

15  
20

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"



## EL PLOMO 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 :  
RAXIEL MUÑOZ CANALES

Director de Tesis:

ING. RAFAEL SAMPERE MORALES

**FALLA DE ORIGEN**

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1989





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.

EL PLOMO Y SUS ALEACIONES  
EN INGENIERIA QUIMICA

INDICE

I	INTRODUCCION	1
II	EL PLOMO EN LA INDUSTRIA QUIMICA	3
II.a.	Generalidades	3
II.a.1.	Características comercia-- les	3
II.a.1.1.	Plomo refinado	4
II.a.1.2.	Plomo soportado mecánica-- mente	4
II.a.1.3.	Plomo soportado metalúrgi-- camente	5
II.a.1.4.	Ladrillos de plomo	5
II.a.1.5.	Recubrimientos de plomo	6
II.b.	Selección y mantenimiento del equipo de plomo	10
II.b.1.	Consideraciones técnicas	10
II.b.1.1.	Resistencia a la corrosión	10
II.b.1.2.	Resistencia mecánica	12
II.b.1.2.1.	Temperatura	12
II.b.1.2.2.	Variaciones térmicas	12
II.b.1.2.3.	Presión	14
II.b.1.2.4.	Vibraciones	14
II.b.1.3.	Resistencia a la abrasión	14
II.b.2.	Ejemplos de selección	15

II.b.2.1.	Recipientes	16
II.b.2.2.	Recubrimientos mecánicos	16
II.b.2.3.	Ladrillos de plomo	16
II.b.2.4.	Tubería	18
II.b.2.5.	Tanques de madera	18
II.b.3.	Inspección y mantenimiento	19
II.b.3.1.	Generalidades	19
II.b.3.2.	Pruebas mecánicas frecuentes	19
II.b.3.3.	Inspección visual de fracturas	20
II.b.3.3.1.	Tinta penetrante	20
II.b.3.3.2.	Compuesto fluorescente	21
II.b.3.3.3.	Keroseno	21
II.b.3.3.4.	Gases	21
II.b.3.3.5.	Acidos	21
II.b.3.3.6.	Material radiactivo	22
II.b.3.4.	Inspección técnica	22
II.b.3.4.1.	Radiografiado y prueba ultrasónica	22
II.b.3.5.	Aplicación de técnicas de inspección	22
II.b.3.6.	Mantenimiento	23
III	PRODUCCION Y CONSUMO DEL PLOMO Y SUS APLICACIONES EN MEXICO	25
III.a.	Generalidades	25
III.b.	Panorama nacional	27
III.c.	Análisis estadístico de la producción y consumo del plomo primario en México	30

IV	PROPIEDADES DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES	41
IV.a.	Generalidades	41
IV.b.	Propiedades físicas y químicas	41
IV.b.1.	Propiedades químicas	41
IV.b.2.	Propiedades físicas	48
IV.b.2.1.	Recuperación y recristalización de la estructura <u>in</u> terna del cristal	51
IV.c.	Ejemplos de especificación y aplicación del plomo y sus aleaciones	54
IV.c.1.	Aleaciones	55
IV.c.1.1.	Antimonio	57
IV.c.1.2.	Calcio	57
IV.c.1.2.	Estaño	58
IV.c.1.3.	Telurio	59
IV.c.1.4.	Plata	59
IV.c.1.5.	Arsénico	60
IV.c.1.6.	Cobre y otros	60
IV.c.2.	Aplicaciones particulares	61
IV.c.2.1.	Acumuladores plomo-ácido	61
IV.c.2.1.1.	Producción de acumuladores	63
IV.c.2.1.2.	Detalles de preparación de rejillas y pasta	64
IV.c.2.1.3.	Recuperación de plomo de <u>los</u> acumuladores	68
IV.c.2.2.	Cables	69
IV.c.2.3.	Otros compuestos químicos	70
IV.c.2.4.	Tetraetilo de plomo	71
IV.c.2.5.	Cables	72

V	NORMAS INDUSTRIALES DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES	74
V.a.	Generalidades	74
V.b.	Ensayos de control de calidad	74
V.b.1.	Materia prima y derivados	74
V.b.1.1.	Lingotes	76
V.b.1.2.	Metal Babbitt	78
V.b.1.3.	Tubería	78
V.b.1.4.	Máquinas	80
V.b.1.5.	Soldaduras	84
V.b.2.	Dureza, resistencia a la tracción, impacto y fluencia lenta	84
VI	RESISTENCIA A LA CORROSION DEL PLOMO	89
VI.a.	Mecanismos de corrosión	89
VI.a.1.	Químicos	89
VI.a.2.	Ambientales	90
VI.a.3.	Agua	91
VI.a.3.1.	Características del agua	92
VI.a.4.	Suelos	93
VI.b.	Resistencia a los ácidos y bases.	95
VII	SOLDABILIDAD DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES	111
VII.a.	Generalidades	111
VII.b.	Características de la soldadura	111
VII.c.	Soldadura plomo-estaño	114
VII.d.	Soldadura de superficies de plomo	120
VII.d.1.	Condiciones a tomar en cuenta en la soldadura de plomo	120

VII.d.2.	Tiços de uniones de plomo	121
VII.d.3.	Soldadura de plomo con <u>meta</u> les diferentes	124
VIII	SEGURIDAD INDUSTRIAL	126
VIII.a.	Generalidades	126
VIII.b.	Toxicidad de metales	126
VIII.c.	Intervalos de toxicidad	127
VIII.d.	Plomo	127
VIII.d.1.	Metabolismo del plomo en el cuerno humano	129
VIII.d.2.	Parámetros de intoxicación	130
VIII.d.3.	Efectos tóxicos	130
VIII.d.4.	Consideraciones de seguridad	132
VIII.d.5.	Tratamiento	134
IX	CONCLUSIONES	137
A	APENDICE	141
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	157

## I INTRODUCCION

El plomo y sus aleaciones tiene todavía una gran aplicación en los procesos de ingeniería, debido a sus propiedades técnicas y económicas. Aunque en la actualidad hay materiales como los polímeros y plásticos que en algunas ocasiones sustituyen a estas aleaciones, es innegable que en la selección del material apropiado para ciertas condiciones de proceso, el más adecuado es el plomo o alguna de sus aleaciones.

Dado que nuestro país es uno de los principales productores de plomo en el mundo, trae como consecuencia su fácil adquisición en el mercado nacional, evitando de ésta manera el empleo de materiales exóticos y de importación, en los que se puede emplear como alternativa viable, sin olvidar que es un metal el cual se recupera en grandes volúmenes y se reprocesa sin perder sus propiedades características.

Entre alguna de sus propiedades como metal hay que resaltar su fácil maquinabilidad para adecuarlo a las formas deseadas donde se pueden unir partes de plomo sin requerir condiciones especiales para ello, como podría ser el caso de la soldadura la cual se puede llevar a cabo gracias a la bondad del plomo y su bajo punto de fusión.

La resistencia a la corrosión del plomo ante una variedad de agentes químicos lo sitúan como una alternativa más económica en la construcción de equipo.

El plomo es un elemento de gran utilidad industrial como metal y como parte de una gran variedad de compuestos -

químicos, más sin embargo su manejo requiere de gran cuidado dado que es altamente tóxico.

## II EL PLOMO EN LA INDUSTRIA QUIMICA

El plomo es un metal que tiene características únicas - distintivas entre los elementos metálicos, el cual cubre lugares en la industria y da beneficios como almacenar energía en una celda, proteger contra la radiación y contra la corrosión; sin olvidar que es un metal el cual es extremadamente tóxico a la salud, manteniéndose un conflicto entre - necesidades industriales y seguridad industrial.

### II.a. Generalidades.

Es de los metales el más blando y muestra de ello es que se han encontrado vestigios de su manufactura de tiempos de los egipcios y romanos que elaboraron tuberías de plomo.

#### II.a.1. Características comerciales.

Algunas de sus características desde el punto de vista comercial son:

-Alta capacidad para formar enlaces metal-carbono; útil en la formación de antidetonantes y bicidas.

-Potenciales de ox-red favorables, útiles para electroquímica (acumuladores plomo-ácido) y en desecantes o en catálisis específica de aceites insaturados y su uso químico en pinturas y tintas.

-Costo relativamente bajo por mol a pesar de su relativo alto peso atómico.

-Como metal es muy sensible a cambios en tamaño del grano, y temperatura de trabajo.

-Debido a que no presenta la resistencia mecánica

ca descada en algunas aplicaciones especificas (como en construcción de equipo) se han desarollado una diversidad de combinaciones químicas y físicas para darle la resistencia mecánica necesaria.

Se le puede encontrar como:

II.a.1.1. Plomo refinado.

Se trata de plomo puro o plomo aleado el cual se emplea para fundición y extrucción. Por fundición se elaboran tuberías y accesorios de tubería, bombas, ánodos y recipientes (en éste caso es muy limitado su uso dada la baja resistencia mecánica del plomo). Por extrucción se fabrican tuberías, serpentines de calentamiento y enfriamiento, cables recubiertos para corriente eléctrica, barras de ánodo y barras para soldadura.

La tubería de plomo empleada por su resistencia a la corrosión tiene una composición de: Pb y Sb(0-8%) y Te(0.04-0.05%). La aleación empleada en recipientes llega a ser de: Pb y Sb(8-12%). Para los cables recubiertos el plomo aleado varía en la composición de los aleantes.

II.a.1.2. Plomo soportado mecánicamente.

Plomo o sus aleaciones se emplean como placas, tuberías u otras formas extruídas fijadas mecánicamente a bases o soportes que pueden ser de diferentes materiales como acero, maderm, concreto, cobre u otros metales. Se le puede encontrar en celdas de concreto recubiertas interiormente de

placas de plomo como el caso de las celdas electrolíticas de metales; otros casos suelen ser los reactores, torres, - cables recubiertos, ánodos, tuberías de chimenea, pisos, tuberías de acero con plomo expandido, en techos o paredes de edificios,...

#### II.a.1.3. Plomo soportado metalúrgicamente.

Únicamente se lleva a cabo sobre metales entre los cuales figura el acero y el cobre entre otros empleándose plomo puro o aleado. El material obtenido presenta la resistencia a la corrosión del plomo y la resistencia mecánica del metal soporte, además tiene gran resistencia a las fluctuaciones de temperatura, vibraciones y variaciones de presión positivas y de vacío. Para un recubrimiento metalúrgico con plomo, primero se requiere limpiar la superficie de aceite, grasa u otros metales; después un pretratamiento con un aleante como estaño o antimonio para darle finalmente una unión metalúrgica por presión y temperatura. Por este medio se pueden construir recipientes de reacción de acero, e intercambiadores de calor con recubrimientos de plomo sobre cobre.

#### II.a.1.4. Ladrillos de plomo.

Se le conoce con éste nombre a la estructura formada principalmente por una capa externa de acero o concreto, una capa intermedia de plomo y una cara interna de una cerámica u otro compuesto de características similares. Por este medio se puede trabajar a temperaturas superiores a la de fusión del plomo y en condiciones abrasivas extremas para el plomo. El plomo puede ser puro o aleado con antimo-

nio, cobre y otros aleantes. La cerámica o vidrio de boro silicato se adhiere al plomo con un cemento adecuado. La unión plomo-cerámica tiene la propiedad de ser selectiva, cuando se manejan compuestos orgánicos polares estos no pueden atravesar la capa de cerámica y atacar al plomo, en tanto el plomo resiste bien la corrosión cuando se manejan de forma simultánea compuestos no polares que atraviesan la capa de cerámica. Esta situación se presenta en el manejo de destilados del petróleo. Otro equipo que maneja este material es el concentrador de ácido sulfúrico al alto vacío y tanques de almacenamiento que manejan mezclas de ácido sulfúrico y compuestos orgánicos, en recipientes que manejan alternativamente ácidos y álcalis, autoclaves y tuberías que manejan altas temperaturas, precipitadores de neblina ácida y torres emoleadas para manejar ácido y dióxido de azufre.

#### II.a.1.5. Recubrimientos de plomo.

El metal base se puede recubrir mecánicamente o metalúrgicamente con el objetivo de tener un material resistente a la corrosión. La resistencia a la corrosión depende de la cantidad de poros microscópicos presentes y la resistencia mecánica del material de soporte. El número de poros varía dependiendo de la técnica aplicada pero si se da un acabado con un esmalte pueden pasar hasta cincuenta años sin ser necesario un nuevo mantenimiento.

Las formas físicas anteriores en que se aplica el plomo, térmicamente no resisten temp. superiores a 232°C ya que se deforman, la excepción es la estructura de ladrillo de -

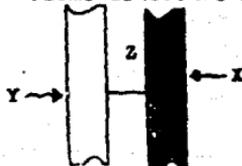
FORMAS BASICAS DE APLICACION DEL PLOMO

Plomo



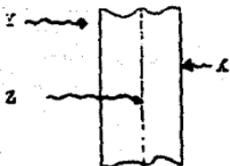
X: Plomo o aleación de plomo

Plomo soportado mecán.



X: Plomo o aleación de plomo  
Y: Acero, madera o concreto  
Z: Soporte mecánico

Plomo soportado metalúrg.



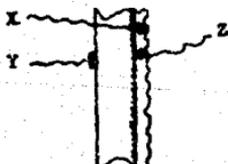
X: Plomo o aleación de plomo  
Y: Acero, cobre u otro material  
Z: Unión metalúrgica

Ladrillo de plomo

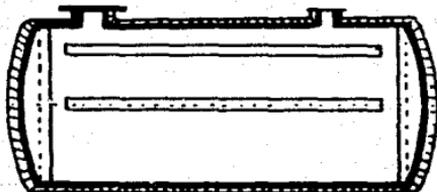


X: Plomo o aleación de plomo  
Y: Acero o concreto  
Z: Unión mecánica o metalúrg.  
B: Material de amortiguamiento (opcional)

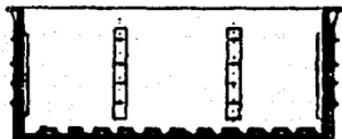
Recubrimiento de plomo



X: Recubrimiento de plomo o aleación de plomo  
Y: Acero, cobre u otro material  
Z: Unión metalúrgica o mecán.

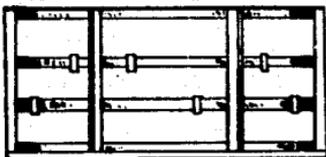


Tanque horizontal de acero con recubrimiento de plomo.

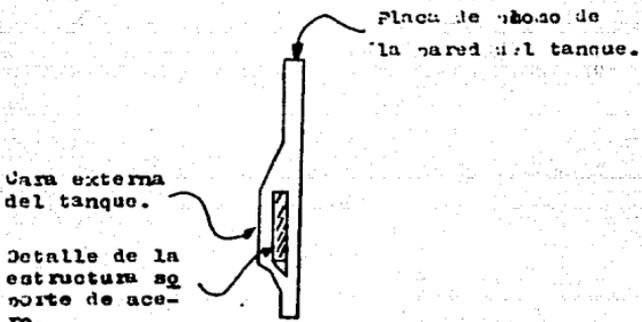


Tanque rectangular recubierto de plomo con acero de soporte empleando cintas de madera en la cara externa para protección

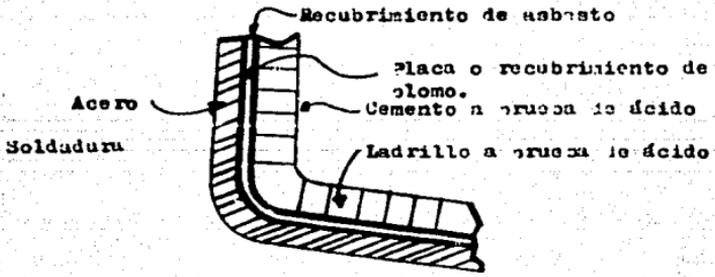
Elementos empleando plomo de recubrimiento y estructural.



Tanque de plomo con estructura soporte de acero.



Características de la estructura soporte y la placa de plomo.



Ladrillo de plomo

plomo con la cual se puede trabajar manejando temperaturas hasta de  $982^{\circ}\text{C}$  debido a que presenta fuerte resistencia a la transferencia de calor. En contraste con otros metales, si se trabaja a temperaturas bajas, no tiende a volverse quebradizo debido a que su temperatura de recristalización es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Generalmente el empleo de plomo es en grandes espesores, así plomo refinado puede soportar presiones hasta de tres atmósferas, en tanto, en recubrimientos de plomo se pueden manejar presiones mayores o de vacío dependiendo del material de soporte.

Como es muy maleable y blando es menor su costo de instalación y mantenimiento ya que no se requieren herramientas especiales para adaptarlo a los contornos cuando se maneja como placas o tuberías, soldándose las partes con llama oxiacetilénica.

## II.b. Selección y mantenimiento del equipo de plomo.

### II.b.1. Consideraciones técnicas.

Tres aspectos se analizan al recurrir al empleo de plomo para diseño y durante el proceso con este material:

- 1.- Resistencia a la corrosión.
- 2.- Resistencia mecánica.
- 3.- Resistencia a la abrasión.

#### II.b.1.1. Resistencia a la corrosión.

Se hace necesario considerar una corrosión límite máxima de 30 milésimas de pulgada/año (30 mpa), valor que es

muy grande pero se justifica dado que los espesores en tuberías y láminas son grandes. En otro tipo de metales se utiliza un máximo de 20 mpa. Cuando el plomo metálico forma parte de instrumentos sensibles se toma un valor inferior a 30 mpa. El mantenimiento requerido cuando se manejan líquidos o ambientes corrosivos depende de las situaciones específicas, así, se encuentran aleaciones que en un medio son menos resistentes a la corrosión que el plomo puro y en otro medio principalmente electrolítico son más resistentes, como se verá más adelante.

Cuando se maneja ácido sulfúrico en recipientes es necesario considerar el nivel del líquido, dado que la superficie superior al nivel del líquido al estar en contacto con oxígeno se vé más corroida en relación a la parte inferior al nivel del líquido. En éste caso se requiere eliminar la superficie expuesta al oxígeno manteniendo un nivel constante máximo de líquido o en su defecto se hace necesario el recubrir con una aleación de Pb-Sn-Sb la superficie que continuamente va a estar expuesta a variaciones en el nivel del líquido; otra alternativa es mojar continuamente la superficie metálica para renovar la película protectora. El fundamento químico lo veremos en propiedades del plomo y sus aleaciones.

Otro tipo de situación sucede con las descargas eléctricas, las mismas causan altas razones de corrosión en cables recubiertos y en líneas de plomo que se encuentran en contacto o próximos a la fuente de descarga como los tanques electrolíticos; colocando un conductor de menor resistencia

conectado a la fuente de descarga dará una salida a la corriente al oponer menor resistencia; se puede colocar también un ánodo de sacrificio conectado a la fuente de corriente con un alambre conductor. El ánodo se puede hacer enterrando desechos de hierro conectados a la fuente de descarga. Si es insuficiente éste medio se llega a instalar un sistema de protección catódica. Si se manejan altos voltajes se hace necesario colocar un aislamiento sobre el plomo para evitar las pérdidas de corriente.

#### II.b.1.2. Resistencia mecánica.

La resistencia mecánica del plomo puro o aleado se ve afectada por variaciones de temperatura, niveles máximos de temperatura, resistencia a la presión y vibraciones.

##### II.b.1.2.1. Temperatura.

Los niveles de temperatura máximos manejados dependen de la aleación específica. Se observa una disminución de la resistencia mecánica a medida que se aproxima a la temperatura de fusión. Una de las aleaciones comúnmente usadas es de plomo antimonial, comparandola con plomo químico el plomo antimonial (6-8%Sb) a temperatura ambiente tiene una mejor resistencia a la fatiga y compresión que el plomo químico, en tanto se observa una inversión de propiedades a medida que aumenta la temperatura; es recomendable el uso de tuberías de plomo químico respecto al plomo antimonial cuando se manejan altas temperaturas, (mayor de 120°C).

##### II.b.1.2.2. Variaciones térmicas.

Este punto es de particular importancia ya que si no se cuida, los daños causados pueden ser muy fuertes; el efecto

conocido es el hinchamiento o abombamiento de las placas de plomo. Algunos de los factores que determinan el abombamiento son:

- Tipo de plomo empleado.
- Espesor de la placa.
- Distancia entre soportes.
- Gradientes de temperatura.
- Frecuencia de calentamiento y enfriamiento.

La propiedad principal en que se origina el abombamiento es el coeficiente de expansión térmica. Como en el caso del acero que al tener un coeficiente de expansión térmica tres veces menor al del plomo, requiere especial cuidado en el diseño de equipo al considerar estas propiedades. Además el límite elástico del plomo es menor al del acero. Con el calentamiento y enfriamiento la placa de plomo se expande y contrae, cuando se llega a rebasar el límite elástico durante una expansión el plomo puede quedar abombado. Si la placa de plomo esta atornillada a la placa de acero - durante los cambios al rebasarse el límite elástico de alguno de ellos por sus diferentes coeficientes térmicos puede ocurrir un abombamiento y posteriormente una fractura. El problema se encuentra latente en placas de plomo fijadas mecánicamente al acero. La fractura se puede prevenir con un aumento del espesor de la placa y distancias más cortas entre soportes, una disminución de los gradientes de temperatura y de los ciclos de calentamiento y enfriamiento. - Para evitar fijar mecánicamente las placas de plomo se recurre al uso de pegamentos que permiten dar un soporte elástico

tico a las placas de plomo y son altamente resistentes a los daños causados por las variaciones térmicas.

Una aleación de plomo antimonial (6-8% Sb) que es dura, evita el abombamiento siempre que la temperatura no exceda de 65°C. El plomo antimonial y el plomo químico tienen aproximadamente el mismo coeficiente elástico.

#### II.b.1.2.3. Presión.

Cuando se van a manejar presiones variables o condiciones de vacío se recurre al equipo de ladrillo de plomo o un diseño especial de plomo unido metalúrgicamente. El equipo de plomo puede soportar presiones hasta de 50 psig, en tanto, cuando se van a manejar presiones superiores es necesario que el plomo se encuentre soportado sobre una estructura.

#### II.b.1.2.4. Vibraciones.

Las vibraciones a que se encuentra sujeto el equipo y tubería de plomo le causan daños por fatiga produciendo el mismo efecto en el plomo soportado mecánica o metalúrgicamente. La solución es aislar el equipo de la vibración y fijar las partes libres. En casos extremos se requiere un absorbente de vibraciones.

#### II.b.1.3. Resistencia a la abrasión.

La resistencia a la abrasión envuelve dos aspectos: el trabajo mecánico y la erosión superficial, las cuales se manifiestan por la extrema maleabilidad del plomo o sus aleaciones. Cuando se maneja fluido corrosivo conteniendo materia inerte, el plomo se erosiona fácilmente en un ciclo en el cual la materia inerte al chocar con la superficie e-

limina la capa protectora quedando expuesta superficie nueva, la cual es susceptible de corroerse.

Se observa que al aumentar la velocidad de flujo de la solución se incrementa de manera proporcional la rapidez de la corrosión. Para atenuar este efecto se recurre a un aumento del diámetro de la tubería, aumentar los ciclos de mezclado o disminuir la velocidad del agitador.

Una aleación de plomo antimonial (4-12% Sb) que es más dura tiene mayor resistencia a la erosión que el plomo químico y se emplea en recipientes, tuberías, válvulas y accesorios. En condiciones extremas se recurre a equipo de ladrillo de plomo.

Sabiendo de la excelente resistencia a la corrosión del plomo, la selección del plomo metálico para construcción de equipo se limita a analizar las necesidades mecánicas y térmicas requeridas en el proceso.

#### II.b.2. Ejemplos de selección.

Los principales casos que se llegan a presentar son:

- 1.- Recipientes.
- 2.- Recubrimientos mecánicos.
- 3.- Ladrillos de plomo.
- 4.- Tubería.
- 5.- Tanques de madera recubiertos.

### II.b.2.1. Recipientes.

La composición química del plomo puro o aleado varía de pendiendo de la aplicación del recipiente. Puede emplearse plomo químico o plomo antimonial (6-8%Sb) el cual es útil para condiciones extremas por su resistencia a la abrasión si no se exceden los 120°C, a sabiendas de su resistencia a la corrosión.

### II.b.2.2. Recubrimientos mecánicos.

Es útil cuando se manejan condiciones moderadas de temperatura, se trabaja en condiciones de vacío moderadas, de abrasión y en tanques muy grandes. El empleo requiere una preparación de la superficie, esto es, limpieza del acero, madera o concreto de lo contrario se dañará posteriormente el recubrimiento. Los recubrimientos se aseguran a las pn redes empleando tornillos protegidos con plomo, botones de plomo o cintas de acero recubiertas de plomo. En caso de requerirse de soldadura se deben aplicar el menor número de bido a que los puntos adyacentes quedan sujetos a grandes esfuerzos de expansión y contracción por variación térmica; en caso de ser indispensables se deben aplicar en puntos no expuestos a esfuerzos por operación. Es viable el recubrimiento de estructuras de acero por el bajo costo de la estructura de acero, disipación rápida del calor (con agua o corrientes de aire), fácil mantenimiento por la detección rápida de agrietaduras.

### II.b.2.3. Ladrillos de plomo.

Anteriormente se había visto que en casos extremos se recurría al empleo de ladrillos de plomo, éstos están cons-

truidos con características especiales que ya se mencionaron. Sus propiedades son:

- Alta resistencia a una variedad de agentes corrosivos
- Resistencia al esfuerzo mecánico.
- Soportan temperaturas próximas a  $982^{\circ}\text{C}$ .
- Buen funcionamiento en condiciones de vacío (0.25 pulgadas de mercurio y  $126^{\circ}\text{C}$ )
- Soportan cambios rápidos de temperatura, erosión y abuso mecánico.

Además de las propiedades ya mencionadas el mortero soporta el astillamiento causado por choques térmicos, altas temperaturas y absorción de soluciones en los poros las cuales cristalizan al enfriarse. El mortero presenta de 3-4% de poros dependiendo de las condiciones de preparación. A cerro o concreto se pueden emplear como soporte presentando menor gradiente de temperatura el concreto por su efecto aislante y en el caso del acero se requiere un tratamiento especial dado que su expansión térmica respecto al concreto es más pronunciada. Para evitar lo anterior se recurre al empleo de dos o tres capas de asbesto entre el plomo y el concreto. El problema surge cuando se opera con altas temperaturas debido a que el asbesto tiende a formar bolsas de acidez las cuales con algunos agentes son focos muy corrosivos. La alternativa es emplear un recubrimiento de 1/8 de pulgada sobre el plomo de alguna resina o plástico. Cuando se opera a temperaturas superiores a  $260^{\circ}\text{C}$  es necesario que el recipiente éste soportado de tal forma que permita el paso de aire frío para evitar daños en el fondo.

