



D-13895



T
620.16
F632
e.2

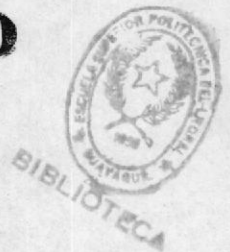
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**Evaluación de la Corrosividad del Agua Potable
y Agua Salada en Aleaciones
Zn - Al**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de
INGENIERO MECANICO**



PRESENTADA POR

INGRID TERESA FLOR CADENA

Guayaquil - Ecuador

1993



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

Valoración de la Corrosividad del Agua Potable
en Agua Salada en Aleaciones
Zn - Al

TESIS DE GRADO

Presentada a la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR

INGENIERO TRUJILLA ROSA CADENA

Guayaquil - Ecuador

1993

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

EVALUACION DE LA CORROSIVIDAD DEL AGUA POTABLE Y AGUA SALADA EN
ALEACIONES Zn-Al

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

INGRID TERESA FLOR CADENA



Guayaquil - Ecuador

1993



197-12-17

Dr. ALFREDO BARRIGA

DECANO
FAC. ING. MECANICA



ING. JOSE PACHECO

DIRECTOR DE
DIRECTOR DE TESIS



ING. JULIAN PENA

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL



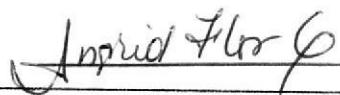
ING. FRANCISCO TORRES

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

" LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y EL PATRIMONIO DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ".

(REGLAMENTO DE EXÁMENES Y TÍTULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)



INGRID TERESA FLOR CADENA

AGRADECIMIENTO

A profesores, familiares, amigos y amigas que siempre estuvieron en todo momento, ayudándome y colaborando para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios, Padre Celestial.

A María Inmaculada, por tenerme siempre bajo su amparo y protección.

A Don Plinio y Doña Tere, mis mejores amigos.

A Paul e Iván que a pesar de la distancia, me apoyaron siempre.

RESUMEN

Una familia relativamente nueva de aleaciones de Zn-Al está siendo utilizada extensivamente en aplicaciones que requieren resistencia al desgaste y bajos costos de producción. Estos materiales tienden con el avance tecnológico a reemplazar a materiales como hierro fundido (Clase 30), aluminio (AA 356), y bronce (SAE 660) en muchas aplicaciones.

Este trabajo está siendo dirigido a beneficiar a los Pequeños Industriales, tomando en consideración de las interesantes propiedades mecánicas que estas aleaciones presentan. Estas encontrarían un mercado libre de competencia con un marco amplio de aplicaciones: piezas pequeñas de uso marino, cojinetes, manubrios, piezas para tuberías, elementos para circuitos neumáticos, toma-corrientes, etc., con mucha mejor calidad y además bajos costos en comparación con los anteriormente empleados.

Las aleaciones que se analizarán son: ZA-8, ZA-12 y ZA-27, donde se evaluarán las propiedades mecánicas, composición

química, micro estructuras y corrosividad de estas aleaciones en diferentes medios: agua potable y agua salada a diferentes temperaturas.

Se utilizarán dos técnicas Electroquímicas (Técnica Potenciostática y Técnica de Polarización Lineal), con la finalidad de determinar la corriente de corrosión para cada una de las aleaciones ILZRO, y de esta manera analizar cual de ellas presenta mejores propiedades para enfrentar medios diferentes.



INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN	V
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIII
NOMENCLATURA.....	XVI
INTRODUCCION.....	XVIII
CAPITULO I	
1. ALEACIONES ILZRO.....	20
1.1 Tipos de aleaciones ILZRO.....	20
1.2 Influencia de los elementos aleantes.....	26
1.3 Propiedades Mecánicas.....	34
1.4 Usos y aplicaciones de los diferentes tipos de aleaciones.....	38
CAPITULO II	
2. TRABAJO EXPERIMENTAL.....	45
2.1 Metodología a seguir.....	45
2.2 Ensayos de Evaluación.....	45
2.2.1 Propiedades Mecánicas.....	46

2.2.2 Análisis Químico.....	49
2.2.3 Análisis metalográfico.....	50
2.2.4 Resistencia a la Corrosión.....	55
CAPITULO III	
3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	85
3.1 Análisis Químico.....	85
3.2 Propiedades Mecánicas.....	87
3.3 Análisis Metalográfico.....	91
3.4 Ensayos de Corrosión.....	95
CAPITULO IV	
4. DISCUSION DE RESULTADOS.....	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFIA.....	140
APENDICE.....	141

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
1. Diagrama de Equilibrio Zn-Al.....	25
2. Metodología empleada.....	46
3. Norma ASTM E-8.....	48
4. Duroómetro BRINELL.....	52
5. Espectrofotómetro.....	53
6. Microscopio Metalográfico.....	54
7. Curva de Polarización Anódica.....	67
8. Curva de Polarización Catódica.....	67
9. Curva de Pasivación.....	68
10. Corriente de Corrosión mediante las pendientes TAFEL.....	73
11. Curvas de polarización obtenida mediante técnica Potenciostática.....	78
12. Curva de polarización obtenida mediante técnica Galvanostática.....	79
13. Curva de polarización mediante técnica de Polarización Lineal.....	84
14. Microestructura observada en la aleación ZA-8.....	92
15. Microestructura observada en la aleación ZA-12.....	92
16. Microestructura observada en la aleación ZA-27.....	94

17.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-8 (Agua Potable) temperatura ambiente.....	105
18.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-12 (Agua Potable) temperatura ambiente.....	106
19.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-27 (Agua Potable) temperatura ambiente.....	107
20.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-8 (Agua Potable) temperatura (60 °)	108
21.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-12 (Agua Potable) temperatura (60 °)	109
22.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-27 (Agua Potable) temperatura (60 °)	110
23.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-8 Agua de mar.....	111
24.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-12 Agua de mar.....	112
25.	Técnica Potenciostática: Aleación ZA-8, Agua de mar.....	113
26.	Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-8, Agua Potable, temperatura ambiente.....	119
27.	Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-12, Agua Potable, temperatura ambiente.....	119
28.	Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-27, Agua Potable, temperatura ambiente.....	120
29.	Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-8, Agua	



	Pag.
Potable, (T=60 °).....	120
30. Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-12, Agua Potable, (T=60 °).....	121
31. Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-27, Agua Potable, (T=60 °).....	121
32. Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-8, Agua de mar.....	122
33. Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-12, Agua de mar.....	122
34. Técnica de Polarización Lineal, Aleación ZA-27, Agua de mar.....	123

INDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Pag.
I	COMPOSICION QUIMICA DE ALEACIONES ILZRO.....	32
II	PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES ILZRO.....	39
III	PORCENTAJE EN PESO DE METALES DE ALEACIONES ILZRO.....	86
IV	SALINIDAD DEL AGUA DE MAR.....	87
V	VALORES DE DUREZA BRINELL DE ALEACIONES ILZRO.....	88
VI	PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES ILZRO (EXPERIMENTALMENTE).....	90
VII	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-8, AGUA POTABLE (T=25°C).....	96
VIII	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-12, AGUA POTABLE (T=25°C).....	97
IX	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-27, AGUA POTABLE (T=25°C).....	98
X	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-8, AGUA POTABLE (T=60°C).....	99
XI	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-12, AGUA POTABLE (T=60°C).....	100

No.	Descripción	Pag.
XII	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-27, AGUA POTABLE (T=60°C).....	101
XIII	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-8, AGUA DE MAR...	102
XIV	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-12, AGUA DE MAR..	103
XV	TECNICA POTENCIOSTATICA, ALEACION ZA-27, AGUA DE MAR..	104
XVI	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-8, AGUA POTABLE (T=25°C).....	114
XVII	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-12, AGUA POTABLE (T=25°C).....	115
XVIII	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-27, AGUA POTABLE (T=25°C).....	115
XIX	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-8, AGUA POTABLE (T=60°C).....	116
XX	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-12, AGUA POTABLE (T=60°C).....	116
XXI	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-27, AGUA POTABLE (T=60°C).....	117
XXII	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-8, AGUA DE MAR	117
XXIII	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-12, AGUA DE MAR.....	118
XXIV	TECNICA DE POLARIZACION LINEAL, ALEACION ZA-27, AGUA	

No.	Descripción	Pag.
	DE MAR.....	118
XXV	TABLA COMPARATIVA DE LOS VALORES DE VELOCIDAD DE CORROSION CALCULADOS MEDIANTE TECNICA POTENCIOSTATICA	134

NOMENCLATURA

a	ánodo
c	cátodo
Ao	área inicial
I	intensidad de corriente
I _{corr}	corriente de corrosión
E	potencial
E _{eq}	potencial de equilibrio
E _{corr}	potencial de corrosión
η	sobrepotencial
W	pérdida de peso en la superficie del metal
M	masa molecular
Z	número de electrones involucrados en la reacción.
F	constante de Faraday
t	tiempo
PE	peso equivalente
V _{corr}	velocidad de corrosión
ζ	densidad
E _p	potencial de picado
α	coeficiente de transferencia



β	(1-Coef. de transferencia)
R	Constante universal de los gases
T	temperatura absoluta
$\Delta E / \Delta I$	resistencia de polarización
β_a, β_c	coeficiente de Tafel anódico y catódico

INTRODUCCION

El uso de las aleaciones ILZRO es cada vez mayor, pues debido a las propiedades que estas presentan son capaces de reemplazar a elementos tales como el hierro fundido, aluminio y bronce .

Son tres aleaciones de zinc, los miembros de esta familia relativamente nueva que ha sido dada a conocer en estas dos últimas décadas. Esto se debe a su elevado rendimiento, a sus propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y resistencia al desgaste.

El porcentaje adecuado de cada uno de los elementos aleantes que se van agregando durante la fundición de estas aleaciones, constituye también un factor importantísimo, pues para poder cumplir con las características y propiedades que estas presentan, los elementos aleantes deberán encontrarse dentro del rango ya dispuesto.

Se realizarán además ensayos de tensión, dureza y

metalográficas, de manera que se compruebe cada una de las bondades que estas aleaciones ILZRO presentan, como paso previo a la prueba de corrosión a la que van a estar sometidas.

Conocer además el comportamiento que estas aleaciones presentan al encontrarse en diferentes medios es uno de los objetivos de este trabajo, es por este motivo que las aleaciones fueron tratadas en varios medios electrolíticos verificando de esta manera su comportamiento y determinando la corriente de corrosión de cada una de las aleaciones .

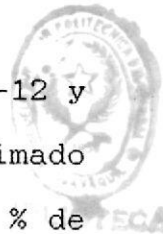
CAPITULO I

1. ALEACIONES ILZRO

1.1.- Tipos de aleaciones ILZRO.

Tres tipos de aleaciones de Zinc, ZA-8, ZA-12 y ZA-27 (el dígito refleja el contenido aproximado de aluminio en la aleación, expresado en % de peso) conocidas también como ILZRO, conforman una familia relativamente nueva, presentando éstas notables características y propiedades tales como:

- *Elevadas propiedades mecánicas.
- *Facilidad para dar acabado.
- *Excelentes características de resistencia a la fricción.
- * Evita la contaminación ambiental durante la fundición.
- * Bajo costo.



Aunque la primera aleación ZA-12, fue introducida hace 25 años, el desarrollo de las otras dos aleaciones, ZA-8 y ZA-27, ha ocurrido en la última década. Intensas investigaciones sobre cada una de estas aleaciones, junto con un estudio de mercado muy pormenorizado, fueron la clave para el inicio exitoso de la cual goza este tipo de aleaciones.

Las propiedades que presentan estas aleaciones son muy competitivas o mejores que las propiedades de elementos metálicos como; hierro fundido (Class 30), aluminio (AA356) y bronce (SAE 660). De esta manera pueden competir tanto en costo como en rendimiento con los ya tradicionales materiales, teniendo un amplio campo de aplicaciones.

Las aleaciones ZA-8 y ZA-12 además de tener las características citadas en el párrafo anterior, como son bajo costo y elevado rendimiento, son también decorativas, debido a los elementos aleantes que estas contienen. Mientras que la aleación ZA-27 es usada cuando se requiere

elevada resistencia a la tensión y corrosión.

La aleación ZA-8 fue desarrollada en sus inicios para usarse en moldes metálicos permanentes, en la actualidad ésta es fundida en moldes de grafito y en procesos de fundición de metales donde se emplean cámaras frías, así como también son evaluadas en cámaras calientes. De igual manera, las aleaciones ZA-12 y ZA-27 han tenido una evolución exitosa, pues desde sus inicios en moldes de arena hasta los actuales procesos, se han obtenidos excelentes resultados. Las aleaciones ZA-12 tienen un buen rendimiento en cámaras frías, en moldes de grafito y en moldes centrífugos.

El rango de temperatura de fusión de estas aleaciones se encuentra entre 375-490°C, dependiendo claro está, del tipo de aleación que ésta sea, empleando menos energía que la utilizada para fundir solamente aluminio (557-613°C), bronce (854-977°C) o hierro fundido (1400-1510°C). Cabe mencionar, que otro de sus beneficios es que, las aleaciones ILZRO no

producen contaminación alguna al ambiente durante su fundición.

MICROESTRUCTURAS DE LAS ALEACIONES .

Los elementos que componen básicamente las aleaciones ILZRO son el zinc y el aluminio, para lo cual se hace necesario saber el comportamiento que estos tienen, esto se refiere, a las reacciones y cambios que ocurren durante la variación de su composición y temperatura.

En el diagrama de equilibrio Al-Zn (Fig. No.1), la microestructura de una aleación con un contenido de 4% de aluminio, indicará una solución rica en zinc (β) constituyendo una aleación hipoeutéctica, solidificándose primero el zinc que aparece como partícula principal de la solución sólida, después el líquido remanente se solidificará como eutéctico formando una fase alfa prima (α') y beta a elevadas temperaturas, siendo esto inicialmente a 382°C en forma inestable, finalmente el alfa primario a temperatura eutectoide (275°C) se transforma en

transforma en alfa y beta ($\alpha+\beta$), originando de esta manera la estructura final.

