

105
2^o ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA



**RESISTENCIA A LA CORROSION Y AL
DESGASTE EN BRONCES Y LATONES
GALVANIZADOS POR DIFUSION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :

LAURA ORTIZ OROZCO
MANUEL GARCIA IBAÑEZ

Asesor de Tesis: M. en I. Arturo Barba Pingarrón

MEXICO, D. F.

1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

I N D I C E

OBJETIVO GENERAL	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO 1	5
I. CORROSION Y DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE	7
I.1 INTRODUCCION A LOS BRONCES Y LATONES	7
I.1.1 LATONES	8
I.1.2 BRONCES	11
I.2 APLICACIONES DE LAS ALEACIONES DE COBRE	14
I.2.1 APLICACION DE LOS LATONES	14
I.2.2 APLICACION DE LOS BRONCES	18
I.3 CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE	22
I.3.1 CORROSION METALICA	22
I.3.2 TIPOS DE CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE	24
I.3.2.1 CORROSION POR PICADURA	26
I.3.2.2 DESZINCFICACION	26
I.3.2.3 FALLA POR CORROSION BAJO ESFUERZO	28
I.4 PROPIEDADES MECANICAS	31
I.4.1 INTRODUCCION	31
I.4.2 PROPIEDADES MECANICAS	31

I.5	DESGASTE DE LAS ALEACIONES DE COBRE	33
I.5.1	CONCEPTO DE DESGASTE	34
I.5.2	TIPOS DE DESGASTE	34
I.5.2.1	DESGASTE POR ADHERENCIA	34
I.5.2.2	DESGASTE POR ABRASION	35
I.5.2.3	DESGASTE POR EROSION	36
I.5.3	DESGASTE EN BRONCES Y LATONES	36

CAPITULO 2 38

2. FUNDAMENTOS DEL GALVANIZADO POR DIFUSION 40

II INTRODUCCION A LOS FUNDAMENTOS DEL GALVANIZADO POR DIFUSION 40

II.1 MECANISMOS DE LA DIFUSION 42

II.1.1 DIFUSION POR VACANTES 42

II.1.2 DIFUSION INTERSTICIAL 43

II.1.3 DIFUSION POR INTERCAMBIO 45

II.1.4 TIPOS DE DIFUSION 46

II.2 LEYES DE LA DIFUSION 47

II.2.1 PRIMERA LEY DE FICK (VELOCIDAD DE DIFUSION) 47

II.2.2 SEGUNDA LEY DE FICK (FACTOR DE COMPOSICION) 49

II.2.3 ENERGIA PARA LA DIFUSION 53

II.3 GALVANIZADO	54
II.3.1 DEFINICION DE GALVANIZADO	54
II.3.2 GALVANIZACION EN CALIENTE	54
II.3.2.1 GALVANIZACION GENERAL	54
II.3.2.2 GALVANIZACION CONTINUA PARA TIRAS	55
II.3.2.3 GALVANIZACION CONTINUA PARA ALAMBRE	55
II.3.2.4 GALVANIZACION CONTINUA DE TUBOS	55
II.3.3 RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS	56
II.3.4 ROCIADO DE ZINC	57
II.3.5 METALIZACION	57
II.3.6 RECUBRIMIENTOS RICOS EN ZINC	58
II.4 NOCIONES SOBRE EL GALVANIZADO POR DIFUSION	60
II.4.1 INTRODUCCION	60
II.5 DESCRIPCION DEL PROCESO EN FORMA GENERAL	61
CAPITULO 3	67
3. EXPERIMENTACION	68
III.1 GALVANIZADO POR DIFUSION	68
III.1.1 PREPARACION DE PROBETAS	68
III.1.2 PREPARACION DE LA MEZCLA RICA EN ZINC	69
III.1.3 CONSTRUCCION DE LA CAJA DE GALVANIZADO	70
III.1.4 DISPOSICION DE LAS PIEZAS Y GALVANIZADO	71

III.2 MEDICION DE MICRODUREZA Y ESPESORES	73
III.2.1 MICRODUREZA. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO	73
III.2.2 ESPESORES. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO	74
III.2 PRUEBAS DE DESGASTE	75
III.2.1 MAQUINA DE DESGASTE Y PRINCIPIO DE OPERACION	75
III.2.2 MAQUINADO DE LAS PROBETAS DE DESGASTE	76
III.2.3 PRUEBAS DE DESGASTE	80
III.3 PRUEBAS DE CORROSION	82
III.3.1 PRUEBAS DE INMERSION TOTAL	82
III.3.2 EXPERIMENTO DE MATTSSON	84
CAPITULO 4	86
4 PRESENTACION DE RESULTADOS	87
IV.1 ESPESOR DE LA CAPA DE GALVANIZADO	87
IV.2 DUREZA DE LAS PIEZAS GALVANIZADAS	91
IV.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CORROSION	94
IV.3.1 INMERSION EN AGUA DE MAR	94
IV.3.2 INMERSION EN ACIDO CLORHIDRICO	105
IV.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DESGASTE	150
IV.4.1 PRUEBAS CON LUBRICANTE	150
IV.4.2 PRUEBAS EN SECO	159

IV.5 EXPERIMENTO DE MATTSSON	168
CAPITULO 5	173
5 APLICACIONES Y CONCLUSIONES	174
V.1 APLICACIONES	174
V.1.1 LATONES GALVANIZADOS POR DIFUSION	174
V.1.2 BRONCES GALVANIZADOS POR DIFUSION	177
V.2 CONCLUSIONES GENERALES	180
BIBLIOGRAFIA	183

OBJETIVO GENERAL

**DAR A CONOCER EL METODO DE GALVANIZADO POR
DIFUSION Y DEMOSTRAR SU APLICACION EN EL
INCREMENTO DE LA DUREZA Y RESISTENCIA A LA
CORROSION EN BRONCES Y LATONES.**

INTRODUCCION

Todos los materiales son susceptibles de mejorarse, incluso aquellos que tienen excelentes propiedades físicas y químicas en donde se pudiera pensar en pocas o nulas posibilidades de mejora.

En este sentido se justifica el hecho de trabajar contra la corrosión y el desgaste en materiales que son preferidos por su resistencia a estas dos situaciones. Porque las aleaciones de cobre, materia de nuestro trabajo, son apreciadas en general por su resistencia contra medios corrosivos como lo es el agua de mar y muchas otras sustancias agresivas, además de su alta resistencia al desgaste en combinación de una buena maquinabilidad.

Sin embargo el proceso promete aportar logros importantes en cuanto a resistencia a la corrosión y al desgaste se refiere. Aunado a dos puntos que se convierten para el presente trabajo en grandes oportunidades de aplicación:

1 DEZINFICACION

2 LA CORROSION BAJO ESFUERZO (TENSO-CORROSION)

Estas últimas son dos fallas comunes que se presentan en las aleaciones de cobre y en donde el proceso puede mejorarse en gran medida las propiedades del material para hacerlo hábil para mayor número de aplicaciones.

¿ DE QUE FORMA LO LOGRAMOS ?

El método de galvanizado por difusión es un tratamiento termoquímico que adhiere partículas sólidas de un material de recubrimiento (de zinc [Zn]) sobre otro que es el base (latón o bronce) por medio de temperatura.

Parece sencillo y en realidad lo es, ya que este recubrimiento metálico aprovecha las propiedades de difusión del zinc en el cobre para llevar a término fácil el proceso.

La temperatura que se requiere para difundir el zinc en el metal base es poco menor a la de su fusión (400°C) temperatura que no es exagerada para ser alcanzada en cualquier horno de laboratorio y mucho menos en un horno industria.

Este recubrimiento constituye una capa de alta dureza en la superficie del metal además de un aislamiento perfecto del material base. Como es de esperarse, la alta dureza obtenida refleja mayor resistencia al desgaste y el aislamiento del recubrimiento logra mayor resistencia a la corrosión.

Es pues el galvanizado por difusión un proceso sencillo y económico que presentamos en este trabajo como un método accesible para aplicaciones concretas en bronce y latones.

Es de suma importancia el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los materiales que estamos trabajando. Es por eso que comenzamos dando una visión global de las aleaciones de cobre (bronce y latones) analizando sus características principales así como sus propiedades físicas y químicas (CAPITULO 1).

El recubrimiento metálico (Galvanizado por difusión), tiene fundamentos científicos y responde a leyes establecidas (leyes de Fick), razón por la cual dedicamos un capítulo al estudio de los fundamentos del proceso (CAPITULO 2).

Al recomendar este recubrimiento tiene que asegurarse la repetición del experimento, y para ello es necesario detallar la metodología en todos y cada uno de los puntos llevados a cabo. En la parte de la experimentación es fácil seguir el avance del proceso en su totalidad (CAPITULO 3).

El hecho de reproducir un proceso sugiere el logro de algunos resultados determinados. Exponer los resultados (tablas y gráficas) es mostrar las propiedades alcanzadas a partir del proceso que se quiere dar a conocer (CAPITULO 4).

Los resultados obtenidos invitan al análisis y a la comparación. Se hace necesario entonces, la revisión de los objetivos principales y evaluar los resultados con el fin de justificar y recomendar el proceso desarrollado.

CAPITULO 1

I. CORROSION Y DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE

- I.1 INTRODUCCION A LOS BRONCES Y LATONES
 - I.1.1 LATONES
 - I.1.2 BRONCES

- I.2 APLICACIONES DE LAS ALEACIONES DE COBRE
 - I.2.1 APLICACION DE LOS LATONES
 - I.2.2 APLICACION DE LOS BRONCES

- I.3 CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE
 - I.3.1 CORROSION METALICA
 - I.3.2 TIPOS DE CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE
 - I.3.2.1 CORROSION POR PICADURA
 - I.3.2.2 DESZINIFICACION
 - I.3.2.3 FALLA POR CORROSION BAJO ESFUERZO

- I.4 PROPIEDADES MECANICAS
 - I.4.1 INTRODUCCION
 - I.4.2 PROPIEDADES MECANICAS

I.5	DESGASTE DE LAS ALEACIONES DE COBRE
I.5.1	CONCEPTO DE DESGASTE
I.5.2	TIPOS DE DESGASTE
I.5.2.1	DESGASTE POR ADHERENCIA
I.5.2.2	DESGASTE POR ABRASION
I.5.2.3	DESGASTE POR EROSION
I.5.3	DESGASTE EN BRONCES Y LATONES

CAPITULO I

CORROSION Y DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE

I.1 INTRODUCCION

El cobre y algunas de sus aleaciones son las herramientas de metal más antiguas conocidas por el hombre. Estas han aportado un excelente servicio en una gran gama de usos y en una gran variedad de medios.

El cobre solo es un metal muy maleable. Se ha aleado con pequeñas cantidades de otros elementos como:

Zinc	(Zn)
Estaño	(Sn)
Berilio	(Be)
Teluro	(Te)
Plata	(Ag)
Cadmio	(Cd)
Arsénico	(As)
Cromo	(Cr)
Antimonio	(Sb)
Fósforo	(P)

a fin de modificar sus propiedades para aplicaciones específicas, mientras se conservan las características principales del cobre puro.

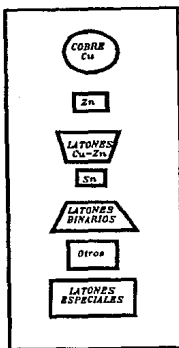
Las adiciones de zinc (Zn) y estaño (Sn) mejoran en gran medida las propiedades mecánicas del metal e incrementan su excelente resistencia a la corrosión bajo condiciones de servicio muy severas.

Las aplicaciones del cobre y sus aleaciones son muy numerosas. Son usadas en estructuras expuestas a la atmósfera, por ejemplo, en la arquitectura y escultura. Son usadas inmersas en agua dulce o agua de mar, en intercambiadores de calor y condensadores, así como en la industria química y en las plantas generadoras de energía. También se utilizan enterradas en tierra formando sistemas de distribución de agua.

I.1.1 LATONES

Los latones componen una serie de aleaciones de cobre con un contenido significativo de zinc. Así como varía el contenido de zinc, las propiedades de la aleación también cambian. Los usos que se le dan a los latones dependen principalmente de sus propiedades de alta ductilidad combinada con una suficiente resistencia mecánica además de su excelente resistencia a la corrosión.

Las aleaciones de cobre-zinc se basan en un diagrama de fase como el que se muestra en la figura.



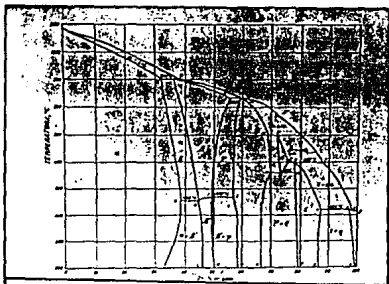
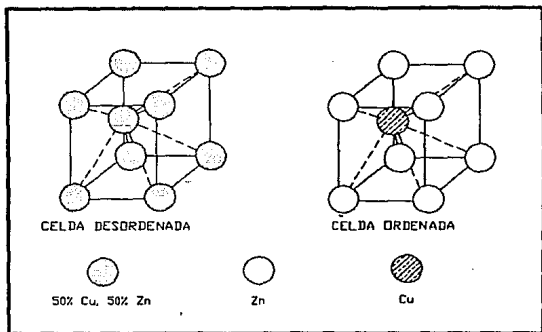


Figura 1.1 Diagrama de fases Cu-Zn

El zinc tiene una gran solubilidad en el cobre y forma soluciones α -sólidas (La solución α tiene una estructura C.Cu.C.) hasta un porcentaje de zinc alrededor del 39% a una temperatura de 456°C. Al incrementar el contenido de zinc en el cobre se forma una segunda solución sólida designada como la fase β , (La fase β tiene una estructura cristalina C.Cu.C.) ésta se transforma por un mecanismo de orden-desorden de una fase β desordenada a una fase β' ordenada mediante un enfriamiento que va de una temperatura de 468°C a 45°C.



Con un contenido mayor al 50% de Zn, se forma una solución sólida fase γ , éstas son de poco uso en ingeniería debido a su estructura tan compleja y a su alta fragilidad.

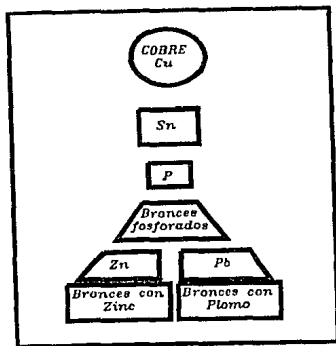
En base al diagrama de fases, los latones comerciales pueden ser divididos en dos importantes grupos:

1. Los latones α con una estructura α y con un contenido de hasta un 35% de Zn.
2. Los latones $\alpha+\beta$ de dos fases que esta basada principalmente en una proporción de 60:40 de cobre zinc.

I.1.2 BRONCES

Las aleaciones que consisten principalmente de cobre y estaño son propiamente llamados bronce al estaño. Sin embargo, como es muy común agregar fósforo a estas aleaciones como un agente desoxidante durante la fundición, algunos bronce son comercialmente conocidos como bronce fosforados. Estas aleaciones poseen propiedades muy preciadas tales como, alta resistencia mecánica, resistencia al desgaste y buena resistencia a la corrosión del agua de mar.

El diagrama de fases del sistema cobre estaño se muestra en la figura 1.3.



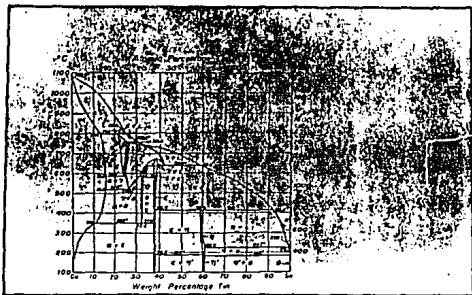
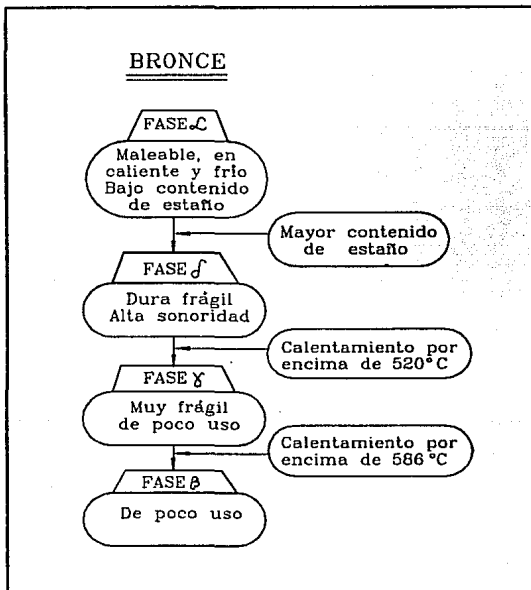


Figura 1.3 Diagrama de fases Cu-Sn

La solubilidad sólida del estaño en cobre alcanza un máximo de 15.8% entre 520°C y 586°C, que es mucho menor que la solubilidad del zinc en cobre. A partir de este diagrama de fases podría parecer que las aleaciones Cu-Sn con un porcentaje cercano al 11% podrían precipitar la fase ϵ , lo cual no se observa en el microscopio óptico en aleaciones de Cu-5% Sn que ha sido rolando en frío a un porcentaje de 97% de reducción y subsiguientemente tratado térmicamente.



1.2 APLICACIONES DE LAS ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre tienen características que varían de acuerdo al tipo y contenido del aleante, sin embargo, son preferidas en general por su resistencia al desgaste abrasivo, excelente ductilidad, resistencia a la corrosión y conductividades eléctrica y térmica.

Estas características valiosas hacen a las aleaciones de cobre aptas para ser utilizadas en presencia de agentes corrosivos, en condiciones de desgaste severas y en piezas de fabricación complicada.

I.2.1 APLICACION DE LOS LATONES

La tabla 1.1 enlista la composición química de una selección de los latones más comerciales

TABLA 1.1
Composición química de aleaciones de Cu-Zn comerciales

NUMERO ^{#1}	NOMBRE	COMPOSICION (%)
210	GILDING	95.0 Cu - 5.0 Zn
220	BRONCE COMERCIAL	90.0 Cu - 10.0 Zn
226	BRONCE DE JOYERIA	87.5 Cu - 12.5 Zn
230	LATON ROJO	85.0 Cu - 15.0 Zn
240	LATON SUAVE	80.0 Cu - 20.0 Zn
260	LATON CARTRIDGE	70.0 Cu - 30.0 Zn
268	LATON AMARILLO	65.0 Cu - 35.0 Zn
270	LATON AMARILLO	65.0 Cu - 35.0 Zn
280	METAL MUNTZ	60.0 Cu - 40.0 Zn

^{#1} De acuerdo al sistema de designación administrado por la ASOCIACION DEL DESARROLLO DEL COBRE (CDA): 2XX Latones

TABLA 1.2

Algunos latones comerciales con sus aplicaciones

TIPO	CARACTERISTICAS Y USOS
a) GILDING	Cuenta con una excelente maquinabilidad en frío y en caliente para estirado, laminado, embutido, etc.. Es muy usado para monedas, medallas, cierres y como base para ser chapeado.
b) BRONCE COMERCIAL	Tiene características muy similares a las del latón GILDING. Presenta una buena forjabilidad y una gran facilidad para ser rodado en frío o en caliente. Se utiliza en partes de diseño mecánico: tornillos, arandelas, tuercas, algunos tipos de engranes, etc..
c) LATON DE JOYERIA	Muy semejante al anterior. Se usa como cancelería, cadenas de fantasía, bases para tubos de labios y en bases para realizar chapeados en oro.
d) LATON ROJO	Es muy maquinable en frío y buena formabilidad en caliente se aplica mucho en tuberías de todo tipo, de condensadores, intercambiadores de calor, equipos de aire acondicionado, radiadores, etc., así como partes importantes de extinguidores de fuego.
e) LATON SUAVE	Cuenta con una buena maquinabilidad en frío, es semejante al latón rojo. Se usa en algunas cubiertas de baterías, instrumentos musicales, elementos de relojes y algunos elementos de bombas.
f) LATON CARTRIDGE	Posee una buena maquinabilidad en frío. Se usa a menudo en partes de radiadores, tanques, cubiertas de luces intermitentes, chapas o cerraduras y en diversos tipos de accesorios mecánicos.
g) LATON AMARILLO	Semejante al latón Cartridge en propiedades y usos.
h) METAL MUNTZ	Excelente forjabilidad en caliente. Tiene diversas aplicaciones en arquitectura, partes de condensadores, intercambiadores de calor.