#### II.b.2.4. Tubería.

Es el principal elemento del equipo de proceso químico que se fabrica en plomo. El tipo de tubería encontrado comercialmente varía dependiendo de la forma de fabricación. Hay tubería a base de plomo extruido la cual se fabrica por los métodos tradicionales de ésta técnica; tubería de acero con recubrimiento de plomo que se expande mecánicamente (el plomo es soportado por el acero) y tubería de acero con recubrimiento soldado de plomo, éste último tipo de tubería se emplea cuando se manejan temperaturas y presiones mayores que no soportan las tuberías anteriores. La tubería de plomo soldado también soporta vibraciones o condiciones de vacío y una temperatura máxima de  $162^{\circ}\text{C}$ . Se hace necesario dar un pretratamiento con estudio antes del recubrimiento del acero en tuberías de grandes diámetros que se requiere que soporten una temperatura máxima de  $232^{\circ}\text{C}$ .

Las tuberías de plomo horizontales se sujetan con bandas recubiertas de plomo alrededor de la tubería; en el caso de tuberías en posición vertical éstas están sujetas con ménsulas.

#### II.b.2.5. Tanques de madera.

En algunos casos el empleo de madera es indispensable para la construcción de equipo, principalmente recipientes. Cuando se van a unir el plomo y la madera ésta debe ser de ciprés o pino amarillo de hoja grande, otro tipo de madera no debe emplearse debido a que corroe el plomo por los ácidos orgánicos que contiene. Los tanques de madera se

construyen con duela la cual se sujeta con cintas de acero. Estas cintas de acero son susceptibles de corroerse para lo cual se protegen con plomo. Se manejan dos técnicas de protección de las cintas: una de ellas es recubrir por completo la cinta con plomo, con la desventaja que se hace más difícil el mantenimiento al no ser fácil la inspección alrededor de la cinta; la otra alternativa es emplear cintas de acero que están cubiertas por una lámina de plomo que únicamente cubre la cinta de acero que se encuentra en contacto con la pared de madera resultando la inspección más fácil. La alternativa al empleo de tanques de madera es la construcción de tanques de plomo soportados sobre una estructura de acero

### II.b.3. Inspección y mantenimiento.

#### II.b.3.1. Generalidades.

A sabiendas de las características especiales del plomo, después de la fundición o extrucción de objetos del mismo se hace necesario inspeccionar el material que se va a emplear antes de utilizarlo para la construcción de equipo (placas o láminas) o de su instalación (tuberías). En seguida antes de entrar en servicio se buscan fracturas, poros y uniones imperfectas. Posteriormente cuando el equipo está trabajando se inspecciona el efecto de ambiente, la erosión, las expansiones y contracciones térmicas.

#### II.b.3.2. Pruebas mecánicas frecuentes.

Las pruebas son hidrostáticas o de vacío. Para equipo recubierto con plomo como serpentina de vapor y recipientes

tes de plomo con estructura de soporte se lleva a cabo una prueba hidrostática bombeando un fluido dentro del recipiente y completando con una prueba a baja presión para localizar fracturas. En tuberías se lleva a cabo una prueba de vacío de modo similar a la aplicada en equipo de acero, cuidando de no tensionar las tuberías al exceder la presión de prueba.

#### II.b.3.3. Inspección visual de fracturas.

La inspección visual se lleva a cabo empleando sustancias químicas las cuales actúan de modo diferente cada una y denotan las zonas afectadas por fractura, picaduras superficiales o soldaduras defectuosas. Las sustancias químicas son tintas o líquidos penetrantes, gases, ácidos y se aplican sobre cubiertas de plomo en cables, cubiertas sobre acero, tuberías y placas de plomo.

##### II.b.3.3.1. Tinta penetrante.

El resultado mostrado no es muy confiable cuando se aplica tinta dado que en ocasiones no muestra una definición buena de fracturas por lo que se emplea como método indicador de la posible existencia de defectos. La tinta puede penetrar por capilaridad en la fractura quedando atrapada, al lavar la superficie se puede observar la fractura. Para la aplicación de la tinta es necesario preparar la superficie. Primero se limpia con chorros de arena para eliminar asperezas y dejar expuesta la fractura. Segundo, se lava con un solvente polar para eliminar la grasa o el aceite, en seguida se lava con agua enjabonada y se enjuaga con agua limpia. Tercero, se aplica tinta roja con brocha o -

se rocía dejándose 5 ó 6 minutos.

#### II.b.3.3.2. Compuestos fluorescentes.

Los compuestos fluorescentes requieren de una aplicación cuidadosa obteniéndose una más fácil interpretación de resultados. La preparación de la superficie es similar a la aplicación de la tinta cuidando de eliminar por completo la grasa y aceites ya que algunos son fluorescentes. La aplicación debe ser en 10 a 20 minutos cuidando de eliminarlo a los 20 minutos ya que tiende a endurecer. Se puede quitar con chorros de arena o con agua caliente.

#### II.b.3.3.3. Keroseno.

Se aplica para equipo con plomo soportado mecánicamente. El Keroseno se inyecta en el espacio plomo-soporte mecánico y las perforaciones se pueden observar al comenzar a gotear las mismas.

#### II.b.3.3.4. Gases.

Se emplea tetracloruro de carbono vaporizado o una mezcla de freón-aire y se aplican igual que el keroseno denotando las picaduras cuando se pasa una flama encendiéndose el gas o vapor que escapa por ellas. Se requiere de extremo cuidado en su manejo por lo peligroso de estos agentes.

#### II.b.3.3.5. Acidos.

El empleo de ácido clorhídrico indica la presencia de perforaciones al reaccionar con la superficie del acero, lo que se puede observar después de secar la superficie al quedar lugares húmedos donde hay poros, decoloraciones como herrumbre indican picaduras o fracturas. Para una más fácil detección de la zona afectada se emplea ferricianuro de potasio que al estar en contacto con las sales de hierro da

una coloración azul prusiano.

Se requiere eliminar de ácidos o grasa, aplicar el HCl y dejarlo actuar de 12 a 24 hr, aplicar el ferricianuro de potasio, lavar con agua y secar.

#### II.b.3.3.6. Material radiactivo.

Aplicando material radiactivo entre el metal soporte y la placa de plomo se pueden encontrar las perforaciones al pasar por estas las radiaciones gracias a que el plomo es una buena barrera contra la radiación.

#### II.b.3.4. Inspección técnica.

Esta inspección implica el uso de equipo de inspección más complejo para llevar a cabo un radiografiado y pruebas ultrasónicas.

##### II.b.3.4.1. Radiografiado y prueba ultrasónica.

La aplicación de altas radiaciones energéticas a soldaduras permite encontrar los defectos en las mismas sin destruir la soldadura.

La prueba ultrasónica requiere de un chequeo preliminar dado el alto costo de la misma y no se le puede aplicar para inspeccionar grandes áreas. Se puede emplear para encontrar zonas metálicas separadas, inclusiones internas de materia extraña y gases atrapados en el equipo recubierto de plomo. La base del funcionamiento de la prueba ultrasónica se debe a la diferente velocidad del sonido al pasar de un medio de una densidad a otro de distinta densidad reflejándose una porción del sonido.

#### II.b.3.5. Aplicación de técnicas de inspección.

La técnica empleada para inspeccionar va a depender del

equipo u objeto que se pretenda muestrear y de los costos e  
 económicos de cada técnica. Al hacer un examen a equipo de  
 plomo o protegido con plomo se puede proceder de la siguien  
 te forma: Primero buscar defectos mecánicos.

Segundo las uniones incompletas.

Tercero la presencia de perforaciones.

Cuarto la posible presencia de materia extraña.

Quinto, fracturas superficiales.

#### II. b. 3.6. Mantenimiento.

Un programa de mantenimiento preventivo se aplica para  
 alargar la vida de servicio del equipo, reparando y reempla  
 zando partes defectuosas y en ocasiones dando limpieza al e  
 quipo.

En equipo que maneja fluidos, el mantenimiento preven  
 tivo se orienta a la conservación de la película protectora  
 necesaria cuando el fluido no forma la misma. Cuando hay  
 pequeñas cantidades de iones sulfato en el fluido se asegu  
 ra la formación del sulfato de plomo.

Cuando es posible se puede aplicar un baño de ácido -  
 sulfúrico al 25-35% y 19°C para formar la película protecto  
 ra. El tiempo requerido varía para cada caso, así para -  
 plomo químico se requiere un baño durante 9-15 hr, en tanto  
 para plomo antimonial (33Gb) solo menos de 1 1/2 hr.

Otra forma de proteger el plomo es aplicando una pintu  
 ra de aceite.

Los factos es mecánicos que pueden causar fractura y de  
 ben cuidarse son: cambios drásticos de temperatura durante  
 la operación en recubrimientos mecánicos de plomo en reci--

plantes, golpes de ariete en serpentinas de vapor, fuentes de vibración,...

Anteriormente se mencionó que la reparación de equipo con plomo únicamente requiere de soldadura oxiacetilénica o soldadura con cautín, pudiendose reparar perforaciones, picaduras y fracturas sin afectar zonas cercanas de recubrimiento de plomo y tuberías.

### III PRODUCCION Y CONSUMO DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES EN MEXICO

#### III.a. Generalidades.

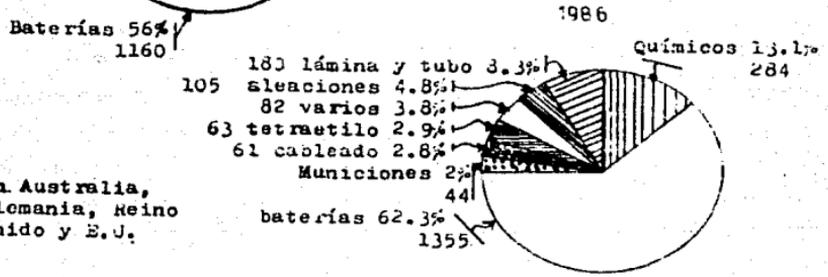
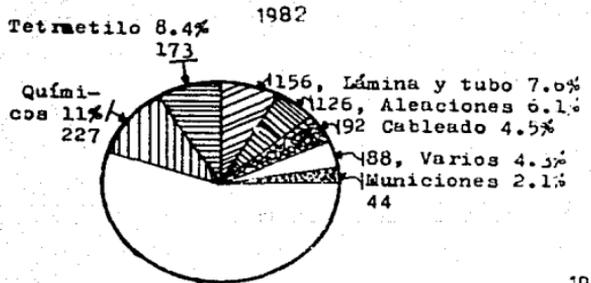
En todos los continentes podemos encontrar distribuido este metal, destacándose algunos lugares por el tamaño de sus yacimientos y por tanto en la producción del metal. En la producción del mineral se pueden citar en orden descendente a los países siguientes durante 1986: Rusia, Australia, Canadá y México.

En la producción de plomo refinado destaca en primer término Estados Unidos quedando México como quinto productor. México es el cuarto productor de plomo secundario.

A nivel mundial durante los últimos cinco años (1982 - 1986) se ha mantenido un nivel aproximado de consumo y producción de 4 mil toneladas métricas.

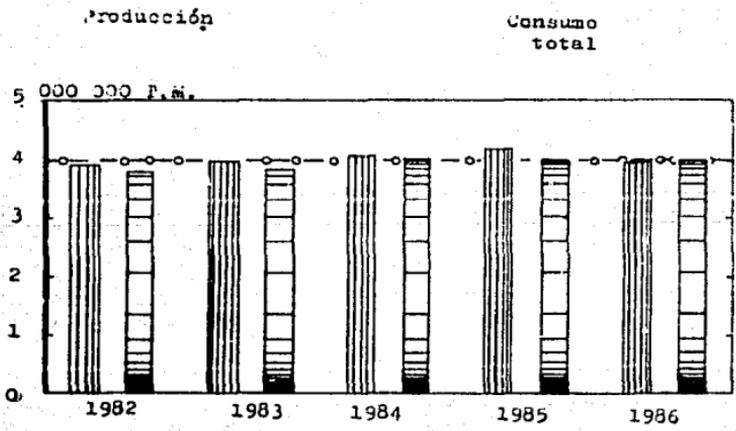
Los productos que han aumentado el consumo de plomo a nivel mundial hasta 1986 son: baterías, químicos, lámina y tubos. Los países que tienen la mayor producción mundial de estos productos son Estados Unidos, Japón e Inglaterra. Los antidetonantes y los cables recubiertos se están viendo desplazados al buscarse nuevos compuestos que los sustituyan para atenuar la contaminación, como se puede ver la baja del 3.4% a 2.9% para el tetrametilo de plomo hasta 1986.

PRINCIPALES USOS DEL PLOMO (MILES DE TONELADAS METRICAS)



En Australia, Alemania, Reino Unido y E.U.

PRODUCCION VS CONSUMO MUNDIAL DE PLOMO



### III.b. Panorama Nacional.

En México se encuentra una diversidad de yacimientos en todo el territorio nacional, destacándose en orden de producción descendente los estados de Chihuahua, Zacatecas y Guerrero.

De los metales no ferrosos se ha mantenido entre los principales minerales de exportación entre el manganeso, cinc y cobre. En 1986 se exportó el 93.5% de la producción de plomo primario colocándose México como el tercer exportador mundial después de Australia y Canadá.

Durante 1986 la producción minera de México representó el 8.2% del total del mundo, y en los años 1986 y 1987 se notó una disminución de la producción al registrarse 183,645 y 173,800 toneladas métricas respectivamente.

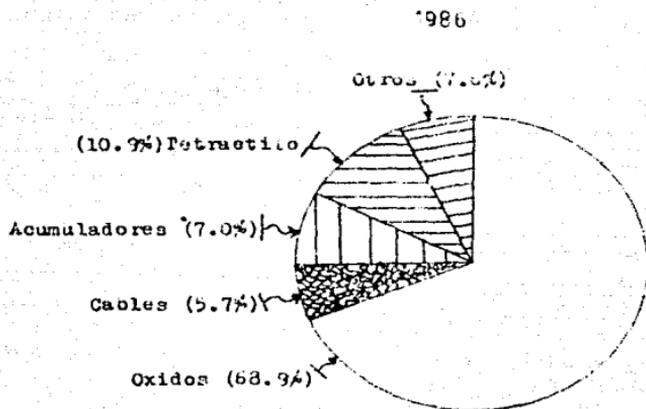
Como se verá posteriormente la producción de plomo primario tiende a la baja al igual que el consumo nacional durante los próximos años.

Igual que en años anteriores, el plomo de recuperación, ha jugado un papel preponderante en el mercado nacional (26 % del consumo total en México incluidos el plomo primario y secundario) y de mucha fuerza en la industria de los acumuladores. Este mercado secundario ha generado un promedio de 34,000 T.M. (Toneladas Métricas) anuales en los últimos siete años, siendo en 1986 de 30,000 T.M.

En México los principales productos que consumen plomo primario son: óxidos, tetraetilo, otros, acumuladores y cables. Tomando en cuenta que la mayor parte del óxido se destina a la formación de las placas de los acumuladores,

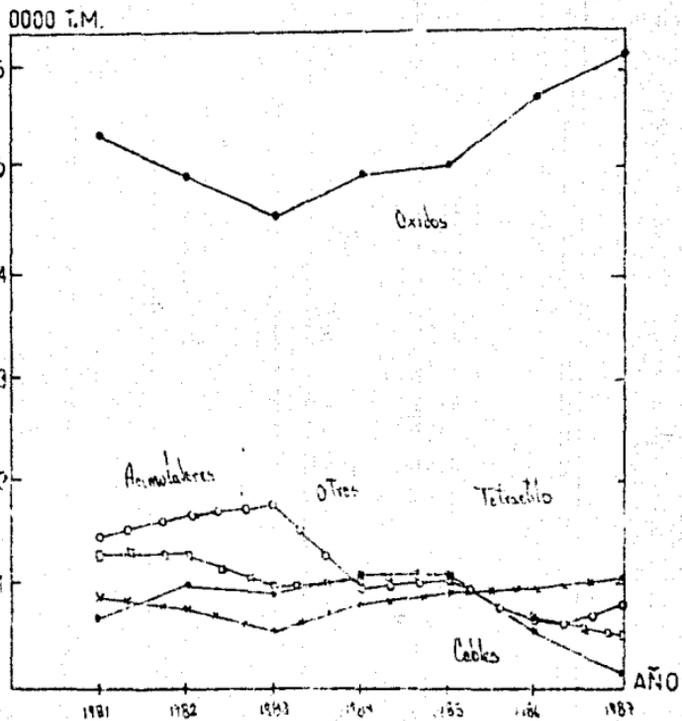
El consumo de plomo por los acumuladores es aproximadamente de un 60% del total de la producción. En la gráfica siguiente el área registrada como acumuladores, indica el empleo de plomo refinado para fundición de rejillas y postes del acumulador.

El área de acumuladores emplea la mayor parte del plomo de recuperación ya que algunas compañías cuentan con plantas propias para la recuperación del plomo de baterías usadas.



**DISTRIBUCION DE LAS VENTAS NACIONALES DE PLOMO PRIMARIO  
(TONELADAS METRICAS)**

# CONSUMO DEL PLOMO AFINADO EN MEXICO



El óxido también se emplea para pigmentos y se observó un aumento en su demanda en un 14.1% debido a las exportaciones, destacando por ser el mercado más importante en México para el plomo refinado. El consumo de tetraetilo de plomo registró un ligero aumento debido a las exportaciones a países que lo continúan agregando a la gasolina. Para el caso de los cables eléctricos se registró una caída en el consumo, observándose que se debe al empleo de alásticos para el recubrimiento de los cables. El consumo en el área de cables se ha limitado al mantenimiento de las líneas de plomo ya instaladas.

### III.c. Análisis estadístico de la producción y consumo del plomo primario en México

El análisis se llevará a cabo con el fin de determinar el comportamiento a nivel nacional de la producción y consumo y perspectivas esperadas para este mercado.

Es de hacerse notar que la falta de datos acerca del consumo de cada área a la que se destina el plomo primario obliga a tomar la única información disponible y son los datos de ventas que hace el productor de plomo refinado a las diversas industrias, sin saberse si el destino final sea del área de trabajo del comprador o este lo pase a otra industria dedicada a otro ramo. La información fué proporcionada por el Instituto Mexicano del Zinc, Plomo y Coproductos que asocia a las principales industrias dedicadas a este ramo, quedando una serie de industrias de las cuales se desconocen sus niveles de producción y consumo.

El método empleado para el análisis estadístico es el -

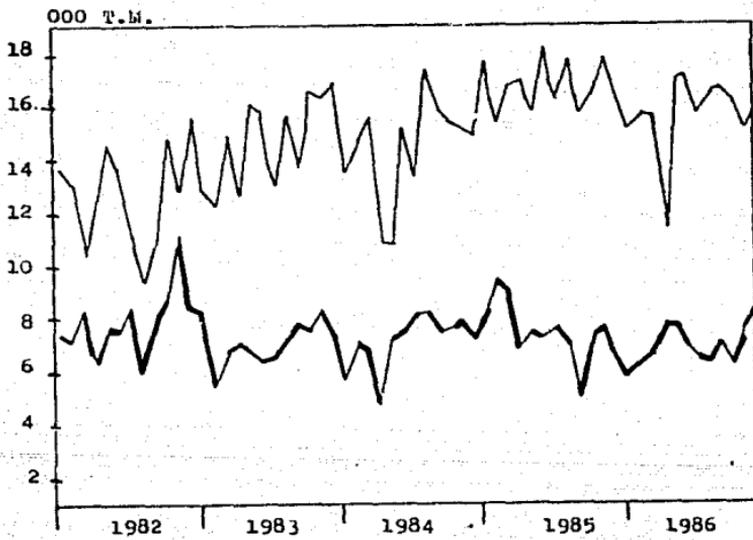
de los mínimos cuadrados para encontrar la ecuación que pase por la mayor parte de los puntos y sea lo más representativa de la tendencia del fenómeno.

Observando la gráfica de producción y consumo podemos inferir que la ecuación que mejor representa el comportamiento es el de una línea recta.

#### COMPORTAMIENTO DEL PLOMO PRIMARIO REFINADO EN MEXICO

Producción ———

Consumo ———



## ESTADÍSTICA DE PRODUCCION DE PLOMO PRIMARIO EN MEXICO

AÑO	PRODUCCION DE PLOMO (TONELADAS METRICAS)
1978	225 472
1979	224 756
1980	184 696
1981	166 908
1982	152 644
1983	177 252
1984	172 392
1985	201 398
1986	188 645
1987	173 800

Cálculo estadístico por el método de los mínimos cuadrados a partir de la ecuación de regresión lineal.

$$Y = A + BX$$

donde Y representa las toneladas producidas en los años X; A y B son constantes de proporcionalidad que se calcularán a continuación

X	Y	X <sup>2</sup>	XY
1978	225472	3912464	4.459x10 <sup>8</sup>
1979	224756	3916441	4.447x10 <sup>8</sup>
1980	184696	3920400	3.656x10 <sup>8</sup>
1981	166908	3924361	3.306x10 <sup>8</sup>
1982	152644	3928324	3.025x10 <sup>8</sup>
1983	177252	3932289	3.514x10 <sup>8</sup>
1984	172392	3936256	3.420x10 <sup>8</sup>
1985	201898	3940225	4.007x10 <sup>8</sup>
1986	188645	3944196	3.746x10 <sup>8</sup>
1987	173800	3948169	3.453x10 <sup>8</sup>

$$\Sigma X = 19825 \quad \Sigma Y = 1868463 \quad \Sigma X^2 = 390314 \quad \Sigma XY = 37.039 \times 10^8$$

Las constantes A y B tienen las siguientes igualdades

$$A = \frac{(\sum X^2)(\sum Y) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad B = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

Sustituyendo valores

$$A = \frac{(39303145)(1868463) - (19825)(37.039 \times 10^8)}{10(39303145) - (19825)^2}$$

$$A = 7284856$$

$$B = \frac{10(37.039 \times 10^8) - (19825)(1868463)}{10(39303145) - (19825)^2}$$

$$B = -3580$$

Empleando los valores de las constantes A y B sustituimos en la ecuación de regresión lineal

$$Y = 7284856 - 3580X$$

Dando los valores a X podemos trazar la ecuación de la recta

$$\text{cuando: } X = 1980 \quad Y = 136457$$

$$X = 1990 \quad Y = 160650$$

## Análisis de la correlación

$$\text{Coeficiente de correlación} = r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

X	Y	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$
1978	225472	-4.5	20.25	38625.7	1491344700
1979	224756	-3.5	12.25	37909.7	1437149354
1980	184696	-2.5	6.25	-2150.3	4623790
1981	166908	-1.5	2.25	-19938.3	397535800
1982	152644	-0.5	0.25	-34202.3	1169797325
1983	177252	0.5	0.25	-3594.3	92057592
1984	172392	1.5	2.25	-14454.3	208926788
1985	201898	2.5	6.25	15051.7	226553672
1986	188645	3.5	12.25	1798.7	3235321
1987	173000	4.5	20.25	13046.7	170205943
			<u>82.50</u>		<u>5202019295</u>

Donde

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{19825}{10} = 1982.5 \quad \bar{Y} = \frac{186846.3}{10} = 18684.63$$

$$B = -3580.3$$

por tanto el valor de la correlación va a ser igual a:

$$r = \frac{-3580.3}{\sqrt{82.5 / 5202019295}}$$

$$r = -0.45$$

## ESTADÍSTICA DE CONSUMO DE PLOMO PRIMARIO EN MEXICO

AÑO	CONSUMO DE PLOMO (TONELADAS MEXICAS)
1978	107556
1979	110111
1980	96152
1981	95421
1982	95504
1983	85793
1984	86317
1985	90606
1986	84052
1987	88000

A continuación Y representa el consumo de plomo por año y  
X los años

X	Y	X <sup>2</sup>	XY
1978	107556	3912464	2.127x10 <sup>8</sup>
1979	110111	3916441	3.179x10 <sup>8</sup>
1980	96152	3920400	1.905x10 <sup>8</sup>
1981	95421	3924361	1.890x10 <sup>8</sup>
1982	95504	3928324	1.892x10 <sup>8</sup>
1983	85793	3932289	1.701x10 <sup>8</sup>
1984	86317	3936256	1.712x10 <sup>8</sup>
1985	90606	3940225	1.798x10 <sup>8</sup>
1986	84052	3944196	1.669x10 <sup>8</sup>
1987	88000	3948164	1.746x10 <sup>8</sup>
$\Sigma X = 19607$	$\Sigma Y = 830912$	$\Sigma X^2 = 39303145$	$\Sigma XY = 18.623x10^8$

Calculo de las constantes A y B

$$A = \frac{(39303145)(939512) - (19825)(18.623 \times 10^8)}{10(39303145) - (19825)^2} \quad A = 5173403.0$$

$$B = \frac{10(18.623 \times 10^8) - (19825)(939512)}{10(39303145) - (19825)^2} \quad B = -2564.0$$

Substituyendo valores en la ecuación de regresión lineal

$$Y = 5173403.0 - 2564.0X$$

Verificamos la recta dando dos valores a X

$$\text{cuando: } X = 1980 \quad Y = 100370$$

$$X = 1990 \quad Y = 74700$$

Análisis de la correlación  
(CONSUMO DE OLOMO)

$$\bar{X} = \frac{19325}{10} = 1932.5$$

$$\bar{Y} = \frac{333512}{10} = 33351.2$$

$$J = -2564.6$$

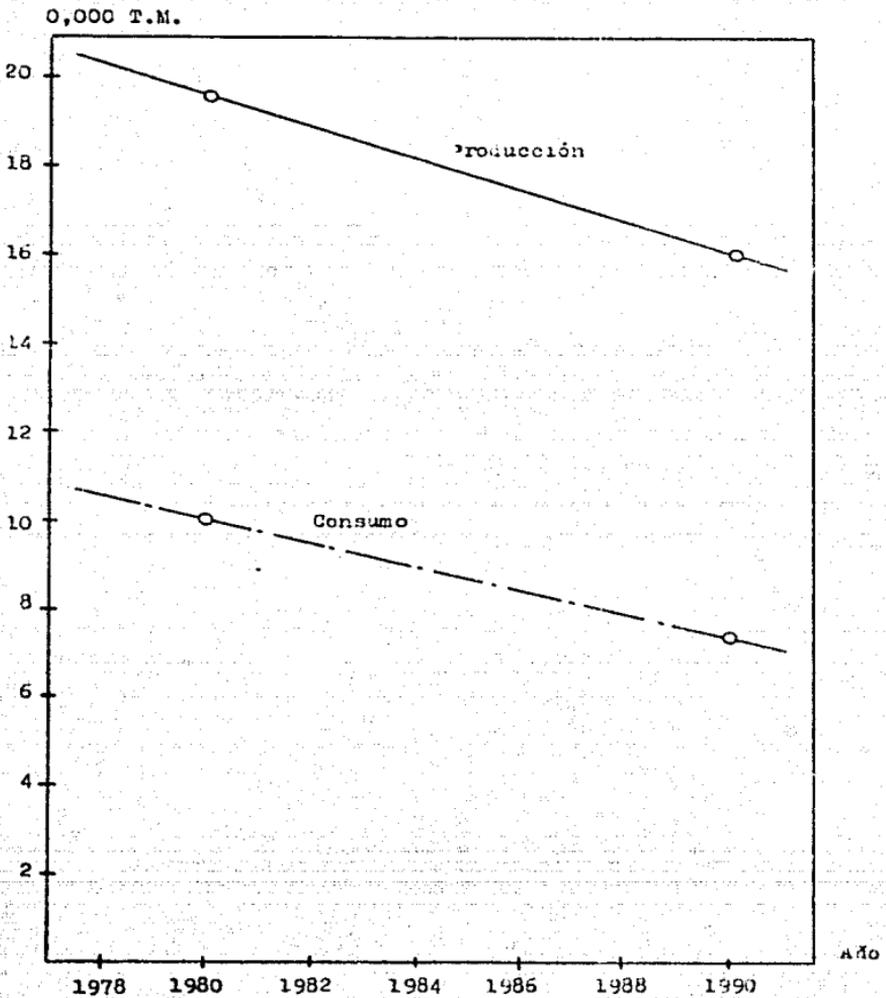
X	Y	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$
1978	107556	-4.5	20.25	13604.8	18509083
1979	110111	-3.5	12.25	16159.8	261139136
1980	96152	-2.5	6.25	2200.8	4843520
1981	95421	-1.5	2.25	1469.8	2160312
1982	95504	-0.5	0.25	1552.8	2411187
1983	83733	0.5	0.25	-8158.2	66556227
1984	86317	1.5	2.25	-7634.2	58277956
1985	90606	2.5	6.25	-345.2	1190363
1986	84052	3.5	12.25	-3899.2	97994160
1987	88000	4.5	20.25	-5915.2	35416781
			82.5		725080228

La correlación va a tener un valor de

$$r = -2564.6 \sqrt{82.5 / 725080228}$$

$$r = 0.86$$

# TENDENCIA DEL CONSUMO Y PRODUCCION DE PLOMO REFINADO EN MEXICO



Se hace necesario recordar que una ecuación de regresión lineal es tanto más representativa del fenómeno estudiado cuando el valor obtenido de la correlación,  $r$ , es igual a  $-1$  ó  $1$ .

