

10²⁴



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES EN
INGENIERIA QUIMICA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N

IGNACIO RODRIGUEZ SORIA
GUSTAVO CABRERA JAIMES

ASESOR DE TESIS,
I.Q.M. RAFAEL SAMPERE MORALES



FALLA DE ORIGEN

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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

	Página.
C A P I T U L O I	
INTRODUCCION	1
C A P I T U L O II	
CLASIFICACION SEGUN FORMA	2
2.1) Aluminio Puro Para Fundición.	2
2.2) Aluminio Puro y Aleado Para Procesamiento Mecánico.	5
2.3) Aluminio Aleado Para Fundición.	11
2.4) Temples y Tratamientos Térmicos Para Aluminio y sus Aleaciones.	18
C A P I T U L O III	
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	22
3.1) Propiedades Físicas y Químicas del Aluminio Puro.	22
3.2) Propiedades Físicas y Químicas del Aluminio Aleado.	26
3.3) Efecto de los Aleantes.	29
C A P I T U L O IV	
ENSAYOS MECANICOS	41
4.1) Ensayo de Dureza.	41
4.2) Ensayo a la Tracción.	46
4.3) Ensayo a la Fatiga.	48
4.4) Ensayo al Impacto.	49
4.5) Ensayos No Destructivos	50
C A P I T U L O V	
CORROSION	52
5.1) Tipos de Corrosión.	52
5.2) Resistencia del Aluminio y sus Aleaciones a las Distintas Sustancias Químicas.	63
5.3) Tipos o Formas de Protección.	75
C A P I T U L O VI	
SOLDADURA	81
6.1) Soldadura por Fusión.	83
6.2) Soldadura por Resistencia.	96
6.3) Soldadura en Frío.	101
6.4) Procedimientos Especiales.	103

	Página.
C A P I T U L O VII	
APLICACIONES DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES EN I.Q.	106
7.1) Aleaciones que se Emplean en la I.Q.	108
7.2) Fabricación de Equipos.	110
7.3) Aplicaciones en Algunas Industrias Químicas y Alimenticias.	113
7.4) Ejemplos Específicos de Aplicaciones.	116
C A P I T U L O VIII	
ESTUDIO ECONOMICO A NIVEL NACIONAL	124
8.1) Datos Estadísticos.	124
8.2) Proyección de la Demanda.	127
8.3) Análisis del Estudio Económico.	130
C A P I T U L O IX	
CONCLUSIONES	131
ANEXO	133
GLOSARIO	145
BIBLIOGRAFIA	149

CAPITULO I

INTRODUCCION

Los Ingenieros Químicos, llamados a proyectar equipos destinados a recibir productos cada vez más corrosivos, de los que apenas se había oído hablar hasta hace algunos años, se encuentran ante el difícil problema de la elección de materiales apropiados. Por su parte el aluminio y sus aleaciones resultan ser muchas veces una solución técnicamente eficaz e interesante económicamente debido a su facilidad de conformado y unión, así como a su bajo precio comparado con el de los materiales especiales recomendados por su buena resistencia a la corrosión.

El aluminio y sus aleaciones se hacen en prácticamente todas las formas en que se producen metales, incluyendo vaciados. El aluminio puro se utiliza en muchas aplicaciones de transferencia de calor. Existen innumerables aleaciones de aluminio. Muchas poseen propiedades mecánicas mejoradas por encima de las del aluminio puro.

La finalidad de presentar el estudio sobre el aluminio, radica en el hecho de que toda la información recopilada de las diversas fuentes disponibles, sirva para poder cumplir con el objetivo que se ha planteado y que es el de introducir a los alumnos y profesionistas en el estudio de las propiedades que presenta el aluminio y sus aleaciones, para la correcta selección en las aplicaciones y en el mantenimiento dentro de la Industria Química.

Se han tomado como base al Instituto Mexicano del Aluminio y a la Asociación Francesa para las designaciones de las diferentes aleaciones del aluminio, incluyendo al aluminio puro.

Siendo designado al aluminio como el material del futuro, y siendo uno de los que más auge están teniendo en la I.Q.; es por ello que se ha querido elaborar un trabajo en donde conozcamos algunos aspectos importantes sobre dicho material. Se ha complementado con la adición de un glosario para la mejor comprensión de ciertos términos, de los cuales no podría estar muy familiarizado el lector. Finalmente, hay que mencionar que se ha incluido un anexo con tablas que contienen información que puede resultar valiosa.

CAPITULO II

CLASIFICACION SEGUN NORMA

Para establecer normas que sean ventajosas para el consumidor algunos grupos representativos en varios países han formulado especificaciones para los productos de las aleaciones y temple más comunes.

En el Canadá el grupo encargado de formular las especificaciones es la Asociación de Normas del Canadá. En Canadá se usan varias especificaciones de los Estados Unidos y de Inglaterra. Las especificaciones de mayor interés en los Estados Unidos son las de las Autoridades Federales, la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), y la Asociación de Ingenieros de Automóviles. En Inglaterra la autoridad principal es el Instituto de Normas Británico, que ha establecido una serie de especificaciones comprendiendo las aleaciones de aluminio para fines de ingeniería y aviación. En México le corresponde al Instituto Mexicano del Aluminio que agrupa al Comité Consultivo de Normalización del Aluminio y sus Aleaciones.

Las normas que han sido seleccionadas para conformar este capítulo, son las que se consideran más generales y que se requieren conocer principalmente. Para consultar cualquier otra norma mexicana, referirse a la obra marcada con el número 14 de la bibliografía.

Para la consulta de las especificaciones de las asociaciones más importantes, referirse a la obra número 1 de la bibliografía.

2.1) ALUMINIO PURO PARA FUNDICION

2.1.1) Norma Oficial W-35-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece la clasificación y composición de los lingotes de aluminio de primera fusión puro para fundición, expresados en por ciento en masa de acuerdo a su composición química o pureza, destinados a la elaboración de diversos productos vaciados.

Para la correcta aplicación de la presente norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-W-65 Método de prueba para la determinación de berilio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-67 Método de prueba para la determinación de calcio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-68 Método de prueba para la determinación de cromo en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-69 Método de prueba para la determinación de cobre en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-70 Método de prueba para la determinación de hierro en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-71 Método de prueba para la determinación de níquel en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-72 Método de prueba para la determinación de magnesio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-73 Método de prueba para la determinación de manganeso en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-74 Método de prueba para la determinación de plomo en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-75 Método de prueba para la determinación de silicio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-76 Método de prueba para la determinación de titanio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-77 Método de prueba para la determinación de vanadio en las aleaciones de aluminio.
- NOM-W-78 Método de prueba para la determinación de cinc en las aleaciones de aluminio.

Especificaciones

Composición Química: De acuerdo con la clasificación del aluminio de primera fusión, a continuación se enuncia su composición química (Tabla I).

Contenido de los Elementos: El contenido de los elementos químicos, tanto de aleaciones como de impurezas, se debe sujetar a los límites que al respecto se marcan para cada clase en la Tabla I.

TABLA I.- Composición química de aluminio de primera fusión puro para fundición.

Clasificación.	Pureza mínima en %	Elementos en %						Al
		Si	Fe	Zn	Ga	Otros c/u	Otros Total	
Clase I	99.50 mín. máx.	0.15	0.40	0.03	0.04	0.03	0.10	99.50
Clase II	99.70 mín. máx.	0.10	0.20	0.03	0.04	0.03	0.08	99.70
Clase III	99.80 mín. máx.	0.10	0.20	0.03	0.04	0.03	0.08	99.80
Clase IV	99.85 mín. máx.	0.07	0.10	0.03	0.04	0.03	0.05	99.85

Forma de Expresar el Contenido del Aluminio Puro: La composición química del aluminio puro se determina por la diferencia entre 100% y la suma de todos los elementos metálicos presentes en cantidades de 0.01% o más de cada uno, expresados hasta la segunda cifra decimal.

Forma de Expresar el Contenido de Cada elemento: Las cifras límites enteras y decimales usadas en ésta norma, están expresadas con base en la Tabla II. Para expresar el contenido de cada elemento a partir de los resultados de laboratorio, deberá usarse el sistema de la Tabla II indicada a continuación.

TABLA II.- Forma de expresar el contenido de los elementos.

Contenido de los elementos expresados en por ciento en masa.	Forma de expresar su contenido.
a) Concentraciones menores de 1/1000	0.000X
b) Concentraciones entre 1/1000 y 1/100	0.00X
c) Concentraciones entre 1/100 y 1/10	0.0X
d) Concentraciones entre 1/10 y 1/2	0.XX
e) Concentraciones mayores de 1/2	0.X, X.X, XX.X

Forma de Ordenar los Elementos Químicos: Los elementos aleantes o impurezas deberán aparecer siempre en el orden siguiente: Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, otros elementos, Ti, Zr, elementos no numerados (contenido individual y contenido total), y finalmente el Al. El contenido de aluminio se expresará siempre como porcentaje mínimo.

Concordancia con Normas Internacionales: Esta norma coincide básicamente con la norma Internacional ISO R 115.

2.2.1) Norma Oficial W-39-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece las especificaciones de los valores límites para cada uno de los elementos, expresados en porcentaje en masa que constituyen la composición química del aluminio de primera fusión puro y aleado, destinado a la elaboración de diversos productos por procesamiento mecánico.

Esta norma es aplicable en la industria de la fabricación de productos extruidos, laminados y forjados, en las industrias y organizaciones comerciales que usan tales productos, en las transacciones comerciales que se efectúan con esos productos y en la educación en general, particularmente en la enseñanza técnica.

Referencias: Para la correcta aplicación de esta norma es necesario consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana vigente, y las citadas en la referencia del punto 2.1.1.

NOM-W-48 Sistema de clasificación y designación del aluminio de primera fusión, puro y aleado para procesamiento mecánico.

Especificaciones

Contenido de los Elementos: El contenido de los elementos químicos, tanto de aleaciones como de impurezas, se debe sujetar a los límites que al respecto se marcan para cada aleación en las Tablas III y IV de los límites de composición química.

Forma de Expresar el Contenido de Cada Elemento: Similar que en la norma del punto 2.1.1. (Tabla II).

Forma de Ordenar los Elementos Químicos: Similar que en la norma del punto 2.1.1.

Composición Química: De acuerdo con la clasificación del aluminio de primera fusión puro y aleado para procesamiento mecánico indicado en la norma NOM-W-48 vigente, se establece su composición química en las Tablas III y IV.

2.2.2) Norma Oficial W-48-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece un sistema de clasificación y designación del aluminio de primera fusión puro y aleado de acuerdo a su composición química, destinado a ser procesado mecánicamente.

Tabla III.- Composición Química del Aluminio de Primera Fusión Puro y Aleado Para Procesamiento Mecánico
(Aleaciones Normales Clase I)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	V	Elementos en %		Al
										Total c/p.	Total otros	
1050 Mfn. Máx.	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.03	0.05	0.03	-	99.50
1070 Mfn. Máx.	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	-	0.04	0.03	0.05	0.03	-	99.70
1100 Mfn. Máx.	1.0 Si + Fe	0.05	0.20	0.05	-	-	0.10	-	-	0.05	0.15	99.00
1145 Mfn. Máx.	0.55 Si + Fe	-	0.05	0.05	0.05	-	0.05	0.03	0.05	0.03	-	99.45
1170 Mfn. Máx.	0.30 Si + Fe	-	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	-	99.70
1235 Mfn. Máx.	0.65 Si + Fe	-	0.05	0.05	0.05	-	0.10	0.03	0.05	0.03	-	99.35
1350 Mfn. Máx.	0.10	0.04	0.05	0.01	-	0.01	0.05	b(*)	B 0.05	0.03	0.10	99.50
2024 Mfn. Máx.	0.50	0.50	3.8	0.30	1.2	0.10	0.25	c(**)	-	0.05	0.15	-
3003 Mfn. Máx.	0.6	0.7	0.05	1.0	-	-	0.10	-	-	0.05	0.15	-
3004 Mfn. Máx.	0.30	0.7	1.0	0.8	1.5	1.3	0.25	-	-	0.05	0.15	-
3005 Mfn. Máx.	0.6	0.7	0.30	1.5	0.6	0.10	0.25	0.10	-	0.05	0.15	-
4043 Mfn. Máx.	4.5 6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	-	0.10	0.20	-	0.05	0.15	-
5005 Mfn. Máx.	0.30	0.7	0.20	0.20	0.50 1.1	0.10	0.25	-	-	0.05	0.15	-
5050 Mfn. Máx.	0.30	0.7	0.20	0.10	1.1 1.80	0.10	0.25	-	-	0.05	0.15	-

(Continuación de la Tabla III)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	V	Elementos en %		Al
										Total c/u	Total otros	
5052												
Mín.					2.2	0.15						
Máx.	0.25	0.40	0.10	0.10	2.8	0.35	0.10	-	-	0.05	0.15	-
5454												
Mín.					0.50	2.4	0.05					
Máx.	0.25	0.40	0.10	1.0	3.0	0.20	0.25	0.20	-	0.05	0.15	-
6061												
Mín.	0.40	0.15			0.8	0.04						
Máx.	0.8	0.7	0.40	0.15	1.2	0.35	0.25	0.15	-	0.05	0.15	-
6063												
Mín.	0.20				0.45							
Máx.	0.6	0.35	0.10	0.10	0.9	0.10	0.10	0.10	-	0.05	0.15	-
6101												
Mín.	0.30				0.35							
Máx.	0.7	0.50	0.10	0.03	0.8	0.03	0.10	-	0.06	0.03	0.10	-
6463												
Mín.	0.20				0.45							
Máx.	0.6	0.15	0.20	0.05	0.9	-	-	-	-	0.05	0.15	-
7072												
Mín.							0.8					
Máx.	0.7	0.1 + Fe	0.10	0.10	0.10	-	1.3	-	-	0.05	0.15	-

Tabla IV.- Composición Química del Aluminio de Primera Fusión Puro y Aleado Para Procesamiento Mecánico.
(Aleaciones Especiales)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Elementos en		Al
									"total c/u	"total otros	
C-989 Min.	0.35				0.45						
Máx.	0.50	0.25	0.10	0.10	0.7	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	-
CD-27 Min.	0.25				0.45						
Máx.	0.40	0.25	0.10	0.10	0.7	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	
CE-42 Min.	0.10	0.45									99.20
Máx.	0.20	0.65	0.05	0.05	0.01	-	-	-	0.03	0.10	99.40
CR-75 Min.	0.10	0.35					0.80				
Máx.	0.12	0.50	0.03	0.05	0.02	-	1.20	-	0.05	0.15	-
CH-36 Min.	0.20				0.45						
Máx.	0.60	0.35	0.10	0.10	0.9	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	-
CJ-83 Min.	0.06	0.15						0.005			
Máx.	0.15	0.27	0.02	-	-	-	0.03	0.02	0.02	0.10	-

Referencias: Para la correcta aplicación de la presente norma, es necesario consultar la Norma Oficial Mexicana vigente: NOM-W-39.

Especificaciones

Aleaciones Normales, Clase I: Son aquellas cuya composición química y propiedades físicas y mecánicas, han sido comprobadas, aceptadas y registradas por asociaciones y organismos internacionales.

Aleaciones Especiales, Clase II: Son aquellas aleaciones que han sufrido modificaciones tales como adición o supresión de un elemento aleante, sustitución de un elemento por otro o cambio en los límites de los elementos aleantes e impurezas, y que debido a la continuidad de su uso y aplicación, han sido registradas y adoptadas por asociaciones y organismos internacionales.

Aleaciones Experimentales, Clase III: Son aquellas que por estar su composición química y sus propiedades físicas y mecánicas en proceso de experimentación, no están comprendidas en ninguna de las dos clases anteriores.

Clasificación y Designación: Los lingotes de aluminio para procesamiento mecánico se clasifican y designan de acuerdo a su composición química en tres clases:

- a) Clase I, aleaciones normales.
- b) Clase II, aleaciones especiales.
- c) Clase III, aleaciones experimentales.

Clase I, Aleaciones Normales:

La clase I comprende 8 grupos determinados por el elemento de aleación principal, y se designan por medio de cuatro dígitos, tal como se indica a continuación:

Aluminio sin alear 99.00% mínimo	1XXX
Cobre	2XXX
Manganeso	3XXX
Silicio	4XXX
Magnesio	5XXX
Magnesio y Silicio	6XXX
Cinc	7XXX
Otros elementos	8XXX
Series no usuales	9XXX

El primer dígito identifica el elemento de aleación de mayor porcentaje, el segundo dígito indica modificaciones a la aleación original o de los límites de impurezas y los dos últimos dígitos sirven para identificar a una aleación dentro de un grupo

En el caso del aluminio sin alear de 99.00% de pureza mínima o grupo 1 XXX, el segundo dígito indica modificaciones a los límites de impurezas, si es cero (0), indica que se trata de aluminio que contiene impurezas en sus límites originales, o que no tiene un control especial, y si es un número (del 1 al 9), indica que el aluminio tiene control especial en uno o más de los elementos presentes como impurezas. Los dos últimos dígitos indican el porcentaje mínimo del aluminio, y deben ser idénticos a los dos decimales que expresan la pureza mínima del aluminio.

En el caso de las aleaciones de los grupos 2 XXX al 8 XXX, el segundo dígito indica modificaciones de la aleación, si es cero (0) significa que es la aleación original y si es un número (del 1 al 9), indica que es una aleación modificada. Los dos últimos dígitos no tienen un significado especial, y sólo sirven para diferenciar las distintas aleaciones de su grupo.

Clase II, Aleaciones Especiales:

La clase II comprende aquellas aleaciones modificadas (únicamente), las cuales son designadas de dos maneras:

- a) Por medio de la mayúscula "C" seguida de uno, dos o tres dígitos.
- b) Por medio de la mayúscula "C" seguida de otra mayúscula cualquiera de la A a la Z (exceptuando la misma mayúscula "C"), y de uno o dos dígitos.

Clase III, Aleaciones Experimentales:

La clase III comprende aquellas aleaciones que por estar en proceso de experimentación, no están clasificadas en ninguna de las clasificaciones anteriores, y se designan con la mayúscula X seguida de la nomenclatura de la aleación con que se está experimentando.

Concordancia con Normas Internacionales: Esta norma no coincide con ninguna norma Internacional sobre el tema tratado.

2.3) ALUMINIO ALEADO PARA FUNDICION

2.3.1.) Norma Oficial NOM-W-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece las especificaciones de los límites para cada uno de los elementos, expresados en por ciento en masa, que constituyen la composición química del aluminio de primera fusión aleado, destinado a la elaboración de diversos productos fundidos.

Esta norma es aplicable en la industria de fabricación de productos fundidos, en las industrias y organizaciones comerciales que usan tales productos, en las transacciones comerciales que se efectúan con esos productos y en la educación en general, particularmente en la enseñanza técnica.

Referencias: Para la correcta aplicación de la presente norma es necesario consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana vigente, y las ya citadas en la referencia del punto 2.1.1.: NOM-W-56.

Especificaciones

Forma de Expresar el Contenido de Cada Elemento: Similar que en la norma del punto 2.1.1. (Tabla II).

Contenido de los Elementos: El contenido de los elementos químicos, tanto de aleación como de impurezas, se debe sujetar a los límites que al respecto se describen en las Tablas V, VI y VII de los límites de composición química.

Forma de Ordenar los Elementos Químicos: Similar que en la norma del punto 2.1.1.

Composición Química: De acuerdo con la clasificación del aluminio de primera fusión aleado para fundición indicado en la norma NOM-W-56 vigente, se establece su composición química en las Tablas V, VI y VII respectivamente.

2.3.2) Norma Oficial W-56-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece un sistema de clasificación y designación del aluminio de primera fusión aleado, de acuerdo a su composición química, destinado a ser transformado por procesos de fundición por vaciado.

Referencias: Para la correcta aplicación de la presente norma, es necesario consultar la siguiente Norma Oficial Mexicana vigente: NOM-W-54.

Tabla V.- Composición química del Aluminio de Primera Fusión Aleado Para Fundición.
(Aleaciones Normales, Clase I)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Pb	Cr	Ni	Zn	In	Ti	Elementos en %		Al
											Otros c/u	Otros Total	
100 Mfn.		0.6											99.00
Máx.	0.15	0.8	0.10	a	-	a	-	0.05	-	a	0.03	0.10	99.00
150 Mfn.													99.50
Máx.	b	b	0.05	a	-	a	-	0.05	-	a	0.03	0.10	99.50
205 Mfn.													Resto
Máx.	2.5	0.8	3.5	0.30	0.03	-	-	0.20	-	0.20	-	0.30	Resto
238 Mfn.													Resto
Máx.	3.5	1.2	10.5	0.50	0.20	-	0.50	0.50	-	0.20	-	0.50	Resto
308 Mfn.													Resto
Máx.	5.0	0.8	4.0	0.30	0.10	-	-	0.50	-	0.20	-	0.50	Resto
319 Mfn.													Resto
Máx.	5.5	0.6	3.0	0.10	0.10	-	0.10	0.10	-	0.20	-	0.20	Resto
332 Mfn.													Resto
Máx.	11.0	0.9	0.50	0.10	0.9	-	2.0	0.10	-	0.20	0.05	0.15	Resto
F332 Mfn.													Resto
Máx.	8.5	0.6	4.0	0.10	1.3	-	0.10	0.10	-	0.20	-	0.30	Resto
355 Mfn.													Resto
Máx.	4.5	0.14	1.0	0.05	0.6	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto
335 Mfn.													Resto
Máx.	4.5	0.13	1.0	0.05	0.6	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto
356 Mfn.													Resto
Máx.	6.5	0.13	0.10	0.05	0.30	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto
356 Mfn.													Resto
Máx.	7.5	0.25	0.10	0.05	0.40	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto
356 Mfn.													Resto
Máx.	6.5	0.12	0.10	0.05	0.30	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto
357 Mfn.													Resto
Máx.	6.5	0.12	0.05	0.03	0.45	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	Resto

(Continuación de la tabla V)

Aleación	Si	Pb	Cu	Mn	Ni	Cr	Ti	Zn	Sn	Tl	Elementos en %		Al
											Otros c/u	Otros Total	
359 Mfn. Máx.	8.5 9.5	0.12	0.10	0.10	0.55 0.7	-	-	0.10	-	0.20	0.05	0.15	Resto
360 Mfn. Máx.	9.0 10.0	0.7 1.1	0.10	0.10	0.45 0.6	-	0.10	0.10	0.10	-	-	0.20	Resto
A360 Mfn. Máx.	9.0 10.0	0.6	0.10	0.05	0.45 0.6	-	-	0.05	-	-	0.05	0.15	Resto
364 Mfn. Máx.	7.5 9.5	0.7 1.1	0.20	0.10	0.25 0.40	0.25	0.15	0.15	0.15	0.05 De 0.04	0.05	0.15	Resto
380 Mfn. Máx.	7.5 9.5	0.7 1.1	3.0 4.0	0.10	0.10	-	0.10	0.10	0.10	-	-	0.20	Resto
380 Mfn. Máx.	7.5 9.5	0.6	3.0 4.0	0.10	0.10	-	0.10	0.10	-	-	0.05	0.15	Resto
381 Mfn. Máx.	10.5 12.0	0.6 1.0	3.0 4.0	0.10	0.10	-	0.10	0.10	0.10	-	-	0.20	Resto
413 Mfn. Máx.	11.0 13.0	0.7 1.1	0.10	0.10	0.07	-	0.10	0.10	0.10	-	-	0.20	Resto
A413 Mfn. Máx.	11.0 13.0	0.6	0.10	0.05	0.05	-	0.05	0.05	0.05	-	-	0.10	Resto
443 Mfn. Máx.	4.5 6.0	0.6	0.10	0.10	0.05	-	-	0.10	-	0.20	0.05	0.15	Resto
511 Mfn. Máx.	0.30	0.30	0.10	0.10	3.6 4.5	-	-	0.10	-	0.20	0.05	0.15	Resto
520 Mfn. Máx.	0.15	0.20	0.20	0.10	9.6 10.6	-	-	0.10	-	0.20	0.05	0.15	Resto
525 Mfn. Máx.	0.10	0.10	0.05	0.25	6.6 7.5	-	B 0.002	-	0.003 De 0.007	0.10 0.25	0.05	0.15	Resto

(Continuación de la Tabla V)

Localización	Si	Fe	Cu	Mn	Mo	Cr	Ni	Zn	Sn	Pb	Elementos en % Otros c/u		Al
B525 Mín.				0.10	6.6								Resto
B525 Máx.	0.20	0.15	0.10	0.25	7.5	-	-	-	-	0.25	0.05	0.15	Resto
B535 Mín.				6.6						0.10			Resto
B535 Máx.	0.10	0.12	0.05	0.05	7.5	-	-	-	-	0.25	0.05	0.15	Resto
B712 Mín.			0.35		0.65			6.0					Resto
B712 Máx.	0.15	0.40	0.65	0.05	0.8	-	-	7.0	-	0.25	0.05	0.15	Resto
B712 Mín.		0.7	0.35		0.30			6.0					Resto
B712 Máx.	0.30	1.1	0.65	0.05	0.45	-	-	7.0	-	0.20	0.05	0.15	Resto
B712 Mín.				0.50	0.40			5.0		0.15			Resto
B712 Máx.	0.15	0.40	0.25	0.10	0.65	0.6	-	6.5	-	0.25	0.05	0.20	Resto
B713 Mín.			0.40		0.25			7.0					Resto
B713 Máx.	0.25	0.8	1.0	0.6	0.50	0.35	0.15	8.0	-	0.25	0.10	0.25	Resto
B771 Mín.				0.85	0.06			6.5		0.10			Resto
B771 Máx.	0.10	0.10	0.10	0.10	1.0	0.20	-	7.5	-	0.20	0.05	0.15	Resto
B771 Mín.				0.65	0.06			6.0		0.10			Resto
B771 Máx.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.8	0.20	-	7.0	-	0.20	0.05	0.15	Resto

Nota: a) $Mn + Cr + Ni + V = 0.075$ Máx.

b) $Fe/Si = 2/1$

Tabla VI.- Composición Química del Aluminio de Primera Fundición Aleado Para Fundición.
(Aleaciones Parciales, Clase II)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Al	Zn	Ca	Sn	Ti	Elementos en % Otros Otros Al		
												o/a	total	
CH-19 Mf. Máx.	5.0 7.0		3.0 5.0	0.30 0.6	0.10 0.30	-	0.30	2.0	-	0.10	0.15 0.25	0.05	0.15 -	
CH-20 Mf. Máx.	3.5 4.5	0.40	0.10	-	0.40 0.6	0.40 0.6	-	-	-	-	0.20	0.05	0.15 -	
CH-25 Mf. Máx.	8.50 10.50	1.0	2.0 4.0	0.50	0.50 1.50	-	0.50 1.50	0.50	-	-	0.20	-	0.50 -	
CH-15 Mf. Máx.	8.0 10.0	0.45 0.55	2.5 3.5	0.35 0.45	1.4 1.6	0.10	0.10	0.10	0.010	-	0.20	0.05	0.15 -	
CH-26 Mf. Máx.	1.90 5.90	0.45	3.30 4.30	0.45 0.59	0.10 0.18	-	-	1.0	-	-	0.12	0.05	0.15 -	
CH-29 Mf. Máx.	8.0 10.0	0.7 1.0	3.0 4.0	0.35	0.10	0.12	0.50	2.0 2.9	-	0.20	-	-	0.50 -	
CH-20 Mf. Máx.	11.0 12.0	0.7	0.8 1.5	0.20	0.8 1.3	-	0.8 1.3	0.20	0.010	-	0.20	-	-	
CH-23 Mf. Máx.	0.7	1.0	4.7 4.3	0.35	1.3 1.6	0.25	1.7 2.1	0.35	-	-	0.15 0.25	0.05	0.15 -	
CH-27 Mf. Máx.	0.10	0.20	0.03	0.006	0.005	0.005	Ca= 0.02	0.03	V= 0.005	B= 0.03	0.005	0.01	0.02	99.0 -
CH-27 Mf. Máx.	11.0 12.5	0.8	1.0	0.50	0.30	-	0.20	0.50	Tb= 0.30	0.10	0.15	0.05	0.15 -	

Tabla VII.- Composición Química del Aluminio de Primera Fusión Aleado para Fundición.
(Aleaciones Pasivas, Clase IX)

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Pb	Elementos en %		Al
											Otros c/u	Otros Totales	
H2120 Min. (2108) Max.		0.35	0.50	18.0 22.0	-	-	-	-	-	-	0.05	0.15	-
H2140 Min. (2107) Max.		0.6	0.7	38.0 42.0	0.30	-	-	-	-	-	0.10	0.20	-
H2312 Min. (2312) Max.		11.0 13.0	0.35	0.10	-	-	-	-	-	-	0.05	0.15	-
H2351 Min. (2351) Max.		4.5 5.5	0.14 0.25	1.0 1.5	-	-	-	-	-	0.20	0.05	0.15	-
HA2351 Min. (A2351) Max.		4.5 5.5	0.13	1.0 1.5	-	-	-	-	-	0.20	0.05	0.15	-
H2307 Min. (2307) Max.		6.5 7.5	0.12 0.25	0.10	0.05	-	-	0.05	-	0.20	0.05	0.15	-
HA2307 Min. (A2307) Max.		6.5 7.5	0.11	0.10	0.05	-	-	0.05	-	0.20	0.03	0.10	-
H2403 Min. (A2400) Max.		0.05	0.7	-	3.0 6.0	-	-	-	-	-	0.05	0.15	-
H2407 Min. (2400) Max.		0.15	0.7	0.10	4.0 6.0	-	-	-	-	-	0.05	0.25	-
H2510 Min. (2509) Max.		0.50	0.6	0.6	-	-	9.0 11.0	-	-	-	0.05	0.15	-
H2801 Min. (A2800) Max.		1.0	2.5 4.5	0.6	0.30	-	-	0.30	0.30	-	0.05	0.15	-
H2919 Min. (2919) Max.		0.30	0.55	-	-	1.5 3.5	-	-	-	-	-	-	-

Especificaciones

Aleaciones Normales, Clase I: Similar que en la norma W-48-77.

Aleaciones Especiales, Clase II: Similar que en la norma W-48-77.

Aleaciones Experimentales, Clase III: Similar que en la norma W-48-77.

Aleaciones Maestras, Clase IV: Son aquellas que contienen un 50% mínimo de aluminio y uno o más elementos de aleación, destinadas a ser sometidas a un proceso de refusión y dilución para preparar una aleación. Estas aleaciones también son conocidas como aleaciones madres o endurecedoras.

Clasificación y Designación: Los lingotes de primera fusión aleado para fundición se designan y clasifican conforme a su composición química en cuatro clases:

- a) Clase I, aleaciones normales.
- b) Clase II, aleaciones especiales.
- c) Clase III, aleaciones experimentales.
- d) Clase IV, aleaciones maestras.

Clase I, Aleaciones Normales:

La clase I comprende 8 grupos determinados por el elemento de aleación principal y se designan por medio de tres números dígitos, el primero de los cuales identifica al elemento de aleación de mayor porcentaje, como sigue:

Aluminio sin alear de 99.00% mínimo.	1 XX
Cobre	2 XX
Silicio con adición de cobre y/o magnesio	3 XX
Silicio	4 XX
Magnesio	5 XX
Serie no usuales	6 XX
Cinc	7 XX
Estaño	8 XX
Otros elementos	9 XX

En el caso del grupo I XX, los dos últimos dígitos indican el porcentaje mínimo de aluminio, y deben ser idénticos a los dos decimales que expresan la pureza.

En el caso de los grupos 2 XX al 9 XX, los dos últimos dígitos no tienen un significado especial y sirven únicamente para efecto de identificar las diferentes aleaciones dentro de su grupo.

A las modificaciones de las aleaciones originales designadas con la nomenclatura arriba indicada, se les antepone una letra de serie comenzando con la mayúscula A, pero omitiendo las mayúsculas I, O, Q y X (esta última se reserva para aleaciones especiales).

Clase II, Aleaciones Especiales:

La clase II comprende únicamente aleaciones modificadas, las cuales son designadas de dos maneras:

- a) Por medio de la mayúscula "C" seguida de uno, dos o tres dígitos.
- b) Por medio de la mayúscula "C" seguida de otra mayúscula de la A a la Z (excepto de la mayúscula C), y de uno o dos dígitos.

Clase III, Aleaciones Experimentales:

La clase III comprende únicamente aquellas aleaciones que por estar en proceso de experimentación, no están clasificadas en ninguna de las clases anteriores y se designan con la mayúscula X seguida de la nomenclatura de la aleación con que se está expresando.

Clase IV, Aleaciones Maestras:

Las aleaciones de la clase IV se designan con la letra H al principio seguida de cuatro dígitos, el primero de los cuales siempre será el 2 (dos) e indica la condición especial de este grupo de aleaciones para fundición, el segundo dígito indentifica al elemento de aleación principal, y los dos últimos dígitos indican el porcentaje de ese elemento expresado en cifras enteras.

Concordancia con Normas Internacionales: Esta norma no coincide con ninguna norma Internacional por no existir norma Internacional sobre el tema tratado.

2.4) TEMPLAS Y TRATAMIENTOS TERMICOS PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

2.4.1) Norma Oficial W-57-1977.

Objetivo y Campo de Aplicación

Esta norma establece la clasificación y designación de los temple y tratamientos térmicos, que constituyen las formas de entrega de los productos fabricados por los procesos de : laminación, extrusión en caliente y trefilado a partir de lingotes de forma y tamaño conveniente del aluminio y sus aleaciones.

Referencias: Para la correcta aplicación de la presente norma, es necesario consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes: NOM-W-48 y NOM-W-56.

Especificaciones

Clasificación y Designación: Los temple se clasifican de acuerdo a los procesos a que se ha sometido el material y se designan como se indica a continuación:

F: De Fabricación: Se aplica a los productos obtenidos por extrusión o laminación en caliente, cuyas propiedades mecánicas no requieren ser controladas.

O: Recocido: Se aplica a los productos semielaborados por extrusión o laminación, en el estado en que presenten el menor valor de las propiedades mecánicas prescritas.

H: Deformado en Frío: Se aplica a los productos en los cuales se ha aumentado la resistencia mecánica por deformación en frío, con o sin tratamiento térmico complementario para producir ablandamiento parcial, se aplica solamente a las aleaciones no tratables térmicamente. La letra H debe ser siempre seguida de dos o más dígitos.

T: Tratamiento Térmico: Se aplica a las aleaciones endurecidas por precipitación con o sin trabajo mecánico complementario, que produce modificación de las propiedades físicas y mecánicas. La letra T debe estar siempre seguida por uno o más dígitos, que indican la secuencia de tratamientos básicos de índole térmica o mecánica a los cuales debe ser sometido el producto.

W: Solubilizado Térmicamente: Se usa únicamente en aleaciones que envejecen espontáneamente a la temperatura ambiente, después de que se les ha dado el tratamiento térmico de solubilización. Para que esté bien especificado este temple, deberá indicarse el tiempo en que ha ocurrido el envejecimiento natural, por ejemplo: W 1/2 Hr.

Designación de Temples H y T:

Temple H: Debe ser designado de la siguiente forma:

Primer Dígito: Indica la combinación de los procesos a que ha sido sometido el material.

H-1 Sólo deformado en frío.

H-2 Deformado en frío y parcialmente recocido.