TABLA 13

Composición química de aleaciones de Cu-Zn comerciales
Lataones Aleados

NUMERO ²	NOMBRE	COMPOSICION
443	LATON ADMIRALTY	71.0 Cu - 28.0 Zn - 1.00 Sn
444	LATON ADMIRALTY	71.0 Cu - 28.0 Zn - 1.00 Sn
445	LATON ADMIRALTY	71.0 Cu - 28.0 Zn - 1.00 Sn
464	LATON NAVAL	60.0 Cu - 39.25 Zn - 0.75 Sn
465	LATON NAVAL	60.0 Cu - 39.25 Zn - 0.75 Sn
466	LATON NAVAL	60.0 Cu - 39.25 Zn - 0.75 Sn
467	LATON NAVAL	60.0 Cu - 39.25 Zn - 0.75 Sn
667	LATON AL MANGANESO	70.0 Cu - 28.80 Zn - 1.20 Sn
674		58.5 Cu - 36.50 Zn - 1.00 Sn 1.20 Al - 2.80 Mn
675	BRONCE AL MANGANESO	58.5 Cu - 39.00 Zn - 1.00 Sn 1.4 Fe - 0.10 Mn
687	LATON AL ALUMINIO ARSENICAL	77.5 Cu - 20.50 Zn - 2.00 Al 00.1 As
688		72.5 Cu - 22.70 Zn - 3.40 Al 0.40 Co
694	LATON ROJO CON SILICON	81.5 Cu - 14.50 Zn - 4.00 Si

² El número es de acuerdo al sistema de designación administrado por la ASOCIACION DEL DESARROLLO DEL COBRE (CDA)

*6XX LATONES CON ALUMINIO O CON SILICIO

Tomado del ASM DATABOOK pp 96-100

TABLA 1.4
Aplicaciones típicas de algunos latones aleados

TIPO	CARACTERISTICAS Y USOS
a) ADMIRALTY INHIBIDOR	Es excelente para conformado y para forja y laminado en frío. Se utiliza en tubos de condensadores, destiladores, portaelectrodos, evaporadores o intercambiadores de calor.
b) LATON NAVAL	Es bueno para trabajar en forja en caliente, en laminado, troquelado, estirado, recalcado y prensado. Tiene diversas aplicaciones en elementos navales como son válvulas de vapor, abrazaderas, pernos, piezas de herrería, tubos de condensadores, eje de cola, balas.
c) LATON AL MANGANESO	Es excelente para conformado en frío y una gran facilidad para ser laminado, troquelado, estampado y soldado. Los usos que puede tener son variados por su facilidad a ser soldados por puntos, por uniones y a tope.
d) 674*	Es excelente para el conformado en caliente, forja y prensado. Se utiliza en rodamientos, flechas, en conectores de bielas y en engranes.
e) BRONCE AL MANGANESO A	Excelente para trabajo en caliente, forjado en caliente y prensado. Se utiliza en discos de clutch, en rodamientos de bombas, válvulas de vapor y en carcavas.
f) LATON AL ALUMINIO ARSENICAL	Excelente para trabajo en frío, embuido y laminado. Es utilizado en condensadores, evaporadores, intercambiadores de calor de tubos, tubos de condensadores y destilador de tubos.
g) 688*	Excelente para trabajar en conformado en caliente y en frío, laminado, estirado recalcado, punzonado y estampado. Es muy usado en apagadores, retardadores y contactos.
A) LATON ROJO CON SILICON	Excelente para conformado en caliente y forja. Se utiliza en válvulas de vapor.

*De acuerdo al sistema de designación administrado por la ASOCIACION DE DESARROLLO DEL COBRE (CDA) (6XX LATONES CON ALUMINIO O CON SILICIO).

I.2.2 APLICACION DE LOS BRONCES

Estas aleaciones son aprovechadas principalmente por dos magníficas propiedades: alta resistencia al desgaste y buena resistencia al agua de mar.

Una aleación muy característica de este tipo son los llamados bronce al estaño. Consisten principalmente de cobre y estaño como su nombre lo indica. Como generalmente se le agrega fósforo como agente desoxidante mediante la fundición, son conocidas comúnmente con el nombre de bronce fosforados.

La tabla 1.5 enlista la composición química de algunas aleaciones comerciales de este tipo.

TABLA 1.5

Composición química de algunos bronce fosforados típicos

NÚMERO ³	NOMBRE	COMPOSICION
505	BRONCE FOSFORADO 1.25% E	98.75Cu- 1.25 Sn+Trazas de P
510	BRONCE FOSFORADO 5.00% A	95.00Cu- 5.00 Sn+Trazas de P
511		95.00Cu- 4.25 Sn+Trazas de P
521	BRONCE FOSFORADO 8.00% C	92.00Cu- 8.00 Sn+Trazas de P
524	BRONCE FOSFORADO 10.00% D	90.00Cu-10.00 Sn+Trazas de P

³ De acuerdo al sistema de designación administrado por la ASOCIACION DEL DESARROLLO DEL COBRE (CDA):
5XX BRONCES CON ESTAÑO O BRONCES FOSFORADOS

TABLA 16

Aplicaciones de bronce fosforados

TIPO	CARACTERISTICAS Y USOS
BRONCE FOSFORADO 1.25% E	Excelente maquinabilidad en frío. Se usa en contactos eléctricos.
BRONCE FOSFORADO 5.00% A	Magnífica maquinabilidad. Se usa en discos para embrague, diafragmas, llaves de agua, maquinaria textil.
BRONCE FOSFORADO	Excelente maquinabilidad se utiliza en resortes partes de interruptores y contactores y en maquinaria textil.
BRONCE FOSFORADO 8.00% C	Buena maquinabilidad. Generalmente usado en equipo que trabaja bajo condiciones severas.
BRONCE FOSFORADO 10.00% D	Tiene una buena maquinabilidad. Es utilizado en partes de manómetros, resortes que trabajan en condiciones de desgaste y corrosión severas.

TABLA 17

Composición química de algunos bronce al Aluminio

NUMERO	NOMBRE	COMPOSICION
008	BRONCE AL ALUMINIO SN	Cu 95.00 - Al 5.0
010		Cu 92.00 - Al 8.0
012	BRONCE AL ALUMINIO D	Cu 92.65 - Al 7.0 - Sn 0.35
014		Cu 91.00 - Al 7.0 - Fe 2.00
018		Cu 89.00 - Al 10.0 - Fe 1.00
019		Cu 86.50 - Al 9.5 - Fe 4.00
023		Cu 87.00 - Al 10.0 - Fe 3.00
024		Cu 86.00 - Al 11.0 - Fe 3.00
025		Cu 82.70 - Al 13.0 - Fe 4.30
030		Cu 82.00 - Al 10.0 - Fe 3.00 - Ni 5.00
032		Cu 82.00 - Al 9.0 - Fe 4.00 - Ni 5.00
038		Cu 95.00 - Al 2.8 - Si 1.80 - Co 0.40
042	Cu 91.20 - Al 7.0 - Si 1.80	

TABLA 1.8
Características de broncees al aluminio

NUMERO ⁴	CARACTERISTICAS Y USOS
d08	Es bueno para trabajar en frío y para un buen conformado en caliente. Se utiliza en condensadores, evaporadores, destilador de tubos y en porta electrodos.
d10	Bueno para trabajar en caliente y en frío. Se utiliza en partes de bombas, pernos, flechas y en barras de acoplamiento.
d13	Excelente para conformado en caliente y en frío. Se usa en pernos, bujes, seguros y piezas mecánicas que no requieran tanta resistencia mecánica, recipientes de alta resistencia a la corrosión, componentes de estructuras, pequeñas partes de maquinaria, partes de condensadores y tubos de evaporadores y municiones.
d14	Las características y usos son muy similares a las de la aleación d13.
d18	Es magnífico para forja y prensado en caliente. Se utiliza en rodamientos, en algunas aplicaciones para la resistencia a la corrosión y en aportes de soldadura.
d19	Excelente para conformarse en caliente para ser doblado, laminado y estampado. Se puede utilizar en resortes, contactos y componentes de interruptores.
d23	Se puede conformar fácilmente en caliente para forja en caliente, prensado en caliente, laminado y prensado. Se usa en rodamientos, bujes y elementos de válvulas, engranes, pernos, y elementos de bombas.
d24	Excelente conformado en caliente, especialmente en doblado. Usos: en engranes, tuercas y pernos.
d25	Excelente conformabilidad para forja en caliente para la fabricación de elementos de máquinas, pernos, bujes y tornillería en general.
d30	Excelente capacidad para ser forjado. se puede utilizar en tuercas, pernos, elementos de válvulas, elementos de bombas y elementos estructurales.
d32	Buen conformado en caliente. Tiene los mismos usos que la aleación d30.
d38	Excelente maquinabilidad y conformabilidad en frío. Se puede utilizar en resortes, contactos y resortes.
d42	Excelente conformabilidad en caliente se puede utilizar en válvular de vapor, engranes, pernos y tuercas.

1.3 CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE

I.3.1 CORROSION METALICA

La corrosión puede describirse como una reacción de oxidación, semejante por tanto a cualquier oxidación química. Un metal sólo podrá corroerse, es decir, pasar a un estado más oxidado, cuando sea inestable con respecto a los productos formados por su corrosión. En general, la forma de óxido representa el estado más estable respecto al medio ambiente.

En presencia de un medio acuoso, la corrosión es de naturaleza electroquímica. Tal corrosión es un proceso espontáneo que denota la existencia de ciertas condiciones mínimas. Estas son:

- 1.- DEBE HABER UN ANODO Y UN CATODO
- 2.- DEBE EXISTIR UN POTENCIAL ELECTRICO ENTRE DOS ELECTRODOS
(Ánodo y cátodo)
- 3.- DEBE EXISTIR UN CONDUCTOR ELECTRICO
(Que conecte el ánodo y el cátodo)
- 4.- EL ANODO Y EL CATODO DEBEN ESTAR SUMERGIDOS
EN UN ELECTROLITO CONDUCTOR DE ELECTRICIDAD
(El cual está ionizado)

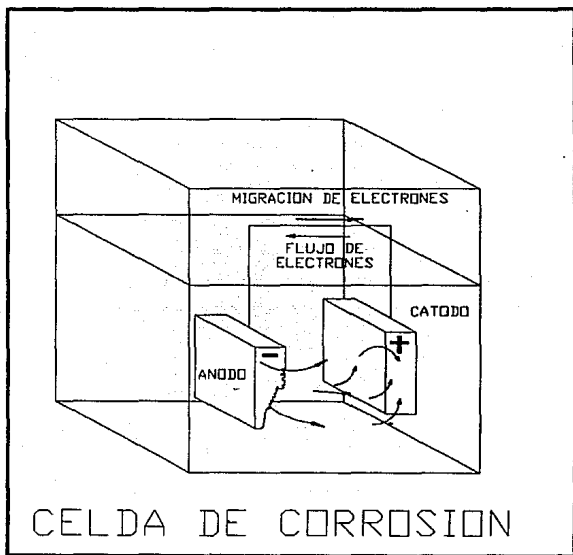


Figura 1.4 Celda de corrosión

El término ánodo se emplea para describir aquella porción de una superficie metálica en la que tiene lugar la corrosión (Disolución) y en la cual se liberan electrones como consecuencia del paso del metal en forma de iones al electrolito. En el ánodo la corriente eléctrica sale del metal para entrar a la solución.

El término cátodo se aplica a la porción de una superficie metálica en la cual los electrones producidos en el ánodo se combinan con determinados iones presentes en el electrolito. En el cátodo la corriente eléctrica sale del electrolito para entrar al metal, cerrándose el circuito eléctrico a través de un conductor metálico externo.

Una solución que conduce la electricidad es un electrolito. Su cualidad para conducir la electricidad es debida a la presencia de iones. Estos, son átomos cargados positiva o negativamente o bien agrupaciones de átomos con una cierta carga eléctrica, en solución.

La corrosión más frecuente es toda de naturaleza electroquímica y resulta de la formación de multitud de zonas anódicas y catódicas sobre la superficie metálica, siendo el electrolito, en caso de no estar el metal sumergido o enterrado, el agua de condensación de la atmósfera, para lo cual se necesita que la humedad relativa del aire sea del orden del 70% o superior.

I.3.2 TIPOS DE CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE

Como se dijo anteriormente las aleaciones de cobre tienen mejores propiedades físicas y mejor resistencia a la corrosión que el cobre sin alea.

Los principales problemas de corrosión a los que se enfrentan las aleaciones de cobre generalmente ocurren por:

PICADURA

DEZINIFICACION

**FALLA DE CORROSION BAJO ESFUERZO Y BAJO TENSION
(TENSOCORROSION)**

Las tendencias de la dezincificación en la corrosión por picadura y bajo esfuerzo (Tenso-corrosión) con el incremento de Zinc se muestra en la figura 1.5.

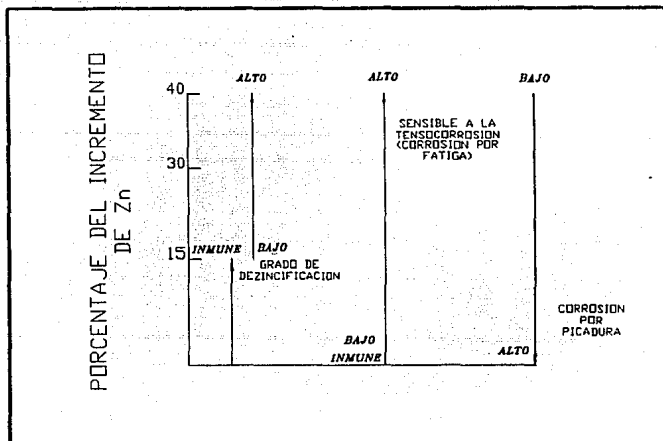


Figura 1.5 Tendencias a la dezincificación, Corrosión por picadura y fallas por corrosión bajo esfuerzo con el incremento de Zinc en la aleación

I.3.2.1

CORROSION POR PICADURA

Este tipo de corrosión es causado por células de aereación diferencial o condiciones de alta velocidad. Se puede evadir manteniendo la superficie del latón limpia todo el tiempo y evitando velocidades y geometrías con diseño inadecuado.

Aunque este caso de corrosión es principalmente un problema de diseño, las picaduras pueden presentarse con un flujo muy lento que alimente a la superficie del metal de oxígeno. Los cambios de presión en un líquido que pasa a través de válvulas o bombas puede llevar partículas abrasivas que rompan las capas protectoras superficiales y producir picaduras. El deterioro de esta manera puede suceder demasiado rápido.

I.3.2.2

DEZINIFICACION

Un tipo de corrosión al que son susceptibles los latones es conocido con el nombre de de **DEZINIFICACION**. Este se lleva a cabo cuando el zinc se difunde preferencialmente y deja un lugar vacante o un poro en el cobre produciendose corrosión selectiva.

Puede tener lugar en áreas aisladas de tipo **PUNTUAL** o uniformemente sobre la superficie llamado del tipo **CAPA**.

El latón que se corroe de esta manera puede conservar su dureza pero no así su ductilidad.

Por ejemplo en un tubo de latón la dezincificación del tipo **CAPA** puede causarle una ruptura repentina en un incremento de presión aparentemente regular, y para el mismo caso con una dezincificación del tipo **PUNTUAL** puede causar un orificio que crecería gradualmente.

Las condiciones que favorecen la dezincificación son:

- 1) ALTAS TEMPERATURAS
- 2) SOLUCIONES EROSIVAS, ESPECIALMENTE ACIDOS
- 3) FORMACION DE POROS INORGANICOS

Observando la situación metalúrgicamente, los latones que contienen el 15% o menos de zinc son generalmente inmunes. También, la dezincificación de los llamados latones α (hasta el 40% Zn) puede ser reducida mediante la adición de aproximadamente el 1% de estaño (Sn) o unos pequeños porcentajes de arsénico (As), antimonio (Sb), o fósforo (P) con estaño.

El mecanismo exacto de la dezincificación está aún en discusión.

Dos posibles razones son:

- 1) La aleación se mueve y el cobre es entonces redepositado para formar un poro, en la capa exterior.
- 2) El zinc se difunde preferencialmente hacia la superficie, reaccionando allí dejando un residuo de aleación rico en cobre.

Hay evidencias de que cada mecanismo puede ser aplicado en situaciones específicas de la dezincificación.

En el caso específico de algunas aleaciones de cobre se puede combatir la dezincificación agregando pequeñas cantidades de otros aleantes. Por ejemplo, el bronce al manganeso, es una aleación de cobre a la que se agregan usualmente pequeñas cantidades de arsénico, antimonio o fósforo. La aleación resultante se llama el metal "ADHIRALTY", encontrando su aplicación principal en un medio tan corrosivo como es el agua de mar.

1.3.2.3

FALLA POR CORROSION BAJO ESFUERZO (TENSOCORROSION)

Los latones tipo α en condiciones de trabajo en frío y conteniendo un porcentaje de zinc de hasta el 15% son susceptibles a la falla por corrosión bajo esfuerzo si se encuentran en contacto con pequeñas cantidades de amoníaco, en presencia de oxígeno y humedad.

La falla por corrosión bajo esfuerzo ocurre cuando los latones tipo α son sometidos a esfuerzos residuales en contacto con pequeñas cantidades de amoníaco NH_3 o un sustituto de amoníaco, en presencia de oxígeno y humedad.

La fisura aparece generalmente a lo largo de los límites de grano (intergranular), aunque puede haber fisuras a través de los granos (transgranular) si la aleación es deformada plásticamente.

Este tipo de corrosión es llamado algunas veces "FALLA DE ESTACION"⁵

Pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno pueden causar este tipo de corrosión, probablemente porque tales óxidos se convierten en sales de amoníaco en la superficie del latón mediante una reacción química con el metal.

Un ejemplo muy característico de este tipo de corrosión se encuentra en el elemento de un sistema de aire acondicionado. El aire que pasa a través de un precipitador de polvo electrostático y un campo de alto voltaje genera trazas de amoníaco. A su vez estas forman productos corrosivos, en la superficie del latón en el que se encuentran bajo análisis correspondientes a una alta proporción de NH_4 , causando fisuras intergranulares.

Los latones con alto contenido de zinc (ej. 45 a 50% Zn-Cu) con una estructura llamada β o $\beta+\alpha$, fallan por corrosión bajo esfuerzo con tan sólo presencia de humedad.

⁵Nombre histórico que se le da a la dezincificación, debido a que ésta se daba en cierta época del año. (Época de lluvias)

El mecanismo de la falla por corrosión bajo esfuerzo está siendo sujeto de mucho estudio. Aleaciones de alta pureza o cristales simples de latones tipo α siguen fallando cuando son sometidos a esfuerzo en atmósferas de amoníaco (NH_3). De acuerdo con el mecanismo electroquímico se ha encontrado que los límites de grano de latones policristalinos son más activos potencialmente que los granos en mezcla con hidróxido de amonio (NH_4OH), pero no en cloruro de hierro (FeCl_3) en donde este tipo de corrosión no ocurre.

Se propone alternativamente que una capa de óxido quebradiza se forma en los latones la cual se fractura mediante la aplicación de esfuerzos aparentemente bajos exponiendo al metal "en vivo" al medio ambiente y a una subsecuente oxidación.

Por otro lado, es posible que los defectos causados por los esfuerzos hagan susceptibles a las aleaciones de cobre a lo largo de los límites de grano a absorber iones complejos de Cu acompañados de una reducción de metal.

Se antoja suponer en cualquier caso, que los átomos de zinc acompañados de la deformación plástica son segregados preferencialmente a los límites de grano. El gradiente de composición resultante favorece la acción galvánica entre tales áreas y los granos, creando un ataque intergranular en un medio corrosivo sin la necesidad de la aplicación de un esfuerzo.

Pero tales secciones, si son sometidas a deformación plástica, favorecen en gran cantidad la absorción de amoníaco (NH_3) o iones complejos de amoníaco con un rango potencial específico conduciendo a una falla más rápida.

Pueden ocurrir efectos similares a lo largo de los granos (falla *transgranular*). Aunque la segregación de zinc es vital para este tipo de falla, también lo son, los defectos estructurales de los granos de la aleación.