Podemos inferir a partir de los resultados obtenidos de correlación que la ecuación de la recta para el consumo nacional con un valor de  $r=0.86$ , indica que sí es representativa ya que es próximo a los valores de correlación requeridos. Entonces recordando la ecuación para el consumo

$$Y = 5178403 - 2564.6X$$

obtenida para la muestra de 10 años, indica que en promedio el consumo va disminuyendo en

$$2564.8/10 = 256.4 \text{ T.M./año}$$

De la linearización de la producción de plomo refinado con un valor de  $r = -0.46$  y  $Y = 7284596 - 3580X$

indica que no se puede pronosticar con gran seguridad que la producción nacional tienda a disminuir durante los próximos años siguientes a 1987, debido a que el valor de la correlación se encuentra muy alejado del valor requerido  $r = -1$ .

Se puede pensar que la no linealidad en los datos de producción debe obedecer a que la misma se encuentra expuesta a otro tipo de factores económicos y sociales que actúan de modo más fuerte en la producción.

Podemos concluir que la tendencia nacional a disminuir el consumo en los próximos años se debe a la tendencia de

reemplazar al plomo por materiales más ligeros como el plásti-  
co y compuestos que no sean tóxicos como el plomo en el  
tetraetilo de plomo empleado en las gasolinas.

#### IV PROPIEDADES DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES

##### IV.a. Generalidades.

El plomo es un elemento que se le encuentra en la corteza terrestre en concentraciones del 0.002% y por medio de las técnicas de refinación se llega a obtener hasta cerca del 3%.

En la superficie se encuentra la cerrusita ( $PbCO_3$ ) y la anglesita ( $PbSO_4$ ) destacándose como mineral más importante la galena o sulfuro de plomo,  $PbS$ . Otros elementos que contiene la materia prima son Sb, As, Sn, Cu, Bi, Zn, Ag,...

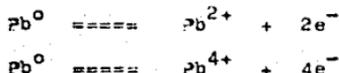
El metal se puede obtener por medio de diferentes técnicas, en particular se puede hacer referencia a un método de extracción en el cual después de moler el mineral se criba y lava, utilizando como alternativa el trabajo con agentes tensoactivos (aceite de nino o compuestos químicos) mediante la agitación violenta con aire, separándose la galena de la superficie del tanque de manera más fácil.

El plomo que se obtiene después del proceso de surificación es de una pureza del 99.9% a 99.99% regulándose la cantidad de aleantes de acuerdo a lo deseado.

##### IV.b. Propiedades físicas y químicas.

##### IV.b.1. Propiedades químicas.

Igual que con otros elementos las propiedades que muestra el plomo son el resultado de la configuración electrónica característica de su última capa. Tiene un número atómico de 82, y en su capa externa dos electrones "s" y dos electrones "p" ionizándose de la siguiente forma:



Al enlazarse el plomo con otro elemento se distingue fácilmente si trabaja con valencia 2 ó 4; generalmente, con ligeras excepciones en compuestos inorgánicos trabaja como divalente y en compuestos organometálicos es tetravalente.

En sales como  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{PbO}$  y  $\text{PbS}$  el plomo es divalente y los sólidos son altamente cristalinos en ambos tipos anhidro e hidratado. Los compuestos organometálicos predominantes son los antidetonantes que no tienen propiedades explosivas lo que se aprovecha en la formulación de gasolinas.

Los compuestos inorgánicos de plomo no son solubles la mayoría en agua, presentando mayor solubilidad las sales de nitrato y acetato de plomo, lo que permite que se empleen en la fabricación de compuestos químicos de plomo. La coloración varía en los compuestos, los óxidos son amarillos o naranja, los dióxidos de plomo son negros o café obscuro. El sulfuro de plomo es negro. Algunas sales de plomo como los oxianiones entre ellos el cromato de plomo son coloreados. Los demás compuestos simples de plomo son blancos o incoloros

La variedad de situaciones químicas y termodinámicas que se presentan en un proceso químico obligan a dar características de comportamiento general de la rapidez de la corrosión.

El fenómeno se puede entender analizando la corrosión que se manifiesta ante un agente común, el atmosférico. El comportamiento observado es la formación rápida de una película sobre la superficie del plomo producto de la corrosión al estar sometido a la acción del medio circundante. Esta película es de carbonato de plomo, en el caso de estar en contacto con la atmósfera, y la formación se da de la siguiente manera por medio de equilibrios electroquímicos.

Oxidación del plomo y reducción del oxígeno en aire húmedo



La formación del PbO al interactuar con el dióxido de carbono del aire lo absorbe y se forma el carbonato de plomo



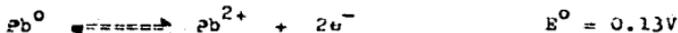
Inicialmente la superficie es de un color gris plateado y a medida que crece la película de  $\text{PbCO}_3$  a razón de 10 a 15  $\text{mg}/\text{m}^2$  en los primeros siete días, permanece adquiriendo un color rosado, no rebasando el peso inicial de esta película en los seis meses siguientes, este pseudoequilibrio conocido como pasivación se debe a la estabilidad del carbonato de plomo que al estar en la superficie impide la corrosión posterior de la capa metálica inferior.

Es de observarse que un factor que impide el avance de

corrosión es la estabilidad del compuesto de plomo (formado en la superficie) ante agentes externos: químicos y mecánicos.

Estos dos agentes se manifiestan de la siguiente manera. En el aspecto químico, si la película formada es muy soluble no se podrá mantener suficiente tiempo para impedir la corrosión. Por la parte mecánica si el precipitado formado no es soluble pero se encuentra sujeto a altas razones de flujo se va a impedir que se forme la película protectora.

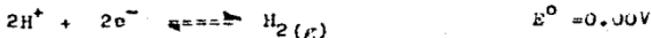
Se puede analizar el comportamiento electroquímico del plomo en la corrosión observándose que el fenómeno es análogo a la corrosión del hierro. Teniendo la superficie una distribución homogénea químicamente en aleantes se distinguen dos "zonas" en la misma, la menos aerada es el ánodo donde se tiene el equilibrio de semicelda



y la otra zona es el cátodo en solución neutra



cuando se tiene una solución ácida el equilibrio en el cátodo es



quedando definidas estas zonas en el metal por la situación física dada por la diferencia en aeración de cada una, siendo la reacción espontánea por los potenciales positivos de los semiequilibrios.

En el caso de encontrarse en solución, la parte de metal dentro de la misma es el ánodo y la otra parte externa funciona como cátodo. La reacción de la celda aumenta la alcalinidad de la solución, siendo mayor la corrosión cuando la parte aereada tiene buena cantidad de oxígeno disolviéndose el metal en el ánodo y cesando hasta el momento en que se forme la película protectora, como se observa en las tuberías de plomo que conducen agua donde resulta importante la dureza del agua manejada para la formación de la película protectora.

La reacción electroquímica es conocida con dos nombres dependiendo de las condiciones físicas en que se dé la reacción. Cuando no hay suficiente oxígeno en contacto con el metal se ve limitada la reducción y el equilibrio se conoce como "bajo control catódico". En tanto cuando la sal de plomo sobre la superficie del ánodo es muy estable y no se disuelve se dice que la reacción se encuentra "bajo control anódico", también depende de las características físicas de los productos del ánodo.

Otro de los factores que influyen en la localización de las zonas anódica y catódica es la pureza del metal en la cual se pueden intercambiar las zonas anódica y catódica. Cuando la distribución de los aleantes no es homogénea o el metal es impuro se tienen bien definidas las zonas anódica y catódica ocasionando picaduras en la superficie, como en el caso del cobre que tiene un potencial de  $E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu^0} = 0.34$  volts, que se convierte en un sitio catódico y el derredor en anódico en solución ácida. En este caso

el plomo con un potencial de oxidación de  $E^{\circ}_{\text{Pb}^0/\text{Pb}^{2+}} = 0.13$  volts se reduce espontáneamente alrededor de las inclusiones de cobre ocasionando las perforaciones o picaduras, suponiendo ausencia de oxígeno ya que de estar presente se reduce antes que el cobre por tener un potencial de reducción mayor ( $E^{\circ} = 0.40$  volt). En la celda galvánica del plomo anódico y el cobre catódico el metal (plomo) conduce la corriente en su superficie.

En presencia de metales como aluminio  $E^{\circ}_{\text{Al}^0/\text{Al}^{3+}} = 1.66$ , zinc  $E^{\circ}_{\text{Zn}^0/\text{Zn}^{2+}} = 0.76$ , cadmio  $E^{\circ}_{\text{Cd}^0/\text{Cd}^{2+}} = 0.4$

con potenciales de oxidación mayores al plomo, se corroen preferentemente quedando el plomo como cátodo.

Con titanio y acero inoxidable el plomo actúa como ánodo y sufre ataque con pasivación del metal.

Es de hacer notar que inclusiones de metal en el plomo determinan su función anódica y catódica dependiendo de la diferencia de potencial entre ellos, observándose zonas de polarización características.

Las picaduras además de formarse por pasivación parcial se forman cuando hay cavitación en el manejo de fluidos.

En la corrosión cuando se tienen precipitados fácilmente degradables, en los límites entre granos se da una "corrosión intercrystalina" debido a que al verse estos precipitados quedan lugares vacíos los cuales son atacados fácilmente. Este fenómeno se ha observado por lo general en aleaciones de Pb-Mg y Pb-Ca-Li y en aleaciones de plomo co-

## REACTIVIDAD QUÍMICA DEL PLOMO

Reactivo	Condición	Producto
Aire	Frío 300°C	Recubrimiento de óxido o carbonato PbO
Agua	Libre de oxígeno Oxigenada 1000°C, H <sub>2</sub> O vapor	No reacciona Pb(OH) <sub>2</sub> PbO
Acido clorhídrico	Cualquier concentración, frío o caliente.	Formación lenta de PbCl <sub>2</sub>
Fluoruro de hidrógeno, bromuro de hidrógeno, o yoduro de hidrógeno.	Caliente	No reacciona, o formación muy pequeña de PbX <sub>2</sub>
Acido sulfúrico	Concentrado, concentrado en frío, arriba de 200°C	PbSO <sub>4</sub>
Acido nítrico	Cualquier concentración	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Arsénico.	Caliente	No reacciona
Cloro	Caliente	PbCl <sub>2</sub>
Fluor	25°C	PbF <sub>2</sub>
Vapor de azufre	-----	PbS
Selenio o Telurio	Fundido	PbSe o PbTe
Alcali	Fundido	No reacciona

mercial con ciertas soluciones.

La corrosión intercrystalina también se observa cuando se presenta fractura por fatiga ocasionando una significativa pérdida de la resistencia mecánica.

Casos extremos de corrosión se presentan al existir combinación de corrosión y erosión, fatiga y agitación del líquido manejado.

Los parámetros en que se mide la corrosión cuando se presenta de manera uniforme es, pérdida de peso en  $g/m^2$  por día, considerándose aceptable una pérdida de pared de 1 mm/año. Entendiéndose que no es aplicable este parámetro al presentarse picaduras o corrosión intercrystalina.

#### IV.b.2. Propiedades físicas.

Las cualidades del plomo ya citadas como eficiente resistencia a la corrosión no son las únicas, también es de hacer notar su versatilidad en el embleo mecánico cuando ha sido aleado aprovechando sus propiedades características como blandura, maleabilidad, densidad y propiedades eléctricas.

El plomo es una mezcla de isótopos de número de masa 204, 206, 207 y 208; y el peso atómico 207.21 varía entre 0.03 a 0.04 unidades debido a la variación de los diferentes isótopos.

La densidad promedio a 25°C es de 11.3307  $g/cm^3$  lo que se atribuye a la compacta estructura del cristal.

El coeficiente de expansión lineal se determina por

$$\alpha = 28.77 \times 10^{-6} - 20.95 \times 10^{-11}t + 60.30 \times 10^{-12}t^2$$

cuando se tiene una temperatura mayor al punto de fusión

los valores se incrementan un 3.44 a 3.61%. Cuando el plomo está fundido el coeficiente de expansión del volumen es de  $12.9 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , formándose agujeros del tamaño de los átomos lo que ocasiona la expansión, su número puede ser calculado aproximadamente por el incremento de volumen durante la expansión.

El plomo puro es un metal gris azulado muy suave, fácilmente maleable y presenta poca resistencia mecánica, no es elástico y es extremadamente sensible lo que impide que se tengan datos exactos de parámetros para casos particulares, ya que se ha encontrado que es indispensable que se reproduzcan condiciones idénticas de prueba de un laboratorio a otro cuando el material de prueba presenta exactamente la misma composición química. En condiciones de pruebas de resistencia mecánica en condiciones similares se han encontrado variaciones de  $14\text{MN/m}^2$  a  $7\text{MN/m}^2$  y cuando la composición química no es idéntica por ejemplo de 99.99% a 99.999% los resultados mostrados son de  $14\text{MN/m}^2$  a  $9\text{MN/m}^2$ .

Los módulos elásticos del plomo a temperatura ambiente varían entre  $1.493 \text{ Kg/mm}^2$  y  $2.340 \text{ Kg/mm}^2$ . A una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  el módulo de compresión es de  $4.33 \text{ Kg/mm}^2$ ; el módulo de corte o torsional varía de 550 a 724 ó  $780 \text{ Kg/mm}^2$ . Por determinaciones cuidadosas se obtuvo un límite elástico de  $0.09 \text{ Kg/mm}^2$ . La temperatura influye más en el módulo de corte que en el módulo elástico; algunos de los valores para el módulo elástico y temperatura son:

-180°	---	0°C	0°	---	100°C	100°	---	200°C	200°	---	300°C
		1.8			1.9			2.2			2.8 Kg/mm <sup>2</sup>

El plomo es muy sensible a pequeños cambios en otros parámetros, como tamaño del grano, temperatura de prueba y -previo tratamiento metalúrgico de la muestra, lo que obliga a dar datos generales sobre resistencia, dureza y otras propiedades características a menos que se especifiquen condiciones de prueba idénticas.

La estructura del cristal de plomo determina las propiedades del mismo. Dado que las fuerzas de enlace interatómico son débiles presenta un punto de fusión muy bajo en relación a otros metales. Tiene un punto de fusión de 327.3 °C, entre 150 a 2000 atm el punto de fusión se incrementa 0.00803 °C/atm incrementanda, en el intervalo de 8000 a -12000 atm, el punto de fusión se incrementa 6.8 °C/1000 atm de incremento, y de 20 000 a 30 000 atm, hay un incremento de 5.4 °. El punto de ebullición es de 1740 ± 10 °C.

La recristalización del plomo a temperatura ambiente cuando está sometido a una fuerza ocasiona la deformación del mismo ante la acción del agente mecánico. El resultado se produce cuando está expuesto a cargas pequeñas de manera continua llegando a ocasionar fractura del mismo.

La resistencia al corte ha resultado difícil de medir, encontrándose una resistencia máxima al corte para plomo de 99.90% de pureza de 1.72 MN/m<sup>2</sup> (250 psi) y cuando está sometido a una fuerza de compresión la resistencia se incrementa a 2.75 MN/m<sup>2</sup> (400 psi). Está es una de las razones por la cual se llega a prescindir del empleo de plomo puro por

sus bajos valores.

Una aplicación común por la blandura y maleabilidad del plomo la aprovechan los plomeros que no requieren herramientas especiales para su manipulación. Después del trabajo el plomo endurece a temperatura ambiente.

#### IV.b.2.1. Recuperación y recristalización de la estructura interna del cristal.

Los cristales del plomo metálico son cúbicos con cara centrada. Estos tienen la propiedad de deslizarse entre ellos por sus superficies. Hay seis direcciones de deslizamiento. En metales con estructura cúbica o hexagonal la fuerza de corte necesaria está entre 20 a 500  $\text{g/mm}^2$ . En el plomo a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  la fuerza de corte es de 50 y 71  $\text{g/mm}^2$ . El fenómeno se debe a una deslocalización entre las superficies del cristal, quedando los átomos superior e inferior que antes eran vecinos desplazados entre ellos. Este deslizamiento entre las superficies es conocido como vector Burger.

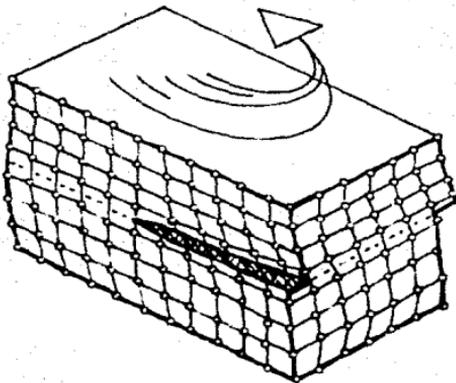
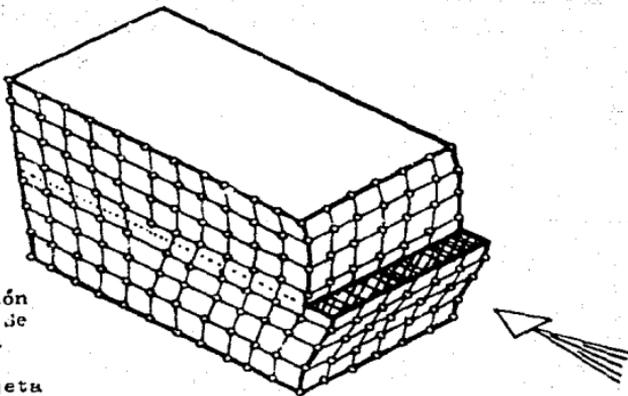
Se observan dos tipos de deslocalización: cuando el vector Burger es perpendicular a la línea de deslizamiento el desacomodo aparece como si se hubiera aplicado un corte o una hendidura; cuando el vector Burger es paralelo a la línea de deslizamiento, hay una deslocalización por atornillamiento, desplazándose las superficies en el mismo plano pero quedando unidas con los átomos adyacentes. La deslocalización por corte se observa cuando la superficie se encuentra expuesta a una fuerza cortante que desplaza a las superficies del cristal, entre ellas queda en la parte media una línea de cristales comprimidos fuertemente por los cristales laterales en tanto la parte inferior queda sujeta a una fuerte fuerza de tensión.

En un cristal de un metal se pueden dar una variedad de deslocalizaciones en su estructura, presentando de  $10^4$  a  $10^8$  deslocalizaciones/cm<sup>2</sup>.

Impurezas en pequeñas cantidades como 2 p.p.m. disminuyen la resistencia a la tensión produciéndose fácilmente la deslocalización. El reacondo de los cristales después de estar sujetos a una fuerza externa se muestra como una fractura del grano y el metal pierde sus propiedades.

Cuando el metal se encuentra sujeto a fuerzas externas dependiendo de la magnitud de las mismas pueden ocurrir dos fenómenos, una recuperación de propiedades o una recristali

Deslocalización  
por corte. Se  
ve comprimida  
una línea de  
cristales sujeta  
a fuerte compresión.



Deslocalización por  
atornillamiento.  
Las superficies se  
han deslazado en  
el mismo plano que-  
dando unidas por  
los átomos adyacen-  
tes.

zación, diferenciándose entre ellos por la capacidad de recuperación de las propiedades mecánicas originales. Cuando la deformación es pequeña y se dan de manera uniforme - las dislocalizaciones positivas y negativas en igual número, se equilibran y anulan mutuamente sin perderse las propiedades mecánicas. Hay un aumento de energía térmica cuando las dislocalizaciones se acumulan por obstaculizarse dejando su plano original hacia otro plano de menor energía y - más estable energéticamente.

La recristalización se distingue de la recuperación en que es un fenómeno que ocurre cuando se mueven los granos - en grandes ángulos formándose nuevos enlaces. Los pasos observados son:

- 1.- Formación y crecimiento de núcleos en la recristalización primaria. El crecimiento termina cuando se absorbe por completo la deformación.
- 2.- Crecimiento del grano después de la recristalización primaria, con el aumento de la temperatura. Los granos crecen de diferente forma siendo más acentuado en algunos de ellos.
- 3.- El efecto final es la deformación o no deformación del material.

Ha resultado difícil entender el comportamiento exacto durante la formación de nuevos núcleos.

#### IV.c. Ejemplos de especificación y aplicación del plomo y sus aleaciones.

En México al igual que en otros países el plomo se clasifica en términos generales como primario al que se ori-

#### IV.C.1. Aleaciones.

Cuando el plomo se encuentra aleado con otros elementos después de ser fundido tiende a aumentar su dureza a medida que pasa el tiempo, fenómeno conocido como envejecimiento, siendo afectado de diferente forma por cada uno de los aleantes.

El efecto de cada aleante es difícil de medir y predecir pero se ha observado que la variación en las propiedades mecánicas es proporcional a la diferencia entre radios atómicos del plomo y el aleante cuando se trata únicamente de un aleante. En el caso de emplearse dos o tres aleantes resulta difícil predecir el resultado esperado pero se pueden dar tópicos generales en base a la experiencia del trabajo con estos elementos.

En particular los aleantes Ca, Sb, Ag, Sn y Cu contenidos uno o más en una aleación mejoran la resistencia a la corrosión.

A continuación se observará el comportamiento general

del plomo aleado cuando se emplean uno o varios de los aleantes ya mencionados.

#### IV.c.1.1. Antimonio.

La aleación es conocida como plomo antimonial y contiene de 1 a 13% de antimonio cuando el plomo es puro. Esta aleación presenta mejores propiedades mecánicas que el plomo puro y mayor resistencia a la corrosión. Además se vuelve más duro y cuando es enrollado sus características de dureza, resistencia a la tensión y al arrastre se vuelven más pronunciadas. En toda la gama de composiciones en antimonio hay una variación de las propiedades de la aleación, por ejemplo se usa una aleación con no más de 13% de antimonio para fundiciones que requieren gran dureza sin exceder este límite ya que tiende a volverse más quebradizo - el metal y disminuye la resistencia a la corrosión. Aleaciones con 0.80-1.15% Sb se emplean en el recubrimiento de cables, en tanto aleaciones con 6-8% Sb son útiles para tuberías y ánodos de celdas electrolíticas de recubrimiento anódico. Su empleo en acumuladores tiene una composición de 3-8% Sb.

#### IV.c.1.2. Calcio.

La utilización de este elemento va acompañada de estaño. El intervalo es más estrecho, 0.03-0.1% Ca y en algunos casos 1.5% Sn. Tres factores son de notar en esta aleación: resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y tiempo de envejecimiento o curado; siendo más sobresalientes y más redituables que en el plomo antimonial. En el proceso con esta aleación es de extremo cuidado la adecuada

fundición ya que fácilmente se pierde el calcio por oxidación con el aire. Aleaciones de este tipo requieren trabajar a temperaturas mayores a las empleadas con el plomo antimonial, enfriándose y endureciendo rápidamente las piezas fundidas, ventaja que se puede aprovechar para moldear piezas de gran sección transversal. Si después de la fundición se obtiene un grano fino se evita la recristalización a la temperatura ambiente.

En el moldeo con plomo fundido se hace necesario obtener un grano fino para que el metal sea homogéneo en su composición, los defectos como porosidades e inclusiones ocasionan que la corrosión no sea uniforme y la película protectora no esté bien distribuida presentando picaduras posteriormente.

En particular el estaño en la aleación plomo-calcio le da mayor resistencia a la tensión pero se hace necesario emplear mayor tiempo de curado después de la fundición.

Su aplicación es en rejillas de acumuladores, recubrimientos de cables, ánodos, equipo para manejo de químicos y otras aplicaciones como barreras de protección contra la radiación.

#### IV.c.1.3. Estaño.

La aleación con estaño permite un amplio intervalo de composiciones. De manera análoga al calcio, presenta mejores propiedades mecánicas y químicas que la aleación de plomo antimonial. Se ha observado que a medida que el contenido de estaño aumenta, la densidad y el punto de fusión disminuyen lo cual se aprovecha para el empleo de soldadura

ras de bajo punto de fusión ya que la soldadura obtenida es de gran resistencia.

Combinado con antimonio la aleación Pb-Sn-Sb le da mayor dureza a los recubrimientos y en algunos casos llegan a ser más resistentes a la corrosión. Esta aleación ternaria tiene un bajo coeficiente de fricción lo cual se aprovecha para usarse en rociadores de vapor de reactores.

Algunas de sus aplicaciones son en ánodos (7% Sn), en electrodeposición de cromo o en recubrimientos sobre cobre y acero,...