Si el contenido de aluminio llega a ser de un 5%, aparecerá aquí a una temperatura de 382°C una fase eutéctica laminar entre el aluminio (α') y el zinc (β), el aluminio como alfa primario es estable solo a una temperatura mayor a 275°C (temperatura eutectoide), y bajo esta temperatura, la estructura final se transformará en una fase alfa y beta.

Si el porcentaje del aluminio llega a ser igual al 22%, se estará estudiando a un eutectoide laminar, donde el constituyente sólido alfa primario, a temperatura eutectoide se transforma en α y β que son los constituyentes de la aleación.

El tener una aleación ZA-27, nos indica que el porcentaje de aluminio es igual al 27%, el diagrama de equilibrio nos indica, que a una temperatura cercana a 500°C se tendrá una

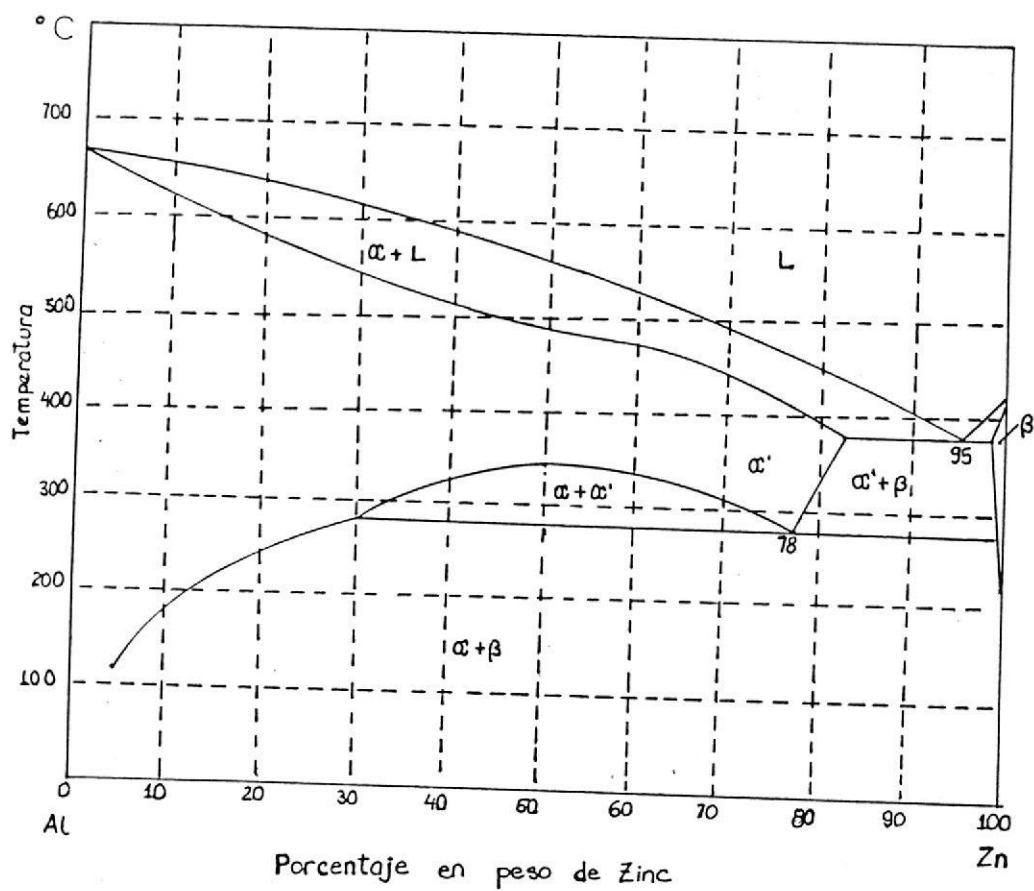


FIG. No. 1 Diagrama de Equilibrio Zn - Al.

solución rica en aluminio (α), el líquido remanente se solidificará como eutéctico formando (α') de manera inestable, cuando la temperatura ha descendido a 310°C , el alfa primario se transforma en ($\alpha + \alpha'$) y para finalizar, mediante una reacción eutectoide el alfa primario se transformará en alfa y beta a partir de una temperatura igual a 275°C .

1.2 Influencia de los elementos aleantes.

En las aleaciones ILZRO (INTERNATIONAL LEAD ZINC RESEARCH ORGANIZATION), la composición de cada uno de los elementos aleantes varía dependiendo del tipo de aleación: ZA-8, ZA-12 y ZA-27; (Tabla I), teniendo de esta manera múltiples usos.

ZINC

El zinc, aleado con otros materiales, presenta una sensibilidad a la corrosión intercrystalina, por lo cual es necesario controlar el porcentaje de los elementos aleantes y principalmente conocer las ventajas y

desventajas que presentan estos al momento de ser utilizados.

Una de las propiedades más importantes del zinc, es su resistencia a la corrosión en condiciones atmosféricas, y es este un motivo por lo que tanto el hierro y acero tienen posiciones menores al zinc en la Serie Galvánica.

El zinc, es el elemento que se encuentra en mayor proporción en la aleación ILZRO, siendo esto uno de los factores fundamentales por lo que estas aleaciones tienen una elevada resistencia a la corrosión, además como su porcentaje es elevado, presenta facilidad para realizar trabajos en varias formas y configuraciones mediante métodos comunes de fabricación.

Cuando en su composición lleva bajas proporciones de cobre es con la finalidad de estabilizar las dimensiones.

Para aumentar la resistencia, el porcentaje de

aluminio que se le añade al zinc, provocará un incremento en resistencia.

ALUMINIO

El aluminio puro es conocido por ser buen conductor de electricidad, resistente a la corrosión, por no ser tóxico, tener elevada reflectividad, baja gravedad específica, blando y muy dúctil.

El aluminio puro ha llegado a ser uno de los más importantes materiales industriales en los últimos años, de manera que al estar formando parte de estas aleaciones dan lugar a una buena relación resistencia/peso, alta resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica. Cabe mencionar que el costo de este material también ha favorecido en su uso cuando está formando parte de estas.

Entre las ventajas que se presentan por la utilización del aluminio e influencia en las aleaciones ZA-8, ZA-12 y ZA-27, es que este

metal reduce en forma considerable la fuerza de ataque sobre el metal permanente y todas las partes férreas con las cuales el metal líquido entra en contacto. Además, al agregar aluminio, se obtiene un textura mejor en la pieza fundida y hay fluidez de la aleación al momento de colar.

También se debe mencionar que tanto la dureza como la resistencia aumentarán. Más si la proporción añadida está en demasía, afectará tremendamente a la resistencia de impacto de la aleación.

COBRE

Entre las propiedades más importantes del cobre están las de ser buen conductor del calor y la electricidad, aunque su conductividad disminuye debido a impurezas presentes. Tiene también, buena resistencia a la corrosión en el ambiente (aire seco) y presenta buena afinidad con el azufre.

Cuando se tiene cobre electrolítico y es colado en moldes de arena, este presenta problemas debido a la absorción de oxígeno ocasionándose grandes cavidades, para evitar esto se debe de añadir fósforo como desoxidante.

Al tener cobre presente en la aleación ILZRO, se produce un incremento en la ductilidad, así como también un aumento en la resistencia .

En resumen, el cobre, en las aleaciones, la resistencia a la corrosión e incrementa la dureza de la aleación. En una proporción equivalente al 5% de cobre, este metal actuará favorablemente sobre la acción intercrystalina como agente inhibidor, aparte si le añadimos magnesio será más potente que con solo la presencia del cobre.

MAGNESIO

Solo con pequeñas cantidades de magnesio en la aleación, se puede mejorar la resistencia a la corrosión intercrystalina, así como también

aumenta la dureza de la misma. Más al aumentar la proporción del magnesio en la aleación, éste reducirá la fluidez, complicando su colado si es por gravedad.

TABLA I
COMPOSICION QUIMICA DE
ALEACIONES ILZRO

Composición	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Aluminio	8.0-8.8	10.5-11.15	25-28
Cobre	0.8-1.3	0.5-1.25	2.0-2.5
Magnesio	0.015-0.030	0.015-0.030	0.01-0.02
Hierro	<0.10	<0.075	<0.10
Plomo	<0.004	<0.004	<0.004
Cadmio	<0.003	<0.003	<0.003
Estaño	<0.002	<0.002	<0.002
Zinc	Balance	Balance	Balance

El principal problema por el cual atraviesa el proceso de obtención del magnesio es su afinidad química, por lo cual requiere gran cantidad de energía para separarse de los elementos aleantes.

El magnesio no es buen conductor del calor y tampoco lo es de la electricidad, más si forma aleaciones con otros elementos, puede mejorar propiedades físicas y mecánicas, es por eso que tiene su importancia en la aviación, pues reduce el peso, empleándose en la construcción de los aros de neumáticos.

HIERRO, PLOMO, CADMIO, ESTAÑO.

Estos metales también se encuentran presentes en las aleaciones ILZRO, más su proporción es mínima, constando como impurezas del material. El plomo, estaño y cadmio convierten a los límites de grano como catódicos, tanto el plomo como el estaño son poco solubles en el zinc, que es el material base de la aleación, provocando una fragilidad en caliente.

1.3 Propiedades mecánicas.

Aquella capacidad que caracteriza a los materiales para reaccionar a la deformación ocasionada por fuerzas externas, se debe a las propiedades mecánicas. Ahora bien, un material puede ser más resistente que otro y esto es debido a muchos factores, como por ejemplo: su estructura interna, la forma de la pieza, la manera como fue enfriado o el tratamiento térmico al que fue sometido y si es una aleación, conocer los elementos aleantes de la misma.

Para poder conocer estas propiedades mecánicas, es necesario la utilización de equipos especiales y así también cumplir los requerimientos para su uso, como son probetas diseñadas bajo especificaciones. Existen algunos tipos de ensayos mecánicos como son:

- 1.- Con carga estática,
- 2.- Con carga dinámica,
- 3.- Con carga variable.

a) Resistencia a la tensión.

El elevado rendimiento que poseen las aleaciones ILZRO, ofrecen una resistencia competitiva con el hierro fundido (Class 30) y superior al bronce, latón y aluminio.

La aleación ZA-12, es una de las aleaciones que dentro del grupo ILZRO, tiene un propósito general, sin embargo, ya sea que estas hayan sido fundidas en moldes de tierra o permanentes, muestran una resistencia a la tensión tal, que tienen muchas aplicaciones, pudiendo ser comparadas con el bronce o el hierro gris donde fueron tradicionalmente empleadas.

Sin embargo la aleación ZA-27 presenta una resistencia a la tensión mayor que todas las demás aleaciones.

Mientras tanto, la aleación ZA-8, presenta resistencia a la tensión de manera que se puede comparar con la resistencia dada por

las aleaciones de aluminio, con la diferencia que con la primera (ZA-8), se da un mejor acabado y se obtiene una mayor resistencia al desgaste.

b) Dureza.

Definir la dureza de un material es muy difícil, a no ser que sea comparada o relacionada con alguna prueba en particular, para así poder determinar su valor. El valor que se determina, no tiene utilización directa en trabajos de diseño, como lo es la resistencia a la tensión, pues este tiene un significado intrínseco.

Los valores de dureza obtenidos durante las pruebas, se podrán relacionar con las propiedades elásticas y plásticas. Es por esto, que las pruebas de dureza son ampliamente utilizadas como forma de inspección y control. Estos valores de dureza también pueden variar si se ha realizado sobre estos algún tratamiento

térmico.

Cabe mencionar que las tres aleaciones, ZA-8, ZA-12 y ZA-27, presentan una dureza superior a la obtenida en el bronce y aluminio, mejorando de esta manera las características al desgaste. Las dos últimas aleaciones (ZA-12 y ZA-27), son extremadamente resistentes a la fricción (GALLING), presentando una lubricación natural.

c) **Resistencia a la fatiga.**

Para determinar la resistencia de los materiales bajo la acción de cargas de fatiga, las probetas se someten a fuerzas repetidas o variables de magnitudes especificadas y, así, se cuentan los ciclos o alternaciones de esfuerzos que soporta el material hasta la falla o ruptura.

Tanto la aleación ZA-12 y ZA-27, soportan cargas repetitivas o cíclicas equivalentes a

15 KPSI, (55MPa) y 25 KPSI (91.6MPa) respectivamente.

Estas propiedades pueden ser comparadas con los datos proporcionados por la Tabla II, la misma que muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones ILZRO.

1.4 Usos y aplicaciones de los diferentes tipos de aleaciones.

Debido al gran rendimiento que las aleaciones de zinc presentan, estas han sido merecedoras de una gran aceptación en muchos campos, pues poseen propiedades tales como resistencia a la tensión, dureza, y desgaste, pero primando sobre todas las anteriormente nombradas es el factor económico ya que sus costos son relativamente bajos si son comparados con los comunmente empleados, como lo son acero, aluminio, bronce, y latón.

Piezas para maquinaria.

Cuando estas piezas son hechas de hierro fundido,

TABLA II
 TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES MECANICAS DE
 ALEACION ILZRO CON OTROS MATERIALES

METODO	ZA-8	ZA-12	ZA-27	Fe Fund	Al	Bronce
RESIST ULT/TENS	32-37 (KSI)	45-50 (KSI)	58-64 (KSI)	30-34	33	30-38
LIMIT FLUENCIA	30 (KSI)	31-32 (KSI)	53 (KSI)	ND	24	17-21
DUREZA	85-90 (BHN)	100-110 (BHN)	100-120 (BHN)	ND	3.5	12.20
ELONG %	1-2	1-3	3-6	179-228	70	60-70
IMPACTO	ND	ND	35+-5	ND	ND	6
FATIGA	ND	8	15	14	ND	16

ND: No Dato.

se toma demasiado tiempo tanto en colocarlas como en ajustarlas debido a que surgen problemas de distorsión y por lo tanto se hace necesario un proceso de esmerilado y acabado para que estas cumpla con las necesidades.