La susceptibilidad hacia la falla por corrosión bajo esfuerzo puede ser disminuida por cuatro métodos principales:

- (i) Aliviar tensiones con tratamientos térmicos a 350°C por una hora. Sin embargo, este tratamiento térmico disminuye propiedades físicas.
- (ii) Evitar el contacto con NH_3 . Difícil de garantizar la ausencia de este compuesto.
- (iii) Protección catódica. Suministrar una corriente estabilizante o hacer un recubrimiento con un metal de sacrificio (Mg , Zn).
- (iv) Usar H_2S como inhibidor. El mecanismo puede involucrar en parte la reacción con oxígeno libre disponible.

Otra de las propiedades que hacen valiosas a las aleaciones de cobre es la alta resistencia mecánica principalmente en los bronce al estaño también llamados bronce fosforados.

1.4 PROPIEDADES MECANICAS

I.4.1 INTRODUCCION

Otra de las propiedades que hacen valiosas a las aleaciones de cobre es la alta resistencia mecánica, principalmente en los broncees al estaño también llamados broncees fosforados.

Algunas aleaciones a base de cobre son más pesadas que el hierro. El punto de fluencia es alto y tienen muy buena resistencia a la fatiga, a la termofluencia y al desgaste abrasivo.

I.4.2 PROPIEDADES MECANICAS

De las tablas 1.9 y 1.10 podemos apreciar fácilmente las ventajas que ofrecen los broncees con respecto a los latones, en cuanto a propiedades mecánicas se refiere. Sin embargo, en maquinabilidad vemos ligeramente superior a los latones.

Estas propiedades de buena maquinabilidad combinada con una excelente resistencia mecánica constituye la razón por la cual las aleaciones de cobre son utilizadas en gran medida en elementos de diseño mecánico en donde se requiere maquinar piezas complicadas y además se necesita una resistencia al desgaste considerable (ej. bujes, engranes, tornillos, pernos, etc.)

TABLAS 1.9

Propiedades mecánicas de bronce fosforados seleccionados

^d NUMERO	NOMBRE	RESISTENCIA A LA TENSION 1000 PSI	LIMITE ELASTICO 1000 PSI	ELONGACION ^d EN 2 in	⁸ RAZON DE MAQUINABILIDAD
505	BRONCE FOSFORADO E	40 - 79	14 - 30	48 - 4	20
510	BRONCE FOSFORADO A	47 - 140	19 - 80	64 - 2	20
511		46 - 103	30 - 80	48 - 2	20
521	BRONCE FOSFORADO C	55 - 140	24 - 80	70 - 2	20
524	BRONCE FOSFORADO D	66 - 147	28	70 - 3	20

TABLA 1.10

Propiedades mecánicas de latones comerciales

⁷ NUMERO	NOMBRE	RESISTENCIA A LA TENSION 1000 PSI	LIMITE ELASTICO 1000 PSI	ELONGACION EN 2 in	RAZON DE MAQUINABILIDAD ⁸
210	GILDING	34 - 64	10 - 54	45 - 4	20
220	BRONCE COMERCIAL	37 - 72	10 - 62	50 - 3	20
226	BRONCE DE JOYERIA	39 - 97	11 - 62	46 - 3	30
230	LATON ROJO	39 - 103	10 - 63	55 - 3	30
240	LATON SUAVE	42 - 125	12 - 63	55 - 3	30
260	LATON CARTRIDGE	44 - 130	11 - 63	66 - 3	30
268	LATON AMARILLO	46 - 128	14 - 62	65 - 3	30
280	METAL MUNTZ	54 - 74	21 - 55	52 - 10	40

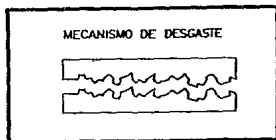
^d De acuerdo al sistema de designación administrado por la CDA.⁷ 5XX BRONCES FOSFORADOS. (Tomado del ASM DATABOOK pp. 96-100)⁸ De acuerdo al CDA. 2XX LATON. (Tomado del ASM DATABOOK pp. 96-100)⁸ RAZON DE MAQUINABILIDAD es la evaluación crítica de la integridad de la superficie con una larga duración de la superficie y con el requerimiento más bajo de potencia. (Ref pp.)^d ELONGACION es el aumento de la longitud de una pieza que acompaña a la fractura. (Ref pp. 555)

I.5. DESGASTE DE ALEACIONES DE COBRE

I.5.1 CONCEPTO DE DESGASTE

El desgaste mecánico es el proceso por el cual los materiales pierden material, cuando dos superficies se deslizan una sobre otra.

El mecanismo de desgaste parte del hecho de que los materiales nunca cuentan con una superficie totalmente lisa:



En las superficies en contacto el miembro más blando fluirá plásticamente y el área de contacto aumentará hasta un tamaño de equilibrio proporcional a la carga aplicada. Si ambos materiales son duros los puntos altos serán eliminados por algún mecanismo y de nuevo las ondulaciones superficiales adquirirán una apariencia plana a medida que se incrementa el área de contacto real.

1.5 DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE

1.5.1 CONCEPTO DE DESGASTE

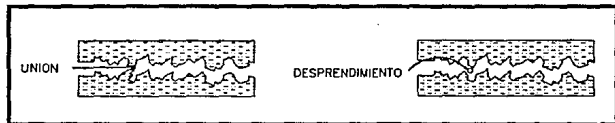
La mayoría de los procesos de desgaste implican la existencia de asperezas y el corte subsecuente de las uniones o un proceso directo de abrasión de una superficie blanda por medio de un material duro, sin importar la naturaleza de movimiento o del entorno.

1.5.2 TIPOS DE DESGASTE

Los procesos de desgaste en metales se clasifican según el tipo de mecanismo que cause la eliminación de material de las superficies.

1.5.2.1 DESGASTE POR ADHERENCIA

Se conoce también como raspado, y es el ejemplo más típico de desgaste. Ocurre cuando dos superficies sólidas deslizan una sobre otra bajo presión. Las salientes superficiales, o asperezas son plásticamente deformadas y finalmente soldadas por las altas presiones. Conforme continúa el deslizamiento se rompen estas uniones produciendo cavidades en la superficie:

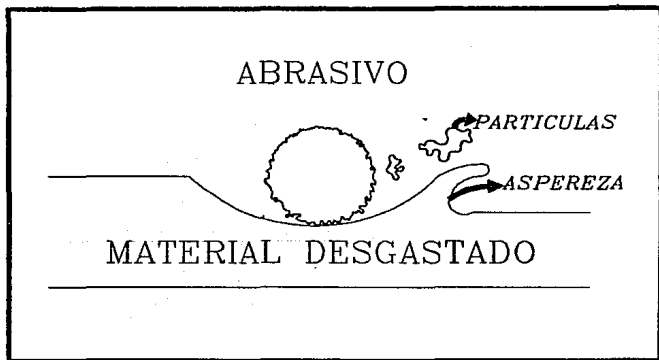


I.5.2.2

DESGASTE POR ABRASION

Este tipo de desgaste ocurre cuando el material se elimina de la superficie al contacto con partículas de alta dureza, las cuales pueden encontrarse presentes en la superficie de un segundo material o como partículas entre dos superficies.

Este tipo es común en máquinas y equipos como arados, cuchillas de niveladoras y puede ocurrir también cuando intencionalmente se introducen partículas duras entre las partes móviles de maquinaria. El desgaste abrasivo es utilizado también en operaciones de molido para eliminar material intencionalmente.



I.5.2.3

DESGASTE POR EROSION

Un material puede desgastarse por la erosión causada debido a las altas presiones asociadas con un líquido en movimiento. El líquido causa endurecimiento por deformación sobre la superficie metálica, conduciendo a una deformación local, agrietamiento y pérdida de material.

Se divide en dos tipos principales:

CAVITACION { Ocorre cuando un líquido que contiene gas disuelto entra a una región de baja presión. La alta presión y la onda de choque que se produce pueden ejercer una presión de cientos de atmósferas contra el material circulante.

PROYECCION DE GOTAS LIQUIDAS { Las gotas conducidas por un gas a alta presión que chocan contra una superficie metálica pueden causar pequeños desprendimientos de material.

I.5.3 DESGASTE EN LAS ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre son buenos materiales tribológicos incluso para experimentación porque los resultados que se obtienen son reproducibles.

En un experimento típico de la pérdida de peso de espigas del metal que corren en bujes de acero se aprecia un desgaste inicial seguido de un estado estacionario.

Las huellas de desgaste aumentan con el tiempo pero, si las mediciones se hacen frecuentemente, puede verse que hay casos en que la dimensión del eje no cambia. Es posible especular que el material se elimina por adherencia o abrasión, seguida de un endurecimiento por ser trabajado durante el cual el desgaste cesa. Sin embargo, comienza nuevamente con la continuación del deslizamiento y esto puede suceder a causa de uno u otro de los fenómenos o de ambos.

- i) La capa endurecida por trabajo se elimina por un efecto de fatiga y se exponen nuevas superficies blandas.
- ii) El calor que se desprende por fricción causa reblandecimiento por trabajo lo que disminuye la presión de flujo de las uniones y el desgaste continúa.

En la figura 1.6 se observan huellas de desgaste en un caso particular de aleación de cobre: Latón (60 Cu - 40 Zn)

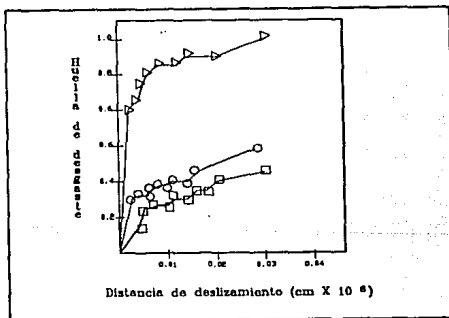


Figura 1.9 Huellas de desgaste en un caso particular de aleación de cobre
LATON (60 Cu - 40 Zn)

CAPITULO 2

II. FUNDAMENTOS DEL GALVANIZADO POR DIFUSION

- II INTRODUCCION A LOS FUNDAMENTOS DEL GALVANIZADO POR DIFUSION
 - II.1 MECANISMOS DE LA DIFUSION
 - II.1.1 DIFUSION POR VACANTES
 - II.1.2 DIFUSION INTERSTICIAL
 - II.1.3 DIFUSION POR INTERCAMBIO
 - II.1.4 TIPOS DE DIFUSION
 - II.2 LEYES DE LA DIFUSION
 - II.2.1 PRIMERA LEY DE FICK (VELOCIDAD DE DIFUSION)
 - II.2.2 SEGUNDA LEY DE FICK (FACTOR DE COMPOSICION)
 - II.2.3 ENERGIA PARA LA DIFUSION

II.3	GALVANIZADO
II.3.1	DEFINICION DE GALVANIZADO
II.3.2	GALVANIZACION EN CALIENTE
II.3.2.1	GALVANIZACION GENERAL
II.3.2.2	GALVANIZACION CONTINUA PARA TIRAS
II.3.2.3	GALVANIZACION CONTINUA PARA ALAMBRE
II.3.2.4	GALVANIZACION CONTINUA DE TUBOS
II.3.3	RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS
II.3.4	ROCIADO DE ZINC
II.3.5	METALIZACION
II.3.6	RECUBRIMIENTOS RICOS EN ZINC
II.4	NOCIONES SOBRE EL GALVANIZADO POR DIFUSION
II.4.1	INTRODUCCION
II.5	DESCRIPCION DEL PROCESO EN FORMA GENERAL

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS DEL GALVANIZADO POR DIFUSION

II INTRODUCCION

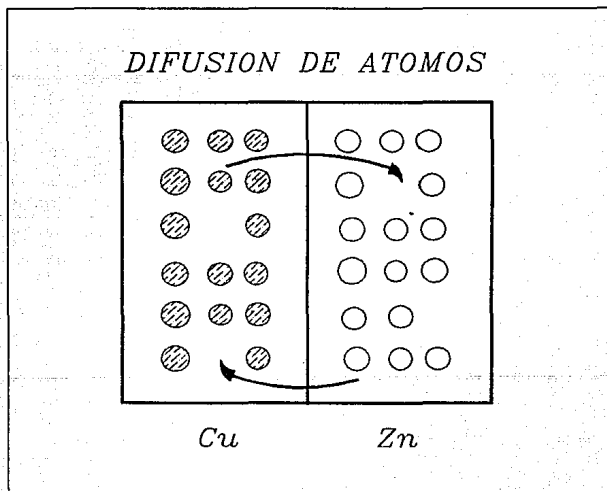
La difusión es el movimiento de los átomos en un material. Los átomos se mueven de manera ordenada, tendiendo a eliminar las diferencias de concentración y producir una composición homogénea en el material.

A causa del movimiento individual de los átomos que se ve obstruido siempre por sus vecinos, resulta una serie sin fin de recorridos y colisiones, pero el resultado de un gran número de acontecimientos de esta naturaleza es el desplazamiento de material, cuyas fuerzas responsables pueden analizarse.

Se debe mencionar que la difusión es mucho más rápida en gases y en líquidos debido a que hay un factor de empaquetamiento menos eficiente entre sus átomos que en el caso de los materiales sólidos.

Aún en los materiales absolutamente puros los átomos de la red se mueven de una posición a otra. Este proceso, conocido como AUTODIFUSION, puede detectarse utilizando trazadores radiactivos. Aunque la autodifusión ocurre continuamente en todos los materiales, el efecto en su comportamiento no es importante.

En las aleaciones metálicas y en los materiales cerámicos, ocurre la difusión de átomos distintos. Si se une una lámina de zinc con una de cobre, por ejemplo, los átomos de zinc se difunden gradualmente dentro del cobre y los del cobre emigran al zinc. Nuevamente, los átomos de zinc y de cobre se distribuirán uniformemente en todo el metal y éste será homogéneo, teniendo la misma concentración de átomos de cobre y de zinc en todas partes.



II.1 MECANISMOS DE LA DIFUSION

II.1.1 DIFUSION POR VACANTES

Este mecanismo implica la sustitución de átomos. Un átomo deja su lugar en la red para ocupar una vacante cercana. Al desplazarse deja en su lugar una vacante que dará origen a una nueva difusión con otro átomo y así sucesivamente creando un movimiento continuo de átomos.

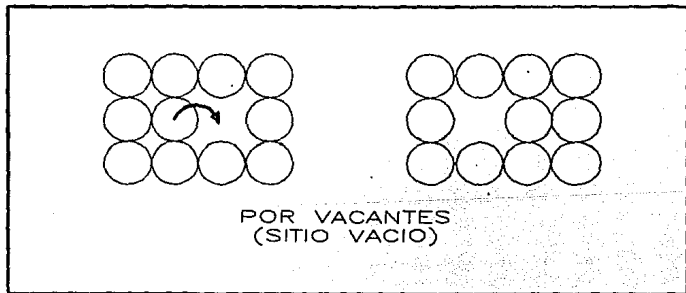


Figura 2.1 Difusión por vacantes o por sustitución de átomos.

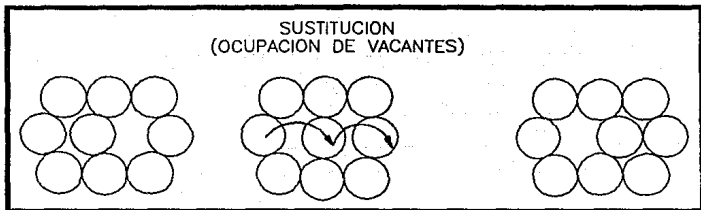


Figura 2.2 Pasos de la difusión por vacantes o por sustitución

II.1.2 DIFUSION INTERSTICIAL

En este caso un átomo (sustitucional) no se traslada a una vacante sino que deja la red normal y se traslada a un intersticio muy reducido. Como se verá este mecanismo es poco común, debido a que un átomo se ajusta difícilmente en el intersticio.

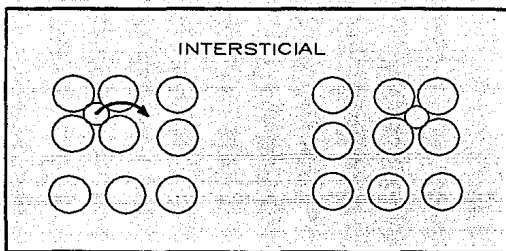


Figura 2.3 Difusión Intersticial.

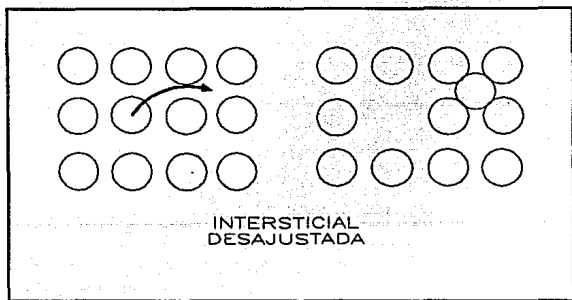


Figura 2.4 Difusión Intersticial Desajustada.

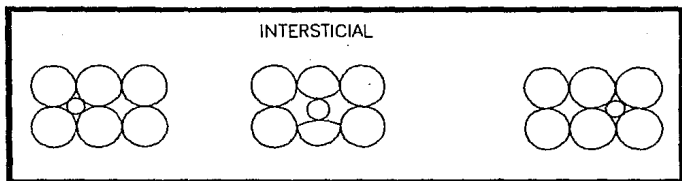


Figura 2.5 Pasos de la difusión intersticial

II.1.3 DIFUSION POR INTERCAMBIO

Los átomos rara vez harán un intercambio simple, es decir un átomo A deja su lugar para tomar el de B y a su vez el de B deja el suyo para tomar el de A creándose un movimiento cíclico.

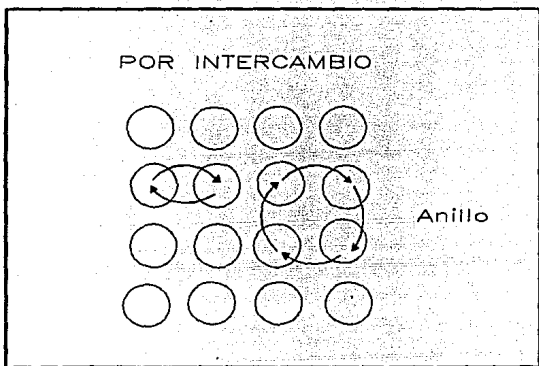


Figura 2.6 Difusión por intercambio y en círculo

II.1.4 TIPOS DE DIFUSION

Se distinguen tres tipos de difusión :

DIFUSION VOLUMETRICA

DIFUSION EN BORDE DE GRANO

DIFUSION SUPERFICIAL

En el caso de la difusión volumétrica, los átomos se mueven a través del cristal de un nodo de la red a otro o de un intersticio a otro.

La difusión en borde de grano se da por el escaso empaquetamiento atómico en los límites granulares pudiéndose difundir los átomos a lo largo de los bordes de grano, interficies y superficies en el material.

II. PRIMERA LEY DE FICK (Velocidad de difusión)

El número de átomos que pasan a través de un plano de área unitaria por unidad de tiempo definen la densidad de flujo J , conocida como la PRIMERA LEY DE FICK.

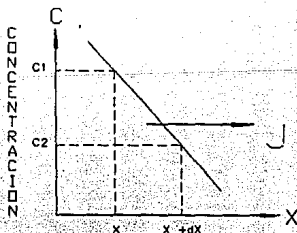
$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

donde

$$\frac{dc}{dx}$$

es el gradiente de concentración que indica como varia la concentración del material dc a lo largo de la distancia dx .

El signo menos indica que la corriente de difusión fluye en dirección opuesta al gradiente de concentración.



D es el coeficiente de difusión que a su vez está dado por la expresión:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

donde:

Q es la energía de activación (cal/mol).

R es la constante del gas ideal (1.987 cal/mol).

T es la temperatura absoluta en K.

D_0 es una constante para un sistema de difusión dado.

Cuando se incrementa la temperatura de un material, el coeficiente de difusión y la densidad de flujo de átomos también se incrementa.