#### IV.c.1.4. Telurio.

Este aleante requiere la presencia de cobre de lo contrario es poco resistente a la corrosión en algunas soluciones como ácido sulfúrico. Por lo anterior se le ha aleado con plomo químico en concentraciones como 0.04-0.05%Te y 0.04-0.08%Cu, concentración óptima y en ausencia de cobre el contenido de telurio es de 0.1% máximo. El grano obtenido (cuando se tiene cobre) está refinado y se puede trabajar en duro sin fracturarse al manipularlo siendo útil para los serpentines de vapor.

#### IV.c.1.5. Plata.

Es de hacerse notar su resistencia a la corrosión al alearlo con plomo químico (0.002-0.2%Ag); variando la composición dependiendo de la aplicación específica. En ánodos con variaciones de corriente, en aplicaciones de refinación electrolítica de zinc y magnesio o en ánodos para protección catódica de fondos de barcos se emplea una composición del 1% de Ag. En recubrimientos metalúrgicos sobre acero

una aleación con 0.1% de plata es adecuada.

#### IV.c.1.b. Arsénico.

Su utilización requiere la presencia de otros aleantes como Sn, Bi, Sb, y Te, para obtener una aleación con buenas propiedades mecánicas y químicas. Un ejemplo de lo anterior es la aleación que contiene 0.15% As, 0.1% Sn y 0.1% Bi que es un metal muy útil por su fácil manejo para dobleces y resistente al arrastre, características necesarias en los recubrimientos de cables que se encuentran expuestos a vibraciones. Aleado con plomo antimonial endurece más rápido la aleación.

#### IV.c.1.7. Cobre y otros.

El cobre se ha utilizado como soporte de aleaciones principalmente.

Metales como:	Cd	Co	Au
	Li	Mg	Ni
	Pb	Pt	Na
	Tl	Zn	

se han probado para observar su resistencia a la corrosión.

#### IV.c.2. Aplicaciones particulares.

Casos particulares de aplicación del plomo se analizarán seleccionándose en base a la mayor demanda que se presenta de plomo en México.

##### IV.c.2.1. Acumuladores plomo-ácido.

Es de todos los productos el principal consumidor de plomo en sus dos estados: como metal y como compuesto químico.

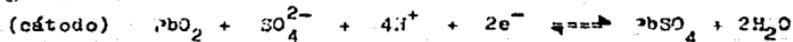
El acumulador es una fuente constante de energía química. En la ignición de un automóvil el acumulador suministra la energía eléctrica necesaria y durante la marcha el generador le suministra la corriente para recargar nuevamente el acumulador. La forma en que se recarga el acumulador junto con: técnica de construcción, mantenimiento y operación interna del acumulador, son factores que determinan la vida del acumulador o número de veces que un acumulador puede ser cargado o descargado durante un día de trabajo. Los ciclos de carga y descarga del acumulador disminuyen la densidad del ácido sulfúrico en un intervalo de 1.275 a 1.130 g/cm<sup>3</sup>, encontrándose que cuando la densidad se mantiene abajo de 1.130 g/cm<sup>3</sup> el tiempo de servicio del acumulador se ve acortado. Las características del electrolito, (mezcla de ácido sulfúrico y agua), que se deben observar son gravedad específica, cantidad, pureza, etc.. En base a la experiencia se ha encontrado que un intervalo de densidad de 1.265-1.285 g/cm<sup>3</sup> permite un funcionamiento adecuado del acumulador y cuando un acumulador nuevo maneja valores mayores se obtiene un ligero aumento en la capacidad, amper

/hora, con el riesgo de disminuir el tiempo de servicio de la batería. Como el ácido sulfúrico está envuelto en la reacción electroquímica muestra una disminución de su densidad durante el funcionamiento del acumulador pasando por ejemplo de  $1.275 \text{ g/cm}^3$  y  $2.10 \text{ volt}$  a  $1.130 \text{ g/cm}^3$  y  $1.75 \text{ volt}$ , para una celda de la batería.

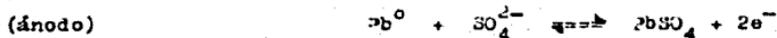
Una batería está compuesta por un conjunto de celdas cada una con un voltaje promedio de  $2 \text{ volt}$ , así las baterías usuales con seis celdas dan un voltaje de  $12 \text{ volt}$ .

La estructura interna del acumulador consiste de rejillas de plomo antimonial sobre las cuales se encuentra una pasta de dióxido de plomo, formando placas. Las rejillas también en algunos casos pueden fundirse de una aleación de Pb-Ca. Las placas positivas y negativas tienen diferente peso y están alternadas con un separador de P.V.C. estando el conjunto sumergido en ácido sulfúrico.

Dentro del acumulador las reacciones electroquímicas que se dan son reversibles lo que permite recargar el acumulador. Las reacciones de oxidación y reducción son las siguientes:

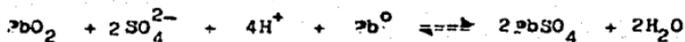


$$E^\circ = 1.685 \text{ volt}$$



$$E^\circ = 0.365 \text{ volt}$$

y la reacción global es la siguiente:



con un potencial de celda de 2.041 volt.

Observando la reacción global se ve que cuando se habla de cargar un acumulador implica el paso de sulfato de plomo a dióxido de plomo y plomo metálico respectivamente en cada placa con un aumento de la concentración del ácido. En la reacción electrolítica podemos ver que la concentración del ácido disminuye durante la descarga por esto es que durante un chequeo en un taller eléctrico se toma lectura de la densidad del ácido dentro del acumulador para saber el estado del mismo.

En el acumulador se distinguen dos partes básicas: partes activas y partes no activas. Las partes activas intervienen en la transformación de energía y las no activas son todos los elementos inertes a los cambios químicos durante la operación normal del acumulador, estas partes son la caja del acumulador, tapas, separadores, tacones y las rejillas.

Las partes activas son: dióxido de plomo, plomo esponjoso (nombre con que se le conoce a la pasta formada en la placa negativa) y ácido sulfúrico.

#### IV.c.2.1.1. Producción de acumuladores.

Durante la producción del acumulador los problemas mayores se presentan al moldear las rejillas y en la preparación de la pasta de óxido que serán de buena calidad cuanto mayor sea el dominio de cada área por parte de los operadores. Otras áreas de la producción de acumuladores envuelven problemas técnicos relacionados con la versatilidad de las máquinas para el ensamble de la batería.

#### IV.c.2.1.2. Detalles de preparación de rejillas y pasta.

La pasta se prepara mezclando óxido de plomo con agua y ácido sulfúrico y un compuesto llamado Dynel que sirve para darle consistencia y adherencia de la pasta a la rejilla. Cuando se empastan rejillas negativas se agrega además expander (como negro de humo) y aceite. El expander activa las placas a temperaturas bajas y a razones altas de descarga de la celda. La preparación de pasta requiere de extremo cuidado ya que adquiere importancia el tamaño del grano, cuando el tamaño de la partícula de óxido es fino el tiempo de servicio del acumulador es corto pero con una alta capacidad. La pasta se aplica a las rejillas positivas o negativas aún sin presentar la composición química final de  $PbO_2$  y  $PbO$ . Después del empastado las placas positivas adquieren un color anaranjado y las negativas un color verde oscuro solo si la pasta fue bien preparada. Las placas empastadas se acomodan en tarimas y se cubren con un costal húmedo para evitar la pérdida de humedad y se guardan en cuartos que tienen un canal con agua en el fondo durante 24 hr, al cabo de este tiempo se ha formado dióxido de plomo en placas positivas y en las rejillas negativas se completa la formación de plomo esponjoso. Recordando la reacción química que se lleva a cabo en el acumulador se observa que es necesario tener la mayor cantidad de dióxido de plomo y plomo esponjoso (metálico) para lo cual las placas se someten a un proceso de "formación" en el cual es indispensable que las placas estén secas (1% de humedad) para que al su-

mergirse en la solución de ácido sulfúrico no se altere la densidad del mismo requiriéndose mayor tiempo para la "formación con un alto costo económico. Las placas sumergidas en ácido estan alternadas y conectadas a una fuente de corriente que en las placas positivas oxida el  $PbO$  a  $PbO_2$  y en las negativas el  $PbO$  a  $Pb$  metálico, con lo cual se tienen placas con alto contenido de elemento activo en las placas positivas y negativas.

La parte inactiva ante la reacción química que nos interesa es la rejilla. La rejilla es una aleación de plomo. En principio se empleaba plomo puro el cual producía rejillas poco resistentes ante agentes mecánicos y químicos, para lo cual se costó por agregar otros elementos que le dieran dureza y facilidad de moldeo. Los aleantes son principalmente  $Sb$ ,  $As$  y  $Sn$  los más comunmente emoleados. El antimonio es un elemento cuya composición manejada varía de 3 a 6%, le da a la aleación mayor dureza conforme aumenta su concentración y disminuye el punto de fusión de la aleación; otras ventajas son: mejor fluidez dentro de los hilos del molde, vaciados definidos por tener una contracción despreciable, además esta aleación tiene mayor resistencia a la corrosión que el plomo puro. La resistencia mecánica que le da el antimonio es útil para el manejo de las rejillas durante el empastado y dentro del acumulador resiste las vibraciones a que se encuentra sometido por movimiento del automóvil. El riesgo que implica el empleo de antimonio es disminuir la capacidad del acumulador ya que durante la reacción el antimonio contenido en las rejillas positivas

puede quedar libre y tiende a desplazarse a la placa negati  
va formandose pequeñas semiceldas en la superficie de la  
placa causando la descarga del acumulador.

El arsénico también contribuye a un mejor llenado del  
molde deseandose manejar un intervalo de concentraciones de  
0.10% a 0.15% y no mayor de 0.6% ya que se observa que cuando  
de la composición es menor de 0.1% o mayor de 0.6% la rejilla  
tiende a fracturarse en las partes más resacas como mar  
cos inmediatamente después del moldeo. En ocasiones la  
fractura se llega a manifestar después de 24 hr de la fundi  
ción. Este aleante contribuye a la protección de la rejilla  
contra la corrosión anódica durante la operación y le  
da mayor resistencia mecánica.

El estaño en concentraciones de 0.25% a 0.5% le da ma  
yor fluidez al plomo a travez de los hilos del molde, siendo  
necesario que se encuentre en mayor concentración respec  
to al arsénico para evitar el problema de llenado de los hi  
los en el molde.

Durante la fundición el uso de concentraciones de esta  
ño y arsénico en los intervalos especificados han mostrado  
mayor facilidad de producción de rejillas de buen  
calidad.

El plomo que se suministra por los proveedores contiene  
impurezas las cuales ya existen en el mineral refinado.  
Las impurezas son plata, hierro, cobre, cobalto, níquel, bi  
smuto, cinc, cadmio, manganeso y azufre. Ha resultado difí  
cil cuantificar como afecta al moldeo de las rejillas cada  
uno de estos elementos pero se ha visto que es despreciable  
en comparación a las composiciones manejadas de estaño, ar

sénico y antimonio.

La fundición de plomo antimonial para moldeos de rejillas requiere que los operadores tengan amplia experiencia en este tipo de trabajo ya que esta aleación requiere condiciones de trabajo distintas para cada tipo de molde porque se ha encontrado que no se puede aplicar la misma solución cuando se presenta un mismo problema a dos moldes distintos.

Factores como temperatura de molde, temperatura de fundición, tiempo de enfriamiento o rapidez de moldeo son algunos de los puntos a manejar para lograr una buena rejilla la cual debe tener las siguientes características: no presentar fracturas, no tener hilos incompletos, no tener inclusiones de escoria, no presentar poros, una estructura granular ímpropia y peso dentro de límite de especificación requerido por el fabricante.

A medida que se rebasan los  $500^{\circ}\text{C}$  se pierden el estaño y a temperaturas mayores se pierden el arsénico y finalmente el antimonio.

Estos aleantes se pierden por formarse fácilmente con altas temperaturas, óxidos con el aire que está en contacto con la superficie del plomo fundido en el crisol. Al exponer constantemente superficie nueva de plomo fundido aumenta la formación de escoria la cual llega a ocasionar el taponamiento de la tubería que conduce plomo fundido a la cuchara de vaciado al molde. Este es un problema muy grande en el caso de aleaciones plomo-calcio, las cuales pierden fácilmente el calcio por oxidarse con el aire.

La escoria es fácilmente formada si se manejan temperaturas excesivas, se da agitación al plomo fundido o hay un retorno grande de desperdicio de plomo a los crisoles. El desperdicio son los remanentes que sobran al cortar los paneles de rejillas. El problema se puede atenuar si se encierra la superficie del crisol en una atmósfera de gas natural, nitrógeno u otro gas para evitar la oxidación.

En aleaciones con calcio este presenta la ventaja de no producir depositos sobre la placa negativa como el antimonio, y cuando se moldea, los paneles a la salida del molde endurecen rápidamente contrastando con las rejillas de plomo antimoniales las cuales requieren por lo menos 48 hr para disminuir su flexibilidad y maleabilidad.

Aleaciones de plomo-telurio se emplean para rejillas positivas en algunas ocasiones, el telurio refina el tamaño del grano con lo cual se hace más dura, fuerte y resistente a la corrosión.

El objetivo de tener granos finos en el plomo es para evitar que sea susceptible de corroerse por ser muy maleable el plomo ya que al darse la deslocalización de planos y no recobrar su estructura original quedan espacios susceptibles de corroerse.

#### IV.c.2.1.3. Recuperación de plomo de acumuladores.

Cuando el acumulador esta agotado el sulfato de plomo y el plomo metálico pueden ser procesados para recuperar el plomo. En términos generales el proceso es el siguiente. Se funden las placas en un crisol obteniendose el plomo fundido en el fondo el cual se lingotea y la escoria en

la parte superior formada principalmente por óxido de plomo impuro el cual recibe un tratamiento posterior para obtener óxido de plomo puro. Los lingotes de plomo recuperados se pueden fundir nuevamente y agregar los aleantes perdidos (Sn, Sb y As) para obtener lingotes con la composición necesaria para moldear rejillas. Estas características lo han hecho interesante en esta industria por la ventaja económica que presenta su reproceso.

#### IV.c.2.2. Oxidos.

Los principales son el  $PbO$  y el  $PbO_2$  con una gran diversidad de intermediarios. El  $PbO$  es de un amarillo rojizo intenso, tiene un tamaño de partícula con un radio que varía de 0.25 a 0.50 micras y en casos extremos tiene un radio promedio de 1.5 a 8.0 micras. El  $PbO$  o litargio es el compuesto inorgánico de plomo más ampliamente usado como sucede en el caso de los acumuladores, cerámica, pinturas y productos de caucho, vidrio, esmaltes vitreos, refinación del petróleo, plásticos, insecticidas, pigmentos, lubricantes de alta temperatura, síntesis orgánica,...

El óxido negro (gris) es una mezcla de 60% a 80% de  $PbO$  y plomo metálico pulverizado que se utiliza en baterías.

En el caso del  $PbO_2$  es un dióxido que se descompone fácilmente a óxidos inferiores y oxígeno. Su aplicación es limitada como agente oxidante en la industria química, en tintas, mechas y pirotécnica; se le utiliza además para eliminar altas descargas eléctricas.

Otro óxido como el  $Pb_3O_4$  o minium (plomo rojo) es un importante pigmento que se aplica como tratamiento inicial pa

ra el hierro y el acero contra la corrosión. Se cree que el plomo rojo con el aceite de linasa dan el efecto no corrosivo ante el agua.

#### IV.c2.3. Otros compuestos químicos.

Carbonato de plomo,  $PbCO_3$  (plomo blanco) pigmento de la pintura del cual se esta prescindiendo dado que tiende a oscurecerse y mancharse debido a que el ácido sulfhídrico contenido en el aire hace reaccionar el azufre con el plomo produciendo sulfuro de plomo que ennegrece la superficie pintada.

Plumbato de calcio. Es útil por sus cualidades que lo hacen adecuado para galvanizar el acero. Su comportamiento es similar al plomo rojo, pero tiene la ventaja de recubrir la superficie de acero con una delgada película de carbonato de calcio que incrementa la capacidad protectora de el pigmento. Dada su amplia durabilidad se le emplea como pigmento para pinturas que se aplican sobre madera que se encuentra sujeta a exposición externa y humedad atmosférica.

Cromato de plomo, pigmento amarillo fuerte, ingrediente de pinturas verdes, colorante en plásticos, para señales de tránsito y para marcar carreteras. Ultimamente se ha investigado la aplicación de compuestos orgánicos de plomo para uso comercial como los anti-incrustantes útiles para pintar los cascos de los barcos.

Los óxidos de plomo se han mezclado con otros metales siendo algunos de importancia comercial como la ferrita, útil como material ferromagnético.

#### IV.c.2.4. Tetraetilo de plomo.

Es un catalizador que se usa para evitar la reacción prematura de la gasolina con el aire por calentamiento, tendencia que aumenta si se eleva la relación de compresión, siendo esto inoportuno ya que se desea que los motores tengan una alta relación de compresión para ser más eficientes.

Su función es evitar la concentración de radicales libres que se producen cuando la gasolina contiene alcanos de cadena lineal. El fenómeno conocido como detonación, es debido a la combustión no uniforme del combustible (con alcanos lineales), disminuye cuando se utilizan alcanos de cadena ramificada los cuales producen radicales más estables. La gasolina obtenida de la destilación, mezcla de hidrocarburos saturados y aromáticos presenta un octanaje de 90, y la utilización de tetraetilo de plomo es para elevar el nivel de octanaje por lo menos a 95. El tetraetilo de plomo se adiciona a la gasolina en pequeñas cantidades pudiendose aumentar la concentración de hidrocarburos lineales los cuales son más inestables, el efecto que se obtiene es una alta relación de compresión por la combustión adecuada sin presentarse las detonaciones.

El tetraetilo de plomo da un color rojo a las gasolinas, además es necesario agregar dibromuro de etileno ( $C_2H_4Br_2$ ) para evitar que se deposite plomo metálico en los motores.

Dado el incremento de contaminación por los gases de combustible automotriz se han impuesto normas sobre el uso

de este aditivo. Se han estudiado convertidores catalíticos para disminuir el uso de aditivos de plomo como medida para disminuir las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de nitrógeno.

#### IV.c.3.5. Cables.

El cable es recubierto externamente por extrucción utilizando plomo puro o en baja aleación. La película formada alrededor del conductor evita la entrada de humedad. La flexibilidad de la película de plomo facilita el enrollamiento e instalación del cable. Se pueden producir por este medio cantidades ilimitadas.

El plomo empleado como recubrimiento es de alta pureza como mínimo 99.995% y se requiere que éste libre de oxígeno, el cual es una impureza para este proceso, siendo el nivel máximo permitido de 1.5 p.p.m. de oxígeno, otro tipo de impurezas presentes en los lingotes pueden ser en la superficie o inclusiones de óxido.

Es de importancia el mantener la mínima concentración de oxígeno en el plomo el cual se puede presentar como moléculas disueltas de gas y como óxidos de plomo u otros metales presentes en el lingote de plomo, resultando difícil eliminar el oxígeno disuelto en la extrucción.

El emplear plomo con alto contenido de oxígeno causa problemas posteriores en la formación del recubrimiento dado que se concentran a lo largo de zonas las cuales son susceptibles de sufrir daño o atenuación en su resistencia al arrastre y fatiga, alterando sus propiedades mecánicas.

Los aleantes que se han empleado son: cobre, antimonio,

arsénico, estaño y telurio, en proporción diferente para mejorar el proceso de extrucción o las características mecánicas como resistencia a la fatiga y al arrastre, además de dar estabilidad estructural a temperaturas altas.

Se ha encontrado que una aleación conteniendo Pb-Ca-Sn permite la fácil extrucción en un intervalo de solidificación similar al plomo puro, en esta aleación se ha cambiado el antimonio por calcio para modificar la estructura del grano. Se ha visto disminuida la utilización de aleaciones de calcio debido a su facilidad para formar escorias pudiéndose controlar por la adición de estaño o modificando el proceso metalúrgico, presentando problemas de corrosión similares al empleo de otras aleaciones.

Los tipos de cable que se pueden recubrir son de tres tipos, dependiendo de su uso, se han encontrado alternativas al empleo del plomo en cada uno de ellos: bajo voltaje cercano a 3.3 KV, voltaje medio 6.0 KV a 20 KV, alto voltaje superior a 20 KV.

Alternativas al uso de plomo como recubrimiento de cables son los polímeros, los cuales son ligeros y fáciles de manejar. Cuando se encuentra sujeto a condiciones de atmósferas corrosivas con presencia de vapores de hidrocarburos como en los complejos petroquímicos, la alternativa al empleo de plomo es el aluminio. Los recubrimientos no presentan una modificación en el voltaje.

Para voltaje medio se emplea esther polimérico, en algunos países y para voltajes altos se da un baño de aceite y un recubrimiento de plomo.

## V NORMAS INDUSTRIALES DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES

### v.a. Generalidades.

El plomo como materia prima para la elaboración de diversos productos se presenta comercialmente como lingotes de plomo.

En México las normas que regulan las características de sendas de la materia prima y sus derivados fluctúan alrededor del año de 1960, por lo que estas especificaciones y métodos de prueba pueden resultar un tanto atrasados. Productos como lingotes de plomo, taquetes de plomo, láminas y soldaduras, basan su especificación en un control químico de los aleantes presentes. En el caso de tubería de plomo ya se toma en cuenta además del análisis químico un control sobre presión que pueden soportar las paredes del mismo.

### v.b. Ensayos de control de calidad.

#### v.b.1. Materia prima y derivados.

Los lingotes de plomo refinado son la forma usual en que un proveedor maneja el plomo para industrias que se dedican a la producción de todos los derivados del plomo como: tuberías, bronce, en soldaduras solo o aleado, metal Babbitt, metales para linotipo, revestimiento de alambres usados en telecomunicaciones, empaques, láminas para diversos usos en la obtención de diversos productos químicos, etc. Los consumidores de plomo en acuerdo con el proveedor pueden variar la composición y presentación del lingote de plomo pero sin excluir los requerimientos mínimos de calidad exigidos por la Dirección General de Normas.

## GRADOS COMUNES DE PLOMO

Alta pureza especial	99.99% Pb
Alta pureza	99.94% Pb
Grado químico y grado ácido	99.90% Pb
Exento de plata	99.85% Pb

## FORMAS COMERCIALES DE PLOMO

En lingotes, puro o aleado con otros metales principalmente antimonio y estaño.

Bloques, placas, lámina, tubería, barras, perfiles y alambre.

Piezas moldeadas.

Emparedado con otros materiales como acero y plásticos.

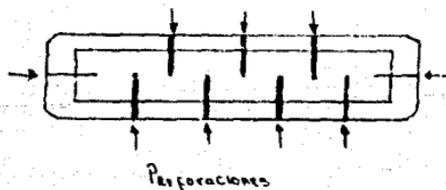
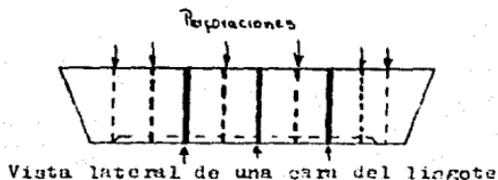
Municiones, polvos, mezclas y fibras.

Compuestos químicos (tetratilo, óxidos, carbonatos, arsenatos, silicatos, etc.).

### y.b.l.l. Lingotes.

Los lingotes de plomo refinado se manejan en dos tamaños de pirámide truncada de 45 Kg a 50 Kg, para el tamaño grande y de 0.5 Kg a 1 Kg para tamaño chico. En vista de que el control de la materia prima y de algunos de sus derivados se hace en base a un análisis químico, se hace necesario un muestreo representativo de un lote y de cada lingote en particular.

La toma de muestra del lingote debe ser bien representativa del total, ya que durante el enfriamiento del lingote se da una segregación y una localización por zonas de los aleantes, razón por la cual se hace necesario un muestreo total para evitar errores en la determinación real de aleantes. La toma de muestra se hace en el lingote en los siguientes puntos.



**ESPECIFICACIONES PARA PLOMO REFINADO EN LINGOTES "GRADO A"**

<b>C A R A C T E R I S T I C A S</b>	<b>Grado "A"</b> <b>Plomo altamente refinado</b>
Plata % máximo	0.0015
Cobre % máximo	0.0015
Cobre y plata % máximo	0.0025
Arsénico % máximo	0.0015
Antimonio y estaño % máximo	0.0095
Zinc % máximo	0.0315
Hierro % máximo	0.0020
Bismuto % máximo	0.0500
Plomo (por dif.) % mínimo	99.9400

Notas. Los porcentajes se refieren a unidades de peso.  
La proporción de plomo cuando se emplee el proceso  
electrolítico, deberá ser 99.9500 % mínimo.

Sabiendo de los problemas que ocasiona la presencia de escoria en los crisoles de fundición se requiere que el lingote de plomo refinado tenga la superficie libre de arena y escoria que por tener menor densidad tienden a subir en el enfriamiento del lingoteo.

#### v.1.2. Metal Babbitt.

El plomo aleado a partir del plomo refinado es conocido como Metal Babbitt y tiene los elementos antimonio, estaño y cobre. El Metal Babbitt está disponible como barras o lingotes y es empleado para emetalado de chumaceras, ejes y piezas de maquinaria que por estar sujetas a un trabajo de fricción constante necesitan de continua lubricación.

#### v.b.1.3. Tubería.

Los tubos de plomo especificados se usan para distribución de agua potable y desagüe de aguas negras o pluviales, cuando se requiere que la tubería esté oculta por su resistencia a la mayoría de los ácidos. Por su resistencia a la corrosión se le puede emplear para instalaciones de desagüe en laboratorios e instalaciones industriales. Estas tuberías deben resistir la acción de los ácidos clorhídrico, sulfúrico o acético y el porcentaje de materia soluble no debe exceder de 0.25% calculada como sulfatos.

Los tubos se clasifican de acuerdo a los siguientes tipos:

Tipo R = Regular

Tipo M = Mediano      Tipo D = Delgado

Tipo E = Especial

Tipo A = Abastecimiento de agua

potable

El plomo empleado para la fabricación de los tubos debe

ESTA COPIA NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

79

**ESPECIFICACION PARA METAL BABBIT EN BARRAS O LINGOTES**

TIPO	GRADO	PLOMO %	ANTIMONIO %	ESTANO %	COBRE % máx.	IMPUREZAS % máx.
	A 1	88	8	2-4	0.5-2	1.0
	A 2	85-88	8-10	3-5		0.5
	A 3	82	14	4		0.5
A	A 4	81	12	7		0.5
	A 5	80	11	9		0.5
	A 6	78	16	6		0.5
	A 7	73	15	12		0.5
	B 1		7	91	2	0.5
	B 2		8	90	2	0.5
	B 3	38	17	42	3	0.5
	B 4	10	10	76	4	0.5

**Nota.** Las ligas de tipo A contendrán como máximo 0.15% a 0.20% de arsénico y las de tipo B de 0.10% a 0.15%.

**Tolerancias.** Se permitirá una tolerancia de 0.5% para cada elemento de acuerdo con el porcentaje en que entra en la aleación.

tener una pureza mínima de 99.80% para tubos de los tipos H, W, D y A. El tipo E debe tener las características dadas en la tabla y la composición química deseada por el comprador siempre y cuando no afecten la salud y seguridad pública.

