENTO CON RODILLO PARA APLICAR RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS A TRAMOS CONTINUOS DE METAL U OTROS MATERIALES

1.8 Recubrimiento pulverizado.

Se aplica como partículas sólidas y secas y finamente pulverizadas que se funden en la superficie para formar una película líquida uniforme, después de lo cual se solidifican. Ver figura 1.8.

Los sistemas de recubrimientos pulverizados incluyen varias resinas que no se usan en recubrimientos orgánicos líquidos. La razón de esta diferencia es que el material para recubrimiento pulverizado es sólido a temperatura ambiente. Los recubrimientos pulverizados se clasifican como termoplásticos o termofijos. Los polvos termoplásticos comunes incluyen el cloruro de polivinilo, el nylon, el poliéster, el polietileno y el polipropileno. Los polvos para recubrimientos termofijos comunes son epóxicos, poliésteres y acrílicos.

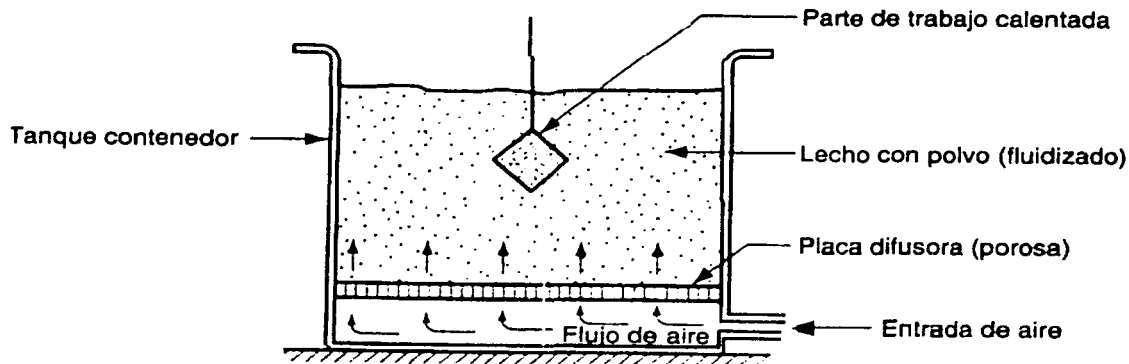


FIGURA 1.8.- LECHO FLUIDIZADO PARA LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS PULVERIZADOS

Los métodos de aplicación principales para los recubrimientos pulverizados son: 1) aspersión, donde se aplica una carga electrostática a cada partícula para atraerla a una superficie que forma una tierra eléctrica y 2) lecho fluidizado, donde se calienta con anticipación la pieza que se va a recubrir y se pasa por un lecho fluidizado que contiene polvos suspendidos mediante una corriente de aire. Estos polvos se adhieren a la superficie de la parte para formar el recubrimiento.

1.9 Proceso de recubrimiento térmico.

Los métodos de recubrimiento térmico utilizan energía térmica en diversas formas para aplicar un recubrimiento cuya función es proporcionar resistencia contra la corrosión, la erosión, el desgaste y la oxidación a altas temperaturas. Existen tres tipos diferentes de recubrimientos térmicos:

a) **Proyección térmica.** En este proceso se aplican materiales de recubrimiento fundidos y semifundidos sobre un material a recubrir (sustrato), donde se solidifican



y adhieren a la superficie. Se aplica una amplia variedad de materiales de recubrimiento; las categorías son metales puros y aleaciones metálicas; cerámicos (óxidos, carburos y ciertos vidrios); otros compuestos metálicos (sulfuros) y ciertos plásticos (nylon, teflón y otros). Los metales a recubrir incluyen metales, cerámica, vidrio, algunos plásticos, madera y papel.

La tecnología utilizada para calentar el material de recubrimiento son la flama de oxígeno y gas combustible, el arco eléctrico y el arco de plasma.

- b) **Revestimiento duro.** Es una técnica de recubrimiento en la cual se aplican aleaciones a los metales, como depósitos soldados. Lo que distingue el revestimiento duro es que ocurre una fusión entre el revestimiento y el material. Por tanto, el revestimiento duro es muy conveniente para aplicaciones que requieren buena resistencia contra el desgaste. La aplicación incluye el recubrimiento de partes nuevas y la reparación de superficies de partes usadas muy desgastadas, erosionadas, o corroídas. Una ventaja del revestimiento duro que debe mencionarse es que se realiza con facilidad fuera del ambiente de fábrica, relativamente controlado mediante muchos de los procesos de soldadura comunes.

Como técnica para soldadura, el revestimiento duro usa cualquiera de los procesos siguientes; soldadura con oxiacetileno, soldadura metálica con arco protegido, soldadura con arco sumergido, soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas, soldadura con plasma de arco y soldadura con rayo láser. Algunos materiales para recubrimiento comunes son el acero y aleaciones de hierro, las aleaciones basadas en cobalto y las basadas en níquel.



c) **Revestimiento flexible.** Éste es capaz de depositar un material de recubrimiento muy duro, tal como el carburo de tungsteno, en una superficie de un material. Esta es una ventaja importante del proceso en comparación con otros métodos, lo que permite una dureza en el recubrimiento de hasta 70 en la escala Rockwell C. Las aplicaciones incluyen los dientes de sierra de cadena, brocas de taladro para concreto, collarines de taladro en aceite, dados de extrusión y partes similares que requieren buena resistencia contra el desgaste.

1.10 Procesos de recubrimiento mecánico. Aleado mecánico.

Es un proceso de recubrimiento que no usa calor, reacción química ni energía electroquímica para realizar la deposición. En lugar de eso, se usa energía mecánica para construir un recubrimiento metálico sobre la superficie. En el aleado mecánico, se frota en un tambor las partes que se van a recubrir, junto con polvos metálicos para chapeado, partículas o perlas de vidrio y productos químicos especiales para promover la acción del recubrimiento. Los polvos metálicos son de un tamaño microscópico, 0.002 in (0.05 mm) de diámetro, en tanto que las perlas de vidrio son mucho más grandes, 0.10 in (2.54 mm) de diámetro.

Conforme se frota la mezcla, la energía mecánica del tambor rotatorio se transmite a través de las perlas de vidrio para golpear los polvos metálicos contra la superficie de la parte, provocando una unión mecánica o metalúrgica. Los metales depositados deben ser maleables para tener una unión satisfactoria con el material base. Entre los metales para chapeado están el zinc, el cadmio, el estaño y el plomo. Se recubren con mayor frecuencia los metales ferrosos; otros metales a los que se aplica el proceso son el latón y el bronce. Las aplicaciones comunes incluyen sujetadores tales como tornillos, pernos, tuercas y clavos.



1.11 Recubrimientos por inmersión en caliente.

La inmersión en caliente es un proceso en el cual un material, en este caso metálico, se sumerge en un baño fundido de un segundo metal; tras la remoción, el segundo metal recubre al primero. Los recubrimientos obtenidos por inmersión del metal en el metal protector en estado líquido alcanzan espesores relativamente grandes, que van desde 0.01 a 0.1 mm (0.00039 a 0.0039 in), con excelente adherencia. La capa de aleación se origina por difusión del metal fundido dentro del metal a proteger y está formada por un compuesto intermetálico de composición no estequiométrica metal protector-metal protegido.

El espesor del recubrimiento depende de las siguientes variables:

- 1) temperatura del metal líquido
- 2) composición del metal líquido
- 3) composición del metal a proteger
- 4) tiempo de permanencia del metal a recubrir en el metal líquido
- 5) velocidad de inmersión y de extracción
- 6) velocidad de enfriamiento del metal protector

La principal limitación de este tipo de recubrimiento es que el metal protector debe tener un punto de fusión relativamente bajo.

Los metales a recubrir más comunes son el acero y el hierro. El zinc, el aluminio, el estaño y el plomo son los metales de recubrimiento más comunes. La inmersión en caliente funciona para formar capas de transición sobre compuestos de aleación variable. Junto al material a recubrir normalmente se encuentran compuestos intermetálicos de los dos metales; en el exterior hay aleaciones de solución sólida que



consisten predominantemente del metal de recubrimiento. Las zonas de transición proporcionan una excelente adhesión del recubrimiento.

Normalmente operan dos mecanismos para proporcionar esta protección: a) protección de barrera, para la cual el recubrimiento simplemente funciona como un escudo para el metal que está debajo, y b) protección de sacrificio, en la cual el recubrimiento simplemente se corroe mediante un proceso electroquímico para preservar el metal.

La inmersión en caliente recibe diferentes nombres, dependiendo del metal para recubrimiento:

- a) Galvanización en caliente o galvanizado, con sus diferentes procedimientos fundamentales que son galvanización por vía seca y galvanización por vía húmeda, en el que el metal para el recubrimiento es el zinc sobre acero o hierro;
- b) Aluminizado por inmersión en caliente se refiere al recubrimiento de aluminio (Al) sobre un material (hierro), a una temperatura comprendida entre 700 y 900 °C, durante un tiempo no superior a algunos minutos.
- c) Estañado, el recubrimiento con estaño (Sn),
- d) Terneplate con plomo y estaño, describe el chapeado de una aleación de estaño sobre acero.

a) **La galvanización o el galvanizado** es, por mucho, el más importante de los procesos por inmersión en caliente. Es un proceso mediante el cual se obtienen recubrimientos de zinc, sobre acero o hierro, por inmersión en un baño de zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450 °C.

El galvanizado es el resultado de un proceso físico-químico que consigue una verdadera unión entre el hierro y el zinc, debido a la aplicación de la deformación



plástica que se le puede adjudicar, además de conseguir que el material férreo adquiriera unas propiedades superficiales equivalentes a las del zinc, lo que conjunta una mejor resistencia frente a determinados medios corrosivos con las características mecánicas del material base.

El propósito principal de la inmersión en caliente es la protección ante la corrosión.

Se aplica para dar acabado a partes de acero y hierro en un proceso por lotes, así como láminas, tiras, tuberías, conductos y alambre en un proceso automatizado continuo, acero estructural para plantas generadoras de energía, plantas petroquímicas, intercambiadores de calor, anillos refrigerantes, torres de transmisión eléctrica, miembros de puentes estructurales, alcantarillas, tubería de acero corrugado, reforzamiento de acero para torres de enfriamiento, concreto prefundido arquitectónico y puentes expuestos a cloruros. Comúnmente, el grosor del recubrimiento varía entre 0.0016 y 0.0035 in (0.04 y 0.09 mm). El espesor de capa se controla principalmente mediante el tiempo de inmersión. La temperatura del baño se mantiene alrededor de 850 °F (450 °C).

a.1) Galvanización por vía seca.

El proceso de galvanización por vía seca presenta una evolución desde el proceso primitivo, consiste en sumergir las piezas en el baño de zinc, tal como venían del baño de decapado, sin más precaución que un simple secado. Este proceso se conoce como proceso antiguo.



El procedimiento seco moderno supone la introducción de un lavado con agua, un tratamiento con "flujo"², antes de introducir la pieza en el baño de zinc. El "flujo" es, generalmente, una mezcla de cloruro de zinc y de cloruro amónico, cuya finalidad es limpiar la superficie del metal a galvanizar y proteger la masa de zinc fundido del contacto con la atmósfera.

Con el método antiguo se origina gran cantidad de matas (sustancia metálica sulfurosa que resulta de la primera fusión de un óxido tratado y depurado insuficientemente), puesto que las piezas, al salir del baño de decapado, van cubiertas de sales de hierro que, al reaccionar con el zinc-hierro que contienen, aproximadamente, una parte de hierro por veinticuatro de zinc, sólidos a la temperatura de galvanización, se evitan en el proceso moderno al introducir el lavado con agua.

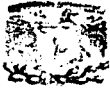
a.2) Galvanización por vía húmeda.

En este procedimiento, el baño de zinc se encuentra cubierto por una capa de "flujo" fundido, que flota sobre el zinc líquido. La inmersión de los materiales a tratar tiene lugar pasando a través de la capa de "flujo". La operación de extracción puede hacerse retirando la capa de "flujo", o bien volviendo a pasar por ella. En este último caso, hay que proceder inmediatamente a un lavado con agua, para eliminar el "flujo" adherido.

Esta capa de "flujo" ofrece una serie de ventajas sobre el procedimiento seco, como son:

- Evita la etapa de secado después del decapado o del tratamiento con "flujo". Si la superficie quedara húmeda se originarían proyecciones al

² Estamos dando el nombre de flujo a la cubierta que se genera durante la operación de fluxado.



sumergir la pieza en el baño de zinc, lo que provocaría accidentes y daría lugar a superficies irregulares.

- Ayuda al escurrido de zinc, si la pieza se extrae a través de la capa de "flujo".
- Reduce la oxidación de la superficie del baño de zinc y disminuye la formación de cenizas. Las cenizas son mezclas de zinc metálico y óxido de zinc, que se producen al oxidarse la superficie del baño.
- Ejerce una acción de equilibrante térmico de las piezas al ayudar al precalentamiento y evitando el sobrecalentamiento. Esta acción previene deformaciones por cambios bruscos de temperatura, si bien la capa debe ser bastante gruesa.

La cubierta de "flujo" debe ser perfectamente fluida para mantener contacto con las piezas al entrar y salir del baño. La fluidez va disminuyendo con la progresiva utilización de la capa, debido principalmente a la formación de compuestos con un mayor punto de fusión.

La calidad del recubrimiento obtenido en la galvanización, suponiendo que el material esté convenientemente preparado, depende de tres factores:

- La calidad del zinc y los elementos del baño.
- La temperatura del baño.
- La velocidad de extracción.

La temperatura de trabajo debe ser la mínima posible. En la práctica se escoge la que permita un buen escurrido del zinc en el proceso de extracción. La temperatura mas generalizada oscila alrededor de los 450 °C, satisfactoria para la gran mayoría de los materiales que se galvanizan en la práctica.



La temperatura baja disminuye la formación de óxidos y cenizas, alarga la vida del crisol y economiza combustible y zinc, ya que el espesor de la capa aumenta con la temperatura. Si la temperatura sobrepasa los 490 °C se produce una pérdida de adherencia de la capa de aleación y hay un ataque continuo del metal base por el zinc del baño, con lo que aumenta la cantidad de óxidos. La prevención contra esta temperatura es de particular interés en las paredes y fondo del crisol, por el grave riesgo de rotura que significa la reducción del espesor de las paredes.

El tiempo de inmersión para la gran mayoría de los materiales es relativamente corto, del orden de unos pocos minutos. Como norma de tipo práctico, se deja sumergida la pieza hasta que cesa la agitación del baño, extrayéndose sin más demora.

La introducción de las piezas en el baño debe hacerse lo más rápidamente posible, en especial si se emplea el método húmedo, ya que la cantidad de óxidos aumenta con el tiempo de contacto con la cubierta de flujo. Si se trata de piezas de grandes dimensiones, donde haya diferencia considerable en el tiempo de inmersión entre las paredes extremas, la velocidad de inmersión influye en la uniformidad del recubrimiento.

Por el contrario, la extracción de la pieza debe hacerse lo más lentamente posible, para que el zinc sin alear forme una capa uniforme. Esto se consigue utilizando una velocidad que no sobrepase la del escurrido del zinc. A velocidades superiores, el exceso de zinc arrastrado fuera del baño se extiende irregularmente sobre la superficie de la pieza. Esta distribución irregular desfavorece el acabado superficial y no mejora la resistencia a la corrosión ni la duración del recubrimiento, que vendrán determinados por el espesor en una parte mínima.

Utilizando la vía húmeda, hay dos maneras de extraer los materiales del baño: apartando la cubierta del flujo, o pasando a través de la misma. El objetivo de la



primera es evitar la contaminación con el flujo. No obstante, la extracción a través de la cubierta de flujo ayuda al escurrido del zinc y permite obtener recubrimientos más uniformes con velocidades de extracción más elevadas. De cualquier manera, la extracción a través de la cubierta sólo es posible si las piezas son susceptibles de experimentar un lavado inmediato, por inmersión en agua, con el correspondiente enfriamiento brusco. El lavado es para eliminar el flujo, y, así contribuir a evitar el crecimiento de la capa de aleación y, en consecuencia, una apariencia gris. Normalmente, las piezas lavadas conservan color suficiente para secar rápidamente.

La técnica de galvanización se puede llevar a cabo, como todos los procedimientos de obtención de recubrimientos por inmersión en caliente, de manera continua o de manera discontinua. En la figura 1.9 se representan las etapas de la galvanización en discontinuo, en la figura 1.10 se aprecia el esquema de una instalación de recubrimiento por inmersión en caliente en continuo y en la figura 1.11 se representa el ensayo para determinar la adherencia de los recubrimientos de acero galvanizado.

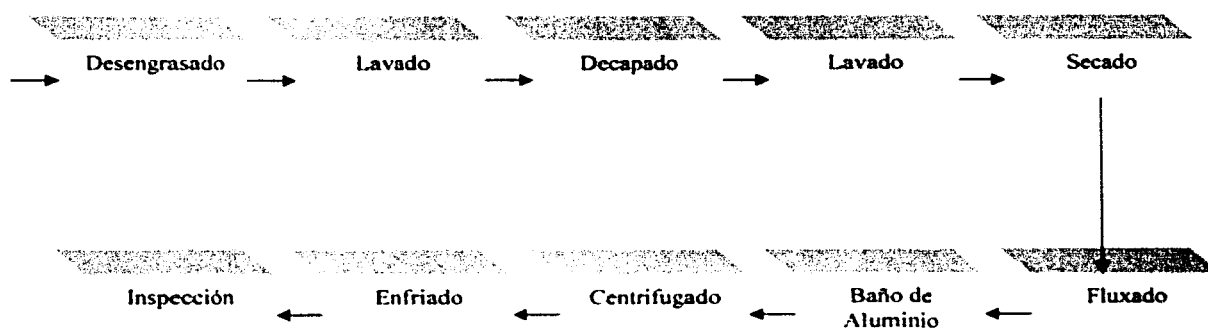


FIGURA 1.9.- ETAPAS DE LA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE EN DISCONTINUO.

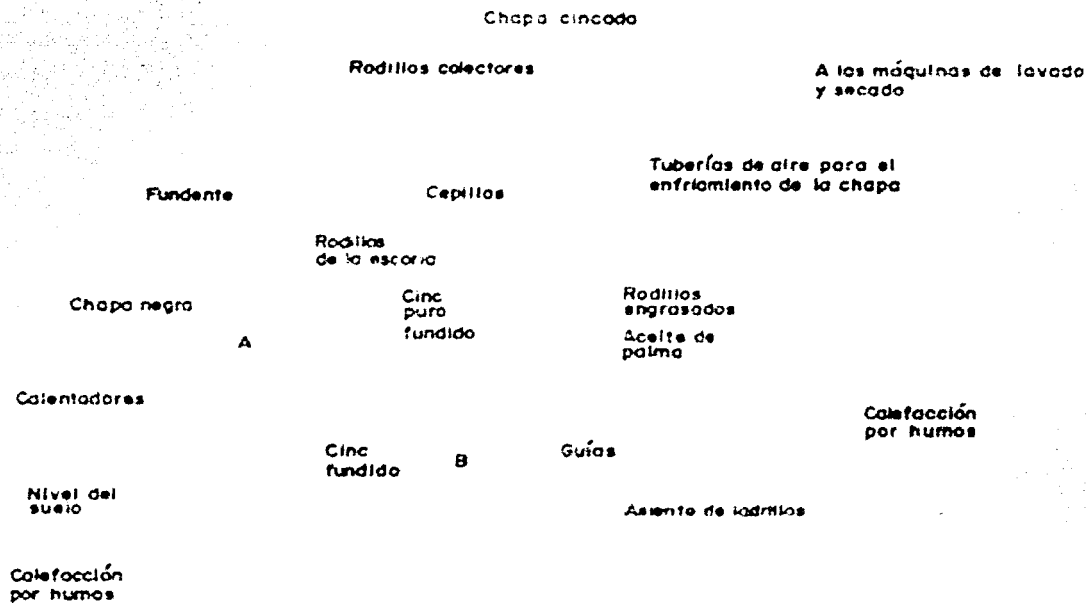
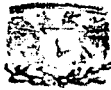


FIGURA 1.10.- INSTALACIÓN AUTOMÁTICA DE RECUBRIMIENTO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN CONTINUO.

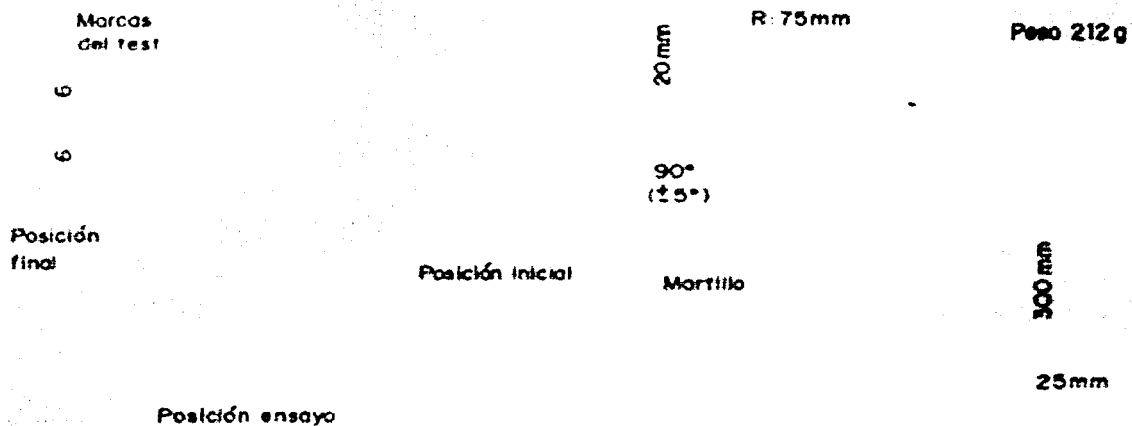


FIGURA 1.11.- ENSAYO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS DE ACERO GALVANIZADO.



- b) **La aluminización por inmersión en caliente** es un procedimiento mediante el cual se obtienen recubrimientos de aluminio sobre hierro, por inmersión en baño de aluminio fundido, a una temperatura comprendida entre 700 y 900 °C, durante un periodo corto de tiempo.

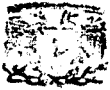
El aluminizado es el resultado de un proceso físico-químico que consigue una verdadera unión entre el hierro base y el aluminio, logrando de este modo que el material férreo adquiera unas propiedades superficiales equivalentes a las del aluminio, con lo cual se logra reunir una buena resistencia frente a determinados medios corrosivos con buenas características mecánicas del material base.

La tecnología de la aluminización por inmersión en caliente, presenta un amplio espectro de aplicaciones industriales gracias a la buena resistencia a la corrosión de los recubrimientos de aluminio obtenidos por difusión y la posibilidad de combinar, simultáneamente, el recubrimiento de los productos con su tratamiento térmico durante el proceso de aluminizado.

El uso comercial del aluminizado por inmersión en caliente va en aumento y cada vez comparte más el mercado con el galvanizado. Los recubrimientos por inmersión en caliente del aluminio proporcionan una excelente protección contra la corrosión, en algunos casos 5 veces más eficaz que el galvanizado.

La preparación superficial convencional se completa con el Fluxado. El Fluxado consiste en la inmersión de las piezas a tratar en un baño de sales fundidas. En general, el fundente se emplea como agente activante de la superficie del metal a proteger cuando la pieza se introduce en el baño de metal fundido.

Después de sacar las piezas del baño de Fluxado se introducen en el baño de aluminio líquido. Durante el periodo de inmersión las piezas se suben y bajan



algunas veces, para eliminar el aire que haya podido quedar atrapado y para asegurarse de que el aluminio líquido entra en contacto con la totalidad de la superficie de la pieza.

- c) **El estañado** La deposición con estaño mediante inmersión en caliente proporciona una protección contra la corrosión no tóxica para el acero, en aplicaciones para envases de alimentos, equipos para lácteos y aplicación de soldadura blanda.

- d) **El terneplate** involucra la inmersión en caliente en una aleación de plomo-estaño sobre acero, la aleación es predominantemente de plomo (solo del 2 al 15 % es Sn); sin embargo, se requiere estaño para obtener la adhesión satisfactoria del recubrimiento. La deposición con plomo y estaño es el método de recubrimiento de menor costo para el acero, pero su protección contra la corrosión es limitada.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES SOBRE ZINALCO



2. GENERALIDADES SOBRE ZINALCO.

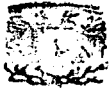
2.1. ANTECEDENTES.