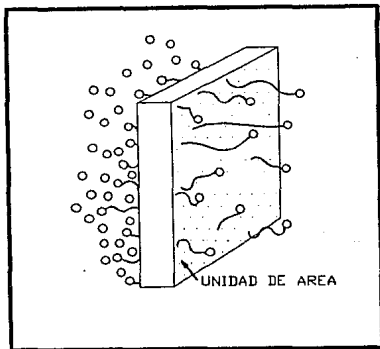


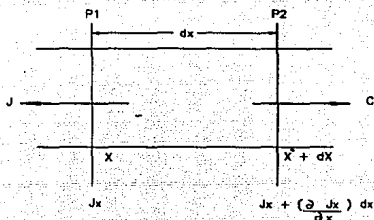
Figura 2.7 La densidad de flujo durante la difusión

II.2.2 SEGUNDA LEY DE FICK (Factor de composición)

En un estado inestable, existirá una acumulación de materia difusible en una unidad de volumen, y la concentración en cualquier punto dentro del sólido variará con el tiempo, esto es:

$$\frac{dc}{dt} \neq 0$$

El incremento en la cantidad de sustancia, dentro de un elemento de volumen por los dos planos paralelos P₁ y P₂ :



que poseen un área unitaria y se localizan a las distancias:

$$X \text{ y } X + dx$$

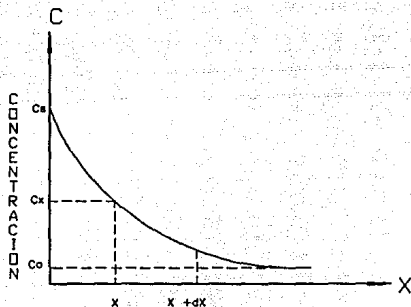
será igual a la diferencia en el flujo

$$J \text{ en } X$$

y en

$$X + dx$$

como lo muestra la siguiente figura:



C_s Concentración de átomos que se difunden en la superficie.

C_x Concentración de átomos que se difunden en la posición X

C_0 Concentración inicial de los átomos en el material

Así que el flujo en $x-dx$ es:

$$J_x + \frac{\partial J_x}{\partial x} dx = -D \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right] \quad [2]$$

y en X es:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad [3]$$

Restando [3] de [2]

$$\frac{\partial J_x}{\partial x} = -\frac{\partial c}{\partial t}$$

por lo tanto

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right)$$

D es constante a una temperatura k constante e independiente de la concentración.

SÉGUNDA LEY DE FICK

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

Ecuación que establece que la rapidez de cambio en composición es proporcional a la rapidez de cambio del gradiente de concentración.

La solución de esta ecuación depende de las condiciones de frontera:

- i.) Pieza semiinfinita (grandes dimensiones comparadas con la distancia de difusión) de composición inicial C_0 para todo tiempo t mayor que cero.
- ii.) La concentración en la interfase (superficie) $X=0$ es mantenida a un valor C_s .
- iii.) La concentración en la superficie es más grande que la composición uniforme inicial de la pieza y consecuentemente ocurre de la superficie hacia la pieza.

La concentración en el punto X y en el tiempo t mayor que cero está dado por:

SOLUCION DE LA SEGUNDA LEY DE FICK

$$\frac{C_s - C(x,t)}{C_s - C_0} = f_{\text{erf}} \left[\frac{x}{2 \sqrt{Dt}} \right]$$

f_{erf} : Es la función error gaussiana que es encontrada en tablas matemáticas.

La solución de la SEGUNDA LEY DE FICK permite calcular la concentración de muestras cercanas a la superficie del material como una función del tiempo y la distancia. Por lo tanto, este modelo puede servir para controlar un recubrimiento metálico por difusión.

II.2.3 ENERGIA PARA LA DIFUSION

Para difundirse un átomo, para desplazarse de un lugar a otro, debe vencer una barrera de energía para lo cual requiere de otra energía llamada de activación Q . El calor proporciona la energía para vencer esta barrera.

La energía de activación es menor en la difusión intersticial que en la difusión por vacantes, porque se necesita menos energía para forzar un átomo intersticial a que pase entre los átomos circundantes.

Ejemplos:

Para la difusión heterogénea de Zn en Cu se requiere:

$$Q \text{ [Cal/mol]} = 43,900 \text{ [Cal/mol]}$$

Una energía de activación pequeña propia de un material incrementa el coeficiente de difusión y la densidad de flujo, puesto que se necesita menos energía térmica para superar la barrera de energía de activación.

II.3 GALVANIZADO

II.3.1 DEFINICION DE GALVANIZADO

El proceso lleva el nombre en honor al físico italiano D'Galvani que el fue el primero en observar la electricidad desarrollada por el contacto de dos metales diferentes generalmente el cobre y el zinc con un líquido interpuesto

La operación consiste en aplicar un revestimiento de zinc a una pieza metálica, con el fin de protegerla de la oxidación y mejorar su apariencia.

II.3.2 GALVANIZACION EN CALIENTE

II.3.2.1 GALVANIZACION GENERAL.

Una vez limpiadas las piezas de forma adecuada, se enjuagan para eliminar agentes extraños. A continuación se sumerge en un fundente, que consiste generalmente en una solución al 30% en peso de cloruro amoniacal de zinc, con agentes humectantes a una temperatura de 65°C. Este paso sirve para establecer un contacto metal a metal cuando la pieza sea sumergida en el baño de zinc.

El baño de zinc en el que finalmente será sumergida la pieza debe mantener una temperatura uniforme de alrededor de 450°C.

11.3.2.2

GALVANIZACION CONTINUA PARA TIRAS.

En este proceso, la tira se limpia por oxidación en un proceso continuo y luego se alimenta al horno para tratamiento térmico en atmósfera reductora. La tira entra al baño de galvanización por el embudo que protege a la superficie previamente preparada contra una reoxidación, porque la tira penetra al baño de galvanización a una temperatura de 470°C a 480°C; y es así como la tira misma suministra la mayor parte del calor requerida por el proceso.

11.3.2.3

GALVANIZACION CONTINUA DE ALAMBRE.

El alambre se galvaniza haciendo pasar los hilos por baños de plomo fundido donde se obtiene el temple deseado; este proceso tiene también un efecto parcial de limpieza. Enseguida se decapan los hilos y se les somete a un baño de zinc fundido.

11.3.2.4

GALVANIZACION CONTINUA DE TUBOS.

Actualmente se galvanizan grandes cantidades de tubos y conductos de acero, utilizando dispositivos modernos para la inmersión automática y rodillos magnéticos para extraer el material del baño de zinc. Después de galvanizados, es decir de haber sido sumergidos en el baño de zinc, los tubos se hacen pasar por un anillo de aire comprimido y sus interiores se someten a un chorro de vapor a alta presión para limpiar la superficie y dar como resultado un recubrimiento uniforme.

II.3.3 RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS

El recubrimiento consiste en una serie progresiva de capas de aleación de zinc metalúrgicamente unidas al material base. En otras palabras este proceso consiste en una galvanización de piezas galvanizadas, por encima de las capas de aleación se encuentra la capa de zinc relativamente suave ("CAPA ETA") que sirve para resistir la abrasión, sostener las cargas y dar una protección continua contra la corrosión.

II.3.3.1

CAPAS DEL GALVANIZADO

El recubrimiento metálico protector del galvanizado; generalmente consiste de varias capas que varían en contenido de zinc. Las que se encuentran cercanas al metal base, éstas están compuestas por éste más un contenido rico en zinc. Mientras se va alejando del material base el contenido de zinc se va incrementando hasta llegar a ser una capa de 100% de Zn (CAPA ETA).

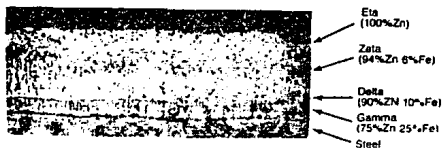


Figura 2.8 Microfotografía de una pieza galvanizada por difusión
(x 250)

II.3.4 ROCIADO DE ZINC

Los recubrimientos rociados normalmente se aplican por uno de los dos procesos siguientes:

- a) Se suspende polvo de zinc (de un *determinado tamaño de partículas*) en un gas de preferencia no oxidante. Esta suspensión se impulsa a través de un tubo eyector con una flama a la salida, que funde el polvo antes de que toque la superficie del material a rociar.
- b) Se alimenta alambre de zinc axialmente a la flama del tubo eyector donde se funde, y mediante un chorro de aire comprimido, se atomiza y rocía.

Los recubrimientos producidos por cualquiera de estos dos procesos son ásperos y porosos. La aspereza del recubrimiento propicia una buena unión mecánica entre el mismo y algún recubrimiento adicional, mientras que la porosidad se elimina pronto debido a la reacción del zinc con el aire y la humedad.

II.3.5 METALIZACION

En este proceso los artículos que se van a recubrir se agitan dentro de un recipiente que contiene polvo de zinc a una temperatura precisamente abajo del punto de fusión (cerca de 370°C).

El zinc se liga a la pieza por un proceso de difusión y forma una capa dura y uniforme de aleación.

II.3.6 RECUBRIMIENTOS RICOS EN ZINC

Son aquellos en los que el polvo de zinc es el único pigmento activo y está presente en cantidades tales que la pintura tiene algunas de las cualidades de la película metálica; *Ejemplo*, un alto nivel de conductividad eléctrica.

Hasta ahora existe muy pocas normas aplicables a los recubrimientos ricos en zinc, aunque hay algunas en proceso de preparación.

II.3.7 PROCESO ELECTROLITICO

Consiste en disponer los artículos a recubrir como cátodos en un baño electrolítico de sales solubles de zinc, siendo el ánodo de zinc metálico. Los artículos pequeños son colocados en canastas metálicas, en contacto con estas y entre sí; la canasta, a su vez, se conecta al cátodo del sistema. Se usan tanto el baño de sulfato ácido como el cianuro y con agentes adecuados adicionales para los recubrimientos brillantes desarrollados recientemente. La fácil regulación de la uniformidad y espesor es muy ventajosa en este proceso.

II.3.8 GALVANIZADO POR IONOPLASTIA

Este procedimiento se basa en la deposición de unas partículas finísimas de zinc, procedentes del cátodo de un TUBO CROOKES⁴, sobre la superficie del metal colocado en una atmósfera enrarecida.

¡Tubo de cuarzo o de cristal, que contiene aire a presión de algunas millonésimas de atmósferas, provisto de un electrodo en cada extremo que es utilizado para poner de manifiesto los fenómenos relacionados con cargas eléctricas en los gases enrarecidos. (Ref pp.)

II.3.9

GALVANIZADO POR DIFUSION

El galvanizado por difusión consiste en:

La limpieza de las piezas, una vez que éstas han sido limpiadas de óxidos, grasas u otras impurezas, con soluciones ácidas, se colocan en una caja de galvanizado, elaborada con un material que no sufra ataque químico, generalmente se construye de acero inoxidable. Se agrega un activador al igual que polvo inerte, para facilitar el proceso.

El polvo inerte tiene la función de ocupar espacio, con el fin de prevenir daño a las piezas durante la operación del horno, disminuir la acción química del zinc con la humedad del aire y hacer más costoso la mezcla ya que el polvo puede elegirse de bajo precio.

Una vez cubiertas las piezas con el polvo de zinc y el polvo inerte, se calientan éstas a una temperatura de 260°C a 415°C. Durante el calentamiento se gira la caja, para producir una agitación constante del contenido, esto es con el fin de que el galvanizado se lleve a cabo homogéneamente. Después de un tiempo se lleva a cabo la difusión en la aleación metálica; y al término del proceso de difusión se cuenta con más del 60% de contenido de zinc y aproximadamente un 40% del otro metal (esto es en la capa superficial de la capa), con lo que se obtiene una alta resistencia a la corrosión y al desgaste.

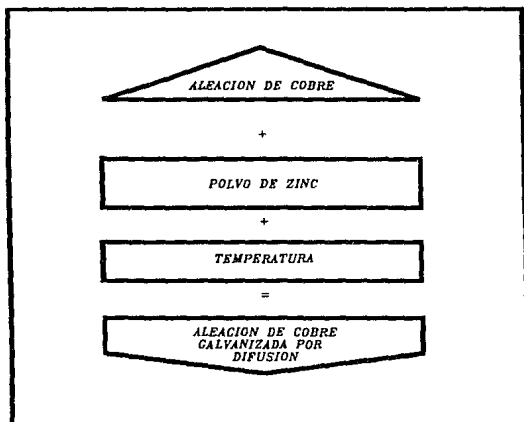
II.3.9.1 SHERARDIZACION

Consiste en la cementación de metal (hierro-cobre) en polvos de zinc con arena fina, a temperatura bastante elevada para volatilizar el zinc, el cual se alea con la superficie del metal.

II.4 NOCIONES SOBRE EL GALVANIZADO POR DIFUSION

II.4.1 INTRODUCCION

Cuando se realiza el proceso de galvanizado por difusión las probetas de latón o bronce en contacto con una mezcla con polvo rico en zinc, son calentadas a una temperatura por debajo del punto de fusión del zinc (300°C a 415°C). El zinc se difunde en la superficie de las probetas de latón para formar la capa de galvanización y de esta manera se puede obtener mayor dureza, aumentando la resistencia al desgaste y a la corrosión, en algunos medios.



II.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN FORMA GENERAL

Las piezas a galvanizar son seleccionadas o maquinadas con la forma y dimensiones requeridas (Figs. 2.9A y 2.9B). Se les da un acabado fino y se limpian con acetona o alcohol industrial o bien con tricloroetileno que es recomendable para piezas maquinadas (Fig. 2.10).



Figura 2.9A Piezas a galvanizar para ensayos de corrosión.

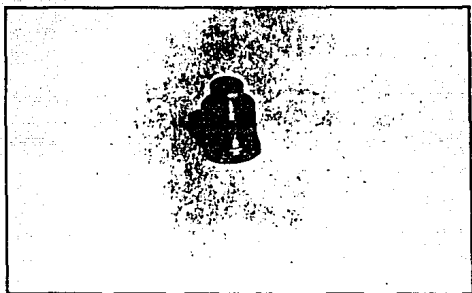


Figura 2.9B Piezas a galvanizar para ensayos de desgaste

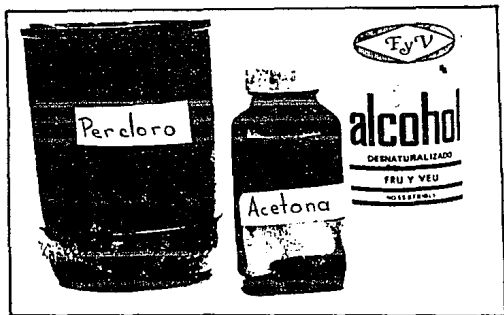


Figura 2.10 Soluciones utilizadas para la limpieza de las piezas

Una vez que las piezas han sido limpiadas de óxidos, grasas u otras impurezas, se colocan en una caja de galvanizado, elaborada con un material que no sufra ataque químico, generalmente se construye de acero inoxidable. Se agrega polvo de zinc hasta cubrir las piezas. Junto con el zinc se agrega un activador para facilitar el proceso. (Fig. 2.11)

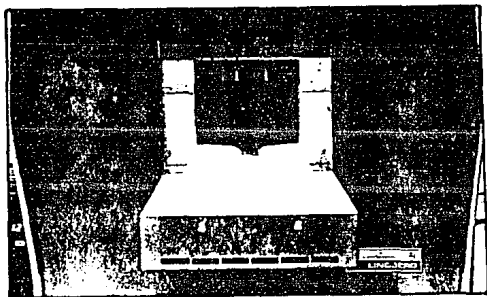


Figura 2.11 Caja con piezas a galvanizar

Cabe mencionar que en estos procesos se agrega un polvo que no tiene más servicio que el de llenar espacio, esto se hace con el fin de prevenir daño a las piezas durante la operación del horno, disminuye la acción química del zinc con la humedad del aire, y hace más bien dicho, puede elegirse uno de bajo precio. Este polvo inerte además, desplaza el aire o los gases perjudiciales que pueden existir en el recipiente para obtener una atmósfera más apropiada para la difusión.

Una vez cubiertas las probetas con el polvo de zinc y el polvo inerte se procede a sellar la caja perfectamente, para ser llevada al horno. Ahora bien, la caja debe ser diseñada de acuerdo a las dimensiones del horno donde ha de llevarse a cabo el proceso de galvanizado. Entonces la temperatura del horno se eleva hasta un nivel previamente determinado, donde se presume que el zinc alcanza el estado atómico, y a la vez se alcance un control más exacto.

La temperatura a la cual se lleva a cabo el proceso, es la óptima para tener una mayor eficiencia en la difusión y no es suficientemente alta como para afectar las propiedades físicas del material base.

(Fig. 2.12)

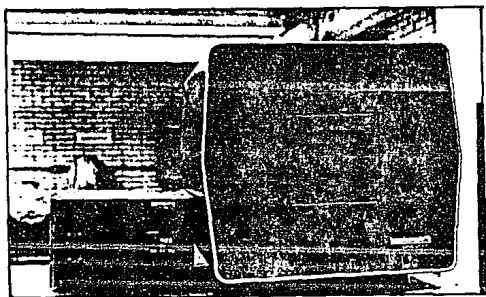


Figura 2.12 Las piezas durante su estancia en el horno

Cuando se ha terminado el tiempo de estancia en el horno, es necesario, para obtener una capa rica en zinc, enfriar con aire a presión o con aire hasta la temperatura ambiente. Una vez logrado esto son sacadas las piezas primeramente para ser limpiadas y así evitar la presencia de polvo residual y del polvo de la sustancia inerte.

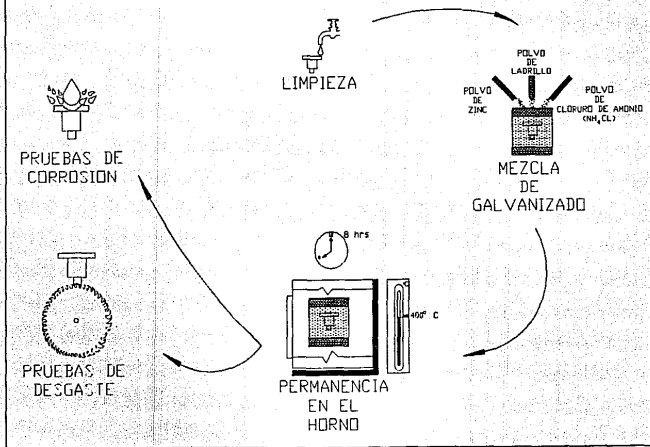
(Fig 2.13)



Figura 2.13 Enfriamiento y limpieza de las piezas una vez galvanizadas

La mezcla procesada puede ser reciclada de nueva cuenta haciéndole un cuidadoso tamizado y agregando los porcentajes necesarios de polvo de zinc y el activador, perdidos durante el proceso.

DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO



CAPITULO III

III. EXPERIMENTACION

- III.1 GALVANIZADO POR DIFUSION
 - III.1.1 PREPARACION DE PROBETAS
 - III.1.2 PREPARACION DE LA MEZCLA RICA EN ZINC
 - III.1.3 CONSTRUCCION DE LA CAJA DE GALVANIZADO
 - III.1.4 DISPOSICION DE LAS PIEZAS Y GALVANIZADO

- III.2 MEDICION DE MICRODUREZA Y ESPESORES
 - III.2.1 MICRODUREZA. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO
 - III.2.2 ESPESORES. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO

- III.2 PRUEBAS DE DESGASTE
 - III.2.1 MAQUINA DE DESGASTE Y PRINCIPIO DE OPERACION
 - III.2.2 MAQUINADO DE LAS PROBETAS DE DESGASTE
 - III.2.3 PRUEBAS DE DESGASTE

- III.3 PRUEBAS DE CORROSION
 - III.3.1 PRUEBAS DE INMERSION TOTAL
 - III.3.2 EXPERIMENTO DE MATTSSON

CAPITULO 3

III.3 GALVANIZADO POR DIFUSION

Los experimentos fueron llevados a cabo según la siguiente secuencia:

III.3.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS

El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia al desgaste y a la corrosión en latones y bronce galvanizados por difusión, así que nos vamos a encontrar con dos tipos diferentes de probetas.

Primero, para las pruebas de corrosión se tienen perfiles convencionales de latón y bronce como se muestra en la figura.

