



0/11 5303642
1155

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

PRUEBAS ACCELERADAS DE CORROSION
DE LOS RECUBRIMIENTOS PLASTICOS
EN CONDUCTORES ELECTRICOS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE SAMUEL BIRKENFELD

MEXICO, D. F.

1968.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MIS PADRES:

1155



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
Dirección
Núm. 73-453
Exp. Núm. 73/

Al Pasante señor ENRIQUE SAMUEL BIRKENFELD
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor Profesor Ingeniero VICENTE KACHER TODO, para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA.

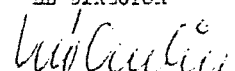
"PRUEBAS ACELERADAS DE CORROSION DE LOS RECUBRIMIENTOS PLASTICOS EN CONDUCTORES ELECTRICOS"

1. Introducción
2. Generalidades sobre corrosión
3. Generalidades sobre protección contra la corrosión
4. Datos Generales
5. Conductores
6. Aislamientos
7. Pruebas y Métodos de pruebas
8. Equipo de Laboratorio
9. Conclusiones.

Puesto a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., a 20 de Junio de 1968
EL DIRECTOR


Ing. Manuel Paulín Ortíz


MPO: MPO: mb.

I N D I C E :

PRIMERA PARTE:

CAPITULO I.

Generalidades sobre Corrosión.

CAPITULO II.

Generalidades sobre Protección
contra la Corrosión.

SEGUNDA PARTE:

DATOS GENERALES.

CONDUCTORES.

AISLAMIENTOS.

MÉTODOS Y MEDIDAS DE PRUEBA.

EQUIPO DE LABORATORIO.

CONCLUSIONES:

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

En la actualidad la Industria en general está enormemente afectada por el fenómeno de la corrosión, y aunque se toman todas las medidas y previsiones posibles, no se pueden evitar las pérdidas de metales por corrosión.

Estas pérdidas están disminuyendo rápidamente debido a que la ciencia encuentra día a día nuevos métodos o mejora los ya conocidos para evitar y prevenir con ellos el avance de la corrosión.

Los países de mayor potencialidad económica, tales como: los Estados Unidos de Norte-America, Alemania, Japón, etc., son los más interesados en desarrollar nuevos procesos, por medio de los cuales se logre evitar en mayor o menor grado los perjuicios ocasionados por la corrosión.

La potencialidad económica de un país, está determinada principalmente en relación a su consumo anual de acero, hierro y minerales en general, debido a lo cual estos países y el resto del mundo deberán estudiar y mejorar los conocimientos y métodos de Protección contra la Corrosión.

Los primeros cálculos correctos de la magnitud de las pérdidas causadas por la corrosión, datan aproximadamente de la segun-

da década de nuestro siglo. Sobre la base de una estadística cuidadosa, el West Scotland Iron and Steele Institute, comprobó que por la formación de óxido se habían destruido los años 1890 y 1923, nada menos que 718 millones de toneladas de hierro, de los 1766 millones de toneladas que alcanzó la producción total.

W.J. Overbeck de la Compañía Dupont, señala en 1925 que se podía estimar en 2500 millones de dólares anuales los gastos de protección contra la corrosión en Estados Unidos, solamente, mientras que F.P. Spaller calcula que el hierro perdido por corrosión en el mismo tiempo y país es del 1 a 2% del que se encuentra en servicio, lo que supone una cifra de 4 a 8 millones de toneladas por año. En Alemania, P. Georens estimó en 6.5 millones de marcos la cantidad invertida anualmente por los ferrocarriles Alemanes en su lucha contra la corrosión.

Pero sólo se han conseguido datos verdaderamente amplios mediante el análisis de los perjuicios provocados por la corrosión realizado por el trabajo conjunto de numerosos Institutos de los Estados Unidos, los cuales agradeceremos a H.H. Uhlig del Massachussets Institute of Technology, Laboratorio de Co-

rosión del Departamento de Metalurgia, quien ha presentado los resultados en la Conferencia Científica sobre conservación y utilización de recursos de las Naciones Unidas, celebrada en 1949. En la obtención de los muy cuidados y bien fundados datos numéricos, colaboraron numerosos especialistas aislados y las corporaciones National Paint, Varnish and Laquer Ass., American Iron and Steele Institute y muchos más.

Las cifras antes mencionadas nos dan una muestra más o menos concreta de lo que representan las pérdidas por corrosión, pero antes hay que distinguir lo siguiente:

a). PERDIDAS INDIRECTAS:

Las pérdidas indirectas son muy difíciles de evaluar, hay que contar aquí con los efectos sobre la salud y la vida de los hombres, que pueden ser la consecuencia de explosiones y de fugas en agregados industriales no estancos. Se incluyen en estas pérdidas las de material y dinero que no se refieren propiamente al material corroido, como son por ejemplo las de petróleo, gas natural, o agua en conductos deteriorados, las de energía eléctrica, alimentos y agua potable, por el ataque corrosivo, estas últimas, de las paredes de los depósitos.

También son pérdidas indirectas los gastos excesivos que resultan de luchar contra el peligro de corrosión incrementando las dimensiones de los aparatos industriales, por introducción de mayores coeficientes de seguridad, con el fin de que se conserve la resistencia mecánica cuando se presente la corrosión. Repetimos que estas pérdidas son difíciles de valorar.

b). PERDIDAS DIRECTAS:

Las pérdidas directas se refieren a los gastos resultantes de -- sustituir las instalaciones deterioradas, corroidas y, además, todos los necesarios para mantener una protección permanente de cualquier tipo de instalaciones metálicas (Control de Corrosión), así como los que resultan de la necesidad de sustituir el acero, considerando como material de construcción usual, por otros materiales, a fin de conseguir una cierta independencia -- respecto a la duración. Entran aquí los gastos que resultan de sustituir los aceros ordinarios por los aceros aleados o por metales no ferreos. En este aspecto hay que tener también en -- cuenta que los costos de montaje por kilogramo de material más elevados que para el acero, como consecuencia de la diferencia de peso específico.

Los daños calculables producidos por la corrosión o los gastos necesarios para la protección alcanzan, sólo para los Estados Unidos sin exagerar, la cifra aproximada de 5500 millones de dolares anuales. Se puede estar seguro de que su orden de magnitud es exacto, cifra equivalente a la empleada por los Estados Unidos en el primer año del European Recovery Program.

H.H. Uhlig hizo una tabla resumen en la que los gastos individuales van acompañados del tanto por ciento que representan en la suma total. En esta tabla podemos observar rápidamente la magnitud relativa de cada gasto.

Esta tabla es una distribución aproximada y concreta en la cual se pueden resumir los gastos ocasionados por corrosión, en la industria en general.

H. H. Uhlig presentó un ejemplo muy instructivo de los que puede lograrse y de la importancia económica que tiene no descuidar las medidas de protección. Una mejora de los métodos de protección de solo un 1% representa un ahorro anual de 55 millones de dolares, así como el ahorro de varios miles de toneladas de valiosos metales críticos, mediante la protección catódica por ejemplo; es posible disminuir el espesor de las pare

des de 225 millas (360 Kms.), de tubería de 8 pulg. de diámetro (20.32 cm.) desde 0.322 pulg. (0.82 cm.) a 0.25 pulg. (0.64 cm.), lo que supone un ahorro de 3700 toneladas de acero, que equivale en el año 1945 a 330,000 dolares con un aumento simultáneo de la capacidad de conducción del 5%.

Este ahorro, como señala Stirling, referido a la totalidad de longitud de las tuberías del país, equivale a la posibilidad de financiar 50 000 millas más de tubería.

Este es uno de los miles de ejemplos que existen en cuanto a lo que a protección contra la corrosión se refiere, y a medida que pasa el tiempo y se desarrollan nuevos métodos de protección, el mundo será más rico, aprovechandose por lo tanto en mayor grado todos los recursos naturales, con un aumento considerable en la potencialidad económica de cada país.

H.H. Anderson en su comunicación de 1951 a la North Texas Section de la National Association of Corrosion Engineers (NACE), señaló que su conocimiento particular indicaba que, cuando es tan necesaria la unidad de criterio, existen diferencias entre la forma de pensar del ingeniero de fabricación y del director, por un lado en lo que se refiere al camino, frecuente-

mente incomprensible para el director, que el ingeniero sigue - para lograr la protección contra la corrosión, por otro en la estimación correcta de la importancia que tienen las ideas del especialista en corrosión de la fábrica para la buena dirección comercial de la misma. Todos deben marchar de acuerdo, al en--frentarse con un problema, sobre la forma en que debe resolverse, tanto económica como técnicamente. Cuando se vió que por métodos apropiados de acondicionamiento la Shell Pipe Line, -- consiguió en cuatro años, un ahorro medio de 800,000 dolares - al año, y se comprendió que no podría ignorarse la corrosión -- incontrolada de las líneas de tubería, se hizo patente la necesi--dad de un trabajo conjunto en el plano personal y positivo. La - consecuencia fué que el Consorcio Shell sin contar con el incre--mento de las investigaciones de laboratorio para la protección - contra la corrosión empleó a unos 40 ingenieros especialistas en corrosión para sus instalaciones exteriores.

TABLA DE DISTRIBUCION DE GASTOS:

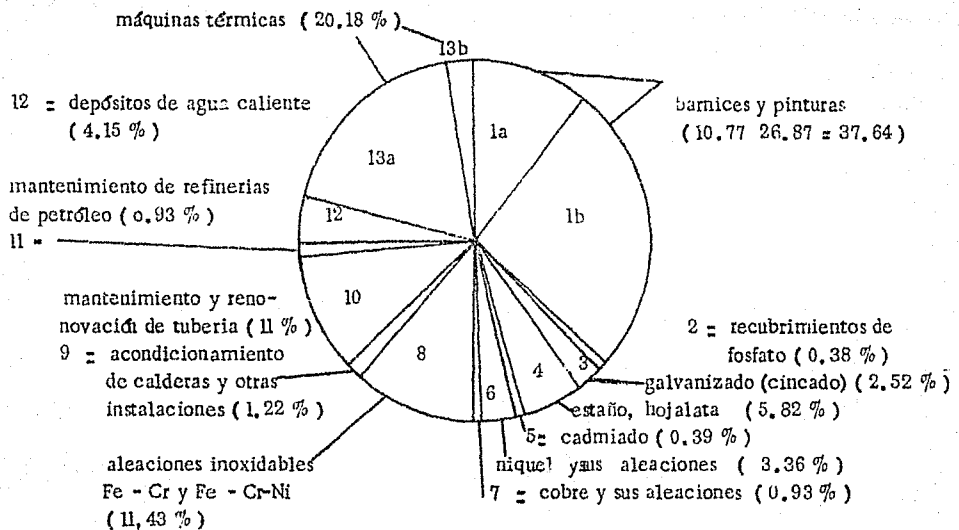
	Millones de Dlls.	% del Total:
1. Pinturas, barnices y lacas para la pro-- tección de los metales.		
a). Gastos de Material.	585	10.77
b). Salarios (Relación de 2.5/1 entre -		

	Millones en Dlls.	% del Total:
salarios y material).	1400	26.87
2. Recubrimientos de Fosfatos (material y aplicación).	20	0.38
3. Galvanizado de placas, tubos y alambre.	136.5	2.52
4. Estaño y Hojalata.	316	5.82
5. Electrocadmado.	20.1	0.39
6. Niquel y sus aleaciones (electroplaqueado; aleaciones resistentes a la corrosión y al calor, excepto aceros <u>inoxidables</u>).	182	3.36
7. Cobre y sus aleaciones.	50	0.93
8. Aleaciones inoxidables hierro, cromo y hierro niquel-cromo.	620.4	11.43
9. Acondicionamiento de calderas y otros aparatos.	66	1.22
10. 988,000 millas de tubería (gas, agua, - petróleo), su tenimiento y sustitución.	600	11.05
11. Refinerías de petróleo.	50	0.93
12. Depósitos de agua caliente en viviendas la sustitución anual es del 10% de un <u>total</u> de 30 millones de depósitos.	225	4.15
13. Motores de Combustión; la corrosión interna se refiere a 38 millones de vehículos y año.	1030	18.95

	Millones de Dls.	% del Total:
Piezas de recambio.	66	1.23
TOTAL:	5427.0	100.00

Repartición de los gastos destinados a compensar las pérdidas directas por corrosión, en tantos por cientos.

Fig. (1).



PARTE I.

CAP. I. - GENERALIDADES SOBRE CORROSION.

a). Datos importantes sobre la historia de la Corrosión hasta el año de 1900.

PREHISTORIA. - No es posible precisar cuando fué observado por primera vez el ataque corrosivo. Sólo se sabe que los caldeos y los antiguos egipcios fueron los primeros que aprendieron a beneficiar el cobre, el estaño, el hierro, el plomo y el antimonio de sus minerales. Pero no es sabido si conocieron, y en qué amplitud, la sensibilidad de tales metales frente a diferentes agentes externos (aire humedo, agua, acidos, etc.). Los pocos objetos de hierro y otros metales pertenecientes a aquellas épocas que aún se conservan (alguna joyas; egipcias, indias, y la famosa columna de Dehli, de hierro forjado purísimo), se han encontrado en países secos y cálidos.

Las primeras noticias escritas sobre los procesos corrosivos, proceden de Platón (427 a 347 A. de J.). Este gran filósofo griego no practicó ninguna investigación fundamental, sino que hizo uso de las directrices abstracto-especulativas del genio griego, para explicar lo que es el orín. Lo definió como una secreción-

de hierro, y tal punto de vista se ha mantenido durante más de -
2000 años.

Las noticias posteriores son de época Romana y los dan Plinio y Vitrubio. De ellos se deduce que los romanos conocieron el orín y también la corrosión del plomo y el cobre. De estos tiempos - se conservan muchos objetos metálicos y se conoce la forma en - que los romanos trataron de proteger contra la formación de - orín a las piezas metálicas de unión empleadas en construcción.

No vuelven a encontrarse noticias sobre el orín y la protección - contra él, hasta muchos siglos después. Solo en el año 1412, A. de J.C., se encuentran noticias, aunque muy inconcretas, sobre la destrucción de los metales. Entonces se construyeron las pri - meras obras hidráulicas en Alemania, y el maestro que las rea - lizó, Leopold Krag, empleó por primera vez tuberías forjadas, - además de las de madera. No tuvieron éxito, y en pocos años, - probablemente por corrosión, se destruyeron, por lo que se em - pezaron a utilizar tuberías de archilla, latón, zinc, y cobre, y - además más tarde sólo de madera, plomo y fundición.

Al hablar del hierro nos referimos al forjado, pues el fundido -

sólo fue conocido en los países occidentales en el año de 1479.

Pasaron aún casi 200 años hasta que se construyeran grandes tuberías de agua con fundición. Sobre ellas se produjeron notables destrucciones que fueron causa de posteriores investigaciones sobre la corrosión. Al fin del siglo XVII, empieza a hablarse de la formación de la cal, es decir, del orín del hierro. La verdadera investigación de la corrosión comienza en el siguiente siglo XVIII, y la expresión corroerse parece que empezó a usarse en 1845.

La Epoca del Flogisto. - Aproximadamente en 1700 desarrolló Georg Ernest Stahl (1660-1734), por primera vez después de Platón, una teoría de la oxidación y la formación del orín. Según esta teoría, era la formación de orín una combustión muy lenta de los metales, y en la combustión, y por lo tanto en la formación de orín se liberaba un agente, el flogisto, que no se consideraba como materia, sino como algo parecido al calor. Esta teoría fué inicialmente mal comprendida y se entendió por flogisto una verdadera materia con propiedades de tal. Sin embargo, encontró aceptación y se difundió extraordinariamente entre las Sociedades sabias fundadas a mediados del siglo XVII. Solamen

te Robert Boyle (1627-1690) y Friedrich Hoffman (murió en 1742) supieron que el metal aumenta de peso al formarse sobre él el orín, lo que significa que no puede formarse por desprendimiento de materia.

Hoy vuelve a ser válida la teoría del flogisto, si por tal se entiende energía, pues entonces describe una parte de los que pasa cuando el orín se forma. De ella se conserva también hoy el punto de vista de que la corrosión es una vuelta de los metales a su estado mineral original.

Corrosión por Oxidación. - Aproximadamente medio siglo después de Stahl, estableció Antoine Lavoisier (1743-1794), mediante determinaciones gravimétricas exactas con la balanza que el introdujo en la química, que en la combustión y en la formación de orín no solamente no desaparece ninguna materia, sino que es absorbida una nueva materia pesable. Llamó a esta materia oxígeno, es decir, formador de ácidos. Expuso además la opinión de que el oxígeno era la causa de toda formación de orín.

La teoría del oxígeno es indiscutible; si bien describe los hechos, sólo contiene una parte de la formación de orín. Sigue siendo -

válida en la actualidad, y toda la posterior experiencia relativa al oxígeno no ha servido sino para ampliar las consecuencias del descubrimiento original.

Alrededor de 1800 se conocía ya por ejemplo que el hierro puro no formaba orín ni en el aire anhidrido ni en el agua exenta de aire, y en 1816 encontró Guibonet, mediante una serie de ensayos, que el agua era descompuesta por el hierro a la temperatura ambiente en hidrógeno y oxígeno, combinandose el hierro con el último y desprendiendose el primero. También encontró que la descomposición era tanto más intensa cuanto mayor era la superficie del hierro en contacto con el agua, y que la oxidación desprendía tanto más calor cuanto más rápida era. En el mismo año comprobó Robiquet que el oxígeno de hierro negro que se formaba por la acción del agua a la temperatura ambiente no es diferente del que se forma por la acción del vapor sobre el hierro al rojo.

En el año 1821 exteriorizó Hall la opinión de que la oxidación del hierro exige la asociación de las afinidades del oxígeno y del agua, pero el agua parece ser solamente el medio necesario para que el oxígeno actúe sobre el hierro.

En 1889, se hizo notar por primera vez en la revista "Der Metallarbeiter", que la corrosión más intensa se presenta en las calderas de vapor, allí donde se mantienen adheridos gases (incluido el oxígeno) a las paredes.

Corrosión con desprendimiento de hidrógeno (teoría de los ácidos).

El punto de vista de que la corrosión tiene como único factor decisivo el oxígeno predominó en la investigación hasta después de 120 años de comunicaciones de Lavoisier. Luego se fue abriendo paso la idea de que también los ácidos diluïdos o no, ejercían un influjo importante en los fenómenos de corrosión. El primer fundamento en la teoría de los ácidos parece venir de Payen, -- que en 1832 comprobó que el agua de carácter marcadamente alcalino es completamente inocua para las tuberías de hierro, -- mientras que los líquidos ácidos favorecen la corrosión de este metal.

La noticia inmediata sobre la corrosión por los ácidos es del año 1866. Se refiere al hecho de que el agua de alimentación -- que contiene grasas produce daños considerables en las calderas de vapor, porque las grasas se desdoblan liberando ácidos --

grasos que atacan el material de las calderas. Después en -- 1871, se comunica que el agua de las tuberías atacan fuertemente al hierro por su contenido de ácido.

En 1833 se supo que empleando combustibles sulfurados se podían producir destrucciones rápidas de las chapas de calderas por la presencia simultánea en los gases de combustión de ácidos sulfuroso y sulfúrico y de humedad, convirtiéndose el hierro en sulfato.

Corrosión debido a causas Eléctricas.- Según que las acciones eléctricas procedan de causas propias o externas, se puede diferenciar entre corrosión electrolítica, corrosión por corriente vagabundas y corrosión por irradiación luminosa.

Corrosión Electrolítica.- La hipótesis de que la formación de orín es un fenómeno eléctrico fué expuesta primeramente por Thenard en 1819. Esta hipótesis fué confirmada por Sir Humphrey Davy en 1824, quien propuso proteger las calderas de vapor, mediante la adición de un trozo de zinc, y los cascos de cobre de los barcos empleando hierro o zinc, en ambos casos por un proceso electroquímico. Mollet utilizó otras explicaciones --

electroquímicas y Faraday profundizó, entre 1834 y 1840, en las relaciones esenciales que se observaban entre las corrientes de Volta y los procesos químicos.

A pesar de todo, los científicos de aquellos tiempos mantienen - que la corrosión es exclusivamente un proceso de oxidación. Solamente una vez se dijo, en 1833, que para mejorar el acero que se emplea enterrado, y en el suelo forma orín, había de someterse a electricidad galvánica.

Sólo después de 1866 se empezó a tomar en cuenta la posibilidad de las causas eléctricas de la corrosión. Primeramente cito - - Thiervozs, que el desgaste de los tubos es independiente de los procesos eléctricos que se producen en el contacto de los tubos de hierro con las juntas de plomo. Después en 1898, se comprobó que el contacto del hierro con un metal menos noble por ejemplo el zinc, hacia disminuir la disolución del hierro aún en soluciones en las que fácilmente se forma orín, mientras se aceleraba la corrosión del metal menos noble.

Corrosión por corrientes Vagabundas. - En 1897, y en Brooklyn - (E.E.U.U.), la proximidad de los ferrocarriles eléctricos fué - causa de que las tuberías de hierro y de plomo se inutilizaran -

rápida y que las de fundición se hicieron tan blandas que podían cortarse con un cuchillo.

Para investigar estos fenómenos se creó una comisión, que pudo comprobar que existían diferencias de potencial entre los carriles y las tuberías, y que los tubos se estropearon en las regiones en que los tubos toman cargas positivas y fluía a través del medio electrizable. Flemming, experimentalmente, comprobó que superficies de hierro enterradas en arena húmeda, aún bajo una tensión de 0.5 V. y una intensidad de corriente de 0.03 A, se corroían claramente después de unos días. Y P. Brown encontró que tubos de fundición que mostraban una tensión de más de 3 V. se dañaban tanto más cuanto más lisos estaban. Investigaciones realizadas en Nueva York indicaron que el efecto de las corrientes vagabundas del suelo se hacían notar hasta a distancias de 1000 m. y que también se desgastaban los carriles cuando eran positivos respecto a los tubos. En Boston se destruyeron envueltas de plomo de los cables telefónicos cuando eran positivas frente al suelo, con una diferencia de potencial de 1.5 a 2. V.

Corrosión por Irradiación Luminosa. - En 1820 observó Murray

que las rejas de hierro de la Torre de Pisa estaban deterioradas donde la luz del sol daba sobre ellas, mientras las orientadas de tal manera que no recibían esta luz no presentaban variaciones. De ahí concluyó Murray que la radiación solar era corrosiva.

Corrosión por Procesos Biológicos. - En 1866 se reconoció por primera vez que los daños muy considerables sufridos por las tuberías de Grenoble podían atribuirse a restos de plantas disueltas o arrastradas por el agua.