En 1978 se inició en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, un programa de investigación, auspiciado por la Organización de Estados Unidos Americanos (OEA), sobre el zinc y sus aleaciones, con el objeto de desarrollar nuevos campos de aplicación para este metal, del cual México es un importante productor a nivel mundial, y con el propósito de evitar su desplazamiento por los plásticos y el aluminio. Los resultados de las investigaciones condujeron al desarrollo de la aleación denominada zinalco, la cual, además de tener aplicaciones en la rama de la fundición, también puede incursionar en el campo de la extrusión, en el de la forja y en el de la laminación, entre otros.

Para obtener el zinalco, el doctor Gabriel Torres Villaseñor y su grupo de trabajo, del Departamento de Metalurgia y Cerámicos del mencionado Instituto, realizaron investigaciones por alrededor de ocho años.

Hoy, su aporte bien puede considerarse desde una doble perspectiva: la utilidad del material descubierto que, por sus propiedades y características, es apto para utilizarlo en la fabricación de una amplia gama de productos, mediante procesos convencionales de transformación y en segundo lugar la posibilidad de emplearlo como material de recubrimiento de otros metales, la ventaja, en ambos casos, que representa para el país una aleación cuyo principal componente es el zinc, metal del que México, como ya se apuntó es importante productor.

Esto permite que el zinalco resulte altamente competitivo, en comparación con aleaciones de cobre, aceros inoxidable y latones, según se explica en un informe del



grupo Falmex-Galvotec, única empresa que decidió arriesgar su capital en un proyecto conjunto con la UNAM, encaminado a ensayar las aplicaciones del zinalco en la industrial.

Como resultado de las investigaciones del IIM de la UNAM, en 1984 el grupo Falmex-Galvotec inició el desarrollo industrial de esta nueva aleación.

En principio se eligió la composición del eutectoide zinc-aluminio cuyas propiedades permitían prever su aplicación en la industria de la construcción donde, antes que el peso, los factores importantes son la resistencia a la corrosión y la presentación estética.

Los científicos del IIM encontraron que, combinado con el aluminio, la densidad del zinc bajaba hasta hacerlo 35% más ligero que el hierro y el acero. Adicionalmente, las pruebas mostraron que el material desarrolla un óxido protector que impide su posterior oxidación. Este comportamiento, similar al que presentan las aleaciones de aluminio, asegura su utilización en diseños arquitectónicos expuestos a la intemperie, como ventanas y perfiles.

Por otro lado, la presencia del cobre en la aleación también tuvo sus efectos: las propiedades mecánicas de la aleación se ven sensiblemente mejoradas con la adición de dicho elemento, ya que tanto su dureza como su esfuerzo de cedencia en compresión se ven aumentados.

El zinalco es básicamente la aleación eutectoide zinc-aluminio, ver figura 2.1 modificada con cobre; conjuga la alta resistencia mecánica del acero estructural con la resistencia a la corrosión del aluminio. Es decir, incorpora en sí mismo las mejores propiedades de los materiales más utilizados por la industria mundial.



Básicamente, el zinalco tiene una microestructura compuesta de dos fases; la fase alfa (α), es aluminio con menos del 1% del zinc disuelto y la fase beta (β) es zinc con menos del 0.5% de aluminio disuelto y en ambas fases hay una cierta cantidad de cobre, no bien determinada, que también se encuentra en solución. La forma geométrica que toman estas fases depende de la trayectoria seguida durante el enfriamiento a partir de una temperatura superior a 280 °C pero inferior a 420 °C, que es la región en donde el zinalco adquiere una estructura atómica idéntica a la del aluminio (cúbica de cara centrada). Ver figura 2.1.

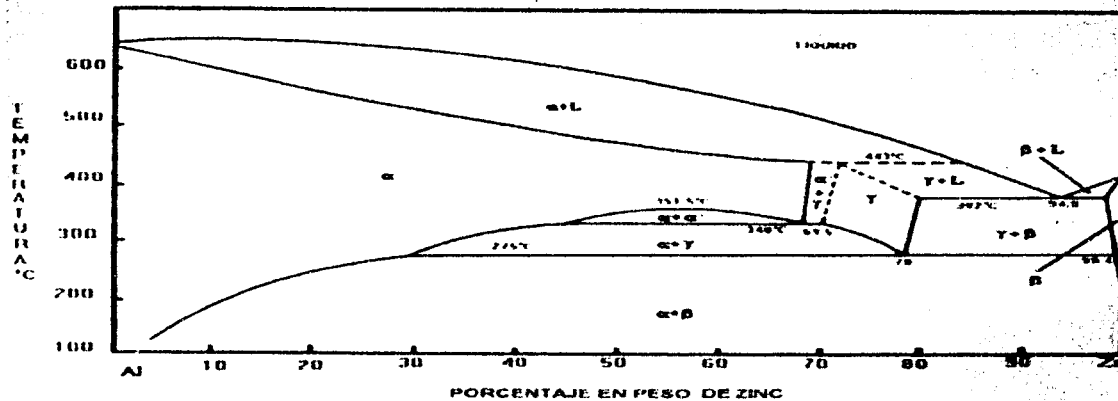


FIGURA 2.1.- DIAGRAMA DE FASE Al-Zn

Si se enfría rápidamente, la estructura resultante está formada por granos muy finos de fase alfa y beta, mientras que si se enfría lentamente las fases alfa y beta se arreglan en forma de láminas alternadas dando una estructura perlítica similar a la observada en los aceros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2.2. PROPIEDADES DEL ZINALCO

2.2.1 Propiedades físicas

Las principales propiedades físicas se muestran en la tabla 2.1. Como podemos notar, la aleación tiene un intervalo de solidificación bastante amplio que va de 421 °C a 481°C, lo que permite inyectar el material en los moldes en un estado semilíquido que produce una menor contracción durante la solidificación.

Temperatura de fusión	421 a 481 °C
Densidad	5.4 g/cm ³
Modulo elástico	110-130 Gpa
Conductividad eléctrica	37 %
Conductividad térmica	37 %
Coefficiente de expansión térmica	25 mm/mm °K
Color	Blanco grisáceo

TABLA 2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ZINALCO

El bajo punto de fusión de esta aleación, en comparación con el aluminio, latón, bronce o hierro de fundición, nos permite ahorros considerables de energía. La figura 2.2 nos da una idea del consumo de energía requerida para fundir el zinalco, el hierro, el bronce y el aluminio. Podemos notar que el zinalco requiere de 150 Wh/ Kg.

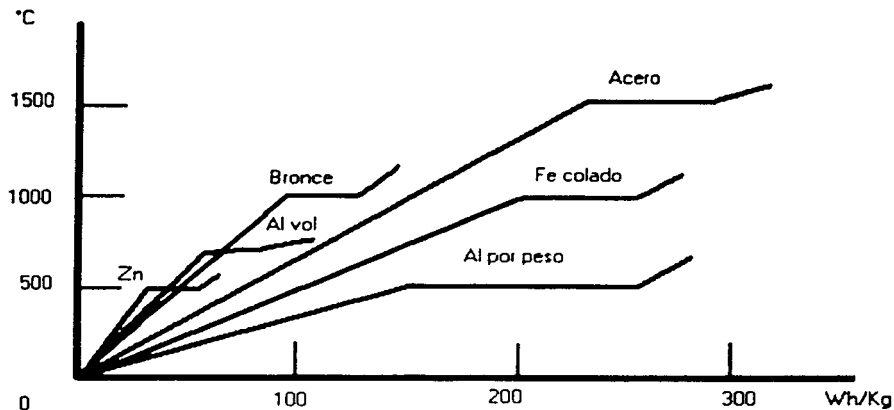


FIGURA 2.2.- CANTIDAD DE ENERGIA USADA PARA FUNDIR 1 KG DE DIFERENTES METALES

El zinalco funde el doble de rapidez que el aluminio y tres veces más rápido que el bronce. La densidad de la aleación la coloca en una posición intermedia entre el acero y el aluminio, comparativamente es 18% más ligera que el zamak (que es la aleación más conocida del zinc para fundición), 30% más ligera que el hierro de fundición y 40% más ligera que el latón y pesa el doble que el aluminio. Su coeficiente de expansión térmica, que reviste importancia en situaciones como ajustes de ventanas o fundiciones de precisión, es muy similar al del aluminio.

2.2.2. Propiedades mecánicas.

Las propiedades del zinalco dependen de su microestructura, que es una mezcla de dos fases, una alfa, rica en aluminio y otra beta, rica en zinc. (Ver figura 2.1). Esta estructura bifásica no desaparece con tratamientos térmicos, tan sólo cambia de geometría. Un enfriamiento lento desde 300 °C nos produce una estructura perlítica similar a la del acero. El enfriamiento rápido desde la misma temperatura nos produce una estructura de granos finos equiaxiales. Esta microestructura de dos fases tiene una energía de cohesión relativamente baja que provoca que el mecanismo de deformación



sea por deslizamiento de una fase sobre otra, sin sufrir deformación plástica alguna de las fases.

Este mecanismo, que en los metales comunes se observa sólo cerca de su punto de fusión, es el mecanismo con el cual el zinalco se deforma a temperatura ambiente. Ésto da como resultado una serie de fenómenos muy singulares, como el de no sufrir endurecimiento por deformación, efecto que es común en todos los metales. En esta forma, las curvas de esfuerzo-deformación, presentan un esfuerzo de cedencia muy definido.

La temperatura tiene un gran efecto sobre las propiedades mecánicas, ya que la fuerza de cohesión que une los granos del material decae muy rápidamente con la temperatura. Esto se traduce en una fuerte disminución del esfuerzo de tracción y al mismo tiempo en un impresionante aumento de la ductilidad. Este comportamiento limita sus aplicaciones a aquellas en las que la temperatura de trabajo, no sobrepase los 100 °C.

Las diferentes microestructuras que se pueden inducir al zinalco proporcionan una amplia gama de propiedades mecánicas, las cuales se han resumido en la tabla 2.2, en la que aparecen los dos tipos de zinalco.

El zinalco II, tiene una resistencia mecánica superior a la versión uno y no pierde sus propiedades mecánicas tan rápidamente con la temperatura pudiéndose extender su temperatura de trabajo hasta los 150 °C. Esta variante del zinalco fue diseñada especialmente para usarse en fundición.



PROPIEDADES MECÁNICAS

Zinalco I.

	Fundición en arena	Fundición inyección	Extruido 270-300 °C	Laminado
Resistencia a la Tensión (Mpa)	290-300	310-320	380-410	270-290
Esfuerzo de Cedencia (Mpa)	280-300	290-310	280-320	300-310
Deformación Máxima (%)	3-5	8-10	30-35	80-100
Dureza (R. B)	50-55	60-65	40-55	25-30

Zinalco II.

	Fundición en arena	Fundición inyección
Resistencia a la tensión (Mpa)	350-390	400-420
Límite elástico (Mpa)	260-270	340-370
Deformación máxima (%)	5-8	6-10
Dureza (R.B)	65-80	55-70

TABLA 2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ZINALCO.

El módulo elástico del zinalco, medido a partir de la pendiente de la curva esfuerzo-deformación está entre 110 y 130 GPa.

El mecanismo utilizado para aumentar la resistencia fue el de añadir elementos que se segreguen en las fronteras de grano como el silicio, el magnesio, o el calcio; con lo cual el deslizamiento de un grano sobre otro se verá impedido de ocurrir fácilmente produciendo endurecimiento en el material.

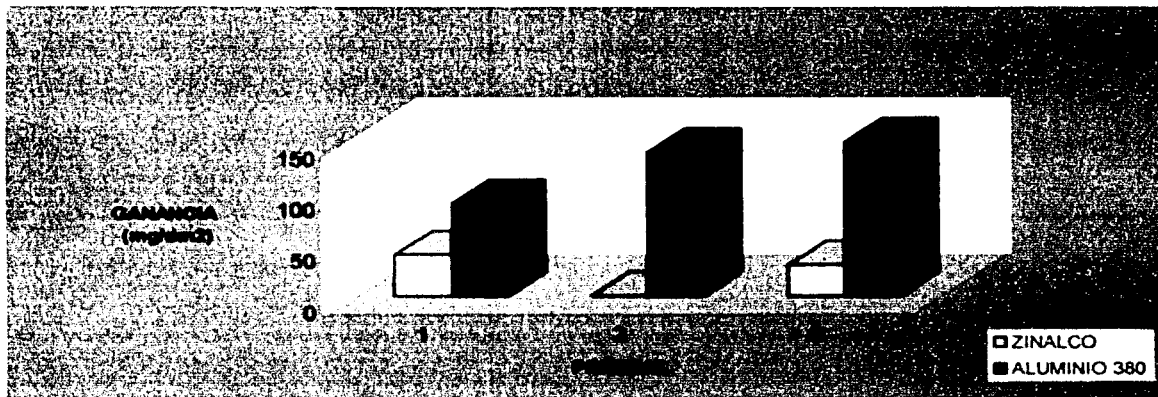


El material que resulta de la extrusión es el que mejores propiedades adquiere, ya que reúne alta resistencia (410 MPa) con alta ductilidad (40 %) a temperatura ambiente y una dureza intermedia de 40 Rockwell B, que le da una maquinabilidad semejante a la del duraluminio.

La lámina es muy blanda y de muy alta ductilidad, con propiedades superplásticas, es decir, se pueden termoformar como si fuera plástico y al mismo tiempo puede adquirir una apropiada dureza (55 rockwell B), a través de tratamientos térmicos apropiados.

2.3 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

La resistencia a la corrosión del zinalco es una de sus propiedades mas atractivas ya que superó a la que presentan los productos galvanizados, además de aceptar recubrimientos protectores por anodizado o inmersión en baños de cromato. La aleación también puede ser pintada siempre y cuando la superficie esté totalmente limpia.



- PRUEBAS:
- 1) Humedad 100%, temperatura 50°C, 1000 hrs.
 - 2) 100% de humedad + 100 ppm de SO₂
 - 3) Ambiente salino

GRAFICA 2.1 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EN DIVERSOS MEDIOS PARA EL ZINALCO Y LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 380



La gráfica 2.1 nos muestra el efecto de tres diferentes medios corrosivos sobre la aleación aluminio 380 y zinalco. Los efectos son medidos a través de los cambios de peso que sufre una muestra con un decímetro cuadrado de área. En todos los casos, el aluminio 380 sufrió un ataque mayor ante el SO_2 en el ambiente, el zinalco presenta una clara pasivación, mientras que el aluminio 380 sufre un severo ataque.

Los electrodepósitos de cobre-níquel-cromo son otras posibilidades de dar acabados a esta aleación, con la ventaja de que la adherencia que tiene esta aleación a los electrodepósitos es superior a la que presenta el zinc puro o los plásticos.

La película protectora está formada principalmente de alúmina, es decir, el aluminio contenido en la aleación hace el papel del cromo en el acero inoxidable. La capa así formada alcanza un espesor de 1 mm, lo que es suficiente para mantener el brillo y el color natural de la aleación, aunque esté expuesta a medios tan severos como la atmósfera de la Ciudad de México.

Experimentos realizados en la Facultad de Química de la UNAM, han demostrado que el zinalco resiste mejor la corrosión que el aluminio en la Ciudad de México.

Las pruebas realizadas en cámaras salinas muestran que después de 10 horas aparecen depósitos blancos localizados en ciertas zonas de la superficie. El cambio de color se debe a la formación de una película de óxidos protectores que protegen al material. Los depósitos blancos se originan en impurezas especialmente compuestas de hierro-aluminio.

El nivel de corrosión observado no es particularmente severo, en comparación con el sufrido por otros materiales comunmente usados en aplicaciones ingenieriles.



Dentro de los procesos de transformación empleados para el zinalco tenemos los siguientes:

FUNDICIÓN.- Utilizando los procesos por molde de arena, molde permanente por gravedad o por inyección a baja presión, sustituye al hierro gris, al aluminio, al bronce y al latón.

INYECCIÓN.- El zinalco es el único material en el mercado que, contando con una resistencia similar a la del acero, se puede inyectar, permitiendo de esta manera la fabricación de piezas elaboradas en otros materiales, y eliminando pasos de transformación y ensamble.

EXTRUSIÓN.- No requiere de instalaciones especiales, pudiéndose utilizar los mismos equipos empleados para extruir aluminio, las barras y las soleras constituyen un material inmejorable por su excelente maquinabilidad.

LAMINACIÓN.- La principal cualidad que presenta la lámina de zinalco es su resistencia a la corrosión, así como la posibilidad de deformarse utilizando la propiedad de ser superplástico.

2.4 CAMPOS DE APLICACIÓN

Las características físico-químicas del zinalco lo hacen apto para la fabricación de una amplia gama de productos mediante procesos convencionales de transformación.

El uso del zinalco representa una alternativa para la fabricación de piezas en las que tradicionalmente se ha utilizado zamak, aluminio, bronce, latón, hierro gris e incluso acero.



La introducción del zinalco al mercado no ha sido fácil. Se ha logrado hacer eficiente la producción del zinalco industrialmente. Y eso no solo incluye la producción del lingote. Deben resolverse los problemas que presenta durante los procesos de fundición, inyección y extrusión.

En la tabla 2.3 se muestra las características y propiedades del zinalco con la de otros materiales.

Las áreas de aplicación de éste material empiezan a crecer rápidamente reemplazando al hierro, bronce, aluminio y plástico.

Algunos ejemplos de piezas producidas con zinalco son:

Las punteras negativas para el sistema de transporte colectivo. Como esas piezas friccionan contra los rieles su desgaste obliga a cambiarlas constantemente. Antes se fabricaban con una aleación de cobre muy cara. La pieza de zinalco es 30% más económica y con ella se surte el 50% del consumo total. Así el metro logra un ahorro anual cercano a \$400,000 pesos aproximadamente.

El metro de Guadalajara sustituyó los boletos de cinta magnética con fichas de zinalco inyectadas a presión.

Toyota, el fabricante de automóviles más grande del mundo, está por concretar la posibilidad del uso del zinalco en la producción de piezas automotrices; se habló de rines de zinalco y, a largo plazo, quizás todas las carrocerías de los coches.

La maquinabilidad del zinalco es excelente, esta propiedad le permite encontrar una gran variedad de aplicaciones, como la correspondiente a diseños para portamuestras de microscopios electrónicos, en el cual también juega un papel importante su baja

Material Propiedad	Zinalco I				Zinalco II		Zamak 5	Aluminio 380	Latón	Bronce	Hierro Gris
Tipo de moldeo	Fundición en arena	Fundición por inyección	Extruido	Laminado	Fundición en arena	Fundición por inyección	Fundición por inyección	Fundición por inyección	Fundición en arena	Fundición en arena	Fundición en arena
Densidad (gr/cm ³)	5.4				5.4		6.7	2.74	8.5	8.68	7.4
Punto de Fusión (°C)	421-481				421-481		380-386	540-586	925-940	762-428	1232
Coefficiente de expansión térmica (1/K)	26				26		26.9	21.8	20	18.5	11.9
Conductividad térmica (W/m ² K)	126				126		132	96	90	47	ND
Conductividad eléctrica (% I.A.C.S.)	38				38		26	27	20	10	6
Resistencia a la tensión (MPa)	290-300	310-320	380-410	270-290	350-390	400-420	280-330	324	230	240	214
Esfuerzo de cedencia (MPa)	280-300	310-320	280-320	300-310	260-270	340-370	ND	158	117	124	124
Deformación máxima (%)	3-5	8-10	30-35	80-100	5-8	6-10	7	3.5	30	20	2
Dureza (Rb)	50-55	60-65	40-56	25-30	65-80	55-70	80-85	80-85	60	65	210
Resistencia al impacto (J)	2-3	2-3	7-8	8-9	2-3	2-3	50-60	2-3	15	15	54-88
Módulo de elasticidad (GPa)	110-130				110-130		ND	71	90	80	172

92

TABLA 2.3 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ZINALCO Y DIVERSOS MATERIALES

Material Propiedad	Zinalco I				Zinalco II		Zamak 5	Aluminio 380	Latón	Bronce	Hierro Gris
Tipo de moldeo	Fundición en arena	Fundición por inyección	Extruido	Laminado	Fundición en arena	Fundición por inyección	Fundición por inyección	Fundición por inyección	Fundición en arena	Fundición en arena	Fundición en arena
Densidad (gr/cm ³)	5.4				5.4		6.7	2.74	8.5	8.88	7.4
Punto de Fusión (°C)	421-481				421-481		380-386	540-586	925-940	762-428	1232
Coefficiente de expansión térmica (1/K)	26				26		26.9	21.8	20	18.5	11.9
Conductividad térmica (W/m ² K)	126				126		132	96	90	47	ND
Conductividad eléctrica (% I.A.C.S.)	38				38		26	27	20	10	6
Resistencia a la tensión (MPa)	290-300	310-320	380-410	270-290	350-390	400-420	280-330	324	230	240	214
Esfuerzo de cedencia (MPa)	280-300	310-320	280-320	300-310	260-270	340-370	ND	158	117	124	124
Deformación máxima (%)	3-5	8-10	30-35	80-100	5-8	6-10	7	3.5	30	20	2
Dureza (Rb)	50-55	60-65	40-56	25-30	65-80	55-70	80-85	80-85	60	65	210
Resistencia al impacto (J)	2-3	2-3	7-8	8-9	2-3	2-3	50-60	2-3	15	15	54-88
Módulo de elasticidad (GPa)	110-130				110-130		ND	71	90	80	172

TABLA 2.3 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL ZINALCO Y DIVERSOS MATERIALES



resistencia eléctrica. Los tornillos fabricados con esta aleación tendrán la propiedad de alta resistencia a la corrosión y no formar par eléctrico ni con aluminio ni con el acero, pudiéndose usar tanto en torres eléctricas como en el ensamble de ventanas.

La posibilidad de producir perfiles arquitectónicos con zinalco abre una nueva perspectiva a la arquitectura e ingeniería ya que estos perfiles tienen alta resistencia mecánica, pueden ser soldados para la fabricación de naves para bodegas o nuevas formas de ventanas. La lámina en su estado normal podría aplicarse a la fabricación de muebles de cocina, con la ventaja de resistir la corrosión.

Sin duda, el nuevo material indujo mejores y más económicas tecnologías en la industria de la construcción, instalaciones eléctricas, cerrajerías, arquitectura, transporte colectivo y auto partes.

En forma general mencionaremos algunas ventajas de esta nueva aleación:

- A) Requiere una energía baja para ser procesado, de hecho la extrusión, la forja y la fundición consumen menos energía que cualquier otro metal de uso ingenieril.
- B) Alto grado de limpieza en su proceso de elaboración al grado de no requerir equipo anticontaminante.
- C) Insuperable colabilidad, mejor aún que el aluminio y el bronce.
- D) Buena resistencia mecánica, comparable a la de un acero de bajo carbono.
- E) Menor costo que el bronce. Su alta resistencia mecánica permite diseñar piezas más delgadas que pueden abatir el precio del aluminio.
- F) Buena resistencia a la corrosión, comparable a la del aluminio.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO



3. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.

3.1 CÓMO SE GENERA.

La calidad del material a zincar es una cuestión que debe considerarse con gran interés, debido que la reacción del hierro con el baño de zinc y por tanto, las características del recubrimiento que así se obtienen, están ligadas a su composición química y a los factores físicos relacionados con su estado.

Con la finalidad de generar el recubrimiento de zinc sobre el acero 1018 se desarrolló la metodología que a continuación se detalla. Para lograr el recubrimiento se requiere llevar un control estricto de las variables que intervienen en el proceso, desde las materias primas, la temperatura, tiempos, reactivos de limpieza y de activación, así como del metal líquido. En las líneas siguientes se detalla el procedimiento que se siguió para lograr el recubrimiento.

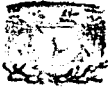
3.1.1 Material base: ACERO 1018

En el presente trabajo, se empleó lámina de acero tipo SAE 1018 con calidad comercial producida por AHMSA.

Composición química: El material contenía la siguiente composición química, misma que fue provista por el fabricante, lo cual certifica que cumple con las normas vigentes:

C – 0.18%
Si – 0.25%
Mn – 0.75%

El material empleado tenía una dureza a la entrega, Brinell máxima de 204.



3.1.2 Recubrimiento: ZINALCO

El zinalco utilizado cumple con las siguientes características:

Composición química: El material contiene la siguiente composición química:

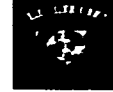
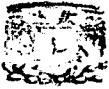
Zn – 75%
Al – 22%
Cu – 3%

Para la preparación superficial del acero para su posterior recubrimiento se utilizaron los siguientes reactivos:

- Percloroetileno.
- Ácido clorhídrico al 10%.
- Tiourea.
- Cloruro de zinc.
- Cloruro de amonio.
- Agua destilada.
- Pistola de aire caliente.