H-3 Deformado en frío y estabilizado.

Segundo Dígito: Indica el grado de deformación en frío, de acuerdo con la siguiente codificación:

GRADO	TERMINO COMUN USADO
No. 2	1/4 duro
No. 4	1/2 duro
No. 6	3/4 duro
No. 8	duro

Temple T: Se designa de la siguiente forma:

T-1 Parcialmente Solubilizado y Envejecido Naturalmente: Se aplica a los productos extruidos o colados. Enfriado desde una temperatura elevada derivado de un proceso de conformado, y envejecido naturalmente a una condición sustancialmente estable.

T-2 Recocido: Se aplica exclusivamente a las piezas fabricadas por colada, con el objeto de aumentar su ductilidad e incrementar la estabilidad dimensional.

T-3 Solubilizado y Luego Deformado en Frío.

T-4 Solubilizado y Envejecido Naturalmente.

T-5 Parcialmente Solubilizado y Envejecido Artificialmente: Se aplica a los productos extruidos o colados. Enfriados desde una elevada temperatura, derivada de un proceso de conformado y envejecido artificialmente a una condición sustancialmente estable.

T-6 Solubilizado y Luego Envejecido Artificialmente.

T-7 Solubilizado y Luego Estabilizado.

T-8 Solubilizado, Trabajado en Frío y Luego Envejecido Artificialmente.

T-9 Parcialmente Solubilizado, Envejecido Artificialmente y Luego Trabajado en Frío: Se aplica a los productos extruidos o colados, enfriados desde una temperatura elevada derivada de un proceso de conformado y envejecido artificialmente a una condición sustancialmente estable y luego son trabajados en frío.

T-10 Parcialmente Solubilizados, Trabajados en Frío y Luego Envejecidos Artificialmente: Se aplica a los productos extruidos o laminados, que enfriados desde su alta temperatura de conformado, se someten a un tratamiento en frío por estirado que altera notablemente sus propiedades mecánicas finales, y por último se les envejece artificialmente.

CAPITULO III

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

En este capítulo, conoceremos las propiedades que caracterizan al aluminio como un metal que gracias a su ligereza, buena conductividad, maleabilidad, ductilidad, etc., tiene una gran cantidad de aplicaciones en todas las áreas. Si a esto agregamos, el que las aleaciones mejoran sus propiedades cuando así se requiere, el grado de aplicabilidad de este material aumenta como se ha venido observando en los últimos años.

3.1) PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL ALUMINIO PURO

3.1.1.) Propiedades Físicas.

Características Atómicas y Cristalinas:

Número atómico.....13

Masa atómica.....26.974

El aluminio tiene una estructura cúbica de caras centradas.

Se conocen algunos isótopos artificiales radioactivos de masa atómica 24, 25, 26, 28 y 29; tienen un periodo corto de 2.3 a 7 minutos.

Densidad:

El aluminio puro al 99.99% tiene una densidad de 2.699 a 20°C, un aluminio de pureza 99.5% tiene una densidad de 2.705 a la misma temperatura de referencia.

Características Térmicas:

Punto de fusión: 660.24°C para el aluminio de 99.99%.

Punto de ebullición: 2056°C bajo 760 mm de Hg.

Calor de fusión: 92 Cal/g aproximadamente.

El calor específico disminuye con la temperatura: 20°C.....0.222 Cal/gx°C, -173°C.....0.112 Cal/gx°C, -200°C.....0.070 Cal/gx°C. Con una diferencia de 0.152 Cal/gx°C de 20 a -200°C.

Conductividad térmica: Para el aluminio comercial A5, se admite a 20°C=0.52 Cal/ cm x s x °C. Esta cifra se puede considerar constante prácticamente hasta los 200°C. A bajas temperaturas la conductividad térmica crece al principio pero disminuye rápidamente por debajo de los -230°C.

Coefficiente de Dilatación:

El coeficiente de dilatación lineal del Al de pureza 99.99% en estado sólido crece rápidamente con la temperatura. Generalmente se utilizan los coeficientes de dilatación medios. Coeficiente de dilatación de 20 a 100°C = 0.0000239 por grado C.

Resistencia y Conductividad Eléctrica:

El aluminio puro tiene una resistividad de 0.00000262 Ohmios por cm³. (15.8 ohmios por mil circular pie, en comparación con la Norma Internacional de Cobre Recocido (IACS) de 10.37 ohmios, ambas cifras a 20° centígrados). Se deduce que la conductividad del Al es el 65.4% de la del cobre.

Coefficiente de temperatura de resistividad eléctrica a 20°C es de 0.00429 Ohmios por grado C.

3.1.2) Propiedades Químicas del Aluminio Puro.

Reacción de Oxidación del Aluminio:

El aluminio es un metal eminentemente oxidable.



Sin embargo, es inalterable en el aire ya que se recubre en frío, de una delgada película protectora de alúmina Al₂O₃ muy adherente y compacta, cuyo volumen es 1.28 veces la del metal de que proviene. Una película reciente de alúmina natural tiene un espesor de 0.01μ en frío, es necesario que transcurra más de un año para que llegue a tener un espesor de 0.1μ.

Por calentamiento en aire seco, se llega a una oxidación más rápida, a 500°C. Sobre Al de 99.99% la capa reciente de 0.01μ alcanza 0.07μ en 12 horas, para estabilizarse hacia 0.9μ después de 48 horas, a 500°C. Sobre Al de 99.5% la capa de óxido alcanza 0.6μ de espesor después de 250 horas, a 500°C y continúa creciendo.

El Aluminio reductor:

A alta temperatura, el aluminio reduce la mayor parte de los óxidos metálicos.

Acción del Agua Sobre el Aluminio:

El aluminio entre 0 y 100°C no es atacado por el agua pura, simplemente hay un aumento de espesor en la capa de óxido, por encima de la capa natural de Al₂O₃ anhidra, se construye una capa de Al₂O₃.H₂O cristalizada (boemita), de esta forma se obtiene, por ebullición en agua destilada, una capa total de 0.4μ al cabo de una hora, que pue-

de alcanzar más espesor si se prolonga la ebullición.

El agua bajo presión, a temperatura superior a 100°C , ataca un poco al aluminio de 99.5% y mucho más rápidamente al aluminio refinado de 99.99%.

Acción de los Ácidos y las Bases Sobre el Aluminio:

Se mencionan únicamente los ácidos y bases más comunes, en el capítulo V se complementa este tema con otras sustancias:

Específicamente, el aluminio puro, protegido por su capa de alúmina, es poco o nada atacado por los oxácidos (HNO_3), que no disuelven la capa de Al_2O_3 y pueden eventualmente reformarla. Por el contrario, el aluminio es atacado violentamente por los hidrácidos (HCl), que disuelven el Al_2O_3 así como los álcalis cáusticos.

Acido Clorhídrico: El HCl es el disolvente normal del aluminio; el aluminio de 99.5% se disuelve en él rápidamente, con desprendimiento de calor, y de hidrógeno de una manera tumultuosa.

El ataque es mucho más lento con el aluminio refinado (ver figura 1) y el metal más puro, de 99.999%, es prácticamente inatacable por el HCl en todas las concentraciones.

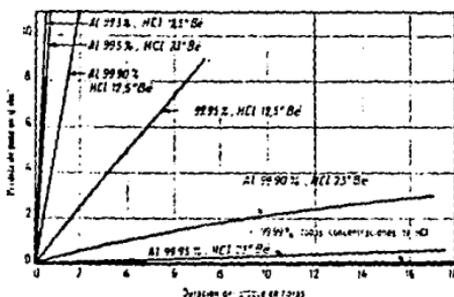


Figura 1.- Ataque al aluminio mediante el ácido clorhídrico.

La disolución ácida más activa es la de HCl de aproximadamente 18°Bé (322 g/lit HCl), cualquiera que sea la pureza del metal.

Acido Sulfúrico: El ataque es mucho menos violento que con HCl , resulta tanto más fuerte a medida que aumenta la concentración de ácido, el aumento de la pureza reduce el ataque pero menos espectacularmente que con el HCl .

Acido Sulfúrico		Pérdida de peso $g/m^2/día$		
%	°Bé	Aluminio 99.5%	Aluminio 99.8%	Aluminio refinado 99.9%
1	0.86	1.2	1.2	0.4
5	4.55	1.8	2.0	0.6
10	9.21	2.4	2.5	0.8
20	18.03	8.9	3.0	1.0
50	41.13	10.0	11.5	2.7
93.5	65.7	35.0	33.6	27.5

Acido Nítrico: El ataque del Al de cualquier pureza es muy débil en el HNO_3 diluido, aumenta hasta un máximo para una disolución de 20° Bé (310 g/lit HNO_3) y disminuye en seguida, para ser prácticamente nulo en el ácido fumante de 48° Bé (94% HNO_3) que, por otra parte se transporta en cisternas de aluminio.

Con el ataque mayor, después de 60 días en HNO_3 a 20° Bé, a $20^\circ C$, se han medido las pérdidas de peso siguientes:

11.4 $g/m^2/día$	para el Al de	99.99%
12.7	" " " " "	99.90%
15.6	" " " " "	99.50%

Sosa Cáustica: Para la sosa cáustica en solución, se ha encontrado que el ataque mayor se alcanza con una disolución de concentración 50 g/lit NaOH aproximadamente. Ver figura 2.

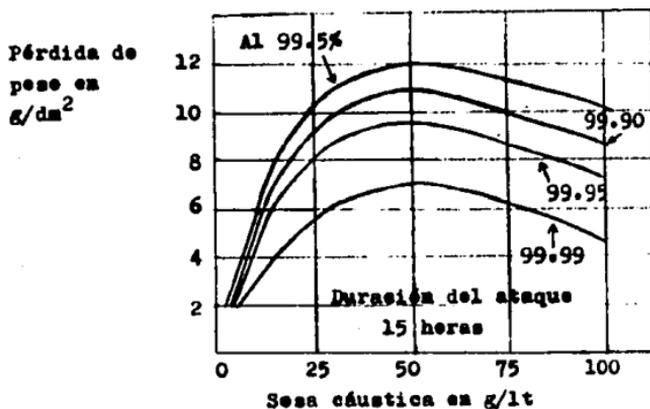


Figura 2.- Ataque del aluminio mediante una disolución de NaOH.

Acción de los Compuestos Orgánicos Sobre el Aluminio:

En el capítulo de corrosión se complementa este tema.

El ácido fórmico es el ácido orgánico más agresivo para el aluminio. El ácido acético en frío, ataca débilmente al aluminio. Los demás ácidos orgánicos tienen una acción más débil aún sobre el aluminio y a veces prácticamente nula.

3.2) PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ALUMINIO ALEADO

3.2.1.) Propiedades Físicas.

Densidad:

Las cantidades relativamente pequeñas de otros metales que se agregan para formar las aleaciones no cambian su densidad en forma apreciable; siendo la aleación más liviana la Alcan 350 con densidad de 2.5 g/cc., y la más pesada la Alcan 250 con densidad de 2.9 g/cc..

El peso liviano de las aleaciones de aluminio junto con su resistencia es una de las principales razones de su uso extenso.

Características Térmicas:

Conductividad Térmica: La aleación con otros metales tiende a reducir la conductividad térmica. La alta conductividad térmica del aluminio frecuentemente es un factor importante en su uso en las industrias de alimentos y la química. Las conductividades térmicas de las aleaciones fraguadas y para fundición aparecen en la referencia indicada con el número 1 de la bibliografía.

Coefficiente de Expansión Térmica: La aleación con otros metales afecta muy poco el coeficiente de expansión.

Punto de Fusión: El punto de fusión en las aleaciones de aluminio, por la presencia de otros metales, es más bajo que en el aluminio puro y la fusión ocurre dentro de un alcance de temperaturas que en general es mayor según aumentan los elementos de aleación. Por ejemplo, una aleación moderada como la Alcan 50S (2% de aleación) se derrite entre 600 y 650°C, en tanto que la Alcan 75S (10% de aleación) se funde entre 475 a 640°C. Los rangos de temperatura de fusión de las aleaciones Alcan se pueden consultar en la referencia indicada con el número 1 de la bibliografía.

Resistividad y Conductividad Eléctrica:

Aunque todas las impurezas y elementos de aleación tienden a reducir la conductividad eléctrica del aluminio, varían mucho en severidad. Si el aluminio contiene muy reducidas cantidades de vanadio o titanio en forma de impurezas, su conductividad resulta seriamente afectada en tanto que el magnesio le afectará poco. El tratamiento térmico en solución también tiende a disminuir la conductividad, pero esta propiedad se restaura con el endurecimiento por envejecimiento subsiguiente. Valores de conductividad eléctrica se pueden consultar en la referencia indicada con el número 1 de la bibliografía.

3.2.2.) Propiedades Químicas del Aluminio Aleado.

Debido a que las aleaciones del aluminio forman un grupo completo de metales, es natural que algunas sean mejores que otras en condiciones corrosivas. Aunque el cambio de ambiente puede cambiar su orden de mérito, tanto las aleaciones fraguadas como las de fundición pueden dividirse en tres categorías generales. El aluminio super puro (99.99%) tiene mejor resistencia a la corrosión que cualquier aleación de aluminio, pero normalmente no es conveniente para aplicaciones comerciales.

Una aleación con 0.5% de Fe + 0.5% de Ni resiste muchos miles de horas en el agua a 350°C.

Efecto del HCl:

Tan importante como la pureza del aluminio, resultan las impurezas presentes. El Fe, que no entra en solución sólida prácticamente, es mucho más nocivo que el cobre, que queda en solución sólida hasta casi el 1%, siendo así mismo más nocivo que el Si. Ver figura 3, en la página siguiente (28).

Aleaciones Fraguadas:

Las aleaciones fraguadas más resistentes a la corrosión son las que contienen magnesio. Estas aleaciones, Alcan B54S, C54S, 56S y 57S pueden compararse favorablemente con el metal Alcan 1S, 99.5% puro. Son especialmente resistentes a la corrosión producida por el agua salada y las atmósferas marinas.

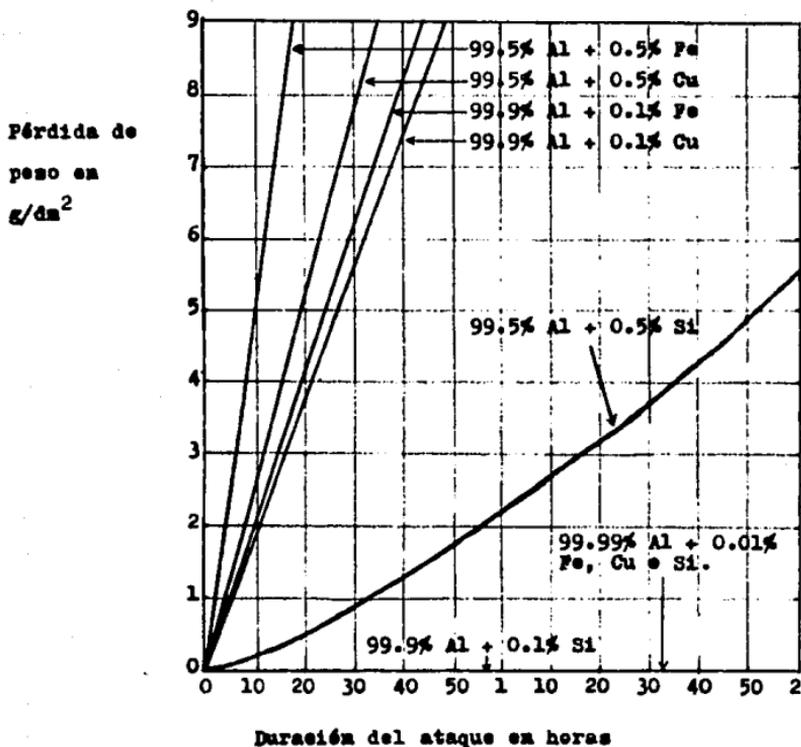


Figura 3.- Ataque al Al mediante el HCl en función de los contenidos de Si, Cu o Fe en el metal.

Muy cerca de ese primer grupo están las aleaciones de baja resistencia Alcan 2S y 3S, y las aleaciones de siliciuro de magnesio tratables térmicamente Alcan 50S y 65S.

En tercer lugar están las aleaciones de alta resistencia tratables térmicamente que contienen cobre Alcan 17S, 24S y 26S, las que contienen cinc, Alcan 75S. Estas aleaciones no son adecuadas en am-

bientes agresivos sin adecuada protección. La lámina de estas aleaciones frecuentemente se suministra con coraza de Alclad (ver capítulo de corrosión, en el tema de protecciones) y en tal caso la resistencia a la corrosión se determina por la aleación de la coraza.

Aleaciones Para Fundición:

Las aleaciones para fundición tienen características semejantes a las aleaciones fraguadas. La serie de aleaciones de magnesio Alcan A320 y 350 tienen la mejor resistencia a la corrosión y le sigue la serie de silicio sin cobre Alcan 123, 135 y 160X. Las aleaciones que contienen cobre Alcan 225, 236 y 250 son menos resistentes.

3.3) EFECTO DE LOS ALEANTES

En fundición, el hecho de adicionar algunos elementos al aluminio puro es por alguna de estas razones:

- a) Para mejorar las características de fusión tales como; incremento de fluidez, reducir las contracciones o rechupes.
- b) Para proporcionar ciertas características deseadas en piezas terminadas tales como; aumentar la resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, maquinabilidad, soldabilidad, o hacer piezas susceptibles a un tratamiento térmico.

Los elementos aleantes agregados intencionalmente deben caer dentro de un cierto rango en la composición química. Este rango dependerá de las propiedades requeridas de la aleación, así como del diagrama de equilibrio correspondiente.

Los elementos usados con frecuencia son: Silicio, Cobre, Magnesio, Titanio y Boro; otros elementos menos comunes son: Manganeso, Cinc, Níquel, Cromo, Estaño, Hierro, Sodio y Berilio. Para producir las piezas con las características y propiedades mecánicas requeridas, todos y cada uno de los elementos agregados deben ser controlados. Cuando un elemento ofrece ventajas para una aleación, puede ser dañino a otra.

Las características de las piezas y el efecto del uso de varios elementos, se mencionan a continuación, además se muestran sus respectivos diagramas de equilibrio.

3.3.1) Cobre (Cu).

Fue uno de los primeros elementos usados en el aluminio y aún se utiliza. Proporciona dureza a las piezas de aluminio; incrementa la resistencia a las aleaciones tanto con tratamientos térmicos como sin ellos. El cobre es totalmente soluble en el aluminio a elevadas temperaturas (5% a 526°C), y ligeramente soluble a un porcentaje aproximado de 0.1, en el aluminio a temperatura ambiente. La diferencia en la solubilidad del cobre a diferentes temperaturas es la característica que hace que las aleaciones de aluminio sean susceptibles a tratamientos térmicos.

La habilidad de responder a los tratamientos térmicos es importante ya que proporciona grandes mejoras en las propiedades mecánicas de la aleación.

En la fundición, el cobre tiene grandes ventajas, cuando se trabaja con el aluminio porque previene las concentraciones internas y mejora la maquinabilidad de las piezas; sin embargo las adiciones de cobre hacen a la aleación más difícil en el vaciado que las aleaciones de silicio, por la falta de fluidez en el metal.

El cobre en las piezas de aluminio reduce en alto grado la resistencia a la corrosión, debido a la formación de pares galvánicos que se encuentran alrededor de las partículas del cobre como constituyentes en la matriz del aluminio, esto sucede en presencia de humedad. Por lo que en lugares húmedos, atmósferas marinas, etc., esta aleación es mucho más susceptible a la corrosión. La corrosión se incrementa rápidamente con cantidades que van de 0.3 al 1% de cobre de contenido. Posteriormente si se le adiciona más cobre, aumentará la corrosión, pero más lentamente.

Con referencia a las tablas de composición química en normas, revelan que el cobre se encuentra en piezas de aluminio en cantidades que varían del 0.1 al 10.5%. De hecho en adiciones superiores al 1%, aumenta progresivamente la dureza en la aleación resultante. En la figura 4 se presenta el diagrama de equilibrio Al-Cu.

3.3.2) Magnesio (Mg).

Es muy probable que el siguiente elemento en importancia sea éste, en lo que se refiere en adiciones al aluminio, ya que el magnesio como el cobre tienen grandes características de solubilidad requeridas para un tratamiento térmico de la aleación. Las aleaciones de alu-

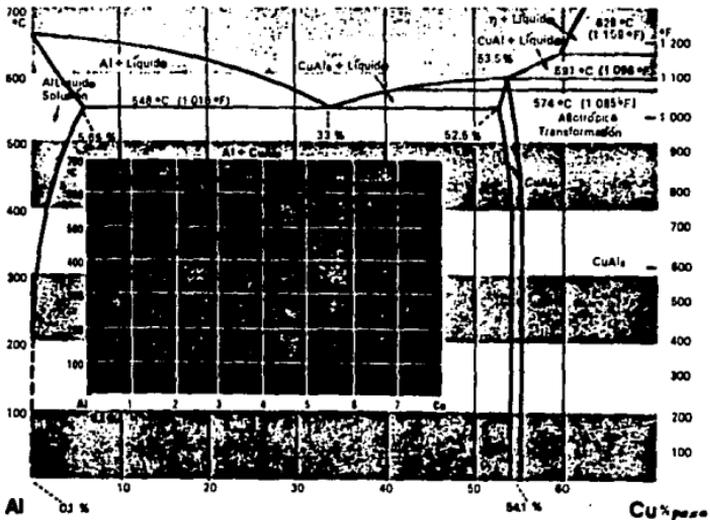


Figura 4.- Diagrama de equilibrio Al-Cu.

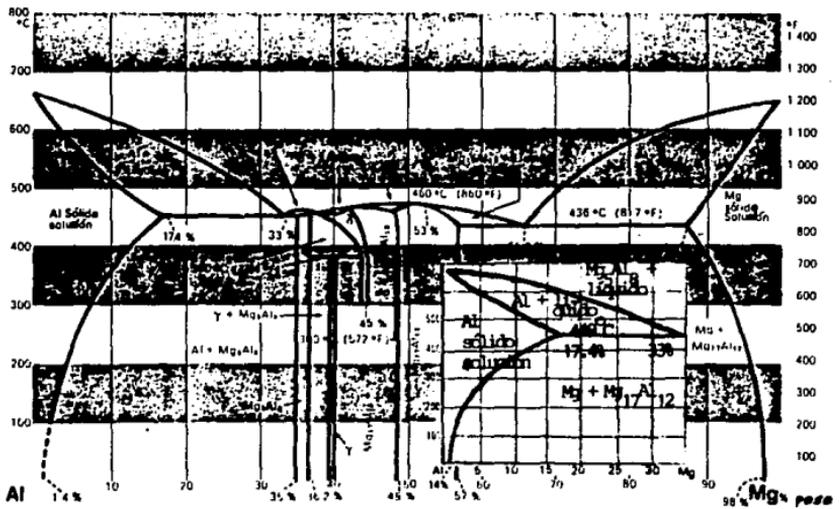


Figura 5.- Diagrama de equilibrio Al-Mg.

minio que contienen arriba del 8% de magnesio, responden satisfactoriamente al tratamiento térmico, no así aleaciones de bajo contenido de magnesio, a menos que otros elementos tales como el cobre o el silicio estén presentes.

Las adiciones de magnesio dificultan el vaciado del metal debido a su tendencia de formar escoria. Los residuos de Fe, Si, Cu y otros elementos son muy perjudiciales en las propiedades mecánicas de las aleaciones binarias Al-Mg. Este problema aumenta al incrementarse el contenido de magnesio, por esta razón, se requiere un cuidado especial cuando se manejan directamente las aleaciones Al-Mg.

En general, las adiciones de magnesio proporcionan incremento tanto en la resistencia como en la ductilidad, también aumenta la resistencia a la corrosión y mejora la maquinabilidad. En la figura 5 se reproduce el diagrama completo Al-Mg.

3.3.3.) Silicio (Si).

Con límites arriba del 15% es el elemento más frecuentemente usado, mejora la fluidez en el baño permitiéndole al metal correr con más facilidad a través de las paredes delgadas del molde y llenar las cavidades de éste reproduciendo así fielmente cualquier detalle en la pieza. También reduce el rechupe externo, reduce el coeficiente de expansión y evita la soldabilidad.

Su contribución a la maquinabilidad no es muy apreciable pero sí incrementa la resistencia de la pieza, particularmente cuando está combinado con el magnesio y de esta forma hace susceptible a la pieza de ser tratada térmicamente.

Preferentemente el silicio debe estar presente en la pieza en su forma modificada, esto es, granos redondeados, amplía y homogéneamente distribuidos. Cuando se presenta como cristales primarios o pequeñas láminas en la estructura de la pieza, bajan notablemente las propiedades mecánicas de la pieza.

La tendencia a retransformarse a cristales primarios aumenta a medida que se incrementa el contenido de silicio, o bien por mantenimiento prolongado en estado líquido. Frecuentemente es necesario modificar el silicio por medio de tratamientos con sodio.

Por lo que éstas aleaciones se vacían únicamente en molde permanente a gravedad o en dado, los cuales pueden soportar altos conte-

nidos de silicio (8 al 12%), porque solo en este tipo de vaciado hay un enfriamiento suficientemente rápido con el cual se obtiene una estructura modificada.

Cuando una pieza conteniendo silicio es expuesta a la temperatura ambiente o se trata térmicamente, tiende a cambiar de color, lo que no sucede con piezas que no lo contienen.

Cuando el hierro se encuentra en exceso (p.e. 1.5%), en aleaciones de alto silicio puede ocasionar una estructura burda y quebradiza. Se usa y controla debajo de este rango para prevenir que el aluminio líquido se adhiera a los dados en las industrias que usan el sistema de vaciado por dado (die casting).

Se concluye que la contaminación del hierro debe conservarse al mínimo, en aleaciones de Al-alto Si. La figura presenta el diagrama de equilibrio Al-Si.

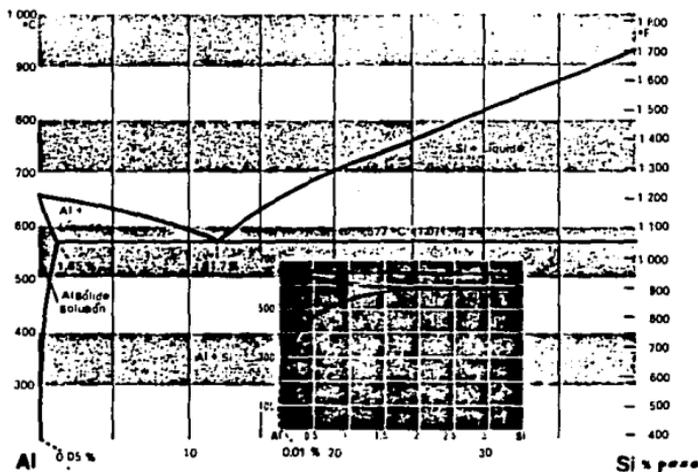


Figura 6.- Diagrama de equilibrio Al-Si.

3.3.4.) Cinc(Zn).

El hecho de adicionar este elemento al aluminio hace a éste de fácil fusión y produce rechupes cuando se usa en grandes cantidades, es vital en cualquier aleación para obtener las mejores características, así mismo, los alimentadores y las correderas usadas en el vaciador de estas aleaciones deben ser amplios.

La adición de cinc y particularmente en combinación con magnesio produce buena resistencia al impacto, alta resistencia y excelente ductilidad. Pequeñas cantidades de cinc en las aleaciones de cobre ayuda a mejorar la maquinabilidad. La figura 7 presenta el diagrama de equilibrio Al-Zn.

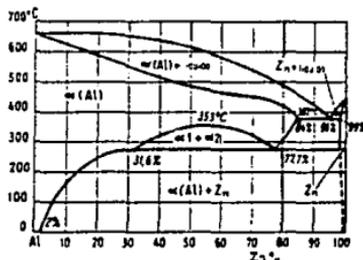


Figura 7.- Diagrama de equilibrio Al-Zn.

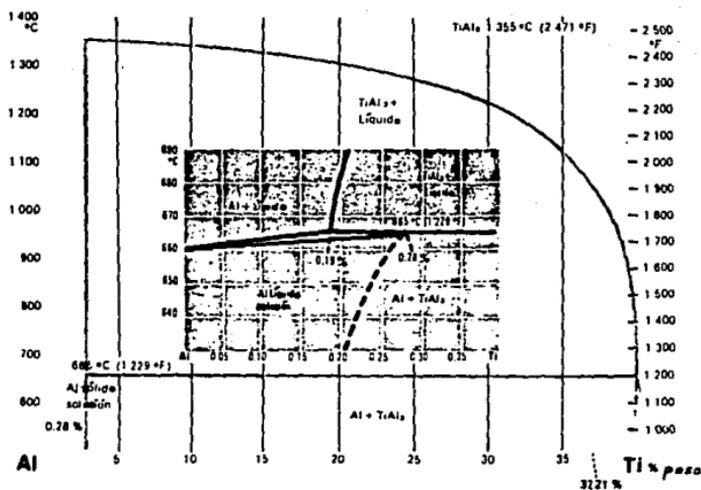
3.3.5.) Titanio (Ti).

Este elemento generalmente se adiciona como refinador de grano (0.05-0.20%) para todas las aleaciones que se vacían en arena o en molde permanente a gravedad, ésto es para cuando se desean mejorar las propiedades mecánicas de la pieza. El titanio no se agrega a piezas vaciadas fabricadas en molde permanente a presión (die casting), debido a que el enfriamiento es muy rápido y consecuentemente proporciona un grano fino. También el metal con el grano refinado es ligeramente menos fluido y por lo tanto origina problemas en la obtención de las piezas. El titanio resta conductividad térmica a las aleaciones de aluminio, pero mejora su resistencia a la tensión y su ductilidad. Las aleaciones que se usan con más frecuencia, emplean un máximo de 0.2% de este elemento, y para mejores resultados, generalmente se adiciona junto con boro. Diagrama de equilibrio Al-Ti, figura 8.

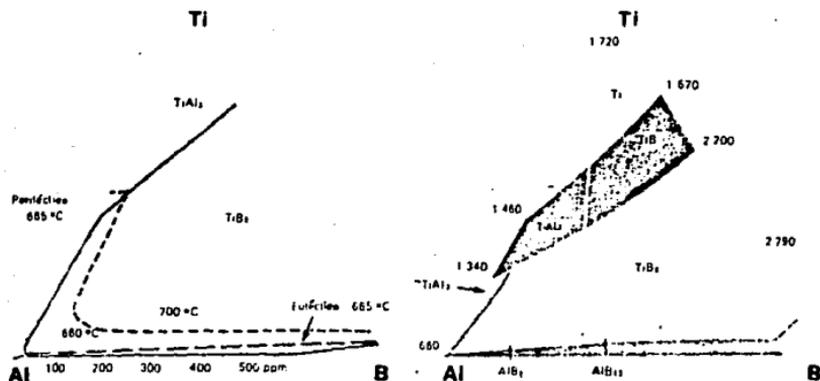
3.3.6.) Boro (B).

El boro proporciona un buen refinamiento de grano cuando se usa en combinación con titanio. Sin los beneficios del boro, los efectos de refinamiento de grano del titanio se reducen considerablemente. También mejora la resistencia a la tensión y la ductilidad. Mientras las cantidades requeridas sean pequeñas, el contenido de boro es cuidadosamente controlado y rara vez debe exceder de 0.01% en cualquier aleación de aluminio. Figura 9, diagrama de equilibrio Al-B-Ti.

Figura 8.- Diagrama de equilibrio Al-Ti.



Figra 9.- Diagrama de equilibrio Al-B-Ti.



3.3.7.) Hierro (Fe).

Las adiciones de hierro en ocasiones se emplea para reducir las contracciones en las aleaciones de aluminio, por otra parte, también actúa como refinador de grano. Sin embargo, aleaciones de silicio conteniendo porcentajes de hierro mayores al 5% proporcionan cristales gruesos y por ende estructuras quebradizas. El hierro arriba del 0.8% es preferible que venga acompañado de un 8% o más de silicio ya que de esta forma contrarrestan la soldabilidad del metal con los dados en piezas fabricadas en máquinas de presión. El contenido de hierro permitido en las aleaciones de aluminio, debe ser controlado entre los límites de 0.12 a 1.2%, de otra manera afectará directamente las propiedades mecánicas de la aleación. Figura 10, diagrama de equilibrio Al-Fe.

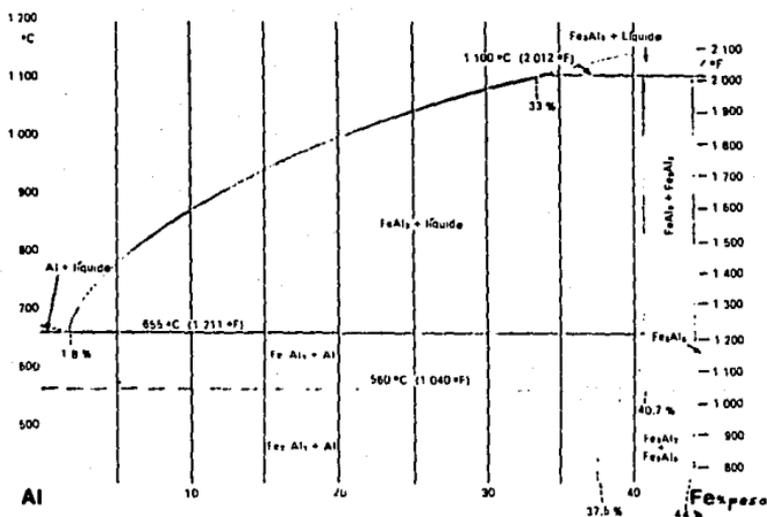


Figura 10.- Diagrama de equilibrio Al-Fe.

3.3.8) Manganeso (Mn).

Las adiciones de éste, actúan como refinador de grano y reduce los rechupones. Junto con el cobre y el silicio, el manganeso mejora

la resistencia de las piezas que son sometidas a altas temperaturas. Sin embargo el control del contenido de manganeso en combinación con hierro debe ser estricto, ya que de no ser así las propiedades mencionadas anteriormente se verán perjudicadas por la formación de partículas grandes de constituyentes primarios que se manifiestan en bajas resistencias y no se notarán los beneficios alcanzados por las adiciones de manganeso. Figura 11, diagrama de equilibrio Al-Mn.

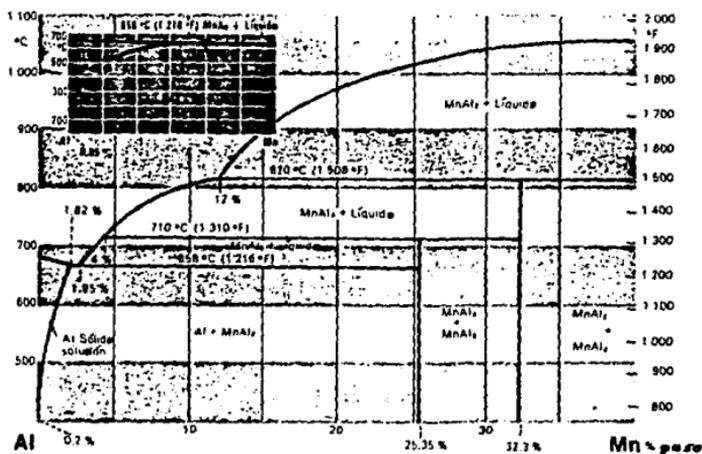


Figura 11.- Diagrama de equilibrio Al-Mn.