Corrosión en Relación con la Calidad de los Materiales. -

Corrosión de la Fundición. - Las primeras observaciones precisas relativas a la corrosión de la fundición, son del año 1828. -- En este año se comprobó que por acción de los ácidos de destilaciones de la madera se transformaba en grafito, podía cortarse con cuchillo y rayaba sobre un papel.

A la vez comprobó cierto señor Evans que también los vapores procedentes del café tostado habían provocado la grafitización de las tuberías de aspiración, que eran de fundición, en una instalación de tostación de dicho producto. Ocho años más tarde se

descubrió que unos cañones de fundición, que fueron puesto en servicio en 1782, en el Royal George, al cabo de 53 años tenían aspecto de grafito y se cortaban facilmente con un cuchillo.

La oxidación de los tubos de fundición se tuvo aún en el año de 1844 como inevitable, y llego a decirse que variando las circunstancias particulares se presentaba en todo caso como la muerte.

En 1845 se comprobó en Praga la corrosión de la fundición por agua de río exenta de anhídrido carbónico. En el mismo año estudió Faraday fundición que había estado en contacto con agua -- del mar, encontró que la corrosión era mayor bajo la superfi--cie del agua, y menos intensa en la profundidad. También halló que las fundiciones blandas, grises o atruchadas se atacaban -- más rapidamente que las frágiles blandas.

En 1861 fué posible producir por primera vez la corrosión gráfica de la fundición, lo consiguio F.C. Colvert, por tratamiento--largo de la fundición con ácido acético muy diluido.

Corrosión del Hierro Forjado y del Acero. - Los primeros da--tos relativos a la corrosión del hierro forjado proceden de 1790.

Encontró Montgolfier, estudiando la reja de hierro de la Iglesia

de Santa Marfa, de París, que las primeras capas de orín formadas sobre el metal, protegían al resto de la masa de hierro y evitaban la oxidación posterior. En 1833 se comunicó que podían mejorarse el hierro y el acero recubriendolos de orín por enterramiento en el suelo, y en el mismo año se indica que el acero no debe formar orín en las regiones polares.

En 1882 estableció Ackermann el hecho de que los aleantes eléctricamente positivos aceleran la formación de orín, mientras los eléctricamente negativos restringen tal tendencia. Esto fué el primer paso para el posterior desarrollo de los aceros inoxidables.

Corrosión del Plomo.- En 1834 se observó en Munich que las tuberías de gas, que eran todas de plomo, particularmente bajo las regueras de la calle en las entradas en obra de mamposte~~r~~ría, y rápidamente al aflorar al suelo, se oxidaban y destruían hasta el punto que hubo que sustituirlas. Más tarde, en 1887, se comunicó que los tubos de plomo eran atacados por el cemento y el mortero. En el año siguiente hicieron Cornelly y W. Frest ensayos sobre la corrosión de tuberías de plomo para ~~agua~~ agua, y comprobaron, primero, que el plomo se atacaba más cuando había exceso de aire que cuando no lo había; segundo, -

que el mortero reciente destruye las tuberías de plomo, y tercero, que el mortero viejo, la arena, el carbonato cálcico o una -- mezcla de ellos con silicato cálcico protegían al plomo.

Corrosión del Cobre y sus aleaciones. - La corrosión del cobre - fué observada por los antiguos romanos. La primera comunicación moderna dice que en una sesión de la Ver. Z. Beförd. d. Geberbeflersses celebrada en Prusia, en 1862 se mostró un trozo de latón de calderas de locomotora que se había corroido de una manera singular e inexplicable, pues presentaba profundizaciones - locales que de cuando en cuando eran perforables. Que no se trataba de una corrosión del hierro lo indica claramente la observación de que los tubos de latón de las locomotoras se substituirían en general por tubos de hierro, los cuales resisten a la destrucción mucho más tiempo. Ensayos con un pedazo de latón forjable (colado) Metal Muntz también dieron malos resultados.

En 1874 comunica E. Rernhardt que los tubos de cobre ceden este metal al agua. En 1859 debieron disolverse en una tal instalación 7.2 mg./lt. de cobre en el agua, y en 1872, en los mismos tubos, 0.8 mg./lt.

Corrosión del Magnesio. - Ya en el año 1833, estableció W. --

Spring que el azufre, al contrario de lo que ocurría con el aluminio, reaccionaba claramente con el magnesio a presión elevada.

Corrosión del Zinc.- En 1870 se llegó a conocer el hecho de que los depósitos de zinc para agua eran disueltos tanto más rápidamente cuanto más tiempo permanecía el agua en ellos y cuanto más rica era el agua en combinaciones cloradas (sal común).

M. Traube hizo notar en 1885, que el zinc era disuelto por el agua bajo desprendimiento de hidrógeno, pero que tal proceso sólo llegaba a tener importancia cuando existían oxígeno o sales oxidantes por ejemplo el cloruro férrico.

FUNDAMENTO DE LA CORROSION. -

La corrosión es la destrucción de los metales iniciada en su superficie. Esta destrucción puede ser de naturaleza química, pero en muchos casos transcurre electroquímicamente.

Si el metal está sometido simultáneamente a esfuerzos mecánicos, pueden actuar conjuntamente el ataque químico y la solici-tación mecánica, produciéndose una corrosión especialmente peligrosa. La extraordinaria importancia práctica de la corrosión no reside sólo en la pérdida de una cantidad considerable de me-tales. Es frecuente que con pérdidas relativamente pequeñas de metal se produzcan daños cuantiosos, como ocurre en la llama-da corrosión localizada o picadura que puede producir perfora-ciones en tuberías y depósitos, o en la corrosión intercrystalina, que acarrea la desintegración mecánica y hacer perder al mate-rial todo su valor. Según cálculos americanos se perdió en treinta años, por corrosión, casi la mitad del hierro total obtenido. Sólo en recubrimiento protectores contra la corrosión se gastan anualmente en los E.E.U.U., 2500 millones de dólares. Se ha-calculado que mediante la investigación dirigida y el progreso en el conocimiento de la corrosión y la protección se pueden aho- -

rrar 1000 millones de dolares anuales. Principalmente a causa-
de esta enorme importancia económica de la corrosión, las co--
municaciones científicas relativas a la corrosión han alcanzado -
tal número que apenas es posible tener una visión de conjunto so
bre las mismas.

A pesar de la multiplicidad de los fenómenos de corrosión, la -
causa es siempre la misma. El metal que se corroe tiende a -
formar una combinación química. Sabemos que los metales sen
sibles a la corrosión, como el hierro y el aluminio, se encuen--
tran en la naturaleza en forma de combinaciones y sólo por el --
esfuerzo del hombre pasan al estado metálico. Cuanto mayor es
el trabajo necesario para lograr esta transformación, tanto ma--
yor es la tendencia del metal a volver a su estado original y na--
tural. Este proceso de vuelta al origen es lo que llamamos Co--
rrosión. La vuelta de los metales a su estado natural se cum--
ple en dos etapas, cuando se excluye la corrosión por gases ca--
lientes secos y por líquidos no acuosos. La primera etapa con--
siste en la combinación del metal con el oxígeno del aire para -
formar un óxido. Esta reacción es tan general que todos los me
tales se recubren en el aire con una película de óxido. Si el - -

metal lo tenemos como polvo que presenta gran superficie, la oxidación adquiere mayores proporciones. Así, como el hierro llamado pirofórico, muy finamente pulverizado, ocurre que todo el metal se trasforma en pocos instantes en óxido, con fuerte desprendimiento de calor. En cambio, en un metal compacto la oxidación se limita a la formación de una delgada película superficial del óxido. Esta película consiste muchas veces de pocas capas atómicas.

Una oxidación de este tipo no influye, por lo general, en el aspecto metálico, y por ello, en principio, no se considera corrosión, sino que incluso puede ocurrir, como en el caso del cromo y el aluminio, que actúe como protectora contra la corrosión.

Tal ennoblecimiento aparente de los metales es tan frecuente que no se puede sacar ninguna conclusión sobre el comportamiento en la corrosión a partir de la llamada serie de potenciales de los metales. La proporción en que un metal más noble puede, en ciertas circunstancias, corroerse más intensamente que uno más inoble lo muestra por ejemplo el caso de la plata, que se disuelve en ácido nítrico, mientras que el aluminio no es prácticamente atacado por este ácido para la misma concentración.

El fundamento de este comportamiento, a primera vista paradójico,

reside en la formación de una película protectora de óxido sobre aluminio.

Los óxidos metálicos se forman tanto más fácilmente y son tanto más estables cuanto menos noble es el metal. Pero para que un óxido actúe como protector no basta con que sea estable, sino que, además, debe adherirse solidamente a la superficie sin dejar poros ni otras faltas de continuidad, lo que presupone la insolubilidad del óxido en el medio corrosivo. Los metales tienden tanto más a auto-protegerse contra la corrosión, lo que científicamente se denomina pasividad, cuanto más satisfactorias son las propiedades citadas, es decir, la insolubilidad y la estabilidad del óxido. Se produce una protección especialmente eficaz por una película de óxido en los metales como el hierro y el aluminio, donde, además son también de importancia otros factores, tales como la variación de volumen en la formación del óxido.

Por tanto, es de influencia decisiva en la corrosión de los metales la formación de capas protectoras sobre su superficie, como se ha indicado para las películas de óxido. El tiempo necesario para la formación de estas capas protectoras varía

entre fracciones de segundo y decenas de años. Según ensayos de J.W. Müller se puede comprobar oscilográficamente que la formación de películas protectoras sobre el plomo en ácido de acumuladores tiene lugar en centésimas de segundo. Según observaciones americanas, la película protectora de óxido en el acero al cromo-níquel 18-8 en menos de dos minutos, y en un acero con 14% de cromo, en unos seis minutos. Una acción satisfactoria, como la que ejerce el cromo como elemento de aleación sobre el hierro en contacto con el agua de las tuberías tiene lugar, según la composición del agua, en días o semanas. Se trata en este caso de capas con cantidades variables de óxido de hierro y en parte también de carbonatos formados por hierro y cal. Sólo después de este proceso es utilizable la tubería de hierro para las necesidades de una vivienda. Parecidas capas protectoras se encontrarán también en el caso del cobre, plomo y zinc. Los tiempos más largos empleados en la formación de capas protectoras se han observado en las superficies del hierro expuestas al aire; la formación de la capa dura 10 a 15 años, o más. De manera semejante se ha observado la formación de capas protectoras en las cubiertas de aluminio, y la de la bella patina sobre el cobre.

Si se observa durante un tratamiento anódico en una solución -- concentrada de sulfatos un electrodo de hierro o zinc mediante un microscopio de polarización, puede comprobarse que, simul táneamente con el comienzo de la disminución de la densidad de corriente, se presentan cristales salino birrefringentes, que en el caso del hierro responden a la fórmula --. $\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. En el momento de la caída más rápida de la intensidad de corriente -- toda la superficie está cubierta con cristales de sal, y está ca-- pa salina actúa en forma puramente mecánica, produciendo un -- estado positivo, para el que J. W. Müller ha puesto las denomi-- naciones Pasividad por Recubrimiento o Pasividad Mecánica.

Puesto que el metal base conserva en el fondo de los poros del -- recubrimiento toda su capacidad de reacción inalterada, la acción de la capa cubriente será tanto más completa cuanto menos po-- ros tenga. Como indicaron investigaciones detenidas y cuantita-- tivas de la porosidad de distintas capas de recubrimiento, reali-- zadas por W. Machu, tal capa solo protege a un metal cuando -- se adhiere fijamente, es prácticamente insoluble en el medio co-- rrosivo y su porosidad importa menos del 0.01% de su superfi-- cie total.

Las condiciones para la formación de los primeros centros de --

corrosión fueron determinadas de la siguiente manera, mediante una investigación estadística de Mears. Se dividieron probetas de hierro en cuadros de 3 x 3 mm., cuadriculándolas mediante tiras de cera aplicadas con un pincel, luego se cubrieron con un líquido. Después se escurrió la parte del líquido y se observó la corrosión en el aire.

Los cuadros que no habían sido atacados después de 15 min. permanecían limpios, por lo general, después de tiempos largos. Con contenidos crecientes de oxígeno aumentaba la intensidad del ataque, en cambio, disminuía la probabilidad del mismo. Como medida para la probabilidad del ataque se empleó el tanto por ciento de los cuadros corroídos. Así por ejemplo para una probabilidad de ataque del 50% se habría corroído la mitad de los cuadros.

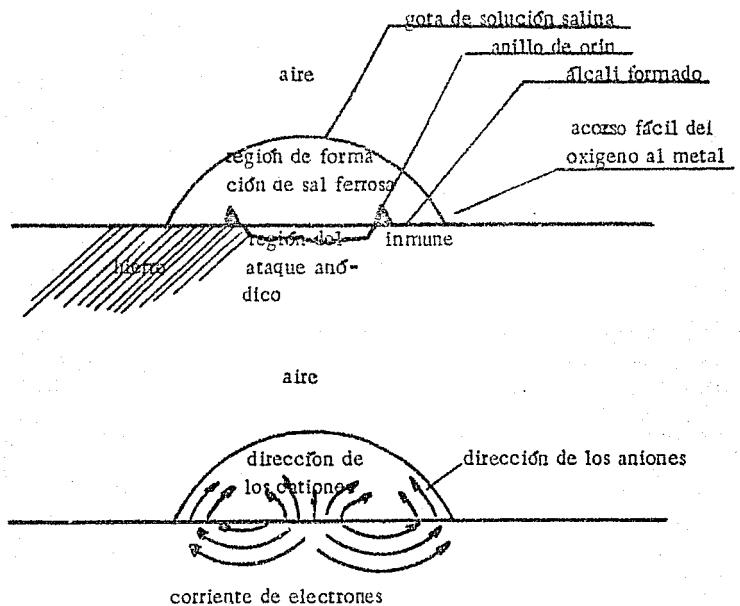
La Corrosión como Proceso Electroquímico. - La segunda etapa (la primera es la formación descrita de óxidos con el oxígeno del aire), que los metales recorren para escapar de su estado meta-estable es el proceso fundamental de la mayoría de los fenómenos de corrosión. Consiste en que el metal, en presencia de agua, se forman elementos galvánicos, las llama

das pilas locales. El proceso anódico es la disolución del metal, y el catódico la separación de constituyentes del agua, es decir, los iones hidrógeno. Este desdoblamiento de la corrosión en dos procesos electroquímicos no está en contradicción con la disolución transcurren con desprendimientos de hidrógeno. Se nos presenta aquí el tipo fundamental de una pila local. Los lugares anódicos los constituyen el mismo metal, y como regiones catódicas pueden actuar aquellas en que se presentan impurezas de metales más nobles o de carbono, y las siempre existentes películas de óxido sobre la superficie del metal. -- La teoría de las pilas locales permite explicar, de una forma sorprendentemente sencilla y unitaria, toda una serie de hechos muy complejos y, lo que tiene interés práctico, establecer -- previsiones sobre el transcurso de la corrosión.

La mayoría de los casos prácticos se diferencian de este tipo -- más sencillo de pilas locales en que el hidrógeno no se desprende, sino que, por acción de un oxidante, casi siempre el oxígeno del aire, se oxida. Estos procesos se denominan de despolarización. En ausencia de oxígeno oxidante o despolarizante -- la corrosión se detendría rápidamente en estos casos, ya que el

hidrógeno no puede separarse en forma gaseosa. Esto ocurre -- por ejemplo, en el hierro atacado por medios cuya acidez del -- orden pH-4 no permite el desprendimiento de hidrógeno. El fac -- tor que determina la velocidad es, en este caso, la cantidad de -- oxígeno que pueda llegar a la superficie. Puesto que el oxíge -- no tiene también la propiedad de recubrir la superficie con una -- capa protectora, puede actuar tanto retardando como acelerando -- la corrosión. En la figura siguiente se representa una corrosión -- de este tipo, por pila local, con despolarización por el oxígeno.

Fig.



Comportamiento de una gota de solución de cloruro sódico o potásico depositada sobre hierro.

La figura muestra la corrosión del hierro por una gota de agua salada. La zona del borde externo de la gota, como puede verse, es fácilmente accesible al oxígeno, el cual puede formar una película de óxido, que protege contra el ataque y hace actuar a la zona como cátodo de la pila. En el centro de la gota es más difícil el acceso del oxígeno, y el hierro se disuelve anódicamente. Por la formación de iones de hierro se liberan electrones, que en la película de óxido catódica, más noble, pueden o bien descargar iones hidrógeno o formar iones OH^- con el oxígeno y el agua. Entre los espacios anódicos y catódicos se crea un anillo de orín, porque la sal de hierro formada anódicamente precipita óxido o hidróxido de hierro pardos al reaccionar con el álcali formado catódicamente. El producto final de la acción del oxígeno y el agua es el orín compuesto por óxidos e hidróxidos más o menos hidratados. Hay la tendencia a explicar esto como el resultado de reacciones químicas sencillas tales como:



en algunos casos puede interpretarse el proceso completo como el paso de óxidos dí a trivalentes y a hidróxidos con distintos --

contenidos de agua; pero esta representación grosera no permite llegar a ninguna conclusión sobre los procesos elementales y el mecanismo de la reacción.

Es oportuno averiguar aquí en qué amplitud cooperan en estos fenómenos la absorción o los procesos superficiales químicos o físicos. Así por ejemplo se ha intentado relacionar la formación de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ con una absorción primaria de moléculas de agua sobre centros activos especialmente energéticos. Por la absorción se produce un descoplamiento en el enlace de la resonancia de $\text{Fe}-\text{H}_2\text{O}$ formado, a consecuencia del cual es posible la absorción de una segunda molécula de H_2O , formandose $\text{Fe}(\text{OH})_2$, con desprendimiento de hidrógeno. Las fuerzas homopolares de resonancia, que ejercen el papel fundamental según este punto de vista, y que según Polang son decisivas para los procesos de absorción, pueden, sin duda, ser importantes para enjuiciar muchos procesos industriales. Así, puede concebirse la formación de películas superficiales de óxido como una absorción instantánea producida por las fuerzas intermoleculares de Van Der Waal, y que termina dando lugar, en un proceso más lento, a la formación de enlaces químicos por intercambio de --

electrones entre el metal y el oxígeno, originándose así una --
capa bidimensional. En la explicación teórica de esta clase de
proceso se pasa sin transición de los procesos físicos a los quí-
micos.

Corrosión con Desprendimiento de Hidrógeno. - Sobre la base de
la serie de potenciales electroquímicos de los metales, y la --
acción del oxígeno del aire, se pueden hacer, dentro de una apro-
ximación muy grosera, las siguientes previsiones sobre el com-
portamiento en la corrosión; todos aquellos metales más innobles
que el hidrógeno, que, según dicha serie y en proporción crecien-
te, son el plomo, el estaño, etc., hasta los metales alcalinos, -
tienen la tendencia a disolverse en los ácidos con desprendimien-
to de hidrógeno. Pero en ausencia de oxígeno sólo se produce --
el ataque del metal cuando es posible el desprendimiento directo
del hidrógeno. Esta corrosión con desprendimiento de hidrógeno
sólo ocurre en el hierro para valores del pH comprendidos entre
3 y 4, según el ácido (en metales más innobles se produce para-
valores más altos del pH, y en los más nobles, para valores más
bajos). Se trata de una corrosión que presupone un reactivo quí-
micamente energético y que, principalmente, tiene importancia --
en diversas ramas de la industria química.

Los potenciales normales de la siguiente Tabla se refieren a - -
18°C, a soluciones molares de los iones metálicos y al electrodo
normal de hidrógeno. También pueden concebirse como una me-
dida del poder oxidante o reductor (sistemas redox), porque ca-
da sesión de un electrón es una oxidación, y cada admisión una
reducción. Al aumentar el carácter noble crece por ello el po-
der de oxidación, y la disminución de este carácter significa lo-
mismo que un aumento del poder reductor.

Para el potencial cero es posible, desde un punto de vista pura-
mente teórico, que se disuelva un metal en un ácido normal con-
desprendimiento de hidrógeno. Con menor concentración de áci-
do, es decir, mayor valor del pH, este potencial límite del des-
prendimiento de hidrógeno se hace 58 milivoltios menos noble --
por cada unidad de aumento del pH (que corresponde a una dismi-
nución de la concentración de iones hidrógeno a la décima parte).

Basandose en la tabla de los potenciales normales de los meta-
les y con ayuda de la Relación fundamental de Nerst:

$$E = RT \ln. \frac{C}{c} \quad \text{donde:}$$

E = potencial medido.

R - constante universal.

T - Temperatura absoluta.

C - constante.

c - concentración de los iones metálicos.

Con lo anterior se puede encontrar el valor del pH, para el que cada metal puede disolverse con desprendimiento de hidrógeno. Para el hierro, cuyo potencial normal es -0.44 V, ya podría producirse la corrosión con desprendimiento de hidrógeno en el punto neutro ($\text{pH} \approx 7.7 \times 58 \text{ mV} \approx 0.406$ V).

En realidad, este proceso no se presenta hasta que el pH no desciende a 3 ó 4, porque, aparte de los potenciales normales, desempeñan un papel importante las sobretensiones.

TABLA: SERIE DE POTENCIALES DE LOS METALES:

Meta: Potencial (Voltios).

Potasio. -2.92

Calcio. -2.76

Sodio. -2.71

Magnesio. -2.40

Aluminio. -1.69

Zinc. -0.76

Cromo. -0.51

Hierro. -0.44

Cadmio. -0.40

Cobalto. -0.29

Niquel. -0.25

TABLA: SERIE DE POTENCIALES DE LOS METALES:

Metal: Potencial (Voltios).

Estaño. -0.16

Plomo. -0.13

Hidrógeno. -0.00

Cobre. ± 0.35

Plata. ± 0.81

Mercurio. ± 0.86

Oro. ± 1.38

Platino. ± 1.60

La sobretensión consiste en un retraso en el desprendimiento de hidrógeno debido, bien a que se dificulta la descarga de los iones hidrógeno o bien a que se entorpece la reacción de combinación -- de dos átomos descargados para formar una molécula de hidrógeno. La resistencia del plomo frente al ácido sulfúrico se debe - -

al elevado valor de sobretensión, que alcanza unos 0.8 Volts. -- Sólo por esta circunstancia es posible el empleo del plomo en -- los acumuladores. Por tanto, del potencial límite teórico que -- permite el desprendimiento de hidrógeno no se puede sacar ninguna conclusión sobre el comportamiento real en los casos importantes de corrosión, y ello a causa de la sobretensión. Unicamente podemos decir, para el caso ya citado del hierro, que -- con un pH. mayor de 7 a 8 no se puede, teóricamente, desprender hidrógeno.