3.2 EQUIPO EMPLEADO.

- Horno de crisol.- Para fundir el zinalco se utilizó un horno marca Siemens que realiza el calentamiento por medio de un motor eléctrico monofásico tipo IRT-3252-2YC3 de 127 voltios y 7.2 amperios que gira a 3480 revoluciones por minuto y alcanza hasta una temperatura de 800 °C y que inyecta a la cámara de combustión una mezcla de gas LP y aire para lograr el calentamiento de ésta.



- Horno eléctrico 1.- Para realizar el precalentamiento de las piezas antes de introducirlas al laminado se utilizó un horno marca LINDBERG modelo 439DL tipo 41SE8156 que alcanza una temperatura máxima de 1371 °C por medio de resistencias eléctricas y cuenta con un control de temperatura de 220 voltios, trifásico y cuenta con un sistema de atmósfera controlada a base de argón.
- Horno eléctrico 2.- Para fundir el zinalco y para realizar el recocido se utilizó un horno marca CONSTRUCTORA DE APARATOS INDUSTRIALES S.A. (CAISA), modelo 12BMPCH que utiliza un voltaje de 220 voltios y es de una fase, cuenta con un control de temperatura, realizando el calentamiento a base de resistencias eléctricas y alcanza una temperatura de hasta 1350 °C.
- Horno eléctrico 3.- Para hacer un postcalentamiento después de aplicado el recubrimiento y para evitar enfriamientos bruscos se utilizó un horno de resistencias eléctricas marca LINDBERG modelo 151333 que utiliza 240 voltios, realiza el calentamiento a base de resistencias eléctricas y cuenta con un control de temperatura alcanzando 1500 °C, como temperatura máxima.
- Laminadora Experimental.- Marca HILLE con capacidad de carga de 30 toneladas, en el cual se puede controlar la velocidad de laminación y el porcentaje de laminación.
- Microdurómetro Vickers.- marca LEITZ (Germany), N° de serie 567, se utilizó para realizar las mediciones de micro durezas con una carga de 490.3 Nm (50p) y medir el espesor.
- Microscopio electrónico de barrido.- Marca Phillips, Modelo XL20 DX4, Serie 653, fue empleado para la obtención de fotografías de las probetas a diferentes aumentos y para obtener el análisis químico en las diferentes zonas de estudio.



- Bascula electrónica.- Marca SARTORIUS, modelo BP121 S, serie 711049005, peso máximo 420 grs. Con este equipo tenemos una precisión de 0.0001 grs. Se utilizó para obtener el peso de las piezas en la prueba de corrosión.
- Equipos auxiliares.- Para la fabricación de las probetas que se utilizaron en las pruebas se empleó una cizalla de pedal marca CHICAGO modelo FS-416; con capacidad de corte calibre 18 y un esmeril circular para lograr un acabado superficial rugoso.

3.3 PRODUCCIÓN DEL MATERIAL³

La preparación que requiere el acero para ser recubierto por el zinalco es de suma importancia, ya que de ello depende que el zinalco se adhiera al acero. Al ser la preparación un factor de fundamental importancia, se explica a continuación de forma detallada.

La primera etapa consiste en cortar la placa de acero a las dimensiones apropiadas para que se facilite su manejo a la hora de introducirla al baño. Para esta investigación las probetas fueron cortadas en tramos de 26 X 90 mm.

Una vez obtenidos los materiales con las dimensiones requeridas se procedió a realizar el proceso de limpieza, el cual inicia con la limpieza mecánica por medio del esmeril, con el fin de eliminar impurezas y dejar una superficie rugosa para una mejor adherencia entre los materiales.

Concluida la limpieza mecánica se procedió a realizar el desengrasado que consiste en sumergir las probetas durante 10 minutos en una tina que contiene percloroetileno al

³ La producción del material es en base a la referencia 2 de la bibliografía del presente trabajo.



100% para poder quitar la grasa que se adhiere al acero debido a su manejo con las manos.

Después de esto, se prosiguió con el decapado, que consiste, en preparar ácido clorhídrico diluido en agua al 10% y después se aplicó tiourea al 10% que funciona como inhibidor, para que las piezas al ser sacadas del decapado y expuestas al ambiente no se oxiden rápidamente. En este proceso se dejan las piezas por un lapso de 4 minutos.

A continuación se procede al fluxado (activación de la superficie) que consiste en hacer una preparación en un vaso de precipitado de cloruro de zinc al 15% en agua destilada y en otro lado el cloruro de amonio al 15% también en agua destilada, después se mezclan en una proporción de 10% de cada preparación previa en agua destilada, y se sumergen las piezas en esta solución por un lapso de 3 minutos, para lograr que la superficie esté lista para poder ser revestida.

Después de esto, se procede a sacar las probetas y secarlas con una pistola de aire para que no se oxide.

El paso siguiente consiste en poner zinalco en un crisol y calentar el horno eléctrico (2) a una temperatura de 600 °C para lograr que el zinalco esté completamente en estado líquido y permitir su manejo sin que el proceso de solidificación entorpezca la introducción de las probetas al baño.

Probeta	Tipo de enfriamiento	Recocido	Laminación	Medición de espesor	Medición de durezas	Microestructura	Prueba de corrosión
102	En agua	Sin	Sin	si	si	si	si
107	Al medio ambiente	1 hora	Sin	si	si	si	si
112	Al medio ambiente	Sin	Laminada	si	si	si	si
117	Al medio ambiente	1 hora	Laminada	si	si	si	si
128	Al medio ambiente	Sin	Sin	si	si	si	si

TABLA 3.1 TRABAJO REALIZADO A CADA UNA DE LAS PROBETAS:

Con estos valores se logró una unión satisfactoria y se procedió a realizar las observaciones microscópicas de la unión.



Se saca el crisol del horno eléctrico y se procede a introducir las probetas y dejarlas 5 minutos para lograr la difusión del zinalco en el acero.

Posteriormente, las probetas son introducidas en el horno eléctrico (3) que está a 300 °C para evitar un choque térmico en las probetas recubiertas y dejar las probetas a una temperatura cercana a la del recocido.

A continuación las probetas que van a ser recocidas se introducen en el horno eléctrico (2) a una temperatura de 320 °C durante una hora.

Se procede a la laminación superficial, introduciéndolas a la laminadora a una velocidad de laminación de 10 ft/min realizando dos pasos de 20 milésimas cada uno para lograr un mejor acabado superficial.

3.4 EVALUACIÓN DE LA UNIÓN

Una vez logrado el recubrimiento del acero bajo los parámetros estudiados previamente se procedió a evaluar la unión mediante pruebas de microscopia electrónica de barrido con la finalidad de determinar las mejores condiciones para obtener la unión.

3.4.1 Microscopia electrónica

De las 5 probetas se obtuvieron muestras en dirección longitudinal y transversal. Ver figura 3.1. Las cuales fueron montadas en baquelita, realizando un pulido mecánico con lijas de carburo de silicio de números 180, 220,300, 400,500 y 600, continuando con un acabado con alúmina gris (0.3 μm) y un acabado fino con alumina blanca (0.05 μm), y un secado con la pistola de aire, procediendo a observar las piezas en el microscopio electrónico de barrido.

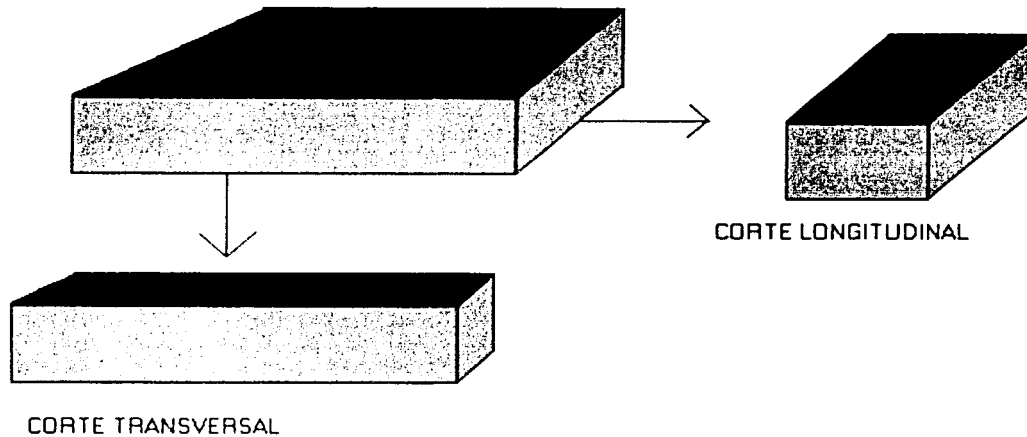
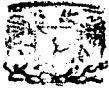


FIGURA 3.1 PROBETA DE ACERO 1018 (SECCIÓN VERDE) CON RECUBRIMIENTO DE ZINALCO (SECCION ROJA)

3.4.2 Obtención de tamaño de espesores

De las 5 probetas montadas en baquelita una vez después de realizar el pulido mecánico se procedió a medir el tamaño de espesor de la capa de recubrimiento con la ayuda del microdurómetro, se realizaron 6 lecturas, tomando de la parte externa junto a la baquelita hacia la parte interna en la interfase de cada pieza, en ambos lados de las caras como se muestra en la Figura 3.2.

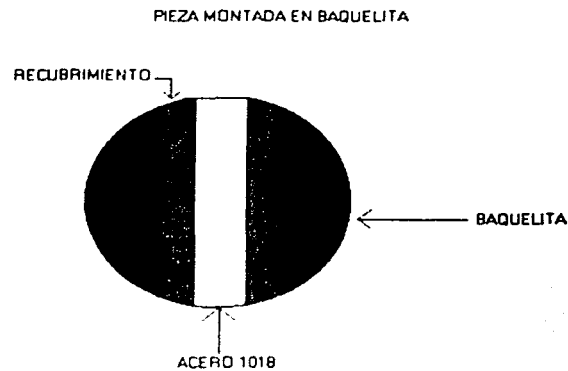


FIGURA 3.2 REPRESENTACION DE LAS ZONAS DE MEDICION DE ESPESOR

3.4.3 Ensayo de microdureza

A las 5 probetas a las que se les tomó lectura de espesores también se les tomó microdureza con la ayuda del microdurómetro Vickers, las piezas fueron montadas en el equipo y se les aplicó una carga de 50 P (490.3 Nm). Se tomaron 6 lecturas en el material base (acero 1018), 6 lecturas en la interfase y 6 lecturas en el recubrimiento.

En la figura 3.3 se muestra las zonas donde se tomaron las 6 lecturas de microdureza, obteniendo con esto una serie de resultados que serán analizados en el siguiente capítulo.

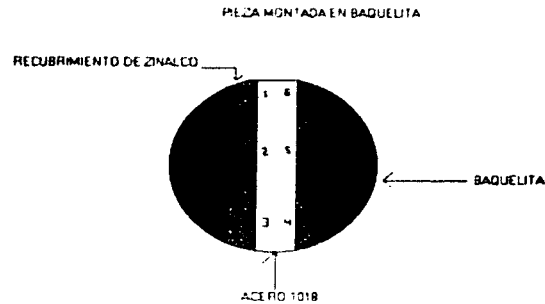
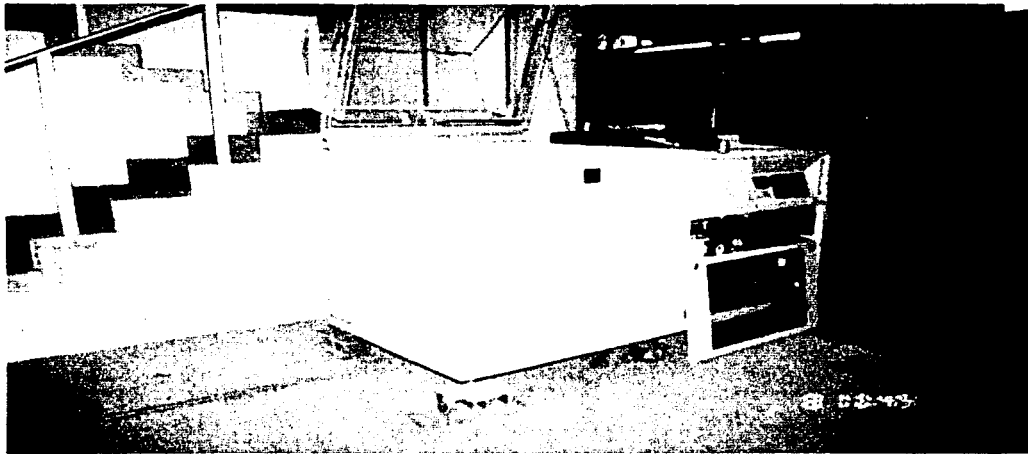


FIGURA 3.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE TOMA DE DUREZA

3.5 ENSAYO DE CORROSIÓN

Esta prueba se realizó con la ayuda de una cámara de niebla salina (ver foto 3.1) que se encuentra al servicio del Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México.



FOTOGRAFIA 3.1. CAMARA DE NIEBLA SALINA



El primer paso es preparar las probetas de zinc y Acero 1018 sin recubrir. Cabe mencionar que la pieza de acero será utilizada en esta prueba para tener una probeta comparativa, de tal manera que se puedan analizar los fenómenos de corrosión que se presenten entre las piezas.

Se cortaron probetas de 2.5 cm. X 1.5 cm., se armó una base de acrílico de 70 cm. de largo por 10 cm. de ancho donde fueron montadas las probetas a 5 cm. de separación entre probetas (ver foto 3.2.).

Las probetas de zinc se protegieron con pintura en los cantos, en donde el acero no estaba recubierto por efecto de los cortes, para así evitar que se afectara dicho material en la prueba. Después de ser pintadas se pesaron en una báscula electrónica con 0.0001 gr. de precisión y se montaron las piezas.

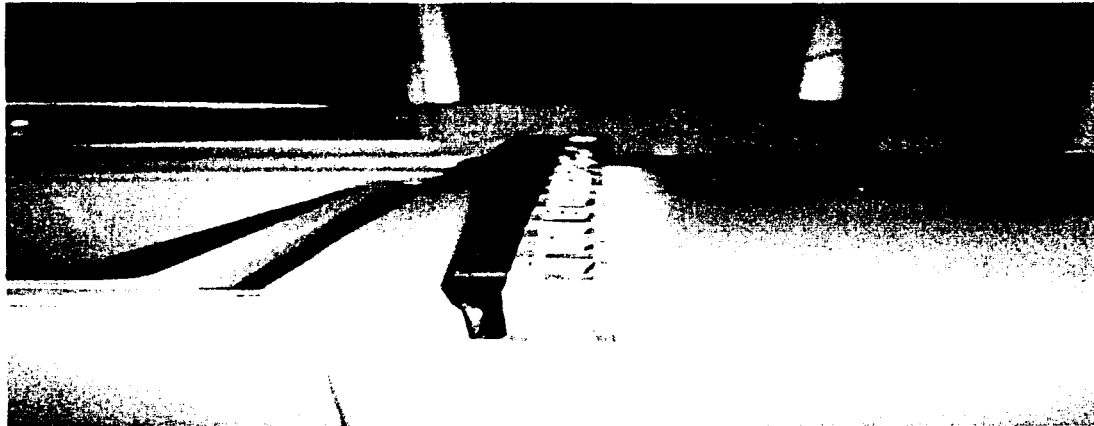


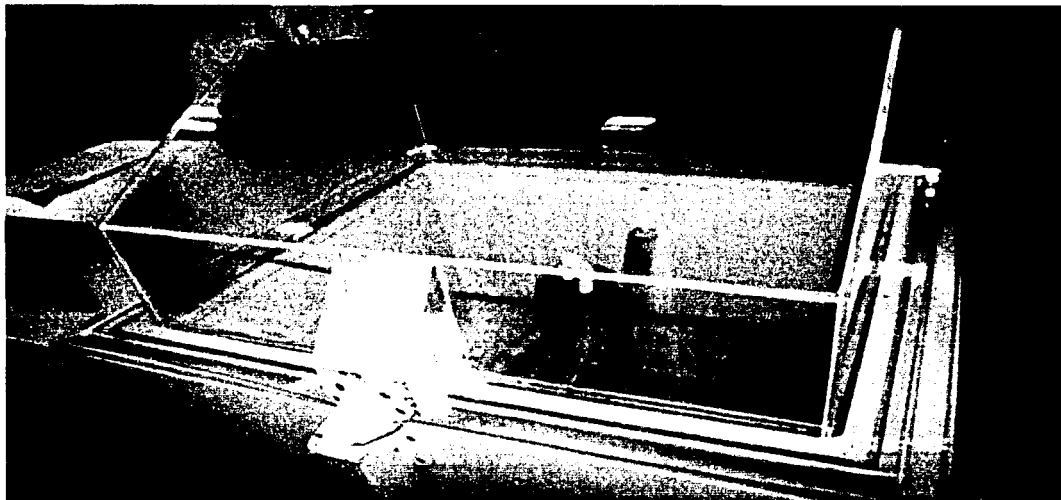
FOTO 3.2 MONTAJE DE LAS PROBETAS.



La preparación de la cámara de niebla salina fue en base a la norma ASTM B 117, (ver apéndice B) con las siguientes características de la mezcla:

- 1) Temperatura de la cámara = 35°C.
- 2) Temperatura del humidificador = 35°C.
- 3) Ciclo de trabajo de 59 minutos de trabajo por 1 minuto de paro por cada 24 hrs.
- 4) Concentración de sal al 5% (80 lts de agua X 4 Kg. de sal).

La duración de la prueba fue de 8 días en los cuales se realizó la inspección diaria de los efectos del ataque corrosivo en la cámara de niebla salina sobre las probetas. Así como la toma de lecturas de peso para ver si existe pérdida debido a la corrosión, previa limpieza de las probetas, para eliminar la sal adherida al recubrimiento.



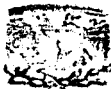
FOTOGRAFÍA 3.3 PROBETAS DENTRO DE LA CAMARA DE NIEBLA SALINA ANTES DE LA ASPERCIÓN



FOTO 3.4 PROBETAS DENTRO DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA CON EL ASPERSOR FUNCIONANDO

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS



4. EXPERIMENTACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

El presente capítulo tiene la finalidad de mostrar la manera en que se llevaron a cabo los experimentos, que forman la parte medular del presente trabajo.

Basándonos en las pruebas realizadas a cada una de las probetas, este tema está dividido en tres partes, mismos que se describen a continuación: 1) Análisis de las propiedades mecánicas, 2) Microestructura y Análisis químico, 3) Ensayo de corrosión.

4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4.1.1 Datos y gráficas de espesores de cada probeta

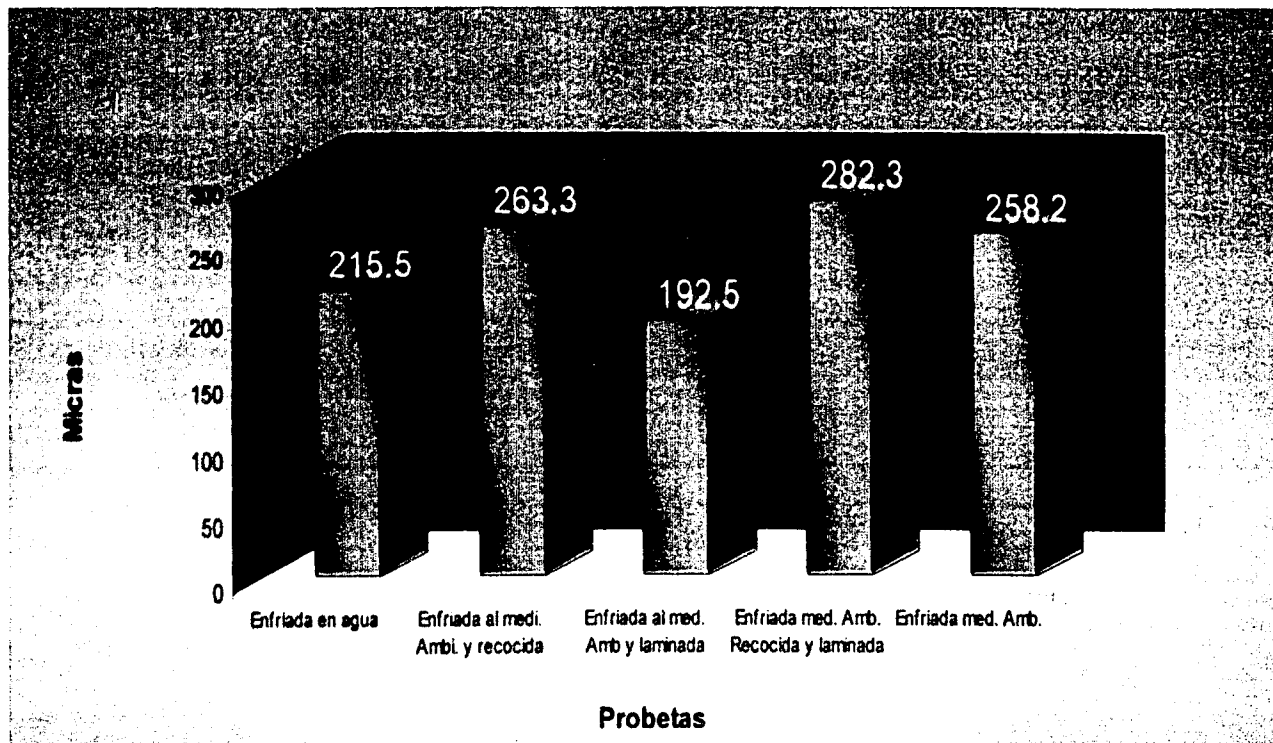
Esta parte se realizó con la ayuda del microdurómetro, que como su nombre lo indica es un aparato que nos permite hacer pruebas de microdureza en las probetas y que además nos permite medir el espesor del recubrimiento en micras.

Estas pruebas nos arrojaron una serie de resultados que podemos visualizar en la grafica 4.1 que permite interpretar de manera más sencilla el comportamiento de los espesores de cada probeta, de acuerdo a sus propias características. En la tabla de resultados 4.1 se muestran tres columnas, en donde la primera columna es el número que se le asignó a cada probeta, dependiendo del tratamiento al que fueron sometidas, en la segunda columna se muestra la preparación de cada una de las probetas y la tercera columna muestra 6 resultados del espesor de cada pieza, además del promedio y las lecturas máxima y mínima. *

* Nota: la toma de datos se explica de forma más detallada en el capítulo tres.

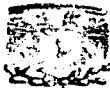
PIEZA	PREPARACION	ESPESOR DEL RECURRIMIENTO (MICRAS)								
		1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
102	M: Limpieza mecánica esmerinado) A: Limpieza con ácido sulfúrico 10 % diluida en agua destilada expuesta 5 minutos Activación de la superficie con sales cloruro de zinc y cloruro de amonio por 5 min Temperatura de inmersión a 600 °C X 5 min ENFRIADA EN AGUA	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
		267	292	304	129	174	127	215.50	304	127
107	M: Limpieza mecánica esmerinado) A: Limpieza con ácido sulfúrico 10 % diluida en agua destilada expuesta 5 minutos Activación de la superficie con sales cloruro de zinc y cloruro de amonio por 5 min Temperatura de inmersión a 600 °C X 5 min ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE RECOCIDA A 320°C X 1 HR	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
		243	274	246.8	278	260	278	263.3	278	243
112	M: Limpieza mecánica esmerinado) A: Limpieza con ácido sulfúrico 10 % diluida en agua destilada expuesta 5 minutos Activación de la superficie con sales cloruro de zinc y cloruro de amonio por 5 min Temperatura de inmersión a 600 °C X 5 min ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE LAMINADA REDUCCIÓN AL 20% VL=10 FT/min Y T= 300 °C	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
		270	240	200	125	140	180	192.50	270	125
117	M: Limpieza mecánica esmerinado) A: Limpieza con ácido sulfúrico 10 % diluida en agua destilada expuesta 5 minutos Activación de la superficie con sales cloruro de zinc y cloruro de amonio por 5 min Temperatura de inmersión a 600 °C X 5 min RECOCIDA A 320°C X 1 HR LAMINADA DESPUES DEL RECOCIDO X 1 HR CON T=300 °C Y VL=10 FT/min	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
		295.5	292.2	308.2	272	258	268	282.3	308.2	258
128	M: Limpieza mecánica esmerinado) A: Limpieza con ácido sulfúrico 10 % diluida en agua destilada expuesta 5 minutos Activación de la superficie con sales cloruro de zinc y cloruro de amonio por 5 min Temperatura de inmersión a 600 °C X 5 min ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE	1	2	3	4	5	6	PROMEDIO	LEC MAX	LEC MIN
		247	270	280	250	242	260	258.2	280	242

TABLA 4.1 DATOS DE ESPESORES DE CADA PROBETA.