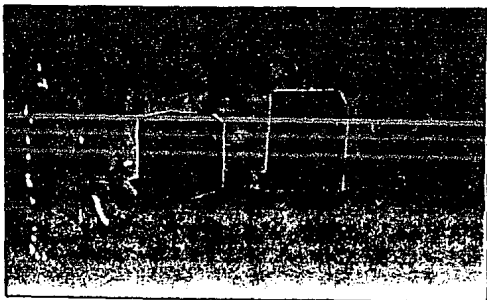


Figura 3.1 Piezas de latón y bronce

Y en segundo lugar tenemos también latones y bronces pero maquinados de tal forma que puedan adaptarse a la norma de la máquina de desgaste:

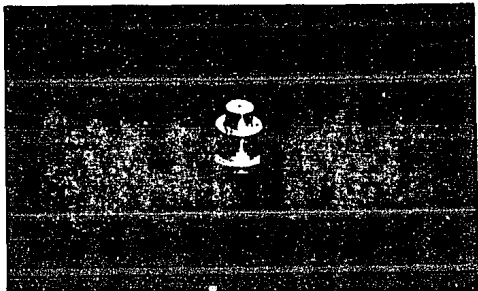


Figura 3.2 Probetas para la prueba de desgaste

III.1.2 PREPARACION DE LA MEZCLA RICA EN ZINC

La sustancia inerte es preparada a partir de ladrillo rojo típico de construcción. Se molió manualmente y se le hizo un cribado con un tamiz del número 50, con el fin de obtener un tamaño de partículas uniforme. Posteriormente, se metió a secar al horno con el objeto de evitar cualquier contenido de humedad ya que al mezclarlo con el zinc puede ocurrir una reacción espontánea con el aire y la humedad. Una vez seca la sustancia inerte se procedió a efectuar la mezcla.

Hay que recordar que la sustancia inerte tiene la función de llenar espacio, por lo que ocupará el lugar más alejado de las piezas a galvanizar. En seguida se prepara una mezcla de zinc y sustancia inerte (ladrillo) aproximadamente 50% y 50% respectivamente. Esta mezcla se acercará un poco más al contacto de las piezas pero no las tocará.

Finalmente, se prepara la mezcla que entrará en contacto con las piezas a galvanizar. Se trata de una mezcla del 95% de zinc con un 5% de cloruro de amonio que sirve como activador:

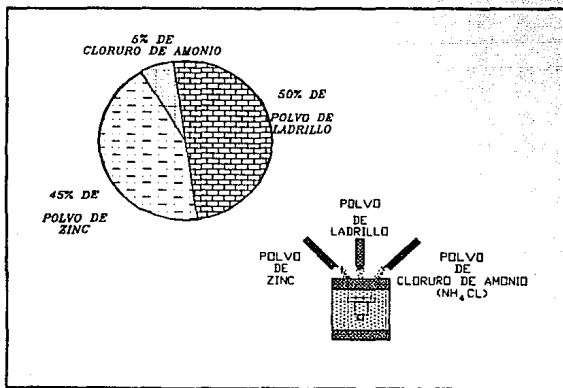


Figura 3.3 Porcentajes de componentes en la mezcla

III.1.3 CONSTRUCCION DE LA CAJA DE GALVANIZADO

La caja de galvanizado fue construida con lámina de acero inoxidable de 2mm de espesor y con 10cm de lado. Estas dimensiones fueron

determinadas en relación al tamaño y disposición del horno donde se hizo el galvanizado, pero sin pasar por alto el número de piezas a galvanizar.

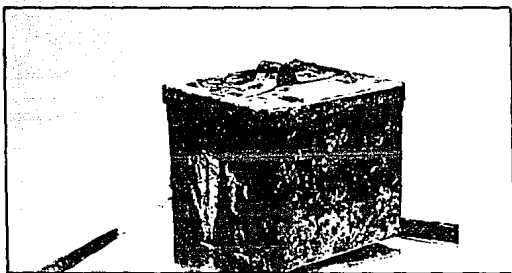
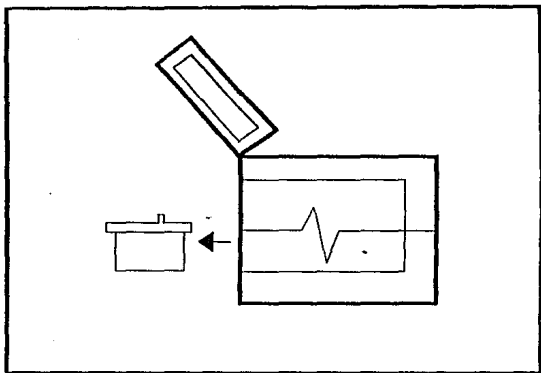


Figura 3.4 caja de galvanización

III.1.4 DISPOSICION DE LAS PIEZAS Y GALVANIZADO

Las piezas fueron limpiadas con acetona para liberarlas de trazas de óxido, grasas o cualquier suciedad corriente. Teniendo limpias las piezas se colocaron en la caja construida para tal efecto junto con la mezcla previamente preparada, acomodando las piezas de modo que queden atrapadas en la mezcla más rica en zinc. Una vez logrado esto, se procede a sellar la caja con barro refractario para evitar pérdidas al elevar la temperatura.

La caja sellada se introdujo en el horno donde se elevó la temperatura hasta $400^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un espacio de 8 horas. Cuando se terminó el tiempo de residencia en el horno la caja fue retirada y enfriada al aire. Este mismo procedimiento se siguió para los dos perfiles (latón y bronce) y para las probetas de desgaste.



ENFIAMIENTO AL AMBIENTE DE LA CAJA

III.2 MEDICION DE MICRODUREZA Y ESPESORES

III.2.1 MICRODUREZA PROCEDIMIENTO Y EQUIPO

El método utilizado para la medición de las probetas fue el método Vickers.

Este método expresa el resultado en función de la presión originada bajo el indentador y utiliza las unidades de kilogramo sobre milímetro cuadrado. El indentador es un diamante en forma de pirámide de base cuadrada con un ángulo en el vértice de 136 grados, las cargas son ligeras variando entre 1 y 120kg, (en el caso del experimento fue utilizada una carga de 50kg). La impresión se mide por medio de un microscopio compuesto de un aumento mediano.

$$V = \frac{P}{0.5393 d^2}$$

V = número de dureza Vickers (kg/mm²)

P = carga aplicada (kg)

d = diagonal de la impresión leída en el microscopio (mm)

La razón por la cual fue elegido este método es por su versatilidad y por ser considerado más exacto que el Rockwell para el rango de mediciones de durezas en estos experimentos. Sin embargo cabe mencionar que este equipo es ,más costoso que cualquiera de los otros.

Para observar las piezas en el microdurómetro se les secciona transversalmente y se les pule a espejo ya que la marca del indentador no podría ser vista en una pieza sin pulir.

III.2.2 ESPESORES. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO

Para la medición de las capas de galvanizado fue necesario hacer un corte transversal de las probetas.

La muestra que que será estudiada se monta en un dispositivo de baquelita (al igual que para la medición de dureza) y se pule a espejo. Una vez hecho esto se monta en el microdurómetro Vickers y se procede a medir espesores con el dispositivo del microscopio.

Para poder observar los contrastes entre el recubrimiento y el metal base es necesario atacar la probeta a observar con HCL (concentrado 5ml) y Ethyl alcohol (95ml) sumergiendo las piezas de 2 a 3 segundos aproximadamente.

III.3 PRUEBAS DE DESGASTE

III.3.1 MAQUINA DE DESGASTE Y PRINCIPIO DE OPERACION

Como se mencionó en el capítulo 1 un experimento típico es el de la pérdida de peso en espigas de metal.

La máquina tribológica usada para tal fin cuenta con un movimiento circular en el que se acoplan los discos de desgaste. Las revoluciones por minuto y la carga son regulables de 0 a 1900 rpm y de 0.5 a 2 kg respectivamente.

La unidad cuenta además con un sistema de lubricación para simular el desgaste de una pieza lubricada.

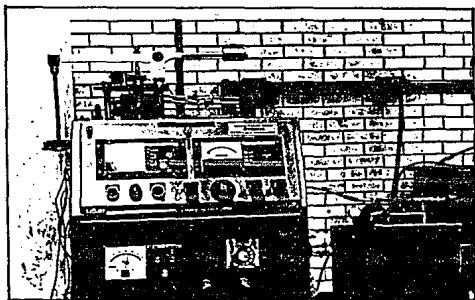


Figura 3.5 Máquina de desgaste

Una vez elegido el disco de la dureza requerida se montan las piezas en el disco sujetador para posteriormente acoplarlas en contra del disco de desgaste. En este caso la dureza del disco es de 60 Rockwell C

Finalmente se aplica la carga y se ajustan las revoluciones por minuto.

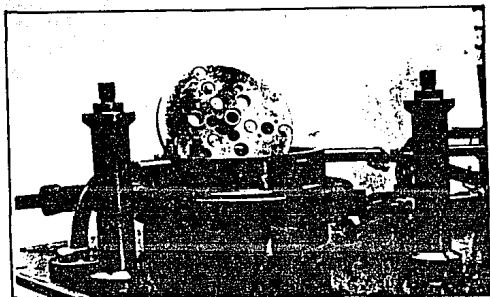


Figura 3.6 Montaje de las piezas

III.3.2 MAQUINADO DE LAS PROBETAS DE DESGASTE

La máquina de desgaste exige una forma especial de las probetas, y no con poca precisión ya que una diferencia en dimensiones podría ocasionar un experimento erróneo pues en cada experimento se montan tres piezas y es indispensable que las tres se desgasten al mismo tiempo.

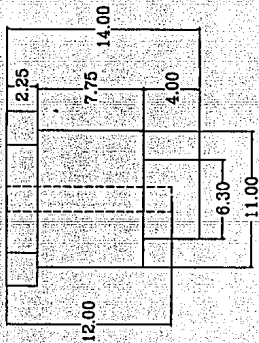
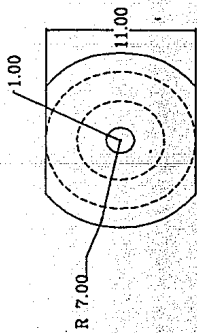
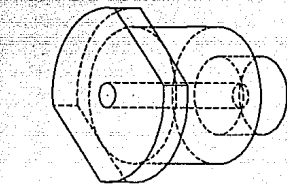
Para el maquinado de tales piezas de desgaste fue utilizada una máquina de control numérico (CNC-EMCO).

Para hacer más fácil el seguimiento del experimento creemos conveniente incluir el programa de control numérico con el dibujo de fabricación.

PROGRAMA PARA EL MAQUINADO DE LAS PROBETAS DE DESGASTE

No	G	X	Z	F	H
00	92	2600	500		
01	00	1600	100		
02	84	1400	-1650	40	50
03	00	1400	100		
04	84	1050	-1275	40	50
05	00	1050	100		
06	84	630	- 500	40	50
07	00	2600	500		
08	M30				

PLANO DE LA PIEZA DE DESGASTE



ACOT mm

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

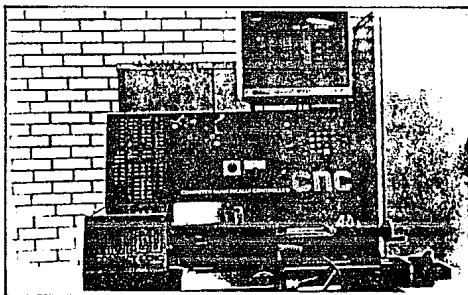
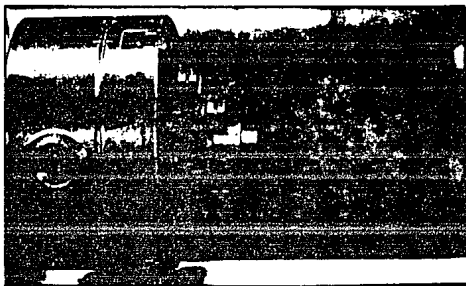


Figura 3.8 Proceso de maquinado de las piezas de desgaste

III.3.3 PRUEBAS DE DESGASTE

En cada una de las pruebas de desgaste se colocan tres piezas una galvanizada y dos sin galvanizar.

La secuencia de operaciones para las piezas de desgaste son las siguientes:

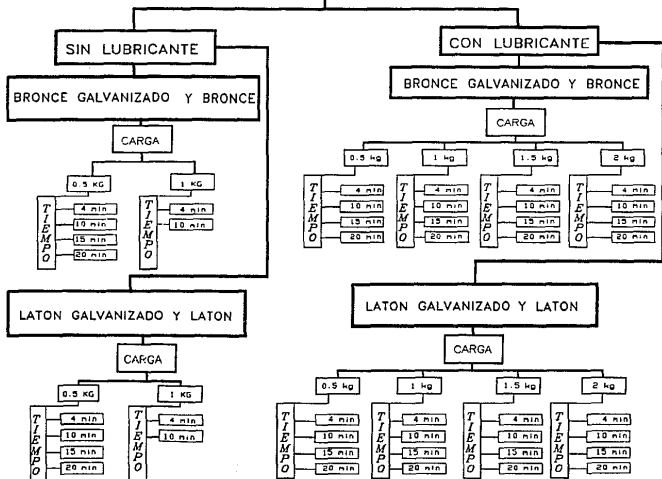
- 1.- SE LIMPIAN LAS PIEZAS LIBERANDOLAS DE OXIDOS, GRASAS Y POLVO.
- 2.- SE PESAN Y SE MIDE SU ALTURA.
- 3.- SE LLEVA ACABO EL MONTAJE DE LAS PIEZAS.
- 4.- SE ELIGEN LAS REVOLUCIONES (1900 RPM) Y LA CARGA CORRESPONDIENTE A LA CORRIDA EXPERIMENTAL.
- 5.- PERMANECEN EN LA MAQUINA SEGUN LA CORRIDA EXPERIMENTAL.
- 6.- SE DESMONTAN Y LIMPIAN LAS PIEZAS.
- 7.- SE PESAN Y SE MIDEN NUEVAMENTE.

Las variantes de las corridas experimentales son básicamente, el tiempo, la carga, el material y la lubricación (ver diagrama siguiente).

para medir el desgaste de las piezas se toman en cuenta las siguientes parámetros:

- a) Pérdida de masa. Medida con una balanza analítica antes y después de cada prueba.
- b) Pérdida de volumen. Se mide la altura total con un micrómetro antes y después de cada prueba.

PRUEBAS DE DESGASTE



III.4 PRUEBAS DE CORROSION

III.4.1 INMERSION TOTAL

En la corrosión (*reacción de oxidación*) tiene lugar una pérdida de peso en el material corroido. Esta pérdida de peso es el objeto de evaluación de las pruebas.

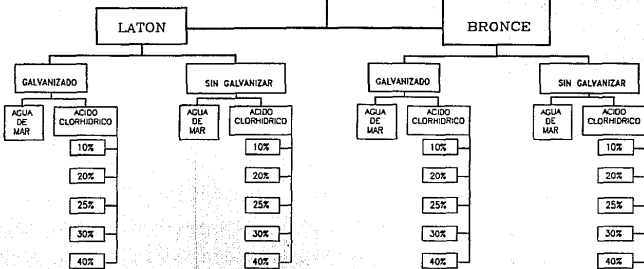
El experimento llevado a cabo consiste en exponer al material estudiado al ataque de un medio corrosivo por un tiempo prolongado para hacer la evaluación de la pérdida de materia.

Dicho en forma secuencial el experimento se llevó a cabo de la siguiente manera:

- 1- INMERSION DE LAS PIEZAS EN LOS MEDIOS CORROSIVOS.
- 2- A DETERMINADO INTERVALO DE TIEMPO SACARLAS PARA PESAR, MEDIR Y REGENERAR EL MEDIO CORROSIVO.
- 3- VOLVER A SUMERGIR Y REPETIR OPERACIONES NUEVAMENTE.

Una vez más se tienen por un lado latón y bronce con y sin galvanizar. En el experimento se consideraron dos medios corrosivos: agua de mar y ácido clorhídrico diluido a diferentes concentraciones.

PRUEBAS DE CORROSION



III.4.2 EXPERIMENTO DE MATTSSON

El experimento de Mattsson se recomienda para acelerar la corrosión en piezas con fatiga en aleaciones Cu-Zn.

El objetivo de este experimento es determinar la susceptibilidad de diferentes latones a la falla en piezas con corrosión bajo esfuerzo.

La práctica consiste en la total inmersión de una probeta fatigada (estresada) en la solución de Mattsson. La razón entre la solución y las probetas es de 3litros/decímetro cuadrado ($30\text{ml}/\text{cm}^2$).

La solución de Mattsson se prepara de la siguiente manera:

- 1.- Disolver 590g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en cuatro litros de agua.
- 2.- Disolver 125g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 1 litro de agua.
- 3.- Mezclar 1 y 2 y agregar 71ml de NH_4OH preferentemente con pipeta graduada.
- 4.- Finalmente, la mezcla en su totalidad se diluye con agua hasta completar 10 litros de agua.

La solución debe dejarse reposar de 48 a 96 horas antes de usarse. No se recomienda almacenarla por mucho tiempo ni usarla antes del añejamiento recomendado.

También se pueden preparar pequeñas porciones de la solución usando los reactivos en la misma proporción en menores cantidades.

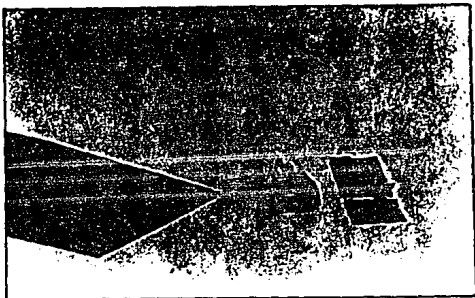
Una vez preparada la solución se mide constantemente el PH (de 7.1 a 7.5) y se agrega solución recién preparada en caso de que se salga de los parámetros prescritos.

La solución debe ser renovada cada 7 días trasladando la probeta a una nueva solución de 48 horas de añejamiento y cuando se aprecien pérdidas en el recipiente serán repuestas con agua destilada hasta donde

sea necesario.

Para la solución de Mattsson será necesario usar recipientes no transparentes (ámbar), además de una tapa que pueda quitarse fácilmente para la realización de las observaciones pero a la vez evitando las evaporaciones.

Las probetas se sacan de la solución, se limpian con agua destilada y se secan con aire a presión para medirles su peso (en nuestro caso con una balanza analítica). La duración del experimento depende de las probetas estudiadas. Una probeta altamente "estresada" puede fallar muy rápido y otra sin fatiga puede permanecer inmune por largos períodos. Pero generalmente, las fallas no ocurren en intervalos superiores a las 1000 horas. Así que es el tiempo más largo recomendado para el experimento.



Experimento de Mattsson

CAPITULO 4

IV PRESENTACION DE RESULTADOS

- IV.1 ESPESOR DE LA CAPA DE GALVANIZADO

- IV.2 DUREZA DE LAS PIEZAS GALVANIZADAS

- IV.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DESGASTE
- IV.3.1 INMERSION EN AGUA DE MAR
- IV.3.2 INMERSION EN ACIDO CLHORIDRICO

- IV.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DESGASTE
- IV.4.1 PRUEBAS CON LUBRICANTE
- IV.4.2 PRUEBAS EN SECO

- IV.5 EXPERIMENTO DE MATTSSON

CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados logrados en el desarrollo del proceso de galvanizado por difusión que tiene el fin de mejorar la resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión. Los experimentos que permitieron llegar a estos resultados fueron detallados en el capítulo anterior.

IV ESPESOR DE LA CAPA DE GALVANIZADO

Los datos mostrados en la tabla 4.1 y 4.2, presentan algunos valores de espesor alcanzados, en las condiciones de temperatura y permanencia en el horno del presente proceso (400°C y 8 hrs). Los niveles típicos de espesor para este experimento se encuentran señalados en la misma tabla.

En términos generales se encontró que para parámetros manejados en este proceso el espesor del recubrimiento presenta una uniformidad muy satisfactoria.

TABLA 4.1E
ESPESOR DE LA CAPA
LATON GALVANIZADO

EVENTO	ESPESOR μ
1	605
2	600
3	600
4	610
5	588
6	600
7	620
8	613
9	600
10	617
PROMEDIO	605.3

TABLA 4.2E

ESPESOR DE LA CAPA

BRONCE GALVANIZADO

EVENTO	ESPESOR μ
1	655
2	660
3	655
4	668
5	667
6	680
7	664
8	650
9	668
10	669
PROMEDIO	663.6

IV DUREZA DE LAS PIEZAS GALVANIZADAS

Con el método desarrollado es posible aumentar la dureza de las piezas hasta en tres en tres órdenes de magnitud. En las tablas 4.3 y 4.4 se aprecia que la dureza de la capa de galvanizado es mayor respecto a la del material base.