Los tubos con diámetro menor de 38 mm se encuentra disponible en rollos con un peso de 70 Kg c/u y tubos con diámetro mayor de 38 mm se venden en tramos de 3 metros.

Para hacer la prueba hidrostática se emplea cualquier dispositivo de prueba de presiones hidráulicas para conductos cilíndricos delgados, aplicando presión hidráulica hasta alcanzar la máxima de ruptura del tubo especificada en la tabla; el tubo no debe mostrar deformaciones o fugas.

#### V.b.1.4. Láminas.

Láminas de plomo se emplean en la fabricación de envases para productos químicos, para aparatos protectores de radiaciones, para alambre aislante, para recipientes industriales, etc... Estas láminas emplean lingotes con la calidad del plomo refinado. Las dimensiones en que se maneja la lámina son de una pieza de 1.20 m de ancho y 5 m de largo, y cuando se requieren proporciones mayores puede ser suministrada como placa soldada. Los espesores manejados son tomando en cuenta una lámina de  $1 \text{ m}^2$  de superficie y 1 mm de espesor debe pesar 13 Kg.

La lámina debe estar libre de huecos, burbujas, grietas, materia extraña y toda clase de defectos.

La especificación de las láminas de plomo por la Dirección General de Normas no involucra pruebas mecánicas.

## ESPECIFICACION DE TUBERIA DE PLOMO

Diám. int. nom.	Espesor de pared	Peso aprox.	Presión hidráulica de ruptura	Presión hidráulica de trabajo
mm	mm	Kg/ m lineal	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>A B F O R Z A D O</b>				
101.6	4.0	15.100	9.39	1.13
88.9	"	13.300	10.33	1.29
76.2	"	11.500	11.97	1.40
63.5	4.0	9.700	14.22	1.90
50.8	"	7.800	17.51	2.18
38.1	"	6.000	22.80	2.35
25.4	4.0	4.200	37.55	4.33
19.1	"	3.300	41.25	5.19
15.9	"	2.900	48.24	6.03
12.7	"	2.400	57.48	7.18

**M E D I A N O**

101.6	3.0	11.200	9.17	1.14
88.9	"	9.900	10.44	1.30
76.2	"	8.500	12.12	1.51
63.5	3.0	7.150	14.43	1.30
50.8	"	5.300	17.84	2.23
38.1	"	4.450	23.35	2.91
25.4	3.0	3.050	33.80	4.22
19.1	"	2.400	43.43	5.42
15.9	"	2.100	50.79	6.34
12.7	"	1.700	61.84	7.64
9.5	"	1.350	76.80	9.60

## Continuación: Especificación de tubería de plomo

Diám. int. nom.	Esesor de pared	Peso aprox.	Presión hidráulica de ruptura	Presión hidráulica de trabajo
mm	mm	Kg/m lineal	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
D E L G A D O				
131.6	2.0	7.500	9.26	1.15
119	"	7.300	13.59	1.32
75.2	"	6.200	12.27	1.53
53.5	2.0	4.500	14.65	1.33
50.8	"	4.000	18.18	2.27
33.1	"	2.300	23.94	2.95
25.4	2.0	2.400	35.03	4.37
19.1	"	1.600	45.49	5.68
12.7	"	1.200	65.30	8.15
9.4	"	0.500	114.28	14.23

## P A R A A B A S T E C I E N T O D E A G U A P O T A B L E

33.1	8.9	14.300	49	7
25.4	5.9	6.000	49	7
19.1	4.4	3.700	49	7
15.9	3.7	2.600	49	7
12.7	2.96	1.700	49	7

Las tolerancias manejadas son:

-Diámetro interior nominal,  $\pm 0.2$  mm, para reforzado, mediano delgado y para abastecimiento de agua potable.

-Esesor de pared,  $\pm 0.1$  mm, para los cuatro casos.

## CARACTERISTICAS DE LAMINA DE PLOMO

Peso	Espesor aproximado
Kg/mm <sup>2</sup>	mm
6.500	0.5
13.000	1.0
19.000	1.5
26.000	2.0
32.500	2.5
39.000	3.0
45.500	3.5
52.000	4.0
58.500	4.5
65.500	5.0
71.500	5.5
78.000	6.0

### V, b.1.5. Soldaduras.

Soldaduras suaves a base de plomo son aleaciones de plomo-estaño y plomo-estaño-antimonio, útiles para unir superficies metálicas. Esta aleación es conocida como soldadura metálica suave.

Comunmente se manejan como Pb(50%) y Sn(50%) o soldadura antimonial Pb(58%), Sn(40%) y Sb(2%), útiles para soldadura en general, exceptuando la segunda para materiales galvanizados.

Su mayor uso se debe a la baja temperatura de fusión del plomo, fácil fluidez, y un acabado brillante al solidificar. Las soldaduras están clasificadas de la siguiente forma: siete tipos para la suave y seis tipos para la antimonial.

Se le encuentra disponible como lingotes, barras o varillas, y polvo sin muestras de escoria. Características como peso, tamaño y forma se establecen de común acuerdo con el proveedor, limitándose el control a un análisis químico de aleantes dentro de los rangos especificados.

### V. b.2. Dureza, resistencia a la tracción, impacto y fluencia lenta.

Se ha observado anteriormente que las características cristalinicas únicas de este metal le dan sus propiedades que lo hacen muy diferente a cualquiera de los metales, particularmente del acero. Parámetros constantes para el plomo, como dureza, tensión, impacto y fluencia lenta no se pueden dar porque la medición de estas propiedades envuelve variables que es necesario reproducir para comparar un mismo ma-

## ESPECIFICACIONES PARA SOLDADURAS METÁLICAS SUAVES

Tipo	Estaino%	Plomo%	Antimonio%	Arsénico%
A	60	40		
B	50	50		
C	40	60		
D	33	67		
E	30	70		
F	25	75		
G	20	80		
H	40	58	2	
I	35	63.2	1.8	
J	30	68.4	1.6	
K	25	73.7	1.3	
L	20	79	1	
M	2.5	92	5.1	0.5

Tolerancias para la aleación de soldaduras de plomo-estaino  
 Estaino: % nominal  $\pm 0.5$ , Plomo: % nominal  $\pm 0.5$

Tolerancias para soldadura antimonial

Tipo	Estaino%	Plomo%	Antimonio%		Arsénico%	
			Min.	Max.	Min.	Max.
H	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	1.8	2.4		
I	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	1.6	2.0		
J	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	1.4	1.8		
K	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	1.1	1.5		
L	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	0.8	1.2		
M	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$	5.0	5.25	0.45	0.60

Cantidad máxima de impurezas para cualquier tipo de soldadura.

Bi	0.25%
Cu	0.08%
Fe	0.02%
Al	0.005%
Zn	0.005%

otros elementos  
(total)

terial.

Características tales como tiempo de prueba, temperatura y propiedades internas del metal como tamaño del grano (grande o fino), composición en aleantes e impurezas del metal aleado o puro, obligan a dar unicamente valores que se aproximan a un standar general especificando estas variables.

De lo anterior es de comprenderse porque no se puede recurrir al empleo de gráficas o tablas que permitan su fácil manipulación como sucede en el caso del acero o el cobre.

Dos minutos y treinta segundos son los tiempos de prueba que se pretenden manejar para dar uniformidad en los datos. Estos cortos períodos de tiempo son necesarios ya que al ser el plomo muy maleable al medir la resistencia a la tensión puede causar una deformación sin llegar a un límite elástico definido. Al manejar tiempos de prueba grandes los valores son varias veces menores al valor límite y poco confiables.

Experimentalmente se ha encontrado que la influencia de la temperatura es similar al tiempo de prueba, al trabajar a temperaturas bajas ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) la resistencia a la tensión se incrementa casi al doble que cuando se trabaja a temperatura normal ( $20^{\circ}\text{C}$ )

Temperatura $^{\circ}\text{C}$	31	82	150	195	205
Resistencia a la tensión $\text{Kg}/\text{mm}^2$	1.35	0.80	0.50	0.4	.2
Elongación %	31	24	33	20	20

Así se ha encontrado que valores reportados para la re-

sistencia a la tensión varían de 21% a 73% alrededor de 1.12 Kg/mm<sup>2</sup> y 2.22 Kg/mm<sup>2</sup>. Esta variación se explica porque no se toma en cuenta el tamaño del grano e impurezas, observándose que al ser el grano más fino la resistencia a la tensión aumenta.

El tamaño del grano también hace variar los parámetros de dureza del metal cuando se han manejado: cargas iguales, tamaño de bola de penetración, tiempo de carga, temperatura y pureza del metal; presentando una variación para un tamaño de grano de 0.2 mm con dureza de  $2.74 \pm 0.04$  Kg/mm<sup>2</sup> y para 0.5 mm<sup>2</sup> se tiene una dureza de  $3.57 \pm 0.05$  Kg/mm<sup>2</sup> a 20°C  $\pm 0.05$ °C.

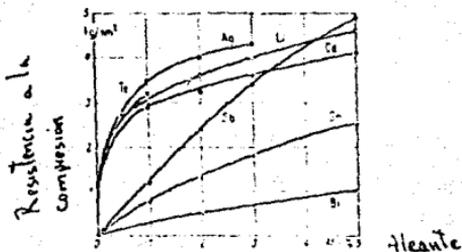
Se puede tomar como referencia de la dureza del plomo refinado una dureza de 2.5 a 3 unidades Brinell con un factor de corrección de 0.5% por cada grado que aumente la temperatura. Cuando el tamaño de grano es grande, la dureza Brinell se determina con un diámetro de bola de 10 mm, pudiéndose seleccionar la carga entre los siguientes valores 15.6, 31.2, 62.5, 125 y 250 Kg, esperándose una variación del diámetro de impresión de 0.2 a 0.7 veces el diámetro de la bola. Los valores de dureza Brinell manejan las cargas siguientes:

Carga de prueba	15.6 Kg	31.2 Kg
Dureza Brinell	0.38 a 4.9 Kg/mm <sup>2</sup>	0.75 a 9.75 Kg/mm <sup>2</sup>
Carga de prueba (Kg)	62.5	125
Dureza Brinell (Kg/mm <sup>2</sup> )	1.5 a 19.5	3 a 39
		5.6 a 78.8

La medición de parámetros de compresión e impacto resulta difícil por la tendencia del plomo a fluir, encontrándose

se que hay riesgo de fractura al probar el material.

Pruebas con diferentes aleaciones empleando cilindros de 16 mm de diámetro y 16 mm de altura a 20°C dieron la gráfica siguiente.



Variación en % de aleante vs resistencia a la compresión en plomo

Observándose que al efecto de la plata y telurio en la aleación es muy marcado aumentando la resistencia a la tensión.

## VI RESISTENCIA A LA CORROSION DEL PLOMO

### VI.a. Mecanismos de corrosión.

Los agentes externos en contacto con el plomo, físicos y químicos, influyen de manera diferente dependiendo de las condiciones en que se encuentre y de las características de la aleación. Estos agentes son: químicos, ambientales, agua, suelos y los materiales con los cuales se acopla el plomo o plomo aleado en estructuras de soporte (plomo emparedado).

#### VI.a.1. Químicos.

En general el comportamiento ante este agente es similar en principio a la acción de los otros agentes por la estabilidad de la película formada. Insolubilidad de la película protectora y dureza de la misma aspectos ya mencionados anteriormente.

El plomo se oxida espontáneamente en contacto con los ácidos concentrados con desprendimiento de hidrógeno, siendo más lenta la corrosión en el caso de ácidos concentrados como el ácido sulfúrico, ácido crómico y ácido fosfórico. En algunos casos como sucede con el ácido clorhídrico, al agregar calor el  $PbCl_2$  formado se disuelve más rápido por su bajo producto de solubilidad,  $nK_s=4$ , y el plomo puede corroerse formándose diversos complejos con cloro; en analogía en ácido bromhídrico al 65% en peso es cinco veces mayor la formación del hidrógeno gaseoso.

El nitrato de plomo es completamente soluble en soluciones de ácido nítrico disminuyendo la solubilidad en solucio

nes al 50%. En tanto a mayor temperatura el  $\text{HNO}_3$  lo oxida más rápido.

La pasivación del plomo cuando se encuentra acoplado a metales como el cobre y en soluciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  se debe a la estabilidad de la película en estas soluciones, comportándose el plomo como un elemento anódico.

El punto de interés es la corrosión que sufre el plomo al comportarse anódicamente en la mayoría de los casos debido a su posición casi central en la escala de potenciales con respecto a otros metales como puede verse en la tabla de potenciales en el apéndice.

Cuando el fluido manejado contiene impurezas estas junto con el movimiento del fluido son variables físicas que ocasionan: la erosión de la película y una exposición más constante de superficie metálica nueva susceptible de corroerse, disminuyendo su resistencia a la fatiga.

Los dos factores físicos se pueden controlar por el uso de técnicas adecuadas de inspección y trabajo, como instalar filtros para separar la materia insoluble; la corrosión por oxígeno se puede disminuir eliminando las zonas resacas susceptibles de reaccionar. Vibraciones del motor o movimiento de equipo contiguo son puntos susceptibles a la fatiga y deben ser eliminados.

#### VI.a.2. Ambientales.

En general la corrosión de la superficie expuesta es uniforme. La resistencia es grande en los tres tipos de ambiente: industrial, rural y marino. En ambiente rural los

principales factores que lo afectan son la humedad, vientos y lluvias. En las cercanías al mar los cloruros del aire marino causan un fuerte efecto sobre la corrosión. En zonas industriales se encuentran gases de óxido de azufre y emisiones de minerales sólidos.

Anteriormente se vió que el equilibrio electroquímico envuelve la presencia de agua por lo cual el plomo no se ve afectado en aire seco, en tanto en aire húmedo se forma una película de óxido la cual se puede conservar indefinidamente si nó es dañada.

Cuando se aplican recubrimientos sobre acero los cuales ya han estado expuestos al ambiente es difícil determinar la diversidad de reacciones que ocurren en la interfase plomo-acero debido a los efectos complejos de porosidad del recubrimiento, obteniéndose datos poco reales de la pérdida de peso.

#### VI.2.3. Agua.

Salas minerales como carbonatos y sulfatos forman la película de sal de plomo evitando el posterior ataque, por esto, la capacidad protectora de la sal de plomo va a depender de su solubilidad y agitación del agua. En casos que no se forme la película protectora es común un lavado de la superficie con una solución acuosa conteniendo sulfatos, carbonatos o silicatos.

La corrosión en agua va a depender de la pre--

sencia de gases como oxígeno, bióxido de carbono e impurezas de sólidos como silicatos, carbonatos, sulfatos, cal, sedimentos, cloruros y microorganismos.

#### VI.a.3.1. Características del agua.

En general se puede tratar el agua como agua natural y agua tratada. El agua tratada es el agua destilada, agua desmineralizada y agua doméstica; el agua natural es el agua de lluvia, agua superficial, agua subterránea y agua de mar. La limitación de cada tipo de agua se hace debido a que la composición en minerales es diferente y por tanto van a afectar la resistencia del plomo de modo distinto.

El agua de lluvia se encuentra saturada con nitrógeno, oxígeno y otros gases y partículas de desechos de combustión. El agua superficial: lleva tierra erosionada, vegetación muerta, microorganismos y materia coloidal; la tierra erosionada lleva  $CO_2$  y a veces ácidos orgánicos. Aguas subterráneas llevan minerales como Ca, Mg, sales de hierro, ... El agua de mar contiene diversas sales y cantidades apreciables de cloruro de sodio.

Agua destilada. Su comportamiento depende de la presencia de oxígeno y bióxido de carbono, estando libre de estos gases no es atacado el plomo. Se puede permitir la presencia de pequeñas cantidades de  $CO_2$  en ausencia de oxígeno causando pequeños efectos sobre el plomo. En agua natural y doméstica la estabilidad depende de la dureza del agua. Agua conteniendo silicatos, sulfatos y carbonatos - los cuales forman una película protectora previenen el ataque. En agua pesada ( $125 \text{ p.p.m. de } CaCO_3$ ) disminuye el a-

taque por formarse la película protectora, y las sales como silicatos, aumentan lo pesado del agua y previenen el ataque corrosivo. Cuando se trata de agua blanda con menos de 125 p.p.m. de  $\text{CaCO}_3$ , el comportamiento es similar a el agua destilada dependiendo del contenido de oxígeno. En aguas con nitratos y ácidos orgánicos se observa mayor corrosión por formarse sales más solubles.

Se pueden usar tuberías y recipientes de plomo cuando se permite un máximo de 10 p.p.m. de plomo.

#### VI.1.4. Suelos.

En los suelos el principal compuesto químico que corroe el plomo es el hidróxido de calcio y el hidróxido de sodio; en ocasiones también lo atacan los ácidos orgánicos producto de la descomposición bacteriana.

Las circunstancias en que se puede corroer son muy diversas formándose verdaderas celdas electrolíticas. Algunas de las condiciones encontradas son: humedad, tipo de suelo, presencia de hifas y medio que rodea al plomo en su superficie.

Se puede tener un acoplamiento galvánico al estar el plomo en contacto con otros metales formando una celda, donde, el metal más anódico o el que tiene un potencial de oxidación más grande es corroído.

La diversidad de suelos en que se puede encontrar en contacto el plomo y la consistencia del suelo van a facilitar o impedir el paso de oxígeno a la superficie metálica,

recordándose que la superficie menos expuesta al oxígeno es anódica y se va a corroer.

Cuando tuberías de plomo se encuentran en contacto o bajo construcciones de concreto que no tuvo un curado completo es común que se corroa fácilmente el plomo. En estos casos se observa un alto contenido de álcalis. Se llega a tener arriba de 1000 p.p.m. de hidróxidos, principalmente  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (pH 10.9 a 12.2), y en proporción menor  $\text{NaOH}$ . Algunos de estos lugares son túneles de concreto, asbestos, ductos de cemento. Tuberías de plomo que se encuentran bajo vías de agua también se ven seriamente corroídas.

Las fuentes de los álcalis pueden ser mortero, cemento o concreto; estos materiales al estar en contacto directo o indirecto con el plomo lo pueden corroer. Las infiltraciones del agua de concreto fresco o de la cual atacan al plomo observándose la formación de una película de óxido de plomo amarilla o roja dependiendo de la humedad circundante.

Ante la corrosión del tipo anterior se puede emplear mortero con yeso o arena conteniendo sulfato, o el empleo de cemento con alto contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . También se puede recurrir al uso de recubrimientos sobre la tubería que se encuentre en contacto directo con el cemento o mortero.

Los recubrimientos pueden ser: asbestos, asfalto, pinturas de alquitrán o un recubrimiento con marga (roca compuesta de carbonato de cal o arcilla). Otros medios pueden ser el empleo de grasa con  $K_2CO_3$  y  $KHCO_3$ .

Causan corrosión también las diversas fuentes que llegan a verter electricidad como pueden ser vías de ferrocarril eléctrico, fuentes de generación de energía eléctrica, plantas de soldadura eléctrica, sistemas de protección catódica, plantas de electrodeposición,...

Otras fuentes que no son agentes inorgánicos, son los microorganismos que al encontrarse en las condiciones adecuadas en cieno o fango sobremente aerado, descomponen la materia orgánica y reducen el sulfato a sulfuro agente que si puede atacar al plomo. Los microorganismos también descomponen los hidrocarburos produciendo ácidos orgánicos que corroen el plomo. Uno de los ácidos orgánicos es el ácido acético.

#### VI.b. Resistencia a los ácidos y bases.

Los datos expuestos a continuación se han obtenido a partir de la literatura y pruebas de laboratorio privados.

Dada la diversidad de fuentes de datos es difícil dar una correlación entre ellos debido a que no se lleva a cabo cifrar el grado o situación de prueba con composición química exacta.

El Pb tiene un alta resistencia a la corrosión a sulfu

ros, sulfúrico y fosfórico, lo que permite emplearlo durante la producción y manejo de los mismos.

Resiste bien todas las soluciones diluidas del  $H_2SO_4$ ; a temperatura ambiente se comporta bien hasta el 95%; hasta 85% y  $220^\circ C$  y hasta 93% con  $1150^\circ C$ . A concentraciones menores al 5% la rapidez de la corrosión aumenta, pero es algo relativamente bajo, en estos casos al manejar concentraciones bajas de ácido sulfúrico se emplea plomo antimonial.

El mismo patrón de conducta se observa con altas concentraciones de ácido crómico, sulfuroso y sulfúrico a elevadas temperaturas. Las sales formadas por estos ácidos aumenta la resistencia del plomo. El plomo es ampliamente usado en la producción de ácido fosfórico a partir de la roca fosfórica cuando se emplea ácido sulfúrico en el proceso. Con  $H_3PO_4$  la rapidez de corrosión es baja hasta un máximo del 85%. Algunas pruebas de planta con plomo antimonial mostraron baja corrosión en una mezcla de 32% de  $H_3PO_4$ , 0.4% de  $H_2SO_4$  y 1% de cloruros a  $87^\circ C$ . En la producción de  $H_3PO_4$  puro a partir de fósforo elemental el plomo es fuertemente corroído por la ausencia de sulfatos.

Con ácido clorhídrico a  $25^\circ C$  y una concentración máxima de 15% es levemente corroído; aumentando la corrosión a concentraciones y temperaturas más elevadas. La corrosión también aumenta cuando el HCl contiene 5% de cloruro férrico.

La resistencia al ácido fluorhídrico es ligera, pero en ausencia de aire la corrosión es menor a 20 m.p.a. en un amplio intervalo de temperaturas y concentraciones; en base a la situación anterior se prefiere emplear el plomo para manejar el ácido fluorhídrico, ácido acético y sulfato de -

sodio.

Agregando ácido sulfúrico a cualquiera de los ácidos anteriores disminuye el ataque hacia el plomo, tal es el caso del ácido nítrico, el cual ataca fuertemente el plomo en concentraciones menores al 50%; al manejar 54% de ácido sulfúrico y concentraciones de 1% a 5% de  $\text{HNO}_3$  la corrosión es muy baja aún a temperaturas tan altas como  $118^\circ\text{C}$ . Se observa el mismo comportamiento con otras concentraciones de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Se muestran también relaciones gráficas que muestran el comportamiento de mezclas de  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con una corrosión menor a 20 m.p.a. Plomo antimonal (6% Sb) resiste mejor estas mezclas que el plomo químico. Mezclas de ácido fluosilico con ácido sulfúrico presentan el mismo efecto inhibitor.

La formación de la película protectora de sal de plomo que permite la pasivación del metal en ocasiones se ve impedida aunque existan los aniones necesarios para esta sal. Ejemplo de lo anterior se observó al trabajar con  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0.044$  molar el cual al estar en contacto con dióxido de carbono del aire forma una sal de carbonato de calcio que por ser muy insoluble no puede ceder iones carbonato para formar carbonato de plomo, dando como resultado una fuerte corrosión de la superficie del metal. Manejando hidróxido de sodio 0.044 molar se observó menor corrosión ya que el ataque del carbonato de sodio a la superficie del plomo permitió formar la sal de carbonato de plomo y atenuar el ataque hacia el metal.

En pruebas con hidróxido de sodio 0.01 molar e hidróxi-

do de calcio 0.01 molar se observó la formación de la película protectora después de tres o cuatro días, pero manejando soluciones más concentradas como  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0.1\text{M}$  o  $\text{Ba}(\text{OH})_2 = 0.1\text{M}$  se observó una corrosión más intensa ( $10 \text{ g/m}^2$ ) por día, en tanto con hidróxido de sodio la corrosión fue aproximadamente la mitad. Generalmente se observa poca resistencia del plomo al manejar concentraciones arriba del 10-15% de álcalis y con temperaturas altas.

La resistencia a las soluciones de amoniaco o gas puro de amoniaco a temperaturas tan altas como  $300^\circ\text{C}$  es muy aceptable.

Empleando aleaciones con 5%-15% Sn o 0.5%-1% Zn o también 1% de Cu muestran una alta resistencia al ataque de las soluciones alcalinas.

Plomo en contacto con sales en solución de sulfato, carbonato o fluoruros es muy resistente al ataque por la estabilidad de la sal de plomo formada, soluciones de estas sales pueden ser: sulfato de sodio, sulfato de amonio, carbonato de sodio, fluoruro de sodio. Con soluciones de sales como cloruro de sodio y acetato de amonio la corrosión se mantiene constante sin detenerse. En soluciones de  $\text{MgCl}_2$  se observa una corrosión intensa como con otras soluciones de cloruros. En tanto para una solución de 10% de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a  $20^\circ\text{C}$  se observó menor corrosión. A temperatura ambiente soluciones de fluoruro de potasio o fluoruro de hidrógeno a 5%, 10%, 20% muestran buena resistencia a  $20^\circ\text{C}$ , en tanto cuando se eleva la temperatura hasta  $80^\circ\text{C}$  el plomo es fuertemente atacado.