GRÁFICA 4.1 PROMEDIO DE ESPESORES

En general podemos observar en la grafica que los espesores de las probetas que fueron recocidas son muy similares en cuanto al valor de espesor, seguidas de la enfriada al aire hasta temperatura ambiente, enfriada en agua y la enfriada al medioambiente y luego laminada.



4.1.2 DATOS Y GRÁFICA DE DUREZA DE CADA PROBETA.

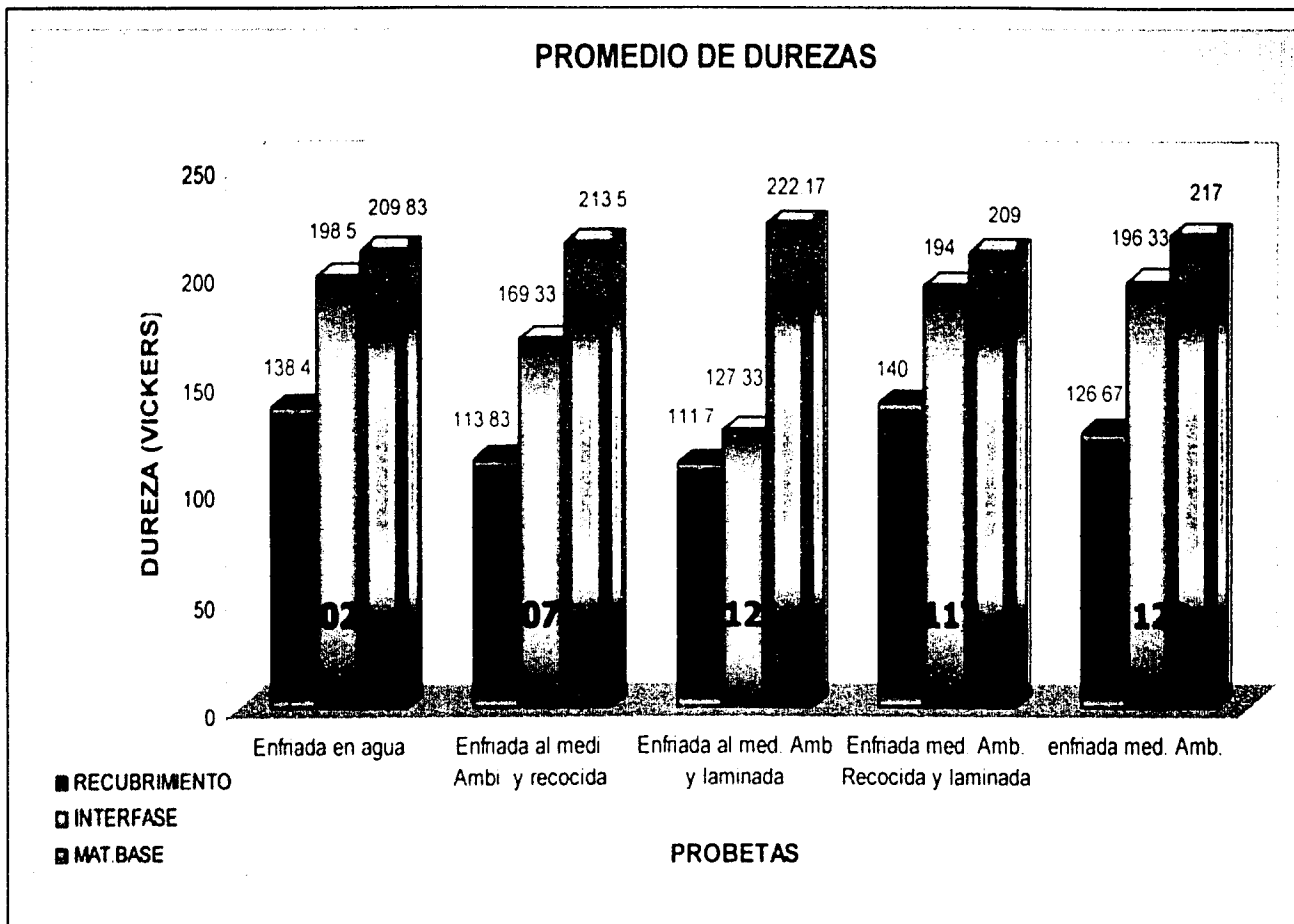
Como se mencionó anteriormente, la toma de lectura de durezas, se realizó utilizando el microdurómetro el cual arroja mediciones en escala Vickers, y que para nuestro estudio aplicamos una carga de 50 p (490.3Nm). Al igual que con los datos de espesores, para las microdurezas se muestra la tabla 4.2 de valores con cuatro columnas. La primera es el número que se asignó a cada probeta, la segunda se refiere a la preparación, la tercera columna muestra la región donde se realizó la toma de lecturas y la cuarta columna arroja los resultados de 6 mediciones, además de mostrar el promedio de durezas y las lecturas máxima y mínima.

Estos resultados generan la gráfica 4.2 que nos permite visualizar el comportamiento de la dureza en 3 secciones diferentes de las probetas, en el recubrimiento, en la interfase y en el material base, y con estos resultados poder hacer un análisis de lo que se presenta en cada región.

PIEZA	PREPARACION	SECCION	DUREZA VICKERS											
			1	2	3	4	5	6	PROVEDIO	LEC	MAX	LEC	MIN	CARGA
102	<p>Limpeza mecánica esmerilado</p> <p>Acid Limpieza con ácido sulfúrico 10% diluido en agua destilada expuesta 5 minutos</p> <p>AS5 Activación de la superficie con sales</p> <p>Cobertura de zinc y cobertura de amoníaco por 5 min</p> <p>Temperatura de inmersión a 600° C X 5 min</p> <p>ENFRIADA EN AGUA</p>	<p>RECUBRIMIENTO</p> <p>INTERFASE</p> <p>MAT. BASE</p>												
			78	91	127	114	109	79	99.67	127	78	50		
			192	192	257	232	192	183	208.00	257	183	50		
			210	211	214	218	206	200	209.83	218	200	200	50	
107	<p>Limpeza mecánica esmerilado</p> <p>Acid Limpieza con ácido sulfúrico 10% diluido en agua destilada expuesta 5 minutos</p> <p>AS5 Activación de la superficie con sales</p> <p>Cobertura de zinc y cobertura de amoníaco por 5 min</p> <p>Temperatura de inmersión a 600° C X 5 min</p> <p>ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE</p> <p>RECOCIDA A 320° C X 1 HR</p>	<p>RECUBRIMIENTO</p> <p>INTERFASE</p> <p>MAT. BASE</p>												
			112	145	107	109	165	94	125.63	165	94	50		
			156	130	192	127	118	88	135.17	192	88	50		
			218	220	225	209	206	208	213.50	229	200	200	50	
112	<p>Limpeza mecánica esmerilado</p> <p>Acid Limpieza con ácido sulfúrico 10% diluido en agua destilada expuesta 5 minutos</p> <p>AS5 Activación de la superficie con sales</p> <p>Cobertura de zinc y cobertura de amoníaco por 5 min</p> <p>Temperatura de inmersión a 600° C X 5 min</p> <p>ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE</p> <p>LAMINADA REDUCCIÓN AL 20% VL=10 FT/min</p> <p>T= 300° C</p>	<p>RECUBRIMIENTO</p> <p>INTERFASE</p> <p>MAT. BASE</p>												
			93	114	127	90.5	127	109	110.08	127	90.5	50		
			115	88	154	110	110	95	112.50	154	88	50		
			214	222	229	229	221	218	222.17	229	214	214	50	
117	<p>Limpeza mecánica esmerilado</p> <p>Acid Limpieza con ácido sulfúrico 10% diluido en agua destilada expuesta 5 minutos</p> <p>AS5 Activación de la superficie con sales</p> <p>Cobertura de zinc y cobertura de amoníaco por 5 min</p> <p>Temperatura de inmersión a 600° C X 5 min</p> <p>RECOCIDA A 320° C X 1 HR</p> <p>LAMINADA DESPUES DEL RECOCIDO X 1 HR</p> <p>CON T=360° C Y VL=10FT/min</p>	<p>RECUBRIMIENTO</p> <p>INTERFASE</p> <p>MAT. BASE</p>												
			129	119	143	82.6	118	92	113.93	143	82.6	50		
			135	171	175	67.7	97	117	127.12	175	67.7	50		
			208	215	212	208	201	210	209.00	215	201	201	50	
128	<p>Limpeza mecánica esmerilado</p> <p>Acid Limpieza con ácido sulfúrico 10% diluido en agua destilada expuesta 5 minutos</p> <p>AS5 Activación de la superficie con sales</p> <p>Cobertura de zinc y cobertura de amoníaco por 5 min</p> <p>Temperatura de inmersión a 600° C X 5 min</p> <p>ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE</p>	<p>RECUBRIMIENTO</p> <p>INTERFASE</p> <p>MAT. BASE</p>												
			103	137	175	132	175	104	137.67	175	103	50		
			124	132	135	116	113	128	125.50	135	116	50		
			221	216	210	219	220	218	217.00	221	210	210	50	

63

TABLA 4.2 DATOS DE DUREZAS DE CADA PROBETA.



Gráfica 4.2 PROMEDIO DE DUREZAS

En la gráfica podemos observar los valores de las mediciones de las durezas en las secciones del recubrimiento, la interfase y en el material base de cada una de las probetas, así como el tratamiento que se le aplicó a cada una.

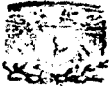


4.2 MICROESTRUCTURA Y ANÁLISIS QUÍMICO.

En esta parte de la investigación se realizó un estudio de microestructura, en cada una de las probetas, con la ayuda del microscopio electrónico de barrido (ver apéndice A), donde se obtuvieron fotografías a diferentes aumentos para poder profundizar en el estudio de cada una de las probetas y así, poder conocer su composición química, formación de los granos, determinación de la existencia de grietas, por consecuencias de los tratamientos a los que fueron sometidas.

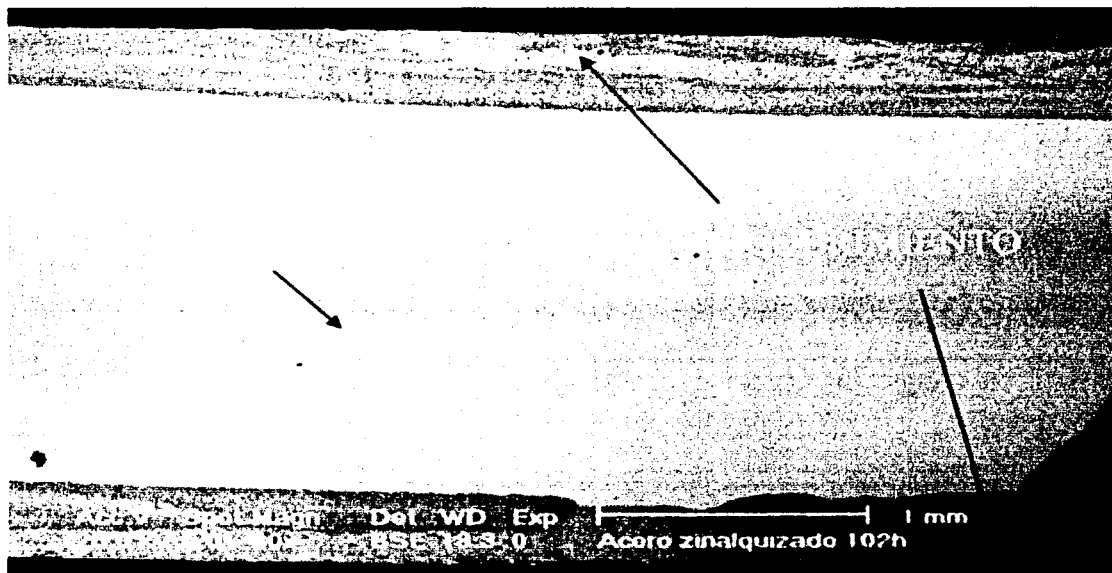
En las zonas de estudio correspondientes al recubrimiento, la interfase y la microestructura se realizaron análisis químicos.

Una selección de imágenes de estos recubrimientos se presenta en las figuras siguientes:



PROBETA 102	
Características:	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza mecánica (esmerilado)• Desengrasado• Decapado• Fluxado• Secado• Inmersión 5 minutos• Enfriada en agua• Sin recocido.

FOTOGRAFÍA 1 GENERAL DE LA PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

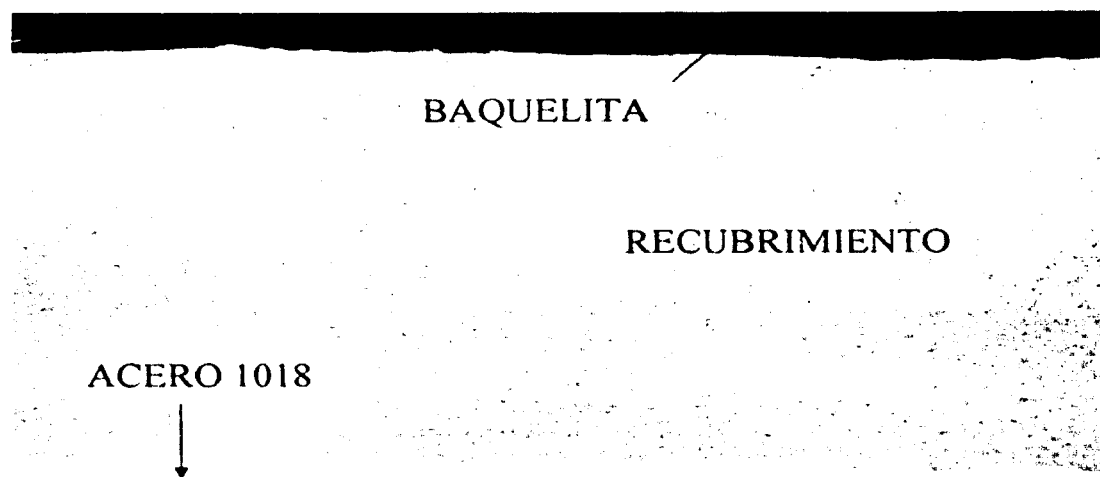


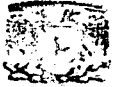


FOTOGRAFÍA 2 GENERAL DE LA PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



FOTOGRAFÍA 3 GENERAL DE LA PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

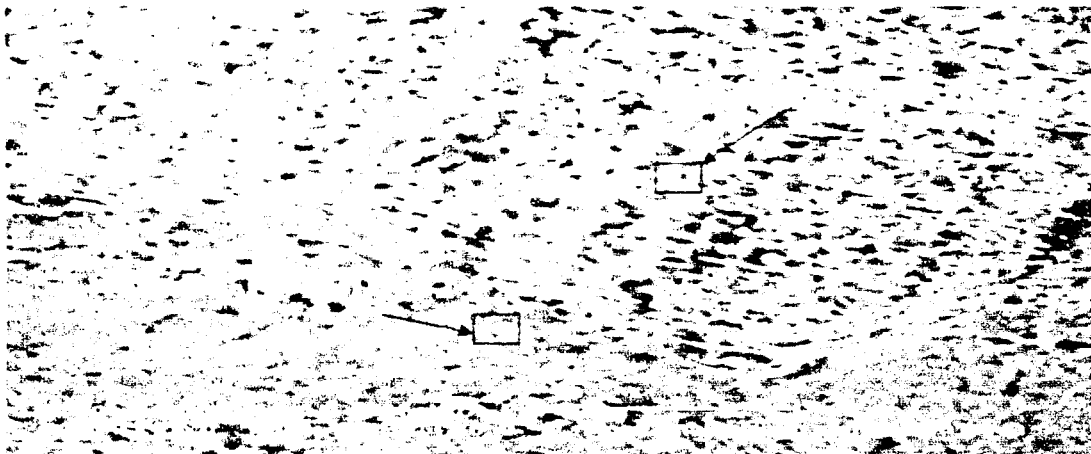




FOTOGRAFÍA 4 DE LA MICROESTRUCTURA PROBETA 102 DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



FOTOGRAFÍA 5 DE LA MICROESTRUCTURA PROBETA 102 DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



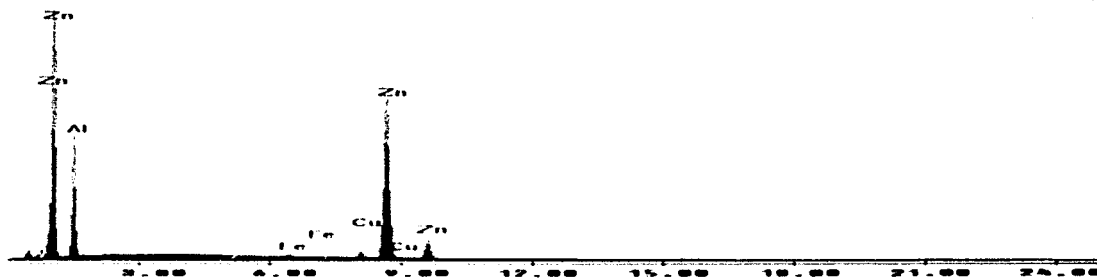
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



En el "área de estudio 1" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	24.25	43.62
Fe	0.53	
Cu	2.30	2.17
Zn	72.92	53.75
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MICROESTRUCTURA EN EL ÁREA DE ESTUDIO 1 DE LA PROBETA ENFRIADA EN AGUA.



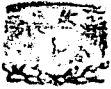


En el "área de estudio 2" la composición química es la siguiente:

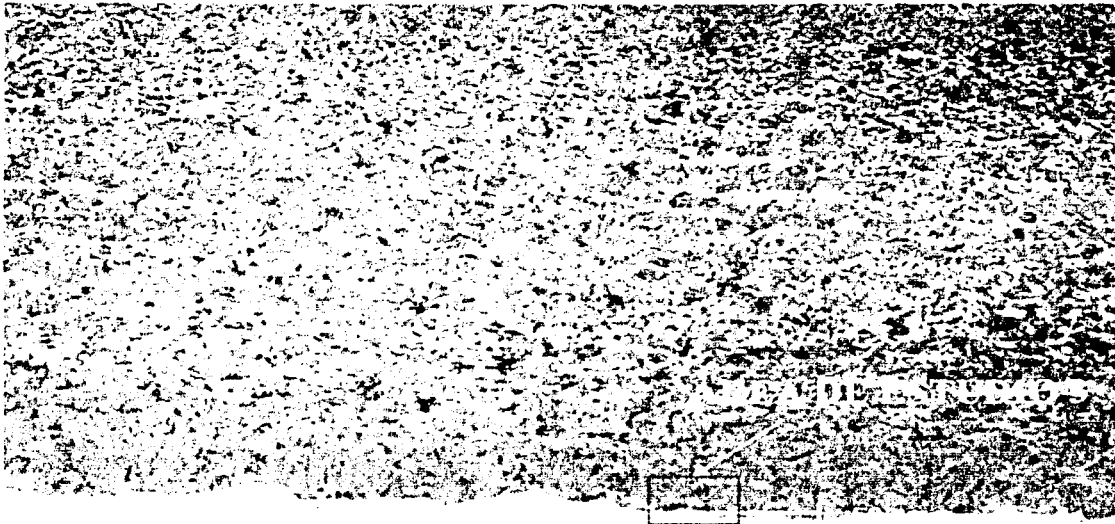
ELEMENTO	Wt %	At %
Al	44.35	64.11
Fe	26.04	18.19
Cu	1.77	1.09
Zn	27.84	16.61
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MICROESTRUCTURA EN EL ÁREA DE ESTUDIO 2 DE LA PROBETA ENFRIADA EN AGUA.





FOTOGRAFÍA 6 DE LA INTERFASE PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

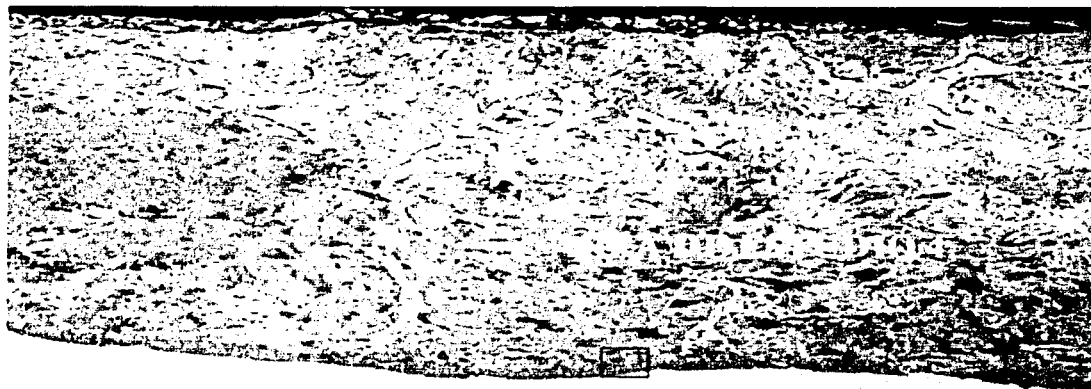


En el "área de estudio 3" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	30.45	48.59
Fe	49.68	38.3
Cu	1.07	0.73
Zn	18.8	12.38
Total	100	100



FOTOGRAFÍA 7 DE LA INTERFASE PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

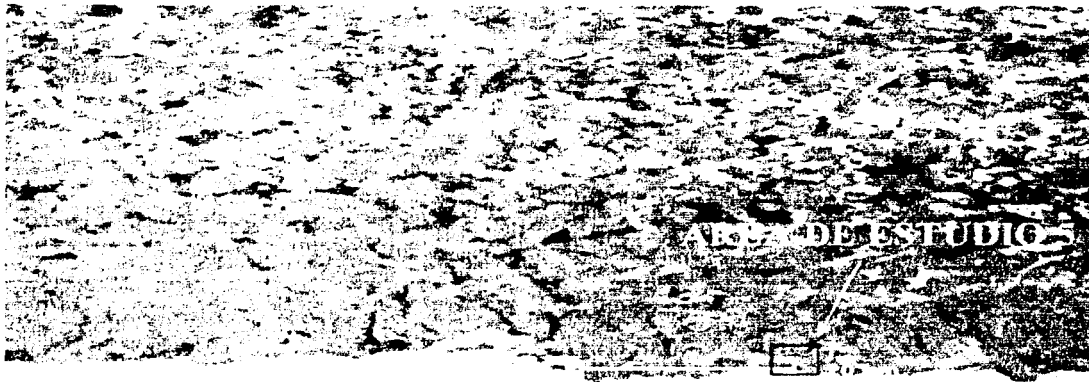


En el "área de estudio 4" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	40.35	64.11
Fe	28.49	18.19
Cu	1.88	1.09
Zn	29.28	16.61
Total	100	100

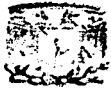


FOTOGRAFÍA 8 DE LA INTERFASE PROBETA 102 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

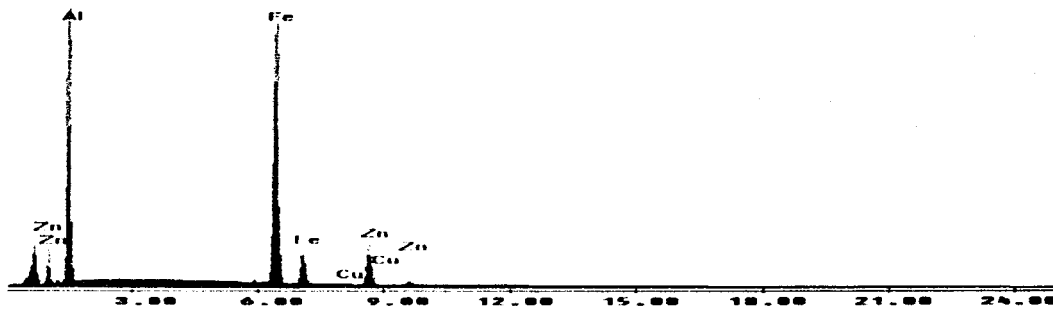


En el "área de estudio 5" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	34.39	51.89
Fe	48.02	36.82
Cu	0.71	0.47
Zn	16.88	10.83
Total	100	100



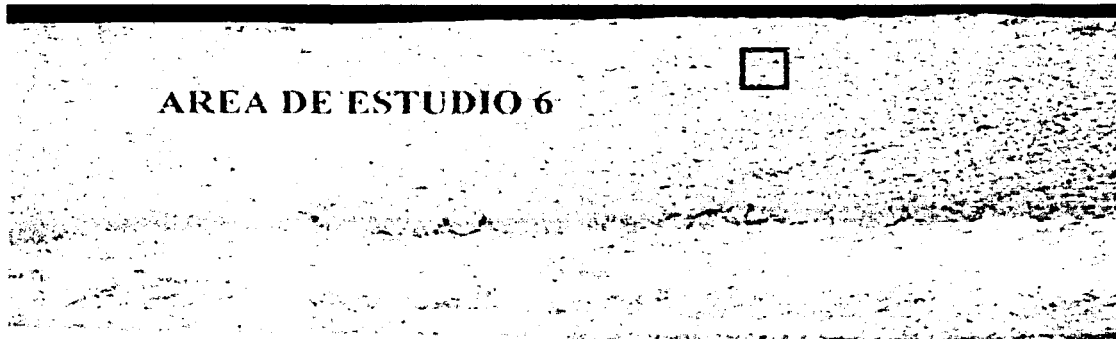
**GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA INTERFASE EN EL ÁREA DE ESTUDIO 5 DE LA
PROBETA ENFRIADA EN AGUA.**





PROBETA 107	
Características:	
	Limpieza mecánica (esmerilado)
	Desengrasado
	Decapado
	Fluxado
	Secado
	Inmersión 5 minutos
	Enfriada al medio ambiente
	Recocida a 320 °C x 1 hr.