3.3.9.) Cromo (Cr).

Se adiciona para mejorar la resistencia a elevadas temperaturas, también para reducir las fracturas por esfuerzo o de corrosión en ciertas aleaciones tales como Al-Zn-Mg y en ocasiones también actúa como refinador de grano, si se usa junto con titanio. La figura 12, nos presenta el diagrama de equilibrio del Al-Cr.

3.3.10.) Níquel (Ni).

Mejora la estabilidad dimensional y la resistencia a elevadas temperaturas. Siempre se usa en combinación con otros elementos aleantes. Es importante la presencia del níquel en la composición química de piezas industriales. Sin embargo hay que tomar en cuenta que contenidos del 5% o más de níquel en las aleaciones de aluminio ocasiona-

Figura 12.- Diagrama de equilibrio Al-Cr.

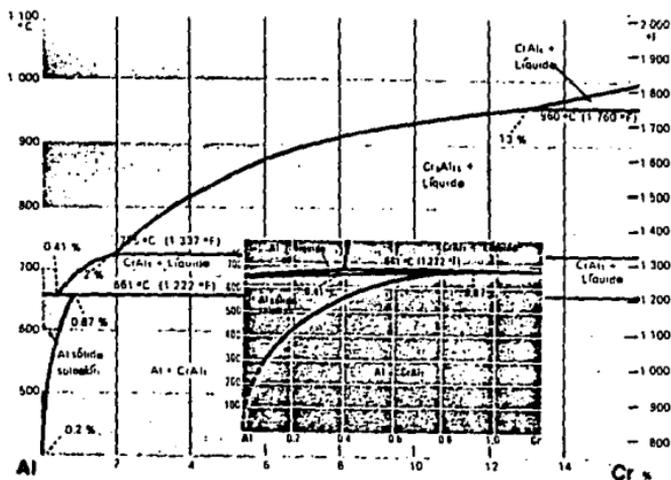
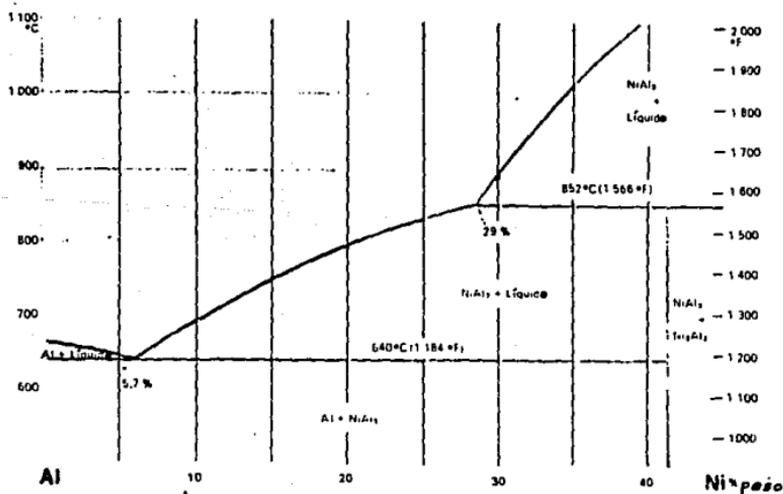


Figura 13.- Diagrama de equilibrio Al-Ni.



ría en la pieza grandes contracciones, ahora, generalmente en este tipo de aleaciones y con el fin de obtener óptimos resultados el contenido de níquel debe conservarse entre un 0.5 a un 3% máximo. La figura 13, presenta el diagrama de equilibrio Al-Ni.

3.3.11.) Berilio (Be).

Tiene la importante facultad de estar capacitado para reducir el contenido de magnesio en la escoria en el momento de vaciar aleaciones con 4% o más de magnesio. Este previene las pérdidas de magnesio, por el quemado durante las operaciones de fusión. Las cantidades de berilio requeridas son pequeñas y generalmente controladas abajo del 0.01 por ciento. El diagrama de equilibrio, en la figura 14.

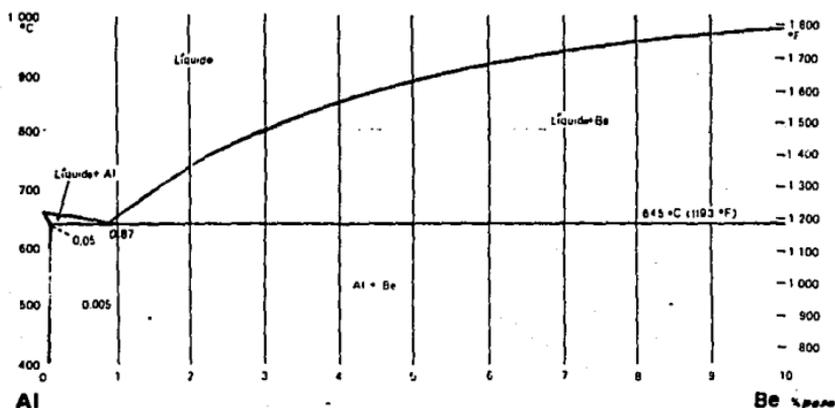


Figura 14.- Diagrama de equilibrio Al-Be.

3.3.12.) Estaño (Sn).

El estaño se adiciona fácilmente en el momento que el metal empieza a fundirse, aunque es necesaria una considerable agitación debido a la densidad del material. Este elemento se usa para mejorar la maquinabilidad de las aleaciones de cobre, también sirve para proporcionar una fina resistencia a la fricción cuando se usa junto con las adiciones de cobre y níquel. Las piezas de aleaciones comunes

de aluminio emplean diferentes cantidades de estaño en sus adiciones y estas dependen de la aleación de que se trate.

3.3.13.) Plomo (Pb).

El plomo es difícil que el baño en estado líquido lo absorba, primeramente debido a su alta densidad y límite de solubilidad.

El plomo se usa como un elemento aleante porque mejora la maquinabilidad de las aleaciones, especialmente cuando se usa junto con el estaño o el bismuto. Las cantidades de este elemento no deben exceder del 0.5% y debe conservarse dentro de los límites.

ENSAYOS MECANICOS

Las propiedades mecánicas se determinan por ensayos rutinarios de muestras seleccionadas como representativas del producto.

Se obtienen barras de ensayo de muestras que han sido elaboradas del mismo modo que el producto, excepto en el caso de piezas forjadas y fundidas. Los ensayos de piezas fundidas se hacen con barras del mismo metal que la pieza fundida y elaborada al mismo tiempo. Con las piezas forjadas los ensayos generalmente se hacen en pedazos que se cortan del mismo metal de la pieza.

4.1) ENSAYO DE DUREZA

Todos los ensayos de dureza son empíricos y aunque hay tablas que indican la relación entre ellas, las cifras "equivalentes" tienen que usarse con reserva.

Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías:

- a) Dureza elástica.
- b) Resistencia al corte o abrasión.
- c) Resistencia a la indentación.

4.1.1.) Dureza Elástica.

Este tipo de dureza se mide por medio de un escleroscopio, que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo con emboquillado de diamante, después de caer por su propio peso desde una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. La altura de rebote se indica por un número sobre la escala arbitraria tal que cuando mayor sea el rebote, mayor será el número y la pieza a prueba será más dura. Esta prueba es realmente una medida de la resistencia del material, o sea, la energía que puede absorber en el intervalo elástico.

4.1.2.) Resistencia al Corte o Abrasión.

Los métodos para ésta prueba se describen a continuación:

Prueba de Rayadura: Esta prueba la ideó Friedrich Mohs. La esca-

la consta de diez minerales normales arreglados siguiendo un orden de incremento de dureza. El talco es el 1, el yeso el 2, etc.; hasta el 9 para el corindón y el 10 para el diamante. Esta prueba no se utiliza mucho en metalurgia.

Prueba o Ensayo de Lima: La pieza a prueba se somete a la acción de corte de una lima de dureza conocida, para determinar si se produce un corte visible, las pruebas comparativas con una lima dependen del tamaño, forma y dureza de la lima, de la velocidad, presión y ángulo de limado durante la prueba. La prueba generalmente se emplea en la industria como aceptación o rechazo de una pieza.

4.1.3.) Resistencia a la Indentación.

Esta prueba generalmente se realiza imprimiendo en la muestra la cual está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca.

Los métodos más comunes para pruebas de dureza por indentación son: Brinell, Rockwell y Vickers; y se describen a continuación.

Ensayo de Dureza Brinell:

La norma oficial W-14-79, establece el método Brinell para medir la dureza por penetración en el aluminio y sus aleación. De esta norma se cita lo más importante acerca de este ensayo.

Símbolos y Abreviaturas: En la figura 15 y en la Tabla VIII, se incluyen los símbolos usuales y su significado expresados en el sistema internacional de unidades.

Símbolo	Significado	Unidades
D	Diámetro del penetrador	milímetros
F	Carga de prueba	Newtons
d	Diámetro medio de la huella	milímetros
h	Profundidad de la huella	"
Dureza Brinell=Constante por carga de prueba/		Area de la superficie de la huella.
$HB = \left[0.204 \frac{F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \right]^{\frac{1}{2}}$		

Tabla VIII.- Símbolos y significados.

El número de dureza Brinell se expresa seguido por las letras HB y por otros tres números que especifican las condiciones de la prueba en el orden siguiente:

- Diámetro del penetrador en mm.
- Carga de prueba en Nw.
- Duración de la carga en segundos.

Las cargas a usar deben ser las siguientes:

$F=2.5 D^2$ Para materiales con dureza Brinell igual o menor que 35.

$F=5 D^2$ Para materiales con dureza Brinell comprendida entre 35 y 80.

$F=10 D^2$ Para materiales con dureza Brinell mayor que 80.

Penetrador: El diámetro del penetrador no debe ser menor de 1mm. Los diámetros usuales son los siguientes: 1,2,2.5,5 y 10mm., con las tolerancias sobre los diámetros indicados en la Tabla IX.

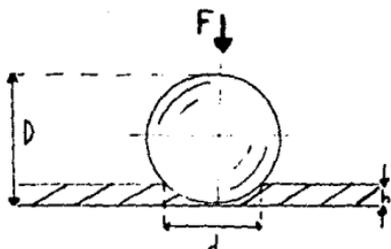


Figura 15.- Simbología para un indentador.

Diámetro del penetrador (mm).	Tolerancia en el diámetro (mm).	Valor máximo de la diagonal media hecha con un penetrador Vickers a 10 Kgf (mm).
10	+0.0045	0.146
5	+0.0040	0.145
2.5	+0.0035	0.143
2	+0.0035	0.142
1	+0.0035	0.139

Tabla IX.- Especificaciones del penetrador.

Concordancia con Normas Internacionales: Esta norma coincide básicamente con la recomendación ISO/R 191.

Ensayo de Dureza Rockwell:

El número o índice de dureza Rockwell, se obtiene directamente de la esfera de la máquina. En esta prueba se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial. Hay dos tipos de máquinas Rockwell: el probador normal para secciones relativamente gruesas y el probador superficial para secciones delgadas. La carga menor es de 10 Kg en el probador normal y de 3 Kg en el probador superficial. Generalmente las cargas mayores son de 60, 100 y 150 Kg en el probador normal; y de 15, 30 y 45 Kg en el probador superficial.

Los indentadores incluyen bolas de acero con diámetros desde 1/16 de pulgada hasta 1/2 de pulg. (1.58 a 12.7 mm) y un marcador esférico de diamante de 120°.

Debido a la multiplicidad de escalas, el número de dureza Rockwell debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedido de los números de dureza.

La figura 16 presenta aproximadamente la correlación entre las escalas Rockwell y la Brinell para diferentes aleaciones de aluminio.

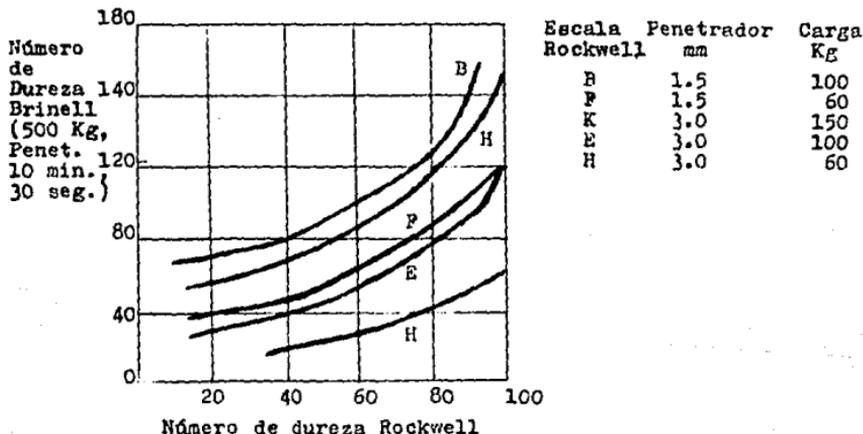


Figura 16.- Correlación aproximada entre la dureza Brinell y la dureza Rockwell de diferentes aleaciones de aluminio.

Como las cargas y los indentadores son menores que los utilizados en la prueba Brinell, la prueba Rockwell puede emplearse en muestras delgadas y probarse tanto los materiales más duros como los más blandos.

Ensayo de Dureza Vickers:

En este ensayo se utiliza un indentador de diamante en forma de pirámide con un ángulo incluido de 136° entre las caras opuestas. Ver figura 17.

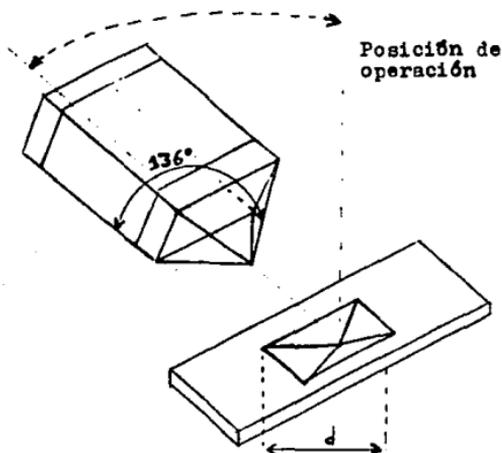


Figura 17.- Indentador utilizado en la prueba de dureza Vickers.

El intervalo de carga está generalmente entre 1 y 120 Kg. El probador de dureza Vickers funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell, y los números se expresan en términos de carga y área de la impresión. Por lo general, hay tablas para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers (HV) o por medio de la fórmula $HV = (1.854 L/d^2)$.

Donde: L=Carga aplicada en Kg.

d=Longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión.

El probador Vickers es útil para medir la dureza de las hojas muy delgadas así como secciones pesadas.

El probador Vickers es el más sensible de los probadores de dureza utilizados en la producción industrial. Tiene una sola escala común para todos los materiales y el número de dureza es virtualmente independiente de la carga.

4.2) ENSAYO A LA TRACCION

De la norma oficial W-47-1980 se mencionan los aspectos más importantes.

Esta norma establece el ensayo a la tracción para determinar las propiedades mecánicas en el aluminio y sus aleaciones en cualquier forma física excepto las de papel, polvos y sintetizados, a la temperatura ambiente y a baja velocidad de formación.

Símbolos y Designaciones: En la figura 18 y en la Tabla X, se incluyen los símbolos usuales y su significado.

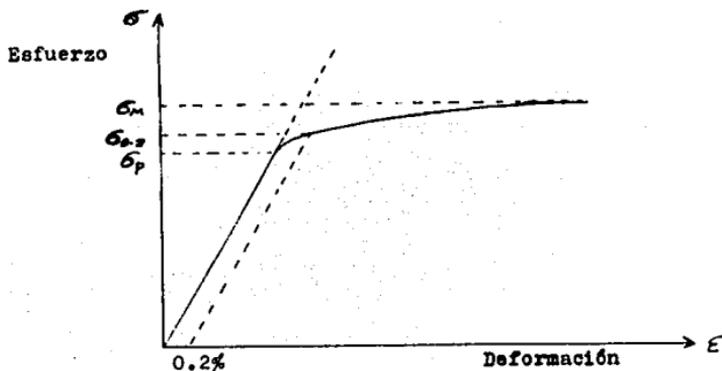


Figura 18.- Diagrama esfuerzo-deformación para la determinación del esfuerzo de cedencia por el método de deformación al 0.2%.

Probetas: Las probetas pueden ser piezas especialmente maquinadas, o pueden ser piezas cortadas directamente del material a ensayar (probetas de sección completa).

Símbolo	Designación
σ	Esfuerzo.
ϵ	Deformación.
σ_m	Esfuerzo máximo de tracción.
$\sigma_{c0.2}$	Esfuerzo de cedencia a la tracción.
ϵ_f	Alargamiento.
E	Módulo de elasticidad.
Q_m	Carga máxima.
σ_p	Límite proporcional.
$\sigma_{0.2}$	Esfuerzo de cedencia al 0.2%.

Tabla X.- Símbolos y designación.

Si la forma y/o el tamaño del material a ensayar no permiten el uso de probetas de sección completa, se usará la probeta maquinada de sección circular. Ver figura 19.

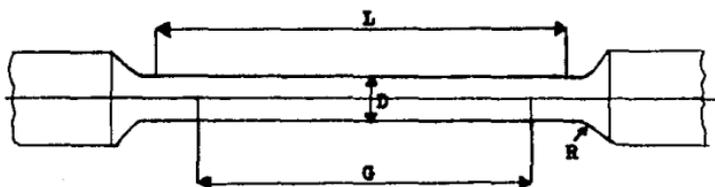


Figura 19.- Probeta con sección circular de 12.5mm, con longitud entre marcas de 50 mm.

Donde: G=Distancia entre marcas.

D=Diámetro.

R=Radio del filete.

L=Longitud mínima de la sección reducida.

Concordancia con Normas Internacionales: Esta norma no coincide con ninguna norma internacional por no existir norma internacional sobre el tema.

4.3) ENSAYO A LA FATIGA

La fatiga es la tendencia de los materiales (metales) a romperse al ser sometidos a esfuerzos ciclicos repetidos, que son considerablemente más bajos que la resistencia a la tracción.

El esfuerzo al que se somete la muestra durante la prueba varía continuamente entre dos valores, de los cuales el máximo suele ser menor que el de la resistencia a la cedencia del material. Los ciclos de esfuerzo se aplican hasta que se alcanza la falla de la muestra o un número de ciclos límite.

La propiedad más comúnmente usada en las aleaciones de aluminio es el límite de fatiga, que es definido como el esfuerzo que la aleación puede resistir a 500 millones de ciclos. La figura 21 muestra algunas curvas típicas.

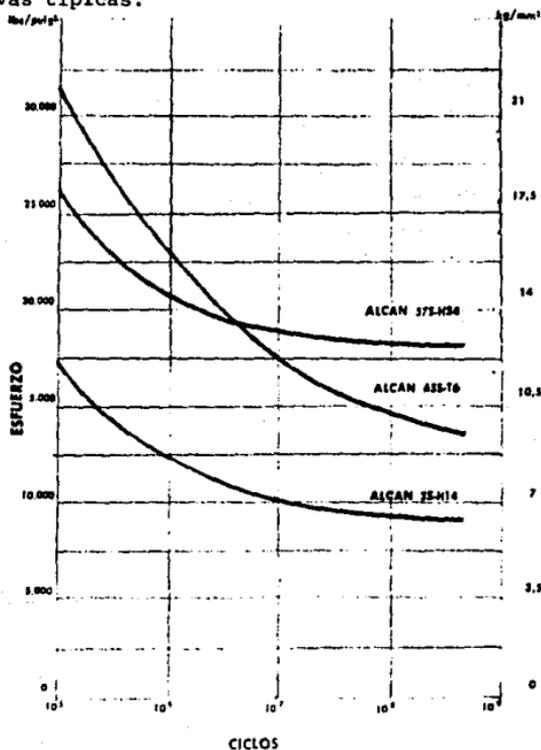


Figura 21.- Resistencias a la fatiga típicas de las aleaciones de Al.

Como se puede ver en la Tabla XI donde se relaciona el límite de fatiga y el esfuerzo de tensión, aquí se muestra que la relación entre estas dos propiedades es 0.3 veces para aleaciones tratadas térmicamente y 0.5 veces para recocidos no tratadas térmicamente.

Tabla XI.- Relación entre límite de fatiga y esfuerzo a la tensión para algunas aleaciones de aluminio.

Aleación y temple	Fatiga Kg/cm ²	Tensión Kg/cm ²	Relación entre F y T
1100-0	350	910	0.38
3003-0	490	1120	0.44
3004-0	980	1820	0.54
5050-0	910	1410	0.62
5052-0	1120	1960	0.57
2014-T6	1260	4900	0.26
2024-T4	1400	4760	0.29
7178-T6	1540	6160	0.25
5052-H34	1260	2660	0.47

Las pruebas de fatiga se utilizan ampliamente para estudiar el comportamiento de los materiales no sólo para observarlos bajo distintos tipos e intensidades de carga fluctuantes, sino también para determinar el efecto de la corrosión, las condiciones de superficie, la temperatura, el tamaño y la concentración de esfuerzos.

4.4) ENSAYO AL IMPACTO

Por lo general, para las pruebas de impacto se utilizan muestras tipo muescas. Dos tipos de muesca de tipo general se usan en pruebas de flexión por impacto: la muesca ojo de cerradura y la muesca en V.

Así mismo, se usan dos muestras, la Charpy y la Izod, como se indica en la figura 22.

4.4.1.) Muestra Tipo Charpy.

La muestra Charpy se coloca en un tornillo de banco de madera semejante a una viga sencilla soportada en ambos extremos.

La máquina de impacto ordinaria tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura normal, dependiendo del tipo de muestra que se pretenda probar (Ver figura 22). La muestra Charpy se golpeará atrás de la muesca en V.

4.4.2.) Muestra Tipo Izod.

La muestra Izod se coloca en el tornillo de banco de modo que un extremo quede libre y sea, por tanto, una viga volada, a diferencia de la tipo Charpy la cual queda sujeta en ambos extremos. Al efectuarse la prueba, la muestra Izod estará colocada con la muestra en V de cara al péndulo, de manera que se golpeará arriba de la muesca en V.

El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de alturas indicará la energía, generalmente en libras-pie, absorbida por la muestra, o sea la resistencia al impacto de la muestra con la muesca.

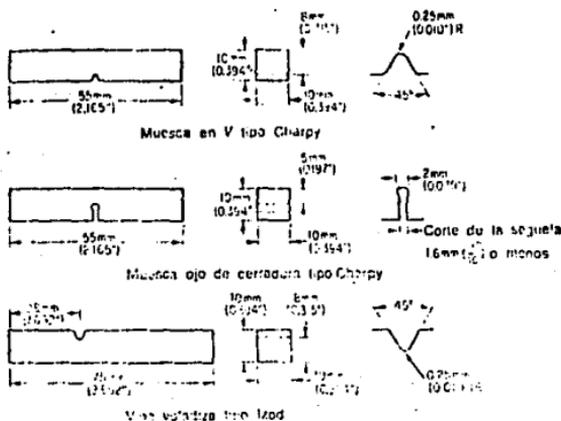


Figura 22.- Muestras para pruebas de impacto tipo muescas.

4.5) ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto efectuado en cualquier forma que no impida su utilidad futura. Aunque en la mayoría de los casos, estas pruebas no dan una medición directa de las propiedades mecánicas, son muy valiosas para localizar defectos en los materiales que podrían afectar el funcionamiento de una pieza de una máquina cuando entra en servicio.

Esta prueba se utiliza para hacer productos más confiables, seguros y económicos.

Los métodos de prueba o inspecciones no destructivas más comunes son:

- a) Radiografía.
- b) Inspección por partículas magnéticas.
- c) Inspección por penetración fluorescente.
- d) Inspección ultrasónica.
- e) Inspección por corrientes eléctricas parásitas.

Para mayor información y detalles respecto a estas pruebas, referirse a la obra indicada con el número 4 de la bibliografía.

CAPITULO V

CORROSION

Se llama corrosión a la destrucción más o menos rápida y más o menos completa de los materiales metálicos sometidos a la acción de un medio. Se llama "oxidación" a todo fenómeno químico por el que un metal pierde uno o más electrones, siendo la oxidación una de las formas de corrosión.

En todo fenómeno de corrosión hay, por consiguiente (al menos en el origen), dos partes presentes, cada una de las cuales es más o menos compleja: el material y el medio.

5.1) TIPOS DE CORROSION

Modos de Corrosión:

El proceso de ataque del material por parte del medio puede ser químico o electroquímico.

La corrosión química proviene en todos los casos de la reacción química directa del metal y del medio ambiente; por ejemplo, se trata de la reacción entre un gas y un metal; reacción entre el oxígeno y el aluminio. A veces se le llama corrosión seca.

Abarca también la corrosión por líquidos no electrolíticos: líquidos orgánicos, ácidos anhídros, etc.

La corrosión electroquímica corresponde a los procesos en los que existe una corriente eléctrica, resultante de un desplazamiento de electrones de una parte del metal a otra y formación de zonas anódicas y catódicas.

Por otro lado, la mayor parte de los casos de corrosión no son puramente electrolíticos, en el sentido de que, si en su origen, la corrosión comienza partiendo de un efecto electrolítico, y después, las modificaciones del medio que crean, entrañan generalmente reacciones químicas, especialmente reacciones entre los productos formados sobre el ánodo y los formados sobre el cátodo.

Formas de Corrosión:

La corrosión es un fenómeno complejo que puede tomar una o varias formas. Por lo común, se limita a la superficie del metal y esto

se conoce como corrosión general; pero hay veces en que tiene lugar a lo largo de límites de granos u otras líneas débiles, por diferencias en la resistencia a los ataques o a una acción electrolítica local.

Corrosión Uniforme: En la corrosión uniforme, como por ejemplo, el ataque del aluminio por una solución de sosa, toda la superficie resulta afectada, y si el metal era inicialmente brillante como en el caso de chapas de fabricación corriente, llega ser regularmente mate. Naturalmente, se trata de una corrosión uniforme a escala macrográfica.

Las formas de corrosión por zonas o localizadas, más comunes son:
5.1.2.) Corrosión Por Picadura.

Las picaduras son una forma de corrosión que se desarrolla en zonas muy localizadas de una superficie metálica. Esto da como resultado el desarrollo de cavidades o socavamientos, que pueden ir desde las cavidades más profundas y de diámetro pequeño a las depresiones relativamente poco profundas. Las superficies metálicas lisas y limpias serán más resistentes a estos tipos de ataques.

Estas picaduras pueden ser más o menos importantes en valor absoluto (profundidad y diámetro), y en valor relativo (esto es, la relación del volumen del metal afectado y de la totalidad del metal). Es cierto que la formación de picaduras es menos grave sobre una pieza gruesa de fundición que sobre una chapa delgada. En el primer caso la corrosión puede ser benigna, mientras que en el segundo puede ser grave, si las picaduras son perforantes o casi perforantes. Esto es lo que generalmente hace que la corrosión localizada sea más peligrosa que la corrosión uniforme.

En el caso del aluminio y sus aleaciones, aparecen algunas formas típicas de corrosión que creemos interesantes el indicarlas.

Un tipo de corrosión que se suele dar a veces sobre el aluminio de baja pureza, 99.2-99.3 y más baja, y generalmente en un estado con acritud se denomina corrosión en galería de topo. Esta forma de corrosión da lugar a veces a picaduras que pueden llamarse "explosivas".

De las aleaciones comerciales, la familia Al-Mg (5XXX), tiene la más baja probabilidad de picadura y velocidades de penetración. Con

un bajo contenido de cobre ($\leq 0.04\%$), las aleaciones Al-Mn (3XXX), tiene un comportamiento similar, pero con un contenido de cobre de 0.15% los huecos son más extensos, especialmente en agua salada. El aluminio puro (1XXX), presenta un buen comportamiento a la corrosión por picadura, pero este comportamiento se mejora con pequeñas adiciones de hierro y cobre. En las aleaciones Al-Mg-Si (6XXX), se presenta un doble efecto de corrosión, tanto por picadura como intergranular. Para las aleaciones de Al-Cu (2XXX) y Al-Zn-Mg-Cu (7XXX) son normalmente resistentes a la corrosión por picadura.

5.1.3) Corrosión Galvánica.

La corrosión galvánica tiene una velocidad de corrosión por encima de lo normal, que se asocia con el flujo de corriente a un metal menos activo (cátodo) en contacto con un metal más activo (ánodo) en el mismo ambiente. Con mucha frecuencia, las películas protectoras de óxido y otros efectos tienden a reducir la corrosión galvánica. Por supuesto, la corrosión galvánica se puede evitar, aislando los metales uno de otro.

La relación de área en la corrosión es muy importante; la corrosión se debe a un flujo de corriente del ánodo o el metal más activo al cátodo o el metal menos activo. Una relación de área desfavorable es la de un cátodo grande y un ánodo pequeño. La corrosión del ánodo puede ser de 100 a 1000 veces mayor si las dos áreas fueran iguales.

Debido a la posición que ocupa el aluminio y sus aleaciones en la escala galvánica, es necesario tener cuidado al unirlos con otros metales en un medio agresivo o en equipo químico. Ver obra 1 para consultar la serie galvánica, en la bibliografía.

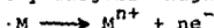
Cuando el aluminio está en contacto con la mayoría de los metales en presencia de un electrólito como agua salada, pasa corriente eléctrica y el aluminio puede sufrir corrosión al igual que la placa de una pila galvánica. Por ejemplo, una lámina de aluminio remachada a una lámina de cobre sumergida en agua salada se corroe rápidamente. El cobre, los latones y las aleaciones de níquel que tienen alta diferencia galvánica con el aluminio en agua salada producen las corrientes más intensas y el mayor daño. Luego sigue el acero y el plomo, en tanto que con cinc y cadmio no se produce corrosión galvánica. La

probabilidad de que se produzca reacción puede obtenerse consultando la Tabla de potenciales de solución en una solución de cloruro de sodio, o en una serie galvánica en agua salada (consultar referencia No. 5). Aunque el orden puede cambiar ligeramente en diferentes soluciones, las más separadas en la tabla de la serie galvánica son las que producen el mayor efecto galvánico.

Se exceptúa la acción del acero inoxidable y del titanio en el aluminio, ya que se produce una película polarizadora que evita el paso de la corriente y detiene la corrosión del aluminio.

Mecanismo de Corrosión

Efecto de contacto o acoplamiento entre dos materiales diferentes: Sabemos que todo metal M, de valencia n, introducida en una solución, tiende a emitir iones y cargarse negativamente según el esquema:



La superficie metal-solución, constituida por una doble capa de iones metálicos equilibrados eléctricamente por los electrones está en equilibrio eléctrico.

Si son evacuados los electrones que se encuentran sobre el metal M, se produce un desequilibrio eléctrico, los iones M^{n+} son liberados y el metal M se corroe.

Esto es lo que ocurre en general en todo fenómeno de corrosión electrolytica, que puede esquematizarse como sigue. Figura 23.

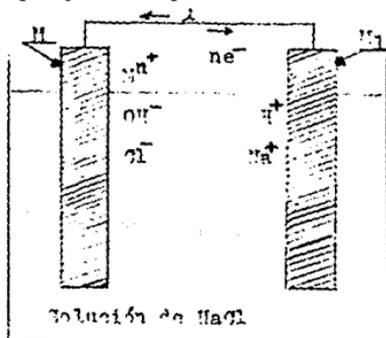


Figura 23.- Esquema del proceso de corrosión electrolytica.

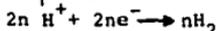
Un ánodo de metal M está unido eléctricamente a un cátodo de metal M_2 ; se introducen ambos metales en una solución electrolytica, por ejemplo, una solución de cloruro de sodio. Se produce un desequilibrio

eléctrico a consecuencia de la diferencia de potencial de disolución existente entre los dos metales.

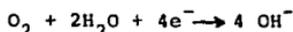
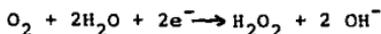
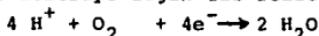
El metal M se "corroe" emitiendo iones M^{n+} y los n electrones liberados llegan a M_1 . Y ahora se pueden producir dos casos:

Primer Caso.- Los electrones que llegan sobre M_1 son evacuados a medida que van llegando.

Los iones H^+ que emigran hacia el cátodo M_1 son descargados por los electrones que llegan a M_1 según la reacción:

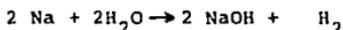
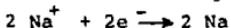


Si la disolución salina contiene suficiente oxígeno disuelto, el hidrógeno molecular se destruye según las reacciones posibles:

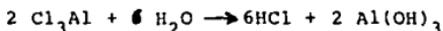
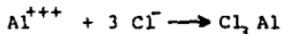


Hay una despolarización catódica por medio del oxígeno o incluso una activación del proceso de corrosión.

Hemos de hacer constar que, en la proximidad del cátodo, la solución tiende a ser alcalina, en parte por desaparición de iones H^+ y en parte, en el ejemplo anterior en el que la solución contiene NaCl, por efecto de la reacción del sodio en el agua.



En el ánodo hay formación de una sal o de un hidrato del metal que constituye el ánodo; así, con un ánodo de aluminio y la solución de cloruro sódico se tendrá:



Segundo Caso.- No son evacuados los electrones que llegan a M_1 .

En ausencia de oxígeno, por ejemplo, el hidrógeno molecular que se forma al principio sobre el metal M_1 no se destruye y no puede desprenderse, formando una barrera entre M_1 y la solución; no hay paso posible de corriente y el metal M no se corroe más.

Hay polarización catódica o incluso pasivación.

Se llega a que los productos de corrosión que se forman sobre el ánodo o sobre el cátodo y los que resultan de ellos según las reacciones químicas, actúen igualmente de barrera a la circulación de electrones.

Se sabe igualmente que ciertos cuerpos añadidos al electrólito pueden dar igualmente a la formación de productos insolubles sobre los ánodos y los cátodos. A estos cuerpos se les llama inhibidores anódicos o catódicos, según sea el caso.

A escala microscópica hay efecto de pares en un mismo metal que resultan de la heterogeneidad que existe en los metales y aleaciones; constituyente o impurezas fuera de solución, precipitados en o hacia los límites de granos, granos de orientación diferentes, inclusiones, irregularidades de las capas de óxidos, etc..

Estos son además los diferentes factores que imponen las formas de corrosión, picaduras corrientes para las inclusiones, los constituyentes fuera de solución, irregularidad de las capas de óxido, picaduras intercristalinas para los precipitados en los límites de los granos.

Potenciales de Equilibrio y Potenciales de Disolución del Aluminio y de Otros Metales y Aleaciones.

Nos conviene situar al aluminio, sus aleaciones y diferentes metales y aleaciones relacionados entre sí en lo que concierne a los potenciales de disolución, ya que nos permitirá prever, en cierto grado, los efectos de fases diferentes.

Insistimos en el hecho de que no se debe confundir potenciales de equilibrio y potenciales de disolución.

Los potenciales de equilibrio llamados también "potenciales de electrodo normal" o "potenciales reversibles" corresponden a los potenciales medidos en las condiciones siguientes: el metal es sumergido en una solución normal de una de sus sales; se establece rápidamente un equilibrio entre la disolución bajo forma de iones y la descarga de iones de la solución sobre el metal, de lo que resulta una diferencia de potencial entre electrodos y solución. Esta diferencia no puede medirse directamente y es necesario recurrir a un acoplamiento con un electrodo de referencia que es el electrodo normal de hidrógeno. Se mide la fuerza electromotriz en un circuito abierto. Se notará que, en estas condiciones no se observa fenómeno alguno de polarización. En la obra con el número 5 de la bibliografía, se pueden consultar los potenciales de equilibrio de algunos metales de uso corriente.