Mientras tanto, las piezas que son hechas de aleaciones de Zinc, con el mismo procedimiento de elaboración, no sufren de la distorsión como lo sucedido con el hierro fundido, además son más fáciles para su maquinado y reducen los costos para su acabado, con un ahorro aproximado del 20%.

La fundición de las aleaciones de zinc simplifican el diseño y además reducen ampliamente los costos de manufactura.

Accesorios hidráulicos.

Aquellas piezas que originalmente eran de bronce y fueron fundidas en moldes de arena para después ser soldadas, ahora son rediseñadas, ya

que ahora emplean un solo molde para esta aleación ZA. El costo de esta nueva fundición es solo una fracción del costo original empleado por el bronce .

Por ejemplo, las paredes delgadas de las válvulas de gasolina fueron modificadas, desde lo que originalmente era bronce a aleaciones de zinc, con lo cual se obtuvo una reducción en el rechazo desde un 5% hasta valores cercanos a cero.

Aplicaciones marinas.

En algunas piezas de uso marino cuya materia prima en sus inicios era el acero inoxidable, fue después reemplazada por el bronce debido a la facilidad que esta presenta en cuanto a la formabilidad y resistencia natural a la corrosión. Sin embargo las aleaciones ZA-8 y ZA-12, las cuales poseen un costo bajo en el material, ofrecen también otras alternativas.

Para dar una mayor resistencia a la corrosión, la aleación ZA-12 es anodizada. Lo anteriormente

expuesto ha sido comprobado mediante pruebas realizadas durante miles de horas en experimentos donde existía una atmósfera de sal y en periodos de dos años de exposición, las mismas que fueron aprobadas por la marina de Estados Unidos (MIL-A-81801).

Componentes para transportación.

Después de diez mil horas de haber estado sometiendo ha pruebas a una banda transporadoras de poder, se comprueba que las poleas empleadas aquí, fundidas en moldes permanentes, utilizando aleaciones de zinc, presentan un mínimo desgaste y además estos valores son similares a los del hierro fundido.

Los seguros de las puertas para buses escolares y los manubrios para operarlos, requieren que sean soldados además de que también se los maquine, presentando dificultades en el alineamiento y debiendo protegerlos contra la corrosión, todo esto cuando el material empleado es estampado de acero y hierro fundido. Lo anterior fue

rediseñado utilizando partes de aleaciones de zinc con un ensamble de cromo-plata, por lo cual sus costos se reducen en un 25% mejorando su apariencia.

Aplicaciones decorativas.

Para varias aplicaciones, tanto decorativas como componentes estructurales, las aleaciones de zinc pueden tener un acabado impecable y además brindan una amplia variedad, teniendo principalmente una resistencia que evita la reducción del material.

Accesorios eléctricos.

Un interruptor que antes era manufacturado en hierro gris y ahora se lo hace en aleación de zinc, tiene muchas diferencias como es, un ahorro en el precio disminuyendo éste en un 10%, evitando un maquinado e incrementando el tiempo de vida en un 45%, además de protegerlo contra la corrosión. En otras palabras, esta aleación brinda mejores características dentro de las



cuales está la apariencia junto con las ya
nombradas.

CAPITULO II

2.- TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 Metodología.

La figura muestra en forma esquemática cada uno de los pasos seguidos para la elaboración de este trabajo.

2.2 Ensayos de evaluación.

El objetivo principal de nuestro trabajo experimental, es de verificar las bondades que presentan cada una de las aleaciones, de manera que realizando ensayos y pruebas se pueda comprobar las propiedades que estas tienen.

Es por esto que cada uno de los análisis que se ha ido realizando, tiene como finalidad ir comprobando paso a paso las aleaciones, por ejemplo, lo primero que se realizó fue

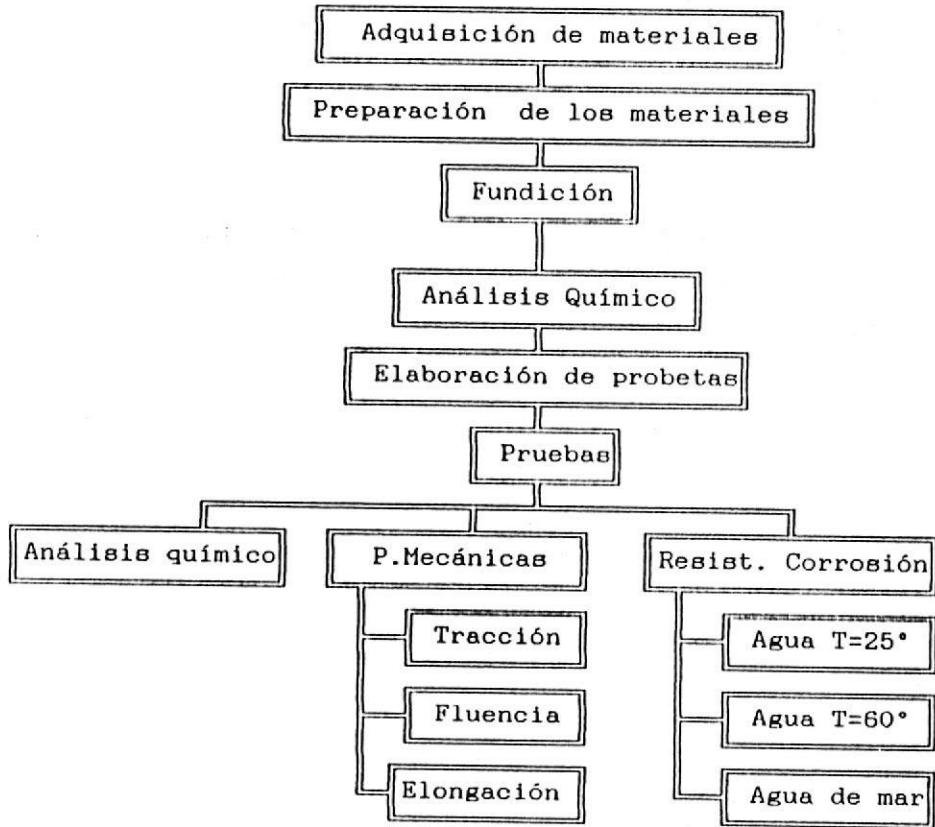


FIG.No. 2 METODOLOGIA EMPLEADA

En primer lugar, el molde metálico empleado era de tal forma que tenía facilidad para abrir y cerrar después de cada colada, de manera que no se presente ningún inconveniente al momento de desmoldarlo. A continuación se procedió a maquinar la barra, para que la probeta cumpla con las especificaciones requeridas por la norma y realizar posteriormente las pruebas de tracción en cada aleación diferente, las que se realizaron en la máquina Universal de ensayos INSTRON. (Carga 50 Ton).

Además también se realizó en cada una de las aleaciones las pruebas de dureza. El equipo empleado aquí fue:

- Durómetro BRINELL (Fig. 4)

Para determinar la dureza de cada aleación, se la sometió a una carga de 500 kg durante un periodo de 30 seg. En este equipo se emplea una bolita de acero templado de 10 mm

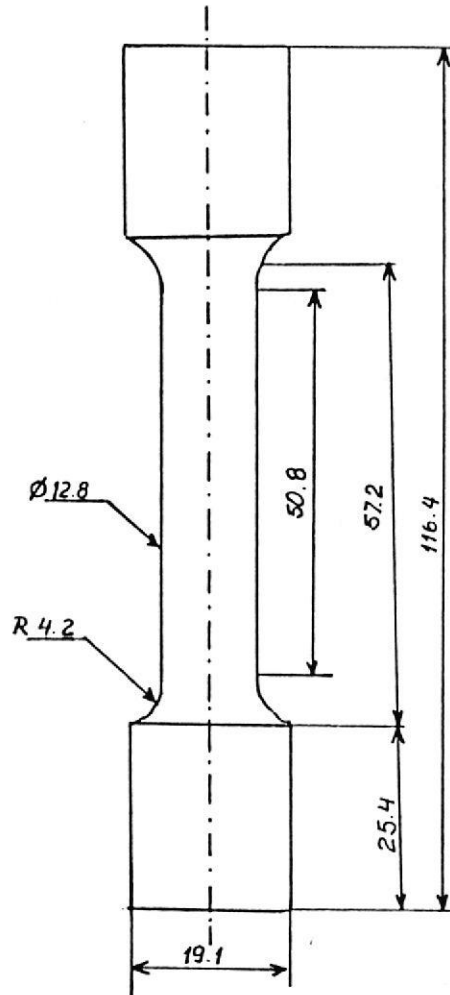


FIG. No 3 Dimensiones de probeta para ensayos de tracción
Norma ASTM E8.

de diámetro, la misma que es apretada contra la superficie lisa del material provocando una hendidura. El paso de diámetro, la misma que es apretada contra la superficie lisa del material provocando una hendidura. El paso siguiente fue medir el diámetro de dicha hendidura provocada por el durómetro, utilizando el microscopio especial antes mencionado y de esta manera determinar el área .

2.2.2 Análisis Químico.

Tanto el zinc, aluminio, cobre y magnesio son los elementos constitutivos principales de las aleaciones ILZRO, debiendo tener estos un elevado grado de pureza, de esta manera se alcanzará un buen resultado, cumpliendo así con todas las expectativas propuestas inicialmente.

La proporción de los elementos de las aleaciones en estudio, está dada por la norma ASTM B669.

Una vez seleccionado el material y pesado de acuerdo a las proporciones ya señaladas, se procedió a fundirlo en el horno, obteniendo las probetas ZA-8, ZA-12 y ZA-27. Antes de proceder a realizar cualquier tipo de pruebas, como lo es el metalográfico, de corrosión o dureza, en primer lugar se debe de verificar el contenido de cada uno de los elementos de las aleaciones, mediante un análisis químico, de manera que se compruebe si esta o no dentro del rango. Este análisis se realizó en el Instituto de Química de la ESPOL, para lo cual se empleó el Espectrofotómetro de Absorción Atómica(Fig. 5).

2.2.3 Análisis Metalográfico

Cada una de las probetas fueron montadas en resina para facilitar su pulido intermedio y final y de esta manera poder dar un buen acabado a la superficie.

Una vez que está pulida la probeta, se

procede a atacarla con Nital al 2%, esto se realiza con la finalidad de hacer visibles las características estructurales del metal o de la aleación, en este caso. En las aleaciones compuestas de dos o más fases, los componentes se revelan durante la acción química, al atacar preferencialmente, el reactivo, a una o más de estas aleaciones constituyentes debido a la diferencia en composición química de las fases.

Como paso final la microestructura es observada en un Microscopio Metalográfico (Fig. 6), donde se puede diferenciar cada una de las fases presentes en las aleaciones analizadas.