FOTOGRAFÍA 9 GENERAL DE LA PROBETA 107 EN EL MICROSCOPIO ELECTRONICO

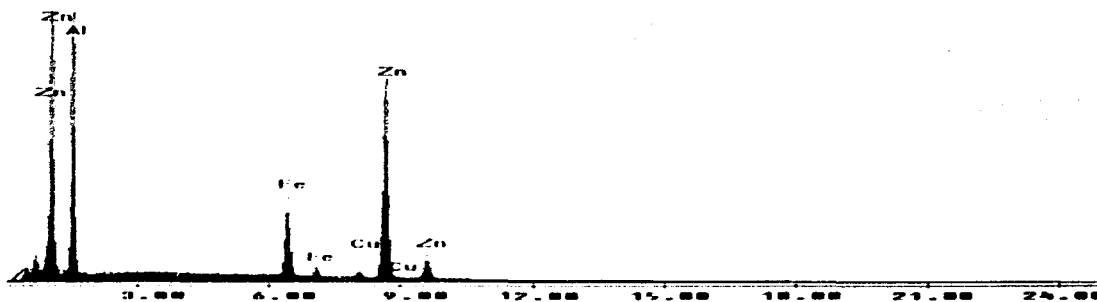


En el "área de estudio 6" la composición química es la siguiente:

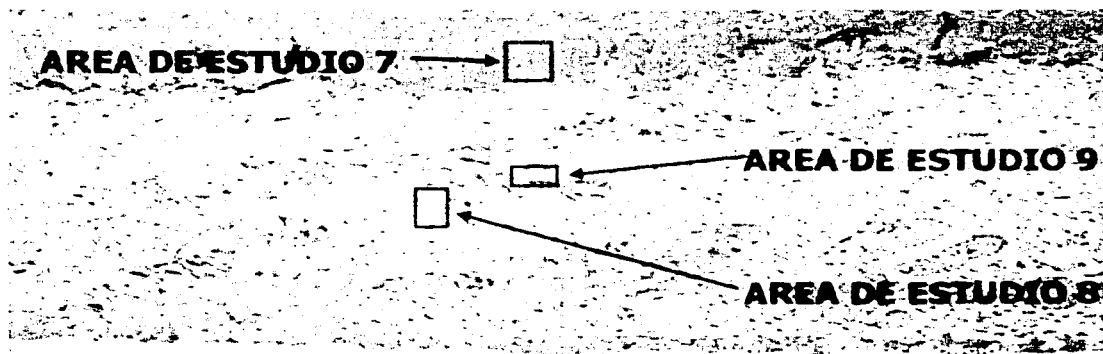
Elemento	Wt %	At %
Al	27.30	50.01
Fe	4.48	8.78
Cu	2.2	1.57
Zn	66.02	39.64
Total	100	100



**GRAFICA DEL ANALISIS QUIMICO DE LA MICROESTRUCTURA EN EL AREA DE ESTUDIO 6
PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y RECOCIDA**



**FOTOGRAFÍA 10 DE LA MICROESTRUCTURA DE LA PROBETA 107 DEL MICROSCOPIO
ELECTRONICO**

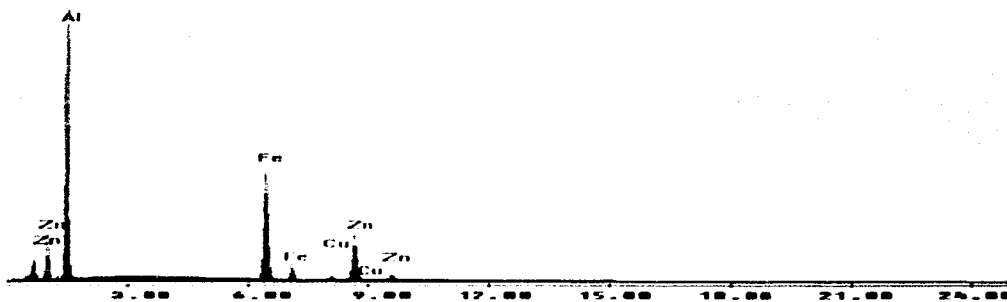


En el "área de estudio 7" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	43.57	63.26
Fe	28.26	19.82
Cu	2.17	1.34
Zn	26	15.58
Total	100	100



GRAFICA DEL ANALISIS QUIMICO EN LA MICROESTRUCTURA EN EL AREA DE ESTUDIO 7 DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y RECOIDA

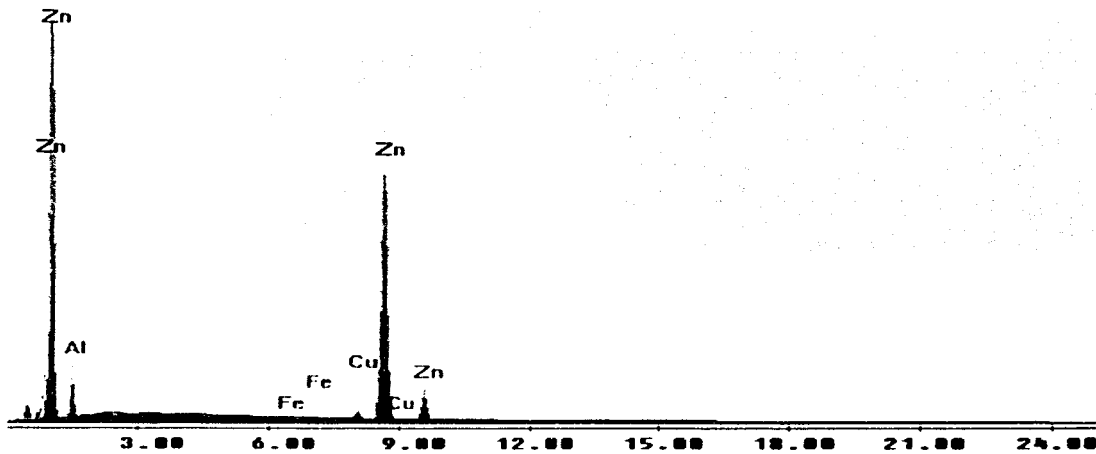


En el "área de estudio 8" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	10.12	21.41
Fe	0.37	0.37
Cu	3.08	2.77
Zn	86.43	75.45
Total	100	100



**GRAFICA DEL ANALISIS QUIMICO EN LA MICROESTRUCTURA EN EL AREA DE ESTUDIO 8 DE
LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y RECOCIDA**

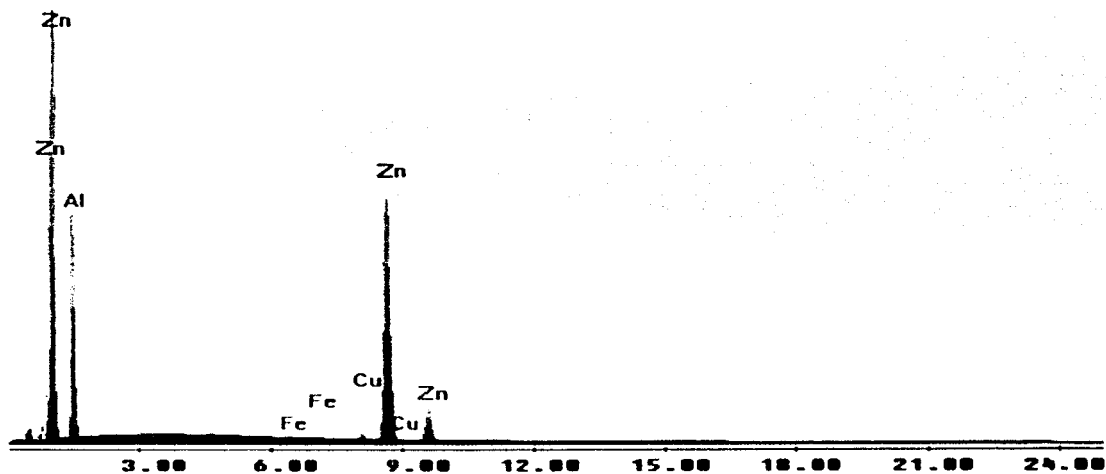




En el "área de estudio 9" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	27.82	48.26
Fe	0.32	0.27
Cu	1.72	1.27
Zn	70.14	50.21
Total	100	100

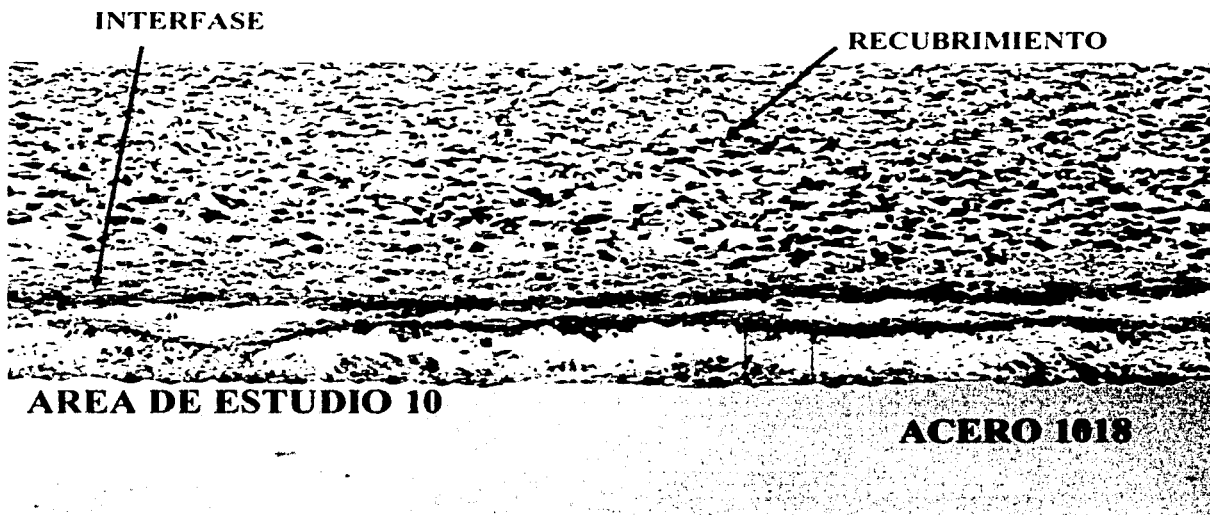
GRAFICA DEL ANALISIS QUIMICO EN LA MICROESTRUCTURA DEL AREA DE ESTUDIO 9 DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y RECOCIDA



ENCUENTRO NO SALE
LA MICROGRAFICA

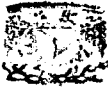


FOTOGRAFIA 11 DE LA INTERFASE PROBETA 107 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



En el "área de estudio 10" la composición química en la interfase es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	39.6	48.59
Fe	40.53	38.3
Cu	1.07	0.73
Zn	18.8	12.38
Total	100	100

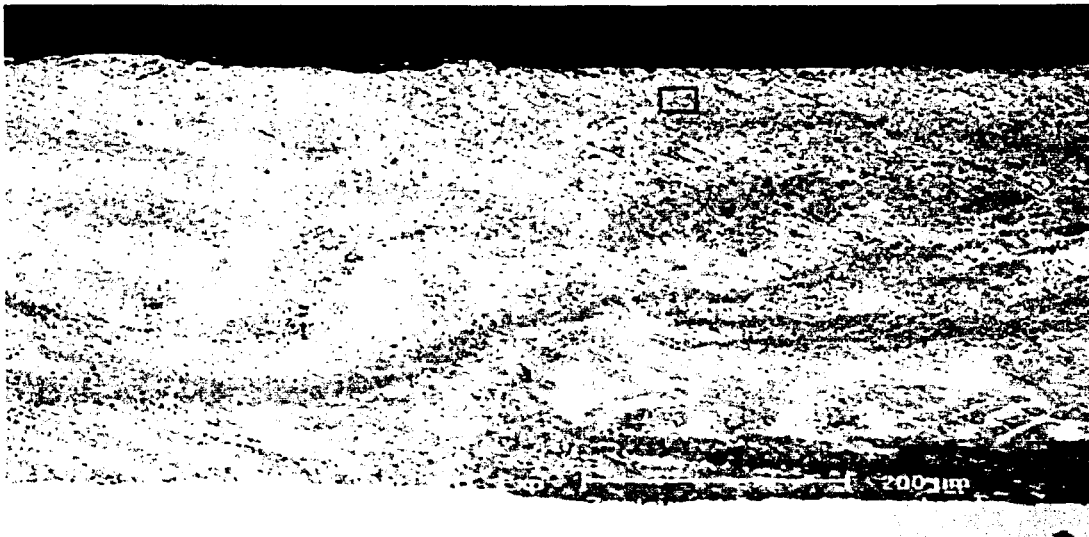


PROBETA 112

Características:

Limpieza mecánica (esmerilado)
Desengrasado
Decapado
Fluxado
Secado
Inmersión 5 minutos
Enfriada al medio ambiente
Laminada

FOTOGRAFÍA 12 GENERAL DE LA PROBETA 112 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.





En el "área de estudio 11" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	64.23	17.06
Cu	7.31	6.76
Zn	33.09	76.18
Total	100	100

FOTOGRAFÍA 13 DE LA MICROESTRUCTURA PROBETA 112 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.



En el "área de estudio 12" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	50.84	69.57
Fe	27.29	18.04
Cu	2.21	1.28
Zn	19.66	11.11
Total	100	100



FOTOGRAFÍA 14 DE LA PIEZA 112 MICROESTRUCTURA EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

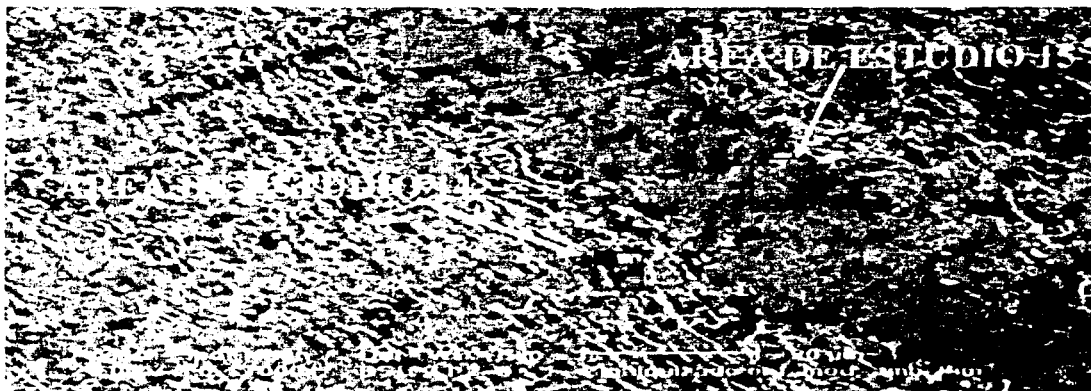


En el "área de estudio 13" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	52.6	70.21
Fe	38.98	25.14
Cu	0.74	0.42
Zn	7.68	4.23
Total	100	100



FOTOGRAFÍA 15 DE LA PIEZA 112 MICROESTRUCTURA EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

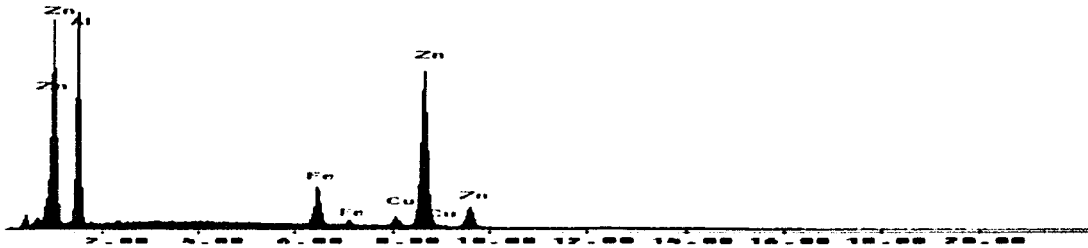


En el "área de estudio 14" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	32.05	52.91
Fe	6.32	5.04
Cu	2.95	2.07
Zn	58.68	39.98
Total	100	100



**GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MICROESTRUCTURA EN EL ÁREA DE ESTUDIO 14
DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA.**

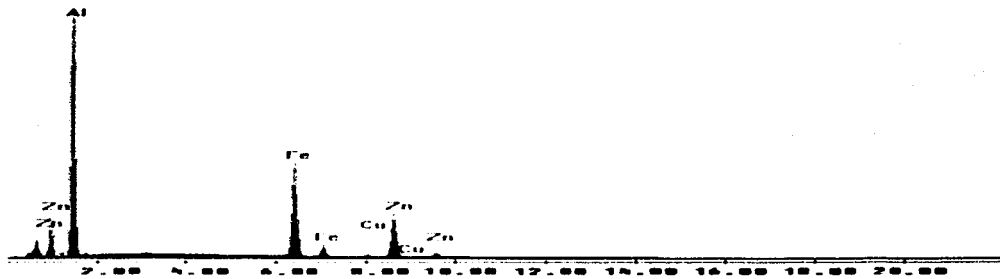


En el "área de estudio 15" la composición química es la siguiente:

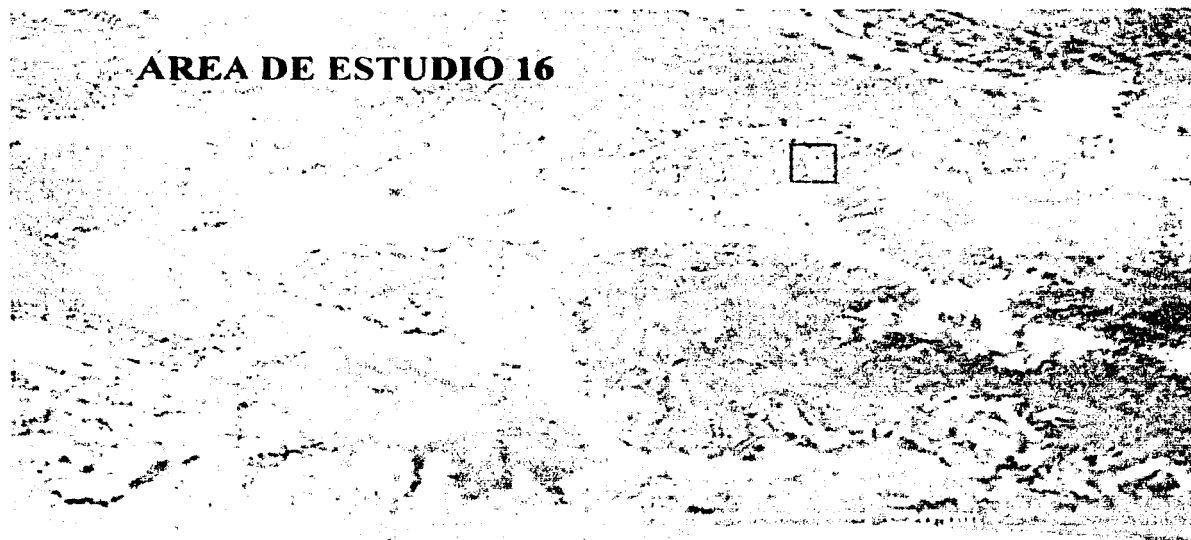
Elemento	Wt %	At %
Al	45.39	65.03
Fe	26.22	18.15
Cu	1.61	0.98
Zn	26.78	15.84
Total	100	100



**GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MICROESTRUCTURA EN EL ÁREA DE ESTUDIO 15
DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA.**



FOTOGRAFÍA 16 DE LA INTERFASE PROBETA 112 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

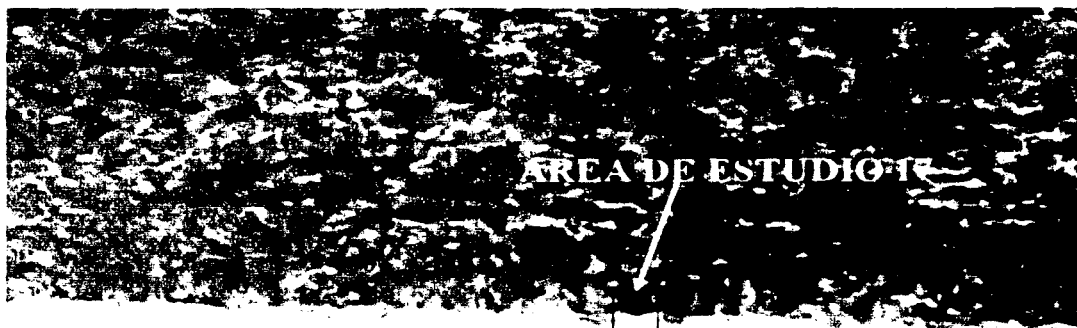




En el "área de estudio 16" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	46.61	67.86
Cu	2.56	1.58
Zn	50.83	30.55
Total	100	100

FOTOGRAFÍA 17 DE LA INTERFASE PROBETA 112 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

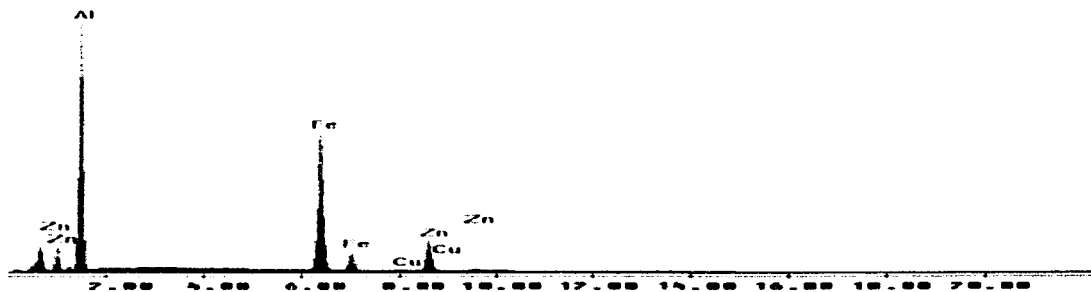




En el "área de estudio 17" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	43.12	62.38
Fe	37.29	25.94
Cu	0.89	0.54
Zn	18.7	11.14
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO 17 DE LA INTERFASE DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA.





PROBETA 117

Características:

Limpieza mecánica (esmerilado)

Desengrasado

Decapado

Fluxado

Secado

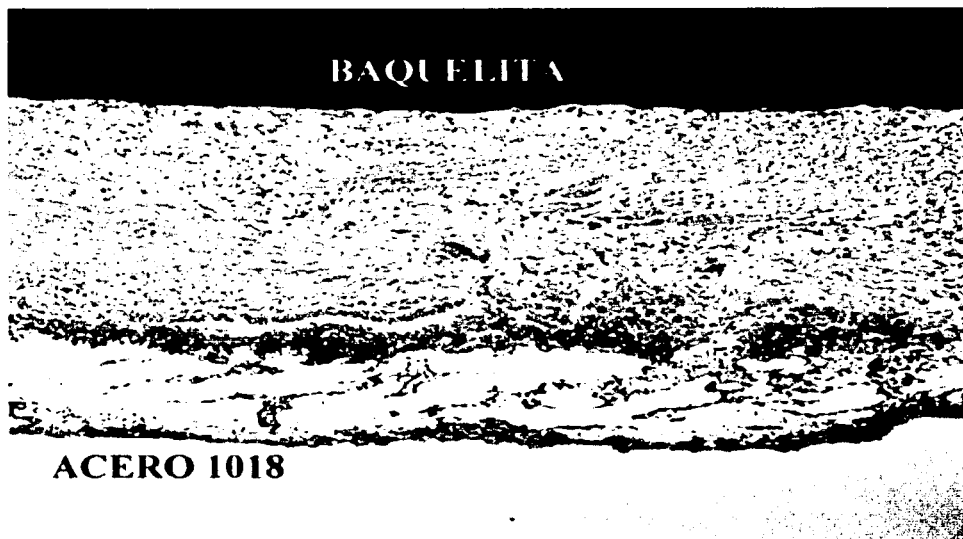
Inmersión 5 minutos

Recocida a 320 °C x 1hr.