Aún puede añadirse que el valor verdadero y realmente decisivo del pH en la inmediata proximidad de la superficie del metal puede ser mucho más alcalino que el medido. Si se tiene también -- en cuenta la influencia de la formación de las capas protectoras, se llega a la conclusión que las leyes electroquímicas clásicas -- basadas en la serie de potenciales de los metales tienen una importancia relativamente pequeña para la corrosión. Por esta razón, sólo exponemos aquí, de tales fundamentos teóricos, aquello que es necesario para la comprensión de los fenómenos de la corrosión.

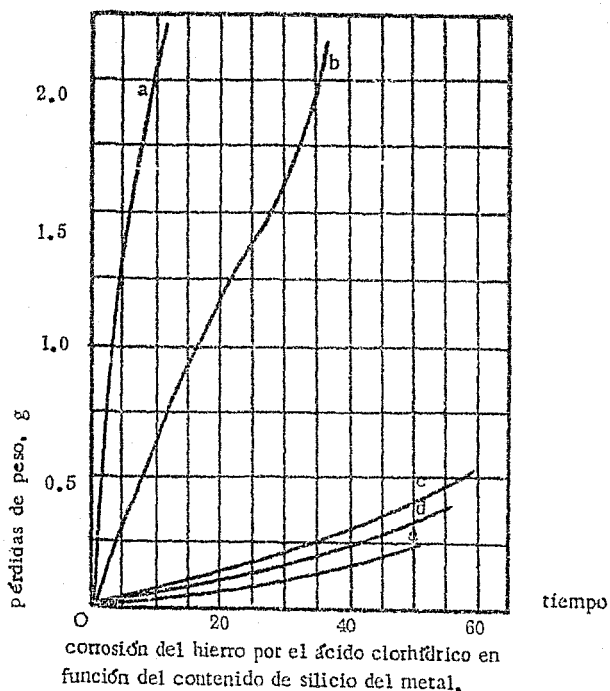
En la corrosión con desprendimiento de hidrógeno actúan peque-

ñas cantidades de las impurezas más nobles, aumentando fuertemente la velocidad de ataque. Entre las impurezas y el metal ba se se forman pilas locales, por lo que al progresar la disolución del metal la superficie se enriquece cada vez más en tales impurezas.

En el zinc y en el aluminio se observan incrementos en la disolución del metal de hasta un millar de veces o más, (período de incubación). En estos casos es decisiva la composición del material corroible para el transcurso de la corrosión. La disolución de distintas clases de hierro en ácidos fuertes también obedece a este tipo de causas. El hierro completamente puro se disuelve lentamente en ácidos sulfúrico o clorhídrico (de 30 a 50 g/m² día) Al aumentar el contenido de carbono, que actúa evidentemente co mo impureza más noble, formadora de pilas locales, aumenta - - progresivamente la velocidad de disolución y, para un hierro con mucho carbono, del orden del 1%. se hace hasta unas 100 veces - mayor que para el hierro puro. Además del contenido en carbono, los distintos tratamientos previos térmicos o mecánicos ejer cen notable influencia y causan grandes diferencias de solubilidad en ácidos. De la misma manera que hay impurezas que aceleran la corrosión, otras, en cambio, pueden hacerlas disminuir

muy energicamente, como ocurre para el caso del hierro con -
la presencia del silicio.

Fig.



Los álcalis pueden producir un ataque tan enérgico como el de -
los ácidos cuando el óxido del metal es soluble en ellos. Por eso
al contrario que el hierro, los metales zinc, aluminio y estaño -
se destruyen intensamente por corrosión en soluciones alcalinas.

Esto sucede porque el álcali da lugar a una formación de óxido -
o hidróxido estables, que finalmente forman la combinación soluble
ble con el álcali (zincatos y aluminatos).

Las mayores velocidades de disolución de los metales se encuentran siempre cuando a un ataque con desprendimiento de hidrógeno se superpone una acción oxidante que no sea capaz de formar una película protectora de óxido, es decir, una película no porosa. Ejemplos de este tipo son las grandes velocidades de disolución del cobre, la plata, el níquel en ácidos nítrico, y del hierro en mezclas de ácidos clorhídrico o sulfúrico con ácido nítrico. - También la acción del agua regia sobre los metales preciosos -- puede concebirse desde este punto de vista. Basta con admitir -- que el ácido nítrico produce una oxidación sobre la superficie del metal que las regiones ennoblecidas por tal oxidación forman pilas locales con las zonas de metal base ennoblecidas.

Variaciones del Potencial por las Corrientes Locales. - Las corrientes locales causantes de la corrosión sólo pueden circular -- cuando existe una diferencia de potencial entre las regiones más nobles (cátodos) y las menos nobles (ánodos). Por el flujo de corriente se igualan estas diferencias de potencial, de acuerdo con la Ley de Ohm, en un importe ($i r$):

i = intensidad de corriente local.

r = resistencia en ohmios.

Las corrientes son muy pequeñas para corrosión con desprendimiento de hidrógeno de 10^{-4} a 10^{-5} A, por lo que (ir) sólo vale, sino se trata precisamente de soluciones muy pobres de sales, algunas fracciones de milivoltio, ó, a lo más, pocos milivoltios, por lo que la mayoría de las veces se puede despreciar frente a las diferencias de potencial usualmente existentes.

Según sea el potencial del cátodo o el del ánodo el que varíe - más por el paso de corriente, se dice que la corrosión está controlada catódica o anódicamente.

Un ejemplo de corrosión controlada catódicamente es la condicionada a la despolarización por oxígeno, como lo es la del hierro - cuando la solución atacante no es excesivamente ácida (pH de 3 a 4). En este caso la marcha de la corrosión depende de la cantidad de material reducible existente sobre el cátodo, material que en la mayoría de los casos es el oxígeno. La superficie anódica es suficiente para suministrar los iones y electrones necesarios para la reducción catódica, por lo que no influye la cantidad de las superficies anódicas sobre la corrosión. Prácticamente, la caída total de potencial en la corrosión de control catódico se encuentra en las proximidades, mientras que el potencial anódico -

varía muy poco. Las curvas determinadas experimentalmente de las caídas de potencial catódicas y anódicas o de polarización catódica o anódica en el hierro puro, en la solución n/20 de cloruro potásico conteniendo oxígeno, dan un potencial catódico inicial de unos -0.39 V. (frente al electródo normal de hidrógeno), y un potencial anódico de -0.465 V. El punto de intersección -- se encuentra a -0.460 V. (puesto que casi sólo se modifica el potencial catódico, la corrosión es controlada catódicamente).

En la corrosión controlada anódicamente experimenta gran variación el potencial anódico. La magnitud de la superficie anódica determina la importancia de la corrosión, como ocurre, por -- ejemplo, en la corrosión del aluminio en presencia de iones cloro (por ejemplo sal común). Las influencias que favorecen una -- reacción anódica determinada (como las que destruyen la pelícu--la protectora más noble en el aluminio y en los aceros especia--les) son completamente distintas de las que, como el acceso de -- oxígeno, favorecen una controlada catódicamente. Cuando las -- acciones anódicas se suprimen por completo, se obtiene el estado pasivo o pasividad. El metal en estado pasivo está practica--mente cubierto, sin soluciones de continuidad, por una película -- noble de óxido, cuyo espesor para el hierro pasivo (pasivado en-

ácido nítrico) es según ensayos de unos 100 a 150 Angström (donde 1 Angström = 10^{-8} cm), lo que equivale a unas 10 a 15 capas superpuestas de Fe_3O_4 , si se considera la superficie geométrica. Como se desprende de estas consideraciones, mediante el potencial sólo no se pueden sacar conclusiones cuantitativas más que en el caso de presentarse una pasivación ligada a un ennoblecimiento muy intenso. Por el contrario, las curvas de densidad de corriente en función del potencial, anódicas y catódicas, dan una visión suficientemente conclusiva de las particularidades del curso de la corrosión.

Corrosión por el Oxígeno. - De las consideraciones anteriores se puede ya deducir el papel sobresaliente que las acciones oxidantes desempeñan en la corrosión, y especialmente las debidas al oxígeno del aire. El proceso de corrosión es quematizado en la figura referente a la gota de agua sobre hierro, da una idea muy clara del curso de una corrosión por el oxígeno.

Se trata en todos los casos de un flujo de corriente local entre la película de óxido, más noble, y el metal base, más innoble.

La diferencia respecto a la corrosión con desprendimiento de hidrógeno se encuentra en el hecho de que en las condiciones rei--

nantes en una corrosión por el oxígeno no puede producirse tal -
desprendimiento de hidrógeno, porque la solución atacante no es
suficientemente ácida, y el metal corroible no es lo bastante - -
innoble. A este tipo pertenece la corrosión de los metales útiles
más importantes, como el hierro, zinc y plomo en soluciones --
neutras, débilmente ácidas o debilmente alcalinas, así como la-
corrosión en contacto con las aguas naturales (agua de mar, agua
de consumo, agua de río, agua de lluvia). Por tanto, los casos-
practicamente predominantes de corrosión pertenecen a este ti-
po.

La nota fundamental es que la cantidad de material destruído por
la corrosión está determinada por la cantidad de óxigeno que lle-
ga a la superficie. Esto significa que la composición del metal-
no ocupa el lugar de primera línea que le correspondía en la co-
rrosión con desprendimiento de hidrógeno, sino que es más deci-
siva la calidad del medio atacante. Por ello, la calidad del ma-
terial del metal corroído, en general, sólo desempeña un papel-
secundario.

El desconocimiento de este hecho fundamental ha llevado durante
decenas de años a considerables diferencia en el estudio de la co

rosión de distintos tipos de hierro (fundición, acero, hierro forjado). Se creyó que este comportamiento era debido a las propiedades del material. Sólo cuando se hubo establecido por una investigación científica sistemática que era la cantidad de oxígeno que llegaba a la superficie, y no la calidad del hierro lo que determinaba la intensidad de la corrosión, pudo dictaminarse correctamente sobre el comportamiento ante la corrosión. Sin este conocimiento de las circunstancias decisivas para el ataque, las predicciones sobre el comportamiento frente a la corrosión eran tan inseguras como las predicciones meteorológicas.

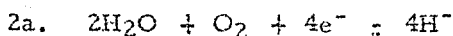
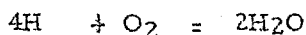
La corrosión por el oxígeno supone, en esencia, un proceso de reducción desarrollado en las regiones que son catódicas por su película de óxido. Esta despolarización catódica por el oxígeno es la única causa de este tipo de corrosión: esto fue demostrado clara e inequívocamente en los ensayos fundamentales de Evans.

Evans, Bannister y Britton determinaron la corriente producida en una pila con dos electrodos de hierro, uno bien aireado y otro completamente al aire libre. A partir de estas medidas, y mediante la Ley de Faraday, obtuvieron las cantidades de hierro disueltas en el electrodo no aireado. Esto dió la prueba clara de-

que en el caso de la corrosión del hierro por diferencias de aireación el proceso queda terminado por la corriente que circula entre los lugares oxidados y los innoblecidos por aireación que funcionan como cátodos, y las regiones de metal base menos noble. Evans confirmó estos resultados mediante numerosas y -- más amplias investigaciones, que fueron completadas con determinación de los potenciales. Sobre el efecto catódico de las películas de óxido apenas existen ya dudas en los escritos científicos, sin embargo hay todavía aspectos confusos y discutibles en relación a la amplitud y significado de este tipo de procesos en casos prácticos de corrosión y respecto al mecanismo de estas pilas locales, en las que ejerce un papel fundamental el oxígeno del aire disuelto en los electrolitos.

La cuestión del proceso productor de corriente en un cátodo despolarizado por el oxígeno disuelto del aire ha sido tratada frecuentemente y guarda estrecha relación con las consideraciones que -- siguen. Es difícil distinguir si la despolarización se produce por oxidación directa de los átomos descargados de hidrógeno o si -- éstos reducen el óxido, por causa de su capacidad de reacción, y el oxígeno se encarga de volver a formarlo. A esto se añade la -- dificultad de distinguir de una manera clara entre una delgada cau

pa de óxido aproximadamente molecular y una película de oxígeno absorbido. Además, hay que tener en cuenta la posibilidad de formación intermedia de $H_2 O_2$ sobre el cátodo. Partiendo de -- ambas posibilidades de formación de una película de hidruro o de hidrógeno que es oxidada o despolarizada por el oxígeno, encontrándose hasta 28 posibilidades de reacción para la descarga catódica de hidrógeno en la despolarización por el oxígeno. Por -- otro lado, existe también la posibilidad de formación directa de -- iones negativos de oxígeno o iones de hidróxilo. Entre las dos -- reacciones:



No es posible, sin más, establecer distinciones, porque en ambos casos se produce la misma variación del pH. En este aspecto la descarga de los iones hidrógeno es análoga a la formación -- equivalente de iones hidróxilo negativos.

El proceso anódico sólo puede consistir en una disolución del metal corroído, o, lo que es lo mismo, en una formación de iones -- metálicos; pero solamente se pueden hacer hipótesis sobre la ma

nera en que los electrónes liberados ejercen su acción reductora en el cátodo, según las consideraciones que acabamos de efectuar. Mientras hace años se suponía generalmente una descarga de iones hidrógeno y posterior reducción de oxígeno u óxido metálico, con formación de agua hoy se mantiene como más probable un intercambio directo de electrónes, que a partir de $O + H_2O$ conduce a la formación de iones hidróxilo negativos. En soluciones neutras o débilmente alcalinas no existen iones hidrógeno para una descarga catódica, o, en todo caso, en una cantidad muy inferior a la necesaria para un procesos electrónico, y deberían formarse de nuevo con una gran velocidad. Por el contrario, existen siempre las materias primas para la formación de iones hidróxilo según la reacción.

$Me + O + H_2O + 2e^- = Me + 2OH^-$, y en cantidad más que suficiente. También las diferencias de potencial de las pilas locales, muy pequeñas y sólo con frecuencia de una fracción de milivoltio, se explican mejor en un intercambio con formación directa de OH^- que en una descarga directa de iones hidrógeno.

Esto no excluye que con valores decrecientes del pH no puedan producirse simultáneamente varias reacciones. Lo mismo que-

en el caso de la disolución de un metal en ácidos (proceso anódico: formación de iones metálicos; proceso catódico: descarga de iones H^+), también en la formación catódica de iones OH^- , - se pasa de un proceso electroquímico a otro puramente químico cuando las regiones catódicas y anódicas sólo están separadas - por pocas distancias atómicas, y el salto de electrones se puede producir directamente como en toda reacción química.

El que las películas de óxido metálico muestran un potencial - - más noble que el del metal base se puede explicar de forma sencilla por la escasez de electrones causada por la formación de - iones OH^- . La formación de iones OH^- debe provocar una escasez de electrones, lo mismo que la formación de iones metálicos causa un enriquecimiento de ellos. En tanto que la película de - óxido sea suficientemente delgada la conductibilidad es lo bastante grande como para que sea posible sin estorbos el paso de una corriente catódica. La resistencia de una capa de óxido de cobre de unos 10 Angströms de espesor es de 1.5 ohmios/cm², - - aproximadamente.

Para evitar confusiones debemos señalar de modo explícito que - no se deben confundir los resultados y consideraciones expues--

tas respecto a la reducción catódica de los óxidos superficiales de los metales con el comportamiento de los productos visibles de la corrosión. La formación de estos productos nos vuelve a llevar, como es sabido, a los fenómenos secundarios, como el ejemplo de las sales de hierro disueltas en presencia de oxígeno que precipitan como hidróxido a causa de la reacción catódica -- formadora del álcali. Si en el curso del tiempo se forma orín -- visible sobre el hierro, ello es completamente compatible con la destrucción catódica del óxido en el período inicial de la corrosión. Por ello hay que delimitar necesariamente estos fenómenos.

Como hemos visto y recalcado, en la corrosión controlada por -- el oxígeno la calidad y composición del material corroible desempeña un papel secundario. Por ello no se debe esperar una variación fundamental en el comportamiento en este tipo de corrosión por una modificación en la composición del material; en el caso del hierro, por ejemplo, por adición de cualquier elemento de -- aleación. Sólo cuando se fábrica un acero especial por elevados contenidos de cromo y níquel (18% de Cr. y 8% de N.), se hace -- el material, de golpe, resistente a la corrosión. La calidad de la superficie puede en muchos casos ser decisiva para el com- --

tamiento frente a la corrosión, a través de su formación de capas protectoras, como ocurre en la fundición, en que la piel de las piezas moldeadas confiere un comportamiento satisfactorio frente a la acción del agua caliente y el vapor. Las condiciones son completamente distintas en la corrosión atmosférica, porque las relaciones entre oxígeno y agua son totalmente diferentes a las que ocurren en las soluciones acuosas. En virtud de esto, puede disminuirse el ataque atmosférico del hierro por la adición de pequeñas cantidades de otros elementos, como cobre, fósforo, níquel y cromo.

Peculiaridades del Curso Electroquímico de la Corrosión. - Las particularidades del transcurso electroquímico de la corrosión — se han descrito en una serie de libros sobre corrosión, debido a su extraordinaria importancia. Por ello podemos renunciar aquí a una repetición detallada de los fundamentos electroquímicos — científicos, en vista de que son demasiado detallados y complicados. En especial, se puede prescindir del aparato matemático, — sin que ello exija la renuncia a una visión clara de los procesos — fundamentales de los fenómenos de la corrosión.

El efecto de la protección galvánica del zinc respecto al hierro —

se puede calcular a partir de la fuerza electro-motriz medida, - y de la resistencia también medida de la cadena zinc-hierro, empleando la Ley de Ohm. De esta forma puede calcularse la su - perficie de zinc y la separación entre zinc y hierro que basta justamente para impedir la corrosión del hierro. A partir de la resistencia medida y del producto IR (intensidad por resistencia), - determinado se puede calcular la intensidad de corriente.

Esta resultó tan grande como la que, según la Ley de Faraday -- (96 540 coulombs por cada equivalente electroquímico gramo de materia transportada al electrodo; en el caso del hierro 28g), se obtiene para la corrosión del hierro en las mismas condiciones - de ensayo y sin protección por el zinc. Este resultado obliga a - la conclusión de que el zinc hace el papel de las regiones anódi-- cas del hierro. La densidad de corriente que resultó de estos -- ensayos para el hierro corroído en agua en reposo, con una co-- rrosión de lg/m^2 por día, era aproximadamente de $1. 10^{-5}$ - - A/cm^2 .

Si estas reflexiones son correctas la intensidad de corriente se - debe poder medir directamente, y de hecho, según ensayos pro-- pios, la intensidad esperada se encuentra exactamente entre el -

zinc y hierro en agua tranquila. También en otros pares galvánicos como hierro-platino, cadmio-platino, zinc-cobre etc.; se hallan las mismas densidades de corriente, que siempre dependen del área de la superficie más noble, es decir, de la superficie catódica, y de la cantidad existente en ella de oxígeno electroquímicamente activo. La característica electroquímica de estas pilas de corrosión por el oxígeno está en el carácter de la corriente residual. También se denomina corriente de difusión, que entre -- amplios límites es independiente de la resistencia interna y del -- producto IR , y sólo depende del área de la superficie catódica.

Se ha hecho un breve y claro compendio de una serie de investigaciones electroquímicas más amplias. Hagamos aquí la sola -- observación de que en todos los casos de corrosión controlada por el oxígeno, como en el ensayo fundamental de Evans que hemos -- descrito, se pudo reconocer la actividad de las pilas locales formadas entre los lugares catódicos ennoblecidos por el oxígeno -- y las regiones anódicas del metal base. La reacción decisiva para la intensidad de la corrosión es una reducción catódica del -- oxígeno u óxido existente sobre las superficies catódicas.

Ensayos posteriores sobre pilas de aireación con electrodos de-

hierro (ánodo: hierro en corriente de nitrógeno; cátodo: hierro en corriente de oxígeno) han mostrado que la corriente medida depende del acceso de oxígeno, pero la corrosión del electrodo depende decididamente de su calidad superficial, pues una superficie pulimentada se pasiva en estos ensayos con facilidad, mientras que una superficie rugosa permanece activa y se corroe más intensamente bajo las mismas condiciones. Se ha comprobado que el hierro conectado catódicamente sufre una corrosión más activa, por la formación de pilas locales, que cuando actúa como ánodo.

Si las regiones anódicas y catódicas sólo están separadas por distancias atómicas (uno 3×10^{-8} cm.) ocurre que, lo mismo que en la disolución de metales en los ácidos, se pasa progresivamente del proceso electroquímico a uno puramente químico, como ya se ha señalado en la sección anterior. Son también puramente químicos aquellos procesos que siguen a los catódicos y anódicos como la precipitación, indicada en la fig. anterior, de la sal formada anódicamente como los hidróxidos de origen catódico. Los procesos de las pilas locales no se limitan a uno y el mismo metal.

Si se encuentran en contacto galvánico mutuo metales diferentes,

siempre ocurre que los más nobles se protegen a costa de los metales menos nobles, y también en este caso es sólo decisiva la cantidad de oxígeno electroquímicamente activo que llega a la superficie catódica. Como es lógico, esto sólo es válido cuando no puede producirse desprendimiento de hidrógeno, por eso se encontró que la corrosión del hierro aumentaba en la misma proporción por contactos con cobre, níquel, plomo, zinc y wolframio.

De estos ensayos se dedujo el principio llamado del área de captura del oxígeno, que solamente es válido si los cátodos pueden transformar todo oxígeno. No es éste el caso si se forma una película protectora o el acceso de oxígeno es excesivo (como en la corrosión atmosférica), o bien la superficie del metal está cubierta sólo en parte por la solución corrosiva. Hay un comportamiento del oxígeno que resulta contradictorio a primera vista, el oxígeno, que es el que causa la corrosión, sólo reacciona precisamente en aquellas regiones sobre las cuales no se produce corrosión alguna, es decir, en los cátodos.

Para completar la visión intuitiva del mecanismo de acción de las pilas locales, debemos hacer breves consideraciones sobre el tiempo que transcurre hasta que reaccionan los átomos de una

superficie de hierro que se corroe. Si tomamos una corrosión - de 1 g/m^2 por día, como la que aproximadamente se produce en agua en reposo saturada de oxígeno sin formación de capa protec tora, se disuelven por segundo, aproximadamente, 1×10^{-9} y/o 1×10^{13} átomos.

Puesto que una capa mono-atómica del 1 cm^2 contiene aproximadamente 10^{15} átomos, se llega a la conclusión de que en la corro sión normal del hierro, entra en reacción un átomo de la superficie poco más o menos después de permanecer en ella 100 seg.

Las mayores velocidades observadas para la disolución del hierro en ácidos oxidantes son del orden de $100\,000 \text{ g/m}^2$ por día, - lo que indica que, aproximadamente, permanece un átomo en la superficie una milésima de segundo. Una corrosión muy lenta - de 0.001 g/m^2 por día por ejemplo significaría, al contrario, - que un átomo de la superficie habría de esperar una media de 2 días hasta tener ocasión de intervenir en la corrosión, es decir, en el proceso de las pilas locales.