Según el diagrama de fases de los latones (cap I) las aleaciones Cu-Zn con un contenido menor al 30% de Zn presentan una fase α con una excelente maleabilidad. Sin embargo al incrementar el contenido de zinc aumenta la dureza de la aleación, de modo que los latones que van más allá del 36% en su contenido de Zn presentan una estructura bifásica $\alpha+\beta'$ muy dura y por lo tanto difícil de trabajar en frío.

Los latones galvanizados en su superficie alcanzan contenidos de zinc elevados por lo cual su dureza se incrementa de manera sorprendente sin temor de que afecte ésta porque la base del metal sigue conservando sus propiedades pues es un tratamiento superficial.

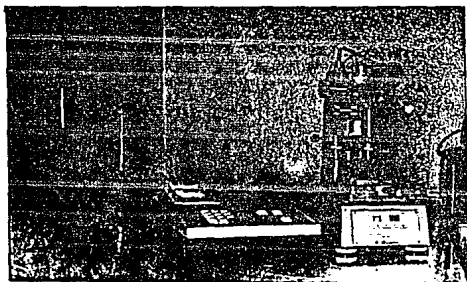
En el caso de los bronce se presenta la misma situación al formarse una aleación superficial de Cu-Zn de alto contenido en zinc. Sin embargo el estaño también es determinante en la dureza de los bronce razón por la cual se observa una dureza superior que en el caso de los latones.

TABLA 4.3D

DUREZA

LATON

EVENTO	LATONES GALVANIZADO (VICKERS)	LATON (VICKERS)
1	262	56
2	271	57
3	303	58
4	329	59
5	349	62
6	367	64
7	371	65
8	386	66
9	386	71
10	460	58
PROMEDIO	348.4	61.6



microdurómetro

IV RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CORROSION

En los ensayos de TOTAL INMERSION, realizados paralelamente con piezas galvanizadas y no galvanizadas se observaron importantes mejoras en la resistencia a la corrosión en los medios corrosivos empleados (ácido clorhídrico y el agua de mar).

IV.3.1 INMERSION EN AGUA DE MAR

Nuevamente presentamos dos pares de resultados:

Latón y bronce galvanizados y sin galvanizar con la variación del medio corrosivo a agua de mar. En el eje de las abscisas se tienen marcadas las horas de inmersión y en el eje de las ordenadas las micras por año de pérdida de material, que son calculadas con la ecuación utilizada en el punto anterior (Ecuación 4.1).

Los latones y los bronce demuestran su alta capacidad para defenderse contra el ataque corrosivo del agua marina. En este caso reportamos a través de las gráficas 1,2,3 y 4 un comportamiento ,muy similar tanto en bronce y latones galvanizados y sin galvanizar frente a la acción corrosiva del agua de mar.

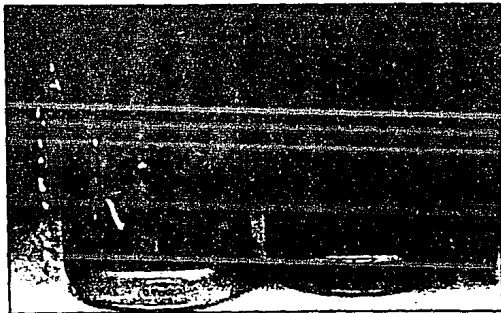
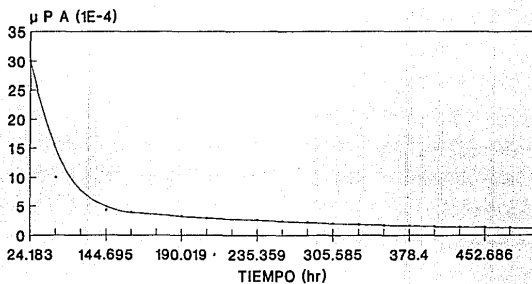


Figura 4.5. Latones galvanizados
utilizando como medio de corrosión el agua de mar

TABLA 4.1
LATON GALVANIZADO
AGUA DE MAR

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	2.52
2	45	1.41
3	145	0.42
4	166	0.38
5	184	0.32
6	217	0.28
7	241	0.02
8	263	0.23
9	288	0.21
10	308	0.19
11	334	0.18
12	350	0.16
13	379	0.15
14	403	0.14
15	427	0.14
16	451	0.13
17	475	0.12
18	523	0.11

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 1

— AGUA DE MAR

PRUEBA DE INMERSION

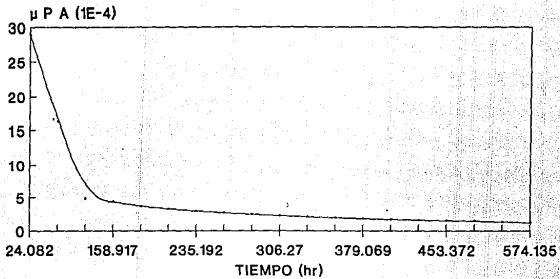
TABLA 4.2

LATON

AGUA DE MAR

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	2.89
2	45	0.16
3	145	0.48
4	166	0.43
5	184	0.30
6	217	0.32
7	241	0.29
8	263	0.26
9	288	0.02
10	308	2.25
11	334	2.09
12	350	1.95
13	379	1.82
14	403	1.71
15	427	0.16
16	451	1.52
17	475	1.44
18	523	1.31

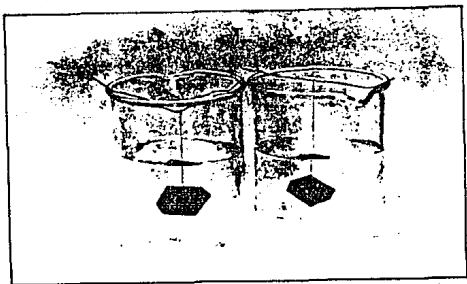
CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 2

— AGUA DE MAR

PRUEBA DE INMERSION



*Figura 4.6 Latón
sumergido en agua de mar*

A partir de la comparación, de los bronce galvanizados y sin galvanizar se puede afirmar que en un medio corrosivo como lo es el agua de mar los bronce galvanizados pierden menos material por corrosión en aproximadamente dos micras por año de pérdida de masa.

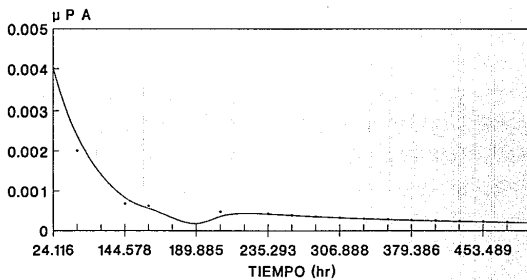
(VER GRAFICA 7 Y 8)

En la figura 8 se observa al final de la prueba un aumento repentino en la pérdida de material del bronce sin galvanizar analizado.

TABLA 4.3
BRONCE GALVANIZADO
AGUA DE MAR

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	4.02
2	45	2.26
3	145	0.67
4	166	0.61
5	184	0.04
6	217	0.41
7	241	0.03
8	263	0.34
9	288	0.31
10	308	0.29
11	334	0.02
12	350	0.25
13	379	0.24
14	403	0.22
15	427	0.21
16	451	0.20
17	475	0.18
18	523	0.18

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 3

— AGUA DE MAR

PRUEBA DE INMERSION

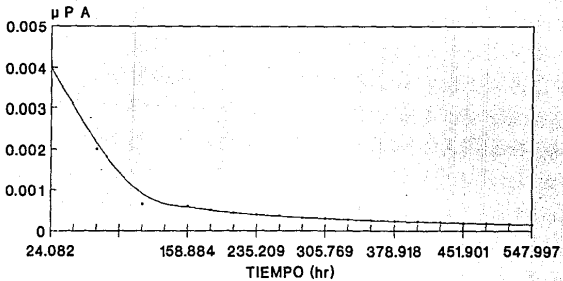
TABLA 4.4

BRONCE

AGUA DE MAR

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	4.03
2	45	2.23
3	145	0.65
4	166	0.59
5	184	0.49
6	217	0.43
7	241	0.03
8	263	0.34
9	288	0.31
10	308	0.29
11	334	0.26
12	350	0.24
13	379	0.22
14	403	0.21
15	427	0.20
16	451	0.18
17	475	0.17
18	523	0.01

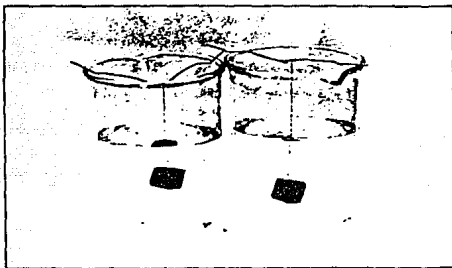
CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



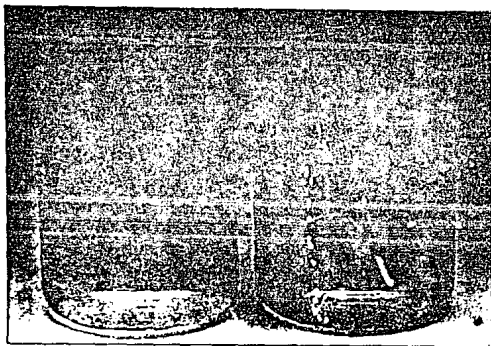
GRAFICA 4

— AGUA DE MAR

PRUEBA DE INMERSION



*Figura 4.7 Prueba de corrosión en agua de mar
con Bronces Galvanizados*



*Figura 4.8 Prueba de corrosión en agua de mar
con Bronces*

IV.3.2 INMERSION EN ACIDO CLORHIDRICO

En esta sección contamos con prácticamente cuatro experimentos paralelos: Latón y bronce galvanizados y estos mismos sin galvanizar, y éstos a su vez se realizaron para diferentes porcentajes de ácido clorhídrico: 40%, 30%, 25%, 20% y 10%.

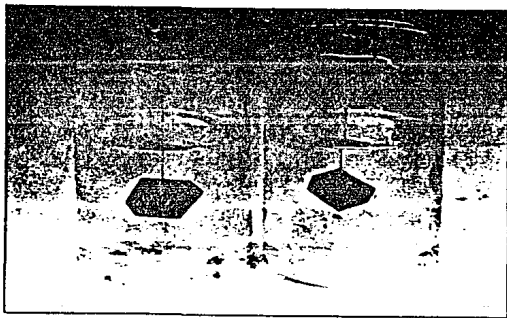


Figura 4.1 Latones Galvanizados sumergidos en ácido clorhídrico

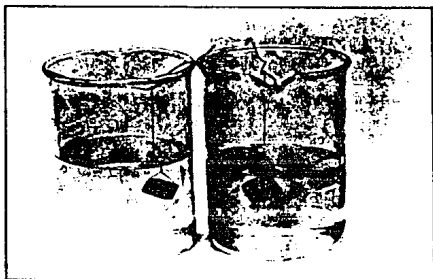


Figura 4.2 Latón, sumergido en ácido clorhídrico

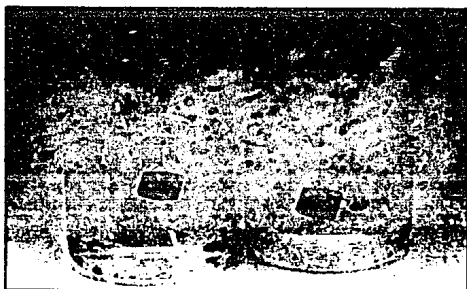


Figura 4.3 Bronce galvanizado sumergido en ácido clorhídrico

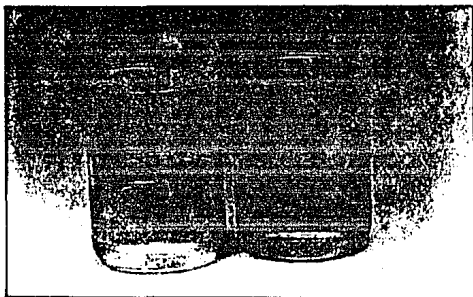


Figura 4.4 Bronce sumergido en ácido clorhídrico

Donde los parámetros importantes son el tiempo de inmersión en horas y el factor μPA (MICRAS POR AZO) que es calculado a partir de la ecuación:

$$\mu\text{pa} = \frac{W \cdot K \cdot 0.00144 \cdot 25400}{S \cdot A \cdot T} \quad [4.1]$$

donde:

- W = PESO, LAS UNIDADES DE ACUERDO AL ANEXO 4.1.
- A = AREA EXPUESTA, LAS UNIDADES DE ACUERDO AL ANEXO 4.1.
- S = DENSIDAD DE LA ALEACION [gr/cm^3].
- T = DURACION DE LA PRUEBA DURANTE DIAS.
- K = CONSTANTE SE ENCUENTRA EN EL ANEXO 4.1 Y LAS UNIDADES SON DE ACUERDO A LAS UNIDADES DE "A" Y "W"

Valores de la constante de conversión

V	A	K
GRAM	ln ²	0.00102
GRAM	dm ²	0.003087
OUNCES	ft ²	0.01201
POUNDS	ft ²	0.1922

Las micras por año básicamente nos muestran la pérdida de materia del metal base a causa de la corrosión en un año.

Del primer par de experimentos presentamos los resultados obtenidos en latones. (Grupo de gráficas 5 y 6).

De las gráficas de los latones galvanizados y sin galvanizar (ver gráfica 5 y 6) observamos que los primeros se mantienen siempre con una pérdida de material aparentemente con igual resistencia al ataque del agente agresivo y con las mismas condiciones (Acido clorhídrico).

En el caso de los latones galvanizados por difusión se aprecia la tendencia a la protección contra la pérdida de materia alcanzadas aproximadamente las 250 horas de inmersión en el medio corrosivo. Sin embargo, desde un inicio se ve una menor pérdida o desprendimiento de metal en las probetas no galvanizadas que en las que están con el recubrimiento.

En el par de gráficas 5c y 6c es más acentuada la diferencia entre las piezas galvanizadas y las piezas sin galvanizar. Durante toda la

prueba se nota que los latones galvanizados están todo el tiempo 14 micras por año de pérdida de material por debajo de las que no tienen el recubrimiento. Esto no hace pensar que a para este grado de ataque (25% de concentración el recubrimiento ofrece su máxima eficiencia contra la corrosión.

En el experimento realizado con los bronces observamos un comportamiento muy diferente comparado con los latones.

Al inicio del experimento se tenemos una protección ligeramente menor para una concentración de ácido del 10% (Gráficas 7a y 8a).

En seguida para los dos siguientes experimentos se disminuye la defensa contra el ataque corrosivo de concentraciones del 20 y 25% (Gráficas 7b,7c,8b y 8c).

Para una concentración del 30% de ácido clorhídrico obtenemos la máxima defensa del recubrimiento contra el ataque corrosivo. En estas probetas observamos que las galvanizadas pierden en promedio 25 micras por año menos que las no galvanizadas. Claramente se ve en este punto que los latones y los bronces no se comportan de manera idéntica, ya que en los primeros presentan su protección óptima (por medio del recubrimiento a los 45 puntos porcentuales de concentración de ácido clorhídrico mientras que los bronces lo ofrecen al 30%.

Finalmente para 40% de concentración encontramos que los bronces galvanizados pierden 15 micras por año menos que sus similares sin galvanizar.

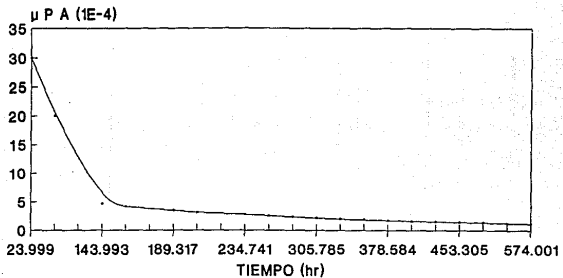
TABLA 4.5A

LATON GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μPA (1E-03)
1	24	2.75
2	43	1.55
3	143	0.45
4	189	0.41
5	211	0.03
6	234	0.31
7	256	3.12
8	281	2.80
9	305	2.56
10	330	2.33
11	354	0.19
12	378	1.84
13	403	1.72
14	428	0.16
15	453	1.51
16	477	1.43
17	525	0.13
18	574	1.23

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 5A

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

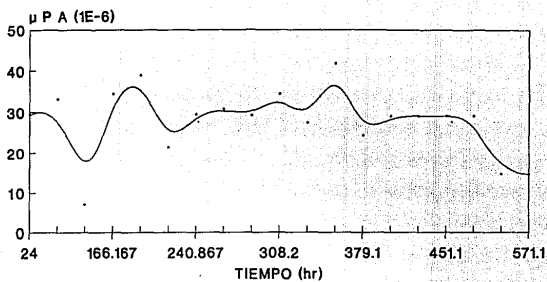
TABLA 4.5B

LATON GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	4.18
2	45	2.93
3	145	0.33
4	166	0.69
5	184	3.44
6	217	3.88
7	241	2.14
8	263	2.94
9	288	3.07
10	308	2.91
11	334	3.43
12	350	2.73
13	379	4.17
14	403	2.43
15	427	2.89
16	451	2.89
17	475	0.28
18	523	2.89

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 5B

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

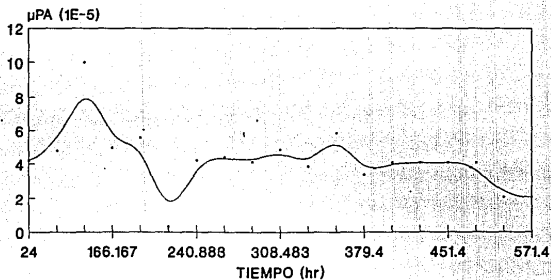
TABLA 4.5C

LATON GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	4.18
2	45	4.73
3	145	0.99
4	166	4.91
5	184	5.53
6	217	3.05
7	241	4.19
8	263	4.37
9	288	4.10
10	308	4.82
11	334	0.38
12	350	5.83
13	379	3.40
14	403	4.05
15	427	4.05
16	451	4.05
17	475	4.05
18	523	2.02

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 5C

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

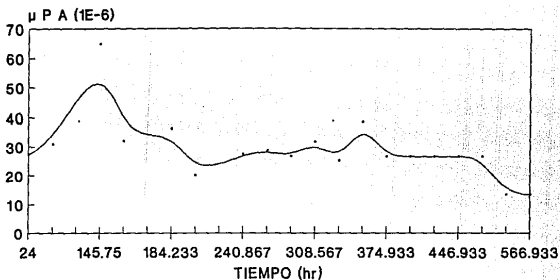
TABLA 4.5D

LATON GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.71
2	45	3.07
3	145	0.64
4	166	3.19
5	184	3.60
6	217	1.98
7	241	2.72
8	263	2.84
9	288	2.66
10	308	3.16
11	334	2.51
12	350	3.81
13	379	2.64
14	403	2.64
15	427	2.64
16	451	2.64
17	475	0.26
18	523	1.32

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 5D

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

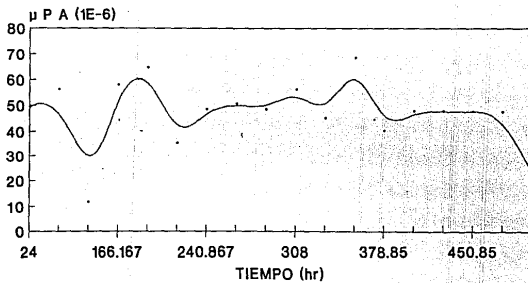
TABLA 4.5E

LATON GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	4.95
2	45	5.61
3	145	1.18
4	166	5.78
5	184	6.44
6	217	3.52
7	240	4.83
8	263	5.04
9	287	4.82
10	308	5.60
11	333	4.48
12	350	6.83
13	378	3.97
14	402	4.72
15	426	4.72
16	450	4.71
17	522	4.71
18	570	2.34

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO (70-30)