Laminada después de recocida x 1 hr

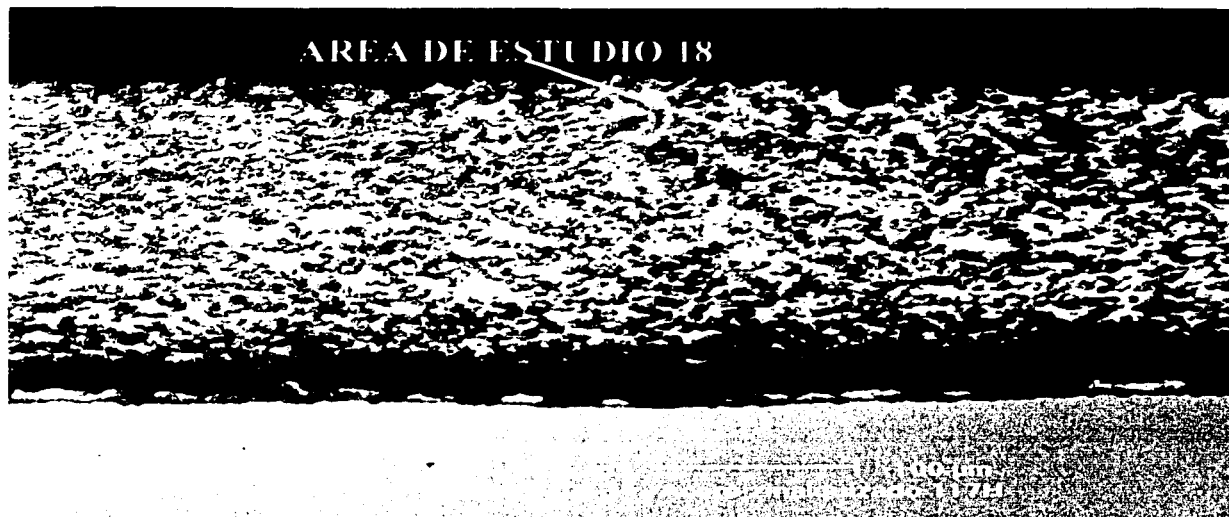
CON T=300 °C Y VL=10 pies/min.

FOTOGRAFÍA 18 GENERAL DE LA PIEZAS 117 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.





FOTOGRAFÍA 19 GENERAL DE LA PROBETA 117 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



En el "área de estudio 18" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	26.14	9.14
Cu	2.47	2.4
Zn	71.39	87.21
Total	100	100



FOTOGRAFÍA 20 DE LA MICROESTRUCTURA ROBETA 117 DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

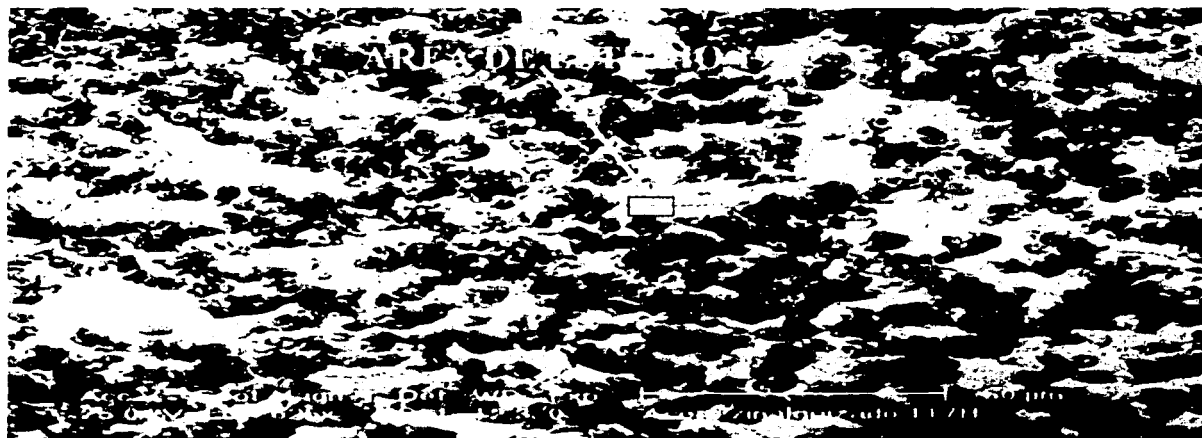


FOTOGRAFÍA 21 MICROESTRUCTURA PROBETA 117 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO





FOTOGRAFÍA 22 MICROESTRUCTURA PROBETA 117 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



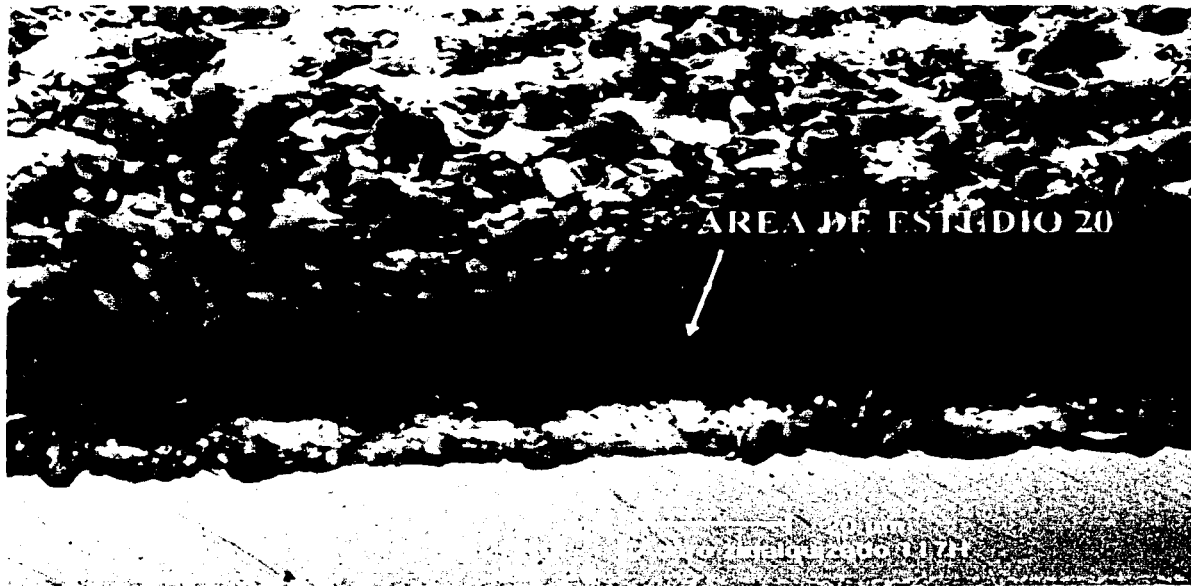
En el "área de estudio 19" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	3.19	7.38
Fe	0.93	1.04
Cu	3.09	3.03
Zn	92.79	88.55
Total	100	100

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



FOTOGRAFIA 23 INTERFASE PIEZAS 117 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



En el "área de estudio 20" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	38.75	66.95
Fe	41.1	27.27
Cu	1.65	0.96
Zn	18.5	4.82
Total	100	100



PROBETA 128

Características:

Limpieza mecánica (esmerilado)

Desengrasado

Decapado

Fluxado

Secado

Inmersión 5 minutos

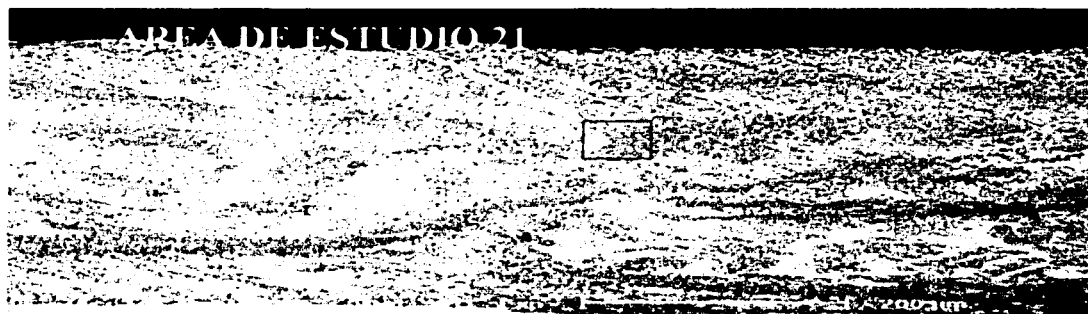
Enfriada al medio ambiente

FOTOGRAFÍA 24 GENERAL PIEZA 128 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO





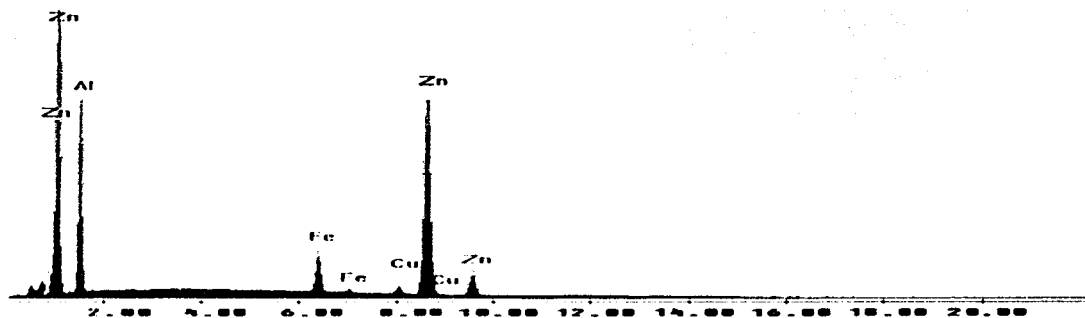
FOTOGRAFÍA 25 GENERAL DE LA PIEZA 128 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



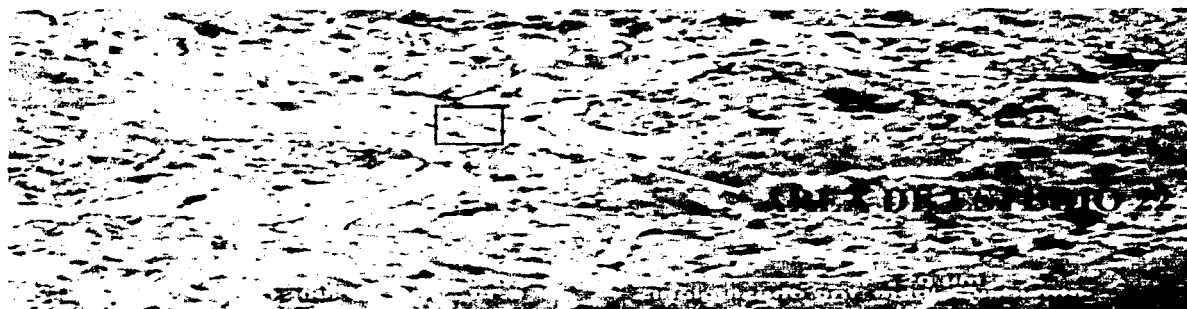
En el "área de estudio 21" la composición química es la siguiente:

Elemento	Wt %	At %
Al	40.09	46.38
Fe	6.47	5.45
Cu	2.61	1.93
Zn	50.83	46.24
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL RECUBRIMIENTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO 21 DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA



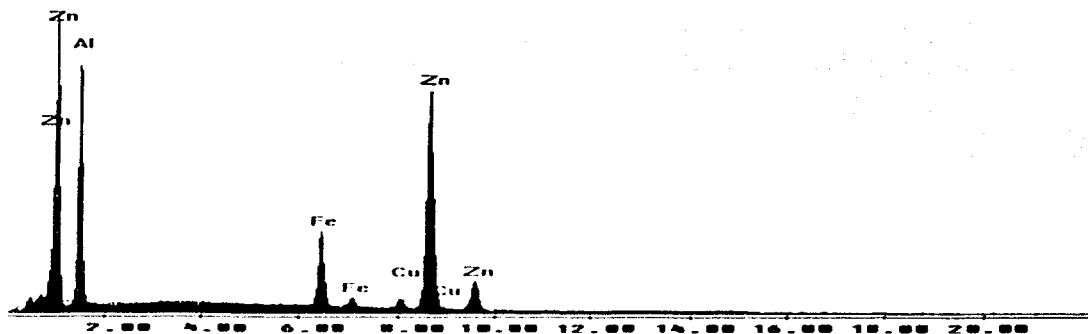
FOTOGRAFÍA 26 MICROESTRUCTURA PROBETA 128 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO



En el área de estudio 22" la composición química es la siguiente:

Element	Wt %	At %
Al	27.55	47.4
Fe	9	7.48
Cu	2.64	1.93
Zn	60.82	43.19
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL RECUBRIMIENTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO 22 DE LA PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA



FOTOGRAFÍA 27 INTERFASE PROBETA 128 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.



ACERO 1018

En el "área de estudio 23" la composición química es la siguiente:

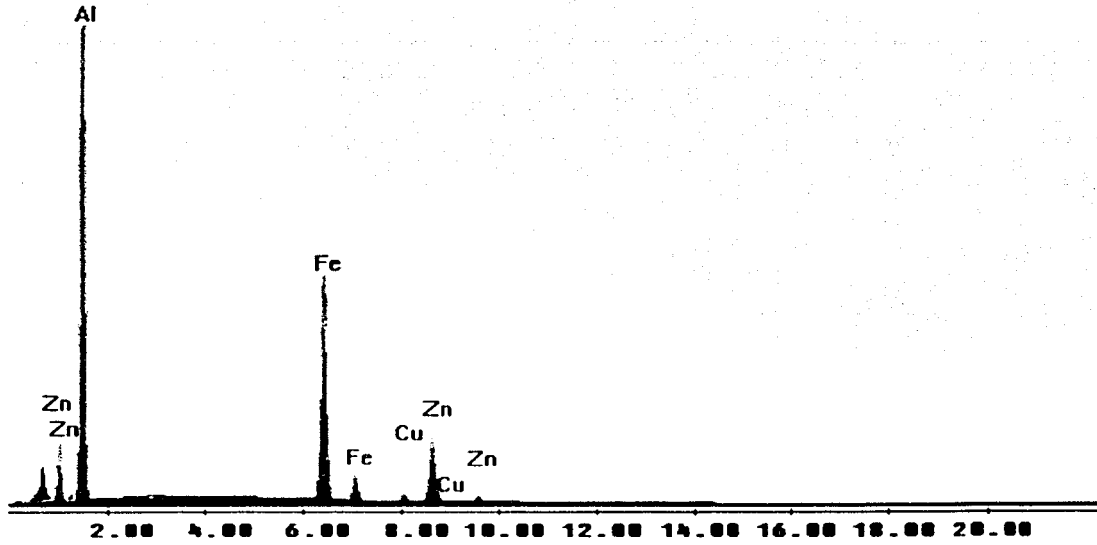
Elemento	Wt %	At %
Al	36.51	57.68
Fe	43.53	29.33
Cu	2.24	1.42
Zn	17.72	11.57
Total	100	100



En el área de estudio 24" la composición química es la siguiente

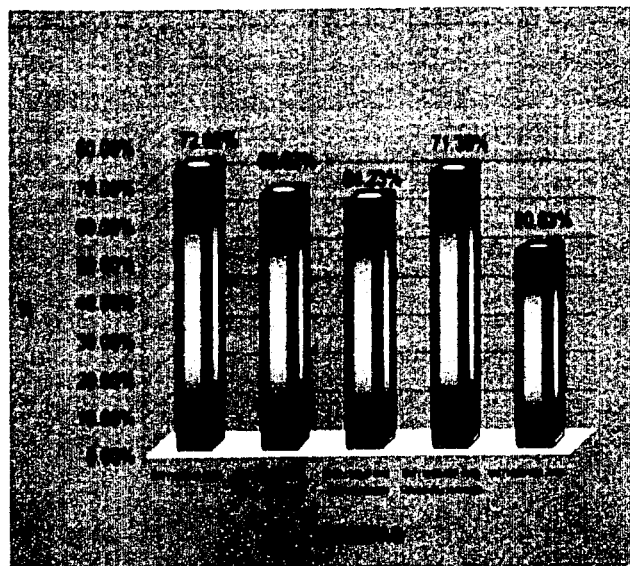
Element	Wt %	At %
Al	44.36	63.71
Fe	32.32	22.42
Cu	2.68	1.64
Zn	20.64	12.23
Total	100	100

GRÁFICA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA INTERFASE PROBETA ENFRIADA AL MEDIO AMBIENTE Y LAMINADA (128)

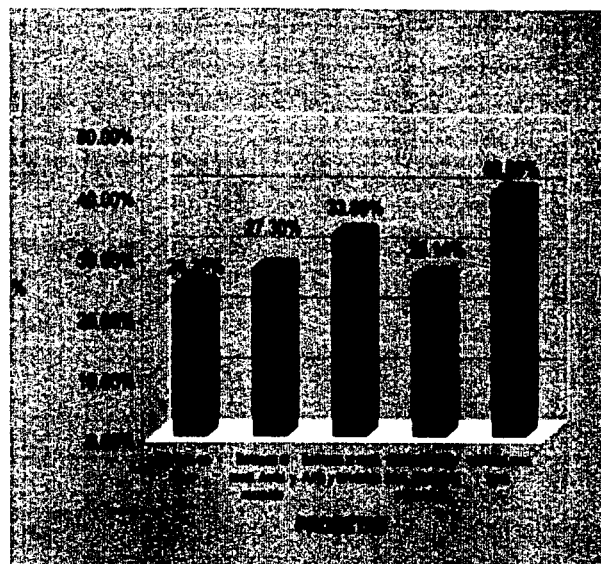


A continuación se muestran los valores de Zn, AL, y Fe de la parte externa y de la interfase en una tabla de valores, con sus respectivas gráficas.

Pieza	Características	Parte de la pieza	CONTENIDO DE ZINC	CONTENIDO DE ALUMINIO
Longitudinal	Pieza			
102	Enfriada en agua	recubrimiento	72.92%	24.25%
107	Enfriada al med. Ambi. y recocida	recubrimiento	66.02%	27.30%
112	Enfriada al med. Amb y laminada	recubrimiento	64.23%	33.09%
117	Enfriada med Amb Recocida y laminada	recubrimiento	71.39%	26.14%
128	enfriada med. Amb	recubrimiento	50.83%	40.09%



GRAFICA 4.3 PORCENTAJE DE Zn EN LA ZONA EXTERNA DEL RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS

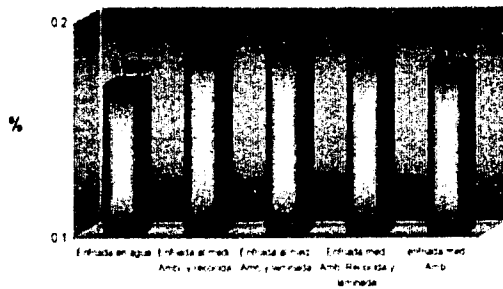


GRAFICA 4.4 PORCENTAJE DE AL EN LA ZONA EXTERNA DEL RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS

TESIS CON
 LA DE ORIGEN

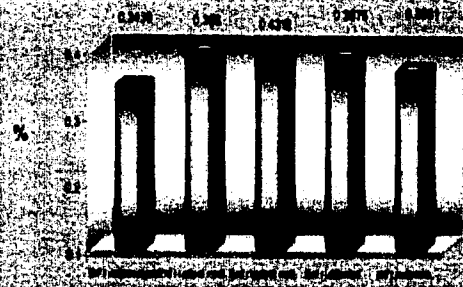
Pieza	Características	Parte de la pieza	CONTENIDO DE ZINC	CONTENIDO DE ALUMINIO	CONTENIDO DE HIERRO
Longitudinal	Pieza				
102	Enfriada en agua	Interfase	16.88%	34.39%	48.02%
107	Enfriada al med. Amb. y recoocida	Interfase	18.80%	39.60%	40.53%
112	Enfriada al med. Amb y laminada	Interfase	18.70%	43.12%	37.29%
117	Enfriada med. Amb. Recoocida y laminada	Interfase	18.50%	38.75%	41.10%
128	enfriada med. Amb.	Interfase	17.72%	36.51%	43.53%

PORCENTAJE DE ZINC EN LA INTERFASE

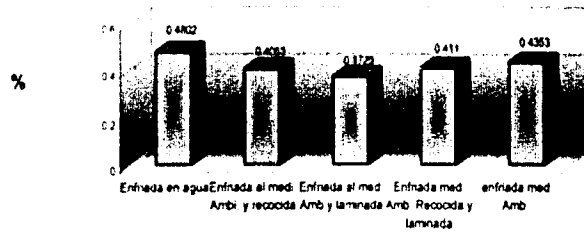


PROBETAS

PORCENTAJE DE ALUMINO EN LA INTERFASE



PORCENTAJE DE HIERRO EN LA INTERFASE



PROBETAS

GRAFICAS 4.5, 4.6 y 4.7

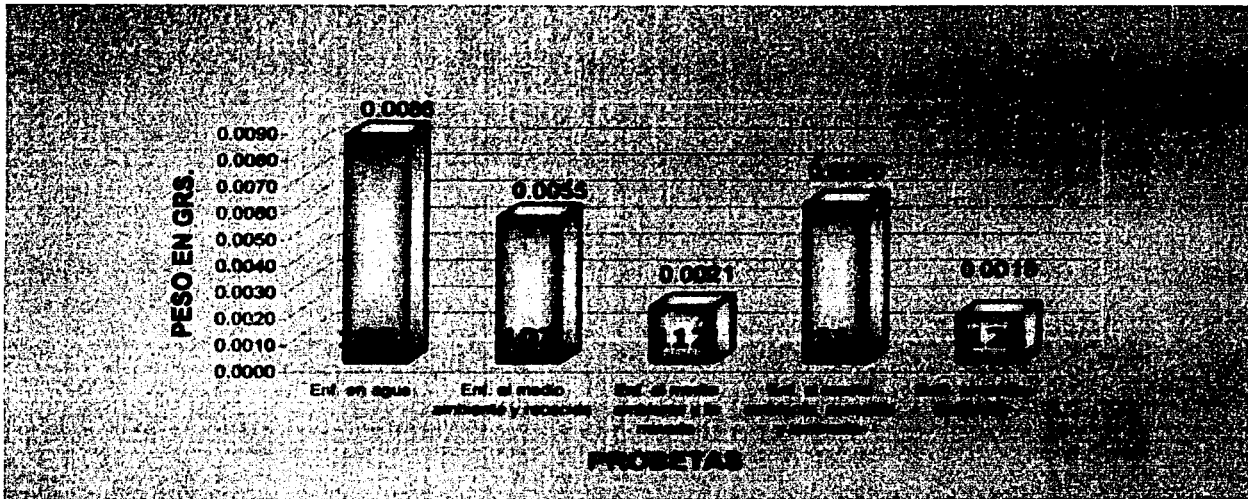
4.3 ENSAYO DE CORROSIÓN

La prueba de corrosión se realizó con la ayuda de la cámara de niebla salina, exponiendo las probetas tanto de zinalco como de acero 1018 por un periodo de ocho días evaluando la pérdida de peso de cada probeta, lo que nos mostraría los efectos de la corrosión, obteniendo los siguientes resultados:

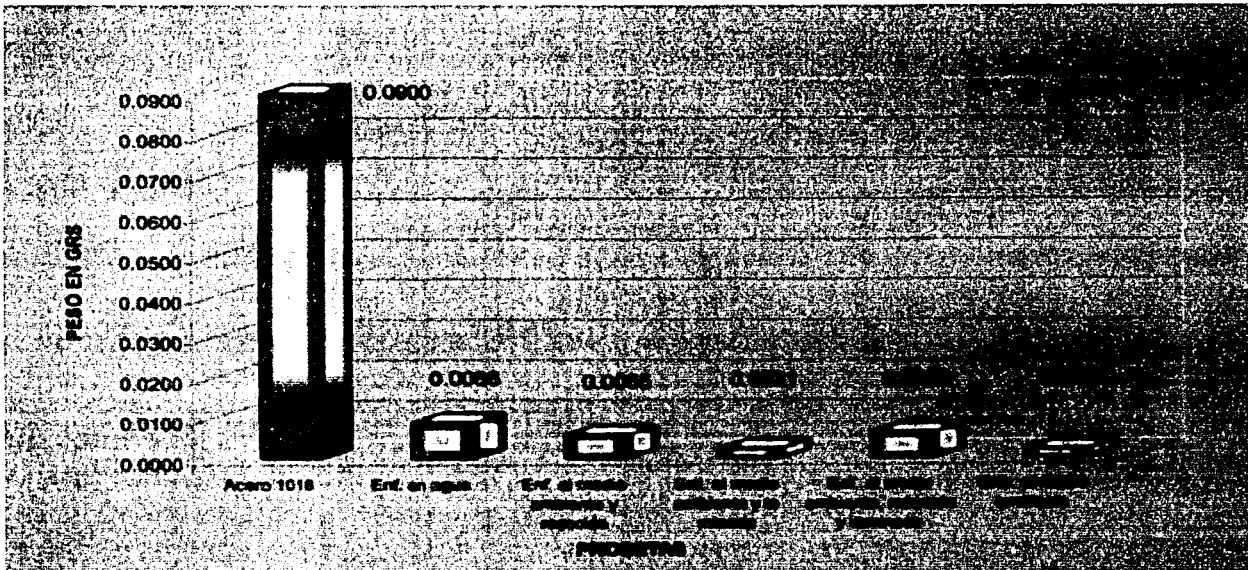
MATERIAL CON SIN RECUBRIMIENTO	PIEZA	CARACTERÍSTICAS DE CADA PROBETA	PESO INICIAL	CAMBIO DE PESO POR DIAS DE EXPOSICIÓN						DIFERENCIA PESO INICIAL VS FINAL	
				2	3	4	5	6	7		8
ACERO 1018	1	Acero 1018	9 1378	9 1249	9 1121	9 0992	9 0864	9 0735	9 0607	9 0478	0 0900
ZINALCO	102	Enf. en agua	8 5202	8 519	8 5177	8 5165	8 5153	8 5141	8 5128	8 5116	0 0086
ZINALCO	107	Enf. al medio ambiente y recoada	8 4695	8 4687	8 4679	8 4671	8 4664	8 4656	8 4648	8 4640	0 0055
ZINALCO	113	Enf. al medio ambiente y la minada	6 5464	6 5461	6 5458	6 5455	6 5452	6 5449	6 5446	6 5443	0 0021
ZINALCO	117	Enf. al medio ambiente recoada y laminada	6 5022	6 5013	6 5005	6 4996	6 4988	6 4979	6 4971	6 4962	0 0060
ZINALCO	128	Enf. al medio ambiente	8 1828	8 1825	8 1823	8 1820	8 1818	8 1815	8 1813	8 1810	0 0018

Con estos datos, se obtuvieron diferentes gráficas que se observan y explican a continuación. En la gráfica 3 se observa la comparación de pérdida de peso. Se pueden observar que existe variación evidente de peso entre ellas, y que además la probeta que sufre mayor pérdida es la enfriada en agua (102) y la que menos peso pierde es la enfriada al medio ambiente (128).