Estas consideraciones, puramente cualitativas, sirven para indi car la velocidad con que reaccionan los átomos de la superficie. Para el hierro en contacto con el agua natural que contiene oxíge

no, el tiempo necesario para que todos los átomos existentes en la superficie del metal y en contacto con el líquido corrosivo entren en reacción es siempre, según los cálculos del ejemplo anterior, de unos cuantos minutos. Los 100 segs. calculados se refieren a la superficie geométrica, la cual es varias veces menor que la superficie real.

Relaciones entre corrosión, destrucción del óxido y cantidad de óxido en la superficie metálica.

Aunque la actividad decisiva de las películas nobles de óxido existen y se conoce relativamente poco de la distribución de las regiones anódica y catódicas sobre la superficie del metal que se corroe.

Por ensayos propios hemos encontrado en la corrosión controlada por el oxígeno velocidades de corrosión muy elevadas en los primeros momentos del ataque. También mostró el hierro un marcado efecto de la acción del aire. Cuanto más tiempo había estado en contacto con el aire, tanto mayor era la velocidad de disolución encontrada. En todos los casos, en los primeros segundos aumentó la velocidad de corrosión del hierro hasta un centenar de veces para caer luego a un valor final constante con tanta mayor rapidez cuanto más agresiva era la solución neutra. El valor final constante se correspondía con la velocidad de corrosión normal observada en tiempos largos.

El exceso de hierro disueltos hasta el momento de la caída al valor

final era el mismo, independientemente de que se tratase de una disolución muy rápida en ácidos o de una en soluciones neutros, que era unas cien veces más lenta.

Se obtiene una explicación sencilla de estas observaciones mediante la acción de pilas locales, formadas entre el óxido noble, que actúa como cátodo, y el metal base menos noble, que se disuelve anódicamente, del cual se sabe que existe sobre las superficies aireadas, pues el hierro todavía no se ha pasivado. Se pudo seguir segundo a segundo la velocidad de corrosión gracias a un micrométodo especialmente puesto a punto, que empleaba el color rojo del sulfocianuro de hierro, y mediante el cual se podía determinar la cantidad de hierro disuelto con una precisión de pocas milésimas de miligramo por litro. De esta forma pudieron establecerse dos conclusiones:

a). El exceso de hierro disuelto daba la cantidad de óxido, o, lo que es lo mismo, el espesor de la película formada después de una aireación determinada. Los espesores hallados concordaban con los encontrados por Evans y Miley para la misma acción del aire.

b). La intensidad del efecto de las pilas locales sobre la superficie corroída del hierro, en función de la solución atacante, se

podía seguir continuamente en el tiempo.

Una conclusión deducida de estos ensayos, y hasta entonces no observada, es que después de la caída de la velocidad de corrosión desde los elevados valores iniciales hasta el valor final y prácticamente constante, había desaparecido el recubrimiento de óxido de la superficie metálica. La corrosión normal transcurre, por tanto, de tal forma que sobre la superficie totalmente libre de óxido el oxígeno que llega forma una película de óxido en regiones muy pequeñas, regiones catódicas, y esa película reacciona inmediatamente con el metal base, disolviéndose éste. El óxido vuelve a reducirse o gastarse catódicamente y prácticamente en el mismo momentos de su formación. No se puede aceptar una reacción química directa del medio corrosivo sobre el óxido, porque las velocidades de reacción de los óxidos aislados con las soluciones agresivas son extraordinariamente más lentas que las del hierro con éstas bajo las mismas condiciones. Especialmente concluyentes son a este respecto las investigaciones de Evans, quien demostró que una película de óxido separada del hierro resistía durante mucho tiempo completamente intacta a la acción de los ácidos, en tanto que se reducía catódicamente a gran velocidad si estaba en contacto metálico -

con el hierro.

Ejerce una influencia muy grande el espesor de la capa. Según nuevos resultados de ensayos de Pryor y Evans, las películas -- de óxido de hierro formadas a 300°C . cuyo espesor es de 400 a 600 Å, desaparecen en HCl O, IN en unos 2 a 5 segundos. De -- aquí se calcula una velocidad de corrosión de unos 2000 a 5000 -- g/m^2 por día (200 Å de espesor de capa = a unos 0.007 mg. -- de hierro por cm^2). Aunque estas estimaciones son poco más -- que cualitativas, la concordancia con las medidas propias para -- la corrosión inicial es notable, ya que según Pryor y Evans, las velocidades de disolución en HCIN y O, IN eran prácticamente -- iguales.

Cuando las capas obtenidas por un calentamiento más largo eran solamente un poco más gruesas (700 Å), aún después de 300 seg. presentaban una disolución incompleta. Las películas de óxido -- de 400 Å que desaparecen rápidamente, presentaron, sin embargo, una diferencia esencial e importante con los recubrimientos de óxidos estudiados por nosotros cuyo espesor era aproximada -- mente la mitad: las primeras ya no se atacaban aún después de largo tiempo, para un pH = 3, mientras las nuestras se disolvían

en 20 min. incluso en soluciones neutras. Así, al doblarse el espesor y pasar de 200 a 400 $\text{\AA}$, se produce una disminución en la reacción con el metal base de varios ordenes de magnitud. No es posible por tanto, de ninguna manera, generalizar la gran intensidad del efecto de las pilas locales entre óxido y el metal base encontradas por nosotros, a las películas visibles de óxido -- formadas a temperaturas elevadas. Parece, pues, evidente que la acción de las pilas locales formadas entre película de óxido y metal base, que presupone la posibilidad de un flujo no estorbado de electrones, experimenta una disminución muy considerable para películas de óxido aún relativamente delgadas, lo que -- parece ser consecuencia de su escasa conductibilidad electrónica.

Según las ideas expuestas la efectividad de las pilas locales formadas entre las regiones catódicas cubiertas con una capa muy delgada, y que son preponderantes, y anódica del metal base y de superficie relativamente pequeñas, queda limitada al comienzo de la corrosión. La corrosión del hierro oscila, según la aireación previa, entre 1 y 20 millonésimas de gramo por cada cm^2 de superficie corroida.

Esto equivale a una disminución de espesor de 1 a 20 millonési--

mas de mm. Como en el hierro, también se han encontrado períodos iniciales de la corrosión, con una elevación de la velocidad parecida, en el caso del cobre y el níquel.

Parece correcta la idea de que se trata de una propiedad general de los metales. Una separación neta entre este comienzo de la corrosión con caída rápida hasta un transcurso con velocidad - - prácticamente constante sólo tiene sentido cuando el metal corroído está totalmente cubierto por líquido corrosivo, de tal forma - que el oxígeno no puede llegar hasta la superficie metálica más - que por difusión. Para un metal introducido sólo parcialmente - en el líquido y para la corrosión atmosférica las relaciones son - distintas por completo.

Medida Electroquímica Directa de la Película de Oxido Catódica.mente Activa y del Oxígeno Activo.- Se obtiene una comproba- - ción y ampliación de las conclusiones alcanzadas sobre el curso temporal de la velocidad de disolución mediante la medida de la corriente suministrada por pilas modelo que reproduzcan el proceso de las pilas locales de corrosión.

Pilas galvánicas, con hierro aireado como cátodo y cadmio co--mo ánodo en solución salina saturado, produjeron intensidades

de corriente que seguían el mismo curso temporal que la velocidad de corrosión, siendo muy elevadas en los primeros instantes y cayendo luego rápidamente a un valor constante. Se presentaron fuertes diferencias, causadas por la mayor o menor aireación antes de la producción de la corriente, por el distinto tratamiento previo del hierro y por la clase de hierro empleada.

Las diferencias eran máximas cuando entre la acción del aire -- y el momento de cerrar el circuito para medir la corriente pasaba un largo tiempo, en el que el hierro permanecía en contacto con la solución. Durante este tiempo se encontró un efecto muy intenso de las pilas locales entre el óxido y el metal base. Era suficiente un tiempo de 10 seg. para que se redujese catódicamente del 20 al 90% del óxido (según la clase de hierro), por lo que al pasar la corriente fue correspondientemente más pequeño el flujo necesario para llegar a la corriente residual constante, dependiendo, sobre todo, de la concentración del oxígeno. Toda vía no se ha investigado en que extensión son utilizables para el ensayo de materiales, o para la caracterización de las diferentes clases de hierro, las diferencias obtenidas para este tipo de ensayos para diferentes tipos de hierro. La sencillez y rapidez del método de medida serían satisfactorias para un empleo utili

tario.

En la producción de corriente investigada de esta forma se superponen dos procesos. A la corriente que entre hierro y cadmio se unen las locales que circulan en la superficie del hierro entre los recubrimiento más nobles del óxido y el metal base. Por ello, la corriente medida entre hierro y cadmio no corresponde más que a una fracción de la que interviene en la reducción catódica del óxido, fracción muy variable con las condiciones de ensayo. Pero aún la determinación precisamente de esta fracción puede llevar a consecuencias importantes. Cuanto más noble sea el material del cátodo, tanto más se aproximan los coulombs medidos a los correspondientes a la destrucción catódica del total de óxido existente. Con el platino es este exactamente el caso; en la pila platino-cadmio se obtiene una relación cuantitativa entre el número de coulombs medidos y el recubrimiento de óxido. Se deben determinar de modo especial los coulombs que pasan hasta alcanzar el valor final constante de la intensidad de corriente, al que se llega más o menos rápidamente. Lo mismo que para las velocidades de disolución, los valores finales constantes son una medida para la concentración de oxígeno, o sea, de la cantidad de oxígeno que llega por difusión al cátodo

y actúa como despolarizante.

Señalemos todavía brevemente que estas relaciones solo se pueden observar, como es lógico, cuando no se produce ningun otro proceso aparte de la reducción del óxido. Así ocurre cuando por evitarse una reacción fuertemente ácida no se produce - desprendimiento de hidrógeno ni tampoco hay presente ningun metal que pueda precipitarse catódicamente. Con estos ensayos - se han podido determinar recubrimientos de oxígeno o de óxido sobre la superficie del platino correspondientes a unos valores entre unos 10^{-3} y 10^{-7} coulombs. También se han podido determinar capas de óxido cuyo espesor era un múltiplo correspondiente a una capa mono - molecular y recubrimientos tan extraordinariamente pequeños que solo correspondían a milésimas de una capa atómica y aun menos, sin que se haya alcanzado un límite. Traducido a cantidades se miden aproximadamente 10^{-12} moles o diez - millonésimas de miligramo de óxido por cm^2 . de la superficie del metal. Tales recubrimientos se forman cuando se abre el - circuito después de habrese alcanzado la corriente límite; al cortar la corriente se difunde hacia el platino una cantidad de oxígeno calculable a partir del valor de la corriente residual, pero éste no se consume y puede adherirse alla superficie del metal. Al volver -

a cerrar el circuito se miden los coulombs correspondientes a estas cantidades de óxido u oxígeno como exceso necesario para volver a alcanzar la corriente límite o residual. Esta corriente límite permite, además, una determinación cuantitativa del oxígeno disuelto hasta en concentraciones de pocas milésimas de miligramos por litro, superandose ampliamente los más precisos métodos químicos, con lo que el control continuo del contenido de oxígeno, muy importante en orden a la corrosión, del agua de alimentación de calderas de alta y altísima presión se ha podido efectuar con gran sencillez y exactitud.

La fuerza electro-motriz del elemento platino-cadmio en el flujo estacionario de corriente puede ser muy pequeña, importando para concentraciones de oxígeno muy bajas, solamente alrededor de 0.001 mV. La independencia de la intensidad de corriente, y por ello del curso de la reacción catódica, con relación a la fuerza electro-motriz y al potencial catódico de tales elementos de oxígeno, ha sido considerada detenidamente por Akimow y sus colaboradores. La intensidad de la corriente se ajusta automáticamente a un valor definido por la Ley de Fick.

Las diferencias en resistencia interna y externa se compensan -

ampliamente por un ennoblecimiento correspondiente del potencial. Las pilas galvánicas descritas sólo se diferencian de las fuentes de corriente usadas en la vida real, por ejemplo, una pila de linterna, por la cantidad de corriente eléctrica que puede suministrar.

Mientras una pila comercial puede suministrar bastante más de 100 coul. por cm^2 , las pilas de aireación descritas se agotan, con las aireaciones más pequeñas, ya después de los 10^{-6} coul. o menos, pues no disponen para el suministro de corriente de la capa de pirolusita muy rica y de varios milímetros de espesor de las pilas secas, sino sólo de una capa de óxido que es un millón o un millar de millones de veces más delgada.

Electroquímicamente, una característica fundamental de las - - investigaciones tratadas en esta sección es la existencia de una relación cuantitativa entre la transformación material, como la la disolución de un metal o la reducción del óxido, y la cantidad de electricidad circulada, medida en amperios⁻ segundos o coulombs. Por ello no hay que asombrarse de que sea la magnitud eléctrica amperios⁻ segundos o coulombs más utilizables que - otras, como la densidad de corriente o el potencial.

La magnitud primaria acoplada más directamente con las transformaciones químicas electrónicas, es el flujo de electrones, y, por ello la cantidad de electricidad en coulombs.

CORROSION INTERCRISTALINA Y CORROSION BAJO TENSIONES.

Los procesos de la corrosión intercrystalina y de la corrosión bajo tensiones son muy poco conocidos para pronunciarse de manera unívoca.

Se ha expuesto, por ejemplo, la opinión de que la corrosión bajo tensiones ocupaba un lugar marcadamente específico dentro de los fenómenos de corrosión, pero, por otro lado, hay una serie-completa de condiciones y fenómenos de tipo semejante que establecen un parentesco íntimo. Indiquemos solamente aquellas condiciones muy semejantes que intervienen en su presentación, como la humedad, el agua, las soluciones acuosas, la temperatura ambiente o la temperatura moderadamente elevada, y el comportamiento similar en cuanto a la protección lejana y al desprendimiento de hidrógeno.

La corrosión intercrystalina y la corrosión bajo tensiones se pueden reunir también bajo el concepto general de corrosión inter y transcrystalina. La corrosión bajo tensiones constituye el aspecto de este campo, al que ha correspondido mayor importancia -- porque su investigación es más difícil que de la pura corrosión --

intercristalina, y su aparición es peligrosa. Como corrosión -- bajo tensiones se entiende el agrietamiento inter o transcristalino de un material metálico bajo la acción simultánea de un me-- dio corrosivo y de una tensión mecánica estática. No se incluye en ella, por tanto, lo que se presenta bajo esfuerzos periódica-- mente variables y que fué en tiempos designada con el mismo -- nombre y la consiguiente confusión. Estrictamente se podría -- abarcar también, dentro de este concepto, la corrosión puramente superficial que tiene lugar estando el material sometido a una tensión estática, pero no se hace así. En parte se introducen -- aún limitaciones más amplias, atendiendo a la naturaleza del medio corrosivo. La corrosión intercristalina se presenta en dis-- tintos metales y aleaciones aunque no existan esfuerzos mecáni-- cos. Por ello, y para mayor claridad, se ha designado este tipo de corrosión como desmenuzamiento o desmoronamiento en gra-- nos.

La corrosión transcristalina sólo se ha observado hasta hoy cuando existían tensiones mecánicas. Muchas veces se observa en -- probetas no sometidas a cargas externas, pero se ha debido achacar la responsabilidad a las tensiones residuales o tensiones internas introducidas en la preparación del material. Sin embargo, -

también se ha expuesto el punto de vista de que aún la corrosión intercristalina se encuentra ligada en su origen a las tensiones.

No es corriente establecer una diferencia más estricta entre la corrosión intercristalina bajo tensiones y la puramente intercristalina (desmoronamiento de granos), por lo que tampoco se tendrá aquí en cuenta. Esta falta de diferenciación resulta también del hecho de que muchas veces se determina la tendencia a ambos tipos de destrucción mediante probetas sometidas a tensión. Por otro lado, la denominación "corrosión bajo tensiones" no siempre se ha empleado correctamente. En el caso de los aceros se la diferenció con claridad desde el principio, mientras que, por ejemplo, en el caso de las aleaciones del aluminio la diferencia no se ha tenido bastante en cuenta. La distinción se dificulta también porque, en general, no es fácil saber si en el material existían o no tensiones, por lo que muchas veces se supone corrosión intercristalina bajo tensiones. También existe el problema de saber lo que se entiende por tensiones; si damos por buena la idea ya citada tendremos, en último extremo, que designar también la corrosión intercristalina como corrosión - bajo tensiones. Algunas veces son tensiones aplicadas desde el exterior, que son fáciles de reconocer, pero otras se trata de -

tensiones internas (tensiones residuales) que quedan en el mate rial como consecuencia de acciones externas; en este caso presenta mayor dificultad su determinación, así como la pretendida clasificación.

Atendiendo a lo expuesto, es condición fundamental para la co-- rrosión puramente intercrystalina la existencia de un estado de terminado del material y un medio corrosivo apropiado, mien-- tras que, para la corrosión bajo tensiones es además necesaria la existencia de tensiones de tracción.

No hay ningún metal, que no dé lugar a algún sistema aleado -- sensible a la corrosión inter o transcristalina. Encontramos tal sensibilidad en aleaciones con adiciones de los metales más no-- bles, como el platino, oro, plata, lo mismo que en otras a base de metales innob--les como magnesio y zinc.

Frecuentemente bastan ya para sensibilizar cantidades mucho-- menos del 1% de un segundo componente, como, por ejemplo, -- han establecido los ensayos en aleaciones a base de cobre.

Para distintas aleaciones se han encontrado las tres posibilida-- des: Es decir, que según sean las condiciones podemos observar

corrosión intercrystalina bajo tensiones, o corrosión transcrystalina bajo tensiones.

La corrosión inter y transcrystalina se presenta de una forma -- mucho más desagradable que la corrosión superficial pues su re conocimiento entraña grandes dificultades y la mayoría de las ve ces se comprueba cuando ya ha destruido la parte estructural -- afectada. Faltan casi siempre los productos característicos de la corrosión y muchas veces no se repara en la coactuación del efecto corrosivo en la rotura.

Son bien conocidos, aparte de la corrosión intercrystalina (des-- menuzamiento en granos) de los aceros austeníticos, la destruc-- ción (sobre todo por corrosión bajo tensiones) de las partes es-- tructurales del hierro por acción de las soluciones de nitratos o-- agua de las calderas, la de las piezas de latón en presencia de -- amoníaco y la de los metales ligeros por efecto de las soluciones de sal común (agua de mar) y aún de la intemperie. Es típico de la corrosión bajo tensiones, y por ello también significativo, que la mayoría de las veces sólo quedan afectados lugares muy loca-- lizados, mientras que sus alrededores permanecen intactos. En estas proximidades se encuentran propiedades normales del ma--

terial en cuestión, lo que hace que los poco experimentados en este tipo de destrucciones encuentren difícil el reconocimiento de tales fallos.

Hay una serie de trabajos en los que se trata el problema de la corrosión inter y transcrystalina en grupos completos de aleaciones o de la corrosión bajo tensiones de aleaciones a base de numerosos metales. Dichos trabajos han sido realizados por diversas sociedades entre las cuales esta: American Society For Testing Materials, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers y el Institute of Metals of England.

Factores Determinantes e Influyentes: Como ya hemos dicho aún no estan bien explicadas las relaciones de parentesco existentes entre la corrosión superficial y la corrosión inter y transcrystalina.

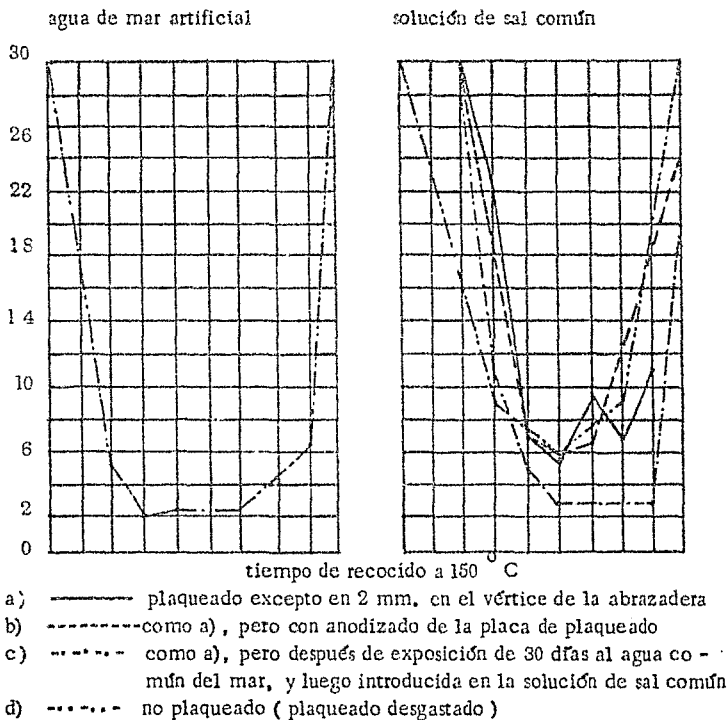
En aleaciones innobles, como las de aluminio y las de magnesio, tanto en corrosión bajo tensiones como en la superficial, la destrucción se caracteriza por el desprendimiento de hidrógeno. En aleaciones más nobles, como por ejemplo, los latones ocurre lo contrario en ambos casos. Si seguimos el desprendimiento de hidrógeno durante la corrosión bajo tensiones de las aleaciones-

innobles, observaremos que se desprende el gas en las grietas - que se forman. No podría producirse entonces una destrucción - de los bordes de grano porque parecen catódicos. Otro tanto ocurre en la corrosión transcristalina. De éstos se deduce que en la corrosión inter y transcristalina los ánodos y los cátodos están inmediatamente próximos. Esto y las variaciones bruscas - que se observan durante la corrosión pertenecen al grupo de fenómenos que hacen dudar de si se trata de procesos de corrosión - realmente electroquímicos. Se entiende por acción protectora - lejana, como es sabido, el efecto por el cual en una aleación plaqueada con un material más electronegativo que el base, aunque, el recubrimiento presente discontinuidades más o menos importantes, no se produce una corrosión apreciable del metal base, - es decir, que éste es atacado únicamente cuando se ha desgastado totalmente el recubrimiento.

Esta protección lejana no sólo sirve para el caso de la corrosión superficial, sino también para la corrosión bajo tensiones. Así, faltan la corrosión superficial y la corrosión bajo tensiones en el duraluminio plaqueado y con discontinuidades en el recubrimiento cuando el medio agresivo es el agua de mar artificial, mientras que se presentan ambos tipos de corrosión en soluciones pu

ras de sal común. Para el comportamiento respecto a la corrosión bajo tensión en distintas condiciones ver la figura siguiente:

Fig.