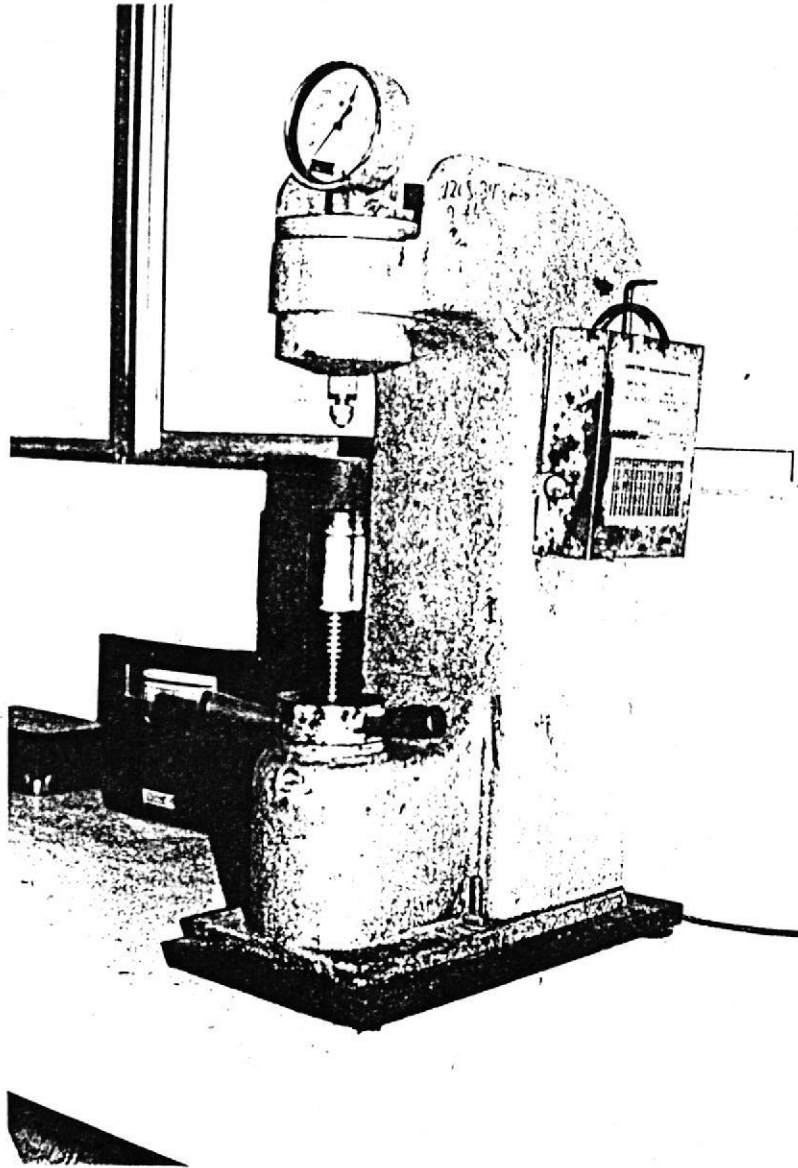


FIG. No. 4. Durómetro Brinell

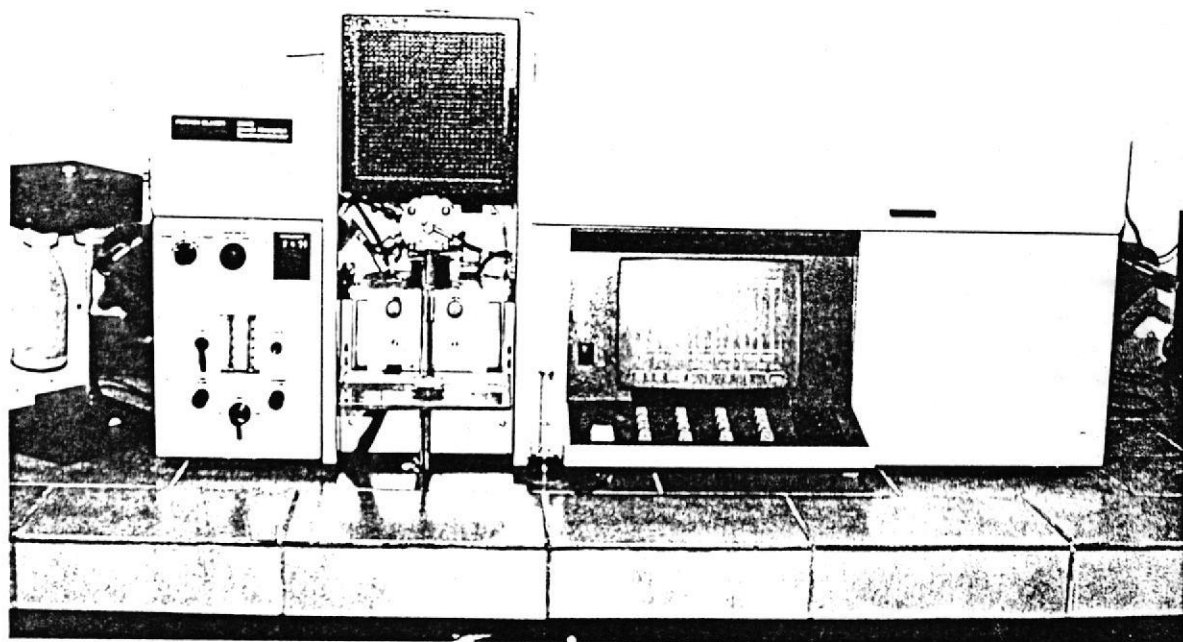


FIG. No 5. Espectrofotómetro

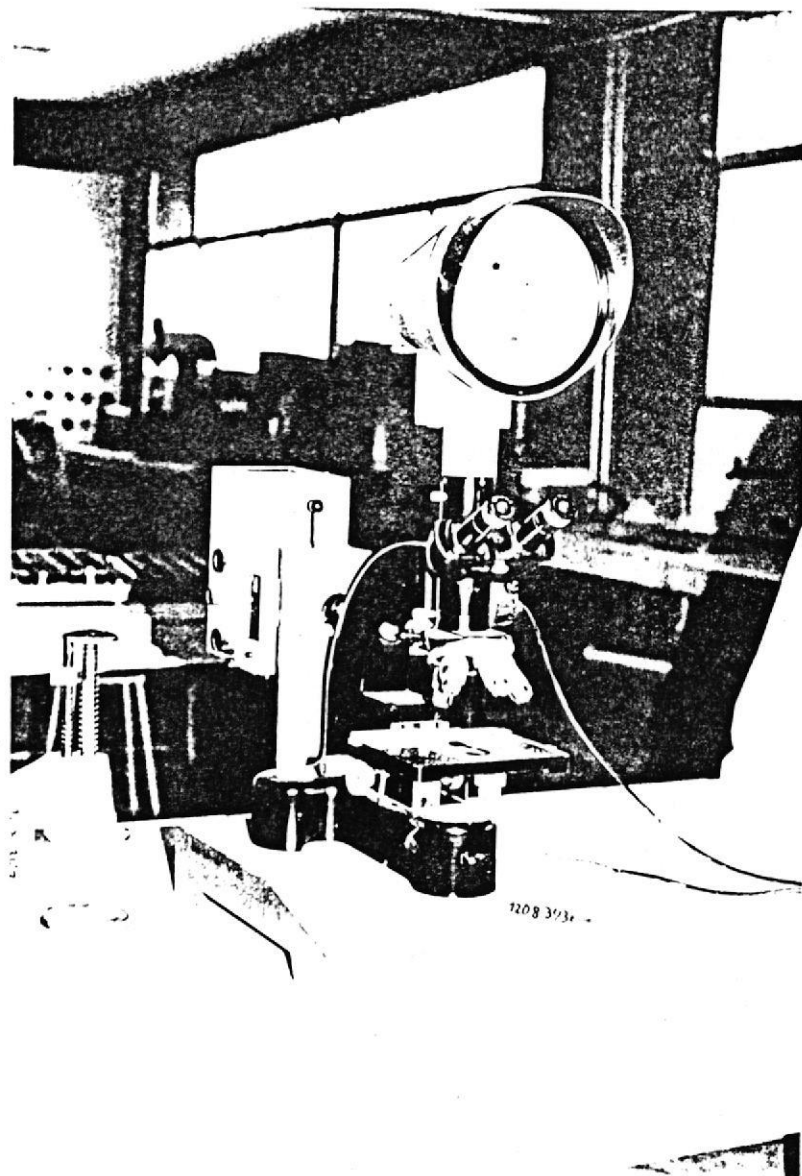


FIG. No. 6. Microscopio Metalográfico.

2.2.4 Resistencia a la corrosión.

Principios de corrosión.

Estudiar la corrosión consiste en estudiar el deterioro de los materiales por el medio en el que son usados. Analizando solamente al medio atmosférico, se encuentra que la mayoría de los metales que están en contacto con el medio ambiente forman un sistema termodinámicamente inestable, con la excepción de unos pocos metales, llamados nobles (oro, platino, etc.), por lo tanto, con los demás elementos metálicos al estar en contacto con el aire se formaría una reacción inmediata transformándose en óxidos. En algunos metales, tal oxidación va acompañado de una pérdida muy grande de energía libre. Del estudio de la Física Química sabemos que la termodinámica sólo nos dice si una reacción puede ocurrir, pero no dice con que velocidad va a ocurrir. Esto se debe a que algunas reacciones son lentas mientras que otras no y de esta manera la

preferencia de algunas para su uso en la vida diaria.

Desde el punto de vista termodinámico, en medio acuoso, el cobre sería más resistente que el aluminio y el zinc más resistente que el magnesio, sin embargo, los dos primeros en ácido nítrico y los otros dos en soluciones alcalinas muestran el comportamiento inverso. Es por esto que la termodinámica nos puede servir como orientación pero el estudio cinético es el más significativo en la corrosión.

De este modo, en corrosión se estudia la velocidad con que se deteriora los metales y las formas en que dicha velocidad de deterioro puede ser controlada.

Corrosion Electroquímica.

Al estudiar la oxidación de metales vimos que la reacción en aire a temperatura ambiente es en general muy lenta. Sin

embargo es sabido que a esta temperatura la corrosión suele ser muy importante, debido a que entra un mecanismo de ataque que no se lo había considerado, esto es que a temperatura ambiente la forma de corrosión más frecuente y más seria es la corrosión electroquímica.

Por otro lado la corrosión electroquímica es probable cuando los metales se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, soluciones salinas o la simple humedad de la atmósfera y de los suelos.

Todo proceso de oxidación y de reducción supone un movimiento de electrones, y en este sentido podría hablarse siempre de este tipo de reacciones. Sin embargo, este adjetivo se reserva a los mecanismos que implican el movimiento de electrones desde una región anódica (donde tiene lugar la oxidación) a otra catódica (lugar de reducción) a través de regiones de metal no reaccionante.

Potencial de Equilibrio.- Cuando el material se encuentra sumergido en una solución acuosa (electrolito) y es medido el potencial respecto a una escala arbitraria, el potencial que se obtiene de este elemento, en estado estable, es conocido como Potencial de Equilibrio (E_{eq}). Este valor de potencial de equilibrio, depende de la concentración efectiva de las diferentes especies implicadas en el equilibrio. Si existiese alguna variante en las condiciones de equilibrio, este potencial también se afectaría, pues esto desplazaría el potencial del electrodo y afectaría también a las velocidades de las reacciones anódicas y catódicas, ya que el flujo de electrones sería diferente de cero, indicándonos el valor neto de la velocidad de reacción.

Potencial de Corrosión.- Al tener dos elementos acoplados y sometidos en un medio electrolítico, el potencial que se llegue a medir entre estos, será producto de un intercambio de energía, esto implica que el

más electronegativo cederá parte de su energía al otro, dando lugar a un equilibrio dinámico, esto es conocido como Potencial de Corrosión (E_{corr}).

Sobrepotencial (η).— Se define como sobrepotencial, a la diferencia entre el nuevo potencial y el potencial de equilibrio.

$$\eta = E - E_{\text{corr}}$$

(ecuac. 2)

Donde: η sobrepotencial
 E \rightarrow potencial de equilibrio
 E_{corr} \rightarrow potencial de corrosión

Si este valor de sobrepotencial es mayor que cero ($\eta > 0$), entonces existirá una oxidación, pero si este valor es menor que cero ($\eta < 0$), lo que ocurrirá es una reducción.

La corriente empleada tanto en la disolución del metal (I_a), como la corriente en la reducción del metal que se corroe (I_c), son

de igual magnitud, más tienen signo opuesto.

$$I_a = -I_c$$

Velocidad de Corrosión.- Esta velocidad viene dada por la velocidad de disolución del metal, por tanto, la intensidad de la corriente de corrosión, I_{corr} , es igual a la corriente de disolución del metal.

$$I_{corr} = I_a = -I_c$$

De acuerdo con la ley de Faraday:

$$W = (I t M) / (Z F)$$

(ecuac.3)

Donde: W → Pérdida de peso en la superficie del metal

M → Peso molecular

Z → Número de electrones involucrados en la reacción

F → Constante de Faraday (96500 coulomb).

I ⇒ Corriente en amperios

t ⇒ Tiempo en segundos

Como peso equivalente (PE)

$$PE = M / Z \text{ (gr / eq)}$$

(ecuac.4)

Reemplazando ecuac. 4 en la ecuac. 3; se obtiene

$$W = (I t PE) / F$$

(ecuac. 5)

Donde W/t es la velocidad de corrosión
[Vcorr en gr/seg.

Es conveniente y tradicional expresar la velocidad de corrosión como milésimas de pulgada por año (mpy). Indicándonos estas unidades como una indicación de la penetración del material.

Dividiendo la ecuac. 4 para el área del

electrodo (A) cm^2 y por su densidad ζ en gr/cm^3 , se tienen la ecuación:

$$V_{\text{corr}} (\text{cm}/\text{seg}) = I * (\text{PE}) / (\zeta F A)$$

(ecuac. 6)

Convirtiendo esta ecuación en unidades de (mpy), se obtiene la ecuación 6, para determinar la velocidad de corrosión.

$$V_{\text{corr}} (\text{mpy}) = (0.13 * i_{\text{corr}} * \text{PE}) / \zeta$$

(ecuac. 7)

Donde: i_{corr} : $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

POLARIZACION.

La variación de potencial por la aplicación de una densidad de corriente se conoce como polarización del electrodo.

Si los electrones están disponibles en la superficie del cátodo, el potencial aquí se

convierte en electronegativo, pues se encuentra acumulando esta carga (electrones) enviada por el ánodo. Con este cambio en el potencial se podrá graficar la curva de Polarización Catódica (η_p). De manera similar, una deficiencia de los electrones en el ánodo, origina un cambio en su potencial, convirtiéndolo en un potencial positivo, y estableciendo de esta manera una curva de Polarización Anódica (η_a).

Estas Curvas de Polarización fueron utilizadas por vez primera por Ulick Evans, en el año de 1929. Mediante estos gráficos, se puede determinar la corriente de corrosión en la intersección de las 2 curvas (Fig 2 y 3), así como también el potencial de corrosión (2).

La polarización de un metal se la puede obtener controlando algunos parámetros, en la actualidad existen tres diferentes tipos de polarización mediante las cuales las reacciones electroquímicas pueden ser

retardadas:

- a.- Polarización por activación.
- b.- Polarización por concentración.
- c.- Polarización óhmica o de resistencia.

a.- Polarización por activación.- Se relaciona con la energía necesaria para que la reacción del electrodo se verifique a una velocidad dada y es resultado inmediato de la barrera de energía en la intercara electrodo/electrolito

b.- Polarización por concentración.- Representa la variación en el potencial de un electrodo a consecuencia de los cambios de concentración en la inmediata vecindad de su superficie y motivados por el flujo de corriente, que altera la composición del electrolito. Disminuye con una fuerte agitación u otras medidas que ayuden a uniformar la solución. Debe señalarse que el movimiento de los iones o especies hacia y desde un electrodo procede por uno o más de

los siguientes mecanismos: difusión, migración y convección.

De esta manera, un aumento de concentración, por ejemplo, debido a la disolución anódica del metal, ennoblece al electrodo (aumenta el potencial), mientras que la precipitación catódica de iones metálicos, al disminuir la concentración de éstos junto al electrodo, suscita el efecto contrario.

c.- Polarización de resistencia.- También se la conoce como polarización óhmica (IR) en la inmediata vecindad del electrodo. Puede estar causada por la formación de películas o precipitados sobre la superficie metálica, que se opongan en cierta medida al paso corriente. La polarización óhmica se incrementa linealmente con la densidad de corriente.