**SOLUBILIDAD DE SULFATO DE PLOMO EN ACIDO SULFURICO  
EN VARIAS CONCENTRACIONES Y TEMPERATURAS**

Concentración de $H_2SO_4$ en % en peso	mg de sulfato de plomo disueltos en un litro de sol.		
	0°C	25°C	50°C
0	31.0	44.5	57.7
0.33%	3.0	10.0	24.1
0.01	7.0	8.0	21.0
0.10	4.0	1.0	13.0
1.0	1.8	2.0	11.1
10.0	1.2	1.0	9.0
20.0	0.5	-	3.0
30.0	0.4	1.2	4.0
60.0	0.4	1.0	2.1
70.0	1.2	1.8	3.0
75.0	2.3	3.0	4.0
80.0	0.5	11.0	42.0

CORROSION DEL PLOMO EN EL PROCESO QUIMICO

	Temperatura °C	Razón de corrosión mpa
SULFONACION DE ACEITES CON $H_2SO_4$ al 25% (66°C) y (60°C)		
Castor		3
De ricino o cebo		12
Olivo		3
Hígado de bacalao		6
Pescado		11
Vegetal		23
Cacaonante		18
SULFONACION CON $H_2SO_4$ al 93% (66°C)		
Naftaleno	156	45
Fenol	120	3
LAVADO Y NEUTRALIZACION DE COM--- UESTOS SULFATO Y SULFONATADOS		
Aceites vegetales sulfatados + lavado de agua por neutralización con hidróxido de sodio		
	60	9
Acido naftalen-sulfónico + lavado de agua con neutralización con so- sa cáustica, pH 3		
	70	39
Lavado del cebo con $H_2SO_4$ al 2% en peso (60°C)		
	121	5
Almacenaje de detergente líquido alcalino		
		0.3
Almacenaje de la mezcla 50% ácido clorosulfónico-50% trióxido de azufre.		
		0.6
Mezclado y cristalización de sul- fato de amonio en solución de $H_2SO_4$ al 5%		
	47	1 a 5

	Temperatura °C	Razón de corrosión mpa
<b>RAJAS O ASTILLAS</b>		
Ácido de oliva y ác. sulfúrico - al 0.5% (66°Be)	88	11
Almacenaje de astillas con ácidos grasos.		en el líquido 0.8
Almacenaje de astillas con ácidos grasos.		al nivel del liq. 12
<b>EXTRACCION DE SULFATO DE ALUMINIO DE LA ALUMINA</b>		
Bauxita + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en ebullición		líquido 16
Bauxita + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en ebullición		vapor 5
Evaporador del alumbre (sulfato de aluminio)	116	3
Tanque para disolver el alumbre del panel de fábrica.	49	16
Almacenaje de soluciones de alum- bre al 24%.		0.6
<b>EVAPORADOR</b>		
Solución de sulfato de níquel	100	6
Solución de sulfato de cinc.	107	6
<b>PRODUCCION DE SULFATO DE AMONIO</b>		
Solución saturada de sulfato de a- monio con 5% de ácido sulfúrico.	45	tanque de mez. 1
Solución saturada de sulfato de a- monio con 5% de ácido sulfúrico.	47	cristalizador 5
<b>LAVADO DE ACIDO</b>		
Ácido lubricante tratado con áci- do sulfúrico al 25%.	104	25
Residuos de aceite tratado con va- por y ácido sulfúrico al 15%.		20

	Temperatura °C	Razón de corrosión moa
Benzol (crudo) tratado con $H_2SO_4$ al 3% lavado con agua y neutralizado con cal.	60	6
Aceite de alquitrán tratado con $H_2SO_4$ al 25%, lavado con agua y neutralizado con NaOH	77	24
Gases ácidos húmedos de la regeneración de ácido sulfúrico	121	6
POLIMERIZACION		
Polimerización de butenos con ácido sulfúrico al 72%.	80	
Polimerización de butenos con ácido sulfúrico al 72%.	80	14
HILADO DE RAYON (BAÑO VISCOSO)		
Evaporador, 6% $H_2SO_4$ , 17% $Na_2SO_4$ 30% de otros sulfatos inorgánicos.	40	5
Evaporador-concentrador, baño de 20% de $H_2SO_4$ , 30% $Na_2SO_4$ .	55	4
Vapores del evaporador de hilado	42	5
Residuos del baño de hilado	46	8
Almacenamiento del licor del baño de hilado.		2

## COMPORTAMIENTO DEL PLOMO ANTE AGENTES QUIMICOS CORROSIOS

ACIDO ACETICO	Acido acético glacial y anhídrido acético - concentrado y frío el plomo resiste bien, se le emplea para almacenar estos compuestos. En bajas concentraciones y altas temperaturas se acelera la velocidad de corrosión en la interfase aire-líquido
ACETONA	El plomo resiste bien y es empleado en la construcción de equipo que lo maneje.
ACETOFENONA	El plomo se emplea para la construcción de equipo de proceso y almacenaje.
ACETILENO	El plomo resiste bien excepto cuando contiene humedad y fosfuro de hidrógeno.
TETRACLORURO DE ACETILENO	El plomo es adecuado para el recubrimiento de tanques de abastecimiento
ACIDO ADIPICO	Se emplea recubrimientos de plomo en los digestores
ALCOHOL ETILICO	No afecta el plomo
ALCOHOL METILICO	No tiene efectos sobre el plomo
CLORURO DE ALUMINIO	El plomo resiste bien hasta concentraciones del 10%. No es recomendable para altas concentraciones. En ocasiones es empleado en equipo para la producción de cloruro de aluminio
SULFATO DE ALUMINIO O ALUMBRE	El plomo es satisfactoriamente empleado en la producción y manejo de alumbre líquido.
AMONIACO	El plomo resiste bien el gas seco y al amoníaco líquido anhidro.
AZIDA DE AMONIO	No tiene efectos sobre el plomo
BIFLUORURO DE AMONIO	No tiene efectos sobre el plomo
CLORURO DE AMONIO	El plomo puede ser empleado a temperatura ambiente en concentraciones hasta 10%.
FLUORURO DE AMONIO	El plomo tiene una resistencia aceptable en concentraciones hasta el 20%. No es recomendable para altas temperaturas o en la presencia de amoníaco libre
FLUOSILICATO DE AMONIO	El plomo es algunas veces empleado para válvulas y accesorios.

HIDROXIDO DE AMONIO	El plomo puede ser empleado para la fase líquida y gaseosa en cualquier temperatura y concentración
HIDROXILAMIN AMONIO	El plomo es satisfactoriamente empleado en la hidrólisis.
FOSFATO DE AMONIO	El plomo tiene buena resistencia ante el fosfato de amonio y es empleado en la producción del fertilizante fosfato de amonio
SULFATO DE AMONIO	El plomo es satisfactoriamente empleado en la producción y manejo de sulfato de amonio.
CLORURO DE ANTINONIO	El plomo sufre corrosión pero resulta económicamente emplearlo en la clorinación del tricloruro a pentacloruro.
ACIDO ARSENICO	El plomo es muy resistente al ácido diluido. Se forman sales de plomo en la tubería, pero la tubería puede presentar gran resistencia con limpieza periódica.
SULFURO DE BARIO	Tanques de plomo son usados para el manejo de las soluciones antes de la precipitación del sulfuro de bario.
BENZOL	Benzol puro tiene poco o ningún efecto sobre el plomo
CLORURO DE BENCILO	El plomo es algunas veces empleado para el almacenaje de este compuesto.
BENZOFENOL	El plomo es empleado en recubrimientos de recipientes para la producción hasta temperaturas máximas de 400C.
SOLUCION DE BLANQUEO	Es satisfactoriamente empleado para manejo de las soluciones de blanqueo: peróxido de hidrógeno y fosfato trisódico.
ACIDO BORICO	El plomo puede ser empleado en su producción.
SALMUERA	Ver cloruro de sodio.
BROMO	Cuando está frío y libre de ácido el plomo se puede emplear en recipientes de embarque.
SULFATO DE CADMIO	El plomo es empleado en placas recubriendo tanques.
FOSFATO ACIDO DE CALCIO	El plomo puede ser empleado en un amplio intervalo de temperaturas y concentraciones.

CARBONATO DE CALCIO	El plomo es resistente en todas las concentraciones contenido en aguas naturales.
DISULFURO DE CALCIO	No tiene efectos sobre el plomo.
HIDROXIDO DE CALCIO	El plomo no es recomendable para el manejo de hidróxido de calcio. El plomo en contacto con cemento, humedad y oxígeno es corrosivo.
PIRIDIN SULFONATO DE CALCIO	Se puede emplear el plomo si está presente el ácido sulfúrico.
DIOXIDO DE CARBONO	El plomo es usado en sistemas de carbonato ácido para la generación de $CO_2$
TETRACLORURO DE CARBONO	El plomo se puede emplear a temperatura ambiente.
ACEITE DE RICINO EN ACIDO	Se emplea el plomo en tuberías y válvulas.
SOLUCIONES DE CELOFAN PARA HILADOS	El plomo es ampliamente usado en equipo requerido en este proceso.
CLORINACION DE HIDROCARBUROS	El plomo puede ser empleado si se usan inhibidores.
CLORINACION DE CLORURO DE POLIVINILO	Se emplea plomo en todo el proceso de producción.
PROCESOS DE CLORINACION	El plomo es ligeramente corroído a las temperaturas de trabajo, pero es aceptable por lo económico que resulta su empleo en comparación con otros metales.
CLORO	El plomo es resistente al cloro seco y cuando esta húmedo se puede emplear hasta los $38^{\circ}C$ .
ACIDO CLOROACETICO	El plomo es ligeramente resistente, pero en soluciones diluidas conteniendo tetracloruro de carbono es resistente.
CLOROBENZENO	Puede emplearse plomo en soluciones de clorobenzeno, dióxido de azufre y agua.
CLOROBROMOMETANO	No corroe el plomo cuando está prácticamente seco (menos de 0.02% de $H_2O$ ).
ACIDO CROMICO	Puede emplearse plomo con concentraciones de ácido ligeramente altas. Puede emplearse en ánodos, serpentinas de calentamiento y recubrimiento de tanques para corrosión de metales. Se han desarrollado aleaciones de mayor resistencia a la corrosión en con-

	mado
ALQUITRAN	El plomo es usado para la refinación y recuperación de diversos productos.
CONCRETO, CEMENTO O MORTERO	Cuando está fresco, la cal libre puede atacar el plomo. Si se ha agregado cloruro de calcio se puede acelerar el ataque. El ataque es prevenido aplicando recubrimientos de asfalto a la superficie del plomo. Al endurecer la cal se convierte a carbonato de calcio con el cual a veces cesa la corrosión.
SULFATO DE COBRE	Se emplea el plomo en ánodos y recubrimiento de tanques en refinación electrolítica, electrodeposición y electroformado.
DIBUTIL TIODIGLICOLATO	Se emplea plomo en ciertas partes del proceso de producción en el recubrimiento de equipo.
DIHIDROXIDIFENIL SULFONA	En el proceso de producción se emplea plomo para serpentines de enfriamiento y en recubrimientos de recipientes a presión.
ELECTROGALVANIZACION	En algunas ocasiones se emplea equipo de plomo.
ETHER	El plomo se emplea durante la producción - causando poco ó ningún efecto sobre el plomo.
ACIDOS GRASOS	Puede emplearse plomo pero es ligeramente corroído en presencia de oxígeno.
CLORURO FERRICO	No es recomendable el plomo para su manejo.
SULFATO FERRICO	Se emplea plomo en su producción ya que es resistente en un amplio intervalo de temperaturas y presiones.
SULFATO FERROSO	Es recomendable el plomo para serpentines y recubrimiento de tanques empleados en su producción.
FORMALDEHIDO (Y ACIDO FORMICO)	El plomo es recomendable en concentraciones hasta del 100% pero no es recomendable para bajas concentraciones. Su comportamiento es similar al caso del ácido acético.
HEXACLOROBUTADIENO	Este compuesto es altamente corrosivo con todos los metales excepto con el plomo. Es empleado el plomo en todo su proceso de producción con temperaturas hasta de 205°C

HEXAACLOROETANO	El equipo usado para la cloración es recubierto con plomo manejándose en la cristalización concentraciones arriba de 60% y 136. <span style="float: right;">107</span>
ACIDO CLORHIDRICO	El uso del plomo generalmente recomendado. Muestra ligera corrosión en concentraciones arriba del 30% a temperatura ambiente y 20% con 100°C. El plomo antimonial muestra mejor resistencia a la corrosión.
ACIDO HIDROCIANICO	Se emplea plomo durante su producción.
ACIDO HIPOFLUORICO	Comunmente se emplea plomo presentando ligera resistencia al ácido diluido menor del 65%.
CLORURO DE HIDROGENO (ACIDO CLORHIDRICO ANHIDRO)	Causa un pequeño efecto sobre el plomo.
PEROXIDO DE HIDROGENO	En concentraciones del 50% en peso ha causado picaduras hasta de 50 milésimas de pulgada por año (mpa). El plomo puede contaminar el peróxido de hidrógeno.
CLORURO DE MAGNESIO	El plomo es ligeramente resistente en concentraciones superiores al 10%.
SULFATO DE MAGNESIO	El plomo es resistente en un amplio intervalo de temperaturas y concentraciones.
SULFATO MERCURICO	Es altamente oxidante, pero el plomo tiene buena resistencia por el medio sulfatado.
MEZCLA DE ACIDOS	Se puede emplear con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico. Se puede emplear en tanques recubiertos para acabado mate del bronce con una mezcla de 50%-50% de ácido sulfúrico y nítrico.
NAPTALENO	No tiene efectos sobre el plomo
SULFATO DE NIQUEL Y SOLUCIONES PARA RECUBRIMIENTO DE NIQUEL.	Se emplea plomo para recubrimiento en tanques y serpentines de calentamiento.
ACIDO NITRICO	Ver tablas
NITROBENZOL Y NITRO-CLORENBENZOL	Es corrosivo para el plomo.
NITROCELULOSA	El plomo es ampliamente empleado en todo el proceso de producción del rayón.
NITROGLICERINA	Se usa plomo en el manejo del ácido en el proceso de producción.

- ACIDO NITROSULFUURICO** A una gravedad entre 1.5 a 1.6 su acción sobre el plomo es mínima. Con un manejo cuidadoso se minimiza la corrosión.
- ACIDOS ORGANICOS.** Generalmente no se recomienda el uso del plomo, siendo ligeramente resistente si se encuentra ácido sulfúrico libre.
- ACIDOS OXALICO-SULFUURICO** En concentraciones de 5-50% conteniendo 1% de ácido sulfúrico el plomo resiste en todas las temperaturas de enfriamiento y ebullición.
- OXIGENO** Unicamente con gas seco el plomo es empujado.
- PENTAFLOROSTANO** Se emplea plomo para su producción y almacenaje a temperaturas límites de 80°C.
- FENOL** Se puede emplear plomo satisfactoriamente.
- ACIDO FOSFORICO** En concentración máxima del 80% y menos de 93°C, impurezas en el ácido tienen un ligero efecto y puede usarse hasta una concentración del 85%. Estas propiedades se deben a la formación de la película protectora.
- OXICLORURO DE FOSFORO** Se construyen tanques de almacenamiento para este compuesto de plomo o plomo sobrecargado, además del siguiente equipo de producción: tuberías, serocantinas y tanques de recepción. Como recubrimiento en bombas y carro tanques.
- SOLUCIONES FOTOGRAFICAS.** Se puede emplear plomo satisfactoriamente.
- HIDROXIDO DE POTASIO** El plomo es adecuado en una concentración máxima del 50% y una temperatura de 60°C.
- HEPAPISULFITO DE POTASIO** El plomo es el material principalmente usado en la construcción y como recubrimiento de acero en tanques de evaporación a una temperatura de 71°C.
- PERMANGANATO DE POTASIO** No es recomendable el empleo de plomo por ser atacado.
- PIRIDINA** El plomo no es afectado pudiéndose emplear en el equipo de destilación al vacío.
- GEL SILICA** Se emplea plomo para recubrimiento de tanques, tuberías y válvulas en el proceso de lavado de la gel silica.

SILICATOS	Puede emplearse plomo por formarse una película protectora.
BIFLUORURO DE SODIO	El plomo es continuamente empleado en su manejo.
BISULFATO DE SODIO	El plomo puede ser empleado en un intervalo amplio de temperaturas y concentraciones.
BISULFITO DE SODIO	El plomo puede ser empleado en un intervalo amplio de temperaturas y concentraciones.
CARBONATO DE SODIO	Soluciones diluidas no afectan el plomo. No es recomendable para temperaturas superiores a 66°C y una concentración máxima a 25%
CLORURO DE SODIO	A temperaturas ordinarias y soluciones diluidas el plomo es adecuado. El plomo es adecuado para manejar salmuera o agua de mar, (también es adecuado el plomo antimonial)
HIDROSULFITO DE SODIO	No tiene efectos sobre el plomo
HIDROXIDO DE SODIO	Se puede emplear plomo con una concentración máxima de 30% y una temperatura de 25°C. Soluciones fuertes atacan rápidamente el plomo.
HIPOSULFITO DE SODIO	Se puede emplear plomo satisfactoriamente.
SILICATO DE SODIO	No tiene un efecto corrosivo relevante sobre el plomo.
SULFATO DE SODIO	En el punto de ebullición y una concentración máxima del 10% se puede emplear plomo.
SULFURO DE SODIO	Se puede emplear plomo a una temperatura máxima de 100°C.
SULFITO DE SODIO	Se emplea plomo en su producción y una concentración máxima de 20% a 25°C.
CLORURO DE AZUFRE	Tiene un pequeño efecto sobre el plomo.
DIOXIDO DE AZUFRE	Cuando está seco se puede emplear plomo y húmedo hasta 200°C.
TRIOXIDO DE AZUFRE	Se puede emplear plomo a una temperatura máxima de 150°C.
ACIDO SULFURICO	El plomo es el único metal empleado para su manejo. A temperatura ambiente la concentración máxima a usarse es de 96% y 85%, con una temperatura máxima de 220°C, en al-

	gunas ocasiones se trabaja a una temperatura máxima de 250°C.
ACIDO SULFUROSO	El plomo es adecuado a una temperatura máxima de 220°C.
ACIDO TANICO	El comportamiento del plomo es similar al caso del ácido acético.
ACIDO TARTARICO	Similar al ácido acético.
TETRACLOROETANO	El equipo de proceso que emplea plomo es torres de reacción de plomo unido y recubrimiento de plomo en equipos.
CLORURO DE TIONILO	El plomo es adecuado a una temperatura máxima de 150°C.
SULFATO DE TITANIO	Sus soluciones pueden ser manejadas con equipo de plomo.
TETRACLORURO DE TITANIO	Empaques de plomo se emplean en la unión de tuberías.
UREA	Se emplea en la producción recubriendo autoclaves y destiladores a una temperatura máxima de 190°C.
AGUA DESTILADA	No afecta al plomo en ausencia de CO <sub>2</sub> y oxígeno disuelto. Generalmente no es recomendable su uso en este agente.
AGUA NATURAL	No tiene efecto sobre el plomo por la formación de la película protectora por las sales disueltas en el agua. Aguas muy blandas o aquellas mezcladas con turba pueden disolver el plomo ligeramente, lo cual se puede prevenir aumentando la dureza con un tratamiento empleando cal o silicato de sodio.
MADERA	El efecto sobre el plomo es muy pequeño, excepto aquellas que contienen ácidos orgánicos como el roble verde. Recubrimientos de plomo sobre madera se pueden inspeccionar por la presencia de perforaciones.
CLORURO DE CINC	Se puede emplear satisfactoriamente.
HIDROSULFITO DE CINC	Se usa en su producción como recubrimientos de plomo en tanques y serpentines de enfriamiento.
SULFATO DE CINC	El plomo es adecuado en solución ácida. Se emplea en su manejo y producción.

## VII SOLDABILIDAD DEL PLOMO Y SUS ALEACIONES

### VII.a. Generalidades.

El proceso de la soldadura es un fenómeno en el cual se efectúa la unión de dos o más secciones metálicas por la fusión de la zona en contacto entre ambas, efectuándose la unión al solidificar el metal. La soldadura es ante todo - un proceso de fundición, en el cual se tiene un metal base y un metal de aporte, al fundirse ambos se forma una aleación de composición diferente a los metales originales.

Posiblemente el primer metal empleado para soldar debió ser el plomo, muestras de ello han quedado en las obras realizadas por los romanos que instalaron redes de tubería de plomo para transportar agua dentro de las ciudades y en los hogares. La tubería se manejaba en longitudes y diámetros standar, empleándose métodos muy rudimentarios de soldadura en comparación con los métodos de hoy en día.

La soldadura ha jugado un papel importante en el desarrollo tecnológico del mundo. Gracias a la soldadura, ha sido posible la elaboración de microcircuitos, elementos importantes en la fabricación de computadoras. También gracias a esta técnica se producen a bajo costo televisores, equipos de audio, radiadores de autos, focos, teléfonos, máquinas de escribir, sistemas de encendido y una infinidad de productos industriales y comerciales.

### VII.b. Características de la soldadura.

La soldadura de metales cuida del intervalo de temperatura manejado, aplicándose una temperatura tal que los meta

les base no fundan por completo para evitar causar daños al metal y afectar las propiedades mecánicas del mismo en la zona próxima a la unión soldada.

Hay una gran selección de metales de soldadura con puntos de fusión y temperaturas de trabajo que varían mucho. Es costumbre distinguir entre soldeo fuerte y soldeo blando, el último término se usa cuando la temperatura de trabajo es inferior a el límite arbitrario de  $450^{\circ}\text{C}$ . El soldeo blando es principalmente hecho con aleaciones de plomo y estaño (soldaduras blandas comunes) y otras aleaciones de estaño, y las temperaturas de soldar van principalmente entre  $200$  y  $350^{\circ}\text{C}$ . Las soldaduras fuertes usadas comúnmente son aleaciones de cobre como soldadura de bronce (de latón), soldadura de plata, soldaduras de fósforo-plata, cuyas temperaturas de trabajo típicas fluctúan entre  $625$ - $1000^{\circ}\text{C}$ . El intervalo entre  $350^{\circ}\text{C}$  y  $625^{\circ}\text{C}$  es algunas veces llamado "la brecha de la soldadura".

Aplicando altas temperaturas al metal tiende a combinarse con el oxígeno produciendo la oxidación del mismo. A esas temperaturas los metales absorben gases como  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$  y vapor de agua existentes en el aire. Si cualquiera de los gases anteriores se disuelve en el metal éste se vuelve frágil por lo cual se toleran cantidades extremadamente pequeñas. Con tal objetivo se busca mantener el  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{O}_2$  lejos de la zona a soldar. Una de las técnicas aplicadas es recubrir la varilla de aporte con diversos compuestos que fácilmente formen escoria la cual puede absorber los gases e impurezas del metal.

Los puntos importantes para lograr buenos resultados al soldar son: 1.- Designar el tipo de soldadura.

2.- Seleccionar la mezcla de soldadura apropiada.

3.- Seleccionar el fundente apropiado.

4.- Limpieza de las superficies unidas.

5.- Aplicar suficiente calor a la parte que será soldada.

6.- Remover los residuos de fundición.

Ventajas que hacen favorable el empleo de la soldadura como método para unir metales respecto a métodos como el empleo de adhesivos o uniones mecánicas son los siguientes:

1.- Los procesos automáticos de soldadura pueden ser más económicos y sencillos.

2.- Menor consumo de energía.

3.- Alta calidad de unión.

4.- Se puede seleccionar entre soldaduras con diferentes puntos de fusión.

5.- Posibilidad de ensamblado continuo.

6.- Buena conductividad térmica y eléctrica.

7.- Las juntas soldadas son impermeables a gases o líquidos.

8.- Las uniones son reparadas o reconstruidas fácilmente.

9.- Mayor tiempo de vida.

10.- Variedad en métodos de calentamiento.

11.- Las mezclas de soldadura pueden ser seleccionadas de acuerdo al servicio.

La mayor parte de las soldaduras son aleaciones de olo-

mo-estaño. Otros tipos de soldadura contienen antimonio, plata, bismuto, cinc, indio y bismuto, estas soldaduras difieren en resistencia a la corrosión, fuerza, dureza, punto de fusión y temperatura de operación.

#### VII.c. Soldadura plomo-estaño.

Las mezclas de plomo y estaño son las de mayor uso debido al bajo punto de fusión. Esto las hace ideales para la unión de metales por métodos convencionales de calentamiento con poco o ningún daño de las partes sensibles.

La temperatura a la cual la soldadura empieza a fundir es llamada "sólida" y la temperatura a la cual está completamente fundida es llamada "líquida". Entre estas temperaturas, parte de las soldaduras se encuentran fundidas y parte son sólidas.

En la figura se muestra el diagrama de temperaturas sólidas y líquidas con variaciones en la composición de estaño y plomo.

Se observa que en el punto "C", ambos metales funden y solidifican en un solo punto, como en el caso de los metales puros, este punto es llamado composición "eutéctica". El diagrama también muestra que la adición de estaño al plomo o plomo al estaño, disminuye la temperatura de los líquidos a un mínimo llamado "eutéctico".

Cuando nos referimos a soldaduras de estaño y plomo, el contenido de estaño es dado primero, por ejemplo 40/60 se refiere 40% de estaño y 60% de plomo en peso.

El plomo puro funde a  $327^{\circ}\text{C}$ . A pesar de que éste es más alto que el punto de fusión del estaño ( $232^{\circ}\text{C}$ ), la mayo

ría de las aleaciones funden a una temperatura menor a 327 °C.

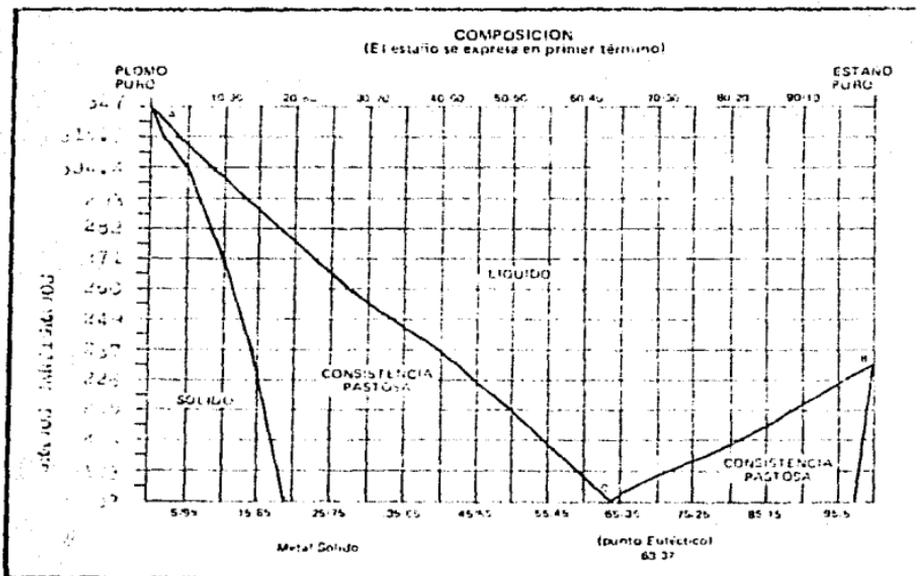


DIAGRAMA EUTECTICO DEL SISTEMA PLOMO-ESTAÑO

Observando el diagrama de fusión de las aleaciones plomo-estaño podemos ver que independientemente de la composición todas van a empezar a fundir a  $183^{\circ}\text{C}$ , o en el punto eutéctico de la aleación. Este punto de fusión contiene 62% de Sn y 38% de Pb y es el punto más bajo de fundición de las aleaciones de plomo-estaño, lo que resulta útil cuando es necesario un soldeo rápido a la temperatura más baja posible, como sucede en la industria electrónica.

A partir del diagrama se puede comprobar que a medida que el contenido de estaño disminuye la temperatura de fusión aumenta, sucediendo lo mismo cuando el contenido disminuye por debajo de 38% de Pb.