Comportamiento en la corrosión bajo tensiones (duración de las abrazaderas) de una chapa plaqueada de duraluminio (composición del material base: 3.7% Cu, 0.9% de Mg, 0.46% de Si, 0.40% de Mn, y 0.72% de Fe) durante un ensayo de treinta días en agua de mar.

Así pues, tenemos también dos ejemplos de comportamiento anólogo con relación a la corrosión superficial y a la inter y trans -- cristalina, que indican, en último extremo, que las causas estan muy emparentadas o son las mismas. En estas circunstancias -- no es muy descaminado afirmar que la corrosión inter y trans -- cristalina nos permite una visión más profunda del mecanismo --

de la corrosión que la simple corrosión superficial general. En otras palabras, es de esperar que la explicación del mecanismo de reacción en el caso de la corrosión inter y transcristalina - traiga consigo nuevos conocimientos relativos a la propia corrosión superficial.

1. Papel del medio corrosivo.- Todavía es poco conocido el papel que desempeña el medio corrosivo en la corrosión inter y transcristalina. Aún materiales en estados altamente sensibles pueden no ser destruidos por cualquier medio agresivo, lo que hace necesario muchas veces el empleo en los ensayos de medios completamente determinados, con propiedades también completamente determinadas.

En todo caso, resulta completamente general el hecho de que la corrosión inter y transcristalina sólo progresa en aquellas soluciones que actúan como oxidantes. Es sabido que estas tienen la capacidad de absorber electrones. Si trabajamos con una atmósfera reductora que, como tal, es capaz de ceder electrones, la destrucción no se produce.

2. Estado del Material.- Por lo que concierne al material hay que decir que debe encontrarse en un estado completamente determinado para que puedan darse las condiciones necesarias para

la aparición de la corrosión bajo tensiones, y de la intercristalina. El material es sensible cuando su estado estructural no corresponde a un equilibrio y, especialmente, cuando hay una sobresaturación o una variación de solubilidad por causa de una transformación. Tales estados meta-estables son muchas veces difíciles de definir.

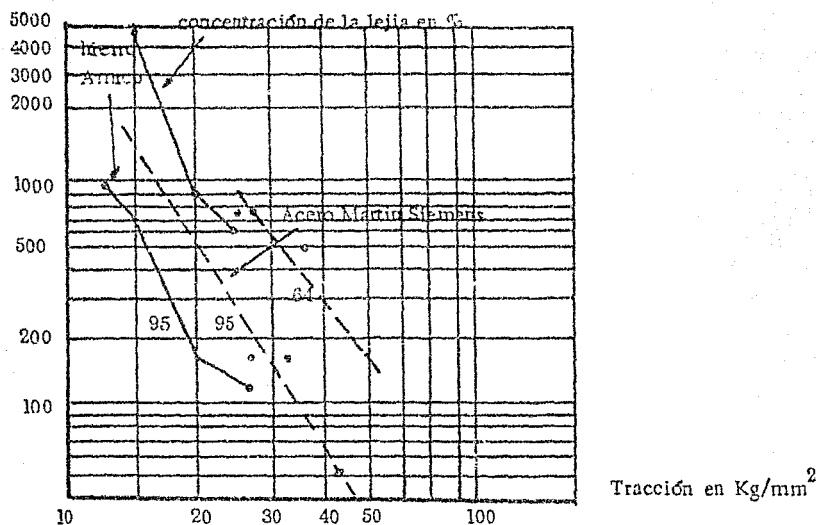
3. Efecto de las deformaciones permanentes. - Se tiende con facilidad a considerar siempre la deformación plástica, especialmente en la corrosión bajo tensiones, como aceleradora de la destrucción. Varios ejemplos referentes a los más distintos tipos de aleaciones nos demostrarán que no siempre ocurre así. - Apenas se encuentra ningún apoyo para ello, pues se observan disminuciones de la sensibilidad con las deformaciones más elevadas en aleaciones homogéneas, heterogéneas e inestables.

Entre aleaciones homogéneas se encuentran las de los metales nobles y el latón, entre las inestables, los aceros austeníticos, y entre las heterogéneas, los aceros de construcción. En las aleaciones inestables y heterogéneas se puede explicar esto, como se ha descrito anteriormente para los aceros austeníticos -- porque el constituyente menos noble desvía sobre sí el ataque co

rosivo. En las homogéneas, se ha reconocido que la deformación progresiva conduce a texturas cada vez más marcadas que llevan el material un comportamiento cada vez más parecido al de un mono cristal, haciéndolo más insensible o insensible por completo a la corrosión intercristalina. Esta base puede bastar, pero no para los casos en que se ha encontrado corrosión transcristalina en aleaciones homogéneas.

4. Influencia de la tensión en las entallas. - Es natural que en la corrosión bajo tensiones sea decisiva la importancia de la tensión, y precisamente de la de tracción, cuya magnitud, según la aleación, puede o debe ser distinta para originar los daños. -- En arrollamientos de alambre de aceros austeníticos el cromo-niquel bastan ya las tensiones procedentes del proceso de fabricación, mientras la corrosión intercristalina de los aceros en lejía de sosa (fragilidad cáustica) está ligada a tensiones elevadas. Por el contrario, la tensión no afecta sensiblemente en las circunstancias que conducen a una corrosión intercristalina pura, por ejemplo, en la corrosión intercristalina de los aceros 18-8- en solución sulfúrica de sulfato de cobre o las aleaciones de zinc en vapor de agua.

Fig.



Efecto de la concentración y de la tensión de tracción sobre la corrosión intercristalina, bajo tensiones, del acero en soluciones de nitratos cálcicos y amónicos (solución normal: 60 % de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + 4 % de NH_4NO_3) Representación logarítmica doble.

5. Tratamiento térmico y endurecimiento por precipitación. -

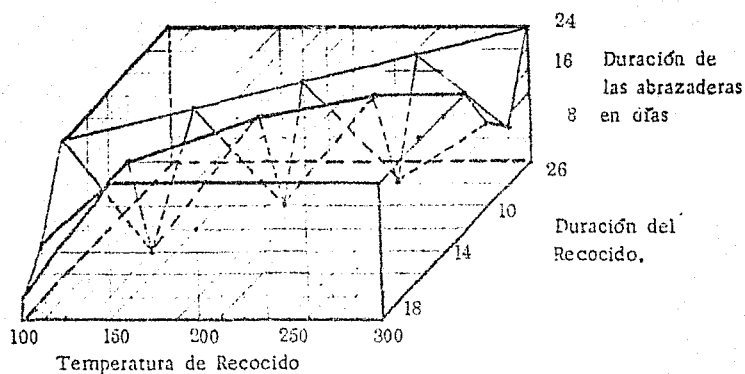
Si ya las variaciones de estado en apariencia insignificantes influyen de modo considerable sobre el curso de la reacción, es natural que los tratamiento térmicos lo afecten intensamente, como ejemplo ver la figura siguiente, que se refiere a una aleación de aluminio.

Mediante el tratamiento se puede intensificar, debilitar o eliminar, totalmente la corrosión intercristalina y la corrosión bajo tensiones.

En cambio, la corrosión transcristalina bajo tensiones se distingue porque es difícilmente afectada o no lo es en absoluto por los tratamientos térmicos. Esto se ha observado en aleaciones de -

magnesio, latones y aceros austeníticos.

Fig.



Tendencia a la corrosión bajo tensiones de un duraluminio (3,5 % de Cu y 0,7 % de Mg) homogeneizado y recocido a diferentes temperaturas y durante diferentes tiempos según un ensayo de 24 días en agua de mar artificial y con inmersión alterna.

6. Formación de grietas (situación y tipo de destrucción). Se ha aceptado muchas veces la idea de que la corrosión inter y - transcrystalina se produce en lugares en que los átomos están especialmente apretados, como los límites de grano, planos de macla y planos de deslizamiento; pero también se ha repetido siempre que no hay una relación clara, especialmente por lo que respecta a la corrosión bajo tensiones, que en esta relación es la primera en cuestión. Las roturas resultan en general perpendi-

culares a la dirección de la sollicitación, por consiguiente, a la dirección de la tracción. La formación de grietas, inter o trans cristalina depende de una serie de factores, en general en los -- metales cuya red cristalina es cúbica se ocasiona la destrucción intercristalina. Se encuentran en este caso las aleaciones de aluminio, plomo, hierro, oro, cobre y níquel. En las aleaciones cuyo metal base tiene red hexagonal parece que, al contrario, predomina la destrucción transcristalina. Esto es válido para las -- aleaciones de magnesio, pero no es exacto en otros casos.

7. Comportamiento en estado bruto de colado.- Las corrosio-- nes inter y transcristalina se han estudiado hasta hoy de manera preferente en aleaciones forjadas o laminadas, y existen pocos -- trabajos relativos al estado bruto de colado. La razón es que seguramente, la importancia y la frecuencia de este tipo de corrosión son mucho menores en el último estado citado. En los ace-- ros austeníticos el cromo-níquel moldeados no se establecen las -- mismas exigencias ni se toman las medidas de prevención usuales para los aceros forjados de la misma composición.

8. Relaciones con otros fenómenos.- Muchas veces, como ocurre especialmente en aleaciones de aluminio, la corrosión inter--

cristalina sólo se produce en un plano del semiacabado, por -- ejemplo, chapa o perfil. Este fenómeno se ha llamado corrosión en capas o extractos o formación de hojaldre, y puede considerar se como un caso especial de la corrosión intercristalina. Las - - tensiones no influyen para nada si tienen otras direcciones de actuación. La corrosión en capas se produce casi exclusivamente -- según planos perpendiculares a la menor altura del acabado, en -- las chapas por ejemplo, paralelamente a la superficie de la cha -- pa, en la dirección de la laminación.

Hay una serie de fenómenos que aún hoy son extraños. Entre - - ellos se encuentran la fragilidad de decapado, las grietas del rec -- tificado de los aceros, y la peste del estaño. Quizas algunas de -- estas enfermedades de los materiales pudieran incluirse en el -- campo de la corrosión inter y transcristalina, una vez que se com -- probase con más detenimiento el mecanismo de reacción.

9. Condiciones fundamentales.- Resumiendo cuanto se ha ex -- puesto hasta este momento se llega a la conclusión de que para la representación de la corrosión intercristalina (desmoronamiento -- en granos) y la corrosión bajo tensiones son fundamentalmente -- necesarias las siguientes condiciones:

a). Debe presentarse un estado totalmente determinado en el -- material, un estado lábil, que se caracteriza, por ejemplo, por una estabilidad insuficiente (transformación a otra modificación -- como en la austenita o el estaño beta) o por una sobresaturación.

b). No todos los medios corrosivos pueden producir el ataque, -- sino que el medio debe tener propiedades completamente determi -- nadas. Estas pueden darse desde el principio o adquirirse en el -- propio transcurso del ataque (formación de tetramina en el ataque del latón por el amoníaco). Existen pocas indicaciones sobre las condiciones fundamentales que han de ocurrir en tales medios co -- rrosivos. A estas pertenecen las de L. Graf, quien establece -- que en aquellas aleaciones que contienen metales nobles y son ho -- mogéneas causan corrosión bajo tensiones, los agentes que ata -- can más o menos intensamente el metal base.

c). Para la corrosión bajo tensiones es necesaria, además, la -- existencia de tensiones de tracción, cuya magnitud puede ser -- muy diferente.

Como hemos visto, la corrosión bajo tensiones y la intercristali -- na dependen de una multiplicidad de factores, y, aún hoy es muy -- difícil tenerlos en cuenta correctamente para dominarlas. Por --

eso no es a menudo sencillo dar seguridad a una aleación sensible tomando medidas preventivas adecuadas. El desarrollo de los aceros austeníticos y de los materiales ligeros indica, además de esto, la forma de luchar con éxito contra las grandes - - exigencias de las enfermedades.

CAPITULO II.

GENERALIDADES SOBRE PROTECCION CONTRA LA CORROSION:

No es necesario insistir particularmente sobre la importancia de las medidas de protección. Todos saben que por la corrosión -- se pierden valores fabulosos, pero que también se invierten sumas extraordinarias de dinero para evitar las destrucciones naturales.

Como es sabido, se entiende por corrosión la destrucción indeseada de los materiales por acciones químicas o electroquímicas.

Para conducir esta batalla correctamente es necesario estudiar -- las causas de la destrucción, con el fin de poder emplear las mejores medidas de protección. Por ello existen en todos los países, institutos que trabajan conjuntamente e intercambian los resultados de los ensayos emprendidos en la investigación de las leyes que rigen la destrucción de los materiales.

Antes de entrar en las medidas apropiadas para la protección de los materiales, es necesaria una discusión de algunas cuestiones fundamentales. Se relacionan bajo la pregunta ¿bajo que condiciones se presenta una destrucción y qué puntos de vista hay que

considerar para adoptar la medida de protección más eficaz.?

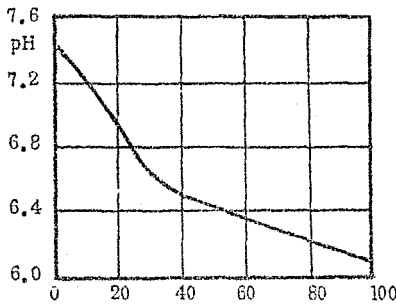
Ante todo, consideración general sobre la corrosión: el proceso se realiza sobre la superficie límite de un material sólido. Siempre se trata de sistemas heterogéneos.

Como causa de las destrucciones que englobamos dentro de la denominación corrosión, han de considerarse los efectos de las acciones externas, siendo las principales debidas a la atmósfera, la acción conjunta del agua, sea ésta líquida, sea humedad del aire o agua condensada y precipitada de aire más o menos saturado con ella, y los gases de aire y sales determinan fundamentalmente el pH del agua. En el caso del ataque por agua pura, sin embargo hay que considerar también la temperatura, pues el valor del pH del agua puede variar con ella. El valor del pH es decisivo para la naturaleza y la dureza de la corrosión. Esto se puede demostrar con 3 ejemplos. En el zinc fig. (1), se tiene una protección completa para un $\text{pH} = 12$, para el cual se forma una capa protectora de espesor suficiente. En el hierro fig. (2), la acción protectora depende ampliamente del contenido de oxígeno, pero para pH mayor de 9 no hay ataque. En el cadmio fig. (3), la protección existe ya para un pH igual a 6.

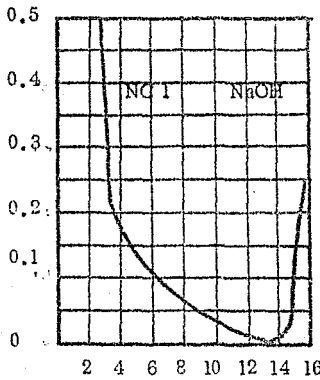
En la corrosión por la atmósfera hay que distinguir entre las atmósferas del interior y las marítimas. Los efectos de ambas pue

den ser muy distintos y las medidas de protección, en consecuencia, también han de serlo.

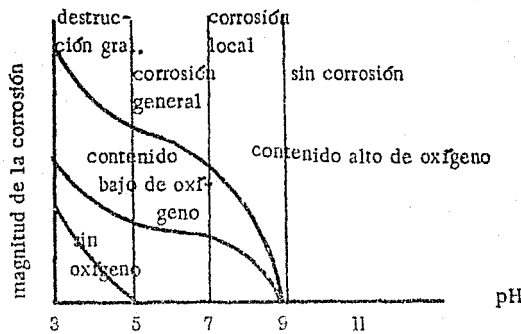
Fig.



Variación del pH del agua con la temperatura.



Relación entre el ataque del zinc y la concentración de los iones hidrógeno.



Relación entre la corrosión del hierro, el pH y el contenido de oxígeno

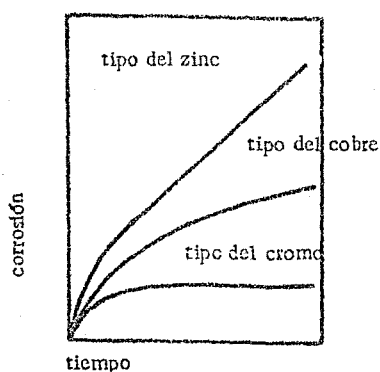
Ataque Atmosférico.- El ataque de los metales se intensifica por la presencia de gases sulfurados, como el anhídrido sulfuroso, -- el sulfúrico o el sulfuro de hidrógeno, los cuales existen especialmente en los ambientes industriales y en las ciudades. En pre--sencia del agua forman ácidos, los cuales destruyen las capas protectoras naturalmente formadas, sobre metales, y el ataque progresiva, porque los productos de la corrosión son la mayoría de las veces fácilmente solubles en agua, y se eliminan continuamente. - En el aire exento de combinaciones de azufre se forman por acción del oxígeno y del anhídrido carbónico no es por tanto un agresivo -- sino que actúa muchas veces como protector, por ejemplo en la -- formación del orín blanco sobre el zinc. En determinadas condi--ciones, por ejemplo, en el agua, el anhídrido carbónico disuelto -- es un agresivo fuerte, como ocurre en los recubrimientos brillantes de níquel. Todo depende de las condiciones de cada caso, pudiendo clasificarse el comportamiento de los metales en 3 clases.

1. Tipo del Cromo.- Pertenecen a él todos los metales que contienen cromo y el aluminio. El ataque se detiene muy pronto.
2. Tipo del Cobre.- También pertenece a él el plomo, Después, de un ataque inicial rápido se forma una gruesa capa protectora. -

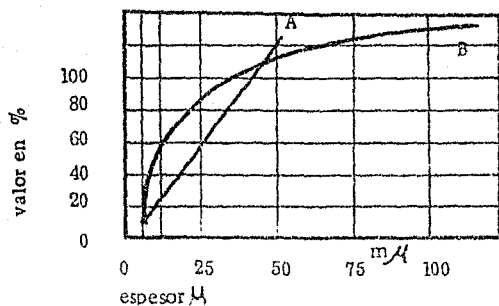
En los recubrimientos de cobre sobre hierro etc., aumenta la duración del recubrimiento con el cuadrado del espesor.

3. Tipo del Zinc.- Pertenecen también al magnesio y probablemente, cadmio y níquel, en el cual se destruyen fácilmente las -- capas protectoras. La duración de tales metales, cuando se emplean como recubrimiento protector, es proporcional al espesor de la capa. Sobre la valorización en tantos por ciento.

Fig.



Tipos de capas protectoras en la corrosión atmosférica (esquemática)



Curso de las curvas después de un año de ensayo para A; zinc y cadmio sobre acero, B cobre, níquel y cromo sobre acero.

En las atmósferas marítimas el ataque se intensifica por la presencia de sales. Por esta razón se presentan fundamentalmente otros fenómenos de corrosión, y el comportamiento es de tipo particular. A consecuencia de la formación de cloruros fácilmente solubles o de hidróxido sódico en las regiones anódicas o catódicas las capas protectoras se destruyen continuamente.

Actualmente contamos con un sin número de tablas y normas específicas para todo tipo de recubrimientos y espesores según los materiales utilizados y las condiciones atmosféricas características de cada país en el mundo. Estos datos son interesantes desde muchos puntos de vista, ya que nos permiten observar el comportamiento de los metales y los recubrimientos en cualquier tipo de circunstancias.

Ahora ocupémonos de la corrosión en el interior de los locales. -

En este caso, es normal que el factor principal de la corrosión, - la humedad falte o se mantenga por bajo de los valores relativos necesarios para la iniciación del ataque, por lo que éste tiene pocas posibilidades aún en el caso de existir gases perjudiciales.

Sobre la superficie de los metales se forman películas que detie-

nen el ataque posterior. Usualmente apenas alcanza la humedad de interiores un valor relativo del 55%. Bajo esta concentración no se produce corrosión; esto vale también para la atmósfera libre.

Es conocida la gran resistencia de los metales a la corrosión en los desiertos y otras regiones en las que la humedad del aire es menor al 70%. Un ejemplo de los más conocidos es la columna de Hierro de Dehli, cuya resistencia no se debe al material, sino al aire seco. En los locales industriales las condiciones son la mayoría de las veces muy distintas y deben por ello tenerse en cuenta al elegir las medidas protectoras. Como las normas indican, y a ello nos referimos otra vez más adelante bastan en el interior de los locales recubrimientos muy delgados para proteger a los metales base.

Para cualquier recubrimiento metálico, sea cual sea la forma de preparación, lo importante para el efecto protector es que sea -- sea compacto y no poroso y, por ello, cubra totalmente el metal base.

El ataque solo puede producirse, como si se tratara de un metal en bloque, por un desgaste más o menos regular del recubrimiento

to. El espesor está determinado por la duración y la empleabilidad de la pieza recubierta. Tales recubrimientos proporcionan una protección del metal base de tipo mecánico y sólo temporalmente.

De manera totalmente distinta se comportan los recubrimientos que no estan bien hechos. Ello puede ocurrir por ser demasiado delgados e inútiles para el fin propuesto, por tener poros debido a una estructura cristalina desfavorable, por que son esponjosos, como puede ocurrir en los metalizados por proyección, o por oclusión de partículas de suciedad como suele ocurrir en el electro-plaqueado.

Estas condiciones suelen ser funestas para la destrucción por formación de pilas locales. En unos casos, según sea la naturaleza del metal del recubrimiento el metal base funciona como ánodo y se disuelve, con lo que se forman picaduras ramificadas, mientras que en otros se disuelve el metal del recubrimiento y protege al metal base mientras existe algo del metal base sin disolver. Cuando se dan tales circunstancias se dice que hay una protección lejana.

El primer caso corresponde al recubrimiento del hierro con co--

bre; al formarse las pilas locales se disuelve el hierro. El segundo corresponde al recubrimiento del hierro con zinc, mientras hay zinc sin disolver el hierro está protegido. Este último comportamiento no es permisible generalizarlo, investigaciones determinadas han demostrado que en ciertos casos el zinc se pasiva, haciéndose más noble que el hierro y disolviéndose éste. Para esta inversión del potencial es decisiva la composición del agua que actúa como medio agresivo. Los bicarbonatos y los nitratos (más de 80 mg/l de HCO_3 y más de 10 mg/l de NO_3) favorecen la inversión.

El mismo efecto produce una elevación de temperatura, particularmente cuando hay nitratos y carbonatos, pero también cuando no hay presente ninguna sal. La inversión se produce sólo después de algún tiempo. Las medidas muestran que la corriente en corto circuito aumenta con el tiempo y alcanza después de 5 a 6 h. un valor constante. La magnitud de esta corriente depende de la capa protectora formada sobre el zinc. Mientras que el potencial del último metal citado tiende a un valor más noble 0.3 V. el del hierro es más innoble al aumentar la temperatura del agua alcanza un valor de -0.67 V. Es condición previa que el agua contenga aire disuelto. En las aguas exentas de oxígeno no hay inver--

sión del potencial.