PASIVIDAD DE METALES

En muchos metales, entre ellos, el cromo,

níquel, cobalto, titanio, indican que los valores de corrosión disminuyen del potencial crítico E_p , tal como lo muestra la figura 8, llegando a actuar como metales nobles.

Esta resistencia a la corrosión sobre el potencial crítico, indica que el material o aleación ha experimentado una pérdida de reactividad química señalándonos de esta manera que el metal se ha pasivado.

No se conoce claramente la naturaleza de este fenómeno de pasividad, sin embargo se ha acordado que estos fenómenos son debido a la formación de una película sobre la superficie del metal, actuando como una barrera de protección.

Esta barrera actúa como una película protectora del metal con el electrolito, la misma que es muy delgada llegando a tener un espesor aproximado de 30 amstrons y conteniendo una considerable cantidad de agua.



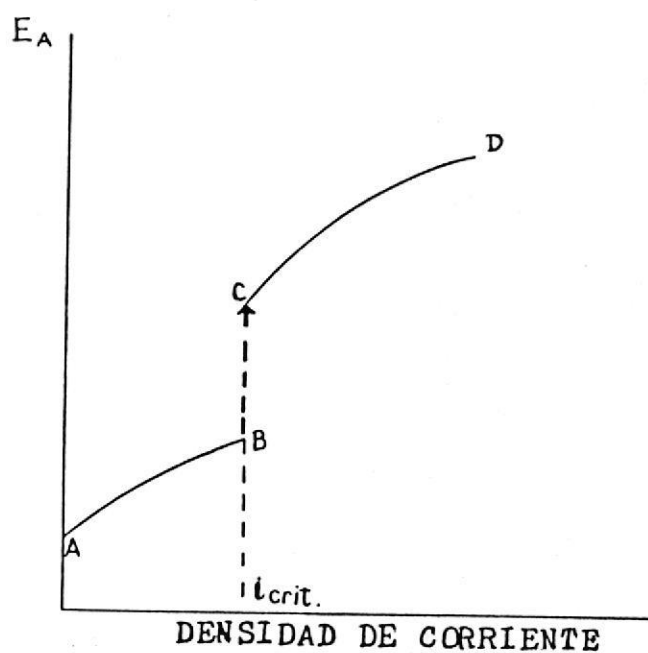


FIG. N 7. Curva de Polarización Anódica

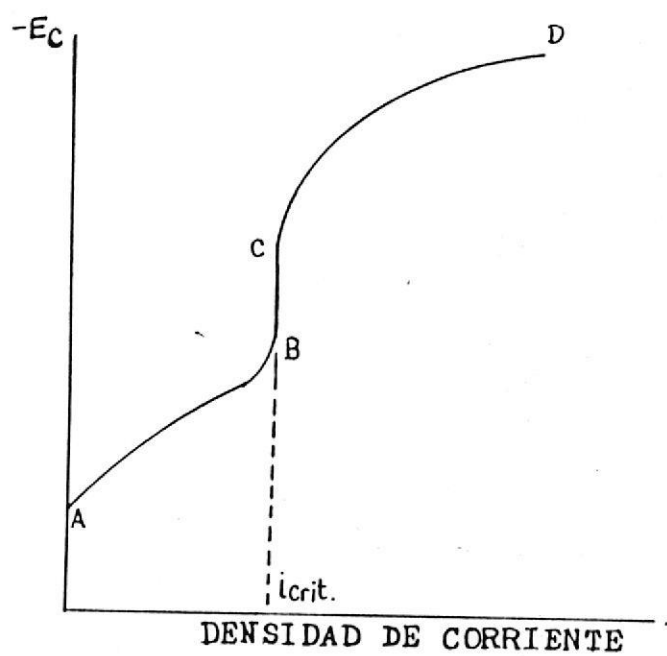


FIG. N.8 Curva de Polarización Catódica.

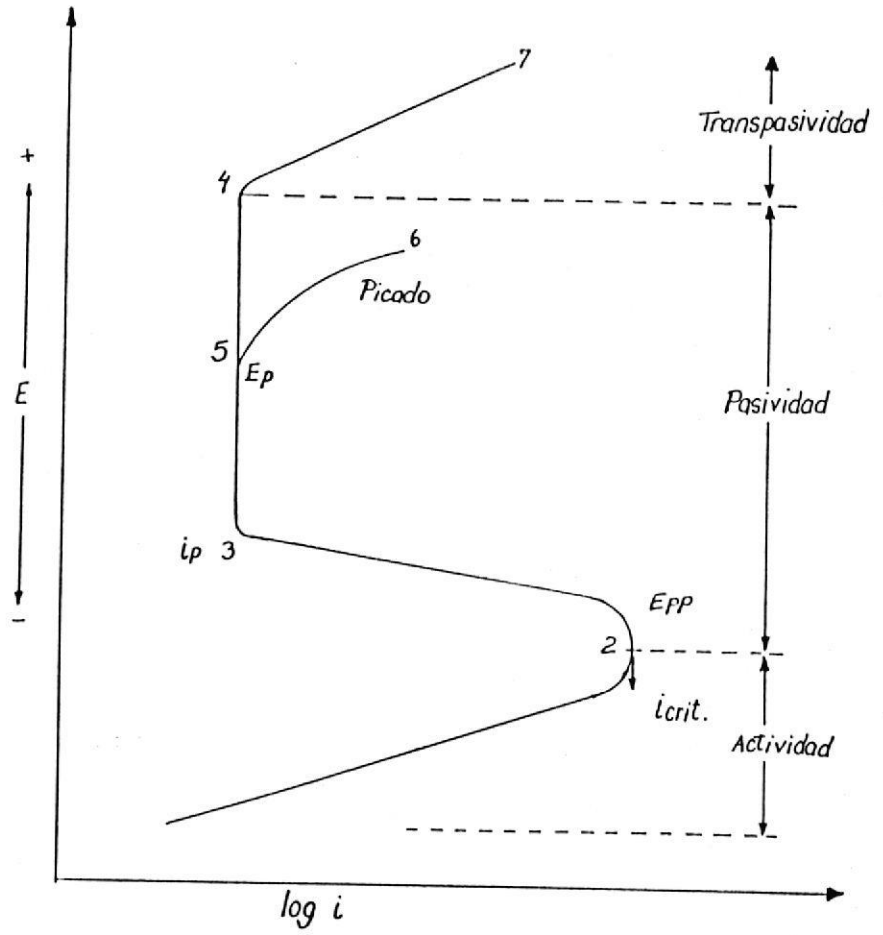


FIG. No. 9. Curva de Pasivación.

gráfico de polarización anódica de un metal pasivado.

En la figura No.9, se pueden observar varias zonas:

- 1^a Zona Activa (1-2), donde la velocidad de oxidación se incrementa al aumentar el potencial anódicamente.
- 2^a Zona Pasiva (2-3), aquí a medida que el potencial es cada vez más noble, la corriente de disolución disminuye bruscamente y el espesor de esta película pasivante va aumentando. Además entre (3-4), la corrosión es despreciable, pues la corriente permanece constante. En esta misma zona puede aparecer una región donde la película pasivante llega a romperse (4-5), produciéndose picaduras en la superficie del metal, en forma localizada. Este fenómeno también es conocido como Pitting y el potencial de esta zona se conoce como Potencial de Picado (E_p).
- 3^a Zona Transpasiva (4-7), muchas veces la

película pasivante está formada por elementos que requiere de una valencia mayor para oxidarse y dar productos solubles, notándose esto en un aumento de la corriente.

TECNICAS ELECTROQUIMICAS

Cuando se tiene un metal sumergido en un medio electrolítico, en ausencia de influencias externas, el potencial característico se conoce como potencial en circuito abierto.

$$i_a = i_c = i_{corr}$$

Pero si en algún momento este potencial es influenciado, se registrará un valor de corriente correspondiente a dicho potencial, de esta manera, se podrá graficar una curva de polarización, en base a los datos tomados.

Cuando este equilibrio ya no existe, la

intensidad resultante se determinará mediante la ecuación:

$$i_t = i_a + i_c = i_{corr} \text{EXP} \left[\left(\frac{\alpha_n F \eta}{RT} \right) - \left(\frac{\text{EXP}(\beta_n F \eta)}{RT} \right) \right]$$

(ecuac. 8)

Donde: α \rightarrow Coeficiente de transferencia

β \rightarrow (1 - Coeficiente de transferencia)

F \rightarrow Constante de Faraday

η \rightarrow Sobrepotencial

R \rightarrow Constante Universal de los gases.

T \rightarrow Temperatura absoluta

Si la reacción del electrodo es irreversible y la polarización es alta ($\eta > 0.03V$), entonces la velocidad de la reacción catódica es despreciable, $i_a \gg i_c$, de manera que la ecuación anterior quedaría :

$$\eta = \frac{-2.3 R T \log i_{corr}}{\alpha Z F} + \frac{2.3 R T \log i_a}{\alpha Z F}$$

(ecuac.9)

Donde se obtiene la expresión de TAFEL:

$$\eta = a + b \log i$$

(ecuac. 10)

Las rectas de TAFEL, no son otra cosa que las pendientes de las curvas de polarización, de donde al intersecarse ambas rectas, tanto de la curva anódica como de la catódica, se obtendrá el potencial de corrosión (E_{corr}) y también la corriente corrosión (Fig 10).

Existen también otras maneras de determinar la corriente de corrosión, y es empleando otras técnicas diferentes a la de la pendiente de Tafel, estas son:

- 1.-Técnica Potenciostática
- 2.-Técnica Galvanostática
- 3.-Técnica Potenciodinámica
- 4.-Técnica de Polarización Lineal
(Resistencia de Polarización.)

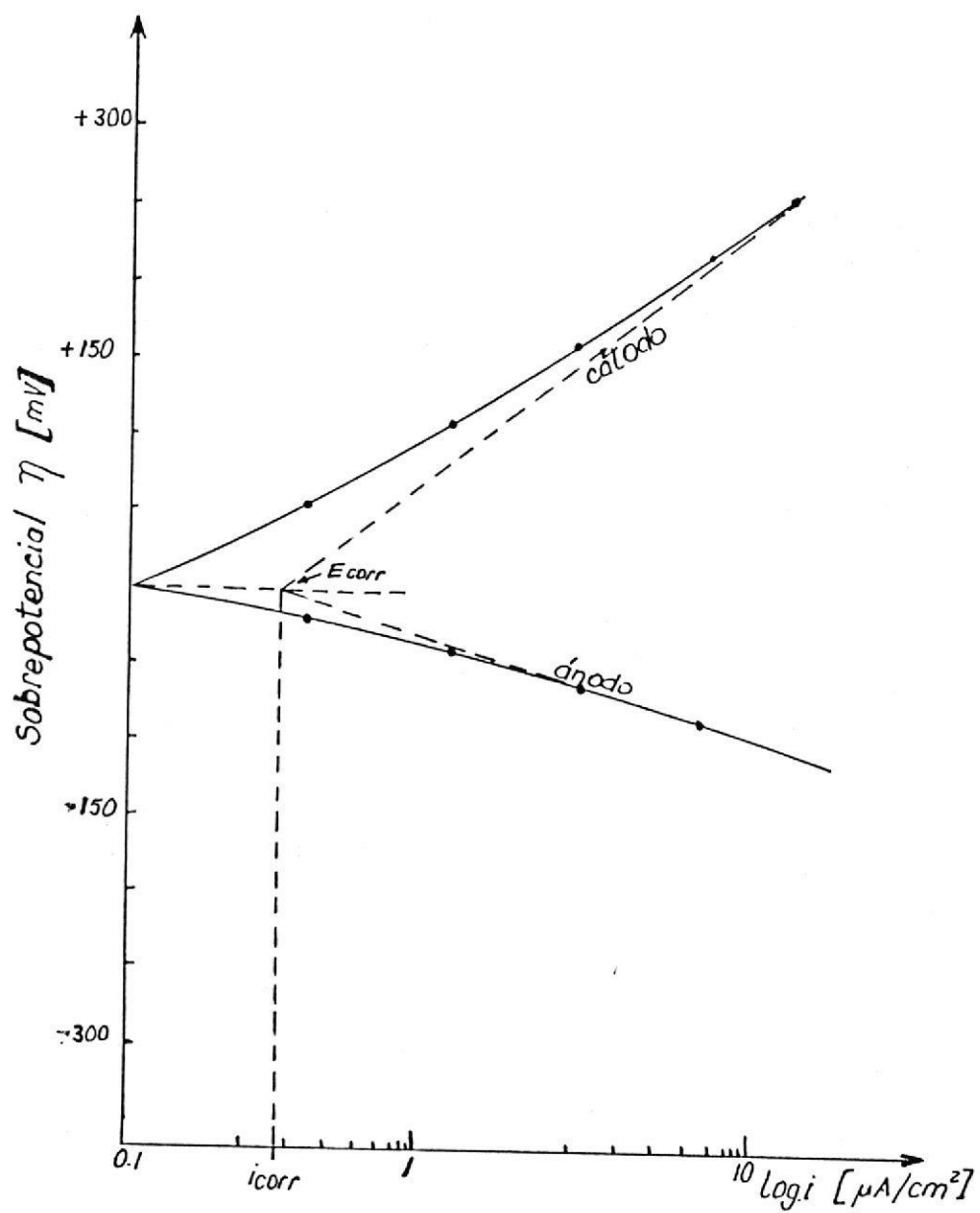


FIG. 10. Corriente de Corrosión mediante las Pendientes
TAFEL

Técnica Potenciostática.

Esta técnica consiste en aplicar sobrepotenciales constantes para después de un periodo corto de tiempo medir su corriente respectiva después de que haya alcanzado un valor estacionario, de forma tal, que con los puntos tomados, graficar la curva Potenciostática. (Fig. No. 10). En algunos intervalos de potencial alcanzar una corriente estacionaria requiere esperas relativamente cortas, del orden de los minutos, en tanto que en las zonas de pasivación, la corriente estacionaria suele alcanzarse solo después de una larga espera.

La ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS), ha establecido mediante la norma G5, que las variaciones de potencial sean de 50 mV, cada 5 minutos (entre 5 y 10 min), antes de leer la corriente. El equipo empleado para realizar estas pruebas es el POTENCIOSTATO, su funcionamiento está explicado en el Apéndice A.

Una de las ventajas que presenta esta técnica es que proporciona respuestas inmediatas, lográndose, determinar una diferencia en el potencial hasta su compensación en no más de 1 microsegundo.

Técnica Galvanostática.

Otra forma de determinar la relación I vs. E , es aplicando una corriente constante y midiendo el valor del potencial correspondiente, una vez que se ha alcanzado el equilibrio. Obteniendo de esta manera una curva de polarización galvanostática.

Esta técnica de medición es simple, en cuanto a equipamiento se refiere, pero no puede utilizarse en el caso donde hay cambios bruscos en la curva I vs. E , tal como ocurre durante la pasivación de metales.

La figura No. 11, muestra las curvas típicas de

polarización galvanostática, la determinación de la velocidad de corrosión sigue los lineamientos ilustrados en las técnicas potencioestáticas.

Técnica Potenciodinámica.

Para realizar las curvas empleando este tipo de técnica, es necesario llevar un control del potencial aplicado, pues a diferencia de la técnica potencioestática, aquí el potencial es variado a velocidad constante y registrado simultáneamente con la variación de la corriente.

La variación de potencial es siempre lineal con respecto al tiempo y el potencial de barrido establecido por la norma ASTM G5 debe ser de 0.6 V/hr.

Esta técnica Potenciodinámica requiere que el potencial de corrosión sea estable y no varíe durante la medición. De otra manera, el voltaje aplicado y la corriente van a

variar en una proporción desconocida. Además el barrido de esta técnica debe de ser lo suficientemente lenta para que de esta manera se asegure un comportamiento en estado estable.

Es por este motivo, que esta técnica no es muy empleada en los laboratorios debido a que presenta serias deficiencias para estudios cinéticos y en condiciones donde el potencial de corrosión fluctúa.

Técnica de Polarización lineal.

Experimentalmente, se ha demostrado que para sobrepotenciales mayores a 10 mV o menores, con respecto al potencial de corrosión, existe una relación lineal entre el cambio de voltaje aplicado y la corriente. Esto es llamado como Polarización lineal.

Stern y Geary han establecido que hay una buena base teórica para esta observación experimental, basados en la suposición de



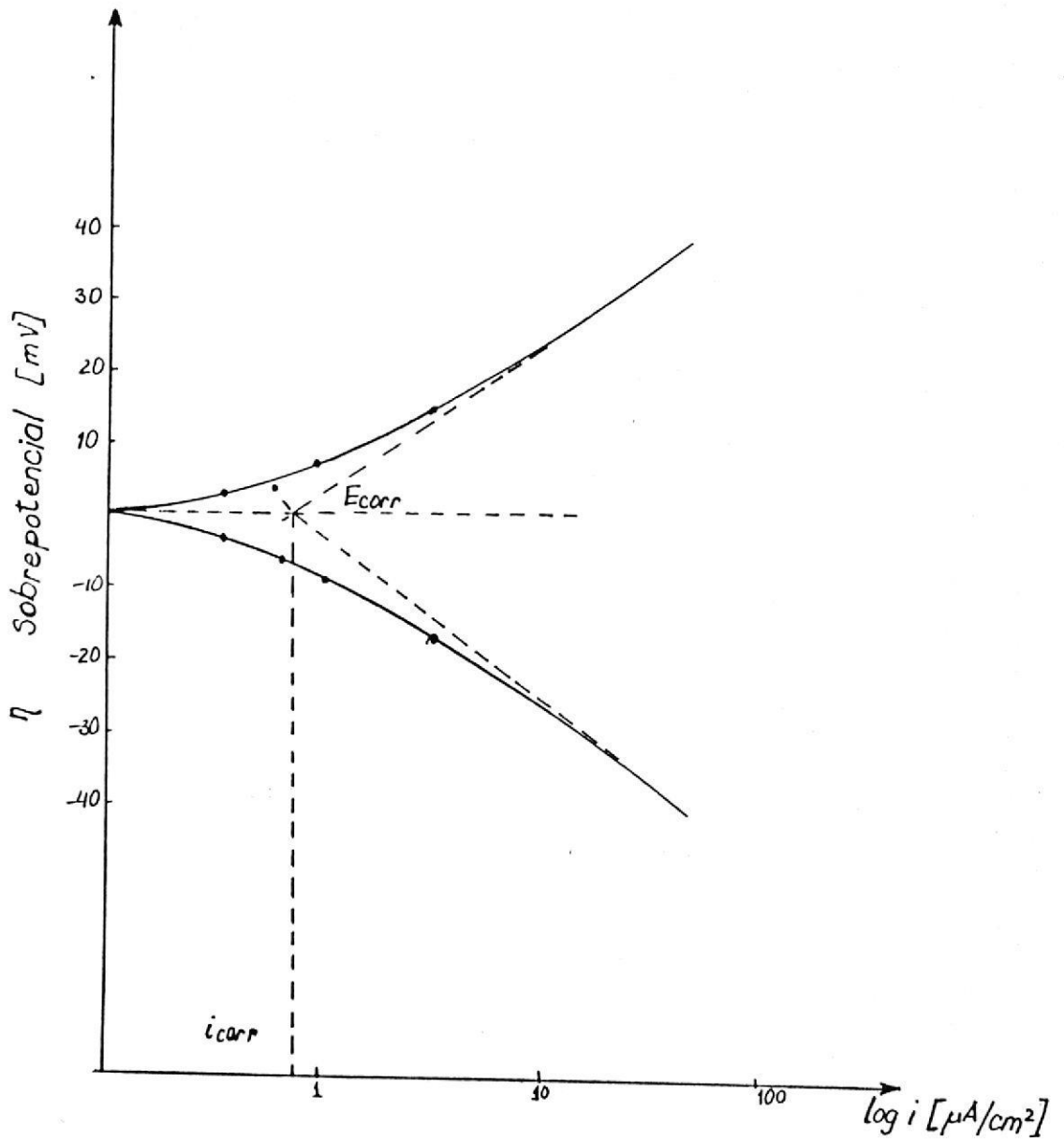


FIG. No. 11. Curva de polarización obtenida mediante técnica Potenciostática.

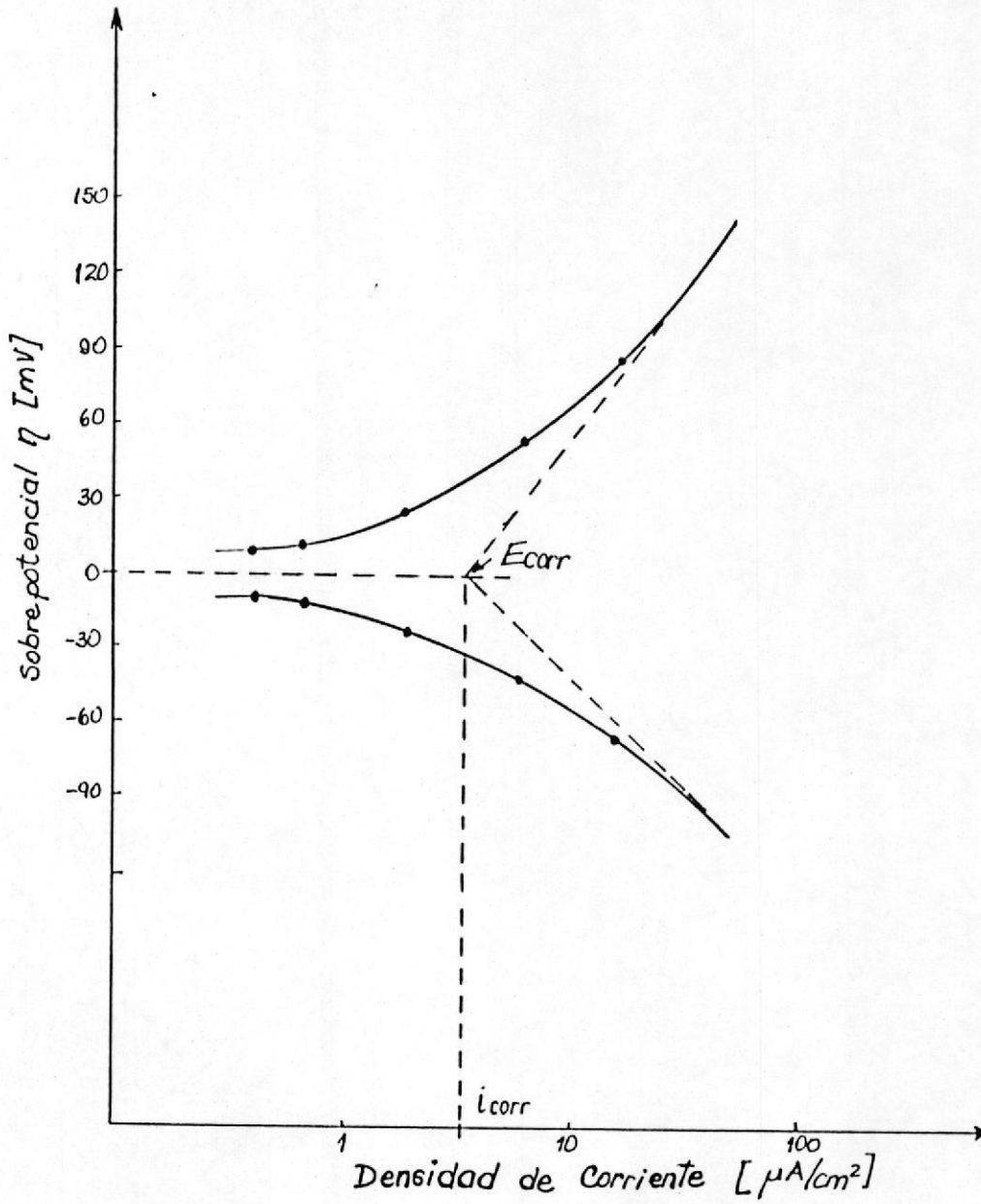


FIG No.12. Curva de polarización obtenida mediante técnica Galvanostática.

que la corriente se encuentra frecuentemente controlada por el sobrepotencial de activación.

Utilizando la figura N.13, se puede observar que con la curva realizada mediante este método en el cual, la corriente de corrosión es relacionada con la pendiente mediante la ecuación:

$$\Delta E / \Delta I = \beta_a * \beta_c / ((2.3 * i_{corr}) * (\beta_a + \beta_c))$$

(ecuac.11)

Donde:

$\Delta E / \Delta I$ → Resistencia de polarización
 β_a, β_c → Coeficiente de Tafel anódico y catódico (V/décadas de corriente).

i_{corr} → Corriente de corrosión.

De acuerdo con la ley de Ohm:

$$E = I * R \quad (\text{ecuac.12})$$

De esta manera se puede concluir que:

$$\Delta E / \Delta I = R_p \text{ (ecuac.13)}$$

Donde R_p es la resistencia de polarización.

Otra manera de determinar la velocidad de corrosión es;

$$V_{corr} = K_1 * K_2 / R_p \text{ (ecuac. 14)}$$

Donde:

$$k_1 = 0.13 * M / Z \zeta$$

$$k_2 = \beta_a * \beta_c / (2.3 * (\beta_a + \beta_c))$$

Para determinar estos coeficientes es necesario utilizar un gráfico de TAFEL, en escala semilogarítmica. Fig. No. 9.

CORROSION MARINA

El agua de mar no es una simple solución de sales en agua, no es tampoco un medio químicamente definido, sino que es sede de

perpetuos cambios y transformaciones continuas. Es el electrolito natural de mayor concentración salina. Es aproximadamente equivalente a una solución acuosa de NaCl al 3.5%, aunque de formulación bastante compleja. En los grandes océanos la salinidad, expresada en gramos, que contiene 1kg. de agua, no suele variar, estando por lo general comprendida entre 33 y 37% partes por mil. El agua de mar, con un contenido salino fijado comúnmente en un 3.5%, deja un residuo sólido que contiene un 79% de NaCl y un 11% de MgCl₂.

Proceso de Corrosión.— La corrosión marina, como todo fenómeno de corrosión en soluciones acuosas, es un proceso de naturaleza electroquímica. Hay un flujo de electricidad de unas a otras áreas de la superficie metálica a través del electrolito, agua de mar, capaz de conducir corriente. Como todo fenómeno

íntima relación con el:

- a) Proceso anódico
- b) Proceso catódico
- c) Resistencia ohmica.

íntima relación con el:

- a) Proceso anódico
- b) Proceso catódico
- c) Resistencia ohmica.