Si ahora se sumerge el metal en una solución cualquiera, por ejemplo, aluminio en una solución de NaCl, se origina un potencial irreversible, pero es necesario precisar por una parte, la naturaleza de la solución y por otra, el electrodo de referencia.

La experiencia muestra que la pila constituida por el metal, el electrólito, y el electrodo de referencia (generalmente electrodo de Calomel o de plata) no toma en circuito abierto, una fuerza electromotriz inmediatamente fija; inicialmente la solución no contiene iones del metal considerado, pero poco a poco parte de éste va pasando a la solución en forma de iones hasta llegar al equilibrio; por otra parte la solución puede modificar la superficie metal-solución por polarización.

Siguiendo la evolución, con el tiempo de un determinado metal en un electrólito igualmente determinado, se puede prever, de una manera apreciable, cómo resistirá el metal en el electrólito en cuestión.

Así, cuando el potencial tiende hacia valores más electropositivos (más catódicos), el metal se vuelve pasivo (formación de una película de óxido sobre el aluminio introducido en ácido nítrico). Posteriormente hablaremos de la película de óxido que se forma en el aluminio.

Si el potencial tiende hacia valores más electronegativos, hay una disolución del metal (aluminio en una solución de sosa).

Indicamos, lo cual es de una gran importancia práctica, que el aluminio llega a ser menos electronegativo que el cinc. El valor anormal del potencial de disolución se debe a la presencia de una película de alúmina sobre el aluminio. Además la cifra 1.67 dada para el potencial de equilibrio resulta de un cálculo no de una medida. En efecto, es muy difícil obtener una superficie exenta de alúmina.

En la práctica, el aluminio se comporta como un metal mucho más noble que lo que es realidad. Sin embargo, si por una razón cualquiera, la capa de óxido llega a ser deteriorada, por ejemplo, mecánicamente, sin que pueda reconstruirse, se pueden observar corrosiones importantes. Así se ha podido observar, que cuando el aluminio es rayado en el interior de ciertos líquidos halogenados, no puede formarse de nuevo la capa de óxido y se produce una corrosión localizada.

En la obra #5 se pueden consultar los potenciales de disolución del aluminio y de diferentes metales y aleaciones, en una solución de NaCl.

5.1.4.) Corrosión en las Hendiduras.

Este tipo de corrosión se produce en una grieta formada por el contacto con otra pieza del mismo u otro metal o con un material no metálico. Cuando ocurre esto, la intensidad del ataque suele ser mayor que en las zonas circundantes de la misma superficie.

Este tipo de corrosión se puede deber a una deficiencia de oxígeno en la hendidura, cambios de acidez en esta última, acumulación de iones o agotamiento de un inhibidor.

Las hendiduras pueden producir corrosión aunque solamente haya agua destilada. La corrosión por hendiduras se produce porque el agua en la hendidura es anódica con respecto al agua afuera debido a la diferencia del contenido de oxígeno.

Hendidura Interna: Rosenfeld ha estudiado la hendidura interna y ha encontrado que otra variable importante, es la relación de la actividad de corrosión en el área superficial en la hendidura al área efectiva externa del cátodo. La velocidad de corrosión por hendidura del aluminio aumenta según lo estrecho de la hendidura y de acuerdo al área externa incrementada del cátodo.

Rosenfeld también estudio la influencia de las aleaciones del aluminio en la velocidad de corrosión por hendidura y obtuvo los resultados mostrados en la figura 24. Las aleaciones Al-Cu y Al-Zn-Mg-Cu se deterioran más rápidamente en comparación con las aleaciones 1100, 3XXX ó 5XXX. Nuevamente el ancho de la hendidura es importante, porque las velocidades de corrosión son bajas para hendiduras abiertas grandes de 254 μ .

5.1.5) Corrosión Intergranular.

La corrosión selectiva en los límites de los granos de un metal o una aleación, sin ataques apreciables a los granos o a los cristales mismos, se denomina corrosión intergranular. Cuando es fuerte, este ataque produce una pérdida de resistencia y ductibilidad fuera de proporción con la cantidad de metal que destruye realmente la corrosión.

Algunas aleaciones de aluminio, cuando se calientan de modo inadecuado, son propensas a la corrosión intergranular, debido a la precipitación de compuestos intergranulares.

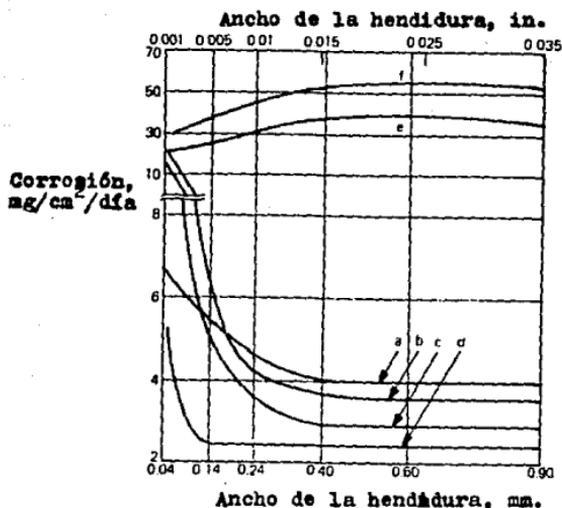


Figura 24.- Dependencia de la corrosión por hendidura de las aleaciones de aluminio con el ancho de la hendidura en 0.5 Normal NaCl. Duración del experimento 54 días. No existe contacto externo. (a) Aluminio, (b) Duraluminio recubierto, (c) Al-Mn, (d) Al-Mg, (e) Al-Zn-Mg-Cu descubierto, (f) Duraluminio descubierto.

Cuando se aplica un tratamiento térmico inadecuado, algunas aleaciones de aluminio se hacen propensas a los ataques selectivos en los límites de los granos. Esta forma de ataque se atribuye a la precipitación de partículas relativamente grandes del constituyente de CuAl_2 en los límites de los granos, lo cual da como resultado el agotamiento del cobre en los límites de los granos de los materiales adyacentes de solución sólida de Al y Cu. El agotamiento del cobre en el material del límite de los granos hace que el metal afectado se vuelva anódico tanto hacia el precipitado de CuAl_2 como hacia la solución sólida de Al-Cu y se producirá una corrosión intergranular en algunos ambientes, por la conducta galvánica. Cuando se temple adecuadamente, el Cu estará en solución sólida, o bien, cuando se endurezca adecuadamente por envejecimiento, el constituyente de CuAl_2 que

se forma se encontrará en un estado finamente dividido, de tal modo que, en cualquier caso, el desempeño será sustancialmente el de una aleación de fase simple.

Las aleaciones Al-Mg (5XXX) conteniendo menos del 3% de Mg son totalmente resistentes a la corrosión intergranular.

Las aleaciones Al-Mg-Si (6XXX) de forja, generalmente presentan alguna susceptibilidad a la corrosión intergranular. Con un balance de composición Mg-Si que da resultado a la formación del constituyente Mg_2Si , el ataque intergranular es menor y más bajo que el observado con las aleaciones Al-Cu (2XXX) y Al-Zn-Mg-Cu (7XXX).

Cuando la aleación 6XXX contiene un exceso importante de Si (más que la necesaria para formar el Mg_2Si), la corrosión intergranular se incrementa.

5.1.6.) Corrosión por Esfuerzo.

La corrosión se puede acelerar debido a los esfuerzos, ya sea el esfuerzo residual interno del metal o algún esfuerzo aplicado desde el exterior. Los esfuerzos internos se producen por la deformación no uniforme durante los trabajos en frío (doblado, cizallamiento, horadación, etc.), por el enfriamiento residual a partir de temperaturas elevadas y por reasentamientos estructurales internos que implican un cambio de volumen. Para la fractura de corrosión por esfuerzo se requieren esfuerzos de tracción de magnitud igual, por lo común, al esfuerzo de cedencia; sin embargo, se han llegado a producir fallas de este tipo con esfuerzos menores.

Virtualmente todos los sistemas de aleaciones tienen sus condiciones ambientales específicas que producen fracturas de corrosión por esfuerzo y el tiempo necesario para que se produzca una falla variará de unos cuantos minutos a varios años.

Bajo la acción combinada de un continuo esfuerzo por tensión y una corrosión del medio ambiente, la ruptura de algunas aleaciones de aluminio puede ocurrir (un rompimiento) debido a la corrosión por esfuerzo. En caso de extrema susceptibilidad, la ruptura de una sección gruesa de 13 mm (0.5"), puede ocurrir en un corto tiempo (días).

El rompimiento debido a la corrosión por esfuerzo está limitado a las aleaciones Al-Cu-Mg (2XXX) y Al-Mg (5XXX) que contengan más del 3% de Mg, y a las aleaciones Al-Zn-Mg-Cu (7XXX). En muy raras ocasio-

nes este tipo de corrosión ocurre en las aleaciones Al-Mg-Si (6XXX) y no ocurre en las aleaciones comercialmente puras (1XXX), y en las aleaciones Al-Mg (5XXX) que contengan menos del 3% de Mg. En la referencia de la bibliografía, de la obra indicada con el número 22 se presenta un resumen de éste tipo de corrosión de las diferentes series. 5.1.7.) Corrosión por Fatiga.

La corrosión por fatiga es una reducción (por corrosión) de la capacidad de un metal para soportar esfuerzos cíclicos o repetidos. La superficie del metal desempeña un papel importante en esta forma de daño, puesto que será la que soporte los mayores esfuerzos y, al mismo tiempo estará sometida a los ataques de los medios corrosivos. La corrosión de la superficie metálica hará disminuir la resistencia de la fatiga y el esfuerzo sobre la superficie tenderá a hacer que se acelere la corrosión.

En condiciones de esfuerzos cíclicos o repetidos, se produce la rotura de las películas protectoras de óxido que evitan la corrosión con una rapidez mayor que la de la formación de nuevas películas protectoras. Con frecuencia, esa situación tiene como consecuencia la formación de zonas anódicas en los puntos de rotura; esas zonas producen picaduras que sirven como puntos de concentración del esfuerzo para el origen de grietas que provocan fallas finales.

Las aleaciones de aluminio, muy semejantes a los aceros, tienen relativamente baja intensidad de corrosión por fatiga. (Entre la mitad de la intensidad de fatiga en aire y una cuarta parte de la última intensidad original del material). Sorprendentemente, la intensidad de corrosión por fatiga no se ve grandemente afectada por variaciones en los tratamientos térmicos, igualmente en el caso de las aleaciones de Al-Cu-Mg (2XXX), Al-Mg-Si (6XXX) y Al-Zn-Mg-Cu (7XXX). La fractura en la corrosión por fatiga de las aleaciones de aluminio son característicamente transgranular, y éstas difieren de los rompimientos de corrosión por esfuerzo, los cuales son normalmente intergranulares. La corrosión localizada de una superficie de aluminio semejante a una corrosión por picadura o intergranular, suministra esfuerzos contra-escalonados y muy bajos a la fatiga.

5.1.8.) Corrosión por Cavitación.

La formación de huecos transitorios o burbujas vacías en una corriente de líquido que pasa sobre una superficie se denomina cavitación.

ción. Esto se encuentra a menudo cerca de la hélices, los timones, los codales y las bombas. A la corrosión por cavitación se le atribuyen con frecuencia los daños debido a la rotura de esas burbujas de vacío; pero esto se debe denominar con mayor corrección erosión por cavitación. Cuando se produce este hundimiento sobre una superficie metálica, hay un fuerte impacto o un efecto explosivo que puede causar daños mecánicos considerables y la corrosión se puede acelerar considerablemente, debido a la destrucción de películas protectoras. En general, se requiere el rediseño o un metal más resistente para evitar este problema.

5.1.9.) Corrosión por Erosión.

Es la destrucción de un metal por la acción combinada de la corrosión y la abrasión o la fricción causada por el flujo de líquido o gas (con sólidos suspendidos o sin ellos). Cuando el líquido o el gas contienen partículas sólidas que son más duras que la superficie metálica afectada, se producirá erosión por la acción combinada de la corrosión y la abrasión. Cuando el líquido o el gas no contengan sólidos suspendidos o tengan partículas más blandas que el metal, la erosión se producirá por corrosión o fricción. Los materiales más duros, los cambios de velocidad o ambiente y la adición de inhibidores son algunos de los métodos que se usan para evitar los ataques de la erosión.

5.2) RESISTENCIA DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES A LOS DISTINTOS PRODUCTOS QUIMICOS.

La buena resistencia del aluminio contra la corrosión se debe a una película muy delgada de óxido de aluminio que se forma en la superficie la cual tiene muy buenas propiedades de reparación propia cuando se daña. Esta película, tiene alrededor de 10^{-5} mm de espesor, siendo generalmente un hidrato complejo ($Al_2O_3 \cdot H_2O$). La película empieza a formarse en la superficie del metal desnudo al ser expuesto al aire, y aumenta rápidamente durante varios días, luego lentamente por un mes y para entonces ya mide 5×10^{-5} mm de espesor, la corrosión del aluminio sólo ocurre cuando dicha película se daña o elimina y ciertas condiciones impiden que vuelva a formarse.

Los productos de la corrosión del aluminio son incoloros y atóxicos, y este detalle, junto con sus buenas características de corrosión ha hecho que se use extensamente en la industria química y de alimentos.

Las sustancias que pueden tener contacto con el aluminio pueden dividirse en tres grupos:

- a) Las que atacan la película vigorosamente y para las cuales el aluminio no es conveniente.
- b) Las que producen daño localizado a la película (carcomidas) y para las cuales el aluminio es conveniente sólo en ciertas condiciones.
- c) Las que no atacan la película y para las cuales el aluminio es conveniente en todas las condiciones.

En el primer grupo están los álcalis muy concentrados, los compuestos de mercurio, y la mayoría de los ácidos concentrados. En el segundo grupo están algunas aguas frescas naturales y soluciones acuosas que contienen trazas de mercurio, cobre u otros metales pesados. La mayoría de las sustancias caen dentro del tercer grupo, incluyendo a la mayoría de los comestibles y muchas sustancias químicas industriales. En el anexo general se presentan una serie de listas de muchas sustancias corrientes, y se indica su reacción en contacto con el aluminio.

Una basta mayoría de las instalaciones de aluminio dan un servicio perfectamente satisfactorio, libre de corrosión, y solamente se tienen dificultades en casos excepcionales. La dificultad puede atribuirse a una o más de las causas siguientes:

- Error en la elección de la aleación.
- Las condiciones del medio ambiente.
- El uso de juntas bimetalicas que producen corrosión galvánica.
- Hendiduras.
- Mala colocación del conjunto de aluminio, resultando en corrosión por deposición.
- Contacto con sustancias químicas agresivas.

Antes de mencionar el efecto de las sustancias químicas, debe explicarse que a excepción de ciertas sustancias químicas corrosivas, no ocurre corrosión a menos que también haya agua. Así que las instalaciones interiores que no están en contacto verdadero con agua, o

las instalaciones que se mantienen secas, no se corroen aunque existan muchos de los factores mencionados en la lista anterior.

5.2.1.) Efecto de las Sustancias Químicas.

Acido Sulfúrico

Las soluciones ácidas diluídas frías tienen muy poca acción sobre el metal, especialmente si se ha aplicado un tratamiento anodizante. La velocidad de ataque aumenta a medida que lo hace la concentración del ácido, y muy pronto se llega a niveles antieconómicos, como se muestra en la figura 25.

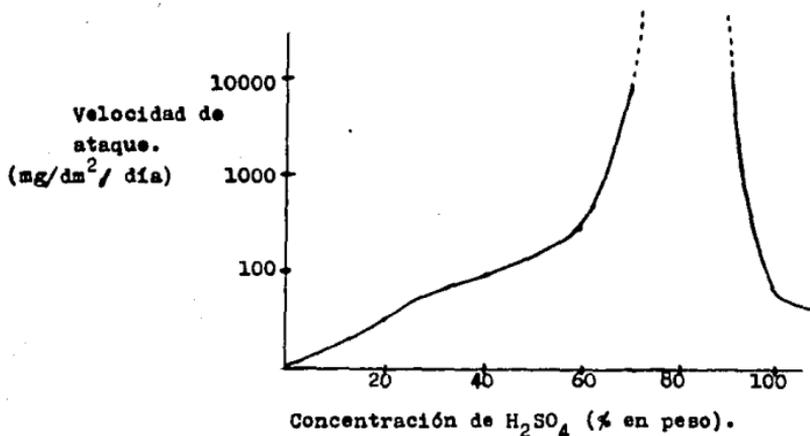


Figura 25.- Acción del ácido sulfúrico sobre el aluminio (99.9%).

Las velocidades máximas de ataque se presentan cuando la concentración del ácido se aproxima al 70%, y hay una brusca caída cuando éste se acerca a la condición anhidra. La pasividad del aluminio frente al ácido sulfúrico desaparece pronto a medida que sube la temperatura, y las soluciones hirvientes lo atacan rápidamente, cualquiera que sea su concentración.

Acido Nítrico

A temperaturas ordinarias, puede usarse para cualquier concentración del ácido. Es cierto que la figura 26 sugiere mayores velocidades de corrosión para el aluminio en comparación con el acero inoxidable hasta alrededor del 80% de HNO₃, pero los resultados de los en-

sayos son bastante artificiales, y se puede utilizar libremente cualquiera de ambos. A medida que aumenta la temperatura, se hace más marcado el ataque sobre el aluminio, pero aun así se le prefiere con respecto al acero inoxidable para cualquier concentración superior al 90%. Se puede producir una forma muy molesta de corrosión cuando el equipo que contiene ácido concentrado caliente presenta una pequeña pérdida. El líquido toma humedad del aire y ataca desde el exterior la pared metálica caliente. Cuande se puede evitar esto, el aluminio tiene un largo periodo de vida útil, aún en condiciones extraordinariamente severas.

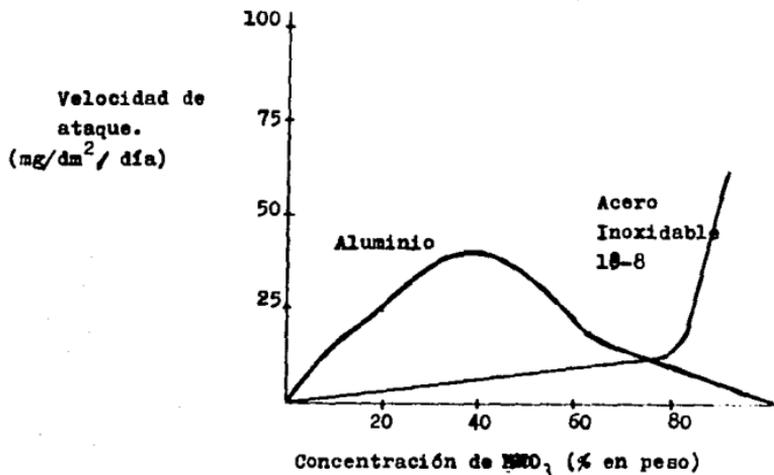


Figura 26.- Ataque del ácido nítrico frío sobre el acero inoxidable y el aluminio. Según Rumford Frank.

Otros Ácidos Inorgánicos

El metal no es apropiado para utilizarlo con ácido clorhídrico, cualquiera sea su concentración. Aparentemente el ión cloruro puede penetrar cualquier película de óxido, y las condiciones ácidas llevan a la imposibilidad de exponer el metal. Una pequeña cantidad de cloruro en ácido nítrico, como ocurre con el obtenido a partir del salitre, provocará una rápida corrosión, aunque en frío la acción no es violenta. Los otros ácidos halogenados también atacan, aunque el fluor-

hídrico es bastante inerte. El ácido y el anhídrido sulfuroso perforan rápidamente el metal, pero el ácido sulfhídrico y las soluciones de sulfuros son extremadamente inertes.

Acidos Orgánicos

Este es el segundo gran campo de aplicación para el aluminio ya que combina un buen grado de resistencia con la formación de productos de corrosión incoloros. Siempre se aplica una restricción en la utilización del aluminio y sus aleaciones: el rápido aumento de la corrosión cuando se está manipulando ácidos perfectamente anhidros a altas temperaturas. Por ejemplo, las soluciones calientes de ácido propiónico sólo atacan a velocidades de 10 mdd hasta una concentración que no exceda el 99.5% pero si el ácido se vuelve anhidro las velocidades pueden llegar hasta 200,000 mdd, y pueden perforarse en pocos minutos las secciones de metal grueso.

La acción de los compuestos orgánicos anhidros no está limitada a los ácidos, ya que muchos derivados con el hidroxilo sustituido se comporta del mismo modo. Son atacados tanto el metal puro como las aleaciones que contienen magnesio, pero la acción es más localizada y peligrosa en el primero. Así, los fenoles pueden ser manipulados, con cierta corrosión, en las aleaciones con magnesio, pero penetran el metal puro. La acción es característica de los compuestos anhidros, y debe observarse con cuidado los cambios de proceso que produzcan estas condiciones.

Cuando se evita el ataque anhidro, la resistencia a la mayoría de los compuestos orgánicos de reacción ácida aumenta con la concentración. Así, una solución al 10% de ácido acético ataca a una velocidad de 400 mdd, mientras que el ácido al 90% lo hace a solo 100 mdd. Este es un valor de ataque corrosivo mucho más alto que el dado para el cobre, pero los productos de corrosión no son coloreados, ni se incrementa mucho la corrosión en presencia de oxígeno o de agentes oxidantes.

El metal es especialmente valioso para manipular productos químicos delicados que no deben adquirir gusto o color metálicos. El jugo de limón corroe a una velocidad de 140 mdd, y aun la leche da valores de 50 mdd, pero los productos no se tiñen en lo más mínimo, ni adquieren gustos metálicos.

Alcalis

Los hidróxidos de aluminio son rápidamente solubles en los álcalis cáusticos, y por supuesto el metal no es apropiado para este grupo de productos químicos. La velocidad de ataque de una solución de carbonato de sodio al 10% es de 3000-4000 mdd, pero la adición del 0.2% de silicato de sodio la reduce a menos de 10 mdd. El ataque de los álcalis cáusticos no puede ser inhibido de esta manera, y una solución hirviente de sosa cáustica al 5% que contenga un 1% de silicato todavía corroerá a velocidades superiores a los 10,000 mdd. Las soluciones de amoníaco son menos activas pero en realidad el metal no es apropiado para el trabajo. Muchos detegentes industriales y materiales limpiantes contienen álcali libre, y si se les utiliza indiscriminadamente en equipos de aluminio, establecerán centros locales de corrosión, o por lo menos tenderán a romper la película de óxido que es protectora con respecto a otros reactivos.

Sales Neutras y Soluciones Acuosas

Las sales de varios ácidos generalmente tienen una acción similar a la del ácido. Los nitratos, con excepción de los metales pesados, son estables frente al metal. Los sulfitos perforan definitivamente el metal, acción ésta que también poseen generalmente los cloruros, pero ya se ha mencionado el mejor comportamiento de las aleaciones con magnesio con respecto al metal puro.

Otro producto químico sobre el cual el aluminio no tiene ninguna acción es el agua oxigenada. El agua líquida ataca seriamente al metal a 200°C ó más.

Compuestos Orgánicos

Como puede preverse, los hidrocarburos neutros tienen poco o ninguna acción sobre el aluminio, el cual se utiliza ampliamente por razones de costo en las plantas que no requieren temperaturas superiores a los 250-300°. Ya se ha mencionado el efecto de los ácidos anhídros, y el metal puede sufrir perforación apreciable por acción de las soluciones de aminas orgánicas. Las soluciones acuosas hirvientes de etanolamina perforan una pared de 3.2 mm de espesor de este metal en pocas horas, hecho éste que proporciona incidentalmente un ejemplo de la naturaleza incierta de los valores de peso de corrosión.

Corrosión Atmosférica

Las planchas comunes de aluminio y de aleaciones de aluminio se cubren en pocos minutos con una capa de óxido, a la temperatura normal, y después de esta reacción inicial el espesor no aumenta notablemente durante muchos años. La oxidación rápida sólo se puede obtener elevando la temperatura hasta alrededor de 450-475^o, y aparentemente no es afectado por la presencia o ausencia de humedad. Por otro lado, debido también a esta película tenaz, se hace muy difícil la electro-deposición con fines ornamentales o de endurecimiento, y en realidad no se conoce método galvanoplástico alguno que dé una buena película adherente. Se ha sugerido un proceso que consiste en preparar el metal con ráfagas de arena húmeda, las que al mismo tiempo lo cubren con una capa protectora de barro.

La resistencia a la corrosión es una propiedad relativa y debe considerarse en relación con el medio ambiente. En las regiones rurales es rara la corrosión de cualquier tipo en el metal desnudo, ya sea aluminio puro o cualquiera de las aleaciones, y duran indefinidamente sin protección.

Las atmósferas industriales varían considerablemente según el grado y tipo de contaminación en el aire. Las superficies que quedan menos expuestas sufren mayor ataque por falta de agua de lluvia que lave las acumulaciones de carbón que absorben los ácidos. Las aleaciones de aluminio exceptuando las que contienen cobre y cinc pueden usarse sin protección en casi todas las atmósferas industriales siempre que su color gris no sea inconveniente.

Las atmósferas marinas, especialmente las que están combinadas con emanaciones industriales son las que más atacan al aluminio. Pero las atmósferas marinas no llegan muy lejos tierra adentro. A unos pocos metros de la costa la agresividad disminuye grandemente y a los 8 Km de la costa las condiciones pueden considerarse ya rurales.

Aguas Naturales

Las aguas naturales contienen muchas impurezas aunque sean en concentraciones muy pequeñas. Consideradas individualmente dichas impurezas posiblemente no produzcan corrosión, pero ciertas combinaciones y concentraciones pueden atacar al aluminio. Aunque se han hecho

muchos estudios, no puede predecirse todavía con seguridad el servicio que dará el aluminio en aguas naturales. Por eso se recomienda hacer ensayos en condiciones de operación siempre que el contacto del aluminio con el agua natural vaya a ser por un tiempo largo.

5.2.3.) Ensayos de Corrosión.

Un ensayo de corrosión tiene por objeto, generalmente, el prever la resistencia en servicio de un material; igualmente puede efectuarse como criterio de una calidad de fabricación.

Generalmente en este último caso no tiene dificultad alguna; las piezas son sometidas a la acción de un medio corrosivo, debiendo soportar el ensayo sin presentar degradación o presentando un máximo determinado.

Prever la duración de la resistencia en servicio suele ser más complicado generalmente. Hay ciertos casos muy simples; por ejemplo, cuando un material está sometido a un ataque generalizado en un producto puro. Entonces se puede determinar la corrosión en $g/m^2/día$. Sin embargo hay que señalar que los ensayos efectuados en laboratorio, sobre pequeñas probetas, no son a menudo más que valores de orientación, en especial si el material se utiliza, en la práctica, en un montaje en el que intervienen materiales de otra naturaleza, que pueden introducir en el medio impurezas susceptibles de favorecer una corrosión.

También se realizan ensayos en diferentes medios atmosféricos como:

- Atmósfera a la orilla del mar.
- " industrial.
- " poco industrial.
- " pura de montaña.

Sin embargo, todos estos ensayos, tienen el inconveniente de ser muy prolongados; generalmente durante muchos años. Como en la mayor parte de los casos, los que utilizan estos materiales necesitan una respuesta rápida; es necesario recurrir a ensayos acelerados.

Entre estos ensayos, uno de los más difundidos es el ensayo a la niebla salina artificial, que en Francia ha sido objeto de una norma, la PN-X41-002 (correspondiente a la norma A.S.T.M. B 117-49-T). La concentración de la solución salina utilizada es muy elevada (200 g/lit de NaCl), lo que representa ciertos inconvenientes. La acelera-

ción de la corrosividad se obtiene gracias a una temperatura relativamente elevada (35°C), y por una pulverización continua de la niebla.

Para terminar indicaremos que, a veces, para el estudio de ciertas aleaciones, se efectúan ensayos llamados bajo tensión. En estos ensayos, las probetas están sometidas a un esfuerzo mecánico de tracción o flexión, y los tiempos de rotura permiten ver si los materiales son sensibles o no a la corrosión bajo tensiones.

Todos estos ensayos pueden dar informaciones útiles sobre el comportamiento de las aleaciones. En particular, si se trata de elegir entre dos o más, permiten clasificarlas. Sin embargo, conviene ser prudentes en la interpretación de los resultados.

5.2.4.) Dominio de Estabilidad del Aluminio.

Sabemos que el aluminio, en presencia del oxígeno del aire, se recubre instantáneamente de una película de alúmina muy adherente, que aunque de espesor muy débil, le confiere una excelente protección, en especial contra las intemperies.

Ya hemos indicado anteriormente, que esta capa de óxido natural hace que los potenciales de disolución del aluminio presenten una anomalía y que el aluminio aparezca como un metal más noble de lo que es en realidad.

Resulta útil recordar que la curva de la velocidad de corrosión en función del pH es, del tipo de la figura 27. La velocidad de corrosión aumenta considerablemente en las regiones ácidas y alcalinas.

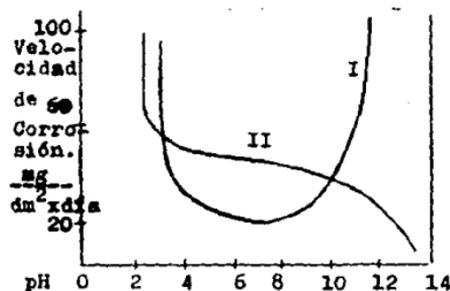


Figura 27.- Velocidad de corrosión en función del pH.

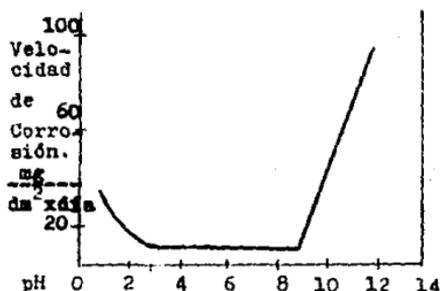


Figura 28.- Velocidad de corrosión del Al en función del pH.

En la figura 27, la curva I representa el comportamiento del aluminio y la curva II el del Fe y Mg.

En el caso del aluminio, como los óxidos son más estables en las soluciones ácidas que en las alcalinas, la curva I de la figura 27 presenta en realidad el aspecto de la figura 28, hallándose entre los pH's de 4 a 8, la velocidad de corrosión es muy débil.

Citaremos igualmente el diagrama de Pourbaix que da los dominios de corrosión, de pasivación y pasividad, en función del pH y del potencial, figura 29.

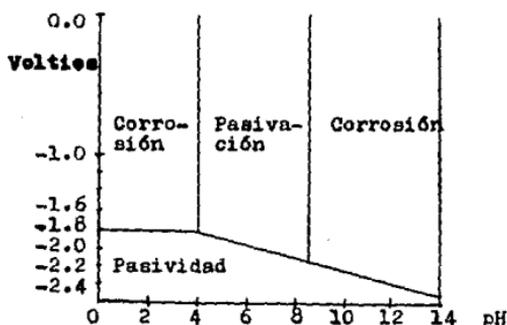


Figura 29.- Dominios de corrosión, pasivación y pasividad para el aluminio (según Pourbaix).

La zona de pasivación corresponde a la presencia de la película de óxido. Mencionaremos la importancia que puede tener el estado de la superficie sobre la resistencia a la corrosión. Esta resistencia que se debe a menudo a la película de óxido, puede debilitarse si se deteriora la capa de óxido; generalmente se vuelve a formar una nueva capa de óxido después del deterioro pero suele ser más débil que la capa original. Por otra parte, si el metal ha sido dañado profundamente (caso de un rayado) pueden resultar corrosiones por fases de aireación diferencial.

Finalmente, se debe evitar la contaminación de las superficies con metales capaces de producir pares galvánicos (utilizar cepillos metálicos limpios).

5.2.5.) Aleaciones en Distintos Medios.

Se comprueba en general, que, la resistencia a la corrosión en los productos químicos más agresivos, resulta mayor cuanto más elevada sea el porcentaje de aluminio y más bajo el porcentaje en impurezas de hierro y silicio. Igualmente es sabido que las adiciones de magnesio aumentan la resistencia en las bases.

Los materiales de forja que pueden utilizarse en la industria química son:

A5 y A8, A-M, A-G1, A-G3, A-G4 y A-SG

En el conjunto de las aleaciones de moldeo se puede elegir entre:

A5, A-SG, A-S13, A-G3T, A-S10G, A-G6 y A-U5GT

pero, para estas dos últimas, hay que tener en cuenta las peligrosas modificaciones de estructura que pueden producirse si la temperatura de servicio es demasiado elevada.

Así, las chapas de A-G3 y A-G5 de espesores respectivos 4 y 5 mm, expuestas ocho años y medio al aire salino y a la niebla, no presentaban más que una corrosión superficial, con características mecánicas muy parecidas a las de origen.

Algunas aplicaciones, como el empleo del A-U4G en severas condiciones de servicio, han podido justificar, todavía hace poco, un temor ante la corrosión marina de las aleaciones de aluminio. Actualmente, la puesta a punto de aleaciones tales como las A-G3, A-G4 y A-G5 han hecho que el aluminio se acomode perfectamente con el medio marino.

Como en la utilización de los medios de la industria química, la elección del metal o aleación se debe realizar según la utilización considerada; así, en la construcción naval se utilizan generalmente aleaciones del tipo Al-Mg, pero también resisten bien las del tipo A-SG y A-GS, así como las A-M.

Las aleaciones de alto contenido de cobre (A-U4G, A-U4G1, A-Z5GU, A-Z8GU) se corroen mucho más fácilmente y no se podrían utilizar sin protección, excepto en los medios poco corrosivos. Generalmente no son utilizadas en las instalaciones fijas.

Es necesario señalar que las soldaduras pueden introducir a veces heterogeneidades de estructura susceptible de permitir el desarrollo de pares galvánicos.

Podemos decir que son los estados recocido o templado los que confieren la estructura más homogénea y son de ordinario los más resistentes. Sin embargo, en muchos casos se puede utilizar con éxito en estado endurecido o maduros artificialmente.

El aluminio y algunas de sus aleaciones resisten el ataque del aire atmosférico. Para usos al aire libre dan buen resultado los artículos forjados de aleaciones 2S, 3S, 52S, 53S y 61S. Algunos de los productos revestidos (que se venden en el comercio con nombres registrados, tales como Alclad, Pureclad), que comprenden un núcleo de aleación con una cubierta protectora de aluminio puro o de una aleación de éste, son particularmente buenos. La corrosión se efectúa particularmente por picadura (hojuelos), y es algo mayor en la costa y en atmósfera industrial que en distritos urbanos.

Si se desea resistencia máxima contra el agua de mar, se emplean las aleaciones 2S, 3S y 52S, así como el Alclad 24S-T de todos los espesores menos los más delgados. Para servicio en condiciones rigurosas, se recurre al revestimiento protector.

Se acostumbra construir con aleaciones 2S, 3S y 52S los equipos y tuberías para conservar y transportar agua en laboratorios y plantas donde se desea tener agua destilada de la mayor pureza. Por consiguiente, es mínima la contaminación del agua en equipos de aluminio.