Formación de Pilas.- La rapidez de este proceso de disolución depende de la diferencia de potencial existente entre los dos metales unidos entre sí. Se produce una corriente que disuelva a uno de los metales. La magnitud de la corriente producida y la de la diferencia de potencial depende ampliamente de la naturaleza del medio agresivo y de su resistencia eléctrica. Una idea sólo aproximada la proporciona la serie de potenciales, cuya ordenación es tal que un metal protege al que le sigue en ella. Pero la serie de potenciales ordinaria no es siempre válida. Sólo expresa los potenciales normales, es decir, los que de un metal en una solución normal de sus sales, y corresponde a la presión de disolución en estas condiciones. Bajo otras condiciones, como las que se suelen dar en los medios corrosivos tales como las aguas ácidas o con contenido de sales los potenciales son diferentes. En tales soluciones se obtienen series de potencial diferentes de la normal; suele hablarse en estos casos de series prácticas. El conocimiento de estas relaciones es muy importante, ya que la experiencia enseña que se discute mucho sobre estas condiciones.

Del conocimiento de estas series de potenciales, se deducen algu

nos puntos de importancia para la protección de los metales contra la corrosión:

- a). Empleo de materiales que estén lo más junto posible en la serie de potenciales.
- b). Evitar superficies muy grandes del metal más noble, pues aumenta el ataque en estas condiciones. Cuando sea posible, aumentar las áreas innobles.
- c). En los plaqueados satisfactorios hay que evitar que por un ataque puede aparecer al descubierto el metal base menos noble, es decir, el plaqueado debe ser tan grueso que no deje que el medio agresivo se ponga en contacto con el metal de fondo.

Las series de potenciales no sólo se deben tener en cuenta por lo que a los recubrimientos metálicos respecta, sino también con la relación a la unión de elementos constructivos fabricados de metales diferentes. También aquí debe evitarse que se puedan formar pilas galvánicas en las que se disolvería el metal menos noble.

Para cumplir estas exigencias se han dictado normas referentes a los electro-plaqueados (esta expresión nos parece más correcta que la de recubrimiento galvánico, porque muestra mejor que-

se trata de una forma de obtener lo mismo que en los plaqueados-
por laminación, por proyección o por inmersión.

Estas normas son importantes y valen sin limitaciones para otras
formas de plaqueado metálico. Dan los espesores mínimos de ca
pa que son justamente apropiados para unas condiciones dadas y -
para garantizar una duración tolerable.

Consideraciones sobre las condiciones a exigir a los recubrimient
tos. - En el párrafo anterior nos hemos referido ya una condición
fundamental: la relativa a la situación en la serie de potenciales.-
En lo que sigue nos referiremos brevemente a las condiciones que
deben exigirse en la superficie del metal a recubrir. Para elec--
ción de un recubrimiento es decisiva su adecuación a un fin deter-
minado y, en último extremo, las propiedades del recubrimiento.

Antes de ocuparnos de las diferentes exigencias en particular de-
dicaremos alguna atención a los objetos que han de recibir el re-
cubrimiento protector. Por lo que hemos dedicado hasta ahora,-
los objetos deben recubrirse de tal forma que el metal base que-
de completamente aislado del medio agresivo. De ello se dedu-
ce principalmente que las piezas a recubrir deben estar acabadas
de tal forma que no sea necesario ningún mecanizado posterior, -

ya que éste deterioraría el recubrimiento. Cuando se haga absolutamente necesario un trabajo mecánico posterior se debe quitar el recubrimiento y luego de la mecanización se recubrirá de nuevo. - Las piezas recubiertas, especialmente si el plaqueado es blando, - deben manejarse con cuidado. Los arañazos u otros deterioros de la capa llevan en caso de ataque a destrucciones graves, que se deben en la mayoría de los casos en que el recubrimiento es metálico, a la formación de pilas galvánicas.

Hay todavía otro punto de importancia. Aún existen hoy fabricantes que creen que recubrir los objetos es un lujo que los encarece inutilmente. Es cierto que el precio se eleva, pero también es - cierto que esa elevación es menor que los muchos gastos que acarrean las reparaciones continuas.

Hoy debe considerarse como imprescindible la protección de todos aquellos objetos que deban sufrir la acción de un agente corrosivo en tanto que se garantice una mayor vida del objeto o, todavía mejor, del recubrimiento. Esto significa que se deben antepo⁵ner los conocimientos relativos a la corrosión, y, sobre todo, las normas establecidas respecto a los espesores numéricos de los - recubrimientos a las consideraciones relativas al costo. Sólo - -

así es posible retrasar la muy cara destrucción de los metales.

1). Calidad de la Superficie del Metal Base.- La calidad de la superficie es de importancia casi decisiva para la magnitud de la corrosión. Es evidente que un metal base que se ha de recubrir debe ser metalográficamente correcto, estando libre de poros, - sopladura, grietas, inclusiones, etc. Estas exigencias son particularmente importantes en el electro-plaqueado, ya que con esta forma de trabajo, a pesar de lo que desgraciadamente se suele afirmar, no se logra eliminar su influencia. Tampoco se puede lograr con los métodos o baños igualadores.

2). Limpieza de la Superficie Metálica.- Es fundamental para todos los métodos de plaqueado que la superficie del metal base esté exento de grasa y de suciedad. Sólo con esta condición se - logrará que el recubrimiento se adhiera. La superficie debe ser puramente metálica. Aquí solo indicaremos que la limpieza de - la grasa y suciedad se realiza por medio de disolventes orgáni--cos, y es suficiente en muchos casos.

En otros procedimiento debe hacerse una limpieza a fondo, lo - - que se logra la mayoría de las veces por métodos electrolíticos. La superficie debe quedar tan limpia que se pueda mojar unifor--

mamente bien con agua. La limpieza mecánica, que también se emplea frecuentemente y limpia a fondo, modifica la estructura de la superficie.

3). Variación de la Estructura de la Superficie.- En lo que -- acabamos de decir respecto a la limpieza mecánica, hemos pensado particularmente en el chorro de arena, el cual produce -- siempre una superficie más o menos fuertemente rayada. Este rayado no afectará a las posibilidades de corrosión si se aplica después un recubrimiento muy grueso, como, por ejemplo, los logra dos por laminación o proyección. Es incluso necesario -- un rayado intenso porque el recubrimiento se adhiere mejor. En cambio el rayado es muy peligroso cuando el plaqueado ha de -- ser muy delgado tal como suele ocurrir con los obtenidos por de posición electrolítica; en este caso la naturaleza del pulido tiene un papel importante en lo que respecta a la corrosión. El área de una superficie ideal se encuentra con las áreas reales de -- otras superficies geométricamente iguales, pulida una y sólo -- desbastada otra, en la relación 1:1 7:2.5. El acabado mecánico produce una superficie de área real mayor que la que corresponde a la forma geométrica de la pieza.

Al mismo tiempo se perturba la estructura cristalina, ya que --

los cristales superficiales se fragmentan, con lo que se originan puntos áctivos que sólo presentan una resistencia pequeña al ataque corrosivo.

También el depósito metálico, concretamente de cromo, se comportó más satisfactoriamente cuando el metal base se había pulido electrolíticamente que cuando lo fué mecánicamente, y ello tanto en la corrosión al aire libre, como ensayos de inmersión alternada.

Los resultados tan significativos para el comportamiento frente a la corrosión hicieron que se midiese la rugosidad de la superficie. Se midieron las rugosidades de las probetas empleadas en los ensayos efectuados mediante el microscopio interferencial.

Como unidad de medida se empleó la distancia entre dos franjas sucesivas de interferencia obtenidas con la luz monocromática de verde de talio.

Para la sensibilidad a la corrosión, sin embargo, no parece que solo sea decisivo el aumento de superficie, sino que muchas veces importa más el estado del metal. Como ya hemos indicado anteriormente, en el tratamiento mecánico de la superficie se --

fragmentan y perturban los cristales, por lo que se forman centros activos. Se ha podido reconocer, por ejemplo, que en el platino desbastado con esmeril era activo hasta el 87% de su superficie absoluta.

Es suficientemente conocido, por la práctica del electro-plaqueado, que la forma del precipitado metálico depende esencialmente de la naturaleza del tratamiento de la superficie del metal base.

Hacen excepción los modernos tipos de baños que muestran una acción igualadora. Se ha comprobado que la naturaleza del tratamiento previo tiene también un efecto no insignificante sobre la conformidad de zinc adherido y en las pérdidas del hierro en el caso del zincado por inmersión.

Se suele aceptar que, al contrario que el desbaste, el proceso de pulido conduce a una fluencia del metal, y según los ensayos realizados con rayos X, la capa más externa de un metal así trabajado, parece amorfa o cuasiliquida. Lo que indica que estas ideas son preferentemente aceptadas en los países anglosajones. En la opinión de los investigadores alemanes, sólo se produce una fragmentación de los cristales y la capa que parece amorfa está compuesta por óxidos formados por el calentamiento del metal.

Para terminar indicaremos que la calidad de la superficie afecta decisivamente la resistencia a la fatiga.

Elección del Recubrimiento.- Para lograr la mejor protección posible, de un material con un recubrimiento hay que estudiar detenidamente las condiciones de ataque a que ha de estar sometida la pieza protegida. Estas condiciones son ya conocidas gracias a numerosas investigaciones y se siguen investigando cada vez más ampliamente. A pesar de ello, apenas existe un esquema que permita saber cual será la medida de protección más segura para unas condiciones dadas. Los ensayos de laboratorio sólo explican una parte de las condiciones de la corrosión y los resultados no se pueden generalizar. Los ensayos en gran escala, que igualan lo más posible las condiciones naturales de corrosión, sólo son completamente válidos para aquellos lugares en que se han realizado.

Pero como consecuencia del gran número de estudios realizados se han encontrado ciertas regularidades que parece aceptable generalizar, al menos con ciertas limitaciones. Hoy se puede seguir un plan en la elección del recubrimiento sin correr el peligro de tener un fracaso completo.

No es muy difícil, en general, la elección de recubrimientos - - para evitar el ataque corrosivo, porque es muy grande la experiencia acumulada, pero la experiencia es escasa en algunos casos particulares.

La protección de los metales contra ácidos o los vapores ácidos - se obtiene mediante la utilización de los barnices resistentes a los ácidos o al recubrimiento con plásticos. Los plásticos como tales, se emplean, para recipientes y conductores eléctricos - - principalmente, pero en muchos casos no se puede prescindir de la resistencia mecánica que poseen los metales. Según un método nuevo, la proyección con llama, es posible aportar el plástico en forma compacta sobre el metal. Después de tratar la superficie metálica se proyecta el plástico en polvo con ayuda del aire comprimido y la llama de un quemador de gas, de forma que el plástico funda pero no se queme. Se han acreditado particularmente el polietileno, los esteres poliacrílicos (plexigum), las poliamidas y el poliestireno. Es de esperar que se logre pronto depositar por este método las combinaciones orgánicas fluoradas de teflón, presentandose también grandes ventajas de protección con las lacas de siliconas.

Propiedades Físicas y Mecánicas de los Recubrimientos. - He-

mos dado una ojeada a los puntos de vista que deben tenerse en cuenta al elegir un recubrimiento adecuado a un procedimiento conveniente, hemos podido demostrar que las condiciones ambientales son decisivas para la elección, pero que también lo son las condiciones propias del procedimiento.

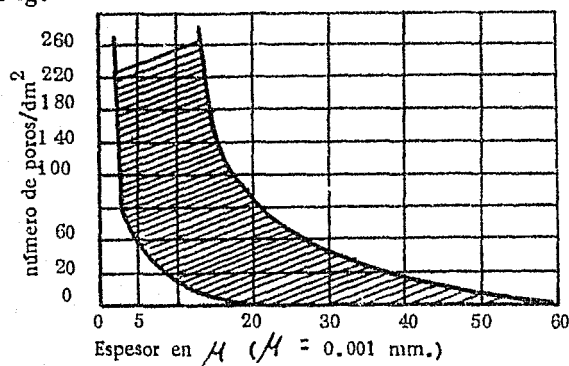
Ahora nos ocuparemos de las condiciones que deben cumplir los recubrimiento para que puedan tener la acción protectora que de él se espera. No sólo debe tener capacidad protectora, sino -- también una características mecánicas adecuadas, tales como -- dureza y resistencia al deterioro.

Porosidad de los Recubrimientos. - Todos los recubrimientos, -- cualquiera que sea su naturaleza, es normal que presenten poros. Pero debe tenerse en cuenta que es muy frecuente considerar -- inútiles los recubrimientos cuando la causa se debe a los defectos del metal base, tales como sopladuras, poros, grietas, etc. El recubrimiento puede taparlos, pero quedan siempre como lugares débiles. El medio corrosivo puede iniciar en ellos su ataque. Para que el metal base sea capaz de protegerse es necesario que -- esté sano; frente al defectuoso fallan los mejores procedimientos de protección. Respecto a la significación de los poros de los recubrimientos discutiremos algunos ejemplos.

La deposición electrolítica de un metal, como se sabe, es un proceso de cristalización que se inicia sobre unos gérmenes existentes sobre la superficie del metal. Cuanto más delgado sea el recubrimiento tantos más lugares deben quedar vacíos, y tanto más poroso será el depósito, con lo que no podrá ser suficientemente-resistente a la corrosión. La seguridad frente a la corrosión aumenta con el espesor.

La curva de la izquierda de la fig. (1), presenta los resultados de las medidas de porosidad de los recubrimientos bajo la hipótesis-de que las condiciones de trabajo y el tipo de baños son óptimos. - La curva de la derecha corresponde a recubrimientos obtenidos - en condiciones ordinarias. En la práctica es imposible mantener los baños tan limpios como será de desear, y la suciedad es causa de los recubrimientos defectuosos. La suciedad mecánica se-puede eliminar ampliamente mediante una filtración intensiva, -- con lo que, se logra ya una mejora considerable.

Fig.



Resultados de las medidas de porosidad de los recubrimientos de níquel.

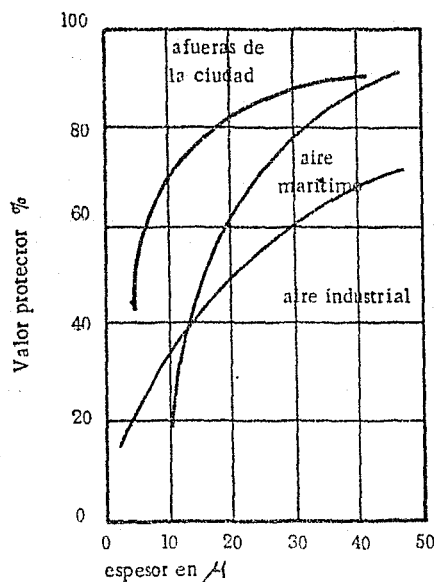
Las partículas en suspensión, que las más veces están eléctricamente cargadas, alcanza al cátodo, se adhieren fuertemente y provocan la adherencia de burbujas de hidrógeno, que siempre se pueden formar cuando el rendimiento en corriente es menor del 100%. La consecuencia son perforaciones (pits, pittlings, pinholes) del precipitado. Es bien conocido el importante papel que ejerce la preparación de la superficie sobre la adherencia de la suciedad y las burbujas de hidrógeno. Es necesaria, sobre todo, una limpieza a fondo. La opinión muy generalizada de que el hidrógeno se fija tanto menos cuanto más lisas son las superficies no se puede compartir, pues en la mayoría de los casos lo que se observa es lo contrario. Sobre las medidas a tomar para evitar la formación de poros nos ocuparemos más adelante. Como ya hemos indicado se puede eliminar el efecto de la formación natural de poros, debido al crecimiento del precipitado sobre gérmenes aislados, con recubrimientos de espesor suficiente. En condiciones normales bastan capas de unas 50 micras la fig (2) muestra la dependencia con el espesor de la capa del valor protector, para el caso de la corrosión en diferentes condiciones atmosféricas.

La fig. (3) se refiere a lo mismo, pero sobre diferentes metales-base. En ningún caso se logra un valor protector del 100%. Ya -

que hoy se emplean cada vez más electro-plaqueadas las aleaciones colocadas por inyección de zinc, de aluminio y de magnesio, merece la pena que reproduzcamos algunos resultados de ensayos realizados sobre series grandes en condiciones naturales. La fig. (4, 5 y 6), reproducen curvas correspondientes a valores medios. Los espesores de capa dados se refieren a espesores totales de cobre, níquel y cromo. Se ve claramente que si se quiere alcanzar una protección apreciable debe exigirse espesores de capa de 50 micras.

Es notable el comportamiento muy satisfactorio de las aleaciones de magnesio.

Fig. -



Valor protector de los recubrimientos de níquel sobre el acero.

NOTA: Figuras 3, 4, 5 y 6 ver página 126.

Los ensayos de la duración de los recubrimientos se realizan con una niebla salina (solución con 20% de sal común).

Son interesantes a este respecto las exigencias relativas al espesor de capa en piezas recubiertas por proyección.

En la práctica se tienen particularmente en cuenta los metales - - que puedan cargar sobre sí la protección. Estos se corroen poco a poco, por lo que han de exigirse espesores de capa mayores.

Estos espesores, sin embargo, solo se refieren a capas proyectadas cuya alta porosidad se ha eliminado en un tratamiento posterior. Es notable que en el aluminio sólo hayan dado resultado las capas obtenidas por proyección con pistola de alambre mientras - que ha fallado las obtenidas por inmersión o por proyección a partir de polvo.

También ocurre el caso de que sea deseable que la capa de metal depositado sea muy porosa. Es sabido que en el cromado duro - se adhieren mal los lubricantes, propiedad que es muy perjudicial en superficies metálicas en continuo frotamiento, como los seg-mentos de los émbolos y los cilindros. Su gran dureza, sin em-bargo, hace que el cromado duro sea muy apropiado para estos -

ejemplos. Se puede lograr que las capas de cromo preparadas en condiciones normales adquieren una porosidad en (channel o pocket) mediante un tratamiento posterior adecuado.

Que tales capas porosas de cromo pueden absorber mucho mejor el aceite y son más apropiadas para el empleo deseado.

En los conocidos métodos de oxidación del aluminio y el magnesio la capa no se aporta, sino que se forma a partir del metal base. La existencia de poros es evidentemente necesaria para que la capa puede hacerse más gruesa. El electrolito penetra en la capa ya formada y reedifica desde abajo la película de óxido. Es claro que tales capas no puedan proteger contra la corrosión, porque el medio agresivo puede penetrar en ellas.

Es necesario cerrar los poros, lo que se logra con tratamientos posteriores adecuados (sealing). Después de ello la protección contra la corrosión es muy satisfactoria.

Lo mismo ocurre con el fosfato. Sólo pueden proteger estas capas luego que se les ha hecho compactas con un tratamiento posterior con aceites o lacas.

Se sabe bien que en los metales depositados por proyección la --

densidad y la compacidad no corresponden a las de los metales-masivos, por lo que a partir de tales datos se pueden sacar conclusiones sobre la porosidad de tales capas. Los metales se depositan por este procedimiento mediante gotitas que funden y -- vuelven a solidificar, y si su continuidad depende del tipo de pistola, de la naturaleza del metal, del gas combustible, y sobre -- todo, de la distancia de proyección. En las capas existen microporos más o menos grandes y abundantes, por lo que tales capas pueden ser atravesadas por los gases.

La determinación de los poros en estos recubrimientos se realiza en general por los mismos métodos que en los metales, depositados electrolíticamente. Según los índices de porosidad da -- dos, los cuales no son exactos, y por lo tanto no sirven como -- material científico de valoración.

Ya que según las medidas de compacidad del metal depositado -- por proyección, depende la fracción de poros del método empleado, del metal y del método de investigación, oscilando entre: -- 0.09 y 20%, es necesario un tratamiento posterior de tales capas porosas para que puedan servir como protectoras contra la co -- rrosión. Este tratamiento puede seguirse, con éxito, según tres

procedimientos distintos, el térmico (de difusión), el mecánico-apisonado) y el químico (impregnación).

Por la difusión y el tratamiento mecánico la estructura primaria se convierte en otra secundaria, con mayor densidad y compacidad, aumentando la resistencia y la adherencia del recubrimiento. Parecidamente ocurre con los recubrimientos de esmalte y de barniz. En el esmaltado es usual o dar una base muy compacta, que a la vez garantice una buena adherencia, o dar dos a cuatro capas superpuestas.

La investigación ha demostrado que dentro de una capa de esmalte puede haber transporte de gases o líquidos paralelamente a la superficie de fondo. Sobre este hecho se basa un conocido método de ensayo. También en el caso de barnices es necesario dar varias capas si se quiere lograr un recubrimiento tupido. Para la compacidad del recubrimiento resulta decisiva la forma del secado y la velocidad con que se elimina el disolvente. La mayoría de los métodos de ensayo de la compacidad son poco seguros, --- porque al emplearse reactivos químicos hay que tener en cuenta la resistencia del barniz frente a ellos. Según las investigaciones es muy adecuado el método eléctrico, con el puente de corriente-

alterna, para el caso en que el barniz se haya aplicado sobre un metal.

Los ensayos de corrosión muestran, que según la naturaleza del barniz, la resistencia de la capa aumenta al principio y luego -- cae rápidamente o inmediatamente.

Adherencia del Recubrimiento.- Es evidente que la adherencia del recubrimiento al metal base debe ser perfecta, ya que si no es buena se producirá una destrucción intensificada de la base.

En un lugar débil del recubrimiento se inicia el ataque, que progresa luego bajo el recubrimiento cuando penetra el agente corrosivo. Los productos de la corrosión acaban de arrancar a trozos la cubierta protectora.

La causa fundamental de una mala adherencia suele ser preparación defectuosa de la superficie de la pieza a recubrir. La pieza debe haberse limpiado a fondo, siendo su superficie puramente -- metálica; es decir, estar libre de suciedad, de partículas metálicas procedentes del trabajo previo y, sobre todo, de grasa procedente del desbaste o el pulido. Puesto que esta limpieza previa -- y, es fundamental en todos los métodos de trabajo es importante -- que nunca sea omitida. La preparación comprende el desengrasa

do, en parte con disolventes orgánicos y en parte mediante soluciones alcalinas con o sin corriente eléctrica. El decapado con ácidos o álcalis elimina la mayor parte de los óxidos resistentes, que perjudican la adherencia. Mediante el desbaste y el pulido, o más modernamente por el abrillantado electrolítico o químico, se da a la superficie el aspecto final que debe presentar el objeto acabado después del recubierto.