Por otro lado, la gráfica 4 muestra una comparación de la pérdida de peso entre las probetas de zinalco y de acero 1018, teniendo como resultado que la probeta de acero pierde más peso que las de zinalco. Es evidente, que aunque se realice la comparación de la probeta de acero 1018 con la de zinalco que pierde mas peso (probeta 102) la diferencia es muy grande.



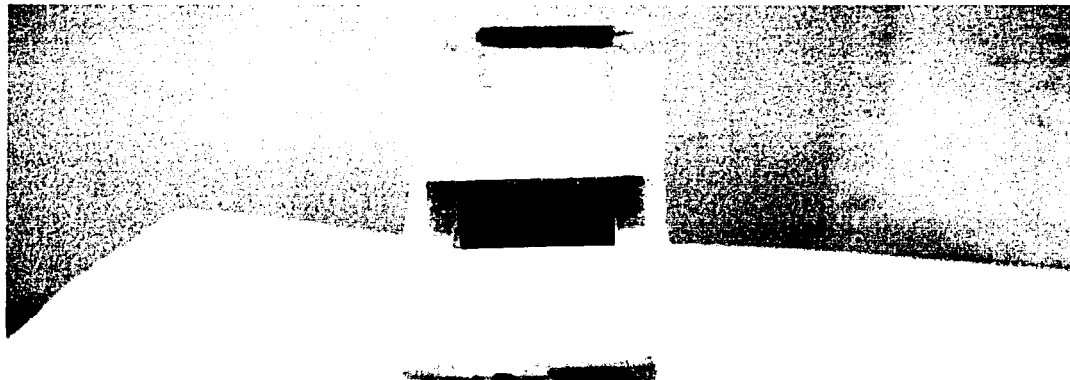
GRAFICA 4.8 COMPARACION DE PERDIDA DE PESO OBTENIDO EN ENSAYO DE CORROSION EN CAMARA DE NIEBLA SALINA ENTRE LAS PROBETAS RECUBIERTAS DE ZINALCO



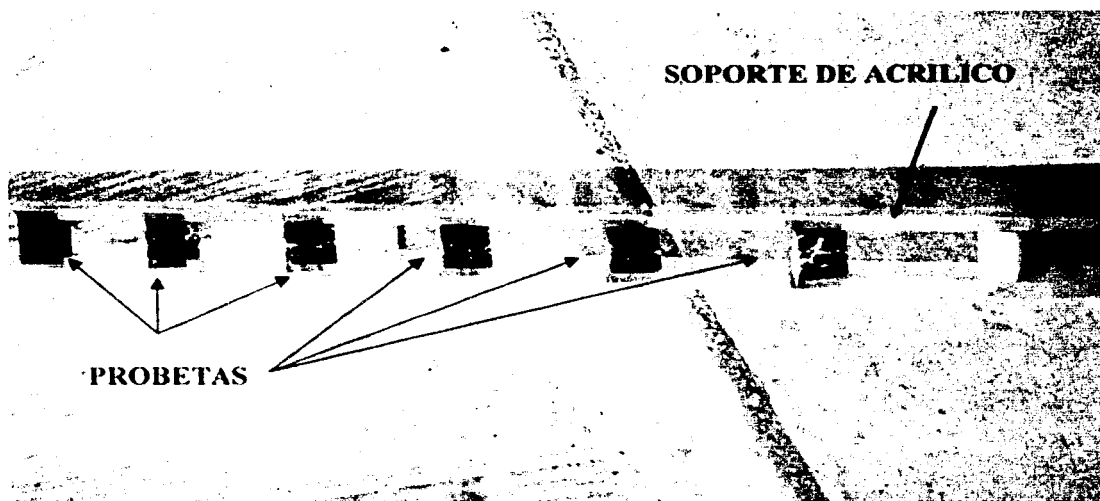
GRAFICA 4.9 COMPARACION DE LA PERDIDA DE PESO OBTENIDO EN ENSAYO DE CORROSION EN CAMARA DE NIEBLA SALINA ENTRE LAS PROBETAS RECUBIERTAS CON ZINALCO Y ACERO 1018



FOTOGRAFÍA 28 DE LA PROBETA DE ACERO 1018 DESPUÉS DE UN DÍA DE EXPUESTA EN LA NIEBLA SALINA

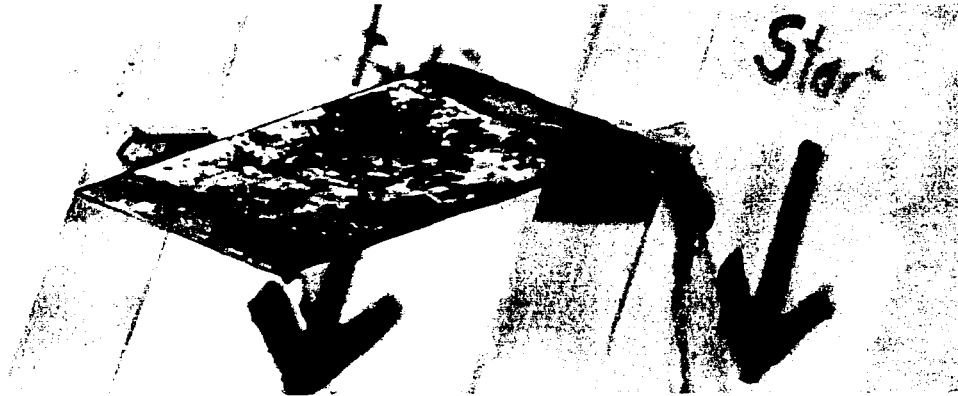


FOTOGRAFÍA 29 DE LAS PROBETAS DE ACERO 1018 RECUBIERTAS DE ZINALCO DESPUÉS DE UN DÍA DE EXPUESTA EN LA NIEBLA SALINA.

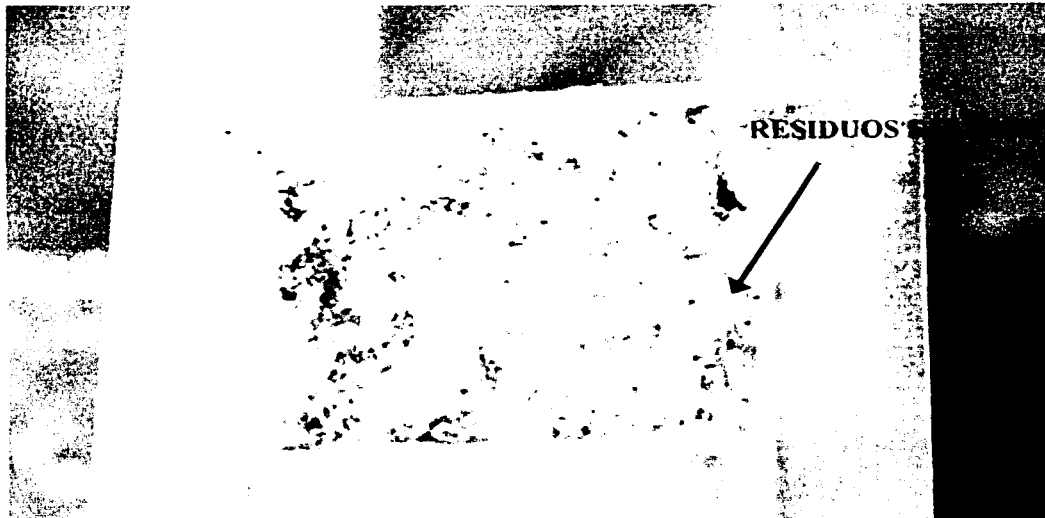




FOTOGRAFÍA 30 DE LA PROBETA DE ACERO 1018 DESPUÉS DE 3 DÍAS EXPUESTA EN LA NIEBLA SALINA



FOTOGRAFÍA 31 DE LA PROBETA DE ACERO 1018 RECUBIERTA DE ZINCO DESPUÉS DE 8 DÍAS DE EXPUESTA EN LA NIEBLA SALINA.





**FOTOGRAFÍA 32 DE LA PROBETA 1018 DESPUÉS DE 8 DÍAS EXPUESTA EN LA NIEBLA SALINA
(ULTIMA TOMA)**



CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo. Debido a esto, se hará continua referencia al capítulo anterior.

5.1 ANÁLISIS DEL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE CADA PROBETA.

Analizando los datos obtenidos y habiendo hecho el estudio de la gráfica 4.1, encontramos que la probeta de zinalquizado enfriada al medio ambiente-recocida-laminada (117), es la que cuenta con un espesor de recubrimiento mayor, por arriba de las otras cuatro muestras, aunque se encuentra mucha semejanza en cuanto a su espesor con la enfriada al medio ambiente-recocida (107) y la probeta que sólo fué enfriada al medio ambiente (128), debido a que la probeta 107 es menor por 19 micras y la 128 es 24.1 micras menor que la probeta en cuestión.

La probeta enfriada en agua (102) ocupa el cuarto lugar en cuanto a su espesor, sin embargo, junto con las otras tres probetas ya mencionadas (107, 117, 128), se encuentran por arriba de las 200 micras de tamaño. La probeta que cuenta con el menor espesor de las cinco en estudio (efecto, evidentemente de la laminación), es la enfriada al medio ambiente-laminada (112). La diferencia que existe entre la probeta con mayor espesor (117) y ésta es de 89.8 micras.



Realizando una tabla comparativa de porcentajes respecto al espesor de las 5 probetas tenemos:

Tabla comparativa de porcentaje

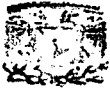
PROBETA	ESPESOR EN MICRAS	PORCENTAJE (%)
Enfriada al medio ambiente-recocida-laminada	282.3	100 %
Enfriada al medio ambiente-recocida	263.3	93.2 %
Enfriada al medio ambiente	258.2	91.46 %
Enfriada en agua	215.5	76.16 %
Enfriada al medio ambiente-laminada	192.5	68.1 %

Este análisis de porcentaje nos ayuda para ver que la diferencia de tamaño de espesores no varía mucho, principalmente en las tres primeras probetas, existiendo una variación menor en las otras dos y que ninguna está por debajo del 60%, lo que nos indica que el recubrimiento cumple con las expectativas planeadas que era alcanzar un recubrimiento por arriba de las 150 micras.

5.2 ANÁLISIS DE DUREZAS DEL RECUBRIMIENTO DE CADA PROBETA.

En esta parte haremos referencia a la tabla de resultados de durezas y a la gráfica 4.2 la cual hace la representación de las durezas promedio, en el recubrimiento, interfase y en el material base (acero 1018), los cuales se analizan por separado y en la misma gráfica podemos realizar un estudio de conjunto observando de todas las probetas, todas las regiones.

Empezaremos analizando la zonas del recubrimiento, donde la probeta que cuenta con la mayor dureza es la enfriada al medio ambiente-recocida-laminada (117), aunque la



diferencia que existe con la probeta que le sigue hacia abajo es muy poca, nos referimos a la probeta enfriada en agua (102) y en tercer lugar tenemos la probeta que sólo fue enfriada al medio ambiente (128).

Las probetas que presentan la menor dureza de manera descendente en el recubrimiento son la enfriada al medio ambiente-recocida (107) y la enfriada al medio ambiente-laminada (112), teniendo que entre estas dos la diferencia es de 2.13 unidades en la escala Vickers (HV), en cambio la diferencia que se tiene entre la probeta con la mayor dureza (117) y la de menor dureza (112), es de 28.3 HV.

Por otro lado, en la interfase, la probeta con mayor dureza es la enfriada en agua (102), seguida de la enfriada al medio ambiente (128) y la tercera más dura es la probeta enfriada al medio ambiente-recocida-laminada (117), la diferencia que existe entre las dos primeras es de apenas 2.17 HV y la diferencia de la primera con la tercera es de 4.5 HV pero aún así la diferencia promedio entre las tres es de 2.25 HV, lo cual nos indica que no existe una gran variación de dureza en esta zona.

La diferencia que existe entre la probeta enfriada en agua (102) y la probeta enfriada al medio ambiente-recocida (107) es de 29.17 HV, siendo la probeta 107 el cuarto lugar en cuanto a dureza y por último tenemos la probeta enfriada al medio ambiente-laminada (112), la cual ocupa el último lugar en cuanto a dureza, entonces, tenemos que la diferencia entre la probeta de mayor y la de menor dureza (probeta 102 y probeta 112 respectivamente), es de 71.17 HV.

Esta diferencia tan grande de dureza es debido al contenido de hierro y aluminio, los cuales serán discutidos de manera más detallada en el punto 5.3 de este capítulo.

Desde el punto de vista de la composición que presenta cada probeta, podemos señalar que las probetas con la mayor dureza (102 y 117), contienen más zinc en el



recubrimiento que las otras tres en estudio, y menor porcentaje de aluminio, observando también que la probeta 128, tiene una dureza intermedia entre las dos más duras y las dos con menor dureza, teniendo que presenta un porcentaje casi similar del 50% de zinc y aluminio en la parte del recubrimiento, siendo la diferencia de un 10 % más de zinc que aluminio. La probeta 112 la cual es la de menor dureza presenta más porcentaje de zinc pero en menor proporción comparada con las probetas que tienen una dureza mayor (102 y 117) y más aluminio comparada con estas.

Realizando la comparación de dureza entre la parte externa y la interfase, de las 5 probetas tenemos que en las cinco la interfase es más dura que la parte externa del recubrimiento, debido al compuesto Fe-Al que se forma en esta parte del recubrimiento. Por lo tanto, en el recubrimiento como en la interfase la probeta con menor dureza es la enfriada al medio ambiente-laminada (probeta 112).

En el material base, no hay mucho que decir, la dureza de las cinco probetas es muy similar lo cual, además se podría esperar. La diferencia entre la probeta más dura 112, que resulta ser la de menor dureza en las otras dos zonas de estudio, y la menos dura probeta (117), es de 13.17 uev, que es una diferencia mínima y nos habla de un material base homogéneo.

5.3 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA Y EL ANÁLISIS QUÍMICO.

En esta parte nos enfocaremos a estudiar los resultados de cada una de las probetas, así como el análisis químico que se manifestó a lo largo del recubrimiento y la interfase, en donde se obtuvo lo siguiente:

La probeta enfriada en agua (102), de acuerdo a la fotografía 102-2, muestra en la zona del recubrimiento, una microestructura de granos claros (blancos), así también se encuentran franjas donde los granos son de color gris. En la zona exterior, existe una



combinación de granos claros, que de acuerdo al análisis químico (área de estudio 1, foto 102-4) son zonas ricas en Zn y las franjas grises son granos ricos en aluminio (área de estudio 2, foto 102-4). En la fotografía 102-4, podemos observar la combinación de zonas, donde después de tener una zona de zinc, existe una franja de aluminio. Estos resultados son de acuerdo a las tablas de las áreas de estudio 1 y 2 del análisis químico de la foto 102-4.

En la fotografía 102-7, se realiza el estudio en la interfase, donde se muestra una zona de granos más oscuros, que de acuerdo al análisis químico de esta muestra se trata de una combinación de granos hierro-aluminio, con un pequeño porcentaje de zinc.

La probeta enfriada al medio ambiente y recocida (107), presenta en la fotografía 107-1, 4 zonas donde la primera muestra una combinación de granos de la fase rica en zinc con granos de la fase rica en aluminio, existiendo una mayor cantidad de zinc hacia la parte externa del recubrimiento de acuerdo al análisis químico realizado en esta área (107-1).

Por debajo de esta área encontramos una zona de color gris rica en aluminio que además contiene hierro y zinc, creando un compuesto duro principalmente por la combinación de aluminio y hierro. Por debajo de la franja de hierro-aluminio-zinc se observa una estructura dendrítica de zinalco, rodeada de una combinación de granos de zinc (zonas claras) y de la combinación hierro-aluminio (zonas grises).

En la zona de la interfase de acuerdo al análisis químico se muestra una combinación de hierro-aluminio-zinc, donde se presenta en mayor porcentaje el hierro, seguido del aluminio, y muy poco zinc. Todos los análisis anteriores de esta probeta, se obtuvieron de los estudios a la fotografía 107-2.



En la probeta enfriada al medio ambiente y laminada (112), podemos observar en la fotografía 112-1 una gran cantidad de zonas grises ricas en aluminio, rodeados de granos claros de zinc-aluminio además de que los granos están orientados en la dirección de laminación.

En la parte externa del recubrimiento existe un elevado porcentaje de aluminio por arriba del 50%, y en menor porcentaje zinc. En las zonas claras existe una combinación de zinc-aluminio-cobre, este último en cantidades menores porcentaje, como se observa en la tabla de la composición química de esta fotografía.

En la interfase de la fotografía 112-6, se encuentra la combinación de Fe-Al-Zn, donde los dos primeros predominan en mayor proporción, formando un compuesto no tan duro como en las probetas 128,102 y 117.

La probeta enfriada al medio ambiente-recocida-laminada (117), de acuerdo a la fotografía 117-2 y a su análisis, tenemos que a lo largo del recubrimiento existe una combinación de granos de fases ricas en zinc y en aluminio, mostrando que el zinc se encuentra en mayor porcentaje.

El análisis realizado en los granos claros de la fotografía 107-5, muestra que el elemento predominante es el Zn en un 92.79% teniendo muy poco de Al, Cu, Fe.

Hacia la interfase pasa lo contrario ya que existe una franja muy notable de granos de color oscuro la cual se puede observar con gran claridad en la foto 117-6, y que en el análisis químico arroja que existe una combinación de hierro-aluminio en altas proporciones.

En la probeta enfriada al medio ambiente (128), existe una formación uniforme de granos de fase rica en zinc y de granos de fase rica en aluminio, teniendo que empieza



de la parte externa del recubrimiento a la parte de la interfase, observando dendritas de zinalco, rodeadas de zonas blancas de zinc y viceversa, también zonas de zinc rodeadas de granos de aluminio-hierro.

Al realizarse el enfriamiento al medio ambiente, un tipo de enfriamiento lento y si además en nuestro caso de estudio no se le da algún tratamiento adicional, esto hace que no se permita la difusión tan marcada del Al o Zn hacia una de las partes del recubrimiento, por lo que el estudio químico realizado, arroja que tanto el Zn, como el Al estén en grandes proporciones a lo largo del recubrimiento y la interfase. Al igual que en las otras probetas de estudio encontramos que en la interfase existe una combinación de hierro-aluminio, formando una aleación que de acuerdo a la gráfica 4.2 es la segunda probeta con mayor dureza.

Ahora analizaremos el comportamiento del Zn-Al-Fe, a lo largo del recubrimiento y la interfase, en las 5 probetas. En la parte externa del recubrimiento existe mas zinc en la probeta enfriada en agua, todo hace ver que el enfriamiento rápido provoca que exista poca difusión del Zn y elevada del aluminio hacia la parte media del recubrimiento y la interfase. Cuando recocemos las probetas enfriadas al medio ambiente, existe también la difusión de aluminio hacia la interfase.

La probeta enfriada al medio ambiente, al ser un enfriamiento lento, hace que no se presente esta difusión tan notable ya que tanto el Zn como el Al se encuentran en porcentajes casi similares.

Hacia la parte central del recubrimiento existe la combinación de Zn-Al-Fe, variando los porcentajes de acuerdo al tratamiento que se le aplicó a cada una de las probetas.

En la parte de la interfase, la combinación de los tres elementos mas importantes es muy variada, existiendo mas aluminio y hierro en esta zona, y con un bajo contenido de



Zn, por abajo del 20%, la probeta enfriada en agua es la que presenta el mayor contenido de hierro en esta zona, y el más bajo contenido de aluminio y zinc, observando también que es la zona con mayor dureza, al igual la segunda probeta con mayor dureza en esta zona, (enfriada al medio ambiente) tiene un alto contenido de hierro con un bajo contenido de zinc y de aluminio, observando que a bajos contenidos de hierro y altos de aluminio y zinc la probetas son menos duras como es el caso de la enfriada al medio ambiente-laminada y la enfriada al medio ambiente y recocida.

5.4 ANÁLISIS DE CORROSIÓN.

En esta parte del estudio haremos referencia al tema tres del capítulo cuatro junto con el análisis químico que se le aplicó a cada probeta y los resultados de las durezas de cada una.

Primero, analizaremos las probetas recubiertas y posteriormente, lo haremos con el acero 1018 sin recubrir.

De acuerdo a los datos que nos arroja la prueba y observando la gráfica de pérdida de peso, la probeta enfriada en agua (102) es la que más peso perdió de las cinco en estudio, esto es debido a que la presencia de zinc en la parte externa del recubrimiento, actúa como ánodo de sacrificio (se disuelve) a favor del metal que actúa como cátodo, que en este caso es el acero 1018. Este sistema se conoce como "protección catódica con ánodo de sacrificio", además que de las 5 probetas, es la que contiene la mayor cantidad de zinc en la parte externa del recubrimiento, siendo además la segunda probeta con mayor dureza, y si analizamos la probeta que tiene la mayor dureza en la parte del recubrimiento (enfriada al medio ambiente-recocida-laminada), es también la segunda probeta con el mas alto contenido de zinc en el exterior y por ende la segunda pieza que mas peso pierde, al comportarse el zinc como ánodo de sacrificio.