Las otras aleaciones no exhiben un punto de fusión sino un intervalo de fusión, o sea un intervalo de temperatura en el cual la aleación no está ni completamente fundida ni completamente sólida pero aparece en una condición de pastaje espeso o pastosa. A medida que la composición se aleja de la eutéctica, el intervalo de fusión se hace cada vez más largo. Aleaciones con contenido de estaño superior al 63% son raramente usadas, excepto en el caso de requerirse aleaciones libres de plomo. La mayoría de las soldaduras contienen el 20-28% de estaño.

El concepto general de que la soldadura es tanto mejor cuanto más alto es el contenido de estaño (hasta más o menos el 60% de Sn) es válido solamente con respecto a las temperaturas de fusión y capacidad para soldar a bajas temperaturas. Todas las soldaduras comunes pierden su resistencia por completo a  $183^{\circ}\text{C}$ , y en la práctica las juntas -

soldaduras no deben ser expuestas a temperaturas superiores a  $150^{\circ}\text{C}$ .

Las soldaduras con menos del 5% de estaño, son usadas para cubrir y unir metales, y en aplicaciones donde las temperaturas excedan de  $121^{\circ}\text{C}$ . Estas temperaturas altas son tomadas en cuenta para designar las funciones de sellado. Las soldaduras 10/90, 15/85 y 20/80, son usadas para sellado de radiadores de automóviles y relleno en abolladuras de carrocerías.

El uso general de las soldaduras 40/60 y 50/50 es en radiadores de automoviles, instalaciones sanitarias, conexiones eléctricas y electrónicas, grietas de techo y unidades de calefacción.

Las mezclas 60/40 y 63/37 son usadas donde los componentes son sensibles y debe usarse un calentamiento mínimo para hacer la unión, la industria electrónica es típica del sector en el que se utilizan estas soldaduras.

En la industria electrónica se adiciona plata a las soldaduras de estaño-plomo, para reducir la dilución de la plata en revestimientos que la contengan. La plata puede incluso ser adicionada para mejorar la resistencia al desgaste.

Las mezclas de estaño-plomo-plata, muestran una buena tensión, resistencia al corte y algunas son usadas en cuerpos que operan a elevadas temperaturas en forma continúa.

Las mezclas de 1% de estaño, 97.9% de plomo y 1.5% de plata, encuentran uso en aplicaciones criogénicas debido al alto contenido de plomo. Esta mezcla es usada incluso en

finos alambres de cobre, ya que el cobre no funde tan rápidamente como el plomo.

Existen otras mezclas especiales, cuyo uso y composición se pueden observar en la tabla.

### SOLDADURAS A BASE DE ESTAÑO Y PLOMO

Estaño Sn	Composición en %		Intervalo de Fusión en °C	Temperatura de Trabajo en °C	Campo de Aplicación
	Plomo Pb	Otros <sup>1)</sup>			
63	37		183 <sup>2)</sup>	230-275	Electrónica: especialmente soldes por onda y por inmersión Electrónica: soldes por onda, por arrastre, por inmersión y con soldador
60	40		183-188	235-275	
60	40		183-188	235-275	Soldes de objetos pequeños, mecánicas de precisión.
50	50		183-215	260-300	Instalación de cañerías, soldes corriente.
45	55		183-227	275-325	Soldes corriente, latas de conservas
40	60		183-238	280-325	Radadores, latas de conservas.
33	67		183-250	285-325	Radadores.
5	95		300-320	340-375	Equipo para temperaturas extremadamente bajas, portátiles para
2	98		322-324	340-375	Latas de conservas, portátiles para
95		5 Ag	221-235	260-300	Instalación de cañerías, toda clase de soldes. La soldadura blanda más resistente.
95		5 Sb	234-243	275-325	Instalaciones frigoríficas, electrónica
80	34	2 Ag	178-210	250-300	Electrónica: especialmente para componentes plateados
80	39.8	0.15 Cu	183-190	235-275	Electrónica: especialmente soldes por arrastre.
80	30.7	0.3 Sb	183-188	240-275	Electrónica: especialmente para equipos de navegación espacial
50	48.5	1.5 Cu	183-225	270-300	Electrónica y electrónica: soldes con soldador de cobre.
47.5	50	2.5 Sb	189-210	250-300	Fontanería, soldes corriente.
38	60	2 Sb	188-230	275-325	Fontanería, radiadores.
31.5	67	1.5 Sb	188-240	280-325	Fontanería, juntas de cables.
1	97.5	1.5 Ag	300 <sup>2)</sup>	330-400	Electrónica, juntas resistentes a temperaturas elevadas.
27.5	71	1.5 Sb	188-250	280-340	"Emplastramiento" y relleno para reparar cañerías de automóviles, juntas de cables
2.6	91.5	5.4 Sb, 0.5 As	240-285	255-270	NOTESE: Se aplica en estado semifundido, pastoso y plástico.

1) Clave de los símbolos: Ag Plata; As Antimonio; Cu Cobre; Sb Antimonio

2) Aleación eutéctica sin zona de fusión

#### VII.d. Soldadura de superficies de plomo.

La soldadura de plomo es similar a la de otros metales con la diferencia que no se requiere fundir por completo al plomo soporte y el metal de relleno puede tener la misma composición a el plomo soporte.

En la soldadura de otros metales diferentes al plomo, el material de soporte debe tener una composición diferente a la del metal de soporte.

#### VII.d.1. Condiciones a tomar en cuenta en la soldadura de plomo.

Por el bajo punto de fusión del plomo se requiere una fuente de energía ligera por lo que se utiliza el soplete. El soplete para soldar plomo puede manejar tres tipos comunes de gases que son: acetileno, gas natural e hidrógeno; cada uno en combinación con oxígeno.

Las mezclas de los gases presentan ventajas entre ellas dependiendo de la posición física de las superficies a soldar, así la mezcla de oxihidrógeno y acetileno se pueden emplear para soldar en cualquier posición, sin embargo con el oxihidrógeno se obtiene un soldado más preciso por lo que resulta más común su aplicación en sitios difíciles de soldar. La mezcla de oxigás natural es recomendable para trabajos en superficies planas.

La presión a la que se aplica el gas varía dependiendo del tipo de soldadura, abarcando un intervalo de 1 1/2 a 5 psi.

Se debe tener especial cuidado en la combustión del gas, ya que una flama reductora puede producir hollin en la u-

nión soldada y una flama oxidante cubre los globulos fundidos de una película de óxido que dificulta el soldeo obteniéndose una unión de baja calidad por lo que se recomienda el empleo de una flama neutra.

La longitud de la flama varía entre 1.3cm y 10cm dependiendo de lo que se va a soldar, presión y volumen del gas usado.

El material de reparto viene en varillas de 0.31 cm (1/8 pul) a 2 cm (3/4 pul) de diámetro, haciendo la mejor selección el soldador. Como se mencionó anteriormente las varillas de relleno pueden tener la misma composición que el plomo a soldar.

En ésta soldadura, las superficies de ambas caras del metal a soldar deben estar perfectamente libres de óxido o grasas.

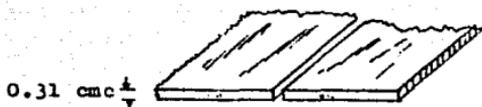
#### VII.d.2. Tipos de uniones de plomo.

El tipo de unión entre las superficies de plomo antes de soldar varía en función del trabajo a desarrollar por el metal unido. Cuando se van a soldar placas de plomo, la unión puede ser de tres tipos:

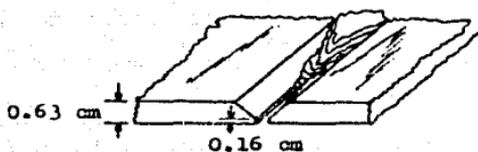
- 1.- A tope.
- 2.- A traslape.
- 3.- Unión a tope con cinta de retención

Cuando la superficie es plana se puede utilizar la unión a tope o la unión a traslape dependiendo del servicio a dar por el equipo.

En trabajos verticales o sobre la cabeza del soldador se prefiere la unión a traslape.



Soldadura a tope en placas con 0.31 cm de espesor o menos.



Unión a tope con más de 0.31 cm de espesor.

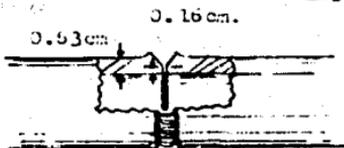


Unión a traslape común para placas de plomo

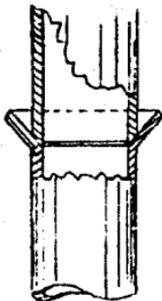
TIPOS DE UNION CON PLOMO



Unión a tope para tubería con menos de 0.31 cm de espesor de pared.



Unión a tope para tubería con más de 0.31 cm de espesor de pared.



Unión en tope para tubería en posición vertical

MUESTRA DE DIFERENTES TIPOS DE UNIÓN  
CARACTERÍSTICOS EN TUBERÍAS DE PLOMO

Para la unión de tuberías se prefiere la unión a tope, teniéndose como alternativa la unión a transape y la unión de toza para pesos ligeros y hasta 0.34 cm (5/32 pul) de espesor de pared. Si se van a soldar tuberías de grandes diámetros se aplica la soldadura a tope con cinta de retención en la forma de bridas, las cuales se hacen fundiendo placas de plomo las cuales después son soldadas a la tubería.

En las uniones a transape las caras van sobrecuadas de 1.25 a 5 cm dependiendo del espesor de las caras, las cuales deben ser rasadas y limpiadas antes de soldarlas.

#### VII.d.3. Soldadura de plomo con metales diferentes.

El caso específico es el conocido como plomo unido o plomo unido metalúrgicamente. Como se recordará este material combina la resistencia a la corrosión del plomo y la resistencia mecánica de metales como el acero, cobre y otros materiales.

Antes de aplicar la capa de plomo se requiere un pretratamiento de la superficie del metal base. Si se da un pretratamiento con soldadura se requiere limpiar la superficie con arena o con un agente químico como cloruro de zinc y una aplicación posterior de una aleación de 90% de Pb y 50% de Sn. Esta aleación puede ser aplicada con soplete o por medio de un baño en un tanque de fundición. Cuando el pretratamiento va a ser con plomo antimonial no es necesario el empleo de cloruro de zinc y la aleación de recubrimiento tiene una composición de 90 de Sn y el resto de plomo.

En cualquiera de los métodos de pretratamiento, la lim-

za debe ser perfecta y cuidar de no ensuciar con grasa o aceite la superficie limbia.

## VIII SEGURIDAD INDUSTRIAL

## VIII.a. Generalidades.

El cuerpo humano puede contener una diversidad de metales como cobre, cadmio, estaño, plomo, cobalto,... en concentraciones que tienden a mantenerse en equilibrio desarrollando una función biológica en algunos casos incierta. Los metales pueden tener una influencia positiva o negativa dentro de la actividad fisiológica de los seres vivos. El mecanismo por el cual actúan es incierto, conociéndose únicamente los efectos dañinos que causan después de ser ingeridos y rebasar un nivel crítico de concentración dentro del cuerpo afectado, como es el caso del plomo.

## VIII.b. Toxicidad de los metales.

Cuando un metal penetra en el cuerpo los efectos de la intoxicación se manifiestan a nivel molecular (dato bioquímico) o en altos niveles de organización celular llegando al extremo de alterar las funciones vitales y eventualmente la muerte. Los datos del envenenamiento con metales no se limita únicamente a alterar las funciones biológicas, algunos de ellos son carcinógenos y otros tienen efectos hereditarios. Dentro de una escala de  $-\log$  concentración letal o tóxica contra peso del cuerpo humano, "LD<sub>50</sub>", involucran de diversas sustancias tóxicas, los metales tienen valores de  $\text{LD}_{50}$  de 4 a 5 comparada con 1.3 para el cloruro de sodio y cerca de 8 para TCDD (2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-para-dioxin) y hasta 15 para las botulinas, las toxinas de origen natural más fuertes que se conocen.

Para el caso del plomo es de hacer notar que una intoxicación con este metal se manifiesta de diferente forma en - cada individuo mostrando algunos una adaptación biológica - que atenúa el efecto tóxico y otros una total repulsión a la presencia de cantidades mínimas de este metal con consecuencias dainas muy fuertes.

Sin olvidar que cada organismo responde de manera diferente a la intoxicación por ingestión de un metal, se manejan una serie de valores estándar que resultan útiles para dar una visión acerca del estado de salud del individuo analizado. Las unidades de la medida son microgramos por decilitro de sangre. Los valores manejados son 51, 56, 64, 74 y 75. Los valores 51 y 56 indican un nivel más bajo de exposición que permite monitorizar posibles consecuencias dainas; valores como 64, 74 y 75 son parámetros bajo los cuales se puede diagnosticar el efecto daino tomando en cuenta casos anteriores.

#### VIII.c. Intervalos de toxicidad.

Tomando el indicador de toxicidad,  $\sigma T$ , para metales como plomo, antimonio, mercurio, ... se les atribuyen valores de  $\sigma T < 4$ ; para cobre, cadmio, vanadio, cobalto el intervalo es de  $3 < \sigma T < 4$  y para estaño, cromo, molibdeno y manganeso se les atribuyen valores de  $\sigma T < 3$ .

Las personas que se encuentran expuestas directamente con el manejo de derivados del plomo, mercurio, cromo, vanadio y cadmio son las que se encuentran más frecuentemente intoxicadas con alguno de estos metales.

#### VIII.d. Plomo

El plomo es un metal que se le encuentra en todas partes del medio ambiente, suelos y rocas lo contienen en un promedio de  $20 \mu\text{g}/\text{gr}$ . Las fuentes de emisión de plomo pueden ser: naturales, como las que suceden con la erosión de los suelos y la actividad volcánica; y emisiones inducidas, tal es el caso de la combustión de la gasolina, producción de compuestos alquilo, fusión de plomo primario y secundario, producción de hierro, acero, cobre, zinc; la combustión de carbón mineral y las gasolineras. Otra fuente de este tipo son las pinturas a base de plomo aplicadas a los autos y hogares, incineración de plásticos que contienen plomo y en menor escala operaciones de soldadura. Aquí es necesario resaltar que la intoxicación en niños ocurre principalmente cuando las casas habitación son pintadas con este tipo de pinturas ya que los niños tienden a rizar y raspar las paredes ingiriendo o respirando los polvos de la pintura desprendida.

El plomo liberado al ambiente como metal o como compuesto químico puede permanecer suspendido en el aire un tiempo variable que va a depender de las condiciones geográficas y climatológicas de cada zona. En áreas industriales y urbanas se tiene un tiempo de residencia aproximado de 10 hr y en la troposfera de 6 a 12 días suspendido. Cuando se llega a presentar una precipitación pluvial, el agua deposita el plomo, encontrándose en áreas urbanas concentraciones de  $30 \mu\text{g}/\text{litro}$  y en áreas rurales menos de  $20 \mu\text{g}/\text{litro}$ . Los valores anteriores son fácilmente rebasados en los alrededores de industrias que manejan plomo o alguno de sus derivados,

como muestra de ello se refleja en los vegetales que se encuentran en los alrededores.

#### VIII.d.1. Metabolismo del plomo en el cuerpo humano.

Para personas no expuestas a fuentes de emisión de plomo, el principal medio de intoxicación es la ingestión de alimentos que ya lo contienen o el consumo de alimentos enlatados que llegan a contener altos niveles de plomo, (los alimentos pueden conter de 0.01 a 2.5 u.p.m. de plomo), y por inhalación de aire ya contaminado.

Al respirar aire contaminado, el pulmón retiene el 30% de la cantidad original de plomo dependiendo del tamaño de la partícula. De la cantidad depositada en el pulmón, una parte es tomada por el flujo sanguíneo, otra porción es arrastrada por un flujo mucoso a la parte posterior de la laringe y el resto puede ser tragado o eliminado del cuerpo.

El plomo puede distribuirse en el cuerpo humano en los téjidos blandos y en los fluidos del cuerpo. La sangre y téjidos blandos fácilmente intercambian y equilibran el contenido de plomo en los mismos, con lo cual se requiere que la cantidad de plomo que entra al cuerpo y la que es eliminada sean iguales para mantener un nivel de plomo en la sangre. Para una persona normal no expuesta a fuentes de emisión de plomo, el organismo puede eliminar 0.3 mg de plomo diariamente sin llegar a acumularse en el cuerpo.

Los huesos del cuerpo humano acumulan preferentemente el plomo, llegando a contener el 90% del total. En promedio el tiempo de residencia de plomo en los huesos es cercano a los 10 años. Cuando el plomo está contenido en la sangre

gr el 70% se elimina por la orina, 10% por las heces fecales y el resto por otros medios.

La medición de plomo en la sangre de inmediato refleja cuando una persona se encuentra expuesta a las fuentes de contaminación. En una exposición durante ocho horas en aire conteniendo un bajo nivel como  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire, se refleja en un drástico aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{dl}$  de sangre, y cuando se tiene una exposición de 24 hr el nivel probablemente es el doble.

#### VIII.d.2. Parámetros de intoxicación.

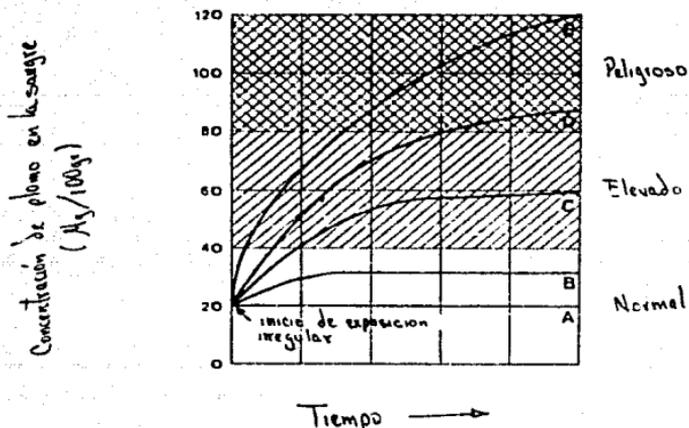
El común de la gente mantiene una concentración de 10 a 40 microgramos de plomo/10 gr de sangre ( $10-40 \mu\text{g}/100\text{gr}$ ), y se ha llegado a encontrar que cuando se alcanza un mínimo de  $50 \mu\text{g}/100 \text{gr}$  se pueden llegar a presentar señales claras de envenenamiento.

Se pueden observar gráficamente los niveles de plomo en la sangre vs el tiempo de exposición a la fuente de intoxicación.

La curva A y B muestran una exposición variable con un intervalo normal de plomo en la sangre. Un aumento en el tiempo de exposición lo muestra la curva C con un equilibrio en la concentración de plomo. Las curvas D y E muestran un alto nivel de exposición con un intervalo peligroso de concentración de plomo en la sangre, o un claro envenenamiento.

#### VIII.d.3. Efectos tóxicos.

Los efectos que se manifiestan durante la intoxicación varían dependiendo de la cantidad de plomo, afectando más



VARIACION DEL PLOMO EN LA SANGRE  
DURANTE EL TIEMPO DE EXPOSICION A LA FUENTE DE  
CONTAMINACION

fuerza a los niños que a los adultos.

A la enfermedad causada por el plomo se le conoce como saturnismo o intoxicación plúmbica. Los síntomas de intoxicación son: sabor metálico algo dulce en la boca, sensación de ardor en la boca, sed inusual, vómito y diarrea.

El plomo dentro del cuerpo afecta la formación de enzimas. Además daña el sistema nervioso central y periférico cuando se ha tenido una baja exposición al manejo de este metal. Puede causar un aumento de la irritabilidad y deterioro en la capacidad y habilidad de aprendizaje.

Si el personal se encuentra en contacto directo con el plomo o manejando alguno de sus derivados durante un tiempo grande, la acumulación de plomo dentro del organismo puede llegar a ser mortal. En estos casos críticos se dan los síntomas siguientes: parálisis, anemia, convulsiones, pérdida de la capacidad visual y mental, formación de una línea característica de color verde en las encías y una mancha de color canela en las uñas, dolor abdominal conocido como "cólico del plomo", anemia, dolor y debilidad muscular, jaqueca, ... En mujeres en estado de embarazo hay probabilidades de tener un aborto y disturbios de la función ovulatoria; en los hombres puede disminuir la fertilidad.

#### VIII.d.4. Consideraciones de seguridad.

Cuando el personal que trabaja en contacto directo con compuestos de plomo o en el manejo de pinturas se hace necesario disminuir el valor de  $30 \text{ mg}/100 \text{ gr}$  y tomar medidas de monitoreo biológico del personal de esta área de trabajo. Como medida de seguridad se debe disminuir la concentración en el aire a menos de  $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$  con ventiladores; en áreas con polvo suspendido debe haber vaporizadores de agua para disminuir el número de partículas suspendidas en el aire; se debe evitar el uso de barredoras secas en lo posible y emplear barredoras de vacío. Además es necesario el empleo obligatorio de ropa adecuada, mascarilla y una limpieza perfecta de la piel, recalcando el aseo cuidadoso de manos y uñas antes de la comida.

Es necesario que al personal que trabaje en la industria del plomo o ramas afines independientemente del área de

trabajo se le determine cada seis meses el nivel de plomo en la sangre. Cuando el empleado tenga  $70\mu\text{g}/100\text{ gr}$  se hace necesario repetir el análisis de sangre e investigar las causas de este nivel de plomo; cuando se tenga  $80\mu\text{g}/100\text{ gr}$  además de las acciones anteriores se hace una revisión médica y se debe disminuir la exposición del personal; si se presentan  $100\mu\text{g}/100\text{ gr}$  se debe quitar al empleado de esta zona y tomar medidas que tiendan a corregir el nivel de plomo en la sangre por lo menos a  $70\mu\text{g}/100\text{ gr}$ . Un examen periódico por lo menos cada año debe incluir un análisis de plomo en la sangre y un chequeo médico junto con una determinación urinaria.

En industrias que trabajen con plomo o derivados de este se debe prohibir fumar, beber o comer dentro del área de proceso, para lo cual el lugar destinado a lo mismo deberá estar separado de la zona de proceso, observándose lo mismo para los lugares destinados a regaderas; la limpieza del cuerpo debe ser perfecta y en los lockers destinados a la zona limpia no se debe guardar ropa de trabajo para evitar contaminación de la misma.

Para evitar la inhalación o ingestión de gases, neblinas o cualquier otra forma de plomo se hace necesario etiquetar con la leyenda siguiente:

"Precaución"

Contiene plomo

Evitar ingerir y respirar los gases y neblinas  
por períodos prolongados

#### VIII.d.4. Tratamiento.

El plomo es un metal que facilmente se acumula en el cuerpo, requiriéndose aproximadamente un año para que vuelva a su estado normal cuando ha sido alterado (10-40 /100 gr, concentración normal).

En industrias que trabajan con este metal o sus derivados como la de acumuladores, es recomendable el consumo de leche en abundancia. Cuando existe intoxicación se debe hacer un lavado de estomago con sulfato de sodio al 2% y en caso de intoxicación crónica se requiere el empleo de la - sal calcica y disodica del ácido etilendiaminotetracético, EDTA, que rápidamente elimina el plomo del cuerpo.

A continuación se expondrá un programa de complemento de alimentación obtenido de la experiencia en el trabajo de la industria de acumuladores. Este programa de complemento dietético fué practicado durante el lapso de 11 años, hasta el momento en que se dió a conocer se seguía practicando por el autor del mismo que aun se mantiene en activo en la misma industria de los acumuladores (1988).

Se tenia como antecedente en al menos dos compañías de acumuladores proveer a los trabajadores con un "complemento adicional de leche" para su consumo individual, o bien proporcionarles agua gasificada con elevado contenido de sales de Calcio y Magnesio.

Esta observación ha sido incondicionalmente reforzada por la aparición de reportes sobre los aparentes efectos de compuestos orgánicos de Calcio y de las vitaminas C y E, sobre el nivel de plomo en la sangre, así como reportes sobre

la competencia entre el plomo y el calcio frente a un mismo enlace molecular en los eritrocitos en años más recientes.

Inicialmente durante dos años el autor del programa inició el consumo de glicerofosfato de calcio como fuente primaria de calcio orgánico asimilable, registrándose en los análisis de sangre y orina índices de plomo y protoporfirina aceptables. Debido a la escasez y descontinuación del glicerofosfato del mercado se interrumpe la dosis durante dos años.

Posteriormente se recurrió al empleo de gluconato de calcio y bromo-galactato de calcio en combinación con ácido L-ascórbico y fumarato ferroso, todos en presentación comercial común.

Calcio orgánico	500 mg/dosis	una dosis/semana
Acido L-ascórbico	1000 mg/dosis	una dosis/semana
Fumarato ferroso	50 mg/dosis	una dosis/2 días
Consumo de agua (agua simple o infusión de café)		1500-1800 ml/día durante 2 años

No se dispone de reportes de laboratorio sobre el índice de plomo y protoporfirina del sujeto en esta etapa, y no se presentaron síntomas asociados con la presencia de plomo con respecto a alteraciones gástricas o neuromusculares, ni efectos sobre lucidez intelectual, memoria y función carotí vascular. Se observó, sin embargo una disminución de la resistencia del esmalte dentario al ataque bacteriano, con caries profunda y fragilidad del material dentario.

Se continuo el complemento dietario adicional del autor

programa preventivo con: ácido acetil-salicílico, cloruro de sodio, cloruro de potasio y yoduro-yodato de potasio.

Dos años después incluyo un régimen alimentario rico en vegetales frescos que contienen vitamina E (como aguacate y chile verde), como fuente primaria de la vitamina y como diurético natural. El régimen alimentario al cual llego - el autor fue el siguiente.

Calcio orgánico	500 mg/día	diez dosis consecutivas/60días +
Acido L-ascórbico	1000 mg/día	diez dosis consecutivas/60días +
Acido acetil-salí- cílico	100 mg/día	cinco dosis consecutivas/60días +
Cloruro de sodio	300 mg/día	diario, en alimentos (sal de mesa no purificada)
Cloruro de potasio	55 mg/día	diario, en alimentos
Fumarato ferroso	50 mg/dosis	una dosis/3 días
Yoduro-yodato potá- sicos.	50 mg/dosis	una dosis/7 días
Agua	1500-1800 ml/día	
Vegetales (aguacate)	250 g/semana	
(chile verde)	0.5-1.0 g/día	en alimentos

+ Una dosis/día, durante diez días consecutivos, y 50 días de espera.

Este patrón se repite cada seis meses.

## IX CONCLUSIONES

La variedad de situaciones del empleo de plomo (como material más económico) en la industria química se fundamenta principalmente en su resistencia química al ataque corrosivo de agentes químicos que únicamente pueden ser manejados por este material, tal es el caso del ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido crómico entre otros.

La estabilidad de la película de la sal formada por el agente químico en contacto con el plomo determina el tiempo de vida útil durante el cual equipo construido con este material puede estar en servicio.