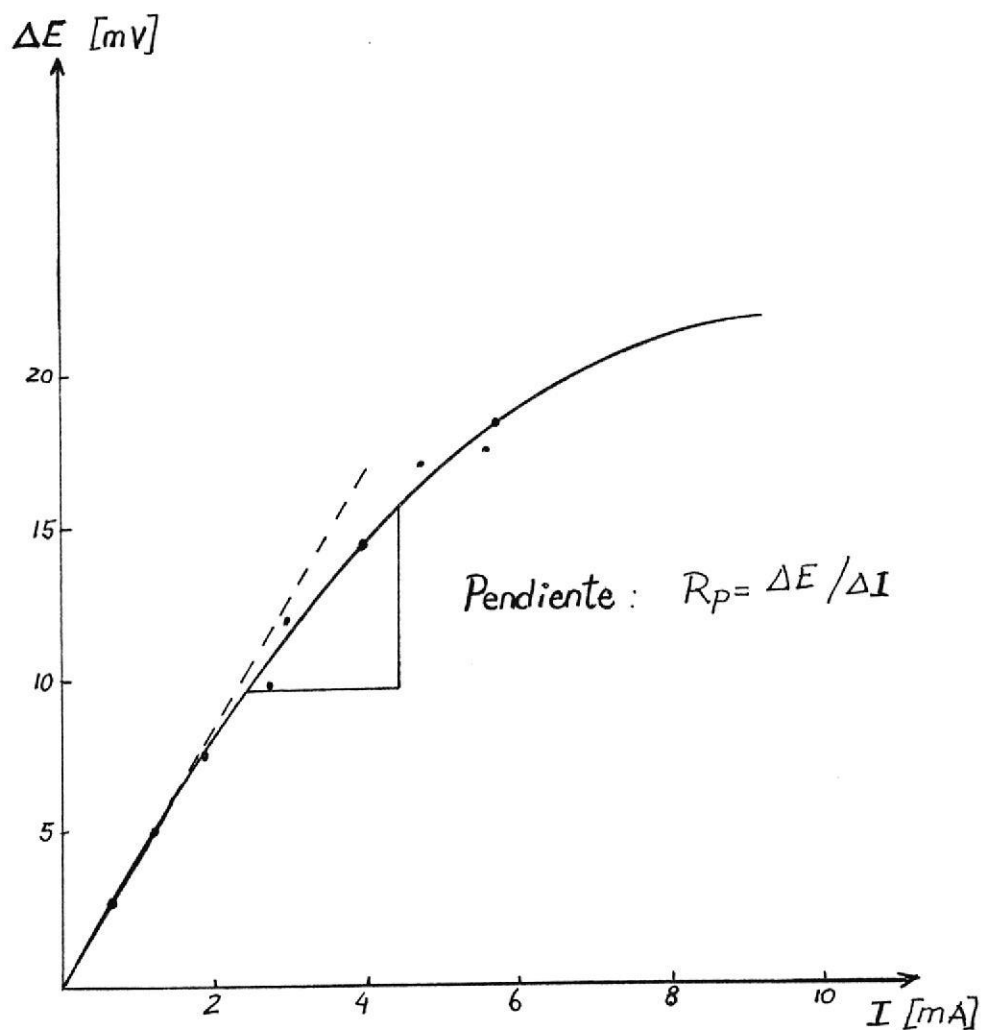


FIG. No. 12. Curva de polarización mediante técnica de Polarización Lineal

CAPITULO III

3.- RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Análisis Químico.

Los valores obtenidos del análisis químico realizado en la viruta de cada una de las aleaciones (Tabla II), indican que las proporciones de estos elementos se encuentran dentro del rango establecido por la norma ASTM B669 (Tabla I).

Existió pérdida de material durante el proceso de fundición, más esto no afectó el porcentaje de los elementos aleantes, esto se debe a que parte del zinc se perdió debido a que se produjo una pequeña oxidación al momento de fundir, los demás elementos que se encuentran en menor proporción que el zinc, se disuelven en este.

Además también se realizó un análisis de la salinidad del agua de mar, empleada en algunas pruebas, con la finalidad de conocer la presencia de sólidos totales, (% Cl Na).

TABLA III
PORCENTAJE EN PESO DE METALES
DE ALEACIONES ILZRO

PARAMETROS	MUESTRA ZA-8	MUESTRA ZA-12	MUESTRA ZA-27
ZINC %	90.19	87.29	70.50
ALUMINIO %	8.22	10.97	26.43
COBRE %	1.22	1.07	2.54
MAGNESIO %	0.041	0.018	0.02

TABLA IV
SALINIDAD DEL AGUA DE MAR

CONTENIDO DE SOLIDOS TOT. (ppm)	RESIDUOS SOLIDOS	
35000	NaCl 79%	MgCl ₂ 11%

3.2 Propiedades Mecánicas.

a) Ensayo de Dureza.

Para determinar la dureza de las aleaciones se empleó el método de Dureza Brinell. Los resultados que se obtuvieron para cada una de las muestras, está dado en la Tabla V.

TABLA V
VALORES DE DUREZA BRINELL
ALEACIONES ILZRO

ALEAC. ILZRO	DIAMETRO				DUREZA BHN
	mm				
ZA-8	2.6	2.5	2.5	2.6	93
ZA-12	2.4	2.5	2.5	2.4	104
ZA-27	2.3	2.4	2.4	2.4	113

Los valores de dureza medidos en cada una de las probetas, al ser comparados con los datos de la Tabla II, nos indican que estas cumplen los requisitos, permaneciendo dentro de los parámetros establecidos.

Los valores de dureza obtenidos en las aleaciones representan una buena resistencia a la deformación plástica, además un buen acabado

superficial que se de, garantizan una buena resistencia al desgaste. La maquinabilidad es otra propiedad importante que presentan estas aleaciones, y la facilidad que brinda para realizar un pulido fino es importante, pues influye en los costos, como por ejemplo en los moldes.

b) **Ensayos de Tracción**

Los resultados obtenidos en este tipo de ensayos mecánicos están indicados en la Tabla VI.

Estos valores al ser comparados con la Tabla II, nos indican una vez más, que estas aleaciones cumplen con los requisitos previstos, pues los valores obtenidos en resistencia y límite de fluencia están dentro del rango esperado.

TABLA VI
PROPIEDADES MECANICAS
ALEACIONES ILZRO

ALEAC	LIMITE DE FLUENCIA (kg/cm ²)	RESIST. TENSION (kg/cm ²)	ELONG . (%)
ZA-8	2025	2365	1.17
	2050	2466	1.58
ZA-12	2120	3209	2.8
	2210	3013	2.7
ZA-27	3850	4289	3.8
	4020	4181	5.4



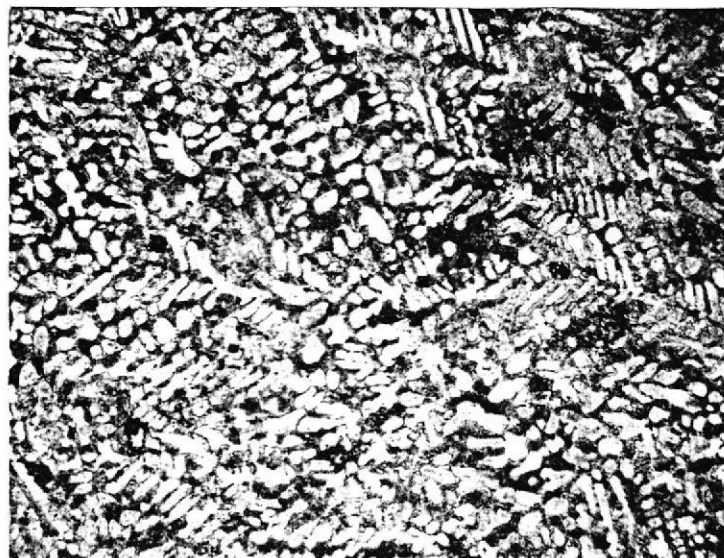
3.3 Análisis Metalográfico.

Se realizó el análisis metalográfico de las tres aleaciones (ZA-8, ZA-12 y ZA-27), donde observando cuidadosamente su microestructura se puede diferenciar zonas bien marcadas, que son las que caracterizan a cada una estas.

ZA-8

Debido al poco contenido de aluminio que tiene esta aleación, en la microestructura está representada como fase alfa, y se ve en poquísima proporción, y se encuentra en una matriz de tipo dendrítico de fase alfa prima más beta y a su vez rodeada de una fase alfa más beta. En esta aleación, ZA-8, a medida que su temperatura disminuye, ocurren aquí dos reacciones; Reacción Eutéctica: temperatura de 382°C, dando origen en este momento a matriz alfa prima más beta.

Reacción Eutectoide, cuando la temperatura disminuye a 275°C, se da origen a esta reacción y la fase alfa prima se transforma en alfa más beta. (Ver fig. No. 14)



NITAL 2%

AUMENTO 150

FIG. No. 14: Microestructura observada en la aleación
ZA-8



NITAL 2%

AUMENTO 150

FIG. No.15: Microestructura observada en la aleación
ZA-12

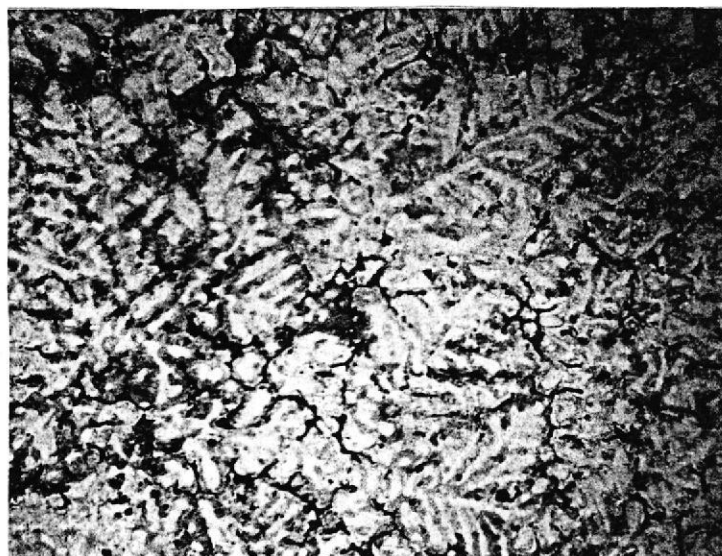
ZA-12

La presencia del aluminio en esta aleación llega a tener un porcentaje equivalente al 12% aproximadamente, de manera que al observar su microestructura, la presencia de este elemento se ha incrementado al compararse con la aleación ZA-8.

La fase alfa (aluminio), de manera similar que en el caso anterior, se encuentra rodeada de una matriz dendrítica, la misma que representa una fase alfa prima más beta, originándose esto a 382°C, y a medida que la temperatura va disminuyendo, esta situación provoca una reacción eutectoide a la temperatura de 275°C, formándose aquí una fase alfa más beta, como producto de la descomposición del aluminio .(Ver Fig. No. 15)

ZA-27

La presencia del aluminio en esta aleación es mayor que en los casos anteriores, observándose de una manera mucho más clara las fases



NITAL 2%

AUMENTO 150

FIG. No. 16 : Microestructura observada en la aleación
ZA-27

presentes. El aluminio está presente inicialmente como alfa prima y a una temperatura de 325°C , aparece una nueva fase, alfa más alfa prima, ocurre esto en un período corto de tiempo, pues al llegar a la temperatura eutéctica (275°C) se presenta la fase alfa más beta .

3.4 Ensayos de Corrosión.

Las técnicas aplicadas a las probetas de las aleaciones ILZRO fueron de dos tipos:

- a.- Técnica Potenciostática.
- b.- Técnica de Polarización lineal.

Las mismas que estuvieron sometidas en tres diferentes medios:

- 1.- Agua potable a temperatura ambiente ($T=25^{\circ}\text{C}$)
- 2.- Agua potable a elevada temperatura ($T=60^{\circ}\text{C}$)
- 3.- Agua salada.

Los valores obtenidos durante estas prácticas, en donde se aplica la técnica potenciostática, se muestran en las siguientes tablas:

TABLA VII
TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
ALEACIÓN ZA-8
AGUA POTABLE (T=25°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1000	0	0
-970	201	207.86
-940	450	465.36
-910	630	651.5
-880	775	801.45
-850	930	961.74
-820	1100	1137.54
-790	1270	1313.34
-760	1490	1540.85
-730	1750	1809.72
-700	2400	2481.9

TABLA VIII
TECNICA POTENCIOSTATICA
ALEACION ZA-12
AGUA POTABLE (T=25°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1000	0	0
-970	310	320.58
-940	470	486.04
-910	690	713.55
-880	990	1023.78
-850	1200	1240.95
-820	1500	1551.19
-790	1780	1840.75
-760	2100	2171.66
-730	2600	2688.73
-700	3650	3774.56

TABLA IX
TECNICA POTENCIOSTATICA
ALEACION ZA-27
AGUA POTABLE (T=25°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1000	0	0
-970	24	24.82
-940	65	67.22
-910	150	155.12
-880	280	289.55
-850	480	496.38
-820	700	723.89
-790	940	972.08
-760	1080	1116.86
-730	1250	2196.66
-700	1530	1582.21

TABLA X
TECNICA POTENCIOSTATICA
ALEACION ZA-8
AGUA POTABLE (T=60°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-950	0	0
-920	80	82.73
-890	30	31.02
-860	0	0
-830	100	103.41
-800	180	186.14
-770	230	237.85
-740	400	413.65
-710	510	527.4
-680	550	568.77
-650	573	592.55



TABLA XI
TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
ALEACIÓN ZA-12
AGUA POTABLE (T=60°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1000	0	0
-970	10	10.34
-940	10	10.34
-910	15	15.51
-880	35	36.19
-850	60	62.05
-820	130	134.44
-790	900	930.7
-760	1200	1240.95
-730	1400	1447.78
-700	1600	1654.60

TABLA XII
 TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
 ALEACIÓN ZA-27
 AGUA POTABLE (T=60°C)

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1000	0	0
-970	0	0
-940	0	0
-910	0	0
-880	10	10.34
-850	17	17.58
-820	47	48.6
-790	100	103.41
-760	280	289.55
-730	750	775.59
-700	1000	1034.13

TABLA XIII
 TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
 ALEACIÓN ZA-8
 AGUA DE MAR

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1100	0	0
-1070	15100	15615.31
-1040	27000	27921.41
-1010	40000	41365.05
-980	50000	51706.31
-950	60000	62047.57
-920	65100	67321.61
-890	71000	73422.96
-860	80000	82730.09
-830	980000	1013443.6
-800	140000	144777.66



TABLA XIV
TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
ALEACIÓN ZA-12
AGUA DE MAR

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1100	0	0
-1070	15300	15822.1
-1040	27000	27921.41
-1010	38000	39296.79
-980	48000	49638.06
-950	57000	58945.19
-920	63000	65149.95
-890	75000	77559.46
-860	100000	103412.62
-830	120000	124095.14
-800	140000	144777.66