Como la mayoría de las veces sólo se fijan los recubrimientos a la superficie del metal base por adhesión, se debe evitar en ellos la presencia de tensiones internas grandes. Estas tensiones pueden ser tales que, por ejemplo, en el caso de los depósitos electrolíticos de níquel sobre una sola cara de una lámina delgada de hierro, produce un alabeo. Otra causa de mala adherencia puede ser la existencia de capas débiles; esto puede ocurrir por la perturbación de las estructuras cristalinas durante la preparación mecánica de la superficie del metal.

Es sabido que los recubrimientos electrolíticos de mejor adherencia se logran cuando los cristales del metal depositado crecen sobre la propia estructura cristalina del metal base. Cuando la superficie del metal se ha desbastado o pulido, se han fragmentado-

los cristales superficiales, o se ha formado la capa de Beilby o, una de óxido. El decapado químico o el pulido electrolítico mejoran la superficie y con ello la adherencia del recubrimiento.

Es frecuente que revista un papel decisivo en la mala adherencia del recubrimiento la composición del mismo o la del metal base. Es conocida en este aspecto la influencia del carbono presente en el hierro, especialmente cuando se encuentra en forma de grafito por la pequeña sobretensión para el hidrógeno es frecuente que apenas se pueda obtener sobre un tal hierro un depósito electrolítico correcto. Mediante las condiciones normales no se puede niquelar ni cromar la superficie del hierro. Sólo elevando mucho la densidad de corriente inicial, y por tanto la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo, se puede lograr la deposición de un metal. El carbono perturba mucho en todos métodos de recubrimiento en los que por un recocido se ha de formar un aleación entre el metal de recubrimiento y la base.

Como ejemplos pueden citarse la cromización (intracromado) y tratamientos de difusión posteriores a un recubrimiento por proyección. En tales casos o se recurre a producir una descarbonización superficial o se aplica una capa intermedia. Para la cromización incluso se requieren aceros especiales, los desig-

nados aceros IK.

También en el esmaltado es causa de muchos defectos el carbono contenido en el material base. Al quemarse a anhídrido carbónico se forma un gas que origina burbujas o cráteres.

Es sabido por la práctica de la galvanotécnica que al actuar los distintos metales como material base requieren cada uno un tratamiento previo específico si ha de lograrse la adherencia óptima. Nos referimos a unos pocos casos. Cuando no es posible que la estructura cristalina del recubrimiento sea una continuación del metal base es aconsejable, si se quiere lograr una buena adherencia, aplicar antes del verdadero plaqueo un depósito en uno de los llamados strike-bath. Estos que podemos llamar baños de deposición previa, pueden ser soluciones muy distintas. En general se emplean en ellos densidades de corriente muy altas y los rendimientos suelen ser muy pequeños, ya que, en el caso de baños cianurados se emplea un exceso grande de cianuro alcalino libre. La adherencia de los depósitos previos obtenidos es muy buena. Entre estos baños son conocidos los constituidos por soluciones de cobre, plata y estaño. Es bien sabido que muchos metales están cubiertos de una película natural de óxido que los hace más nobles de lo que sería esperable de -

su posición en la serie de los potenciales normales. Por esta causa resulta muy difícil obtener recubrimientos adherentes de níquel sobre el mismo níquel sino se recurre a una preparación especial de la superficie. Todavía presenta el cromo más dificultades en este aspecto. Tales superficies se deben activar. El caso contrario lo representan aquellos procesos en que se prescribe la obtención de una capa de óxido como soporte. El aluminio, por ejemplo, se oxida en soluciones de ácido fosfórico y la capa de óxido se trata después de tal manera que se deteriora, transformandose en un enrejado de óxido sobre el que se ancla sólidamente más tarde la capa de metal. Para que los recubrimientos electrolíticos se ligen mejor al metal base se recomienda frecuentemente un tratamiento térmico posterior. Con ello el revestimiento se difunde parcialmente en el metal base y forma una aleación. En el caso de metales blandos tal difusión ocurre incluso a la temperatura ambiente, por ejemplo, una capa delgada de estaño o zinc aplicada sobre cobre desaparece después de un tiempo relativamente corto.

La formación de aleaciones se produce fundamentalmente en todos los métodos en los que el recubrimiento se aplica a temperaturas elevadas. A éstas pertenecen, sobre todo, los proce--

sos de inmersión en caliente. Los más conocidos son el estaño—do, el zincado (galvanizado) y el emplomado. Con la excepción —del plomo que no se alea con el hierro por ser las solubilidades —mutuas muy pequeñas, se forman aleaciones, que en el caso del—zinc son muy duras y frágiles. Por esta causa pueden empeorar—considerablemente las propiedades de la chapa de hierro. En el —caso del estaño la capa de aleación es generalmente tan delgada —que se la puede despreciar.

En los tratamientos de difusión de los metales aplicados por proyección (metalizado) se persiguen dos fines diferentes. Por la di—fusión el recubrimiento se adhiere más sólidamente a la base, pe—ro también se hace más compacto y aumenta su valor protector.

La adherencia depende de la violencia del bombardeo del metal lí—quido y si no se da un tratamiento posterior solo es debido al ancla—je sobre la rugosidad producida en la superficie del metal base por el chorro de arena, por lo cual se aconsejan unas condiciones de —trabajo para obtener una adherencia óptima.

La resistencia al arranque de los recubrimientos por proyección,—es de menos de 0.4 Kg/mm, mientras que las adherencias de los—depósitos electrolíticos son más altas.

En el esmaltado es necesaria una técnica especial para que la adherencia sea buena. En general, es normal aplicar un recubrimiento de fondo vítreo y alto punto de fusión. Como tratamiento previo de las superficies de hierro basta un decapado con ácidos.

Hay que tener cuidado de que no quede ningún residuo y de que el hierro no absorba hidrógeno. La fundición se puede recubrir con un esmalte de adherencia especialmente buena trabajando en vacío. De esta forma se rellenan los poros de la base y se evita la formación de burbujas en el esmalte.

Uniformidad de los Recubrimientos.- Es fundamental que el recubrimiento sea uniforme. Son decisivos para el ataque aquellos lugares en que el recubrimiento es más delgado y por ello más débil. En los métodos automáticos, como la inmersión a los tratamientos en fase gaseosa, es de esperar un espesor de capa de gran uniformidad.

Es más difícil conseguirlo en los procesos normales, como la proyección en los que depende de la habilidad y experiencia del operario.

Esencialmente más complicadas son las cosas en el electro-pla-

queado. Intervienen toda una serie de factores que influyen sobre la distribución de la corriente y, por tanto, también sobre la del metal.

Un efecto decisivo depende de la Ley de Ohm; la corriente sigue siempre los caminos de menor resistencia ohmica, es decir, se dirige a las partes más o menos prominentes de las piezas y la densidad de corriente es máxima en aquellos lugares que distan menos del ánodo. La consecuencia de las distintas densidades de corriente en los distintos puntos de la pieza son distintos espesores de la capa depositada. Como ejemplo se puede citar el cromado, en el que es preciso construir ánodos auxiliares cuya forma se acomode a las de las piezas a cromar.

Aún hace más complicado el asunto el hecho de que el rendimiento en corriente depende de la densidad de corriente. Puesto que normalmente sólo se puede calcular la densidad de corriente según la forma geométrica de las piezas o, como es desgraciadamente frecuente que ocurra, solamente se ajusta mediante la tensión aplicada al baño, es necesario emplear baños que produzcan una alta polarización. Con ellos se puede lograr una acción igualadora o aisladora.

Es un error creer que sobre los cátodos de igual dimensión que el ánodo y separados igualmente de él se deposite el metal en todos sus puntos con espesor uniforme. Sobre los bordes y la parte inferior del cátodo es siempre más grueso el precipitado y más delgado en el centro. En cierto modo sólo por un apantallado y sólo en el caso de depósitos muy valiosos es forzoso tomarse el trabajo de acercarse al caso ideal de uniformidad por destrucción de pantallas apropiadas. Un ejemplo instructivo se encuentra otra vez en el cromado.

Aquí se busca el cromado con dimensiones finales que ahorra el rectificado del acabado y, sobre todo, el perjuicio que éste podría causar a las valiosas propiedades del cromado duro. Como resultado de ensayos sistemáticos se observa que el apantallado es tanto más eficaz cuanto peor es la dispersión del baño sin pantallas. Este resultado se confirma con la experiencia en el cromado duro.

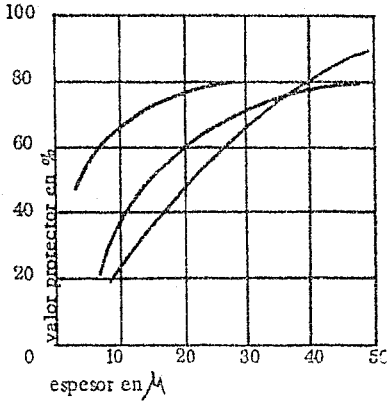
Uno de los procedimientos más modernos para eliminar las pequeñas irregularidades del recubrimiento en los trabajos de deposición es el designado como PR (Periodic Reverse Current), como la designación indica, se intercala el cátodo de tiempo en-

tiempo como ánodo, con lo que se produce una disolución de las puntas y prominencias del metal precipitado, en una acción aisladora que es conocida por el pulido electrolítico de las superficies metálicas. Las inversiones de la corriente se producen en períodos pre-establecidos, por ejemplo, según el ritmo 5:1, ca da seis segundos.

El proceso de la distribución de las líneas de corriente, por su importancia, se han investigado detalladamente. Pero dado que sólo se pueden investigar casos aislados del gran número de los que pueden presentarse, aún nos encontramos muy lejos del dominio de este problema complicado. Lejos de eso, lo que hoy es una posibilidad de obtener medidas que permitan resultados correctos.

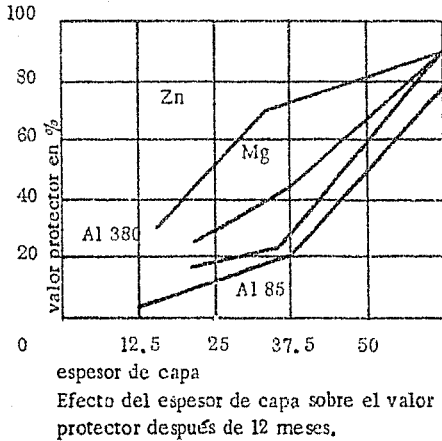
El método más conocido, empleado sobre todo en los países anglosajones, es el de H. Harring y W. Blum. Una vasija de goma dura (ebonita), de 150mm. de largo, 50 de ancho y 100 de al tura, lleva en sus paredes laterales unas ranuras, practicadas a 25 y 50 mm. de las frontales, en las que pueden introducirse electrodos, los cuales pueden colocarse también sobre dichas paredes frontales. En una de éstas se coloca un cátodo perfo-

Fig. 3



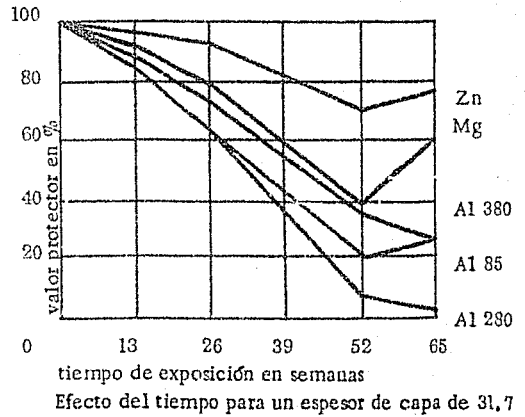
Valor del espesor de níquel o de cobre sobre el efecto de la protección.

Fig. 4

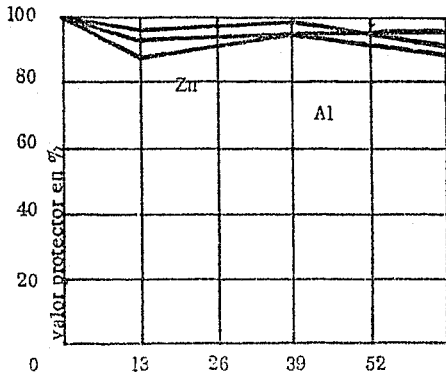


Efecto del espesor de capa sobre el valor protector después de 12 meses.

Fig. 5



Efecto del tiempo para un espesor de capa de 31,7



Efecto de la duración de la corrosión sobre aleaciones de cobre, de magnesio y de zinc electroplaqueadas para un espesor de capa de 50

rado y a 125 mm. el ánodo. Los cátodos previamente tarados, se unen entre sí electricamente. Según otro dispositivo los cátodos se colocan en las paredes frontales de la cuba y entre ellos a una distancia que puede variarse a voluntad, se sitúa el ánodo.

De los aumentos de pesos se obtiene una relación de repartición del metal.

Propiedades Mecánicas del Recubrimiento.- Hemos indicado -- anteriormente que la naturaleza del recubrimiento debe corresponderse con las condiciones de la corrosión, eligiéndose uno -- que sea ampliamente resistente frente al medio agresivo. Una excepción conocida es el zinc, pues a pesar de que es fácilmente deteriorado por el ataque atmosférico, presenta la favorable propiedad de ser muy innoble, por lo que protege a los metales base más nobles, ejerciendo en circunstancias determinadas -- una protección lejana. En general son las propiedades químicas lo fundamental para obtener una buena protección contra la corrosión.

Sin embargo, trataremos aquellas otras propiedades que contribuyen a aumentar la acción protectora o a hacerla más durable, como son la dureza, resistencia a la tracción, alargamiento, --

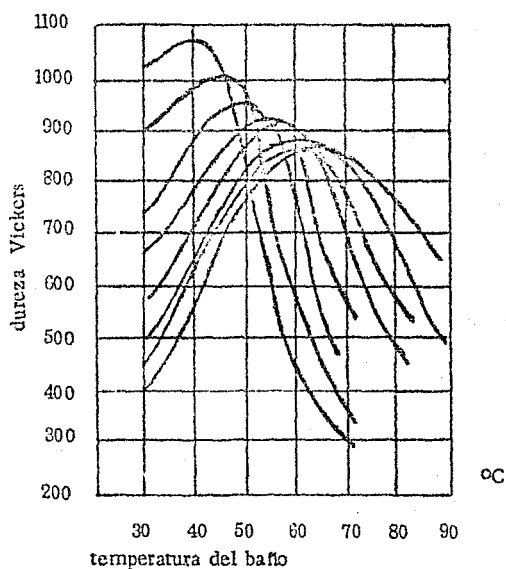
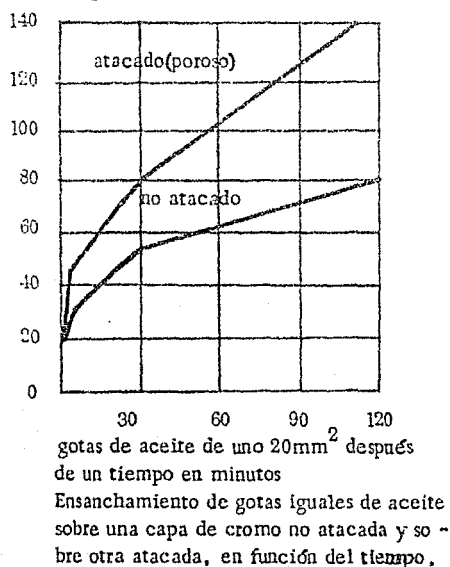
Las propiedades físicas y mecánicas varían mucho con la forma-
da obtención del recubrimiento, por ejemplo, en el electro-pla-
queado dependen las condiciones de trabajo tales como densidad
de corriente, temperatura del baño, agitación o composición - -
del mismo. En el recubrimiento por proyección influyen, por -
ejemplo, la presión del gas, avance del alambre, distancia de -
proyección, etc.

La dureza de los metales depositados electrolíticamente mues-
tran grandes diferencias cuando se emplean baños de distinta --
composición. De los amplios intervalos dados para la dureza -
Brinell se deduce, que para el mismo tipo de baño se puede regu-
lar la dureza a obtener por variación de las condiciones de traba-
jo.

La experiencia demuestra que los baños de electro-deposición,-
se deben mantener muy limpios, pero no sólo respecto a la su-
ciedad, sino también respecto al contenido de sales que pueden-
ocluirse en el precipitado y modificar mucho sus propiedades, -
siendo precisamente muy peligrosas las tensiones internas que-
producen, particularmente en el níquel. En los peores casos, -
el precipitado salta duramente el propio trabajo de recubrimien-
to. La impurificación por sales de zinc produce la máxima ele-

vacación de las tensiones internas, hecho bien confirmado por la práctica. Las condiciones de trabajo y composición del baño — fueron: 300 g/litro de sulfato de níquel, 45 g/litro de cloruro de níquel; 30 g/litro de ácido bórico; pH = 2; 4 A/dm³ de densidad de corriente; baño con agitación trabajando a 49°C. Lo que debe ser siempre decisivo es que los precipitados obtenidos protegen contra la corrosión. Desde este punto de vista el cromo es una excepción. En muchos casos de empleo práctico se hace uso de la buena dureza de este metal y se dan de lado las mejores resistencias a la corrosión.

Fig.



Como se ve en las figuras (1) y (2), las durezas más elevadas —

corresponden a las condiciones en las que la frecuencia de las probetas de máxima resistencia a la corrosión es mínima, refiriéndose a la resistencia a la corrosión a la velocidad de disolución en ácidos.

Esto tiene su causa en la estructura del precipitado del cromo, en las grietas y en la oclusión de óxidos. Hay que indicar además que particularmente en el caso del cromo, las propiedades son decisivas para el empleo, lo que hace trabajar en condiciones antieconómicas y lleva en muchos casos a soluciones de - - compromiso. En este aspecto debe citarse, por ejemplo, que el mucho hidrógeno que se desprende en el cromado afecta desfavorablemente a la resistencia a la fatiga del metal base, especialmente cuando éste es de hierro.

Por un tratamiento térmico posterior de las piezas cromadas se recupera casi completamente la resistencia a la fatiga inicial.

AISI 4340 (acero al Cr. - Ni. - Mo con 0.40% de C.).

De todas formas el reconocido después del segundo cromado produce una mejora visible.

No son tan críticas las condiciones en el caso de metales de co-

jinetes depositados electrolíticamente, las calidades respecto a cada propiedad se califican con cifras de 1 a 5, siendo la calificación máxima uno, se refiere a metales de cojinetes obtenidos por fusión y colada, pero las características pueden darse por válidas también para las aleaciones depositadas electrolíticamente.

Ya hemos indicado anteriormente que las propiedades de los metales depositados por proyección varían las condiciones de trabajo.

También en este caso tienen las propiedades del metal un papel muy importante y no sólo es la seguridad contra la corrosión lo que debe tenerse en cuenta.

La densidad (peso específico) de los metales proyectados es más pequeña que la de los metales masivos, como consecuencia de la estructura no compacta del recubrimiento. Sólo por tratamiento posterior, como una fusión, o un tratamiento mecánico se puede lograr una aproximación al peso específico real del metal. Por la misma causa, son también pequeñas las resistencias a la tracción; donde los alargamientos no se pueden medir con exactitud. La resistencia a la tracción, como las demás propiedades, depen

de mucho de las condiciones de proyección.

La dureza de los metales proyectados no está determinada solamente por la densidad de la capa, sino también, por su contenido de óxido. Precisamente a esto se debe que muchas veces las durezas presenten valores parecidos a los del metal colado o forjado.

Los valores del poder reflectivo de los metales, en dependencia del proceso de fabricación es una conclusión final a los resultados obtenidos en el estudio de la protección contra la corrosión.

Estos números han alcanzado hoy mucha importancia, y en general todas las investigaciones sobre protección tienen repercusiones mundiales, ya que como se ha dicho antes, en el mundo hay varios institutos de investigación, los cuales publican mensualmente los estudios realizados en forma tal que puedan ser aplicados en cualquier parte, avanzando con ello a eliminar los perjuicios causados por la corrosión.

PARTE II.

DATOS GENERALES.

En Estados Unidos y en Europa, se han editado dos tipos diferentes de Normas para Conductores Eléctricos con Recubrimientos Plásticos; el Sistema Americano o Ingles, denominado IPCEA ó el Sistema Alemán VDE. De estos dos, el más utilizado es el sistema americano. En México todas las normas editadas para conductores eléctricos con recubrimientos plásticos están basados únicamente en el Sistema Americano.

Estas normas se aplican tanto a los materiales, como a la construcción y prueba de los conductores y cables aislados con recubrimientos termo-plásticos; los que serán utilizados para la distribución de energía eléctrica en condiciones normales de servicio e instalación, tales como: interior, exterior, subterráneo o submarino.

Los recubrimientos utilizados son compuestos de cloruro de polivinilo, acetato de vinilo, copolimeros de cloruros de vinilo y polietileno.

Estas normas cubren todas las características requeridas para-

los conductores desde el aislamiento y capas protectoras hasta los detalles de construcción y dimensión.

Los conductores deberán pasar por un número determinado de pruebas, una vez que dichas pruebas se hayan efectuado satisfactoriamente, el cable podrá ser utilizado sin riesgo alguno en cualquier instalación, siempre y cuando dichas instalaciones tengan las normas de seguridad requeridas para el uso del conductor elegido.

CONDUCTORES:

Los conductores eléctricos se fabrican de diversos materiales, pero debido al costo de los materiales y a los procesos de fabricación se ha llegado a la conclusión que los conductores eléctricos de cobre y aluminio son los que reúnen las mejores características, tanto técnicas como económicas.

El diseño y la construcción de los conductores eléctricos están controlados por las normas ASTM.

Los conductores eléctricos se construyen para todos los usos y necesidades en una gran variedad de diámetros, desde centésimas de milímetros hasta un diámetro máximo de 6 mm.; los con

ductores eléctricos de diámetro mayor a 6 mm. son antieconómicos, substituyendo estos por cables tranzados de 2 ó más hilos.

Otra causa también importante es que la corriente eléctrica se transmite en la superficie de los conductores, jamás por el núcleo, por lo cual el material del centro del conductor es completamente innecesario, debido a esto actualmente se construyen cables de enorme longitud huecos. El cable hueco tiene muy poca resistencia a la tracción; esto se corrige mediante una alma de acero, material muy resistente a la tracción y mucho más barato que el cobre o el aluminio.

Muchos conductores antes de cubrirlos con el aislamiento termoplástico se forran con una capa delgada de plomo ó zinc.

Este recubrimiento metálico le da al conductor características especiales, mencionadas anteriormente.

Los conductores eléctricos según su empleo están sujetos a muchas variantes. La primera y más importante es la del material, dicho material deberá reunir ciertas características esenciales en cuanto a su composición, estructura y tratado térmico por el-

cual haya sido procesado. Los materiales como ya se ha dicho antes son cobre o aluminio, este último debido a su menor peso que el primero, tiene actualmente mayor demanda comercial; - el segundo por ser más barato se utiliza en instalaciones donde no intervenga el factor peso (kg); por ejemplo en instalaciones subterráneas.