La mayor parte de las aguas virtualmente neutras (pH 6 a 8) son bien toleradas por el Alclad 3S. Estas aguas raramente atacan a las aleaciones 2S, 3S y 52S; pero algunas aguas causan corrosión local por picadura, que a menudo se limita por sí sola, pues la acumulación de productos de corrosión detiene la acción corrosiva. Ciertas aguas pueden ocasionar perforación cuando el espesor es mucho menor que el citado. Con el Alclad 3S se puede reducir aún más el espesor de pared sin que deje de ser muy resistente contra la perforación.

El vapor seco produce poco efecto químico en el aluminio a temperaturas hasta de unos 300°F, (149°C). En sistemas de aluminio para transportar vapor se ha de evitar el arrastre de agua de las calderas, que puede llevar compuestos corrosivos. Por regla general, son manifiestamente corrosivas las aguas muy ácidas o alcalinas, aunque en ocasiones se puede reducir su acción añadiéndose un inhibidor químico.

Las soluciones neutras de cloruro sódico producen poco efecto en las aleaciones 2S, 3S, 52S y 53S a temperaturas hasta la del punto de ebullición.

Los equipos de aleaciones como la 3S son muy usuales para tratar, despachar y conservar ácido acético, glucónico y cítrico. Los ácidos grasos, como el esteárico, pueden ser tratados en recipientes de aluminio con tal que haya alguna humedad y no sea demasiado alta la temperatura.

Los jugos de frutas por lo general son poco activos contra el metal, y su actividad se reduce aún más con el azúcar, que sirve de inhibidor de la corrosión.

La aleación 3S sirve muy bien para diversos refrigerantes, incluso cuando éstos contienen algo de agua.

5.3) TIPOS O FORMAS DE PROTECCION.

El uso de diversas sustancias o inhibidores como aditivos a los ambientes corrosivos, para reducir la corrosión de los metales en el ambiente, es un medio importante de combate de la corrosión. En general, resulta más atractivo en sistemas cerrados o de recirculación, cuando el costo anual del inhibidor sea bajo. Los inhibidores son eficaces, debido a su influencia de control sobre las reacciones de las zonas catódicas o anódicas.

La eficiencia de un inhibidor dado aumenta generalmente con el incremento de la concentración; pero los que se consideran atractivos desde el punto de vista práctico y el económico se usan en cantidades de menos de 0.1% en peso.

En algunos casos, la cantidad de inhibidor que se encuentra presente es crítica, puesto que una deficiencia puede dar como resultado un ataque localizado o de picaduras, con la consecuencia de que los resultados son todavía más destructivos que si no se encontrara presente el inhibidor. Por lo tanto, la consideración del uso de inhibidores debe incluir la revisión de la experiencia en sistemas similares o la investigación de necesidades y limitaciones en nuevos sistemas.

Se ofrecen inhibidores que estando presentes en un ambiente corrosivo, la retardan grandemente o la evitan por completo. Por eso los compuestos selladores y las pinturas imprimidoras empleadas para el aluminio deben contener alguna sustancia química como el cromato de cinc de potente acción inhibidora. Cuando se trata de circuitos

completos, como en equipos de refrigeración, a veces es posible y conveniente agregar un inhibidor al líquido circulante. El dicromato de potasio y el silicato de sodio son los inhibidores usuales. Los coloides, azúcares y grasas presentes en muchos alimentos tienen también acción inhibidora.

5.3.1.) Revestimiento Alclad.

Las láminas de aleación "Alclad" (plaqueado) tienen buena resistencia a la corrosión porque la aleación de la coraza es anódica a la aleación del núcleo. Mientras no haya penetración de la coraza, la resistencia a la corrosión de las láminas Alclad, es la de la aleación de la coraza. Cuando la coraza se perfora, el núcleo expuesto sigue protegido por la acción galvánica de la aleación de la coraza circundante. Este método de protección se emplea principalmente cuando pueden predecirse las condiciones de operación, como en los tubos de los intercambiadores térmicos y en las estructuras de los aviones.

5.2.3.) Protección Catódica.

La circunstancia de que el cinc es anódico con respecto al aluminio y que es atacado en muchas soluciones, se puede aprovechar para proteger al aluminio. Esta clase de protección catódica se obtiene remachando o uniendo de alguna otra manera piezas de cinc a tanques, tubos y otros artículos en sitios donde se espere el ataque. El cinc experimenta disolución selectiva, pero ello carece de importancia, pues el cinc se puede reponer de tiempo en tiempo. Mediante experimentos previos, se averigua si es eficaz la acción protectora y se determina la mejor colocación de las piezas de cinc.

Acabado del Aluminio

El aluminio tiene considerables ventajas inherentes sobre casi todos los demás metales en su atractivo natural y buena resistencia a la corrosión, de manera que cualquier acabado adicional tiene que ser de muy alta calidad para que produzca un beneficio verdadero.

Los procedimientos de acabado que se usan para mejorar la apariencia del aluminio o su resistencia a la corrosión son semejantes a los empleados para otros metales. Además, hay varios procedimientos químicos y electroquímicos especiales para el aluminio, que producen un aumento artificial en el espesor de la capa de óxido. La película

de óxido más gruesa, por ser transparente, protege la superficie del aluminio sin oscurecerla añadiéndole cierto efecto decorativo natural. los diversos procedimientos electroquímicos para aumentar el espesor de la capa de óxido se conocen con el nombre general de "Anodizado", porque casi todos dependen de la aplicación de corriente continua en baño ácido en el cual el aluminio es el ánodo. Estos acabados tienen la ventaja adicional de que pueden pintarse.

5.3.3.) Tratamientos Químicos.

se han perfeccionado varios tratamientos químicos para el aluminio. El objeto de dichos tratamientos es aumentar artificialmente la capa de óxido natural o cambiar la capa superficial químicamente para aumentar su resistencia a la corrosión.

Sería una gran ventaja económica si se pudiera aumentar el espesor de la capa de óxido por un procedimiento de inmersión en vez de por galvanoplastia como para anodizar. Pero las películas de óxido que se producen por inmersión no tienen el mismo espesor, dureza o uniformidad que se obtendría con la anodización en ácido sulfúrico. De modo que los tratamientos químicos diseñados para aumentar la capa de óxido están en desuso y actualmente sólo se usan para unos pocos fines específicos.

Los métodos químicos que más se usan para aumentar la película de óxido son el procedimiento Modificado de Baumer Vogel (M.B.V.), el procedimiento Erftwerk (E.W.) y el procedimiento Alrok.

El procedimiento M.B.V. convencional se basa en la inmersión en una solución de carbonato de sodio y cromato de potasio seguido de una solución de silicato de sodio para sellar. Las soluciones se usan casi al punto de ebullición con la inmersión en ambos casos de 5 a 10 minutos. Aunque el acabado gris que resulta no deja de tener atractivo, raras veces se usa como efecto decorativo sino más bien para aumentar la resistencia a la corrosión o como base para pintura subsiguiente.

El procedimiento E.W. es una modificación de la composición del baño del M.B.V. para lograr una mayor resistencia a la corrosión. Produce una película más transparente en toda la serie de aleaciones de aluminio.

El procedimiento Alrok que también se basa en una solución de carbonato de sodio y dicromato de potasio, se usa para obtener revestimiento protector o base para pintura. Pero el control de la solución presenta ciertas dificultades prácticas.

Los procedimientos químicos de conversión perfeccionados para servir de tratamientos antes de pintar y para aumentar la resistencia a la corrosión se basan en las soluciones de cromato y fosfato. Producen una película delgada muy adherida y de naturaleza compleja que es efectiva para inhibir la corrosión y como base para pintura. Hay varias soluciones comerciales con nombres patentados incluyendo "Alo-dine", "Iridite" y "Bonderite". Estos procedimientos son efectivos, comparativamente sencillos y económicos en uso.

5.3.4.) Anodización.

La anodización es un procedimiento electroquímico por el cual la película de óxido se aumenta artificialmente pasando una corriente eléctrica en electrólito ácido, siendo el aluminio el ánodo. Se usan ácidos sulfúricos, crómico, oxálico, bórico y fosfórico.

El ácido sulfúrico es el electrólito que más se usa, y el procedimiento se conoce como el "Alumite".

El óxido de aluminio es incoloro y transparente, relativamente inerte químicamente, es muy duro y buen aislador eléctrico. El procedimiento de anodización produce película mucho más gruesa y más uniforme; el procedimiento y métodos usados determinan la clase de revestimiento que se obtiene. Puede producirse película de hasta 0.127 mm (0.005") de espesor.

Si la anodización se usa para aumentar la resistencia a la corrosión, puede usarse el método de ácido crómico en vez del procedimiento Alumite. Aunque el procedimiento Alumite es el que más se usa, y correctamente aplicado tiene la mejor resistencia a la corrosión, el procedimiento con ácido crómico tiene aplicación especial cuando hay peligro de que el electrólito quede atrapado. Cualquier ácido sulfúrico residual atacaría al aluminio, pero los rastros del ácido crómico no lo dañan y hasta tienen efecto inhibidor.

5.3.5.) Pintura.

Aunque en la mayoría de las condiciones el aluminio sin pintar brinda servicio perfectamente satisfactorio, una capa de pintura pue-

de aplicarse para proveer mejor apariencia o para aumentar aun más su resistencia a la corrosión.

Para obtener la mejor combinación de adhesión y resistencia a la corrosión, debe usarse alguno de los tratamientos descritos anteriormente.

Resumen

La resistencia del aluminio y sus aleaciones a la mayor parte de los productos químicos puede resumirse como sigue:

I) No hay ataque por disolución del metal por los productos que tengan un pH comprendido entre 4.8 y 9.5.

II) En medio fuertemente alcalino (pH mayor que 9.5) hay ataque por disolución; algunos inhibidores pueden disminuir y aun hacer cesar este ataque; el silicato de sodio en dosis de algunos tantos por mil en disoluciones de carbonatos alcalinos, aminas y fosfatos alcalinos.

Un caso especial es el del amoniaco y las soluciones amoniales, que forman sobre el metal una capa compleja pasivamente que impide el ataque.

III) En medio fuertemente ácido, el ataque puede detenerse por sí mismo en el caso de ácidos oxidantes (ácido nítrico, ácido crómico) o cuando las sales de aluminio formadas son insolubles.

Se conocen algunos inhibidores que disminuyen el ataque de los ácidos; sulfuro de dibonilo, sulfato de nicotina, hexametileno, tetramina, etc..

IV) El aluminio por su posición en la escala de potenciales de equilibrio, sufre el contacto de los metales menos electropositivos. Especialmente, es necesario eliminar el contacto aluminio-cobre, aluminio-níquel, aluminio-plomo. El contacto aluminio-acero se puede utilizar siempre que se cadmie o galvanice el acero anteriormente, o se aplica una pintura (bituminosa, por ejemplo) entre las piezas a unir.

V) Las aleaciones de aluminio, según sus componentes son más o menos sensibles a la corrosión por picadura en presencia de soluciones fuertemente ionizadas (caso de las soluciones de cloruros alcalinos).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La adición de cromatos alcalinos a las soluciones de cloruros suprime este ataque.

VI) Los tratamientos superficiales del aluminio aumentan la resistencia del metal a la acción de los productos químicos; por ejemplo, el anodizado y los tratamientos de conversión química. Su principio es el de reforzar la capa de óxido del aluminio natural (anodizado) o el reemplazarlo por una capa compuesta (conversión química).

CAPITULO VI

SOLDADURAGeneralidades

Aunque las propiedades físicas y las particulares del aluminio se han estudiado anteriormente con detalle, conviene recordar someramente aquellas que son fundamentales en la soldadura.

Alúmina.- El aluminio y sus aleaciones generalmente están recubiertas de una capa delgada y continua de óxido Al_2O_3 cuyo espesor tiende a crecer cuando se eleva la temperatura. Este óxido es muy estable y adherente, cuyo punto de fusión es del orden de $2050^{\circ}C$, no es soluble ni en el metal sólido ni el metal líquido. Constituye una barrera que se opone a la adecuada unión de los elementos que se tratan de unir. Es importante, por lo tanto, eliminarla para obtener soldaduras de calidad.

Coefficiente de Dilatación.- Para el aluminio, el coeficiente de dilatación es aproximadamente el doble que el del hierro. Permanecen del mismo orden las dilataciones y las deformaciones totales debidas a la soldadura y excepto en casos particulares (piezas pequeñas con bridas) esta propiedad no constituye un obstáculo para la soldadura.

Calor Específico y Calor Latente de Fusión.- El calor específico del aluminio es dos veces mayor que el del hierro.

El calor latente de fusión del aluminio es un 30% superior al del hierro.

Esta dos propiedades son ya suficientes para justificar y definir la potencia de los medios de calentamiento que se deben emplear según los diversos procedimientos.

Conductividad Térmica.- Para el aluminio, la conductividad térmica es 3 a 5 veces más elevada que la del acero dulce, lo que significa que en el curso de la soldadura el calor suministrado al metal se disipa rápidamente en las partes cercanas a la soldadura.

Conductividad Eléctrica.- Para una intensidad dada se desarrolla menos calor en el aluminio que en el acero, como consecuencia de las diferencias de conductividad eléctrica.

Intervalo de Solidificación.- Algunas aleaciones, como el A-G5,

tienen un intervalo de solidificación importante, que alcanza 60°C .

Todas estas propiedades convergen, finalmente, para poner en evidencia el interés que hay en soldar las aleaciones de aluminio empleando medios de calentamiento potentes y muy localizados que permitan limitar las deformaciones de las piezas, proveer rápidamente la energía calorífica para fundir el metal en un volumen restringido y evitar las proyecciones de la zona pastosa entre el sólido y el líquido.

A continuación se dan brevemente algunos aspectos relacionados con la soldabilidad del aluminio y sus aleaciones, para posteriormente entrar a la parte de los diferentes procedimientos de soldadura.

Soldabilidad del Aluminio y sus Aleaciones

La soldabilidad del metal tiene tres aspectos:

- 1.- Soldabilidad Operatoria.- Que estudia las condiciones tecnológicas que un soldador, convenientemente equipado, requiere para efectuar una soldadura sin gran dificultad.
- 2.- Soldabilidad Local o Metalúrgica.- Esta cualidad resulta de las modificaciones fisicoquímicas que aparecen como consecuencia de la soldadura; depende no solamente de la aleación, sino también del procedimiento empleado.
- 3.- Soldabilidad Global o Constructiva.- Es la facultad que posee el metal de permitir la realización de conjuntos. Se define por el grado de sensibilidad del conjunto a las deformaciones y a las roturas cuando está sometido a esfuerzos.

La soldabilidad global depende de numerosos factores, como la forma de la pieza, el orden de ejecución de las soldaduras, la naturaleza de la aleación y el procedimiento de soldadura empleado.

Absorción de Gases:

Oxígeno.- Es conocida la afinidad del aluminio para el oxígeno por lo que en la soldadura hay que eliminar el óxido formado e impedir el contacto del aire con el metal fundido.

Hidrógeno.- El aluminio líquido tiene una gran afinidad por el hidrógeno, el cual no es soluble en el metal sólido. Durante el enfriamiento se libera hidrógeno, el cual permanece aprisionado en forma de porosidades, si el enfriamiento es rápido.

Se evita la absorción de hidrógeno, eliminando cuidadosamente la humedad en todas sus formas. La adición a los metales base y de aportación de determinados elementos, como el berilio, les da una tendencia a oponerse a la fijación del hidrógeno y, como consecuencia, a reducir el riesgo de formación de porosidades en los cordones de soldadura.

Nitrógeno.- En la soldadura de las aleaciones de aluminio, este gas no parece que tenga importancia capital; no obstante, en la depuración del argón para la soldadura bajo atmósfera inerte, se reduce el contenido de nitrógeno a un 2% en volumen.

Agrietabilidad

La aparición de fisuras más o menos importantes en los cordones de soldadura o en sus inmediaciones, representa en las construcciones soldadas un riesgo tanto más grave cuanto más solicitados están los montajes.

Se pueden remediar parcialmente estos inconvenientes tratando de reducir las tensiones internas, por una elección razonada de las uniones, del emplazamiento de las soldaduras, del orden en que se efectúan y del método operatorio.

En seguida se darán a conocer los principales procedimientos de soldadura y braseado del aluminio y sus aleaciones.

6.1) SOLDADURA POR FUSION

6.1.1.) La Soldadura Oxiacetilénica.

El más empleado de los procedimientos citados es la soldadura a la llama. Utiliza gases y material idénticos en todo a los que se emplean en la soldadura del acero.

Eliminación de la capa de alúmina (los fundentes): La capa de alúmina es muy estable, bajo la acción de la llama a 1150°C. Por lo tanto hay que eliminar el óxido por vía fisicoquímica. Para ello, se emplean durante la soldadura mezclas de sales llamadas fundentes.

Se trata de sales halogenadas (cloruros y fluoruros) de metales alcalinos y también alcalinotérreos, que se disponen sobre el alambre de aportación y secundariamente sobre las partes que se mezclan.

En el anexo de la página 137, se presentan dos esquemas auxiliares para los detalles operatorios de la soldadura oxiacetilénica.

Metal de Aportación: Las varillas deben estar siempre perfectamente preparadas y, sobre todo exentas de grasa del trefilado o la laminación.

Consumo de Varilla y de Fundente Decapante.

Espesor de las Chapas que se sueldan (mm).	Por metro de soldadura.	
	Varilla (g).	Fundente decapante (g).
1	25	8
2	50	10
3	75	12
4	100	15
5	150	17
6	200	18
8	250	20

Dimensiones de la Varilla de Aportación.

Espesor de las chapas que se sueldan (mm)	Varilla redonda. Diámetro (mm).
1	2
2	3
3	4
4	4-5
5	5
6	5-6
8	5-6
10	5-6

Presión del Gas: En el caso de alimentación por generador de alta o media presión o por acetileno disuelto, se utiliza como:

- Presión de oxígeno, 0.2 a 0.4 Kg/cm²;
- Presión de acetileno, 0.2 a 0.4 Kg/cm².

En el caso de alimentación por generador de acetileno a baja presión, se emplea como:

- Presión de oxígeno, 0.8 a 1 Kg/cm²;
- Presión de acetileno, la del generador (algunos gramos).

Regulación de la Llama y Potencia del Soplete: Hay que emplear llama neutra o muy ligeramente carburante (muy pequeño exceso de acetileno). La llama así regulada debe de tener un pequeño borde azulado alrededor del dardo blanco situado junto a la extremidad del mechero.

No hace falta que la llama sea oxidante, lo que se manifiesta por un dardo muy afilado y la carencia de orla azulada, figura 30.

Punteado: Los puntos de soldadura que mantienen las piezas en posición antes de la soldadura deben ser de pequeñas dimensiones, pero perfectamente penetrados.

El punteado es siempre la operación más difícil en la ejecución de una soldadura. Las soldaduras bien preparadas son más fáciles de ejecutar, de mejor calidad y de un aspecto más bello.

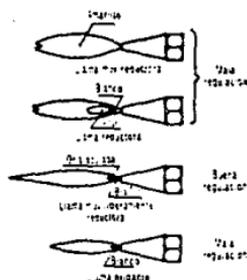


Figura 30.- Soldadura oxiacetilénica, regulación del soplete.

Métodos de Soldadura:

1.- Soldadura Horizontal (método a la izquierda): Este método permite soldar cualquier espesor, pero no siempre es el mejor.

En la figura 31 se observa la inclinación del soplete, y el movimiento que se debe realizar (movimiento rectilíneo regular y continuo a lo largo de la línea de soldadura).

2.- Soldadura en $\frac{1}{2}$ Montante: Este método puede aplicarse a las chapas de cualquier espesor, pero tiene un interés real únicamente para espesores superiores a 4 mm., asegurando penetración regular. En la figura 32 se observa el grado de inclinación.

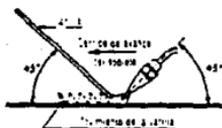


Figura 31.- Esquema de soldadura oxiacetilénica horizontal.

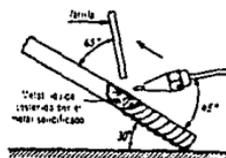


Figura 32.- Esquema de una soldadura oxiacetilénica en semimontante.

3.- Soldadura en Montante: Es el método que conduce al menor consumo de gas y que permite la obtención de velocidades más regulares. Con él se consiguen también las mejores penetraciones sobre chapas gruesas.

sas, sin presentar cordones sobrecargados.

La figura 33 nos muestra la soldadura en montante A, aplicable a chapas de espesor inferior a 6 mm y que son accesibles por un solo lado. La figura 34 nos muestra la soldadura en montante B, se aplica a las chapas de 3 a 12 mm de espesor accesibles por los dos lados, y se realiza con dos sopletes frente a frente.

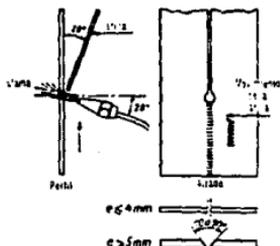


Figura 33.- Esquema de soldadura en montante A.

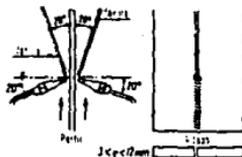


Figura 34.- Esquema de soldadura en montante B.

La soldadura en montante C, figura 35, es el único método racional para soldar con llama chapas de espesores superiores a 12 mm y que son accesibles por ambos lados.

4.- Soldadura en Ángulo Exterior: Esta soldadura se ejecuta en bordes coincidentes, formando en este caso los bordes de las chapas una especie de chaflán natural, ver figura 36.

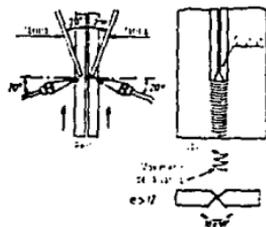


Figura 35.- Esquema de soldadura en montante C.

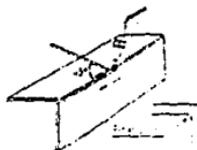


Figura 36.- Esquema de soldadura en ángulo exterior.

5.- Soldadura en Ángulo Interior: Este método es de realización bastante delicado y debe evitarse siempre que se pueda, figura 37.

6.- Soldadura en Cornisa: Este método, bastante delicado, es de realización mucho más fácil que en el caso del acero, ver figura 38.

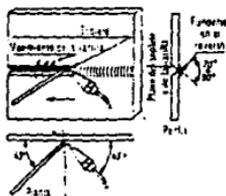
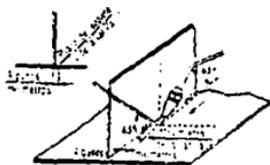


Figura 37.- Esquema de soldadura en ángulo interior.

Figura 38.- Esquema de soldadura en cornisa.

7.- Soldadura en Cabeza: Este procedimiento, que exige cierta habilidad, permite la obtención de cordones sanos y perfectamente penetrados, ver figura 39.

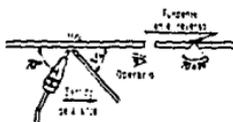


Figura 39.- Esquema de soldadura en cabeza.

Forma de las Piezas Soldadas en Cabeza: La figura 40 presenta ejemplos de defectos que hay que evitar. La forma incorrecta y la forma correcta.

Soldadura de Piezas Fundidas: La soldadura de piezas moldeadas puede hacerse para reparación de piezas deterioradas durante el servicio, de aleación desconocida y frecuentemente de composición sin definir, o para reparación de defectos de fundición en piezas nuevas, fabricadas con aleaciones de composición definida y conocida.

6.1.2.) Soldadura Oxhídrica y de Oxipropano.

El empleo de la llama de oxígeno-hidrógeno para soldar las aleaciones de aluminio no presenta diferencias muy sensibles con el empleo de la llama oxiacetilénica.

6.1.3.) Soldadura con Hidrógeno Atómico.

Este procedimiento, que se ha empleado con éxito en la soldadura del acero, ha sido igualmente aplicado a la soldadura de las aleacio-

nes ligeras de aluminio; no obstante, los procedimientos de soldadura al arco en atmósfera inerte lo han desplazado antes de que haya podido alcanzar su desarrollo industrial.

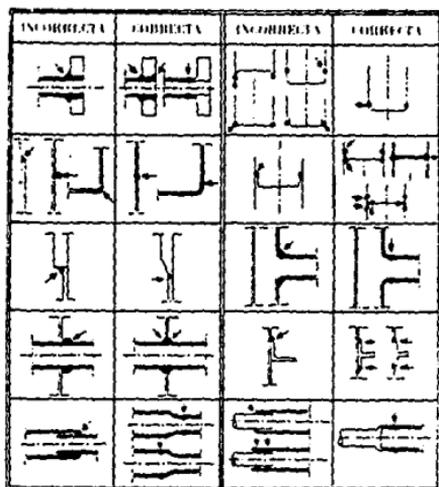


Figura 40.- Forma de las piezas soldadas con soplete oxiacetilénico.

Material: El soplete de soldadura consta de dos portaelectrodos que canalizan un chorro de hidrógeno en el lugar donde se formará el arco.

La fuente de hidrógeno más práctica es una botella. El gas comprimido a 150 Hpz, es llevado a la presión de empleo de 100 a 300 g/cm², por medio de un monorreductor.

Regulación: Los parámetros de la soldadura, son: intensidad, presión de hidrógeno y diámetro de los electrodos.

el siguiente cuadro indica los órdenes de magnitud de las cifras que deberán tenerse en cuenta. Tabla XII.

Método de Soldadura: Son análogos a los descritos en el caso de la soldadura oxiacetilénica.

El soplete se mantiene como indica la figura 41.

Tabla XII.- Ordenes de magnitud a tomarse en cuenta.

Espesor de las chapas (mm)	Diámetro de los electrodos (mm)	Intensidad (A)
1	1	20-30
2	1.5	30-50
6	2 a 2.5	40-60
8	2.5	50-65
10	2.5 a 3	55-65
12	3	60-70

Hay que procurar no tocar los electrodos con el metal de aportación ya que el corto circuito que se originaría soldaría los electrodos.

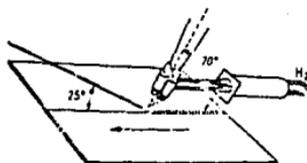


Figura 41.- Soldadura con hidrógeno atómico.

6.1.4.) Soldadura al Arco con Electrodo de Carbono.

Este procedimiento consiste en hacer saltar un arco entre un electrodo de carbono y las piezas que se sueldan, siendo alimentado el arco generalmente en polaridad directa.

Soldadura Automática: este procedimiento de soldadura puede hacerse automático cuando lo permitan la forma de las juntas y el ritmo de trabajo. En el siguiente cuadro se dan los parámetros de soldadura al arco con electrodos de carbono.

Espesor mm	Preparación de los bordes	Diámetro del alambre de apertura mm	Intensidad A		Tensión V	Velocidad de soldadura automática mm/min
			Manual	Automático		
1.6		1	70	110	25	900
1.2		1	80	100	28	700
1.8		1	125	125	29	500
0.1		1	100	150	30	100
12.2		1	100	125	33	200

Aplicaciones: Depósitos de carburante para la industria aeronáutica, depósitos para la industria química, tuberías, elementos de armazones para obras militares.

6.1.5.) Soldadura al Arco Bajo Argón con Electrodo Refractario (Procedimiento TIG).

Este procedimiento consiste en hacer saltar un arco entre un electrodo refractario (tungsteno o tungsteno con torio) y la pieza que se suelda, mientras que un chorro de argón (u otro gas químicamente inerte), que rodea al electrodo, protege a éste y al baño fundido contra la oxidación y la nitruración por el aire.

Nota: Las iniciales TIG significan Tungsten Inert Gas, denominación que ha sido adoptada de acuerdo con el Instituto Internacional de la Soldadura.

El principal interés del procedimiento recide en el hecho de que permite la soldadura autógena del aluminio sin fundente; basta, que el arco se mantenga bajo ciertas condiciones para que se elimine el óxido de la superficie del baño de fusión y del metal de aportación.

Para la preparación de los bordes se recurrirá a los croquis de la figura 42.

La posición del soplete manual está esquematizada en la figura 43 (soldadura horizontal) y la figura 44 (soldadura en montante).

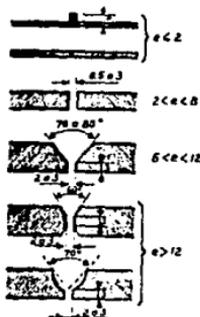


Figura 42.- Preparación de los bordes para soldadura TIG.



Figura 43.- Soldadura TIG horizontal, posiciones del soplete y de la varilla.

Un esquema posible de montaje se representa en la figura 45.

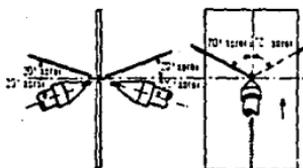


Figura 44.- Soldadura TIG en montante, posiciones del soplete y de la varilla.

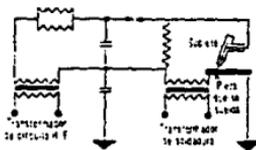


Figura 45.- Esquema de una instalación de soldadura al arco bajo argón con electrodo refractario (TIG).

Soplete de Soldadura: Sirve para sujetar el electrodo (pinza portaelectrodos), para llevar la corriente y para asegurar la salida sin turbulencias del argón alrededor del electrodo y del arco.

El modelo más usual se emplea para intensidades del orden de 250 A en régimen continuo ó 300 A en régimen discontinuo, figura 46.

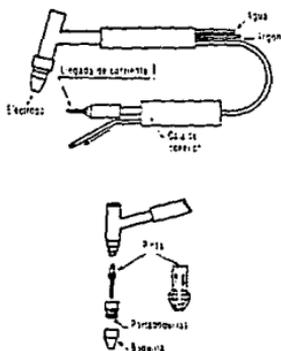


Figura 46.- Soplete para la soldadura TIG.

Electrodos: Es importante procurar que el metal del electrodo, tungsteno o tungsteno toriado, esté libre de toda contaminación u oxidación.

En el anexo de la página 138, están indicados los parámetros de la soldadura de tipo horizontal.

6.1.6.) Soldadura al Arco con Electrodo Revestidos.

Este método emplea electrodos de alma de aluminio o aleación de aluminio y con un revestimiento para:

- La eliminación de la capa de alúmina.
- La protección del baño de fusión frente al oxígeno del aire.
- La ionización de la atmósfera en la que salta el arco.

Electrodos: Las variedades generalmente comercializadas son : A5, A-M, A-G3, A-G4, A-G5, A5GT, A-S5 y A-S10. La aleación A-S5 se emplea a menudo como electrodo universal.

En el anexo de la pág. 139 se muestran los parámetros de la soldadura al arco con electrodo revestido.

Como en el caso de los fundentes de la soldadura oxiacetilénica, la composición de los revestimientos está formada por la mezcla de varias sales, constituidas por:

- Los aniones Cl, F, etc.
- los cationes K, Na, Li, Mg, Al, Ca, Ba, etc.

De una manera general se puede decir que el efecto común de todos los electrodos es la tendencia a la higroscopicidad del revestimiento. por lo tanto, hay que tener un cuidado especial en el embalaje, el almacenamiento y la manipulación.

Aplicaciones: Tiene aplicaciones en caldería pesada (cisternas, blindajes, mamparas, intercambiadores, etc.), en la reparación de piezas de fundición, en material rodante (armazón de vagones, vehículos rodantes) y en las estructuras metálicas.

6.1.7.) Soldadura al Arco Bajo Argón con Electrodo Consumible (Procedimiento MIG).

Este segundo procedimiento de soldadura, en el que se hace saltar un arco en atmósfera inerte entre el electrodo y la pieza, emplea un electrodo consumible (de aluminio o aleación de aluminio), que constituye el metal de aportación.

Nota: Las iniciales MIG significan Metal Inert Gas. Adoptada por el Instituto Internacional de la Soldadura.

Dentro del equipo, se encuentra una pistola del tipo de la figura 47, accesorios de protección, equipo de mando, aparato-motor, alambre-electrodo, fuente de alimentación de argón y fuente de alimentación de corriente eléctrica de soldadura.

Los alambres-electrodos actualmente comercializados en Francia son:

Metal	Diámetro mm.
A5	1.6 y 2.4
A-G3	1.6 y 2.4
A-G4	1.2-1.6 y 2.4
A-G5	1.2-1.6 y 2.4
A-S5	1.6

La figura 48 nos muestra la instalación MIG, con todos sus accesorios.

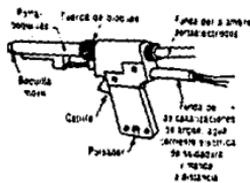


Figura 47.- Esquema de la pistola de soldadura MIG.

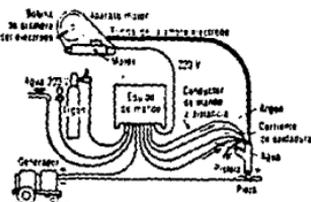


Figura 48.- Esquema de una instalación MIG de soldadura.

Los alambres-electrodos están especialmente desengrasados y decapados, ya que son condiciones necesarias para la ejecución de una buena soldadura.

Fuente de Alimentación de Argón: Igual que para la soldadura TIG, se suministra a una presión de 200 Kg/mm^2 en botellas de acero que contienen, en general, 10m^3 de gas, referidos a la presión atmosférica.

La preparación de los bordes se indica en la figura 49.

Métodos de Soldadura: La soldadura se ejecuta, generalmente, a la izquierda con una velocidad regular de avance. El eje de la pistola se mantiene en el plano normal a la junta soldada y puede inclinarse de manera que forme un ángulo de 80° aproximadamente con el plano de las chapas.

Parámetros de Soldadura: Si se considera que las cantidades de argón necesarias para la soldadura están comprendidas entre 18 y 24 lt/min., quedan por fijar tres parámetros principales para la ejecución de una soldadura:

- La intensidad de la corriente de soldadura.
- El diámetro del alambre-electrodo.
- La velocidad de desenrollado del alambre-electrodo.

Se han reunido en gráficos los parámetros para una longitud de arco normal entre 5 y 7 mm para la soldadura horizontal de A5 y A-G5 en función de los espesores (ábacos de la figura 50).

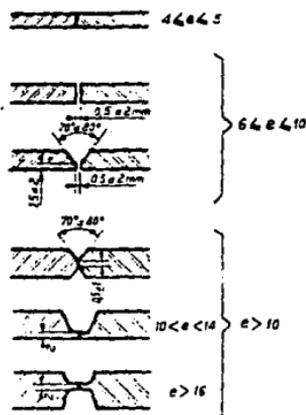


Figura 49.- Preparación de los bordes para la soldadura MIG.

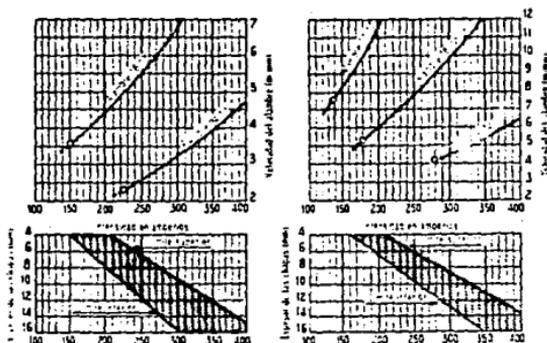


Figura 50.- Parámetros de soldadura MIG de A5 y A-G5.