Factores químicos y mecánicos determinan el empleo de plomo puro o aleado, destacando como principales aleantes el antimonio y telurio que aumentan su dureza, pero cuando el plomo no brinda la resistencia mecánica deseada para la construcción de equipo se puede emplear una variedad de composiciones físicas en las cuales se combina con otros materiales para que la unión tenga la resistencia a la corrosión del plomo y la resistencia mecánica del material de soporte.

La estructura cristalina de los granos de plomo va a determinar sus propiedades que muestran durante el trabajo modificándose sus propiedades mecánicas y químicas.

Esta variación de propiedades del plomo hace que resulte difícil el empleo de parámetros estándar para aplicarlos a situaciones específicas por lo cual los datos experimentales reportados sobre propiedades mecánicas se deben tomar

unicamente como puntos de referencia para su aplicación en casos particulares. Los factores que pueden determinar la variación de propiedades son: tamaño del grano, temperatura en el cuarto de prueba, tiempo de prueba, composición química del plomo fundido o extruido y magnitud de la fuerza aplicada.

Por lo anterior es razonable el pensar porque resulta difícil el llevar un control de productos elaborados con plomo en base a propiedades tal como resistencia a la tensión o al impacto. Si no se toman en cuenta todos los puntos ya mencionados se puede caer en el error de tomar decisiones erróneas sobre la calidad del producto.

Dentro de los usos industriales también destaca el uso del plomo en soldaduras cuando esta aleado con estaño, y en casos especiales también con plata, aprovechando su bajo punto de fusión que permite llevar a cabo uniones entre metales sin requerirse equipo especial de soldadura.

Es de vital importancia recordar que el plomo es un metal que es muy tóxico a la salud e incluso mortal manifestándose por una serie de síntomas los cuales en algunos casos se pueden observar con personal que ha estado expuesto un mínimo de tiempo al contaminante y en otros casos personal que muestra una adaptación biológica a la introducción del plomo a su cuerpo.

El problema biológico que se presenta con el plomo (afortunadamente no es útil a las funciones vitales del organismo humano) es, por no formarse compuestos orgánicos que puedan ser eliminados rápidamente por los diferentes medios de ex-

creación del cuero, acumulándose en algunos casos hasta 10 años principalmente en los huesos.

La toxicidad del plomo es uno de los factores que ha influído a que se tienda a disminuir el consumo del plomo a nivel nacional, como se vió en el análisis económico, buscándose alternativas que lo substituyan principalmente en casos como el del tetraetilo de plomo en gasolinas y los recubrimientos de cables. En el caso de las baterías, destaca como la principal industria que lo consume como óxido de plomo y como plomo aleado (antimonioal principalmente) la cual muestra un crecimiento en su consumo en los últimos años.

Se ha visto que la variedad de productos que emplean plomo en sus diversas formas es muy grande por lo que nos encontramos expuestos a la ingestión de plomo en cualquier momento. Dentro de estos productos se hace necesario resaltar un artículo común con el cual estamos en contacto a diario, estos objetos son las vajillas y artículos domésticos principalmente fabricados de cerámica. Todos estos objetos tienen aplicado un recubrimiento externo que le dá un acabado cristalino y vidrioso característico unicamente de los compuestos de plomo. Los compuestos químicos de plomo son principalmente óxido de plomo, carbonat de plomo y silicatos de plomo. Factores fisicoquímicos que marcan la preferencia de los compuestos de plomo respecto a otros compuestos que no lo contienen son entre otros, facilidad para fluir fundidos (baja viscosidad) y baja tensión superficial en un amplio intervalo de temperaturas que le van a dar bri

llantez, lustre y uniformidad del recubrimiento sin defectos, puntos que son necesarios para el recubrimiento.

FLUJO DE PRODUCCION DE LA MAYORIA DE LOS PRODUCTOS DE PLOMO

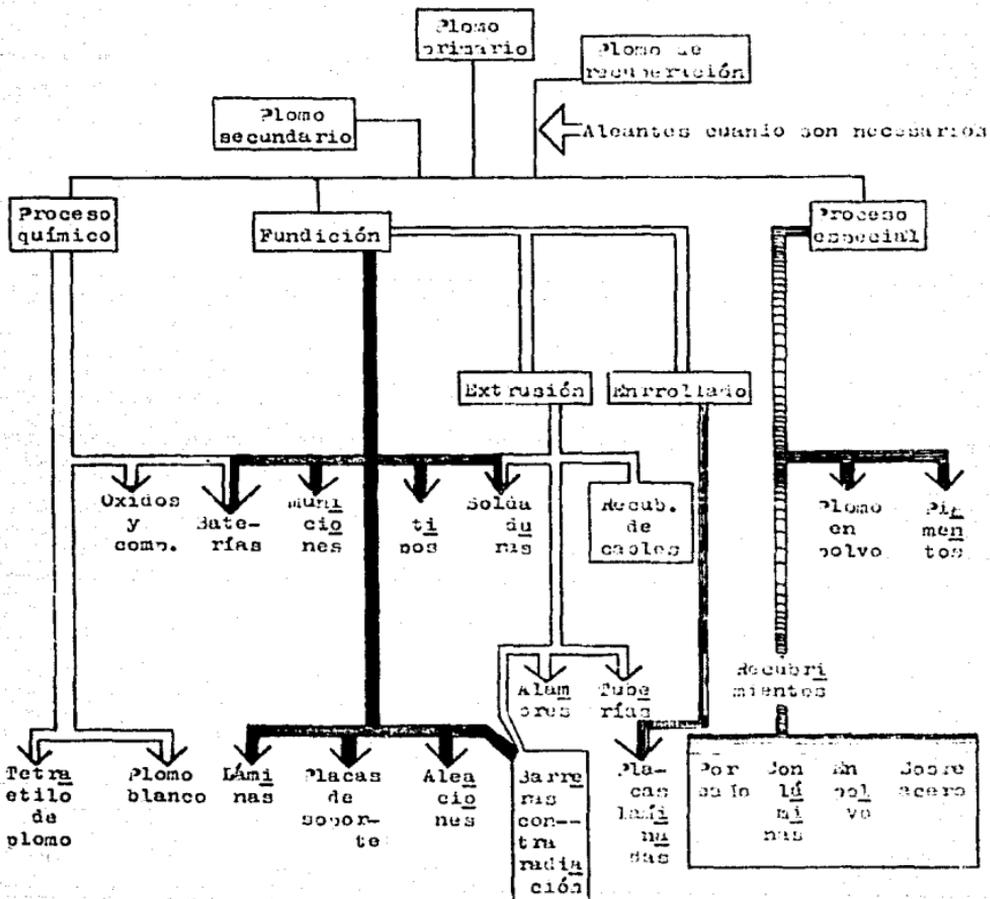


Figura 1

Tabla 1

USOS DEL PLOMO

- Estructura de rejilla y partes de acumuladores
- Recubrimiento de cables de corriente eléctrica y telefónicos.
- Placas de plomo para edificios.
- Tubería de plomo.
- Placas de plomo para protección de rayos X y gama.
- Hojas de plomo para empaques y protección contra la hmedad.
- Plomo para calcado.
- Plomo para soldaduras.
- Como elemento secundario en soporte de metales.
- En tipos de metal.
- Para producción de tetraetilo de plomo.
- Plomo rojo y litargio en vidrio y barnices.
- Esmaltado de aluminio.
- Plumbito de sodio en refinación de aceite.
- En la industria del cuero artificial, linoleum y acelerador del caucho.
- Arsenito de plomo en insecticidas.
- Compuestos de plomo en plásticos, explosivos y mechas.
- Placas de plomo para atenuar los ruidos y vibraciones.

Tabla 2

EQUIPO DE PLOMO EMPLEADO EN LA INDUSTRIA QUIMICA  
Y CAMPOS AFINES

Botellas para ácido	Conducto de humo
Concentradores de ácido	Serpentines de calentamiento
Precipitadores en neblina ácida.	Intercambiadores de calor
Agitadores	Equipo de laboratorio.
Anodos para refinación y recubrimiento de metales.	Bancos de taller
Autoclaves	Tuberías y tuberías recubiertas.
Condensadores	Tuberías de brida y accesorios.
Digestores	Bombas
Columnas de destilación	Carro-tanques de ferrocarril.
Ductos	Equipo de proceso de rayón
Recubrimiento en celdas electrolíticas	Reactores.
Evaporadores	Lavadores.
Extractores	Separadores.
Filtros y rejillas de filtración.	Tanques de almacenamiento.
Misos y recubrimientos de pisos.	Torres.
	Valvúlas.

PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION EN EQUIPO PROTEGIDO CON PLOMO

INSPECCION	DEFECTOS MECANICOS	UNIONES INCOMPLETAS	PERFORACIONES	INCLUSIO NES IN-- FERNAS	FRACTURAS SUPERFI-- CIALES.
Visual	Si				Si
Hidrostatico ó vacío	Si				
Frenación	Si	Si	Si	Si	
Finta gene-- trante					Si
Compuesto fluorescente					Si
Lavado con <u>á</u> cido (3)			Si		Si
Queroseno (L)			Si		
Flama de gases			Si		
Radioactivos			Si		
Combustión interna de gases (B)			Si		
Vapor caliente			Si		
Aire caliente			Si		
Ultrasonido			Si	Si	
Radioografiado	Si			Si	

Notas: (3) Unicamente recubrimientos soldados

(L) Unicamente recubiertos unidos mecánicamente

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL PLOMO

Numero atómico	82	
Peso atómico	207.2	
Valencias	2 y 4	
$A^{\circ}$	4.949	
Potencial de ionización	ev	
primer electrón	7.42	
segundo electrón	15.03	
tercero	32.08	
cuarto	42.25	
quinto	69.7	
Punto de fusión (pf)	327.4 <sup>o</sup> C	
Punto de ebullición (pe)	1751 <sup>o</sup> C	
Densidad	<sup>o</sup> C	$\frac{g}{cm^3}$
sólido	20	11.35
	327.4	11.00
líquido	327.4	10.69
	400	10.57
	500	10.44
	600	10.33
	700	10.23
	800	10.14
Presión de vapor	<sup>o</sup> C	mm Hg
	482	0.000013
	727	0.017
	800	0.076
	1000	1.91
	1200	19.1
	1400	110.5
	1703	760.0 (pb)
Viscosidad	<sup>o</sup> C	cn
	441	2.12
	551	1.70
	703	1.35
	844	1.19

Tensión superficial	°C	dina/cm	
	327.4	444	
	400	438	
	500	431	
	750	423	
	900	401	
	1000	397	
Conductividad térmica	°C	cal/cm <sup>2</sup> /cm/°C/seg	
	0	0.083	
	100	0.081	
	200	0.077	
	400	0.038	
	500	0.037	
	700	0.036	
Coeficiente de expansión térmica	°C	°C	
	lineal desde -190°C a 19°C	0.0000265	
	lineal desde 10°C a 100°C	0.0000295	
	cubico desde 17°C a 100°C	0.000085	
cubico para el líquido de 327.4°C a 357°C		0.0000129	
Calor específico $C_p = 5.67 + 0.0023T$ cal/mol ((-50°C) a pf)			
sólido	°C	cal/g	cal/mol
	-50	0.0298	6.18
	0	0.0303	6.28
	25	0.0307	6.36
	50	0.0309	6.40
	100	0.0315	6.52
	200	0.0325	6.73
	300	0.0338	7.00
	327.4	0.0340	7.05
	líquido	327.4	0.0333
vapor (teórico)		0.0240	4.97
Calor latente de fusión		5.91	cal/g
Calor latente de vaporización		202	cal/g
Entropía		cal/grado	
	sólido	25	15.49
	líquido		20.93
	vapor		41.93
Incremento en volumen desde 20°C a 327.4°C		6.1%	
Contracción en la solidificación		3.85%	
Contracción en fundiciones		7/64 a 5/16	pulg/pie
Temperatura mínima de recristalización		-33°C	

## Continuación tabla 4

147

Resistividad electrica	$^{\circ}\text{C}$	microhm/cm
	-18	14
	0	20
	20	20.65
	100	27.02
	300	47.94
	400	101.3
Velocidad del sonido en el plomo		1227 m/seg
Susceptibilidad magnetica, $10^{-6}$ unidades cgs		-0.12
Resistencia a la tensión, $\text{Kg}/\text{cm}^2$		126.55-175.77
Módulo de elasticidad, $10^6 \text{Kg}/\text{cm}^2$		0.155
Superconductividad a $^{\circ}\text{K}$		bajo 7.25
Dureza Brinell (fundición)		4.2
Potencial de reducción en solución de electrolito		-0.122

Tabla 5

SOLUBILIDAD DE COMPUESTOS DE PLOMO

COMPUESTO DE PLOMO	FORMULA	TEMP. °C	SOLUBILIDAD g/100cc agua
acetato	$Pb(C_2H_3O_2)_2$	20	44.3
bromuro	$PbBr_2$	20	0.8441
carbonato	$PbCO_3$	20	0.00011
carbonato basico	$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$	--	insoluble
clorato	$Pb(ClO_3)_2 \cdot H_2O$	18	151.3
cloruro	$PbCl_2$	20	0.99
cromato	$PbCrO_4$	25	0.0000058
fluoruro	$PbF_2$	18	0.064
hidróxido	$Pb(OH)_2$	18	0.0155
yoduro	$PbI_2$	18	0.063
nitrato	$Pb(NO_3)_2$	18	56.5
oxalato	$PbC_2O_4$	18	0.00016
óxido	$PbO$	18	0.0017
ortofosfato	$Pb_3(PO_4)_2$	18	0.000014
sulfato	$PbSO_4$	25	0.00425
sulfuro	$PbS$	18	0.01244
sulfito	$PbSO_3$	--	insoluble
dióxido	$PbO_2$	--	0.000023
bromato	$Pb(BrO_3)_2$	20	1.34

Tabla 6

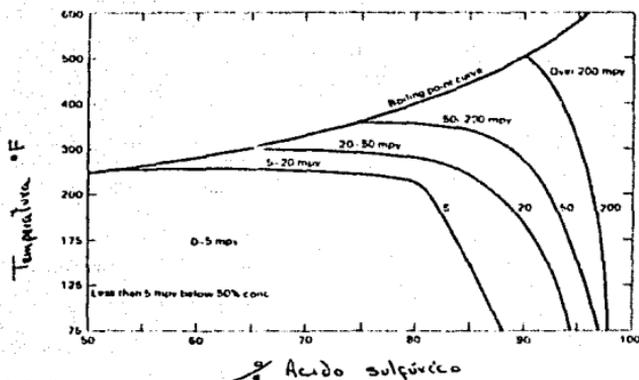
COMPARACION DE RAPIDEZ DE CORROSION

<u>Material</u>		<u>Densidad</u>	<u>Rapidez de corrosión</u>	
<u>Tipo</u>	<u>Grado</u>	<u>lb/ft<sup>3</sup></u>	<u>mdd</u>	<u>mpa</u>
Plomo	Químico o recu brimiento so— bre cobre.	708	70	8.9
Acero	AISI 1020	490	60	11
Aluminio	Aleación 1100	169	50	27
PVC	Duro	90	40	40

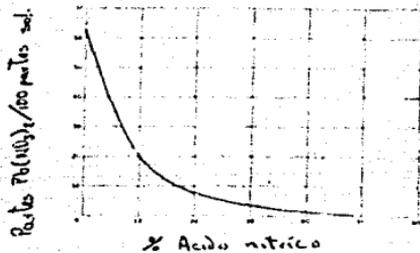
Notas

mdd= miligramos/decimetro cuadrado/día

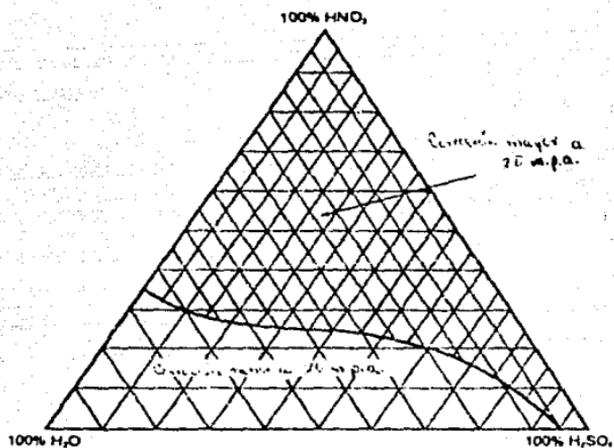
mpa= milesimas de pulgada/año

Figura 2

*% Acido sulfúrico*  
**RAPIDEZ DE CORROSION DEL  
 PLOMO EN ACIDO SULFURICO**

Figura 3

*% Acido nitrico*  
**SOLUBILIDAD DE NITRATO  
 DE PLOMO EN ACIDO SULFURICO**

Figura 4

RESISTENCIA A LA CORROSION DEL PLOMO  
EN UNA MEZCLA DE ACIDOS

Tabla 7

PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS

Plomo	Forma (a)	Punto fusión °C	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Resist. tensión nsi	Elong. %	Dureza Brinell numero
Puro	f	327.4	11.34	1900	45	4.0
Por co- rroer	ex	327.4	11.35	-	-	-
Refinado	e	327.4	11.36	1760	53	3.3
Químico	f	325.6	11.34	2600	45	5.2
Bajo con tenido	ex	325.6	11.35	2500	50	-
de plata	e	325.6	11.36	2400	51	4.7
0.04% Te	f	326	11.34	3000	45	5.7
Químico	e	326	11.36	2800	47	5.5
4% Sb	f	251-299	11.04	5400	25	10.0
5% Sb	f	251-290	10.95	6100	23	10.8
6% Sb	f	251-285	10.93	6600	22	11.0
6% Sb	ex	251-235	-	4500	41	-
8% Sb	e	251-295	-	4300	42	8.7
10% Sb	f	251-259	10.59	7400	16	13.8

(a) f= fundición      ex= extracción      e= entrollado

Tabla 8

153

**CORROSION DE PLOMO  
EN ACIDO NITRICO**

Solución	Razón de corrosión mra	
	24°C	50°C
1% HNO <sub>3</sub>	140	600
5% HNO <sub>3</sub>	1650	1350
10% HNO <sub>3</sub>	3400	3490

Tabla 9

**ESEJO DEL ACIDO SULFURICO EN ACIDO NITRICO  
SOBRE LA CORROSION DEL PLOMO A 118°C**

Solución	PloMO químico	PloMO antimonial 6%
	mra	mra
54% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0% HNO <sub>3</sub>	7.4	14
54% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1% HNO <sub>3</sub>	5.9	22
54% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 5% HNO <sub>3</sub>	8.4	114

Tabla 10

**CORROSION DE PLOMO QUIMICO EN UNA MEZCLA DE ACIDOS  
NITRICO Y SULFURICO**

Solución	Razón de corrosión mra	
	24°C	50°C
78% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0% HNO <sub>3</sub>	1	2
78% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 1% HNO <sub>3</sub>	3	12
78% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 3.5% HNO <sub>3</sub>	3.5	13
78% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 7.5% HNO <sub>3</sub>	4	35

Tabla 11

CORROSION DE PLOMO EN UNA MEZCLA DE ACIDOS  
CLORHIDRICO Y SULFURICO

Solución	Plomo cálmico		Plomo antimonial 6.5	
	mm		mm	
	24°C	66°C	24°C	66°C
1% HCl + 9% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	9	5	12
3% HCl + 7% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14	32	21	41
5% HCl + 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14	42	21	65
7% HCl + 3% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	45	22	74
9% HCl + 1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	18	47	30	84
5% HCl + 25% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	22	22	34
10% HCl + 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17	42	30	53
15% HCl + 15% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	41	74	90	130
20% HCl + 10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	36	120	110	130
25% HCl + 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	140	160	150	210
5% HCl + 45% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	62	-	53	-
10% HCl + 40% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	65	-	34	-
15% HCl + 35% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	66	-	120	-
20% HCl + 30% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	34	-	130	-
25% HCl + 25% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	120	-	210	-

Tabla 12  
CORROSION DE PLOMO QUIMICO EN ACIDO FOSFORICO A 21°C

Solución	Hazón de corrosión mpa (a)
impuro 20% $H_3PO_4$	3.4
impuro 30% $H_3PO_4$	4.9
impuro 40% $H_3PO_4$	5.7
impuro 50% $H_3PO_4$	5.4
impuro 85% $H_3PO_4$	1.5
impuro 90% $H_3PO_4$	12.8

(a) milésimas de pulgada por año

Tabla 13  
CORROSION DE PLOMO EN  
ACIDO CLORHIDRICO A  
24°C

Solución	Plomo químico mpa	Plomo antimon. 5% mpa
1% HCl	24	33
5% HCl	16	20
10% HCl	22	43
15% HCl	31	150
20% HCl	74	160
25% HCl	190	200
35% HCl (b)	350	540

Tabla 14  
CORROSION DE PLOMO EN MEZCLAS  
DE ACIDO CLORHIDRICO-CLORURO  
FERRICO A 24°C

Solución	Plomo químico mpa	Plomo antimon. 5% mpa
15% HCl		
+ 5% $FeCl_3$	28	37
10% HCl		
+ 5% $FeCl_3$	41	76
15% HCl		
+ 5% $FeCl_3$	88	150
20% HCl		
+ 5% $FeCl_3$	190	190

(b) ácido clorhídrico concentrado comercialmente.

Tabla 15

CORROSION DE PLOMO EN UNA MEZCLA DE ACIDOS  
SULFURICO Y FOSFORICO A 40°C

Solución	Plobo químico	Plobo antimonial 6%
	mpa	mpa
5% $H_2SiF_6$	53	77
5% $H_2SiF_6$ + 5% $H_2SO_4$	9	14
10% $H_2SiF_6$	64	115
10% $H_2SiF_6$ + 1% $H_2SO_4$	88	76
1% $H_2SiF_6$ + 10% $H_2SO_4$	4	9

## Potenciales de reducción estándar en solución acuosa a 25°C

Semirreacción de reducción	Potencial de reducción estándar (volts)
$\text{Li}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	-3.05
$\text{K}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	-2.93
$\text{Ba}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-2.90
$\text{Ca}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-2.87
$\text{Na}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	-2.71
$\text{Mg}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-2.37
$\text{Al}^{3+}(\text{ac}) + 3 \text{e}^-$	-1.66
$\text{Mn}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-1.18
$\text{Zn}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.76
$\text{Cr}^{3+}(\text{ac}) + 3 \text{e}^-$	-0.74
$\text{Fe}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.44
$\text{Cr}^{2+}(\text{ac}) + \text{e}^-$	-0.41
$\text{Cd}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.40
$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2 \text{e}^-$	-0.36
$\text{Ti}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	-0.34
$\text{Co}^{3+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.28
$\text{Ni}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.25
$\text{Ag}(\text{s}) + \text{e}^-$	-0.15
$\text{Sn}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.14
$\text{Pb}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	-0.13
$2 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.00
$\text{Ag}(\text{s}) + \text{e}^-$	0.00
$\text{S}(\text{s}) + 2 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.14
$\text{Sn}^{4+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.15
$\text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + \text{e}^-$	0.15
$\text{SO}_4^{2-}(\text{ac}) + 4 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.20
$\text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.34
$\text{Cu}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	0.52
$\text{I}_2(\text{s}) + 2 \text{e}^-$	0.53
$\text{Fe}^{3+}(\text{ac}) + \text{e}^-$	0.77
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.79
$\text{Ag}^+(\text{ac}) + \text{e}^-$	0.80
$2 \text{Hg}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	0.92
$\text{NO}_2^-(\text{ac}) + 4 \text{H}^+(\text{ac}) + 3 \text{e}^-$	0.96
$\text{AuCl}_4^-(\text{ac}) + 3 \text{e}^-$	1.00
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2 \text{e}^-$	1.07
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{ac}) + 4 \text{e}^-$	1.23
$\text{MnO}_2(\text{s}) + 4 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	1.23
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{ac}) + 14 \text{H}^+(\text{ac}) + 6 \text{e}^-$	1.33
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	1.36
$\text{ClO}_2^-(\text{ac}) + 5 \text{H}^+(\text{ac}) + 5 \text{e}^-$	1.47
$\text{Au}^{3+}(\text{ac}) + 3 \text{e}^-$	1.50
$\text{MnO}_4^-(\text{ac}) + 8 \text{H}^+(\text{ac}) + 5 \text{e}^-$	1.52
$\text{PbO}_2(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{ac}) + 4 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	1.68
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{ac}) + 2 \text{H}^+(\text{ac}) + 2 \text{e}^-$	1.77
$\text{Co}^{3+}(\text{ac}) + \text{e}^-$	1.82
$\text{F}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	2.87

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AUSTRALIAN LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Lead Battery Power. Number 20, November 1976
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1985. México 1986.
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES. Directorio de la Minería Mexicana. Tomo I Metálicos. México 1983.
- CONSIDINE DOUGLAS M. Chemical and Process Technology Encyclopedia. 1974
- DOROTHY GREENINGER, VALERIE KOZLOVICH, and CHARLES H. KLINE Lead Chemicals.
- J.K. PROTOWKI, D.O. COLEMAN. Environmental Hazards of Heavy metals; Summary evaluation of Lead, Cadmium and Mercury. Marcenort Number 20, 1980
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA La minería en México. México 1984.
- INDEPENDENT BATTERY MANUFACTURERS ASSOCIATION. Manual de Alenciones de Bñillas de Acumulacion, Almacenamiento e Inas-  
U.S.A. 1973.
- LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Lead Cable Sheathing Work-  
shop. London.
- LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Lead and its uses. London
- LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Technical notes on Lead.  
Production, Properties and Uses. London 1974
- LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Notes on Lead for Students.  
Lead Sheet and Pipe in Buildings. London

- LEAD DEVELOPMENT ASSOCIATION. Lead Power News. April 1975, Number 1. London.
- LEAD INDUSTRIES ASSOCIATION. Lead. Vol 44, No. 2, 1981 New York.
- LEAD INDUSTRIES ASSOCIATION. Lead. Vol 43, No. 2, 1980 New York
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Airborne Lead in Perspective. Washington D.C. 1972.
- PATTON. Ciencia y Tecnología de la soldadura. España, URSO, 1975.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook. 1972
- WILHELM HOFMAN. Lead and Lead Alloys. New York 1970
- WORLD BUREAU OF METAL STATISTICS. World Metal Statistics March 1988. Volume 41, Number 3.
- LEAD INDUSTRIES ASSOCIATION. Lead in the Ceramic Industries. United States of America. 1956.

#### NOTAS

Además boletines publicados por el INSTITUTO MEXICANO DEL ZINC, PLOMO Y COPRODUCTOS, A.C.

La información en la parte referente a acumuladores fue obtenida de la experiencia durante el trabajo en esta industria por parte del autor de esta tesis.

El comentario referente a TRATAMIENTO en la parte de Seguridad Industrial fue obtenido del trabajo y experiencia en la industria de acumuladores por personal que ha laborado en la misma.