TABLA XV
 TÉCNICA POTENCIOSTÁTICA
 ALEACIÓN ZA-27
 AGUA DE MAR

VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (μ A)	DENSIDAD (μ A/cm ²)
-1100	0	0
-1070	16500	17063.08
-1040	30000	31023.78
-1010	41000	42399.17
-980	59000	61013.44
-950	61000	63081.69
-920	45000	46535.68
-890	150000	155118.9
-860	170000	175801.45
-830	200000	206825.23
-800	225000	232678.39

TECNICA POTENCIOSTATICA

Aleación ZA-8 (Agua Potable)

Temperatura ambiente (25 grados C)

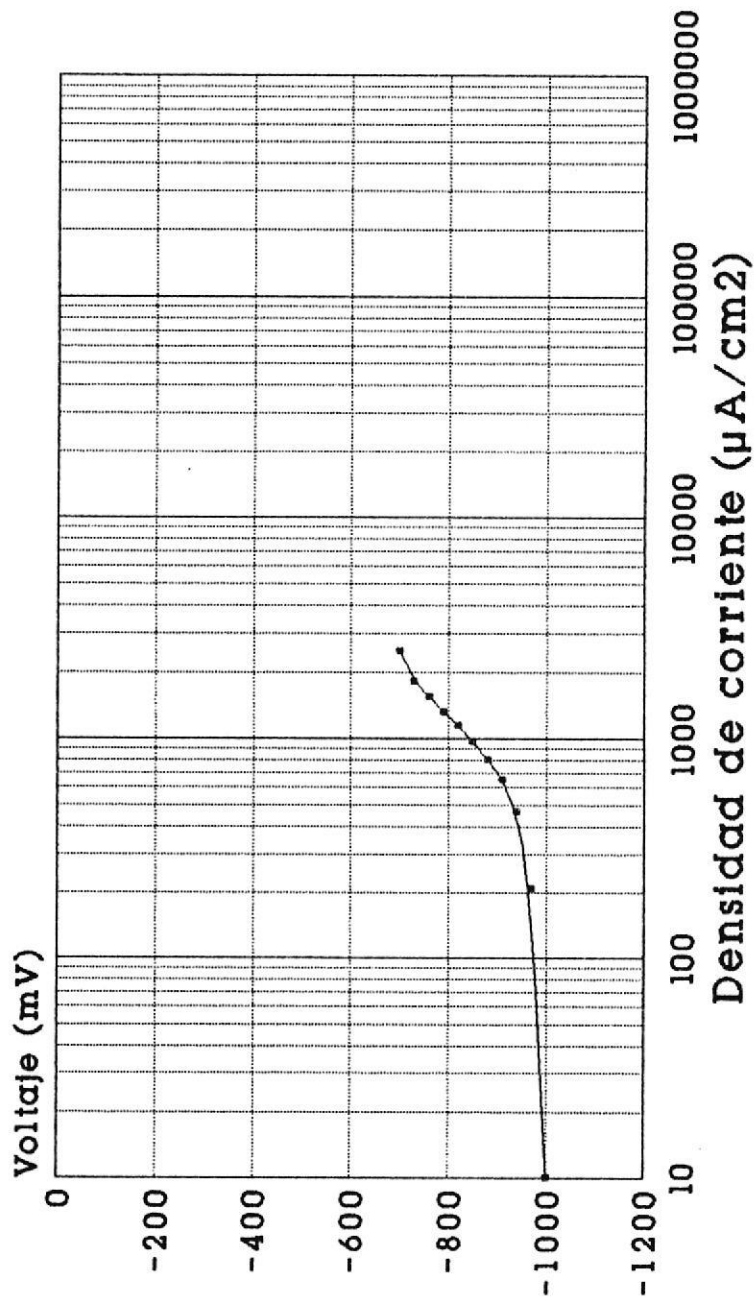


FIG. No. 17

TECNICA POTENCIOSTATICA

Aleación ZA-12 (Agua Potable)

Temperatura ambiente (25 grados C)

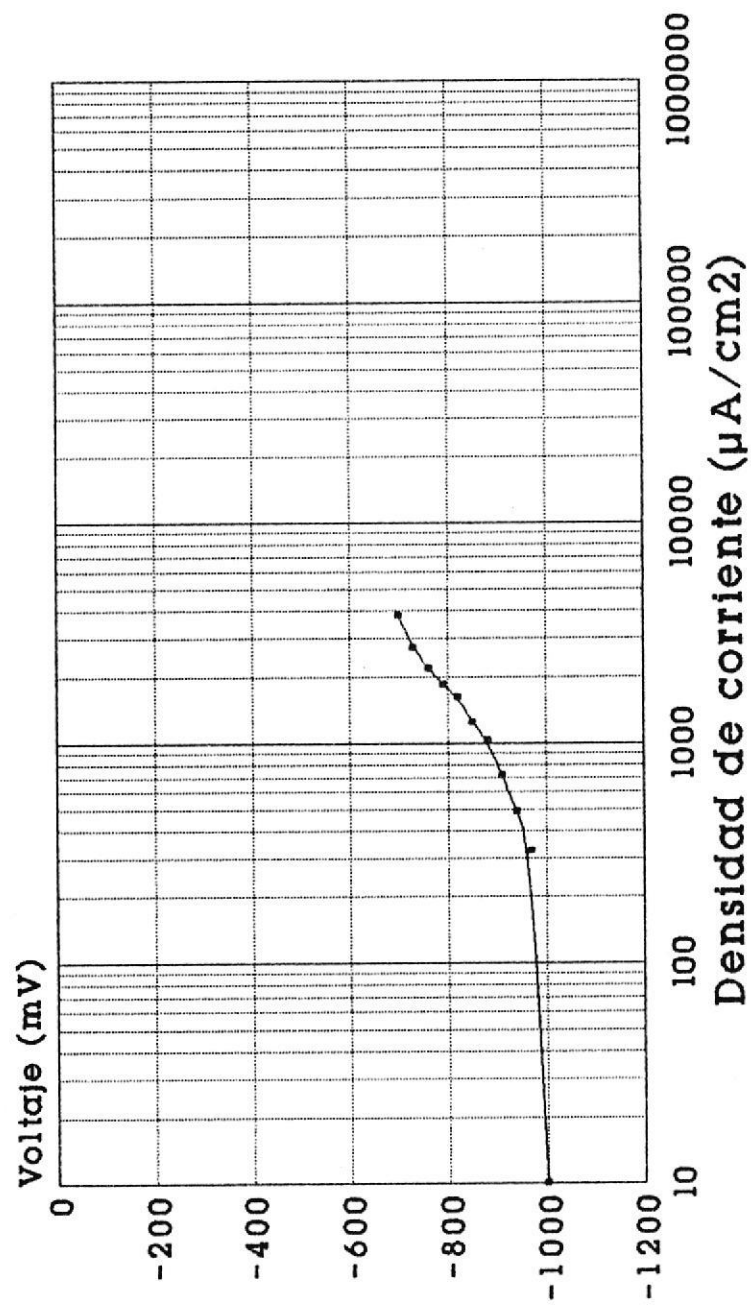


FIG. No. 18

TECNICA POTENCIOSTATICA
Aleación ZA-27 (Agua Potable)
Temperatura ambiente (25 grados C)

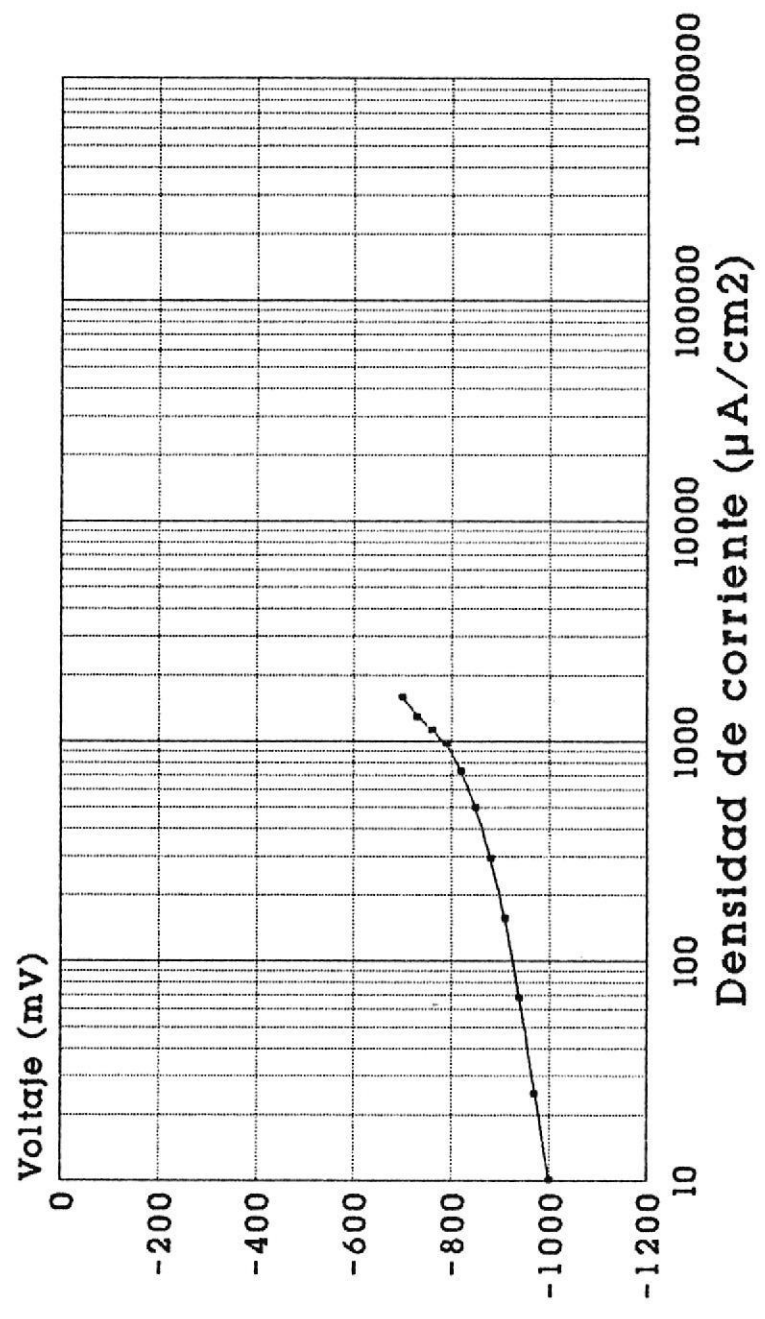


FIG. No. 19

TECNICA POTENCIOSTATICA

Aleación ZA-8 (Agua Potable)

Temperatura (60 grados C)

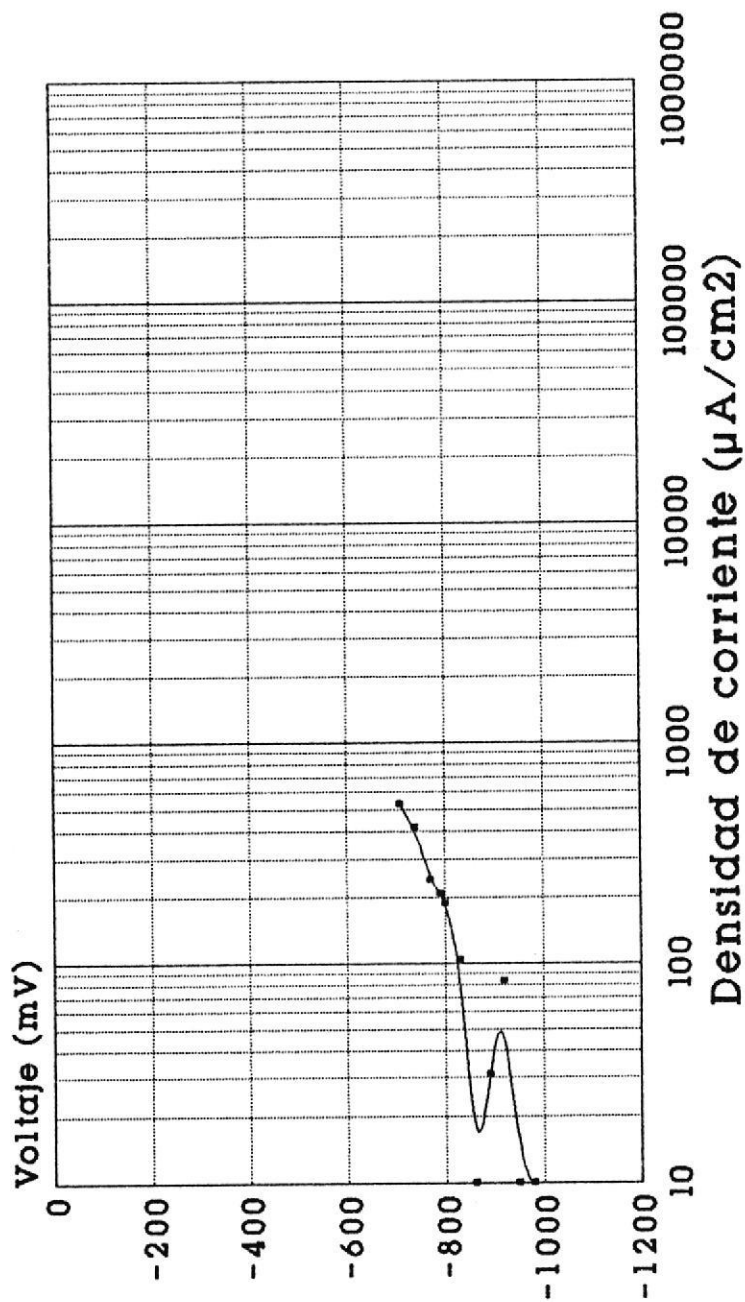


FIG. No. 20