Observaciones: Para cada clase y diámetro de alambre, hay que emplear un valor mínimo de la corriente de soldadura.

Tipo de alambre	Corriente mínima en A para diámetros en mm de :		
	1.2	1.6	2.4
A5	-	140-150	210-220
A-G3	120-130	160-170	240-250
A-G5	130-140	180-190	280-290

6.1.8.) Soldadura-Braseado con Soplete.

Es un procedimiento parecido a la soldadura oxiacetilénica. Consiste en unir dos piezas de aluminio o aleación con ayuda de un metal de aportación a base de aluminio y cuyo punto de fusión es inferior al del metal que se desea soldar.

El material y los métodos son muy parecidos a los de la soldadura con soplete.

Metales de Aportación: Prácticamente el A-S10, que es de composición parecida a la eutéctica Al-Si (11.7% Si y que funde a 577°C), es el más empleado.

Metales Base en el Braseado: El aluminio y la mayoría de las aleaciones soldables admiten el braseo, es una excepción las aleaciones que contienen más de 3% de Mg.

Aleaciones de Fundición: El A-S10 es igualmente adecuado a la mayoría de las aleaciones de fundición excepto las de elevado contenido de magnesio.

Tipo de Ensamblajes: El braseado es conveniente en la fabricación de ensamblajes complicados donde las uniones se presentan en forma de recubrimientos; como unión de tubos y bridas, virolas ensambladas, etc..

La figura 51 indica algunos tipos de ensamblado realizados por braseo.

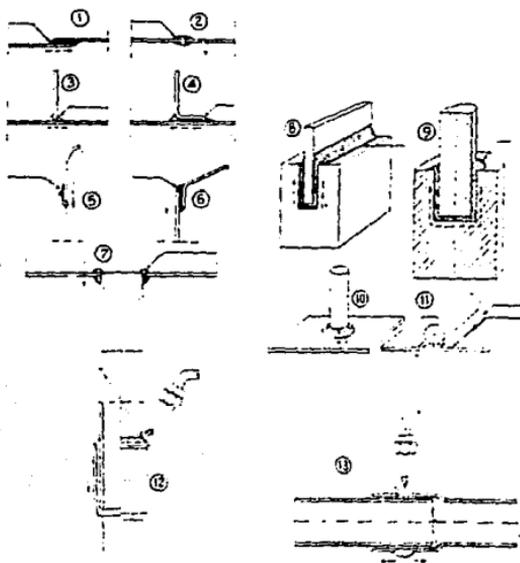


Figura 51.- Diversos tipos de juntas realizables por soldadura-braseado.

Tipos de Braseo:

- a) Braseado al Horno: Que es en realidad una soldadura braseado.
 - b) " por Inmersión: Consiste en sumergir las piezas en un baño de fundente líquido siendo colocado el metal de aportación cerca de las juntas a efectuar.
 - c) Braseado por Inducción: Por medio de corrientes de alta frecuencia, es un procedimiento de explotación industrial para el aluminio, a pesar de que su empleo hasta la fecha está poco extendido.
 - d) Braseado del Aluminio a Baja Temperatura: Consiste en unir dos piezas con ayuda de un metal de aportación de bajo punto de fusión (inferior a 430°C).
- La mayoría de los braseados citados anteriormente son adecuados para la unión de aluminio con cobre o latón. Es importante en estos casos, asegurar la protección de las juntas siempre que sea posible.
 - Excepto en el caso de soldadura en inclinación con sobrecargas en la superficie, es necesario, para la aplicación del braseado, preparar separadamente las partes que se unen, ya que el metal de aportación llena con dificultad las juntas por efecto de la capilaridad, incluso cuando se emplean fundentes.
 - No se puede efectuar la anodización de las piezas braseadas sin temor al deterioro de las juntas bajo el efecto de los ácidos de los baños de oxidación. Cuando sea indispensable la anodización, se puede sustituir el A-S10 por la aleación Al-Zn-Cu (alrededor de 8% de Zn, y 4 a 5% de Cu) como metal de aportación.

Aplicaciones: Las más importantes son la reparación de los defectos superficiales de las piezas fundidas, las juntas de cables en la industria eléctrica, en recubrimientos (no obstante se prefiere la soldadura-braseado), en uniones Al/Fe y Al/Cu.

6.2) SOLDADURA POR RESISTENCIA

Bajo la denominación general de soldadura por resistencia se designan normalmente tres procedimientos, la soldadura por puntos, la soldadura con la moleta, y la soldadura a tope que emplean conjuntamente el efecto Joule como fuente de calor y una acción mecánica para localizar y realizar la junta.

6.2.1.) Soldadura por Puntos.

Las partes que se sueldan están prensadas entre dos electrodos y por el circuito así formado, se hace pasar una corriente eléctrica que genera calor en las diversas resistencias de contacto.

Es conveniente soldar en tiempos muy cortos (de 1/50 a 1/5 seg.), lo cual es muy favorable en el caso de aleaciones de tratamiento térmico.

Por el contrario, la corriente de soldadura debe de ser de gran intensidad (por ejemplo, del orden de 50000 A en el secundario para soldar dos chapas de 2.5 mm de A-SG).

Máquinas Fijas:

- Máquina de Acumulación: Este tipo de máquina es alimentada con corriente trifásica. Por medio de un rectificador se alimenta un circuito de acumulación de energía electrostática o un acumulador de energía electromagnética.

- Máquina de Ondas Moduladas: En esta máquina de reciente concepción, la corriente de soldadura consiste en una serie de impulsos de corriente rectificadas.

Equipo de Pinzas: Si la realización de uniones muy voluminosas exige montajes demasiado embarazosos cuando se emplea máquinas fijas de soldar, es preferible dejar las piezas en reposo y servirse de unas pinzas.

Existen dos variantes, las pinzas en C (figura 52) en las que el electrodo móvil se desplaza por traslación y las pinzas articuladas (figura 53), en las que los brazos se desplazan por rotación alrededor de un eje común.

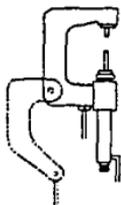


Figura 52.- Equipo de tenezas con electrodo móvil.

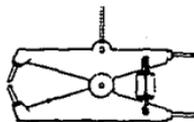


Figura 53.- Equipo de soldadura con tenazas articuladas.

Los electrodos: Los electrodos deben responder a las exigencias principales siguientes:

- Gran conductividad eléctrica y térmica.
- Buena resistencia mecánica.

Da buenos resultados el cobre electrolítico estirado (dureza Brinell de 90 a 100 Kg/mm²), siendo preferible a determinadas aleaciones de mayor dureza.

En todos los casos y más particularmente con electrodos de aleaciones de cobre, es importante asegurar su buena refrigeración, que se efectúa por circulación de agua, ver figura 54.

Dentro de las formas de los electrodos, se puede elegir entre puntas troncocónicas, esféricas o planas. De las primeras, debe tener un ángulo sólido (A) comprendido entre 110° y 165°, para favorecer la evacuación del calor, ver figura 55.

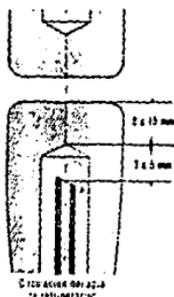


Figura 54.- Electrodo de cobre con refrigeración de agua.



Figura 55.- Puntas troncocónicas de los electrodos.

Realización de la Soldadura por puntos: Todas las aleaciones de aluminio son soldables por puntos; el aluminio puro es de soldadura menos fácil que las aleaciones, ya que su conductibilidad eléctrica es mayor y su dureza menor, lo que obliga a disminuir la presión de soldadura.

La Tabla XIII y la Tabla XIV, presentan algunos datos importantes acerca de la soldadura por puntos.

Tabla XIII.- Relación de diámetros y espesores para la soldadura por puntos.

Espesor de las chapas en mm.	Diámetro de los puntos de soldadura.		Diámetro de las puntas troncocónicas dl mm	Radios de curvatura. R mm
	Para uniones activas dt mm	Para uniones secundarias mm		
0.5 + 0.5	3.1-3.5	2.5-3.1	3.5-3.9	35-40
0.8 + 0.8	3.4-3.8	2.8-3.4	3.8-4.2	
1.0 + 1.0	3.7-4.1	3.1-3.7	4.1-4.6	40-55
1.2 + 1.2	4.2-4.8	3.6-4.2	4.8-5.3	
1.5 + 1.5	5.3-6.0	4.6-5.3	6.0-6.3	60-75
1.8 + 1.8	6.4-7.2	5.6-6.4	7.2-7.9	
2.0 + 2.0	7.0-7.8	6.2-7.0	7.8-8.6	80-100
2.6 + 2.6	8.5-9.5	7.5-8.5	9.5-10.4	
3.2 + 3.2	9.7-10.9	8.5-9.7	10.9-12.0	110-140
4.8 + 4.8	12.6-14.9	11.0-12.6	14.2-15.5	

Tabla XIV.- Defectos de soldadura.

Defectos observados	Causas probables
Puntos pegados (mal desabotonado).	Intensidad insuficiente. Mal contacto de las chapas. Presión excesiva. Mal contacto de los electrodos.
Puntos quemados (chapas perforadas).	Intensidad insuficiente. Mal contacto de las chapas. Presión insuficiente. Calentamiento exagerado de los electrodos.
Proyecciones.	Intensidad excesiva. Mal decapado de las chapas. Presión insuficiente. Calentamiento exagerado de los electrodos.
Empañamiento de la superficie del punto.	Electrodos sucios. Calentamiento exagerado de los electrodos.
Huellas demasiado profundas.	Intensidad excesiva. Presión excesiva o diámetro insuficiente de los electrodos.
Huellas irregulares.	Electrodos deformados o no coaxiales.

6.2.2.) Soldadura con la Moleta.

La soldadura con la moleta difiere solamente de la soldadura por puntos por la utilización de rodillos o moletas giratorias para el ajuste de las chapas y la conducción de la corriente eléctrica.

6.2.3.) Soldadura a Tope.

La soldadura por resistencia en la que las piezas se ponen en contacto y luego se aplica una presión, se emplea únicamente para la soldadura de alambres. Para la soldadura a tope de tubos, perfiles y bandas, se emplea casi exclusivamente el procedimiento de soldadura por generación de chispas.

Ciclo de soldadura (figura 56): El equipo móvil adquiere un movimiento lento, una vez colocadas las piezas bajo tensión. Se establece un contacto imperfecto entre las piezas, el cual produce una fusión parcial de las superficies de contacto. Las partículas fundidas se oxidan rápidamente, pero son expulsadas a medida que se produce el avance de la máquina y se generaliza la fusión en toda la superficie de contacto. Este es el periodo de generación de chispas (de 1 a 3 s) con una corriente de soldadura de aproximadamente 150 A/mm^2 .

Observaciones Sobre la Soldadura por Chispas del Aluminio y sus Aleaciones: Análogamente al caso de la soldadura por puntos, la soldadura por generación de chispas exige, teniendo en cuenta las grandes conductividades térmicas y eléctricas de las aleaciones de aluminio, la actuación de potenciales elevados durante ciclos muy cortos.

Por último, la parte móvil debe presentar la menor inercia posible para permitir una aceleración muy rápida del periodo de generación de chispas.

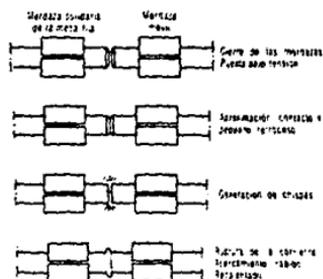


Figura 56.- Sucesión de operaciones en la soldadura por generación de chispas.

6.2.4.) Soldadura de Espárragos.

La soldadura de espárragos puede ser considerada como un caso particular de la soldadura por generación de chispas. Son posibles varios métodos y según los tipos de aparatos se realiza con o sin gas protector.

El método Operatorio es: El espárrago, sostenido por la pistola es apoyado contra la pared a la que se suelda, el casquillo de cerámica rodea la base del espárrago y entonces el argón comienza a fluir.

Posteriormente se lanza la corriente eléctrica y el espárrago se retira para cebar el arco, que se extiende progresivamente sobre toda la superficie del espárrago; en este momento, se empuja el espárrago hacia adelante, en el baño de fusión previamente formado, realizándose de esta manera la soldadura.

El tipo de aparato que se usa, consta de una pistola provista de un cableado de alimentación de corriente eléctrica, de su tubería de alimentación de gas inerte y de los dispositivos portaespárragos y portacasquillo.

El tipo de pistola empleado se aplica a espárragos de dimensiones comprendidas entre 4.8 y 12.7mm de diámetro para las aleaciones A-S5 y A-G5.

6.3) SOLDADURA EN FRIO

La soldadura en frío por presión se efectúa bien punta con punta (caso de barras macizas, por ejemplo), o bien por recubrimiento (caso de chapas, láminas o perfiles), bajo la acción única de un esfuerzo mecánico aplicado sobre las partes que se unen, las cuales han sido previamente desengrasadas y decapadas por medio de una abrasión cuidadosa.

A pesar de la elevación de temperatura resultante de la deformación y de la interpenetración de las zonas que se sueldan, la soldadura se realiza a la temperatura ambiente, sin que durante la operación aparezca ninguna fase líquida.

Las presiones necesarias para la obtención de una soldadura por recubrimiento varían según la naturaleza del metal entre 16 y 30 Kg/mm², yendo desde el A9 recocido hasta el A-SG.

El magnesio, cobre, níquel y los metales preciosos pueden ser soldados por este procedimiento.

De la misma manera puede realizarse la soldadura de dos metales diferentes. Así, se realiza fácilmente la soldadura a tope de barras de aluminio con cobre.

En embalajes se emplea la soldadura en frío del papel aluminio.
6.3.1.) Soldadura por Ultrasonido.

La soldadura por ultrasonido consiste en producir una soldadura por la acción simultánea de una fuente de energía ultrasónica y una presión mecánica. No intervienen gases protectores, fundentes, metal de aportación, ni paso de corriente eléctrica a través del metal.

Principio: Las piezas que se sueldan se interponen entre un sonotrodo metálico, animado de vibraciones ultrasónicas paralelas al plano entre caras de las dos piezas, y un yunque que hace el oficio de reflector. Los dos parámetros principales de regulación para conseguir una soldadura de calidad son : la presión del sonotrodo activo sobre el yunque y la energía que se aplica a este sonotrodo.

Métodos de Soldadura: Los comentarios anteriores se refieren a la soldadura por puntos. Reemplazando las partes fijas (sonotrodos y yunque) por moletas, es posible realizar soldaduras continuas. Existen ya máquinas en el comercio, pero sus posibilidades actuales se aplican únicamente al papel de aluminio.

Metales Soldables: El aluminio y sus aleaciones son soldables sin excepción. A consecuencia de la pequeña elevación local de temperatura, las aleaciones de tratamiento térmico no son prácticamente afectadas por este procedimiento de soldadura.

Por otra parte, el aluminio se suelda a numerosos metales como el Cu, Fe, Mg, Be, Ni, Ti, Ta y otros metales preciosos.

La eliminación de la capa natural de óxido se efectúa en la zona entre caras de las piezas bajo la acción de los ultrasonidos.

Aplicaciones: La soldadura por ultrasonido permite realizar una gran variedad de uniones.

De hecho, es segura la soldadura de algunas centésimas de milímetro, lo que muestra las posibilidades que se ofrecen a la industria eléctrica (condensadores) y a la del embalaje (bolsas).

7.4) PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

6.4.1.) Soldadura con Arco Sumergido.

Consiste en soldar el arco con un alambre desnudo de aluminio o aleación, alimentado automáticamente a partir de una bobina de almacenamiento y que pasa a través de una capa de fundente en polvo o cristalizado. (figura 57).

El fundente se seca y se funde bajo el efecto del calor inicialmente desprendido por el arco y después la corriente eléctrica genera el calor necesario para la fusión del alambre de aportación. El fundente desempeña, pues, el papel de decapante y de fuente de calor.

6.4.2.) Soldadura por Alta Frecuencia.

En este tipo de soldadura se aplica directamente a las piezas que se sueldan una corriente de alta frecuencia (100 Kc, por ejemplo) por medio de electrodos de contacto. Estas piezas se tocan en una de las extremidades que se sueldan, mientras que el resto de la junta permanece ligeramente distanciado en forma de "V" muy puntiaguda. La corriente se reparte entre los electrodos y la extremidad de la "V" que alcanza localmente la temperatura de fusión. Basta ejercer en este punto una presión tendente a acercar las piezas para que la soldadura se realice. Se recomienda efectuar justamente antes de la soldadura y elevando los electrodos, el decapado del metal por abrasión mecánica, en particular sobre la misma sección de las partes que se sueldan.

Este procedimiento constituye uno de los métodos actuales de fabricación de tubos soldados a partir de bandas de metal conformadas en máquinas de rodillos.

Igualmente se puede emplear la soldadura de alta frecuencia para soldar una banda enrollada en espiral alrededor de un tubo (figura 58).

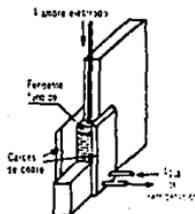


Figura 57.- Esquema de soldadura con arco sumergido.

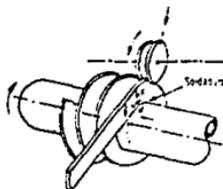


Figura 58.- Soldadura por alta frecuencia de unas espiras sobre un tubo.

6.4.3.) Soldadura por Frotamiento.

Permite soldar a tope barras o tubos, o también uno de estos elementos sobre una placa, por medio del desprendimiento de calor producido por el frotamiento de las piezas que se unen, bajo la acción de una presión mecánica. Hacia el final del proceso aparece una fase líquida que señala el momento en que se para el frotamiento y se ejerce una sobrepresión que se mantiene durante algunos segundos para producir la soldadura.

En este caso los parámetros de la soldadura son la velocidad de rotación y la presión. Parece preferible el empleo de grandes velocidades de rotación y pequeñas de presión.

Este procedimiento, que permite igualmente soldar entre sí dos metales diferentes (Al/Fe, Al/Cu), es interesante por el precio relativamente barato del metal necesario, por la pequeña potencia que se necesita (motor de 6 CV para soldar secciones de 650 mm^2) y por la rapidez de ejecución de la soldadura.

6.4.4.) Soldadura Al/Fe, Al/acero inoxidable, Al/Cu.

Se pueden realizar estas uniones por braseado de bajo punto de fusión, por generación de chispas, por soldadura en frío con presión y por soldadura con rozamiento.

Para la soldadura al soplete o al arco bajo argón se ha propuesto un tratamiento preliminar de los metales férricos o cúpricos, como estañado, cincado o cadmiado, por inmersión, por vía electrolítica o química o también por metalización.

En el caso de los metales férricos, los mejores resultados se obtienen procediendo previamente a un aluminizado por inmersión.

En el caso de metales cúpricos, el estañado o el cincado previo dan resultados más constantes.

6.4.5.) Soldadura por Difusión.

La soldadura por difusión consiste en calentar la junta (que puede tener un metal intermedio) un poco por debajo del sólido del metal más fusible, manteniendo esta junta bajo fuerte presión durante cierto tiempo. No se forma ninguna fase líquida y la unión se produce por el movimiento de los átomos situados en la superficie entrecaras cuidadosamente preparada.

Las presiones son del orden de 300 a 600 Kg/cm² y la duración de la operación oscila entre 20 minutos y 3 horas según la naturaleza de los metales presentes.

Puede ser ventajoso trabajar bajo atmósfera inerte para evitar la oxidación de las superficies que se unen.

CAPITULO VII

APLICACIONES DEL ALUMINIO
Y SUS
ALEACIONES EN I. Q.

Generalidades:

La utilización del aluminio y sus aleaciones en varios campos de la ingeniería se está expandiendo tanto, que se han desarrollado una inmensa gama de mezclas metálicas complejas.

Casi todas las aleaciones comerciales de aluminio forman, al enfriarse, una estructura sólida de dos fases debido a la escasa solubilidad de los otros metales. El magnesio precipita como un complejo cuando su proporción excede aproximadamente el 3%, y el cobre tiene una solubilidad final de menos del 0.2% a las temperaturas comunes. La precipitación de estos metales aleados en forma de cristales complejos determina la formación de una superficie irregular, y puede llegar a no formarse la tan importante película de óxido. Aleaciones duraluminio conteniendo cobre son particularmente propensas a la corrosión, y aunque mecánicamente son las más fuertes de estas aleaciones livianas, nunca se les utiliza en condiciones corrosivas. Los metales que contienen magnesio son el mejor término medio entre resistencia a la corrosión y resistencia, y el manganeso en pequeñas cantidades produce en parte el mismo efecto. Las fundiciones del metal puro no son sólidas, y las aleaciones comunes para fundición contienen el 10% de silicio. En el caso de los equipos químicos, éstas pueden ser reemplazadas con ventaja por las aleaciones para fundición de magnesio.

Resulta posible combinar las mejores propiedades del aluminio puro con la fortaleza del duraluminio, utilizando planchas enchapadas. Se utiliza un proceso de laminado en caliente para obtener una envoltura de metal al 99.5% sobre una aleación de 4% de cobre. Estas planchas, conocidas comercialmente como "Alclad", son extremadamente estables, y tienen las capas internas completamente fundidas sobre la cubierta más pura. Desgraciadamente la fusión es tan buena que los elementos aleados del interior difunden hacia la superficie durante

cualquier tratamiento térmico prolongado, y es obvio el peligro de que ocurra esto durante el proceso de soldado.

Diversas propiedades especiales del aluminio militan a favor de su empleo en la industria química.

- Compuestos Blancos o Incoloros: Todas las sales de aluminio son blancas o incoloras y no hay peligro alguno de que los productos químicos que se guardan o manipulan en recipientes de aluminio adquieran color alguno.
- Pequeña Densidad: Factor interesante tanto para las piezas en movimiento (tambores, cilindros, agitadores) como para los recipientes que sirven al transporte (cisternas, barriles).
- Alta Conductividad Térmica: Ventaja clara para todo montaje en el que se necesite una alta transferencia de calor.
- No Tóxico: Ninguna sal de aluminio es tóxica, por lo que su empleo está muy difundido entre el material destinado a la industria alimenticia o farmacéutica.
- No Producción de Chispas: Teniendo en cuenta esta propiedad, el aluminio y sus aleaciones pueden utilizarse en todos los casos en que se utiliza explosivos o materiales inflamables.
- No Catalítica: Se puede considerar al aluminio como un reductor, por lo que produce un mínimo de riesgos de oxidación, de polimerización o de acción catalítica frente a los productos químicos frágiles.
- Alto Poder Reflector: Esta propiedad se utiliza, especialmente cuando el aluminio se emplea como cubrición de calorifugado.
- Excelente Estado Superficial de los Productos Laminados o Extruidos: Que se traduce, en el caso de tuberías, en una disminución importante de las pérdidas de carga. El aluminio desde este punto de vista se parece al vidrio.

En el campo especial de la industria nuclear son interesantes otras dos propiedades:

- Pequeña Sección de Paso de Neutrones: 0.215 barns. El aluminio no aleado es un material elegido para el enriquecimiento de los combustibles. La industria francesa produce calidades llamadas "Aluminio Nuclear" para el que se garantizan contenidos de impurezas tales como el boro, litio,..... inferiores a 1 ppm.

- Ausencia de Isótopos Radioactivos: El aluminio puede, por lo tanto, ser bombardeado sin que exista peligro de que quede radioactividad.

Elección de aleaciones para las industrias químicas y alimenticias: Es evidente que para la construcción de aparatos destinados a la fabricación, almacenamiento o transporte de productos químicos, la resistencia del metal a la acción del producto desempeña un papel predominante, interviniendo a menudo consideraciones de orden mecánico. La utilización de aluminio no aleado puede conducir a veces a espesores inaceptables, por lo que es necesario tener en cuenta un número limitado de aleaciones.

7.1) ALEACIONES QUE SE EMPLEAN EN LA I.Q.

7.1.1.) Aleaciones de Fundición.

A5 ó A8

Su empleo es raro debido a pequeñas características mecánicas. Únicamente se les utiliza para piezas que no sufren esfuerzo alguno.

A-S4G, A-S7G, A-S10G, A-S13

Son las más utilizadas debido a su excelente colabilidad, poseen, además, una buena resistencia en medio neutros o ligeramente ácidos. Ver figura 59.

A-G3T, A-G6

Son elegidas con preferencia a las anteriores para medios ligeramente alcalinos.

A-U5GT

Se utiliza cuando la pieza debe sufrir esfuerzos mecánicos importantes, aunque la presencia de cobre (5%) en esta aleación hace descender su resistencia a la corrosión.

La calidad de la fundición tiene, generalmente, una gran importancia. Es indispensable que las piezas tengan el grano más fino posible; el fundidor debe saber afinar las aleaciones que han de sufrir este tratamiento (A-S7G, A-S10G, A-S13), es recomendable dejar intacta la superficie de moldeo y siempre que sea posible, se procede a un anodizado.

7.1.2.) Aleaciones de Laminación.

A5

Se utilizan siempre que el cálculo no determine espesores prohi-

bitivos. Su excelente capacidad de conformación permite la realización por soldadura de los aparatos más complicados. Ver figura 60.



Figura 59.- Grifo de A-S13 para la industria química.



Figura 60.- Cambiador de calor, de A5 soldado, en periodo de montaje.

A8

Se elige en los casos de difícil corrosión; tiene una capacidad de conformación muy buena; la referencia más conocida es la de su empleo para recipiente de ácido nítrico concentrado.

A-G3, A-G4

Con una resistencia a la corrosión muy próxima a la del aluminio no aleado, se emplea cuando entran en juego consideraciones mecánicas. Estas aleaciones tienen una gran resistencia a la acción de las soluciones de cloruros.

A-SG

Esta aleación de tratamiento térmico y de una solubilidad más difícil es elegida por su buena resistencia a las soluciones ácidas orgánicas.

A-GS

Esta aleación tiene una excelente capacidad de extrusión; es elegida para la fabricación de tubos sin soldadura por canalizaciones, tuberías y pipelines, de grandes longitudes.

A-M1, A-G1

Estas aleaciones, muy parecidas a la A5 en cuanto a su resisten-

cia a la corrosión, poseen características mecánicas ligeramente superiores, y son utilizadas para revestimientos calorífugos.

7.1.3.) Aluminio o Aleaciones Plaqueadas.

Las aleaciones A5, A8, A-M1 pueden plaquearse fácilmente por una o las dos caras con una aleación aluminio-cinc de 2% de Zn. Esta aleación es anódica respecto al A5, A8, A-M1, con lo que desempeña el papel de ánodo consumible, y la corrosión se produce solamente sobre el plaqueado, quedando protegido el metal base. Estos plaqueados se utilizan para la construcción de canalizaciones para el transporte de agua pura o menos cargada de cloruros, y se fabrican por rodadura o soldadura.

Lo mismo que para aleaciones de fundición, el estado superficial es un factor de primera importancia. La conformación del metal se debe realizar con sumo cuidado. Es necesario evitar toda clase de inclusiones metálicas y rayas que sean origen de corrosión por pares galvanicos o por fenómenos de aireación diferencial.

Es necesario evitar sobrecalentamiento local que podría traducirse en diferencia de potencial entre el metal con acritud o semiduro y el metal recocido.

Finalmente, se debe evitar los decapados, utilizados frecuentemente por los caldereros con un fin estético, debiendo uno contentarse con un buen desengrasado.

Los aparatos deben ser concebidos de tal manera que la circulación de los fluidos o líquidos no den origen a torbellinos que pudieran producir erosiones en los aparatos.

En ciertos casos, el aparato puede ser sometido a un anodizado, una operación de conversión química o un pasivado. A este respecto, se recomienda introducir el aparato en una solución de ácido nítrico diluido (10% de HNO_3) durante algunas horas. Desaparecen todas las inclusiones de la superficie y se forma una capa compacta de óxido que protege muy bien al aluminio.

7.2) FABRICACION DE EQUIPOS

Aun el aluminio más puro es mucho más apropiado que por ejemplo el plomo para la construcción directa, y es muy adecuado para los equipos que deban ser rígidos y soportarse a sí mismos. Los recipientes

tes típicos de aluminio se construyen a partir de planchas soldadas, y las porciones semejantes a bridas se refuerzan con anillos de acero. La construcción remachada no es común, pero si factible. La ingeniería naval se ha apoyado generalmente en el remachado, utilizando una aleación con 5% de magnesio para los remaches, los cuales pueden ser trabajados en frío o en caliente (450°). Esto puede ser un resabio de la tradición en construcción naval, y favorece la corrosión local. La soldadura por fusión parece ser un recurso más eficaz y puede realizarse tanto con gas como con el proceso de arco eléctrico. También se dispone de dos métodos de "producción masiva" (resistencia y presión directa) pero se les aplica muy rara vez en los equipos químicos.

El problema fundamental en la soldadura consiste en la oxidación y la inclusión de óxido; se requiere una capa pesada de pasta, para la cual se han establecido especificaciones. Está formada fundamentalmente por cloruros y fluoruros de los metales alcalinos, y se debe disponer las cosas como para eliminarla de las juntas después de soldar, ya que de lo contrario se establecen centros de corrosión. Las juntas deben diseñarse de manera de evitar inclusiones de pasta y luego se les debe frotar con agua caliente, o aun ácido nítrico diluido.

Las aleaciones de aluminio tienen una expansión térmica doble de la correspondiente del acero, y las soldaduras que no permitan el encojimiento posterior se rajarán al enfriarse. En todas las soldaduras a gas, y en cierta medida en las de arco voltaico, hay una tendencia a absorber el agua en forma de óxido de hidrógeno. Este último se libera del metal al enfriarse dejando una soldadura porosa, de manera que todas las superficies deben ser limpiadas y secadas antes de comenzar las operaciones. Siempre que sea posible, la junta debe trabajarse en frío por martillado, junto con las áreas circundantes, de manera de obtener una estructura granular uniforme. Generalmente es cierto que el metal recocido es catódico con respecto a la estructura del metal duro, de manera que la soldadura y el área circundante no son atacados preferentemente por esta razón, pero es conveniente romper los grandes cristales que puedan existir, mediante trabajado en frío.

Los procesos más modernos de soldadura emplean una protección de gas de argón, administrado con la pasta. Se utiliza un arco de tungsteno metálico, el que da velocidades de soldado de 2.4 m por minuto,

utilizando menos de 0.5 m^3 de argón por hora. En la actualidad el método está bien probado, y debería utilizarse siempre en la construcción de equipos.

La soldadura con aleación de aluminio-silicio es apropiada cuando se utiliza el aluminio puro, pero puede provocar dificultades con las aleaciones que contienen magnesio. Como tales juntas introducen un lógico peligro de corrosión, no se les debe emplear en los equipos. La "Aluminium Development Association" (Asociación para el Desarrollo de Aluminio) ha publicado boletines sobre unión de partes de aluminio, que abarcan en forma exhaustiva las técnicas de trabajo.

La facilidad con que se estira o se deforma el metal, permiten hacer de una sola pieza los más complicados y refinados tubos para intercambiadores de calor, y tubos para otros fines.

En el diseño del equipo debe tenerse en cuenta que las conductividades térmicas de las aleaciones son altas y relativamente poco sensibles a la temperatura. El aluminio puro tiene una conductividad, cuyo valor no se altera apreciablemente hasta 400°C . Las aleaciones de cobre y magnesio tienen valores apreciablemente menores (de 120 a 140, siendo el del aluminio puro de 193), pero también éstos se mantienen a medida que sube la temperatura; las aleaciones con silicio fundidas tienen alrededor de 73. Esta es más alta que la de cualquier metal común, excepto el cobre, y permite la utilización de paredes gruesas en los intercambiadores de calor, sin pérdida en la eficiencia. Otra propiedad interesante del aluminio es su bajo poder emisor para el calor radiante. Aun las chapas ásperas tienen un valor cercano al 10% del correspondiente a las condiciones de cuerpo negro, mientras que en las superficies pulidas esta cifra disminuye al 4%. El hecho de cubrir la pared de un horno con aluminio puede reducir mucho las pérdidas de calor, ya que la capacidad emisora del metal es el 90% menor que la de una superficie oxidada de hierro o la de una mampostería.

Cuando debe hacerse partes de válvulas o bombas de acero inoxidable o de bronce ácido-resistente, y conectarlas a cañerías o tanques de aluminio, resulta una buena práctica colocar algún aislante entre los dos metales.

7.3) APLICACIONES EN ALGUNAS INDUSTRIAS QUIMICAS Y ALIMENTICIAS

7.3.1.) Industrias Químicas.

1.- Acetato de Celulosa:

Cubas, aparatos de acetilación, instalación de lavado, secadores, bombonas, alambiques, refrigerantes, evaporadores, canalizaciones.

2.- Acido Graso:

Refrigerantes, cubas de almacenamiento, filtros, cubas de fusión, canalizaciones, cisternas de transporte.

3.- Acido Nítrico (más del 80% en peso):

Cubas de almacenamiento (figura 61), canalizaciones, caldería, conducciones, barriles, bidones, cisternas de transporte, cambiadores de calor.

4.- Carilonitrilo:

Cubas de almacenamiento, cambiadores de calor, columnas de destilación, canalizaciones.

5.- Agua Destilada y desmineralizada:

Cubas de almacenamiento, canalizaciones, refrigerantes, compuertas.

6.- Agua Oxigenada:

Alambiques, cubas de almacenamiento, canalizaciones, bombas, cambiadores de calor, barriles, cisternas de transporte.

7.- Alcoholes:

Cubas, canalizaciones, barriles.

8.- Amoniaco:

Refrigerantes, bombonas, alambiques, canalizaciones.

9.- Caoutchouc:

Carros, cubas de almacenamiento, cubas de coagulación, moldes de vulcanización, bandejas, mandrinos.

10.- Colas, Gelatina:

Evaporadores, cubas de canalizaciones, cazos, cubas de secado.

11.- Formaldehido:

Columnas de destilación, circuitos de lavado, cambiadores de temperatura, cubas de almacenamiento, canalizaciones, barriles, cisternas.

12.- Glicerina:

Alambiques, cambiadores de temperatura, refrigerantes, cubas de

almacenamiento, canalizaciones, barriles, cisternas de transporte.

13.- Nitrato Amónico:

Cubas de almacenamiento de amoniaco, cambiadores de temperatura para el enfriamiento de nitrógeno, circuitos de granulación, vagones-cisterna, canalizaciones, cubas para el almacenamiento de soluciones, barriles.

14.- Nitroglicerina, Algodón en Polvo, Dinamita:

Chimeneas, conducciones, filtros, mezcladores, cubas de almacenamiento, canalizaciones, cubas de lavado, extractores, cubos de recuperación de disolventes, recipientes de transporte.

15.- Oxígeno:

Cambiadores de calor, columnas, canalizaciones.

16.- Petróleo, Gasolinas:

Refrigerantes, cubas de almacenamiento, cambiadores de calor, canalizaciones, circuitos, revestimientos para aislamiento térmico (figura 62), cortafuegos, techumbres, barriles, cisternas.

17.- Pinturas, Barnices:

Alambiques, refrigerantes, cubas de almacenamiento, canalizaciones, calderas, filtros, bandejas de solidificación, tamices, centrifugadoras, serpentines, cambiadores de calor, emulsionadores, extractores, barriles.

18.- Poliamidas:

Cubas de almacenamiento, canalizaciones, piezas de máquinas textiles, cisternas.