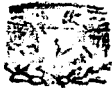


En cambio analizando la pieza que menos peso pierde, que resulta ser la enfriada al medio ambiente (128), la pérdida de peso se debe a que en la parte externa del recubrimiento, existe una combinación de zinc y aluminio casi en el mismo porcentaje, lo que hace que el aluminio forme una película de óxido de aluminio (pasivación anódica) que lo hace resistente a la corrosión. Es decir, que con este efecto, no se permite que exista una gran pérdida de peso, como en los demás casos de estudio, donde el porcentaje de zinc en el exterior es grande. De igual manera pasa en la probeta enfriada al medio ambiente-laminada (112), la cual también tiene poca pérdida de peso debido a la presencia de mayor proporción de aluminio en la zona externa del recubrimiento.

Ahora, comparando la pérdida de peso de las cinco probetas con la de acero 1018 sin recubrir, esta perdió 90 milésimas de gramo (0.090 grs.) de su peso original, durante 8 días de prueba. La diferencia con la pérdida de peso de las probetas es muy notable, teniendo que la probeta que más peso perdió es la enfriada en agua (102) con 86 diezmilésimas de gramo (0.0086 grs.), que apenas represente el 9.5% del peso perdido por el acero sin recubrir.

Realizando la comparación con las demás probetas, tenemos:

PROBETA	PESO PERDIDO EN GRAMOS	% DE PESO REPRESENTATIVO DEL ACERO 1018
ACERO 1018	0.090	100%
102	0.0086	9.5 %
117	0.0060	6.66 %
107	0.0055	6.11 %
112	0.0021	2.33 %
128	0.0018	2.0 %



Analizando la tabla, podemos observar que la probeta que menos peso pierde es la enfriada al medio ambiente, que apenas representa el 2% de la pérdida total del acero sin recubrir, la cual es la probeta mas conveniente para ser utilizada, debido a todo lo antes mencionado (tamaño de espesor, dureza, análisis químico y protección contra la corrosión), y si comparamos que nuestra prueba se realizó en probetas cuya superficie fue de 3.75 cm^2 donde al acero pierde 0.090 grs. de peso del espesor y la probeta 128 pierde apenas 0.0018 grs. de peso, realizando la comparación en una lámina comercial de $3 \times 3 \text{ pies} = 182.92 \text{ cm}^2$ tenemos que el acero 1018 sin recubrir perdería 4.4 gramos en 8 días al mes serian 16.5 grs. y al año se tendría una perdida de 198 gramos. En cambio si usamos la lámina de acero 1018 recubierta con zinalco y enfriada al medio ambiente, tenemos que se perdería 0.087 gramos en 8 días, al mes serian 0.33 gramos y en el año solo se perderían 3.95 gramos = 4 grs., lo que se pierde en el acero 1018 sin recubrir en 8 días.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES



6. CONCLUSIONES

Realizadas las actividades experimentales así como las pruebas y el análisis de los resultados obtenidos se concluye que:

- Se comprobó que el recubrimiento esta formado de una capa externa que corresponde al zinalco, metal empleado como recubrimiento y una capa interna nombrada interfase con una composición de Zn-Al-Fe, que son los elementos que integran al recubrimiento y el material base.
- El espesor de recubrimiento se mantiene sin variaciones por efecto de los diferentes tratamientos.
- Se comprobó al realizar un análisis microscópico que el espesor de recubrimiento no depende del medio de enfriamiento, ya que se mantiene en un espesor promedio de 242 micras suficiente para dar protección al acero 1018.
- El espesor en estas condiciones, incrementa el costo ya que se empleara mayor cantidad de material.
- Se comprobó en base a los estudios realizados que el material base no cambia su dureza por efecto del tratamiento térmico o laminación.
Lo anterior era de esperarse por que se realizo a bajas temperaturas las cuales no afectan la estructura del acero.
- Se establece de este estudio que la dureza en la parte externa del recubrimiento es la correspondiente del zinalco.
- En cuanto a la interfase, se tiene una dureza media entre el metal base y el recubrimiento (zinalco), debido a la combinación hierro-aluminio que se favorece en esta zona.



Respecto a la composición química de las probetas, de acuerdo a los diferentes tratamientos aplicados se encontró que:

- Al ser enfriada en agua (enfriamiento rápido), provoca una difusión principalmente del aluminio hacia la interfase y parte central del recubrimiento, aumentando la proporción de zinc en la zona externa y comportándose éste como ánodo de sacrificio.
- La combinación que se observa en la interfase de aluminio-hierro-zinc, forma compuestos duros, teniendo que a mayor porcentaje de hierro y a menor porcentaje de zinc- aluminio, la interfase es mas dura y por el contrario a más contenido de zinc-aluminio y menos hierro, es menos dura la interfase.
- El recocido es un tratamiento que influye en la pérdida de peso, ya que existe un reacomodo de granos, existiendo la difusión de aluminio hacia la parte central del recubrimiento y la interfase, formándose combinaciones de aluminio con hierro en algunas zonas del recubrimiento, principalmente en la interfase, por lo que el alto contenido de zinc en la parte externa del recubrimiento, hace que se comporte como ánodo de sacrificio.
- Al enfriar la probeta al medio ambiente (enfriamiento lento), la difusión del zinc y del aluminio no tiene una tendencia hacia alguna parte del recubrimiento, teniendo la combinación de estos dos elementos a lo largo del recubrimiento y la interfase.

La presencia de aluminio en la parte externa provoca que la pérdida de peso sea mínima al ser expuesta en un medio corrosivo, como lo es el agua salina, comportándose como un ánodo pasivo formando una película de óxido de aluminio, la cual no permite que exista pérdida de material en grandes proporciones.



- Se comprobó que el zinalco empleado como recubrimiento ayuda a combatir la corrosión en medios salinos, prolongando la vida del acero, en particular se recomienda el baño de zinalco enfriado al medio ambiente.
- Desde el punto de vista económico, el acero 1018 recubierto con zinalco y que solo es enfriado al medio ambiente es el más económico, ya que no requiere de ningún otro tratamiento como es el recocido o el laminado, los cuales cada uno de estos tratamientos tiene un costo adicional.
- Logrados los objetivos establecidos como premisa de esta investigación (caracterizar recubrimientos de zinalco sobre acero al carbono, obtenidos mediante inmersión en caliente, particularmente en lo relativo a su microestructura, su dureza y su resistencia a la corrosión en medios salinos) se sugiere la aplicación del material, en el recubrimiento de piezas utilizadas en ambientes marinos. Algunas áreas posibles de aplicación son: la fabricación de plataformas marinas como son las petroleras, la fabricación de embarcaderos, muelles, en barcos y piezas de los mismos, previa valoración de las necesidades de resistencia mecánica en estas aplicaciones.
- La utilización del acero 1018 recubierto de zinalco, redundará en el beneficio económico para el país ya que con esto se puede alargar la vida útil de piezas de acero al carbono, la sustitución de materiales más costosos y la posibilidad de disminuir el consumo de aluminio de importación, y promover el consumo y mayor aprovechamiento del zinc, metal del que México cuenta con grandes reservas.

APÉNDICES



Apéndices

A. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

El microscopio electrónico (VER FOTO A1) utiliza electrones para observar un objeto. Dado que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la de la luz, pueden mostrar estructuras mucho más pequeñas. La longitud de onda más corta de la luz visible es de alrededor de 4.000 ångstrom (1 ångstrom equivale a 1×10^{-9} metros). La longitud de onda de los electrones que se utilizan en los microscopios electrónicos es de alrededor de 0,5 ångstrom.

Todos los microscopios electrónicos cuentan con varios elementos básicos. Disponen de un cañón de electrones que emite los electrones que chocan contra el espécimen, creando una imagen aumentada. Se utilizan lentes magnéticas para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes convencionales utilizadas en los microscopios ópticos no funcionan con los electrones. El sistema de vacío es una parte relevante del microscopio electrónico. Los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, de forma que tiene que hacerse un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características. Por último, todos los microscopios electrónicos cuentan con un sistema que registra o muestra la imagen que producen los electrones.

Hay dos tipos básicos de microscopios electrónicos: el microscopio electrónico de transmisión (IEM) y el microscopio electrónico de barrido (SEM).

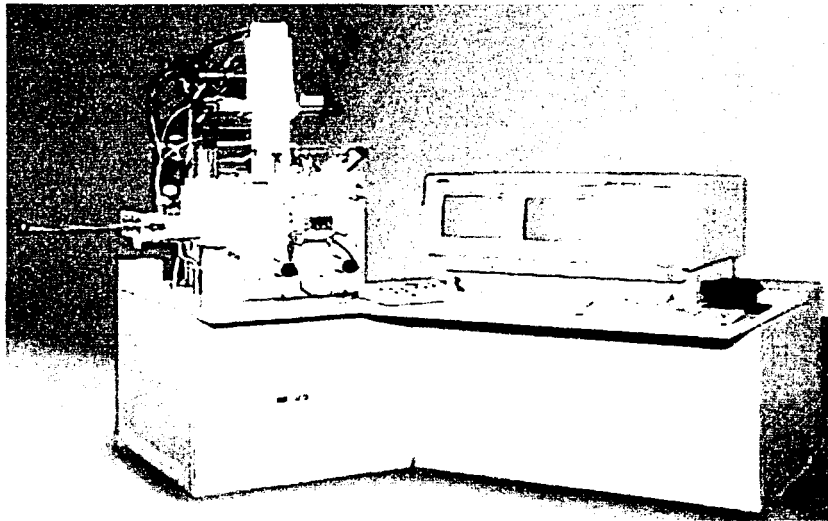


FOTO A1. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO TÍPICO

Un microscopio electrónico de barrido crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto. No es necesario cortar el objeto en capas para observarlo con un SEM, sino que puede colocarse en el microscopio con muy pocos preparativos. El SEM explora la superficie de la imagen punto por punto. Su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones, de forma parecida al barrido de un haz de electrones por la pantalla de una televisión. Los electrones del haz pueden dispersarse al alcanzar la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios. Los electrones dispersados y los secundarios son recogidos y contados por un dispositivo electrónico situado a los lados del espécimen. Cada punto leído de la muestra corresponde a un píxel en un monitor de televisión. Cuanto mayor sea el número de electrones contados por el dispositivo, mayor será el brillo del píxel en la pantalla. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta toda la imagen de la misma en el monitor. Los microscopios electrónicos de barrido pueden ampliar los objetos 100.000 veces o más.

**B. NORMA****(ASTM B 117)****Standard Practice for
Operating Salt Spray (Fog) Apparatus 1**

This standard is issued the fixed designation B 117; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

- 1.1 This practice describes the apparatus, procedure, and conditions required to create and maintain the salt spray (fog) test environment. Suitable apparatus which may be used is described in Appendix X1.
- 1.2 This practice does not prescribe the type of test specimen or exposure periods to be used for a specific product, nor the interpretation to be given to the results.
- 1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The inch-pound units in parentheses are provided for information and may be approximate.
- 1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

B 368 Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test) 2

D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products 3

D 1193 Specification for Reagent Water 4

D 1654 Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments 3

E 70 Test Method for Ph of Aqueous Solutions with the Glass Electrode 5

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method 6

G 85 Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing 7

1 This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G01 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved Apr. 10, 1997. Published November 1997. Originally published as B 117-39 T. Last previous edition B 117-95.

2 Annual Book of ASMT Standards, Vol 02.05.

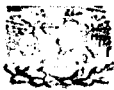
3 Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

4 Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

5 Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.05.

6 Annual Book of ASTM Standards Vol 14.02.

7 Annual Book of ASTM Standards Vol 03.02.



3. Significance and Use

3.1 This practice provides a controlled corrosive environment which has been utilized to produce relative corrosion resistance information for specimens of metals and coated metals exposed in a given test chamber.

3.2 Prediction of performance in natural environments has seldom been correlated with salt spray results when used as stand alone data.

3.2.1 Correlation and extrapolation of corrosion performance based on exposure to the test environment provided by this practice are not always predictable.

3.2.2 Correlation and extrapolation should be considered only in cases where appropriate corroborating long-term atmospheric exposures have been conducted.

3.3 The reproducibility of results in the salt spray exposure is highly dependent on the type of specimens tested and the evaluation criteria selected, as well as the control of the operating variables. In any testing program, sufficient replicates should be included to establish the variability of the results. Variability has been observed when similar specimens are tested in different fog chambers even though the testing conditions are nominally similar and within the ranges specified in this practice.

4. Apparatus

4.1 The apparatus required for salt spray (fog) exposure consists of a fog chamber, a salt solution reservoir, a supply of suitably conditioned compressed air, one or more atomizing nozzles, specimen supports, provision for heating the chamber, and necessary means of control. The size and detailed construction of the apparatus are optional, provided the conditions obtained meet the requirements of this practice.

4.2 Drops of solution which accumulate on the ceiling or cover of the chamber shall not be permitted to fall on the specimens being exposed.

4.3 Drops of solution which fall from the specimens shall not be returned to the solution reservoir for respraying.

4.4 Material of construction shall be such that it will not affect the corrosiveness of the fog.

4.5 All water used for this practice shall conform to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). This does not apply to running tap water. All other water will be referred to as reagent grade.

5. Test Specimens

5.1 The type and number of test specimens to be used, as well as the criteria for the evaluation of the test results, shall be defined in the specifications covering the material or product being exposed or shall be mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

6. Preparation of Test Specimens

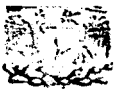
6.1 Specimens shall be suitably cleaned. The cleaning method shall be optional depending on the nature of the surface and the contaminants. Care shall be taken that specimens are not recontaminated after cleaning by excessive or careless handling.

6.2 Specimens for evaluation of paints and other organic coatings shall be prepared in accordance with applicable specification (s) for the material (s) being exposed, or as agreed upon between the purchaser and the supplier. Otherwise, the test specimens shall consist of steel meeting the requirements of Practice D 609 and shall be cleaned and prepared for coating in accordance with the applicable procedure of Practice D 609.

6.3 Specimens coated with paints or nonmetallic coatings shall not be cleaned or handled excessively prior to test.

6.4 Whenever it is desired to determine the development of corrosion from an abraded area in the paint or organic coating a scratch or scribed line shall be made through the coating with a sharp instrument so as to expose the underlying metal before testing. The conditions of making the scratch shall be as defined in Test Method D 1654, unless otherwise agreed upon between the purchaser and the seller.

6.5 Unless otherwise specified, the cut edges of plated, coated, or duplex materials and areas containing identification marks or in contact with the racks or supports shall be protected with a suitable coating stable under the conditions of the practice.



Note 1-Should it be desirable to cut test specimens from parts or from preplated, painted, or otherwise coated steel sheet, the cut edges shall be protected by coating them with paint, wax, tape, or other effective media so that the development of a galvanic effect between such edges and the adjacent plated or otherwise coated metal surfaces, is prevented.

7. Position of Specimens During Exposure

7.1 The position of the specimens in the salt spray chamber during the test shall be such that the following conditions are met:

7.1.1 Unless otherwise specified, the specimens shall be supported or suspended between 15 and 30° from the vertical and preferably parallel to the principal direction of flow of fog through the chamber, based upon the dominant surface being tested.

7.1.2 The specimens shall not contact each other or any metallic material or any material capable of acting as a wick.

7.1.3 Each specimen shall be so placed as to permit free settling of fog on all specimens.

7.1.4 Salt solution from one specimen shall not drip on any other specimen.

Note 2- Suitable materials for the construction or coating of racks and supports are glass, rubber, plastic, or suitably coated wood. Bare metal shall not be used. Specimens shall preferably be supported from the bottom or the side. Slotted wooden strips are suitable for the support of flat panels. Suspension from glass hooks or waxed string may be used as long as the specified position of the specimens is obtained, if necessary by means of secondary support at the bottom of the specimens.

8. Salt Solution

8.1 The salt solution shall be prepared by dissolving 5 ± 1 parts by mass of sodium chloride in 95 parts of water conforming to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). The salt used shall be sodium chloride substantially free of nickel and copper and containing on the dry basis not more than 0.1 % of sodium iodide and not more than 0.3 % of total impurities. Some salts contain additives that may act as corrosion inhibitors; careful attention should be given to the chemical content of the salt. Upon agreement between the purchaser and the seller, analysis may be required and limits established for elements or compounds not specified in the chemical composition given above.

8.2 The pH of the salt solution shall be such that when atomized at 35° C (95° F) the collected solution will be in the pH range from 6.5 to 7.2 (Note 3). Before the solution is atomized it shall be free of suspended solids (Note 4). The pH measurement shall be made at 25° C (77° F) using a suitable glass pH -sensing electrode, reference electrode, and pH meter system in accordance with Test Method E 70.

Note 3-Temperature affects the pH of a salt solution prepared from water saturated with carbon dioxide at room temperature and pH adjustment may be made by the following three methods:

- (1) When the pH of a salt solution is adjusted at room temperature, and atomized at 35° C (95° F), the pH of the collected solution will be higher than the original solution due to the loss of carbon dioxide at the higher temperature. When the pH of the salt solution is adjusted at room temperature, it is therefore necessary to adjust it below 6.5 so the collected solution after atomizing at 35° C (95° F) will meet the pH limits of 6.5 to 7.2. Take about a 50-mL sample of the salt solution as prepared at room temperature, boil gently for 30 s, cool, and determine the pH. When the pH of the salt solution is adjusted to 6.5 to 7.2 by this procedure, the pH of the atomized and collected solution at 35° C (95° F) will come within this range.
- (2) Heating the salt solution to boiling and cooling to 35° C (95° F) and maintaining it at 35° C (95° F) for approximately 48 h before adjusting the pH produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35° C (95° F).
- (3) Heating the water from which the salt solution is prepared to 35° C (95° F) or above, to expel carbon dioxide, and adjusting the pH of the salt solution within the limits of 6.5 to 7.2 produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35° C (95° F).



Note 4- The freshly prepared salt solution may be filtered or decanted before it is placed in the reservoir, or the end of the tube leading from the solution to the atomizer may be covered with a double layer of cheesecloth to prevent plugging of the nozzle.

Note 5- The pH can be adjusted by additions of dilute ACS reagent grade hydrochloric acid or sodium hydroxide solutions.

9. Air Supply

9.1 The compressed air supply to the nozzle or nozzles for atomizing the salt solution shall be free of oil and dirt (Note 6) and maintained between 69 and 172 kPa/m² (10 and 25 psi).

Note 6- The air supply may be freed from oil and dirt by passing it through a water scrubber or at least 610 mm (2 ft) of suitable cleaning material such as sheep's wool, excelsior, slag wool, or activated 8 alumina. Commercial cartridge filters which include an expiration indicator may also be used.

10. Conditions in the Salt Spray Chamber

10.1 Temperature-The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at $35 \pm 1.1 - 1.7^\circ \text{C}$ ($95 \pm 2 - 3^\circ \text{F}$). The temperature within the exposure zone of the closed cabinet shall be recorded at least twice a day at least 7 h apart (except on Saturdays, Sundays, and holidays when the salt spray test is not interrupted for exposing, rearranging, or removing test specimens or to check and replenish the solution in the reservoir).

Note 7- A suitable method to record the temperature is by a continuous recording device or by a thermometer which can be read from outside the closed cabinet. The recorded temperature must be obtained with the salt spray chamber closed to avoid a false low reading because of wet-bulb effect when the chamber is open.

10.2 Atomization and Quantity of Fog- At least two clean fog collectors shall be so placed within the exposure zone that no drops of solution from the test specimens or any other source shall be collected. The collectors shall be placed in the proximity of the test specimens, one nearest to any nozzle and the other farthest from all nozzles. The fog shall be such that for each 80 cm² (12.4 in. ²) of horizontal collecting area there will be collected in each collector from 1.0 to 2.0 mL of solution per hour based on an average run of at least 16 h (Note 8). The sodium chloride concentration of the collected solution shall be 5 ± 1 mass % (Note 9). The pH of the collected solution shall be 6.5 to 7.2. The pH measurement shall be made as described in 8.2 (Note 3).

Note 8- Suitable collecting devices are glass or plastic funnels with the stems inserted through stoppers into graduated cylinders, or crystallizing dishes. Funnels and dishes with a diameter of 10 cm (3.94 in.) have an area of about 80 cm² (12.4 in²).

Note 9- A solution having a specific gravity of 1.0255 to 1.0400 at 25° C (77° F) will meet the concentration requirement. The sodium chloride concentration may also be determined using a suitable salinity meter (for example, utilizing a sodium ion-selective glass electrode) or colorimetrically as follows. Dilute 5 mL of the collected solution to 100 mL with distilled water and mix thoroughly; pipet a 10-mL aliquot into an evaporating dish or casserole; add 40 mL of distilled water and 1 mL of 1 % potassium chromate solution (chloride-free) and titrate with 0.1 N silver nitrate solution to the first appearance of a permanent red coloration. A solution that requires between 3.4 and 5.1 mL of 0.1 N silver nitrate solution will meet the concentration requirements.

10.3 The nozzle or nozzles shall be so directed or baffled that none of the spray can impinge directly on the test specimens.

11. Continuity of Exposure

11.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, the test shall be continuous for the duration of the entire test period. Continuous operation implies that the chamber be closed and the spray operating continuously except for the short daily interruptions necessary to inspect, rearrange, or remove test specimens, to check and replenish the solution in the reservoir, and to make necessary recordings as described in Section 10. Operations shall be so scheduled that these interruptions are kept to a minimum.



8 A suitable device for maintaining the level of liquid in either the saturator tower or reservoir of test solution may be designed by a local engineering group, or may be purchased from manufacturers of test cabinets as an accessory.

12. Period of Exposure

12.1 The period of exposure shall be as designated by the specifications covering the material or product being tested or as mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

Note 10- Recommended exposure periods are to be as agreed upon between the purchaser and the seller, but exposure periods of multiples of 24 h are suggested.

13. Cleaning of Tested Specimens

13.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, specimens shall be treated as follows at the end of the test:

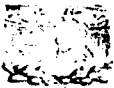
13.1.1 The specimens shall be carefully removed.

13.2 Specimens may be gently washed or dipped in clean running water not warmer than 38° C (100° F) to remove salt deposits from their surface, and then immediately dried.

14. Evaluation of Results

14.1 A careful and immediate examination shall be made as required by the specifications covering the material or product being tested or by agreement between the purchaser and the seller.

BIBLIOGRAFÍA



7. BIBLIOGRAFÍA

1. FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, MATERIALES, PROCESOS Y SISTEMAS.

AUTOR: GROOVER MIKELL P.

PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA 1ª EDICIÓN EN ESPAÑOL.

MÉXICO 1997.

2. DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS LAMINADOS ZINALCO-ALUMINIO.

AUTOR: M.I. JAVIER CERVANTES CABELLO.

TESIS DE MAESTRÍA, FACULTAD DE INGENIERÍA. UNAM 1996.

3. RECUBRIMIENTOS DE LOS METALES.

AUTOR: MOLERA SOLÀ PERE.

MARCOMBO BOIXAREU EDITORES.

COLECCIÓN PRODUCTICA.

4. MÁS ALLÁ DE LA HERRUMBRE II. LA LUCHA CONTRA LA CORROSIÓN.

AUTOR: JAVIER ÁVILA MENDOZA Y JOAN GENESCÀ LLONGUERAS.

COLECCIÓN LA CIENCIA DESDE MÉXICO 1989.

FCE-SEP-CONACTT.



5. MÁS ALLÁ DE LA HERRUMBRE III. CORROSIÓN Y MEDIO AMBIENTE.
AUTOR: JOAN GENESCÁ LLONGUERAS.
COLECCIÓN LA CIENCIA DESDE MEXICO 1989.
FCE-SEP-CONACIT.

6. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS SOBRE ZINALCO EN EL PERÍODO
1979-1990.
AUTOR: TORRES VILLASEÑOR GABRIEL.
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES U.N.A.M; JULIO 1990.

7. CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES.
AUTOR: DONALD R. ASKELAND.
INTERNATIONAL THOMSON EDITORES. (1998)

8. CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS.
AUTOR: JAMES F. SHACKELFORD.
PRENTICE HALL (1995)

9. ENCICLOPEDIA ENCARTA 2000.
MICROSOFT.



PUBLICACIONES:

1. ZINALCO CASI UN ACERO.
LEYVA JOSE ANGEL.
REVISTA INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA.
VOLUMEN 9, N° 134, PP 32-35.
2. LA NUEVA ALEACIÓN EL ZINALCO.
TORRES VILLASEÑOR GABRIEL.
REVISTA INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA, PP 43-47.
3. ZINALCO: LA NATURALEZA LOS CREO Y LA U.N.A.M. LOS JUNTO.
ROSALES JAIME.
REVISTA U.N.A.M-HOY, PP 53-56.