GRAFICA 5E

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

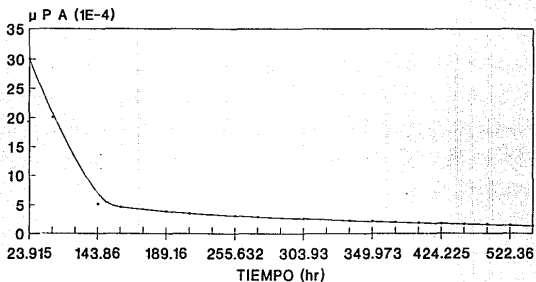
TABLA 4.6A

LATON

ACIDO CLORHIDRICO 10%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	3.07
2	45	1.73
3	145	0.51
4	158	0.46
5	184	0.38
6	217	2.85
7	241	2.59
8	263	0.23
9	288	2.22
10	308	2.07
11	334	1.92
12	350	1.82
13	379	1.70
14	403	1.59
15	427	1.51
16	451	1.51
17	475	1.37
18	523	1.25

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 6A

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

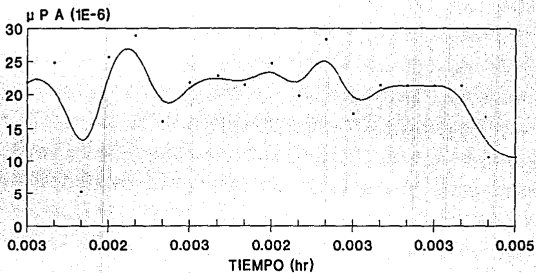
TABLA 4.6B

LATON

ACIDO CLORHIDRICO 20%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.18
2	45	2.47
3	145	0.52
4	166	2.56
5	184	2.89
6	217	1.58
7	241	2.18
8	263	2.27
9	288	2.14
10	308	2.46
11	334	1.98
12	350	2.83
13	379	0.17
14	403	2.13
15	427	2.13
16	451	2.13
17	475	2.13
18	523	2.13

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 6B

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

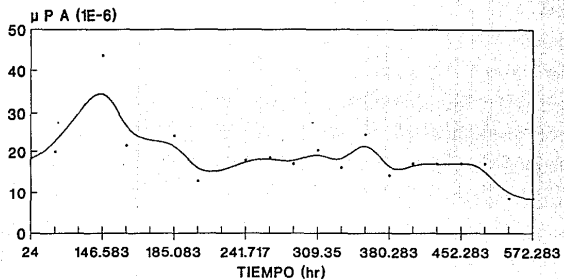
TABLA 4.6C

LATON

ACIDO CLORHIDRICO 25%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	1.83
2	46	1.99
3	146	0.43
4	167	2.14
5	185	2.41
6	217	1.30
7	241	1.77
8	264	1.83
9	288	1.69
10	309	2.02
11	334	1.61
12	351	2.44
13	380	1.42
14	404	0.17
15	428	1.70
16	452	1.69
17	476	1.69
18	524	1.69

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 6C

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

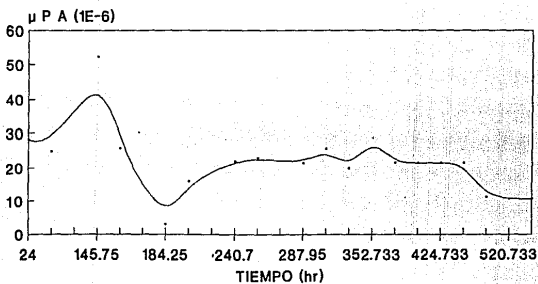
TABLA 4.6D

LATON

ACIDO CLORHIDRICO 30%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.18
2	45	2.47
3	145	0.52
4	166	2.56
5	184	0.28
6	217	0.15
7	241	2.18
8	263	2.27
9	288	2.12
10	308	0.25
11	334	1.98
12	350	2.83
13	379	2.13
14	403	2.13
15	427	2.13
16	451	2.13
17	475	1.12
18	523	1.06

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 6D

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

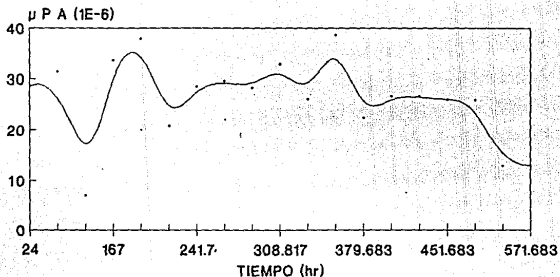
TABLA 4.6E

LATON

ACIDO CLORHIDRICO 40%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.86
2	46	3.12
3	147	0.68
4	167	3.35
5	185	3.78
6	218	2.07
7	241	2.84
8	267	2.96
9	288	2.82
10	308	3.28
11	334	0.26
12	351	3.86
13	403	2.24
14	427	2.67
15	451	2.66
16	475	2.60
17	523	2.59
18	571	2.27

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON (70-30)



GRAFICA 6E

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

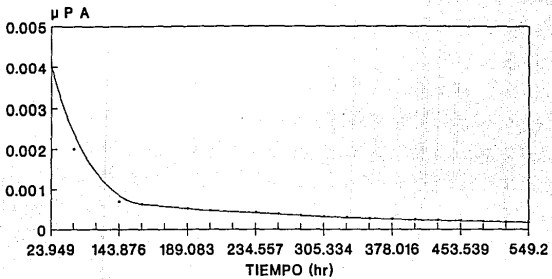
TABLA 4.7A

BRONCE GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	4.14
2	43	2.33
3	143	0.69
4	189	0.62
5	211	0.51
6	234	0.46
7	256	0.38
8	281	0.35
9	305	0.31
10	330	0.29
11	354	0.27
12	378	0.25
13	403	0.24
14	428	0.22
15	453	0.21
16	477	0.20
17	525	0.18
18	574	0.17

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 7A

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

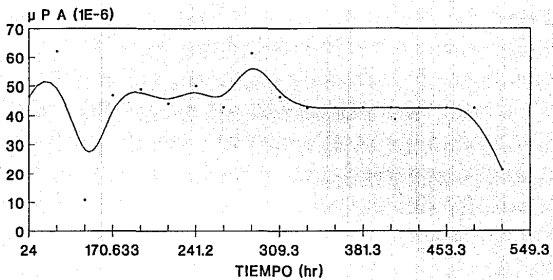
TABLA 4.7B

BRONCE GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA ($1E-05$)
1	24	4.65
2	42	6.20
3	146	0.11
4	170	4.68
5	193	4.89
6	218	4.40
7	241	4.98
8	267	4.29
9	285	6.13
10	309	4.62
11	333	4.25
12	357	4.25
13	381	4.25
14	405	4.25
15	429	4.25
16	453	4.25
17	477	2.12
18	525	4.25

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 7B

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

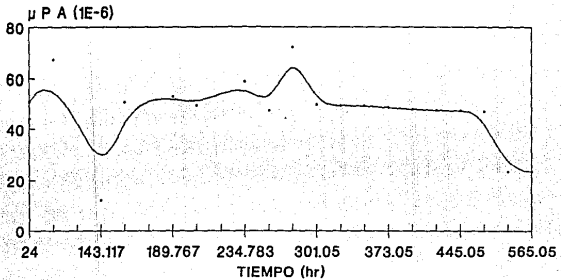
TABLA 4.7C

BRONCE GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	5.08
2	42	6.70
3	143	1.20
4	166	0.51
5	189	5.29
6	214	4.93
7	234	5.87
8	260	4.72
9	277	7.18
10	301	4.96
11	325	4.93
12	349	4.91
13	373	0.48
14	397	4.76
15	421	4.72
16	445	4.70
17	469	4.66
18	517	2.31

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 7C

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

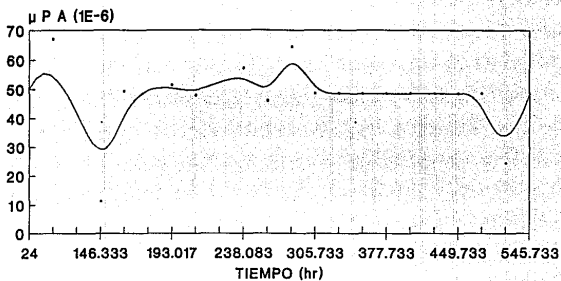
TABLA 4.7D

BRONCE GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	5.04
2	41	6.70
3	147	1.12
4	170	4.92
5	193	5.14
6	218	4.78
7	241	5.70
8	267	4.60
9	285	6.43
10	308	4.84
11	333	0.48
12	381	48.46
13	405	4.84
14	429	4.84
15	453	4.45
16	477	4.44
17	525	4.84
18	549	2.42

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 7D

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

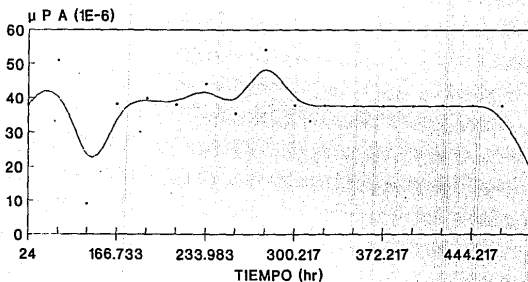
TABLA 4.7E

BRONCE GALVANIZADO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	3.78
2	41	5.08
3	142	0.89
4	166	3.80
5	189	3.96
6	213	3.78
7	233	4.41
8	259	3.53
9	276	0.54
10	300	3.76
11	324	0.37
12	348	3.76
13	372	3.76
14	396	3.76
15	420	3.75
16	444	3.75
17	468	1.88
18	516	1.88

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 7E

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

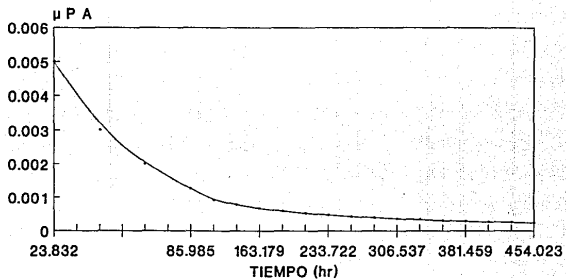
TABLA 4.8A

BRONCE

ACIDO CLORHIDRICO 10%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-03)
1	24	4.53
2	43	2.56
3	143	1.51
4	189	1.25
5	211	0.91
6	234	0.77
7	256	0.66
8	281	0.50
9	305	0.51
10	330	0.46
11	354	0.42
12	378	0.38
13	403	0.35
14	428	0.33
15	453	0.30
16	477	0.28
17	525	0.26
18	574	0.24

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 8A

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 10%

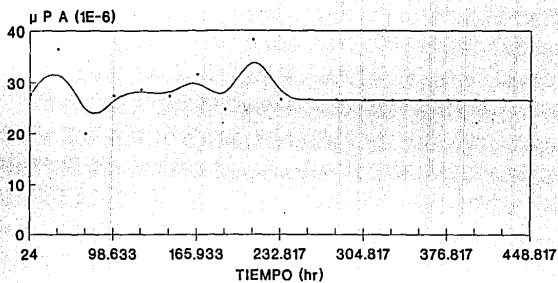
TABLA 4.8B

BRONCE

ACIDO CLORHIDRICO 20%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.75
2	42	3.66
3	74	0.19
4	98	2.73
5	121	2.85
6	145	2.72
7	165	3.16
8	192	2.47
9	208	0.38
10	232	0.02
11	256	0.26
12	280	0.26
13	304	0.26
14	328	0.26
15	352	0.26
16	376	0.26
17	400	0.26
18	424	0.26

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 8B

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 20%

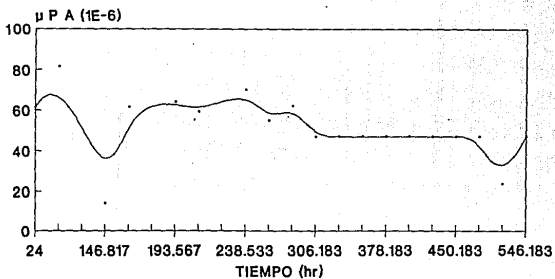
TABLA 4.8C

BRONCE

ACIDO CLORHIDRICO 25%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	6.61
2	42	8.16
3	147	1.40
4	170	6.16
5	193	6.40
6	218	5.91
7	241	6.99
8	267	5.47
9	285	6.20
10	308	4.68
11	333	4.68
12	381	0.46
13	405	4.68
14	429	4.68
15	453	0.46
16	477	4.68
17	522	4.68
18	549	2.34

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 8C

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 25%

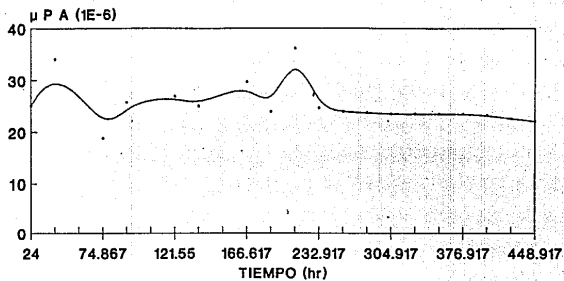
TABLA 4.8D

BRONCE

ACIDO CLORHIDRICO 30%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.58
2	44	3.41
3	74	1.87
4	98	0.26
5	121	2.67
6	146	0.25
7	166	2.96
8	192	0.23
9	208	3.61
10	232	2.45
11	256	2.39
12	280	2.36
13	304	2.34
14	328	2.34
15	352	2.34
16	376	2.34
17	400	2.31
18	424	2.25

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 8D

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 30%

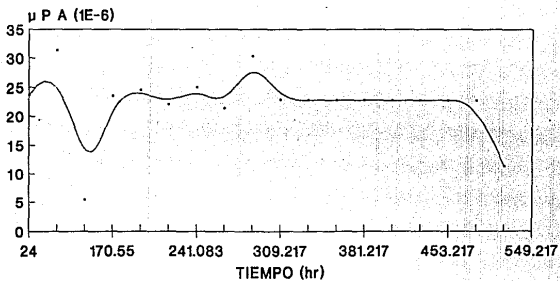
TABLA 4.8E

BRONCE

ACIDO CLORHIDRICO 40%

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	24	2.38
2	41	3.13
3	147	0.53
4	170	2.34
5	193	2.45
6	218	2.21
7	241	2.49
8	267	2.14
9	285	3.02
10	308	2.28
11	333	0.23
12	381	2.28
13	405	2.28
14	429	2.28
15	453	2.28
16	477	2.28
17	525	2.28
18	549	2.28

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 8E

— ACIDO CLORHIDRICO

ACIDO CLORHIDRICO 40%

IV.4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DESGASTE

En esta sección presentamos los resultados obtenidos de las pruebas de desgaste realizado bajo dos condiciones diferentes: con y sin lubricante.

Con el uso de lubricante se reduce en gran medida el desgaste inicial (en las primeras etapas del desgaste), sin embargo conforme avanza el tiempo se aprecia un incremento significativo en éste.

IV.4.1 PRUEBAS CON LUBRICANTE

Como se mencionó en el capítulo anterior el lubricante utilizado para atenuar el desgaste en las probetas experimentales fue uno muy comercial (SAE 40) con el fin de asegurar la repetición del experimento con parámetros idénticos, además de hacer uso de un lubricante de uso corriente en muchas aplicaciones cotidianas.

En las gráficas 9 y 10 observamos una diferencia notable en el comportamiento de las piezas no galvanizadas y las galvanizadas respectivamente. Para diferentes tiempos de 4 a 20 la pérdida de volumen de las piezas no galvanizadas es extremadamente mayor, tan sólo hay que poner atención al cambio de escalas en las gráficas para percatarse de la diferencia. En las galvanizadas se mantiene el mismo nivel de pérdida de material por casi 20 minutos, aparentemente debido a la resistencia de la capa más dura del recubrimiento.

Las gráficas 11 y 12 no parecen reportar mucho cambio de comportamiento entre las dos probetas. Sin embargo para en el tiempo señalado las probetas de bronce galvanizado se mantienen ligeramente por debajo en lo referente a la pérdida de volumen.

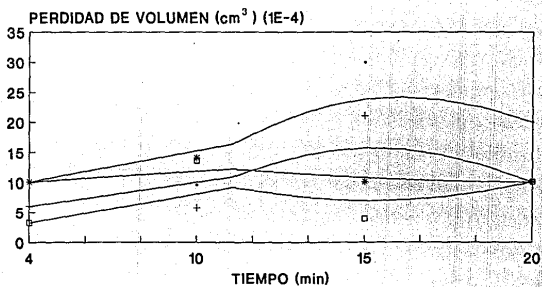
TABLA 4.9

LATON GALVANIZADO

DESGASTE CON LUBRICANTE

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	1.58
2	4	0.03
3	4	0.61
4	4	0.60
5	4	1.27
6	4	1.45
7	10	0.95
8	10	0.29
9	10	9.01
10	10	0.57
11	10	1.40
12	10	10.72
13	15	3.79
14	15	4.34
15	15	4.62
16	15	1.41
17	15	1.85
18	15	19.27
19	20	0.37
20	20	12.32
21	20	1.54
22	20	10.68
23	20	1.79
24	20	1.61

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO



GRAFICA 9

— 0.5 kg + 1 kg * 1.5 kg □ 2 kg

CON ACEITE (SAE 40)

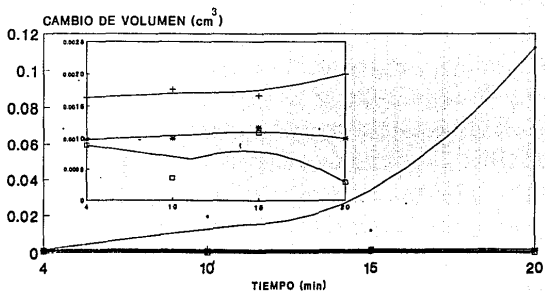
TABLA 4.10

LATON

DESGASTE LUBRICANTE

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	112.18
2	4	1.63
3	4	0.81
4	10	1.75
5	10	1.66
6	10	9.01
7	10	1.01
8	15	0.98
9	15	0.81
10	15	0.35
11	15	1.09
12	20	110.59
13	20	1.66
14	20	0.98
15	20	0.35

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE LATON



GRAFICA 10

— .05 kg + 1 kg * 1.5 kg □ 2 kg

CON ACEITE (SAE 40)

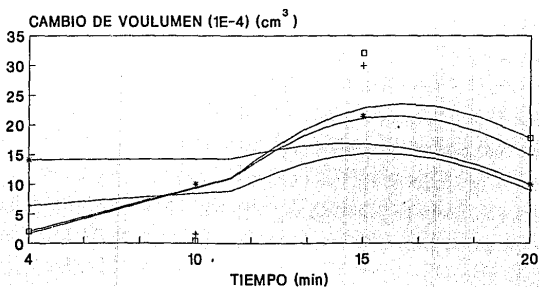
TABLA 4.11

BRONCE GALVANIZADO

DESGASTE CON LUBRICANTE

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	0.22
2	4	0.56
3	4	0.53
4	4	0.44
5	4	0.04
6	4	0.06
7	10	6.49
8	10	3.88
9	10	16.69
10	10	3.44
11	10	2.41
12	10	10.03
13	15	12.61
14	15	20.77
15	15	0.44
16	15	3.23
17	15	0.55
18	15	12.17
19	20	3.21
20	20	0.75
21	20	0.08
22	20	2.31
23	20	0.79
24	20	1.51

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 11

— 0.5 kg + 1 kg * 1.5 kg □ 2 kg

CON ACEITE (SAE 40)

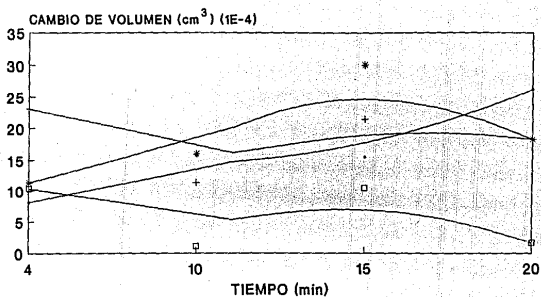
TABLA 4.12

BRONCE

DESGASTE LUBRICANTE

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	0.18
2	4	0.63
3	4	0.81
4	10	1.64
5	10	1.60
6	10	1.01
7	10	0.02
8	15	0.88
9	15	0.89
10	15	0.45
11	15	0.89
12	20	0.59
13	20	1.56
14	20	0.78
15	20	0.45

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 12

— 0.5 kg + 1 kg * 1.5 kg □ 2 kg

CON ACEITE (SAE 40)

IV.4.2 PRUEBAS SIN LUBRICANTE

Estas gráficas muestran la capacidad superior en la resistencia al desgaste en latones y bronce galvanizados por difusión sometidos a pruebas en seco (sin lubricante)

Las gráficas 13 y 14 nos muestran la diferencia entre latones galvanizados y sin galvanizar sometidos a pruebas de desgaste. Lo interesante es notar aquí cómo los latones galvanizados se mantienen constantemente sin pérdida o cambio de volumen durante los 20 minutos de permanencia en la máquina tribológica. Y por otro lado en la prueba para 1kg en el tiempo de 10 minutos los latones galvanizados cuentan con un desgaste menor equivalente en volumen a 0.005cm^3 .