19.- Resinas Acrílicas:

Cubas de almacenamiento, cambiadores de calor, circuitos de destilación, reactores, canalizaciones, piezas de máquinas textiles.

20.- Resinas Sintéticas:

Cubas de almacenamiento, alambiques, refrigerantes, canalizaciones, serpentines de calentamiento, condensadores (figura 63).

21.- Seda Artificial:

Chimeneas, conducciones de ventilación, instalaciones de desulfuración, canalizaciones, extractores, transportadores, cubas de precipitación, barras transversales, soportes de guías, barras de separación, chasis, rodillos emulsionados, bobinas.

7.3.2.) Industrias Alimenticias.

1.- Aceites:

Cubas de almacenamiento, filtros, materiales diversos.

2.- Azucareras, Confiterías:

Cubas de almacenamiento de sirope de azúcar, cristalizadores, planchas de secado.

3.- Charcutería-Carnicería:

Carros de transporte, cajas de aprovisionamiento, moldes, vasijas.

4.- Cervecería:

Cubas madre, cubas de fermentación, páneles de filtros, tanques de almacenamiento (figura 64), material diverso.

5.- Conservería:

Los botes de aluminio anodizado son apropiados para la leche condensada, crema, aceite de madera, agua mineral, cerveza, dulces, crustáceos, legumbres, viandas; los mismos botes barnizados van muy bien para pescados y jugos de frutas.

6.- Lechería, Mantequería, Margarinería, Quesería:

Material de tratamiento y filtración, cisternas y cubetas, cubas de almacenamiento, cubos de homogenización, cubas de mezclado, baldes de escurrido, moldes de queso, vasijas de impresión, papel para encapsulado o embalaje.



Figura 61.- Cubas de 150 m³ para almacenamiento de HNO₃, construidas en A8; soldadura MIG.

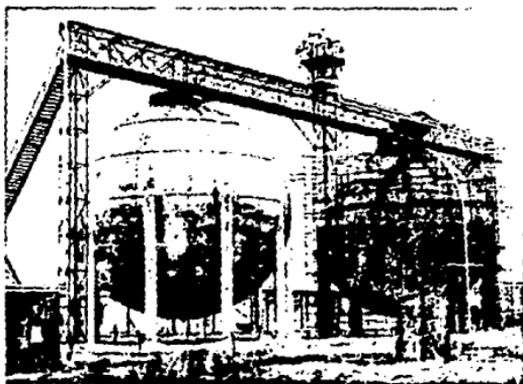


Figura 62.- Aislamiento térmico de las esferas de almacenamiento de metano líquido.



Figura 63.- Condensador para anhídrido ftálico construido en A-G3.



Figura 64.- Tanques de almacenamiento de 35 metros cúbicos construidos en A5. Cervecerías.

7.4) EJEMPLOS ESPECIFICOS DE APLICACIONES

Acido Sulfúrico

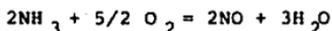
Se emplea el aluminio, en la utilización para baños de colorantes, y también se hace de una aleación oxidada las canastas de centrifugas que liberan a las fibras artificiales del ácido que las moja. El aluminio es un posible sustituto del acero en la manipulación del óleum o el anhídrido sulfúrico líquido, hecho algo sorprendente cuando se tiene en cuenta el comportamiento con los ácidos orgánicos.

Acido Nítrico

El proceso Bamaq para la fabricación de ácido nítrico requiere un metal que pueda soportar mezclas de HNO_3 y NO_2 , a presión y a 150°C , contrazas de agua en las primeras etapas de reacción. Los revestimientos de los autoclaves se hacen de aluminio común de 99-95% Al, y pueden tener una vida útil de 5 o más años.

Todos los tipos de tanques y recipientes de aluminio, tienen la ventaja de su livianidad. En una escala pequeña, los tambores de 5 galones (22.730 lt) de capacidad pesan alrededor de 1.7 Kg, en contraste con los 21Kg de uno de vidrio y los 10.5 Kg de una demajuana de gres (totalmente fuera de uso). El alto poder de reflexión de la superficie metálica del aluminio asegura que los tanques no se calienten demasiado bajo un sol intenso. La blandura y la ductilidad del metal han permitido que después de choques desastrosos, los tanques de aluminio sobrevivieran sin pérdidas. En el otro extremo de la escala, se han construido tanques muy grandes, uno de ellos para 2 millones de galones (9193 m³) de solución caliente de NH₄NO₃.

En la actualidad, el ácido nítrico se prepara por oxidación del amoniaco con aire, sobre un catalizador de metal precioso a presiones iguales a la atmosférica o un poco superiores y con una temperatura de 800 a 950°C. El óxido nítrico se forma de acuerdo a la reacción:



Este óxido nítrico se sigue oxidando con aire para producir NO₂, que se combina con agua para formar HNO₃ y óxido nítrico. En la Tabla XV se muestran los procesos de ácido nítrico que se usan en la actualidad.

Tabla XV.- Procesos para ácido nítrico.

	Temperatura (°C)	Presión	Concentración del ácido (%)
Proceso a presiones bajas.	800	Atmosférica.	50-52
Proceso a presiones medianas (Montecatini).	850	2.8 Kg/cm ²	60
Presión mediana (Kuhlman).		2.8 Kg/cm ²	70
Presiones altas (DuPont).	950	8.4 Kg/cm ²	60
Proceso "Hoko" de Pintsch Bamag.	850	Atmosférica.	98-99

En la primera etapa del proceso, en la que se mezcla el amoniaco con el aire, es importante mantener la proporción adecuada de los constituyentes. En general se emplea una mezcla de aproximadamente

10% de amoníaco y 90% de aire. En este punto del proceso es necesario evitar la descomposición del amoníaco depositado sobre las paredes del convertidor. A este respecto es preferible usar aluminio en lugar de acero dulce. La velocidad de descomposición a 350°C es 300 veces superior con acero dulce que con aluminio. El amoníaco se descompone 70 veces más rápido en acero inoxidable que en aluminio. El nivel de temperatura que se usa es inferior a 200°C .

El proceso de fabricación de ácido nítrico puede ser atmosférico, a presión o a presión interna. Estos métodos producen un ácido nítrico en el intervalo de concentraciones de 50 a 60% en peso. La figura 65 es una representación del proceso a presión. Con un sistema como en la figura 66 se puede producir ácido nítrico de una concentración superior al 90%.

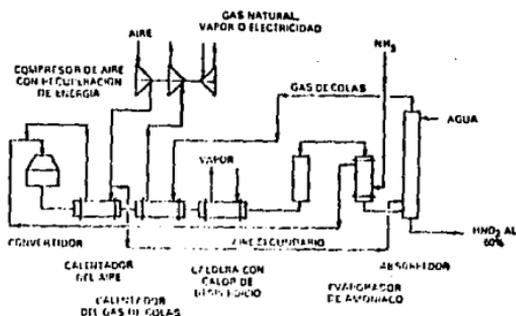


Figura 65.- Proceso a presión baja para la fabricación de ácido nítrico por oxidación de amoníaco.

Nitrato de Amonio

El proceso para el nitrato de amonio consiste en neutralizar el amoníaco con ácido nítrico en condiciones controladas. Después de evaporar la mayor parte del agua, la solución casi seca cristaliza o se seca para obtener el producto sólido. Ver figura 67.

Algunas de las precauciones que se deben observar en la fabricación de nitrato de amonio son: trabajar a menos de 120°C ; puede usarse acero inoxidable tipo 304L cuando el pH es inferior a 4.0 durante

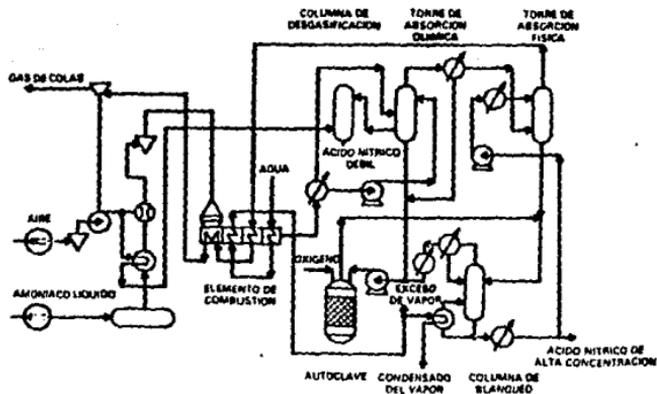


Figura 66.- Proceso Hoko de Pintsch Bamag para ácido nítrico.

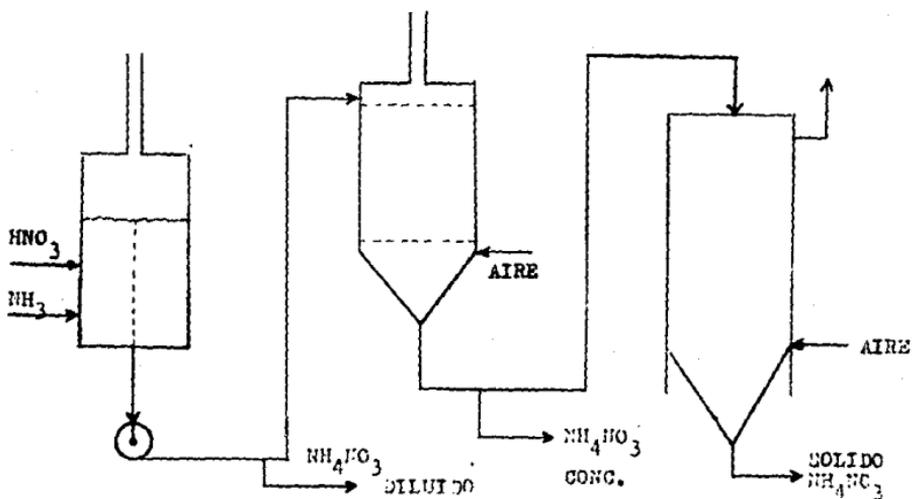


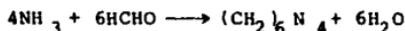
Figura 67.- Diagrama de flujo para la fabricación de nitrato de amonio.

un tiempo prolongado; a un pH de más de 4.0 para sólidos ó 6.0 para soluciones y temperaturas inferiores a 115°C, el aluminio produce resultados satisfactorios. Por encima de 120°C, el nitrato de amonio debe considerarse como un explosivo peligroso.

Usos: Una gran parte del volumen se consume como material fertilizante; sin embargo, cada vez se usa en más cantidad para explosivos y en la fabricación de óxido nitroso.

Hexametilentetramina

La hexametilentetramina o hexamina se fabrica en fase líquida por medio de la siguiente reacción:



El calor de reacción es de 28.2 KCal por mol de tetramina.

El pH de la mezcla reaccionante se controla a un valor de 7 a 8 con una temperatura de 30 a 50°C. En condiciones ácidas se forman también ácido fórmico, dióxido de carbono y agua. La producción se lleva a cabo con régimen continuo o en operaciones por lotes. En la fabricación por lotes, se usan ciclos de 6 a 8 horas, mientras que el tiempo de retención en una producción continua es de 15 a 30 minutos. La figura 68 muestra el equipo que se usa en el proceso.

La hexamina se usa en la producción de altos explosivos. También se usa en la producción de resinas termofijas como agente de curado, lo que constituye su uso principal. Otros usos son; acelerador en la industria del caucho, aplicaciones farmacéuticas, aplicaciones fungicidas, en la industria de las frutas cítricas, como inhibidor de la corrosión de los ácidos minerales fuertes, como agente que previene el encogimiento en las telas y como aditivo para mejorar la resistencia a la decoloración y la elasticidad de las fibras celulósicas.

Otros Acidos Inorgánicos

Los fosfo-fluoruros complejos se hacen en plantas de aluminio, y la destilación de UF_6 en BrF_3 se ha llevado a cabo en alambiques de aluminio. Es muy corriente construir de aluminio los ventiladores y conductos para ácido sulfhídrico húmedo y de esta manera el metal se convierte en útil sustituto del plomo. Desgraciadamente no posee la estabilidad de este último con respecto a cualquier producto de oxidación.

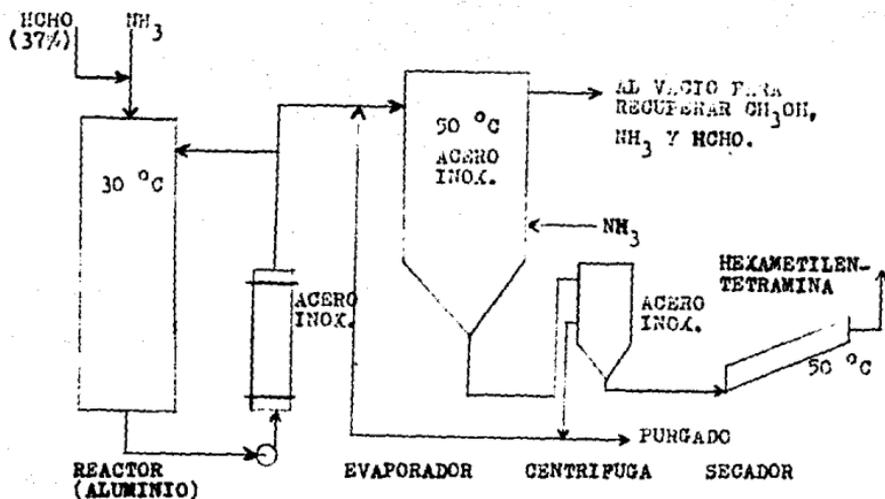


Figura 68.- Fabricación de hexametilentetramina.

Acidos Orgánicos

Los procesos de oxidación, tales como la conversión de acetaldehído a ácido acético, o la de alcohol metílico a formaldehído, normalmente se llevan a cabo en plantas de aluminio, teniendo el cuidado de evitar la ebullición de ácidos anhidros.

Se dice que las sales no son tóxicas, aunque hay diferentes opiniones al respecto. El aceite de lino hervido en cobre o en acero se endurece mucho más rápidamente que cuando se utilizan recipientes de aluminio. Es una práctica común hacer la base de caldera de cobre termo-resistente, y la tapa, en donde el aceite que se condensa se encuentra con el metal oxidado, de aluminio.

Muchos barnices se mezclan y hierven en plantas de aluminio, y las resinas sintéticas limpiadas e incoloras, son manufacturadas en sus etapas finales en reactores de aluminio.

Alcalis

Muchos detergentes industriales y materiales limpiantes contienen álcali libre, y si se les utiliza indiscriminadamente en equipos

de aluminio, establecerán centros locales de corrosión, o por lo menos tenderán a romper la película de óxido que es protectora con respecto a otros reactivos. Para la limpieza del aluminio se dispone de fluidos especiales preparados para la industria lechera.

Sales Neutras y Soluciones Acuosas

El nitrato de amonio se manipula generalmente en aluminio o en acero inoxidable, y el primero tiene la ventaja de que las trazas de aluminio no hacen inestable a este material. Los mezcladores para incorporar T.N.T. en nitrato de amonio poseen la cualidad de su inercia y de no ser propensos a producir chispas; muchas otras mezclas explosivas de compuesto orgánico nitrado pueden ser manipuladas en aluminio.

La producción de antibióticos por el método de fermentación sumergida se ha convertido en una rama muy importante de la industria química. Los tanques de fermentación pueden ser de aluminio, así como también las numerosas unidades de absorción y extracción. El verdadero valor crítico de estos casos es el de la inercia de la planta con respecto a ciertos compuestos químicos, ya que cualquier disminución de la actividad biológica traería serios resultados. En general, todas las plantas de fermentación para la producción de alcoholes y cetonas a partir de azúcares, pueden construirse de aluminio, a menos que los reactivos inorgánicos involucrados tengan alguna acción sobre el metal.

El tamaño y diseño de los fermentadores industriales es muy variable. Se han llegado a usar fermentadores de 1,900,000 lt de capacidad para fermentación de butanol-cetona y etanol; muchas compañías reportan el uso de fermentadores de 75,000-300,000 lts para fermentación de antibióticos. El material de construcción puede ser acero al carbón, acero inoxidable. Otros tanques se construyen de tipo vidriado o con aleaciones de níquel (Inconel) o aluminio. Casi todos los tanques son de presión, capaces de soportar 1.4 Kg/cm^2 de vapor para propósitos de esterilización. La figura 69 muestra un diagrama de flujo típico para la recuperación de antibióticos.

El agua oxigenada se maneja en acero inoxidable, pero cataliza la descomposición hasta un punto en que se hace realmente peligroso

ESTUDIO ECONOMICO
A NIVEL NACIONAL

8.1) DATOS ESTADISTICOS

8.1.1.) Producción en México.

Toneladas

Forma de Presentación.	1983	1984	1985	1986	1987 p/
Lingotes de aluminio primario.	39,706	39,946	63,260	42,744	43,988

p/ Cifras preliminares.

8.1.2.) Exportación.

Toneladas

Forma de presentación y país de destino.	1983	1984	1985	1986	1987 p/
Lingotes de aluminio.	572	3,078	3,058	225	803
Estados Unidos.	572	3,078	3,013	220	803
Guatemala	-	-	45	5	-
Desperdicios de laminas de aluminio, aún cuando estén adheridas a papel.	1,199	3,028	2,765	1,454	2,360
Estados Unidos.	1,199	3,028	2,765	1,454	1,661
Japón.	-	-	-	-	699
Otros desperdicios o chatarras de aluminio.	414	5,826	3,826	3,300	1,349
Bélgica-Luxemburgo.	-	2	-	-	-
Estados Unidos.	414	5,824	3,826	3,300	1,349
Polvos o partículas de aluminio.	115	144	182	103	29
República Federal Alemana.	46	58	92	46	9
Colombia.	14	9	15	5	6
El Salvador.	4	-	-	-	-
Estados Unidos.	3	17	9	3	6
Filipinas.	-	14	53	6	-
Francia.	-	3	-	-	-
Guatemala.	1	18	2	21	5
Hong Kong.	12	-	-	-	-
India.	-	-	-	22	-
Italia.	-	-	-	-	3
Perú	-	2	1	-	-
Rep. Popular China.	35	23	10	-	-

p/ Cifras preliminares.

8.1.3.) Importación.

	Toneladas				
Forma de presentación y país de origen.	1983	1984	1985	1986	1987 p/
Lingote de aluminio aleado en forma cilíndrica (aleación 6063).	102	616	216	673	341
Argentina.	-	132	-	-	-
Estados Unidos.	102	484	95	673	190
Francia.	-	-	-	-	151
Venezuela.	-	121	-	-	-
Aluminio sin alear.	8,629	3,586	1,112	29,684	25,160
Brasil.	-	-	-	3,567	-
Canadá.	2,334	553	-	3,616	3,179
Estados Unidos.	5,548	3,033	1,112	21,479	20,277
Francia.	747	-	-	148	1,456
Holanda.	-	-	-	-	248
Sierra Leona	-	-	-	20	-
Venezuela.	-	-	-	854	-
Aluminio aleado.	3,129	5,295	1,765	9,089	7,433
República Federal Alemana.	-	202	-	-	-
Brasil.	-	-	3	-	-
Estados Unidos.	3,128	4,918	1,500	9,089	7,433
India.	-	275	-	-	-
Reino Unido	1	-	22	-	-
Venezuela.	-	-	240	-	-
Chatarra de aluminio.	13,080	27,605	8,890	54,050	33,834
República Federal Alemana.	14	23	-	40	20
Austria.	-	-	20	-	-
Belice.	-	-	2	-	-
Canadá.	70	57	-	46	-
Estados Unidos.	12,978	27,399	8,767	53,816	33,814
Etiopía.	-	-	-	-	-
Francia.	-	70	57	5	-
India.	-	54	-	43	-
Japón.	18	-	44	-	-
Venezuela.	-	-	-	100	-
Lingote de aluminio con pureza mínima de 99.7% de aluminio, conteniendo en peso: 0.01 a 0.025% de boro, 0.04 a 0.08 % de silicio y 0.13 a 0.18 de fierro.	-	-	5,789	11,017	5,832
Canadá.	-	-	1,631	4,166	3,048
Estados Unidos.	-	-	3,409	6,351	2,784
Venezuela.	-	-	749	500	-

Importación (continuación).

Forma de presentación y país de origen.	1983	1984	1985 Toneladas	1986	1987 p/
Polvo y partículas de aluminio sin exceder de 500 mallas. República Federal	150	344	117	334	356
Alemana.	-	17	-	5	-
Austria.	-	1	-	-	-
Bélgica-Luxemburgo.	-	5	2	3	-
Brasil.	-	-	3	-	-
Canadá.	33	-	-	-	-
Estados Unidos.	117	321	112	326	356
Polvo y partículas de aluminio superior a 500 mallas. República Federal	-	41	-	11	-
Alemana.	-	27	-	9	-
Estados Unidos.	-	14	-	2	-
Aluminio no especificado.	20	-	-	23	-
Estados Unidos.	20	-	-	23	-

p/ Cifras preliminares.

8.1.4.) Producción Mundial.

Miles de Toneladas Métricas

Países Productores	1983	1984	1985	1986	1987 p/
Total.	13,865	15,521	15,289	15,314	15,900
República Federal A.	730	-	-	-	-
Australia	475	758	851	882	1,000
Canadá.	1,091	1,228	1,282	1,360	1,500
Estados Unidos.	3,353	4,099	3,500	3,037	3,200
Noruega.	716	761	724	712	790
Rep. Popular China.	381	380	410	410	420
U.R.S.S.	1,996	2,100	2,200	2,300	2,350
Otros Países.	5,123	6,195	6,322	6,613	6,640

p/ Cifras preliminares.

8.1.5.) Cotizaciones.

Promedio Anual

Forma de Presentación	1983	1984	1985	1986	1987 p/
	Aluminio (centavos de dólar por libra)				
Afinado					
En lingotes sin alear del 99.5% en lotes por furgón.	77.667	81.000	81.000	81.000	-
Productores de Norteamérica, lista de					
precios de E.U.A.	77.667	81.000	81.000	81.000	-
Mercado de E.U.A.	63.523	61.054	48.518	55.872	72.311

8.2) PROYECCION DE LA DEMANDA

Para prever la demanda de aluminio en años futuros, se procede a determinar y analizar el método de regresión lineal simple, el cual nos estimará la demanda en un lapso de 7 años.

Los datos base son los siguientes:

Año	Consumo (Ton. de aluminio)
1983	62,486
1984	76,496
1985	71,361
1986	137,292
1987	106,573

CONSUMO = Producción Nacional + Importaciones - Exportaciones

8.2.1.) Método de Regresión Lineal Simple.

La ecuación base para este método es:

$$Y = \alpha + \beta X \dots (1)$$

en donde Y representa las toneladas de aluminio y X son los años, α y β son constantes de proporcionalidad.

Haciendo la tabla siguiente:

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X²</u>	<u>Y²</u>	<u>XY</u>
1(1983)	62486	1	3.9×10^9	62486
2(1984)	76496	4	5.8×10^9	152992
3(1985)	71361	9	5.1×10^9	214083
4(1986)	137292	16	1.8×10^{10}	549168
<u>5(1987)</u>	<u>106573</u>	<u>25</u>	<u>1.1×10^{10}</u>	<u>532865</u>
15	454208	55	4.4×10^{10}	1511594

En donde α y β se pueden calcular como:

$$\alpha = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad ; \quad \beta = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

n = número de datos = 5

Cálculo de α :

$$\alpha = ((55)(454208) - (15)(1511594)) / ((5)(55) - (15)^2)$$

$$\alpha = (24981440 - 22673910) / (50)$$

$$\alpha = 46150.6$$

Cálculo de β :

$$\beta = ((5)(1511594) - (15)(454208)) / ((5)(55) - (15)^2)$$

$$\beta = (7557970 - 6813120) / (50)$$

$$\beta = 14897$$

Cálculo de las toneladas esperadas:

Haciendo uso de la ecuación (1), tenemos:

$$\text{Para } X = 1 \quad Y = \alpha + \beta X$$

$$Y = 46150.6 + 14897(1)$$

$$Y = 61047.6$$

siguiendo con el mismo cálculo, se obtiene la siguiente tabla:

X	Y
1(1983)	61047.6
2(1984)	75944.6
3(1985)	90841.6
4(1986)	105738.6
5(1987)	120635.6
6(1988)	135532.6
7(1989)	150429.6
8(1990)	165326.6
9(1991)	180223.6
10(1992)	195120.6
11(1993)	210017.6
12(1994)	224914.6

Ver Gráfica 1.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal:

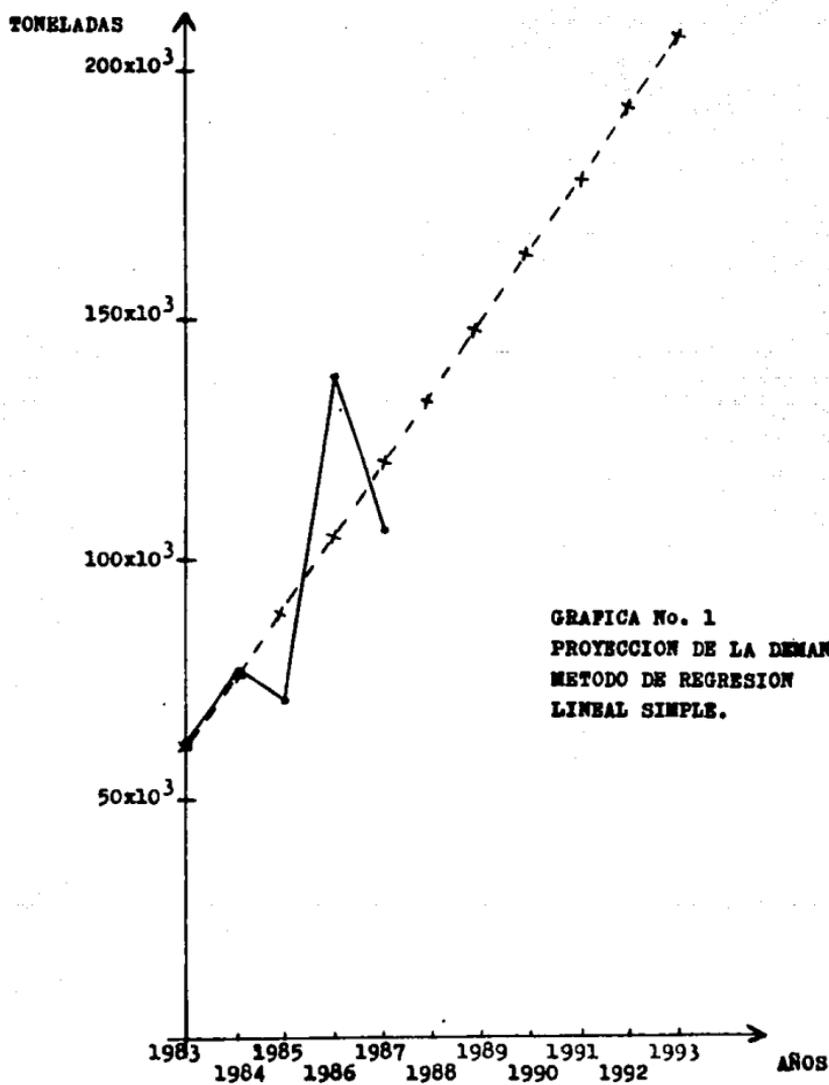
Para ello se usa la siguiente ecuación:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)} \sqrt{(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$r = ((5)(1511594) - (15)(454208)) / ((5)(55) - (15)^2)^{1/2} ((5)(4.4 \times 10^{10}) - (454208)^2)^{1/2}$$

$$r = (744850) / (827374.24)$$

$$r = 0.9$$



Al ver los datos base para el consumo nacional de aluminio para el intervalo de cinco años, nos damos cuenta de que los valores son variables y donde no llevan una secuencia de crecimiento, así tenemos que el mayor consumo de aluminio se da en el año de 1986 y el menor en 1983. En la gráfica 1 se presenta este comportamiento, junto con el obtenido por medio del método de regresión lineal.

A pesar del comportamiento variable que se tiene en el consumo de aluminio con todo y sus altibajos, hay que indicar que la tendencia es hacia el crecimiento del consumo del aluminio, por lo que se esperaría que el consumo a nivel nacional creciera a un futuro, aunque no se podría prever en que medida aumentaría de un año a otro, sin embargo, es necesario tener una perspectiva del desenvolvimiento que puede alcanzar dicho consumo, para ello recurrimos al método estadístico de regresión lineal simple.

Analizando el método de regresión lineal, obtenemos una correlación de 0.9 es decir, obtenemos una recta, tenemos que los resultados nos muestran un incremento constante del consumo de 14,897 toneladas/año, sin embargo, no hay que olvidar que el propósito del empleo de dicho método es únicamente el tener una perspectiva del futuro del consumo del aluminio y no el de conocer a ciencia cierta como sería éste.

En conclusión podemos indicar, que si bien es difícil predecir el comportamiento que tendrá el consumo del aluminio a nivel nacional a corto y mediano plazo conforme a los datos obtenidos, podemos dar como válido dicho método estadístico sólo para tener una idea de las perspectivas a un futuro, puesto que considerarlo al pie de la letra sería caer en un grave error.

A criterio nuestro consideramos que aunque se presenten altibajos, la tendencia sería hacia el crecimiento en el consumo de aluminio, ya que se está desarrollando la industria del aluminio bajo todas sus formas de emplear dicho material.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

En la industria química se busca por lo común alguna propiedad o combinación de propiedades del aluminio y sus aleaciones que los hagan particularmente adaptables a determinada aplicación.

Tomando como base lo anterior, a través de este trabajo, se han descrito las propiedades que caracterizan a los materiales base aluminio; así mismo se han mencionado la gran variedad de aplicaciones, debido a que estos materiales se pueden obtener en muy diferentes formas de artículos fabricados, y en vista de que se pueden armar y acabar por varios procedimientos.

Desde luego y como se habrá podido observar, lo expuesto aquí es solo una parte de lo que cubre el amplio campo de estudio del aluminio y sus aleaciones. Incluso con el desarrollo de la tecnología, en el futuro seguirá investigandose para lograr nuevos avances.

Hoy en día ya se están trabajando nuevas fórmulas que permitan hacer del aluminio un material más accesible, con un bajo costo y con técnicas de soldadura que facilitarán la construcción de los más variados equipos.

Muchos de los estudios que se realizan actualmente, son presentados por diversos organismos de varios países; tales estudios se publican a través de normas bajo las especificaciones que cada organismo presenta. A pesar de la existencia de este numeroso grupo de organizaciones, las más representativas son: la A.S.T.M., la I.S.O., y la Alcan. En México existe el I.M.A. (Instituto Mexicano del Aluminio).

Año con año cada organismo actualiza e incluso publica nuevas normas, lo cual nos está indicando el desarrollo que los materiales base aluminio tienen y que cada vez es más avanzado.

En México el desarrollo aunque lento tiende hacia un crecimiento, esto es lo que nos indica el estudio económico. Así también, dicho estudio nos indica que Estados Unidos lleva la vanguardia en cuanto a la producción mundial de aluminio.

Toda mejoría que resulte de nuevos estudios sobre las propiedades y características de los materiales base aluminio, extenderán el campo de aplicación a otras áreas; así actualmente estos materiales se aplican en industrias como: la industria química, la industria alimenticia, la industria automovilística, la industria aeronáutica, la industria de la construcción, y algunas otras.

Esperamos que esta tesis contribuya a despertar el interés tanto de los alumnos como de los profesionistas de la carrera de I.Q. por el tema que aquí se ha tratado (El aluminio y sus aleaciones en la I.Q.). Cuando el lector desee profundizar más en un tema específico, le recomendamos consultar la bibliografía, en donde se han citado aquellas obras que dieron fundamento a este trabajo.

PRODUCTOS QUÍMICOS Y ALIMENTOS EN CONTACTO CON EL ALUMINIO.

La primera tabla que se ofrece a continuación contiene la lista de los productos químicos corrientes y los alimentos que reaccionan algo o nada con el aluminio puro. Por eso el aluminio y sus aleaciones se usan frecuentemente para el equipo en que se elaboran, manejan y almacenan. La presencia de otras sustancias, hasta en cantidades muy pequeñas en forma de impurezas, puede afectar radicalmente la acción de estos materiales en contacto con el aluminio. Si los productos químicos no son puros, entonces debe obtenerse información adicional antes de especificar el aluminio.

La segunda tabla contiene la lista de los productos químicos corrientes que normalmente atacan al aluminio.

Debe hacerse hincapié en que el contacto con la mayoría de los productos químicos que no están incluidos en estas listas, no producen corrosión apreciable. Pero el grado de dilución, la temperatura de operación y la presencia de otras sustancias son todos factores que determinan la intensidad y rapidez del ataque. Por eso no es posible presentar un resumen de la tercera y mayor categoría. Cuando no se dispone de detalles sobre experiencia previa, deben hacerse ensayos prácticos en las condiciones de servicio.

PRODUCTOS QUÍMICOS CORRIENTES Y ALIMENTOS QUE EN ESTADO PURO REACCIONAN ALGO O NADA CON EL ALUMINIO.

Aceite de ricino	Alcohol amílico
Aceite de semilla de algodón	Alcohol butílico
Aceite de transformadores	Alcohol propílico
Aceite de linaza	Alquitran
Aceites de petróleo	Amoniaco (líquido o gas)
Aceites esenciales	Anhídrido acético
Aceites vegetales	Azufre
Acido ftálico	Barniz
Aceite hígado de bacalao	Barniz asfáltico
Aceites minerales	Betún
Acetato amílico	Bicarbonato amónico
Acetileno (seco)	Bicromato de potasio
Acetona	Bisulfuro carbónico
Acido acético glacial	Butano
Acido benzoico	Carbohidratos
Acido esteárico	Carbón
Acido gálico	Carbonato amónico
Acido nítrico	Carbonato de calcio
Acido salicílico	Carburo de calcio
Acido succínico	Caucho
Acido tánico	Celulosa
Alcanfor	Cera de abeja
Alcoholes	Clorato de potasio

(continuación)

134

Cloroformo	Mantequilla
Cloruro etílico (seco)	Margarina
Combustibles empaquetados	Melazas
Crema de leche	Mentol
Cromato de potasio	Miel
Chocolate	Mieles de caña de azúcar
Dinamita	Monóxido carbónico
Dióxido de azufre (seco)	Naftalina
Dióxido carbónico	Nicotina
Eteres	Nitrato amónico
Extracto de corteza de pino	Nitrato de potasio
Fluossilicato de sodio	Nitrato de sodio
Formaldehído	Nitrito de potasio
Formiato de aluminio	Nitrito de sodio
Formiato metílico	Nitrocelulosa
Freón	Nitroglicerina
Furfural	Permanganato de potasio
Gas artificial (seco)	Peróxido de hidrógeno
Gas de horno de coquización	Pyrogallol
Gas de propano	Queso
Gas natural	Resina
Gases nitrosos	Resinas de copal
Celatina	Resinas polivinílicas
Glicerina	Sal de higuera
Glicol etílico	Solventes de acetato
Glucosa	Sulfato de magnesio
Grasas y ácidos grasos	Sulfato de potasio
Hidrocarburos	Sulfato de sodio
Hidróxido amónico	Sulfuro amónico
Jarabe de azúcar	Sulfuro de hidrógeno
Jugo de cebolla	Tetracloruro de carbono (seco)
Laca	Tintes
Látex	Tiosulfato de sodio
Leche	Tolueno
Leche condensada (dulce)	Trementina
Levadura en pasta	Tricloroetileno (seco)
Levadura en polvo	Yodoformo

PRODUCTOS QUIMICOS CORRIENTES QUE ATACAN AL ALUMINIO

Acetato de plomo	Cloruro amónico
Acido clorhídrico	Cloruro estañoso
Acido fluorhídrico	Cloruro férrico
Acido fórmico	Cloruro metílico
Acido fórmico	Cloruro de bario
Acido fosfórico	Cloruro de potasio
Acido sulfúrico	Cloruro de sodio
Bicloruro de mercurio	Cloruro de cinc
Carbonato de potasio	Fosfato trisódico
Carbonato de sodio	Hidróxido de bario
Cianuro de potasio	Hidróxido de calcio
Cloro	Hidróxido de potasio

(continuación)

Hidróxido de sodio	Sal común
Hipoclorito de calcio	Sales de níquel
Hipoclorito de sodio	Sulfato de cobre
Mercurio	Sulfato férrico
Nitrato de plomo	Sulfato ferroso
Oxalato de calcio	Yodo

RESISTENCIA DEL ALUMINIO A PRODUCTOS QUÍMICOS ESPECÍFICOS

Producto químico	Grado	Producto químico	Grado
Acetaldehído	A	Sulfato de cinc	C
Acido acético (solución)	A	Acido clorhídrico	X
Acido acético (vapor)	B	Cloro seco	C
Anhídrido acético	B	Acido cloroacético	B
Acetileno	A	Acido crómico	B
Acetona	A	Acido cítrico	A
Agua	X	Sulfato de cobre	X
Agua destilada	A	Creosota	B
Agua oxigenada	A	Acetato de etilo	B
Alcoholes	B	Acido esteárico	A
Cloruro de aluminio	X	Cloruro férrico	X
Sulfato de aluminio	X	Sulfato férrico	X
Alumbres	B	Flúor (húmedo)	A
Aminas (alifáticas)	B	Flúor (seco)	X
Aminas (aromáticas)	C	Formaldehído	A
Amoniaco gaseoso	B	Acido fórmico	B
Cloruro de amonio	B	Acido fosfórico (crudo)	X
Floururo de amonio	X	Acido fosfórico (puro)	X
Hidróxido de amonio	X	Cloruro de fósforo	C
Nitrato de amonio	A	Fósforo (húmedo)	X
Sulfato de amonio	C	Frutas, jugos	B
Azúcar de caña (solución)	A	Gelatina	A
Azúcar de remolacha (sol)	A	Glicerina	A
Azufre (seco)	A	Hexamina	A
Bencina	A	Iodo	X
Acido benzico	A	Leche	A
Bórax	B	Cloruro de magnesio	X
Acido bórico	A	Sulfato de magnesio	B
Acido bromhídrico	X	Cloruro mercúrico	X
Bromo (húmedo)	X	Sulfato mercúrico	X
Butano-butadieno	A	Mercurio	X
Bisulfito de calcio	C	Melazas	A
Cloruro de calcio	X	Cloruro de níquel	X
Hipoclorito de calcio	C	Sulfato de níquel	X
Anhídrido carbónico (húm)	A	Nitratos	X
Sulfuro de carbono	B	Acido nítrico	A
Tetracloruro de carbono	B	Acido oleico	A
Cerveza	A	Acido oxálico	A
Acido clorhídrico	A	Acido palmítico	A
Cloruro de cinc	X	Petroleos crudos	A

(continuación)

Producto químico	Grado	Producto químico	Grado
Nitrato de plata	X	Sulfito de sodio	X
Cloruro de potasio	B	Sulfuro de sodio	X
Hidróxido de potasio	B	Tiosulfato de sodio	B
Perclorato de potasio	X	Acido sulfhídrico	A
Bisulfato de sodio	X	Acidos sulfónicos	C
Carbonato de sodio	X	Acido sulfúrico:	
Cianuro de sodio	B	(70%)	X
Fosfato de sodio	A	(70-98%)	X
Cloruro de sodio	X	(98-61eum)	B
Hidróxido de sodio	X	Anhídrido sulfúrico (húm)	A
Hipoclorito de sodio	X	Anhídrido sulfúrico(seco)	B
Metafosfito de sodio	A	Acido tartárico	A
Silicato de sodio	A	Vinagre	B
Sulfato de sodio	C	Vinos	B

Grado: A: Satisfactorio.

B: Usese con cuidado ya que puede producirse contaminación y corrosión leve.

C: Falta información.

X: No se utilice.

Esta última tabla, es complementaria de las dos anteriores; al lector le será de interés el conocer las tres tablas para tener una idea de la aplicación (de acuerdo al tipo de sustancia que se emplee), en la Industria Química y de los alimentos.

ELEMENTOS DE SOLDADURA CON ELECTRODO OXIGENADO.

Método	Problema	Espesor en mm	Preparación	Número de cordón de soldadura mm	Cantidad de metal mm	Tiempo por metro	
						en mm	en mm
Horizontal		0.5 - 0.8		uno		1	5
		0.8 - 3		1.2 -	50 a 75 l/h/mm	2	6
		2 - 6				3	12
		6 - 10				5	15
						6	20
		10		1.º cordón 5 2.º = 3 a 6	1.º cordón 500 l/h 2.º = 500 l/h	8	35
				1.º cordón 5 2.º = 6 3.º = 6	1.º cordón 600 l/h 2.º = 600 l/h 3.º = 600 l/h	10	45
1/2 vertical		1 - 6		1.2 -	50 a 75 l/h/mm	4	16
		6 - 10		1.º cordón 1 2.º = 3 a 6	1.º cordón 600 l/h 2.º = 500 l/h	5	20
Vertical A		1 - 3		1.2 -	60 l/h/mm	3	16
		3 - 6				4	20
						5	25
Vertical B		3 - 12		2 a 3 cordones que varían	20 l/h/mm para cada cordón	6	18 - 2
						8	20 - 2
						10	25 - 2
Vertical C		1 - 12		5 - 6	20 l/h/mm para cada cordón		

ELEMENTOS DE SOLDADURA (CON) PARA ELECTRODO OXIGENADO.

Diámetro	Resistencia	Welding	...
1.0	1.0	...	...
1.5	1.5	...	...
2.0	2.0	...	...
2.5	2.5	...	...
3.0	3.0	...	...
3.5	3.5	...	...
4.0	4.0	...	...
4.5	4.5	...	...
5.0	5.0	...	...
5.5	5.5	...	...
6.0	6.0	...	...
6.5	6.5	...	...
7.0	7.0	...	...
7.5	7.5	...	...
8.0	8.0	...	...
8.5	8.5	...	...
9.0	9.0	...	...
9.5	9.5	...	...
10.0	10.0	...	...

PARÁMETROS DE SOLDADURA (CIG) HORIZONTAL Y EN SINCRONIAJE EN UNA
SOLA PASADA.

Espesor de las chapas mm.	Diámetro del electrodo mm.	Diámetro del alambre de aportación mm.	Intensidad A	Caudal del argón lt/min.
1.0	1 6 1.5	1.5	20-25	7-7
1.2	1 6 1.5	1.5 6 2	20-25	7-7
1.5	2 2	2 2 6 2.5	20-25	7-7
2.0	2 2	2.5 6 3	20-120	7-7
2.5	3 3	3 3 3	110-150	7-7
3.0	3 3	3 3 3	120-150	7-8
4.0	3 3	3 3 3	150-170	7-9
5.0	3 3	3 3 3	150-190	7-9
6.0	3 3	3 3 3	190-220	8-10
8.0	3 3	3 3 3	250-300	8-10

PARÁMETROS DE SOLDADURA (CIG) HORIZONTAL EN SINCRONIAJE CON
UNA PASADA.

Espesor de las chapas, mm.	Número de pasadas	Diámetro del electrodo mm.	Diámetro del alambre de aportación mm.	Intensidad A	Caudal lt/min.
8	2 superior- inferior superior	3	3) 3) 3) 3)	200-250	9
10	2 superior- inferior	3	3) 3) 3) 3)	200-250	9
12	2 superior- inferior	3	3) 3) 3) 3)	250-300	9
12	2 superior- inferior	3	3) 3) 3) 3)	250-300	9
12	2 superior- inferior	3	3) 3) 3) 3)	300	10
12	1 tom por el reverso	3	3) 3) 3) 3)	300	10

PARÁMETROS DE LA SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO.

Espejo mm	Preparación	Distancia del electrodo mm	Intensidad A	Observaciones
15.0 x 6.0		2.5 x 2.5	30 x 100	
15.0 x 6.0		2.5 x 6	40 x 100	
6.0 x 6.0		1.5 x 6.5	30 x 100	Para 6.0 Preparación a 20°C
6.0 x 6.0		6.5	30 x 100	
6.0 x 6.0		1.5 x 6	30 x 100	Preparación a 20°C
6.0 x 6.0		1.5 x 6	30 x 100	Preparación a 20°C
6.0 x 6.0		1.5 x 6.5	30 x 100	Preparación a 20°C
6.0 x 6.0		6.5	30 x 100	Preparación a 20°C

TABLA DE VALORES DE LOS COEFICIENTES DE CORRECCIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS.

Unidad base	Costo de mano de obra	Unidad de explotación	Costo de mano de obra
100-200kg	100	1-100	277-500
		1-75	277-300
100-150	100-150	1-75	
100-100	100-100	1-75	277-200
(1) 100-50	100-50		
100-25	100-25	1-75	menor de 200
(2) 100-250	100-250	1-100	
		1-75	277-200

Notas: (1) Las asignaciones de la tabla del Kg se refieren al 100%, al 100% no se toma en cuenta el tiempo, puesto que el tiempo es fijo y la superficie del metal afecta a proporción.

(2) El número de asignaciones de mano de obra depende del tiempo en que se realiza el trabajo, ya que dicho tiempo afecta a un número de unidades que son las que se refieren a las asignaciones de explotación constantes.

ALUMINUM DS						
Grade	Temp	T. T.	Grade	Aluminum	Other	Remarks
AF100	1274	1-PM	C41	D15	B.S.	
AS	10-13 1-15 12-15-30	~ 1:00 (12:00)	~ 800	11-4 3-20G	1 C	
AS1	10-13 12-15-30					
ASNT	10-13		CN1A	CN12		LS19 BL33
ASGT	10-14 1-21 12-21-30	~ 4:14				~ LS11
AS10	10-13 12-21-30					
AS14	1-21 12-21-30	CG1001	100	G-Al Co	LS12	
AS104	10-13 12-21-30					
AS21	10-13 12-21-30		~ 8:21			~ LS13 ~ LS14
AS46	10-22 1-25 12-23-30	~ N270A				LS16
AS70	10-24 12-23-30	NC10A NC10B	NC10			
AS113	10-24 12-23-30		NC13	~ G-Al-Co 2-211	L79	
AS106	10-24 1-25 12-23-30	~ NC10A		~ G-Al-Sr-Co 2-213	~ LS24	
AS143	10-24 12-23-30			~ G-Al-Sr 2-215	~ LS25	
AS144	10-24 12-23-30			~ G-Al-Sr-Mg-Co 2-218	~ LS22	
AS152N	10-24 12-23-30		~ 8:12			
AS153N	10-24 1-25 12-23-30	~ N121A	101			
AS1	10-24 1-25 12-23-30	111A	111N	G-Al-Sr 2-219	~ LS23	
AS101	10-24 1-25 12-23-30					
AS102	10-24 1-25 12-23-30					
AS103	10-24 1-25 12-23-30					
AS104	10-24 1-25 12-23-30					
AS105	10-24 1-25 12-23-30					
AS106	10-24 1-25 12-23-30					
AS107	10-24 1-25 12-23-30					
AS108	10-24 1-25 12-23-30					
AS109	10-24 1-25 12-23-30					
AS110	10-24 1-25 12-23-30					
AS111	10-24 1-25 12-23-30					
AS112	10-24 1-25 12-23-30					
AS113	10-24 1-25 12-23-30					
AS114	10-24 1-25 12-23-30					
AS115	10-24 1-25 12-23-30					
AS116	10-24 1-25 12-23-30					
AS117	10-24 1-25 12-23-30					
AS118	10-24 1-25 12-23-30					
AS119	10-24 1-25 12-23-30					
AS120	10-24 1-25 12-23-30					
AS121	10-24 1-25 12-23-30					
AS122	10-24 1-25 12-23-30					
AS123	10-24 1-25 12-23-30					
AS124	10-24 1-25 12-23-30					
AS125	10-24 1-25 12-23-30					
AS126	10-24 1-25 12-23-30					
AS127	10-24 1-25 12-23-30					
AS128	10-24 1-25 12-23-30					
AS129	10-24 1-25 12-23-30					
AS130	10-24 1-25 12-23-30					
AS131	10-24 1-25 12-23-30					
AS132	10-24 1-25 12-23-30					
AS133	10-24 1-25 12-23-30					
AS134	10-24 1-25 12-23-30					
AS135	10-24 1-25 12-23-30					
AS136	10-24 1-25 12-23-30					
AS137	10-24 1-25 12-23-30					
AS138	10-24 1-25 12-23-30					
AS139	10-24 1-25 12-23-30					
AS140	10-24 1-25 12-23-30					
AS141	10-24 1-25 12-23-30					
AS142	10-24 1-25 12-23-30					
AS143	10-24 1-25 12-23-30					
AS144	10-24 1-25 12-23-30					
AS145	10-24 1-25 12-23-30					
AS146	10-24 1-25 12-23-30					
AS147	10-24 1-25 12-23-30					
AS148	10-24 1-25 12-23-30					
AS149	10-24 1-25 12-23-30					
AS150	10-24 1-25 12-23-30					
AS151	10-24 1-25 12-23-30					
AS152	10-24 1-25 12-23-30					
AS153	10-24 1-25 12-23-30					
AS154	10-24 1-25 12-23-30					
AS155	10-24 1-25 12-23-30					
AS156	10-24 1-25 12-23-30					
AS157	10-24 1-25 12-23-30					
AS158	10-24 1-25 12-23-30					
AS159	10-24 1-25 12-23-30					
AS160	10-24 1-25 12-23-30					
AS161	10-24 1-25 12-23-30					
AS162	10-24 1-25 12-23-30					
AS163	10-24 1-25 12-23-30					
AS164	10-24 1-25 12-23-30					
AS165	10-24 1-25 12-23-30					
AS166	10-24 1-25 12-23-30					
AS167	10-24 1-25 12-23-30					
AS168	10-24 1-25 12-23-30					
AS169	10-24 1-25 12-23-30					
AS170	10-24 1-25 12-23-30					
AS171	10-24 1-25 12-23-30					
AS172	10-24 1-25 12-23-30					
AS173	10-24 1-25 12-23-30					
AS174	10-24 1-25 12-23-30					
AS175	10-24 1-25 12-23-30					
AS176	10-24 1-25 12-23-30					
AS177	10-24 1-25 12-23-30					
AS178	10-24 1-25 12-23-30					
AS179	10-24 1-25 12-23-30					
AS180	10-24 1-25 12-23-30					
AS181	10-24 1-25 12-23-30					
AS182	10-24 1-25 12-23-30					
AS183	10-24 1-25 12-23-30					
AS184	10-24 1-25 12-23-30					
AS185	10-24 1-25 12-23-30					
AS186	10-24 1-25 12-23-30					
AS187	10-24 1-25 12-23-30					
AS188	10-24 1-25 12-23-30					
AS189	10-24 1-25 12-23-30					
AS190	10-24 1-25 12-23-30					
AS191	10-24 1-25 12-23-30					
AS192	10-24 1-25 12-23-30					
AS193	10-24 1-25 12-23-30					
AS194	10-24 1-25 12-23-30					
AS195	10-24 1-25 12-23-30					
AS196	10-24 1-25 12-23-30					
AS197	10-24 1-25 12-23-30					
AS198	10-24 1-25 12-23-30					
AS199	10-24 1-25 12-23-30					
AS200	10-24 1-25 12-23-30					

ALUMINUM DS				
Grade	Temp	Time	Grade	Aluminum
AS1	10-13 12-15-30			
AS2	10-13 12-15-30			
AS3	10-13 12-15-30			
AS4	10-13 12-15-30			
AS5	10-13 12-15-30			
AS6	10-13 12-15-30			
AS7	10-13 12-15-30			
AS8	10-13 12-15-30			
AS9	10-13 12-15-30			
AS10	10-13 12-15-30			
AS11	10-13 12-15-30			
AS12	10-13 12-15-30			
AS13	10-13 12-15-30			
AS14	10-13 12-15-30			
AS15	10-13 12-15-30			
AS16	10-13 12-15-30			
AS17	10-13 12-15-30			
AS18	10-13 12-15-30			
AS19	10-13 12-15-30			
AS20	10-13 12-15-30			
AS21	10-13 12-15-30			
AS22	10-13 12-15-30			
AS23	10-13 12-15-30			
AS24	10-13 12-15-30			
AS25	10-13 12-15-30			
AS26	10-13 12-15-30			
AS27	10-13 12-15-30			
AS28	10-13 12-15-30			
AS29	10-13 12-15-30			
AS30	10-13 12-15-30			
AS31	10-13 12-15-30			
AS32	10-13 12-15-30			
AS33	10-13 12-15-30			
AS34	10-13 12-15-30			
AS35	10-13 12-15-30			
AS36	10-13 12-15-30			
AS37	10-13 12-15-30			
AS38	10-13 12-15-30			
AS39	10-13 12-15-30			
AS40	10-13 12-15-30			
AS41	10-13 12-15-30			
AS42	10-13 12-15-30			
AS43	10-13 12-15-30			
AS44	10-13 12-15-30			
AS45	10-13 12-15-30			
AS46	10-13 12-15-30			
AS47	10-13 12-15-30			
AS48	10-13 12-15-30			
AS49	10-13 12-15-30			
AS50	10-13 12-15-30			
AS51	10-13 12-15-30			
AS52	10-13 12-15-30			
AS53	10-13 12-15-30			
AS54	10-13 12-15-30			
AS55	10-13 12-15-30			
AS56	10-13 12-15-30			
AS57	10-13 12-15-30			
AS58	10-13 12-15-30			
AS59	10-13 12-15-30			
AS60	10-13 12-15-30			
AS61	10-13 12-15-30			
AS62	10-13 12-15-30			
AS63	10-13 12-15-30			
AS64	10-13 12-15-30			
AS65	10-13 12-15-30			
AS66	10-13 12-15-30			
AS67	10-13 12-15-30			
AS68	10-13 12-15-30			
AS69	10-13 12-15-30			
AS70	10-13 12-15-30			
AS71	10-13 12-15-30			
AS72	10-13 12-15-30			
AS73	10-13 12-15-30			
AS74	10-13 12-15-30			

Fr	Composición química %									Propiedades físicas			Estado	Módulo	Características de los materiales					
	B	Ca	Si	Mg	Al	Fe	Ti y Zr	Cr	Zn	Resistencia a la tracción a 20 °C MPa	Resistencia a la tracción a 100 °C MPa	Coeficiente de dilatación lineal 10 ⁻⁶ /°C 20 y 100 °C			Temperatura de fusión °C	Temperatura de transformación °C	Temperatura de endurecimiento °C	Temperatura de fragilidad °C	Temperatura de transición ductil-frágil °C	Temperatura de transición ductil-frágil °C
0.05	0.05	< 0.10	< 0.1	< 0.1						0.70 0.12 0.12	0.11 0.12 0.12	9	22 x 10 ⁻⁶ 22 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.05	< 0.05	< 0.10	< 0.05						0.70 0.12 0.12	0.11 0.12 0.12	9	22 x 10 ⁻⁶ 22 x 10 ⁻⁶							
0.25	0.20	0.20	< 0.05	< 0.05						0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	2.8	23 x 10 ⁻⁶ 23 x 10 ⁻⁶							
0.15	0.15	0.20	< 0.05	< 0.05						0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	2.8	23 x 10 ⁻⁶ 23 x 10 ⁻⁶							
Aleación 90.99 %										0.70 0.08 0.10	0.08 0.10 0.10	2.8	23 x 10 ⁻⁶ 23 x 10 ⁻⁶							
0.17	0.05	< 0.20	< 0.10		1.0-1.2					0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	3.5	23 x 10 ⁻⁶ 23 x 10 ⁻⁶							
0.17	0.20	< 0.2	< 0.2	0.0-1.0	1.0-1.2					0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	3.5	23 x 10 ⁻⁶ 23 x 10 ⁻⁶							
0.17	0.01	< 0.20	< 0.2	0.00-1.1	< 0.20	< 0.2	< 0.20			0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	3.7	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.01	< 0.1	< 0.2	1.0-1.2	< 0.1	< 0.2	< 0.20			0.70 0.12 0.12	0.12 0.12 0.12	4.15	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.05	< 0.1	< 0.2	1.7-2.0	< 0.2	< 0.2	< 0.2			0.65 0.11 0.11	0.11 0.11 0.11	4.0	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.1	< 0.1	< 0.2	2.5-3.1	0.1-0.7	< 0.2	< 0.2			0.60 0.11 0.11	0.11 0.11 0.11	3.5	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.01	< 0.1	< 0.2	2.0-2.6	0.2-1.0	< 0.2	< 0.2			0.60 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	4.1	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.01	< 0.1	< 0.2	2.5-3.0	0.2-1.0	< 0.2	< 0.2			0.60 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	4.1	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
0.05	0.02	< 0.05	< 0.1	1.7-2.5	< 0.2	< 0.2	< 0.20			0.60 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	4.0	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
Aleación-magnesio con 1 % de Mg, a partir de metales de alta pureza										0.70 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	3.5	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							
Aleación-magnesio con 1 % de Mg, a partir de metales de alta pureza										0.60 0.10 0.10	0.10 0.10 0.10	3.0	24 x 10 ⁻⁶ 24 x 10 ⁻⁶							

Alcantara con tratamiento térmico

Composición química %										Propiedades físicas				Tratamiento térmico				Estado		Comentarios especiales									
Fr	Si	Ca	Fe	Mg	Mn	Ni	Ti	Al	C	P	Resistencia a la tracción (MPa)	Coeficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ / °C)	Coeficiente de dilatación térmica (10 ⁻⁶ / °C)	Temperatura de curado (°C)	Modulo	Densidad	Temperatura de fusión (°C)	Forma	Estado	Resistencia a la tracción (MPa)									
- 0.3	0.013	- 0.1	- 0.2	0.713	0.013	- 0.2					3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	
- 0.1	- 0.00	2.028	- 0.2	0.342	- 0.20	- 0.2	- 0.2	- 0.20			3.72	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	0.048	2.047	- 0.2	0.612	0.048	- 0.2	- 0.2	- 0.21			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	- 0.3	1.049	- 0.2	1.210	0.048	- 0.2	- 0.2	- 0.21			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.00	0.012	2.049	- 0.2	0.742	0.012	- 0.2	- 0.2	- 0.21			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.4	- 0.3	- 0.1	1.048	1.742	0.164	- 0.2	- 0.2	- 0.21			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	- 0.3	1.028	1.043	1.043	1.043	- 0.2	- 0.2	- 0.21			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Muestra 0.1 % de alta conductividad térmica										3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.31	0.041			0.048							3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	0.019	- 0.1	- 0.2	0.512	- 0.10	- 0.2	- 0.20				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.0	- 0.0	2.047	- 0.1	- 0.1	0.00	- 0.2	- 0.2	0.070			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	- 0.3	1.023	0.01	1.023	- 0.21	- 0.2	- 0.21	0.101			3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Para otros tipos										3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.1	0.013	- 0.1	- 0.2	0.713	- 0.1	- 0.2	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	0.048	2.047	- 0.2	0.612	0.048	- 0.2	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	- 0.3	1.049	- 0.2	1.210	0.048	- 0.2	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	0.012	2.049	- 0.2	0.742	0.012	- 0.2	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.1	- 0.1	- 0.1	1.043	1.043	0.043	- 0.2	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
0.0-1.2	0.013	1.023	- 0.2	0.013	0.013	0.013	0.013				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	
0.0	0.0	1.043	- 0.2	1.043	- 0.2	1.043	- 0.2				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
- 0.3	0.013	0.013	0.2	0.013	- 0.1	0.013	- 0.1				3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
0.0	- 0.0	1.043		0.048		0.048					3.70	0.11	1.1	21 x 10 ⁻³	1000	1.20	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170

G L O S A R I O

145

- Acritud.-** Aspereza ó superficie aspera.
- Agente de curado.-** Sustancia endurecedora de rápido efecto de secado.
- Alargamiento.-** Es el incremento en la longitud entre dos marcas de referencia impresas en una probeta antes de una prueba.
- Alcan.-** Organismo similar al A.S.T.M. radicado en Francia.
- Alclad.-** Marca registrada por Alcan.
- Aleaciones no ferrosas.-** Aleaciones que no tienen al hierro como elemento básico, tales como las aleaciones de aluminio, magnesio, cobre, níquel, zinc y titanio.
- Aluminoterapia.-** Obtención de temperaturas elevadas por reducción del aluminio en polvo sobre diversos óxidos metálicos.
- Anodo.-** Electrodo de una celda en la cual el metal se disuelve; es el polo negativo en el circuito externo.
- Bidones.-** Recipientes para líquidos.
- Braseado.-** Soldadura suave.
- Calorífugo.-** Oposición a la transmisión del calor.
- Cátodo.-** Electrodo de una celda en la cual los iones metálicos se depositan o se producen iones negativos.
- Colabilidad.-** Facilidad para sacar el metal fundido de los altos hornos; ó facilidad en el manejo del metal fundido.
- Composición eutéctica.-** Composición de un líquido que reacciona para formar dos sólidos a la temperatura eutéctica.
- Cuba.-** Recipiente abierto por su parte superior.
- Deformación.-** Es la cantidad por la cual una dimensión de un cuerpo cambia cuando el cuerpo es sometido a una carga.
- Deformación elástica.-** Es el desplazamiento elástico de átomos de sus posiciones normales cuando se aplica un esfuerzo. Cuando se retira el esfuerzo, los átomos vuelven a su posición normal.
- Deformación plástica.-** Es el desplazamiento permanente de los átomos de una posición inicial dada.
- Deformación real.-** $\ln(l/l_0) = 2.3 \log(l/l_0)$
donde: l_0 es longitud original
 l es longitud final.
- Deformación utilizada en ingeniería.-** Variación en la longitud dividida por la longitud original entre puntos.
- Ductilidad.-** Propiedad de los metales y aleaciones que pueden ser aplastados y estirados fácilmente sin que se rompan.
- Dureza.-** Es una medida de la oposición que presenta la superficie de un metal a la acción de un penetrador, midiéndose después el diámetro de la huella resultante al suprimir la acción de la carga.
- Elasticidad.-** Propiedad que tienen los cuerpos deformados por una fuerza exterior de recobrar su forma original cuando cesa de obrar aquella fuerza.

- Ensayo mecánico de tracción.**- Es el proceso de alargamiento progresivo a que se sujeta una probeta del material en estudio.
- Esfuerzo.**- Es una fuerza por unidad de área y es expresada en lb/pulg^2 , Kg/cm^2 .
- Esfuerzo de cedencia a la tracción.**- Es el esfuerzo a la tracción que imprime a la probeta en una prueba a la tracción, una deformación permanente del 0.2 % respecto del comportamiento proporcional.
- Esfuerzo máximo de tracción.**- Es el valor máximo del esfuerzo en el diagrama de esfuerzo-deformación. Se expresa en Nw/cm^2 .
- Esfuerzo real.**- Carga dividida por el área existente a esa carga, P/A .
- Esfuerzo utilizado en ingeniería.**- Carga dividida por el área original, P/A_0 .
- Extensómetro.**- Aparato que mide la longitud a que ha sido tensionado un material.
- Forjar.**- Es la operación que consiste en modificar la forma de los metales, mediante la aplicación de esfuerzos de compresión o de tracción aprovechando las características plásticas de los mismos.
- Fundentes.**- Son polvos de soldar que tienen por objeto disolver las impurezas existentes en la superficie del baño de fusión o que se han formado durante el proceso de soldadura.
- Fundición.**- Acción y efecto de fundir.
- Calvanoplastia.**- Operación de cubrir un cuerpo sólido con capas metálicas mediante electrólisis.
- Hidrógeno.**- Acido que se compone de hidrógeno y un metalóide (Br, F, Cl, I, S, Se, Te).
- Impurezas.**- Partícula extraña a un cuerpo o materia.
- Inhibidor.**- Sustancia química añadida para producir una película o recubrimiento que hace más lenta la reacción de corrosión.
- Inmersión.**- Acción de introducir una cosa en un líquido.
- Laminación.**- Acción de reducir un metal a chapa, haciendo pasar los lingotes o barras por entre los cilindros de los laminadores.
- Límite elástico.**- Es el máximo esfuerzo al cual un material puede ser sometido a tensión y recupera su forma original cuando se libera la carga.
- Líquidos.**- Temperatura a la cual se comienza a congelar el líquido bajo condiciones de equilibrio (se comienza a formar el sólido).
- Maleabilidad.**- Que se puede moldear o labrar muy fácilmente.
- Módulo de elasticidad.**- Es la relación entre el incremento de longitud y el esfuerzo, dentro del límite proporcional.
- Moleta.**- Instrumento que sirve para moler o machacar.
- Oxácido.**- Acido inorgánico que contiene oxígeno en su molécula.
- Pasivación.**- Formación de una película de producto de la reacción que inhibe la reacción posterior.

- Piezas forjadas.**- Partes que se producen trabajando el metal sólido, ya sea en caliente o en frío.
- Piezas fundidas.**- Piezas elaboradas vertiendo metal líquido en un molde que tiene las dimensiones adecuadas. El molde puede estar hecho de arena con arcilla o resina (fundición en arena) o de metal (piezas fundidas en matriz o molde permanente).
- Flaqueado.**- Capa de metal o aleación sobrepuesta y fuertemente adherida a la superficie de otro metal o aleación.
- Elasticidad.**- Propiedad, opuesta a la elasticidad de los cuerpos, que al adquirir determinada forma por efecto de alguna fuerza ejercida sobre ellos, la conservan indefinidamente cuando esta cesa de obrar.
- Polarización.**- Establecimiento de una diferencia de potencial entre dos conductores.
- Potencial de celda (fem).**- Fuerza electromotriz desarrollada por una celda.
- Propiedades mecánicas.**- Son aquellas propiedades del material asociadas a sus reacciones elásticas, surgidas al someterlo a la acción de una fuerza.
- Punto de cedencia.**- Es el momento en el cual hay un incremento repentino en deformación sin un incremento de esfuerzo.
- Rapidez de deformación en tracción.**- Es la deformación de la probeta traccionada, por unidad de tiempo (1/seg).
- Recocido.**- Con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objeto principal es ablandar el material, otras veces también se desea además regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consisten en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos de enfriamientos lentos.
- Recristalización.**- Formación de nuevos cristales libres de esfuerzo en un material trabajado en frío.
- Revenido.**- Es un tratamiento térmico a relativamente baja temperatura, que se da a los metales que han sido previamente templados. El revenido elimina tensiones producidas por la operación del temple, mejorando las propiedades mecánicas requeridas por las especificaciones.
- Resabio.**- Vicio o mala costumbre.
- Sinterizado.**- Agrupamiento de minerales.
- Sólidos.**- Temperatura a la cual la fase líquida desaparece al enfriarse o a la cual comienza la fusión al calentarse.
- Tamiz.**- Cedazo muy tupido, para cerner, dejar pasar parcialmente.
- Techumbre.**- Cubierta de un edificio.
- Temperatura eutéctica.**- Temperatura a la cual un líquido de composición eutéctica se congela formando dos sólidos simultáneamente bajo condiciones de equilibrio. También, la temperatura a la cual un líquido y dos sólidos están en equilibrio.

Trabajo mecánico en caliente.- Deformación del material a una temperatura igual o mayor que la requerida para recristalización.

Trabajo mecánico en frío.- Deformación del material a una temperatura menor que la requerida para recristalización.

Trefilado.- Acción de reducir un metal a alambre o hilo.

Unidades A.- Amperios o ampers.

Unidades barns.- Equivalente a 10^{-28} m^2 (área).

Unidades cv.- Equivalentes a 632 Kcal/hr.

Unidades Kc.- Kilociclos.

Unidades.- mdd.- Índice de corrosión o penetración, $\text{mg}/(\text{dm})^2(\text{día})$.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aluminio Industrial Mexicano, S.A.
Manual del Aluminio.
- 2.- American National Standar Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum.
- 3.- Annual Book of ASTM Standars.
American Society for Testing and Materials.
1988.
- 4.- Avner Sydney.
Introducción a la Metalurgia Física.
2a. Edición.
McGraw-Hill.
1981.
- 5.- Barrand Pierre y Cadeau Robert.
Enciclopedia del Aluminio.
1a. Edición.
URMO.
- 6.- Consejo de Recursos Minerales.
Sumario Estadístico de la Minería Mexicana de 1983-1987.
- 7.- Deytha Díaz José Luis.
El Aluminio y sus aleaciones.
Tesis. 1984.
- 8.- Espinoza Picazo Alfonso.
Estudio técnico-económico del aluminio en México.
Tesis. 1978.
- 9.- Flinn A. Richard.
Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones.
2a. Edición.
McGraw-Hill.
- 10.- Guajardo Torres Horacio.
Control Metalúrgico del proceso de fabricación de aluminio.
Tesis. 1974.

- 11.- Hatch John.
Aluminum: Properties and Physical Metallurgy.
American Society for Metals.
Metals Park, Ohio, 1984.
- 12.- Hernández Garduño Gustavo.
Investigación sobre modificación y tratamiento térmico de aleaciones de aluminio.
Tesis. 1982.
- 13.- INEGI
La Minería en México.
1987.
- 14.- Instituto Mexicano del Aluminio.
Normas Oficiales Mexicanas.
- 15.- James Kent.
Biblioteca Riegel de Química Industrial.
2a. Edición.
CECSA
1987.
- 16.- Juniere Paul.
Aplicaciones del aluminio en las Industrias Químicas y Alimenticias.
URMO.
- 17.- Keine Richard and Loper Carl.
Principles of Metal Casting.
2a. Edición.
McGraw-Hill.
- 18.- NOM-R-50. Guía para la redacción, estructuración y presentación de las Normas Oficiales Mexicanas,
- 19.- NF-690-76. Aluminio en lingotes, clasificación y composición.
- 20.- Othmer-Kirk.
Enciclopedia de Tecnología Química.
1a. Edición.
Hispano-Americana.

- 21.- Patton.
Ciencia y Tecnología de la Soldadura
CECSA
- 22.- Pechiney.
Societe de Vente del Aluminium Pechiney.
- 23.- Perry Robert H.
Manual del Ingeniero Químico.
5a. Edición.
McGraw-Hill.
México, 1986.
- 24.- Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals.
Metal Handbook.
Ninth Edition.
American Society for Metals.
- 25.- Proyecto de Normas Panamericana COPANT 26:2-001 .
Definición y Clasificación de los Temples.
- 26.- Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical
Composition Limits for Wrought Aluminum Alloys.
Edition 1976.
The Aluminum Association, 750 Third Avenue.
New York, N.Y. 10017.
- 27.- Rumford Frank.
Materiales de Ingeniería Química.
2a. Edición.
Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA).
1964.
- 28.- Schimpke Paul y Horn Heans A.
Tratado General de Soldadura.
Ediciones G. Cilli.