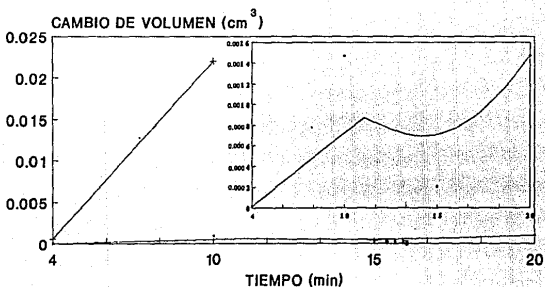
En esta misma sección presentamos a los bronce galvanizados y sin galvanizar sometidos a las pruebas de desgaste en seco. Aquí nuevamente hay que hacer énfasis en la escala utilizada. Si se sigue esta observación se encontrará que los bronce galvanizados, están visiblemente por debajo en la pérdida de volumen. (Gráficas 15 y 16)

Sin embargo en este último par de experimentos es interesante comparar el comportamiento de ambas probetas durante el desarrollo del experimento. En las probetas sin el recubrimiento se aprecia un desgaste inicial muy alto, es decir su gráfica parte de valores de pérdida de volumen muy altos comparadas con las piezas galvanizadas que inician con un desprendimiento de material bajo, incrementa alcanzando su máximo a los 13 minutos para después volver a disminuir

TABLA 4.13
LATON GALVANIZADO
DESGASTE EN SECO

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	0.02
2	4	1.47
3	4	1.47
4	4	4.06
5	10	3.82
6	10	0.21
7	10	13.18
8	10	0.16
9	15	1.47
10	15	4.06
11	20	21.75
12	20	48.61

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO



GRAFICA 13

— 0.5 kg - - - 1 kg

EN SECO

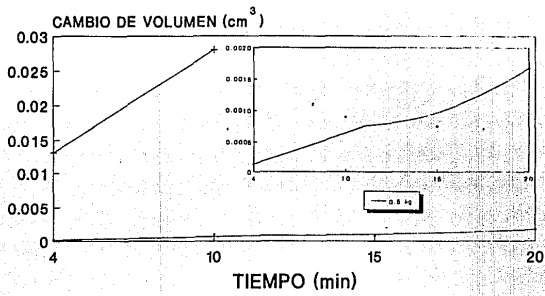
TABLA 4.14

LATON

DESGASTE EN SECO

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	0.12
2	4	0.07
3	10	0.08
4	10	13.18
5	15	0.75
6	20	11.68

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE LATON



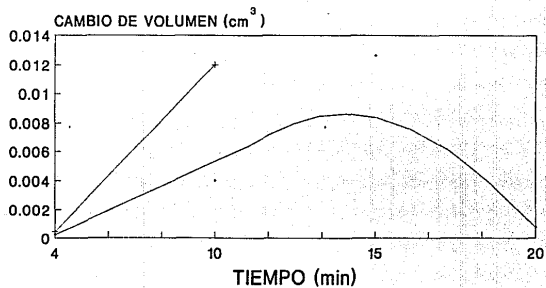
GRAFICA 14
— 0.5 kg + 1 kg

EN SECO

TABLA 4.15
BRONCE GALVANIZADO
DESGASTE EN SECO

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	0.22
2	4	2.47
3	4	3.47
4	4	9.06
5	10	3.82
6	10	5.21
7	10	11.18
8	10	3.16
9	15	3.47
10	15	6.06
11	20	11.75
12	20	28.61

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE GALVANIZADO



GRAFICA 15

— 0.5 kg — 1 kg

EN SECO

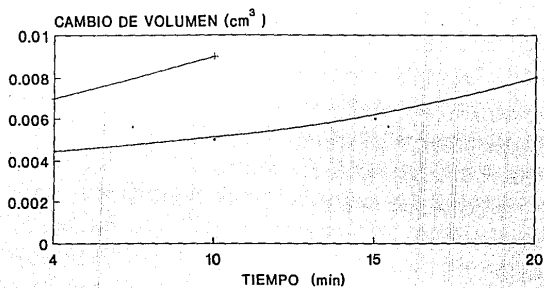
TABLA 4.16

BRONCE

DESGASTE EN SECO

EVENTO	TIEMPO (min)	CAMBIO DE VOLUMEN (1E-03)
1	4	1.01
2	4	2.89
3	4	1.85
4	4	5.46
5	10	3.12
6	10	4.31
7	10	11.68
8	10	9.26
9	15	10.37
10	15	14.16
11	20	1.45
12	20	18.31

DESGASTE EN ALEACIONES DE COBRE BRONCE



GRAFICA 16

— 0.5 kg —+ 1 kg

EN SECO

Una vez más, las piezas galvanizadas se encuentran en el lugar esperado pero ahora presentadas con valores numéricos que permiten hacer un análisis detallado para posibles aplicaciones o posibles mejoras al proceso.

IV.5 EXPERIMENTO DE MATTSSON

En el experimento de Mattsson se sumergieron dos piezas estresadas: una galvanizada y otra sin galvanizar en la solución preparada de acuerdo a la secuencia detallada en el capítulo anterior.

Como lo indica el experimento, se mantuvo un PH de 7 durante los días que duró el experimento.

Cada 24 horas se midieron las masas de las piezas señaladas (tabla de Mattsson) y se volvieron a meter conservando los parámetros del experimento hasta el término de este.

En la tabla que muestra los resultados se observa el tiempo total de duración del experimento que fue el tiempo que tardó en sufrir un colapso la pieza sin galvanizar quedando la galvanizada completa dentro del recipiente con la solución. En la gráfica correspondiente al experimento de Mattsson observamos el tiempo de duración que sobrepasa la pieza galvanizada a su similar sin galvanizar.

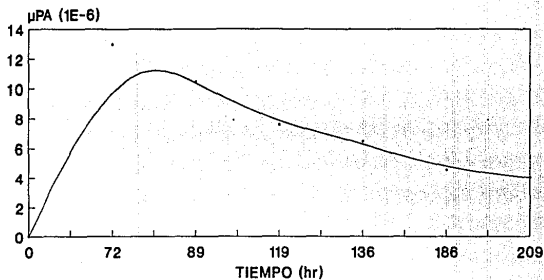
TABLA 4.17

LATON

CORROSION BAJO ESFUERZO

EVENTO	TIEMPO (hr)	μPA (1E-05)
1	0	0.00
2	72	1.20
3	89	1.00
4	119	0.07
5	136	0.06
6	186	0.04
7	209	0.03

CORROSION BAJO ESFUERZO LATON (70-30)



GRAFICA 17

— AMONIACO

PRUEBA DE MATTSON

TABLA 4.18

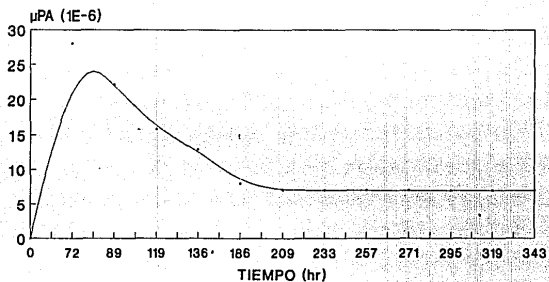
LATON GALVANIZADO

SOLUCION DE MATTSON

(AMONIACO)

EVENTO	TIEMPO (hr)	μ PA (1E-05)
1	00	0.00
2	72	2.70
3	89	2.20
4	119	1.50
5	136	1.20
6	186	0.80
7	209	0.07
8	233	0.07
9	257	0.06
10	271	0.06
11	295	0.06
12	319	0.06
13	343	0.06

CORROSION EN ALEACIONES DE COBRE LATON GALVANIZADO



GRAFICA 18

— AMONIACO

CON LA SOLUCION DE MATTSON

CAPITULO 5

V APLICACIONES Y CONCLUSIONES

V.1	APLICACIONES
V.1.1	LATONES GALVANIZADOS POR DIFUSION
V.1.2	BRONCES GALVANIZADOS POR DIFUSION
V.2	CONCLUSIONES

CAPÍTULO 5

APLICACIONES Y CONCLUSIONES

V.1 APLICACIONES

V.1.1 LATONES GALVANIZADOS POR DIFUSION

El recubrimiento de galvanizado por difusión se utiliza para aislar el metal del medio agresivo y para proporcionarle mejores propiedades mecánicas.

En el caso concreto del latón puede ser aprovechado el galvanizado por difusión para incrementar la resistencia a la corrosión por trazas de amoníaco, sin hacerle perder sus propiedades mecánicas, antes bien mejorárselas.

El pequeño contenido de zinc que tienen algunos latones los hace poco resistentes a la tensocorrosión. Con el recubrimiento es posible detener esa fisuración de las piezas con tensiones internas o externas expuestas a ciertos agentes corrosivos para los latones (amoníaco).

Lo anterior es confirmado mediante el experimento de Mattsson. Donde claramente se observa una resistencia mayor de las piezas galvanizadas contra las trazas de amoníaco. Porque este experimento es justamente

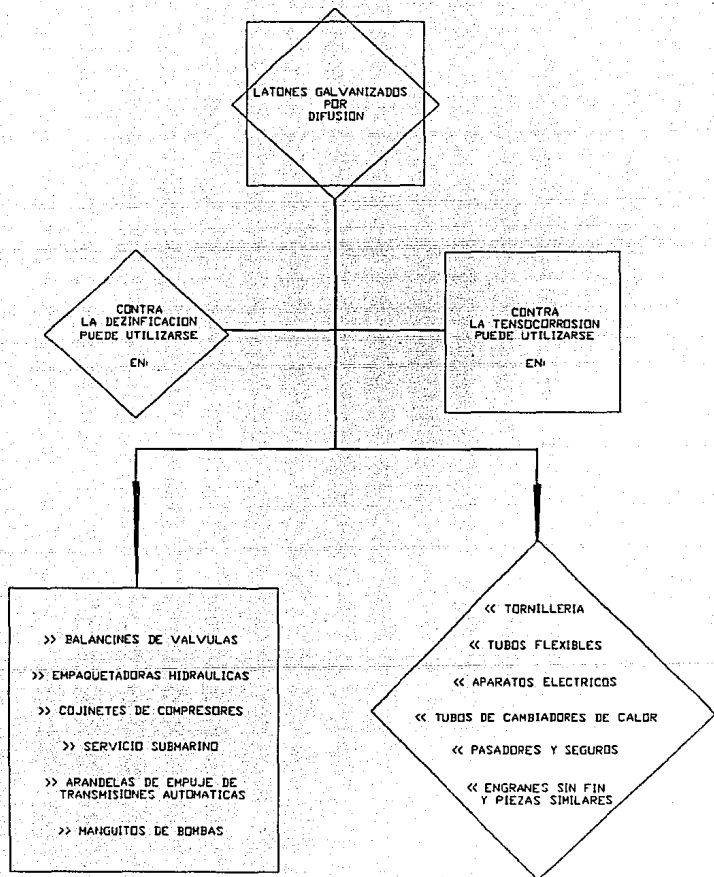
diseñado para observar la susceptibilidad de los latones a la falla por corrosión bajo tensión.

Así pues los latones galvanizados son una respuesta a las aplicaciones donde se requiere seguridad y se sospeche de la existencia de trazas de amoníaco.

El recubrimiento también puede ser utilizado, para aquellas aplicaciones en que el latón no pueda ser liberado totalmente de agua ligeramente ácida con cloruros o sulfatos, previniendo al metal de la disolución local del latón, seguida de reprecipitación del cobre sólo, bajo forma de una masa esponjosa y sin resistencia.

Otra aplicación valiosa radica en poder utilizar el recubrimiento como el medio para poder trabajar a los latones a más altas temperaturas sin que sufran una pérdida substancial de sus propiedades mecánicas.

Los latones galvanizados pueden pues, ser utilizados si se tienen fenómenos que puedan afectar a los latones de forma irreparable (dezincificación, tensocorrosión). La siguiente tabla enumera una lista de aplicaciones donde se propone el uso de galvanizado como medio protector y enriquecedor de las propiedades físicas y químicas de los latones.



V.1.2 BRONCES GALVANIZADOS POR DIFUSION

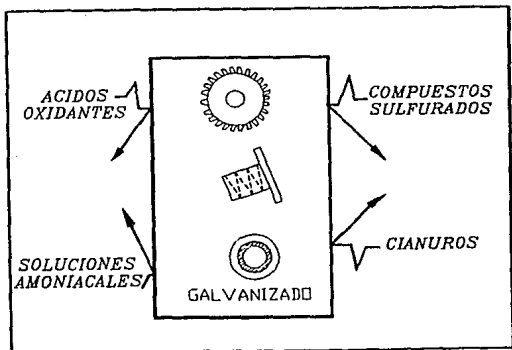
Los bronce son apreciados en general por su alta resistencia al desgaste y su buena resistencia a la corrosión.

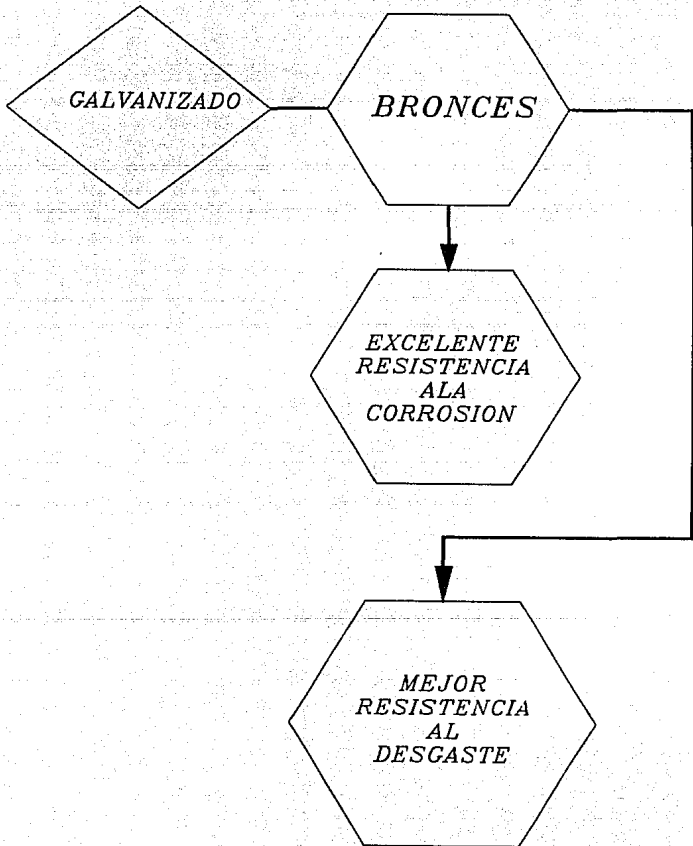
Sin embargo los bronce como la mayoría de las aleaciones de cobre son sensibles a la corrosión por los ácidos oxidantes, por las soluciones amoniacales, por el azufre y ciertos compuestos sulfurados, por los cianuros y por las bases fuertes.

Es aquí donde puede aplicarse el galvanizado por difusión mejorando las propiedades de los bronce contra la corrosión y contra el desgaste.

Todo es susceptible de mejorar, así pues, el bronce puede ser mejorado para su utilización en mayor número de aplicación o en aquellas situaciones donde sea sumamente necesario la seguridad del buen funcionamiento de las partes del diseño.

La excelente resistencia a la corrosión y al desgaste logradas con el galvanizado por difusión puede hacerlos ampliamente recomendables para un gran número de aplicaciones





GALVANIZADO

BRONCES

*EXCELENTE
RESISTENCIA
ALA
CORROSION*

*MEJOR
RESISTENCIA
AL
DESGASTE*

APLICACIONES DEL
BRONCE MEJORADO
CON EL
GALVANIZADO POR DIFUSION



* PASADORES DE PISTON

* BUJES

* COJINETES EN GENERAL

* PARTES DE CARROS DE FERROCARRIL

* PARTES DE COMPRESORES

* HELICES DE MOTORES DE LANCHAS Y BARCOS

* ENGRANES

* TORNILLOS SIN FIN

* TORNILLERIA EN GENERAL

* PERNOS

* ELEMENTOS DE VALVULAS

* TUBOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

* PARTES DE MAQUINAS A GAS

V.2 CONCLUSIONES GENERALES

Refiriéndonos al caso de las aleaciones de cobre como aleaciones de amplia utilización, la selección de un determinado recubrimiento metálico se puede efectuar y justificar sobre la base de una de las siguientes propiedades físicas, cuando se trata del metal en condiciones bien específicas:

IMPERMEABILIDAD

Esto es, que el recubrimiento sea continuo y de espesor suficiente, lo cual permitira aislar la superficie del acero de los agentes corrosivos y mejorar la superficie de contacto para la situación de desgaste.

RESISTENCIA MECANICA

De los metales utilizados en los recubrimientos, para garantizar una buena resistencia a los choques, rozamientos ligeros o accidentales.

BUENA ADHERENCIA

En el metal base ha de fijarse la capa del recubrimiento sin peligro de un desprendimiento repentino.

ESTETICA

Es la posibilidad de proporcionar superficies palidas o mates, capaces de conferir a los objetos un acabado con fines decorativos.

El galvanizado por difusión cumple con los requerimientos de un buen recubrimiento según los puntos arriba expuesto. Sólo que debe tenerse en cuenta las operaciones anteriores a la aplicación del recubrimiento:

***PREPARACION DE LA SUPERFICIE**

***DIMENSIONES A RECUBRIR (CANTIDAD DE RECUBRIMIENTO)**

***POSICION DE LAS PIEZAS DENTRO DE LA CUBA**

En el segundo punto de los descritos anteriormente se basa la costeabilidad del proceso. En la práctica, la cantidad necesaria de recubrimiento para proteger una estructura desnuda suele ser demasiado grande como para hacer rentable el proceso económicamente. Además que sería prácticamente imposible construir cubas de galvanizado, de tales dimensiones. Sin embargo, en piezas mecánicas de un tamaño moderado puede ser muy atractivo el uso del proceso.

El método de galvanizado por difusión es un método muy económico y muy sencillo para ser reproducido, que mejora en gran medida a las aleaciones de cobre allí donde se muestran débiles para convertirlas en excelentes metales resistentes a la corrosión y al desgaste.

El objetivo logrado con el galvanizado por difusión es resumido en dos puntos:

EN LATONES Y BRONCES

- a) Mejora la resistencia a la corrosión
- b) Mejora la resistencia al desgaste

Los logros alcanzados en el combate contra la dezincificación y la tenso corrosión, abren la pauta para presentar al proyecto y ponerlo a disposición de la utilización ordinaria en aplicaciones específicas donde se requiera alta confiabilidad del material utilizado.

BIBLIOGRAFIA

1. STRUCTURES AND PROPIERTIES OF ENGINEERING ALLOYS.
William F. Smith
2. EL COBRE Y SUS ALEACIONES EN LA TECNOLOGIA
Publicacion CDEC
3. CORROSION AND CORROSION CONTROL
Herbert H. Uhlig
4. MAS ALLA DE LA HERRUMBRE
Javier Avila y Juan Genesca
5. CORROSION AND ITS CONTROL
Atkinson
6. DESGASTE DE MATERIALES
A.D. Sarkar

7. METALS HANDBOOK
Vol 1

8. CORROSION ENGINEERING
Mars G. Fontana, Nurbert D. Greene

9. METALS HANDBOOK
Vol. 6 Coating Processes

10. TEORIA Y PRACTICA DE LA LUCHA CONTRA LA CORROSION
GIZ Jose A.

11. CORROSION BASICS AN INTRODUCTION
Van Delinder