El cobre y el aluminio deberán tener una dureza específica, y - un tratamiento térmico que le dé al conductor mayor resistencia a la tracción, mayor flexibilidad, etc. Esto se consigue por me dio de recocidos blandos, o fuertes, ó por estirados en frío.

Existen normas para todo tipo de conductores eléctricos, esto es, normas para los materiales, para los diámetros, para los tratamientos térmicos, para cables y conductores trenzados, para recubrimientos metálicos, para recubrimientos plásticos y para las instalaciones donde serán empleados los cables. Ahora bien todas estas normas tienen factores de corrección. Estos factores le dan a los conductores eléctricos un mayor porcentaje de seguridad, ya que, en muchos casos las condiciones iniciales de instalación pueden variar debido al medio ambiente.

Un ejemplo es la temperatura.

A continuación se presentan dos tablas de corrección por temperatura.

Como se sabe al elevarse la temperatura en un conductor se aumenta su resistencia, corrigiéndose con los siguientes valores:

Corección al Factor Resistencia por Temperatura en Conductores de Cobre y Aluminio.

Conductor de Cobre:

Aluminio:

Temp. Factor de Multiplicación.

Factor de Multiplicación.

°C	20C	25C	20C	25C
0	1.085	1.107	1.088	1.110
5	1.063	1.084	1.064	1.085
10	1.041	1.061	1.042	1.063
15	1.020	1.040	1.020	1.041
20	1.000	1.020	1.000	1.020
25	0.981	1.000	0.980	1.000
30	0.962	0.981	0.961	0.981
35	0.944	0.963	0.963	0.962
40	0.927	0.945	0.925	0.944

45	0.911	0.928	0.908	0.927
50	0.825	0.912	0.892	0.910
55	0.879	0.896	0.876	0.894
60	0.864	0.881	0.861	0.878
65	0.850	0.866	0.846	0.863
70	0.836	0.852	0.832	0.849
75	0.822	0.838	0.818	0.835
80	0.809	0.825	0.805	0.821
85	0.797	0.812	0.792	0.808
90	0.784	0.800	0.780	0.796

Los factores de corrección para el cobre se cumplen satisfactoriamente en casi todos los casos. Estas basados en un conductor de cobre con una conductividad eléctrica del 100% y se derivan de las siguientes fórmulas:

$$R_1 = R_2 \frac{254.5}{234.5 + T_2}$$

$$R_3 = R_2 \frac{259.5}{234.5 + T_2}$$

Donde:

R_1 = Resistencia a 20 C.

R₂ - Resistencia medida a Temperatura T₂.

R₃ - Resistencia a 25C.

Los factores de corrección para el aluminio se cumplen satisfactoriamente en casi todos los casos. Estan basados en un conductor de aluminio con una conductividad eléctrica del 61% y se derivan de las siguientes fórmulas:

$$R_1 = R_2 \frac{248}{228 + T_2}$$

$$R_3 = R_2 \frac{253}{228 + T_2}$$

Donde:

R₁ - Resistencia a 20 C.

R₂ - Resistencia medida a Temperatura T₂.

R₃ - Resistencia a 25 C.

AISLAMIENTOS.

Los aislamientos de los conductores y cables eléctricos deberán cumplir dos requisitos básicos; uno eléctrico y el otro físico.

El eléctrico es la característica fundamental como aislador entre el conductor o cable y el medio exterior; el físico, son las propiedades del recubrimiento plástico o termo-plástico en sí, tales como flexibilidad, punto de fusión, resistencia a la tracción, etc.

Las características tanto eléctricas como físicas, tienen un punto de reunión en el cual ninguna de las dos debe fallar; y aparte debe de ser un compromiso entre ambas. Esto es, el recubrimiento deberá tener un espesor determinado para obtener un factor óptimo como dieléctrico, pero este también debe ser flexible, y resistente a la temperatura.

El aislamiento se debe aplicar directamente sobre la superficie del conductor o sobre la cubierta metálica del mismo, y debe quedar firmemente adherido al conductor.

El espesor del aislamiento dado en las tablas (1) y (2), está basado en el voltaje entre fases de circuitos eléctricos.

El espesor del aislamiento varía según el empleo de los conductores, ya que a algunos conductores se les somete a unas condiciones de trabajo mucho más severas que a otros; como por ejemplo, las condiciones de trabajo de un conductor para alumbrado en las ciudades son completamente diferentes a las de un conductor submarino; no solamente varían en el espesor sino también en el material del aislamiento en sí; como por ejemplo: el cloruro de vinilo y el polietileno son materiales con características de empleo totalmente diferentes.

Los aislamientos de mayor uso actual son el Cloruro de Polivinilo 60C, Cloruro de Polivinilo 75 C, y el Polietileno.

Estos materiales se emplean con mayor frecuencia, debido a las características especiales de cada uno y a la relativa facilidad con la que se pueden conseguir en el mercado, lo que los hace muy baratos, en proporción con otros materiales aisladores.

A continuación enumeramos algunas características de los aislamientos antes mencionados.

Cloruro de Polivinilo 60 C. -

Este aislamiento se emplea para conductores que no exceden una

temperatura de funcionamiento de 60°C, ó, 140°F, tanto en condiciones secas como húmedas y a un voltaje máximo de 600 voltios para circuitos de potencia, 1000 voltios para circuitos de control y 5000 voltios para circuitos de alumbrado en serie.

Las pruebas a realizar se verán posteriormente; los conductores de recubrimiento de Cloruro de Polivinilo 60°C, deberán cumplir lo siguiente:

Resistencia a la tracción, mínima, p si.	1500
--	------

Mínima elongación de ruptura (%).	100
-----------------------------------	-----

Pruebas de Envejecimiento:

Prueba en el horno de aire caliente a 100 ± 1 C durante 168 horas.

Mínimo porcentaje de Resistencia a la tracción de materiales no envejecidos.	65
--	----

Mínimo porcentaje de elongación de ruptura de materiales no envejecidos.	65
--	----

Después de inmersión en aceite a 70 ± 1 C durante cuatro horas.

Mínimo porcentaje de Resistencia a la tracción de materiales no envejecidos.	85%
--	-----

Mínimo porcentaje de elongación de ruptura de materiales no envejecidos.	85%
--	-----

Distorción por temperatura a $121 \pm 1^\circ\text{C}$ máximo porcentaje con-
materiales no envejecidos. 50%

Golpe Térmico $121 \pm 1^\circ\text{C}$. Sin grietas.

Doblado en frío menos $10 \pm 1^\circ\text{C}$. Sin grietas.

Los valores de las pruebas a realizar nunca deben ser menores
de:

- | | |
|---|-----|
| 1). Elongación después de la prueba de aire caliente. | 45% |
| 2). Resistencia a la tracción después de inmersión --
en aceite. | 80% |
| 3). Elongación después de inmersión en aceite. | 60% |

Existen otras pruebas a realizar a los aislamientos de los con-
ductores y cables, que veremos posteriormente.

Los aislamientos deben cumplir también ciertas condiciones de-
tipo eléctrico.

Los conductores aislados deberán resistir corrientes alternas, -
como las mostradas en las tablas (1) y (3), durante un tiempo --
mínimo de 5 min.

Resistencia del Aislamiento.- La resistencia del aislamiento no
deberá ser menor a una constante (500) equivalente a una tempe-

ratura de transmisión de corriente de 15.6°C , ó, 60°F .

Cuando se inician las pruebas por temperatura se debe ajustar el valor constante 500, y posteriormente se procederá a efectuar las pruebas.

Los aislamientos deberán cumplir también las siguientes condiciones, en cuanto a la velocidad de absorción de agua por el recubrimiento, ya sea por el método eléctrico o el gravimétrico.

Método eléctrico. EM60 ó EM - 1000 a $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Constante dieléctrica después de 24 horas de prueba.	10.0
--	------

Máximo porcentaje de aumento en la capacitancia.

1 a 14 días.	10.0
--------------	------

7 a 14 días.	5.0
--------------	-----

Método Gravimétrico.

Máxima absorción de agua, miligramos por pulg. ²	20.0
---	------

El poder dieléctrico del aislamiento deberá permanecer siempre constante, ya que ésta es una característica intrínseca del material. El poder dieléctrico podrá variar, cuando se alteren las condiciones normales de trabajo a los que se someta el conductor.

Cloruro de Polivinilo 75 C. -

Este aislamiento se emplea para conductores que no excedan -- una temperatura de funcionamiento de 75°C, ó, 167°F, tanto en condiciones secas como húmedas y a un voltaje máximo de 600 - voltios para circuitos de potencia, 1000 voltios para circuitos de control y 5000 voltios para circuitos de alumbrado en serie.

Las pruebas a realizar con el equipo de laboratorio se verán posteriormente, pero los conductores con recubrimiento de Cloruro de Polivinilo 75 C, deberán cumplir lo siguiente:

Resistencia a la tracción mínima, p si.	2000
---	------

Mínima elongación de ruptura (%).	150
-----------------------------------	-----

Pruebas de Envejecimiento:

Prueba en el horno de aire caliente a 121 ± 1 C, durante 168 horas.

Porcentaje de Resistencia a la Tracción de materiales no envejecidos.

Máximo.	120
---------	-----

Mínimo.	80
---------	----

Mínimo porcentaje de elongación de ruptura de materiales no -- envejecidos.	75
---	----

Después de inmersión en aceite $70 \pm 1^\circ\text{C}$ durante cuatro horas.

Mínimo porcentaje de Resistencia a la Tracción de materiales -
no envejecidos. 85

Mínimo porcentaje de elongación de ruptura de materiales no en-
vejecidos. 85

Distorsión por temperatura a $121 \pm 1^\circ\text{C}$, máximo porcentaje con-
materiales no envejecidos. 25

Golpe Térmico $121 \pm 1^\circ\text{C}$. Sin grietas.

Doblado en frío menos $30 \pm 1^\circ\text{C}$. Sin grietas.

Los conductores aislados deberán resistir corrientes alternas--
como las mostradas en las tablas (1) y (3), durante un tiempo --
mínimo de 5 min.

Resistencia del Aislamiento. - La resistencia del aislamiento -
no deberá ser menor a una constante (2000) equivalente a una - -
temperatura de transmisión de corriente de 15.6°C , ó, 60°F .

Cuando se inician las pruebas por temperatura se debe ajustar--
al valor constante 2000, y posteriormente se procederá a efec-
tuar las pruebas.

Los aislamientos deberán cumplir también las siguientes condi-

ciones, en cuanto a la velocidad de absorción de agua por el re
cubrimiento, ya sea por el método eléctrico o el gravimétrico.

Método eléctrico. (EM-60) a $75 \pm 1^\circ\text{C}$.

Constante dieléctrica después de 24 horas de prueba. 10.0

Máximo porcentaje de aumento en la capacitancia.

1 a 14 días. 4.0

7 a 14 días. 2.0

Método Gravimétrico.

Máxima absorción de agua, miligramos por pulg.². 10.0

Polietileno.-

Este aislamiento se emplea para conductores que no excedan una
temperatura de trabajo de 75°C , ó, 167°F , tanto en condiciones
secas como húmedas y a un voltaje máximo de 15000 V.

El polietileno antes de ser aplicado a los conductores eléctricos
deberá cumplir los siguientes requisitos, según las normas --
ASTM D 1248, tipo I clase A, B, ó C; grado 4. La norma ASTM
D 1248, no se aplica para aislamiento que han sido removidos --
del conductor. El aislamiento sobre el conductor debe estar li-
bre de contaminaciones y porosidades.

Característica del Aislamiento.

Resistencia a la Tracción mínima, p si.	1400
Mínima elongación de ruptura (%).	350

Pruebas de Envejecimiento.

Prueba en el horno de aire caliente a $100 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 48 horas.

Porcentaje de Resistencia a la tracción de materiales no envejecidos.

75

Mínimo porcentaje de elongación de ruptura de materiales no envejecidos.

75

Doblado en frío menos $30 \pm 1^\circ\text{C}$.

Sin grietas.

Los conductores aislados deberán resistir corrientes alternas como las mostradas en las tablas (1) y (3), durante un tiempo mínimo de 5 min.

Resistencia del Aislamiento. - La resistencia del aislamiento no deberá ser menor a una constante (50000), equivalente a una temperatura de transmisión de corriente de 15.6°C , ó, 60°F .

Cuando se inician las pruebas por temperatura debe ajustar el valor constante 50000, y posteriormente se procederá a efectuar las pruebas.

Otra prueba que se realiza con conductores eléctricos con recubrimiento de polietileno, es una prueba con corriente directa -- para voltajes superiores a 3001 volts, durante un tiempo mínimo de 15 min. según los valores de la tabla 2.

También se somete el recubrimiento a la prueba de nivel corona según la tabla siguiente.

Voltajes en el circuito entre fases:	Volts.	Nivel Corona mínimo Kv.	
		Neutro a: Tierra.	Neutro. Flotante.
3001 - 5000		3.2	5.0
5001 - 8000		5.1	7.6
8001 - 10000		6.4	8.9
10001 - 12000		7.6	11.4
12001 - 15000		9.5	14.6
15001 - 23000		14.6	--
23001 - 25000		15.9	--
25001 - 28000		17.8	--

TABLAS . - 1, 2 y 3

Tabla 1:

Dimensión del Conductor, Espesor del Aislamiento y Pruebas de Voltaje, para Cables de potencia con recubrimiento de Cloruro de Polivinilo.

Voltaje entre Fases Volts	Tamaño del Conductor M C M	Espesor del Aislamiento		Pruebas de Corriente Alterna Kv.	
		Neutro a Tierra	Neutro Flotante	Neutro a Tierra	Neutro a Flotante
0-600	18 - 16	31	31	1,5	1,5
	14 - 9	47	47	3,0	3,0
	8 - 2	62	62	3,5	3,5
	1- 4/0	78	78	4,0	4,0
	225- 500	94	94	5,0	5,0
	501 - 1000	109	109	6,0	6,0
	Más - 1000	125	125	7,0	7,0

Tabla 2.-

Dimensión del Conductor, Espesor del Aislamiento y Pruebas de Voltaje para Cables de

Potencia con recubrimientos de Polietileno.

Voltaje entre Fases Volts	Tamaño del Conductor M C M	Espesor del Aislamiento		Pruebas de Corriente Alterna Kv	
		Neutro a Tierra Columna A	Neutro Flotante Columna B	Neutro a Tierra Columna A	Neutro a Flotante Columna B
0-600	14 - 9	0.045	0.030	4.0	4.0
	8 - 2	0.060	0.045	5.5	5.5
	1-4/0	0.080	0.055	7.0	7.0
	225 - 500	0.095	0.065	8.0	8.0
	525 - 1000	0.110	0.080	10.0	10.0
601-2000	14 - 8	0.060	0.045	5.5	5.5
	7 - 2	0.070	0.055	7.0	7.0
	1 - 4/0	0.090	0.065	8.0	8.0
	225 - 500	0.105	0.075	9.5	9.5
	525 - 1000	0.120	0.090	11.5	11.5
SIN PROTECCION					
2001 - 5000	8 - 4/0	0.110	0.110	11.5	11.5
	225 - 500	0.120	0.120	11.5	11.5
	525 - 1000	0.130	0.130	11.5	11.5
CON PROTECCION					
2001 - 5000	8-1000	0.090	0.090	11.5	11.5
5001 - 8000	6-1000	0.115	0.140	14.5	17.5
8001 - 15000	2-1000	0.175	0.215	22.0	27.0
15001-23000	2-1000	0.240	----	30.0	----
23001-25000	1-1000	0.260	----	32.5	----

Tabla 3. -

Dimensión del Conductor, Espesor del Aislamiento y Pruebas de Voltaje para Cables de Alumbrado con Recubrimientos Termoplásticos.

Voltaje Circuito Volts	Dimensión Cond. M C M .	Espesor Aislamiento Pulg. 1/64 Pulg.	Prueba de CD Voltaje Kv
---------------------------	----------------------------	---	----------------------------

CABLES CON CLORURO DE POLIVINILO

0 - 3000	8	0.109	7	9.0
	6 - 4	0.125	8	10.0
3001 - 5001	8 - 4	0.156	10	12.5

CABLES CON POLIETILENO

0 - 1000	10 - 8	0.045		5.5
	6 - 4	0.055		7.0
1001 - 2000	10 - 8	0.055		7.0
	6 - 4	0.065		8.0
2001 - 3000	10 - 8	0.075		9.5
	6 - 4	0.090		11.5
3001 - 6000	8 - 4	0.110		14.0
6001 - 9000	8 - 4	0.150		19.0

Hasta ahora hemos hablado de las condiciones que deben reunir los conductores eléctricos tanto físicas como eléctricas, hemos mencionado los tipos de recubrimientos más utilizados y las características que dichos aislamientos deben tener, dejando para el final el --- equipo de laboratorio, y las pruebas que se deben efectuar sobre los conductores eléctricos.

Hasta ahora hemos hablado de las condiciones que deben reunir - los conductores eléctricos tanto físicas como eléctricas, hemos- mencionado los tipos de recubrimientos más utilizados y las ca- racterísticas que dichos aislamientos deben tener, dejando para- el final el equipo de laboratorio, y las pruebas que se deben efec- tuar sobre los conductores eléctricos.

PRUEBAS Y METODOS DE PRUEBAS.

Todos los cables y conductores serán probados en las fabricas, - para determinar sus características y comprobar si dichos conductores cumplen con las condiciones pre-establecidas.

Las pruebas a realizar son muy variadas y no todas sirven para todos los tipos de conductores, ni muchos menos para los aisladores.

Los conductores según su empleo pasan por diferentes pruebas y las muestras se toman de las líneas de producción sin importar cual sea.

Hay dos tipos principales de pruebas a realizar:

- a). Pruebas sobre muestras.
- b). Pruebas eléctricas a cables terminados.

Estos dos tipos de pruebas conducen a un resultado final, el poder controlar la calidad del producto que saldrá al mercado y con ello el comprador tendrá la absoluta seguridad de adquirir un producto libre de fallas que podrá emplear en instalaciones costosas con el mínimo de riesgo.

Todos los conductores según su recubrimiento y su empleo tienen

un número determinado de Clasificaciones y Especificaciones -- las cuales se deberán cumplir invariablemente para el conductor en cuestión.

Todas estas Clasificaciones y Especificaciones están basadas en un determinado número de pruebas de laboratorio y cada conductor según sean sus características cumplirá en mayor o menor grado con las pruebas a realizar.

ESPECIFICACIONES MECANICAS.

a). Alambre o Cable que forma el núcleo Central.

El núcleo central de alambre o cable concéntrico del cobre electrolítico, deberá satisfacer los requisitos solicitados por las Especificaciones para conductores de cobre por ejemplo (C-23 ó C-51) clase B, ó, C, en vigor según sea el caso, excepto que de ser cable concéntrico, puede permitirse el paso del cableado de 6 a 16 veces de diámetro exterior de la capa del cable.

Cuando se especifique el diámetro del conductor ya sea alambre o cable, la variación permisible con respecto al valor especificado no deberá exceder de 1% en menos ó 3% en más para conductores de 0.254 mm. de diámetro ó mayor y de 0.003 mm. en me

nos ó 0.009 mm. en más para conductor de menos de 0.254 mm. de diámetro. Cuando se especifique el área de la sección del conductor cableado la variación permisible no deberá ser menor de 2% del valor especificado.

b). Aislamiento del Conductor.

1). Espesor del Aislamiento.

El espesor promedio del aislamiento deberá estar de acuerdo -- con lo especificado en la Tabla I; el espesor mínimo no deberá -- ser menor a 9% del prescrito en la Tabla, cuando se determinan según los métodos de prueba indicados más adelante.

2). Esfuerzo de Tensión a la ruptura y alargamiento.

Ambos serán determinados simultáneamente sobre la misma -- muestra.

El esfuerzo de tensión a la ruptura de una muestra del aislamiento deberá tener un valor definido según el material. El alarga-amiento de la muestra llevada hasta la ruptura, no deberá ser inferior a 100%, cuando se prueben según los métodos que las especificaciones prescriben.

3). Envejecimiento acelerado.

Las muestras del aislamiento del conductor, después de haber sido sometidas a un envejecimiento acelerado, no deberán presentar una retención menor al 85% del esfuerzo de tensión resultante antes del envejecimiento, ni menor que 60% del alargamiento resultante antes del mismo proceso.

4). Choque Térmico.

Las pruebas del aislamiento sometidas a una temperatura constante durante un tiempo determinado después de haber sido enrolladas en un mandril según se indica en la Tabla II, no deberán presentar grietas ni rajaduras.

5). Deformación por el calor.

Las muestras del aislamiento sometidas a esta prueba no deberán deformarse más del 50% del espesor medido después de ser sometidas a una temperatura elevada constante, según el procedimiento indicado en los métodos de Prueba.

6). Propagación de la flama.

Las propiedades del aislamiento de las muestras sometidas a prueba deberán ser tales que el aislamiento no deberá seguir ardiendo por más de 1 minuto, después de las aplicaciones directas de una flama según se indica en el método de prueba respectivo.

Además el indicador de papel que se coloque no deberá aparecer quemado más del 25% de su superficie, después de la última aplicación de la flama sobre la muestra.

7). Doble en Frio.

Las muestras del conductor sometidas a una temperatura constante, por un período determinado y devanadas sobre un mandril indicado en la Tabla IV, no deberán presentar cortadas, roturas o fracturas en el aislamiento cuando se proceda según los métodos de prueba indicados.

8). Resistencia al Aceite.

El aislamiento deberá tener tales propiedades de resistencia al aceite que al sumergir una muestra en aceite SAE-20 ó similar a una temperatura constante, de manera que quede totalmente bañada excepto en las puntas, durante un período determinado, la disminución del esfuerzo a la tensión y del alargamiento no deberán ser mayores del 15% con respecto a los resultados originales obtenidos en tramos contiguos de la muestra.

9). Absorción de Humedad.

a). Método Eléctrico.

La constante dieléctrica a partir de las mediciones de capacidad

a 1000 ciclos por segundo, después de inmersión a 1, 7 y 14 días calculada mediante la aplicación de la fórmula indicada más adelante, no deberá ser mayor al valor específico correspondiente a la relación indicada abajo.

$$\text{Constante dieléctrica.} = 13600 \ C \log_{10} \frac{D}{d}$$

en donde:

C = Capacidad en Microfarads.

D = Diámetro del aislamiento.

d = diámetro sobre el conductor desnudo.

Constante dieléctrica máxima después de 24 horas de inmersión
10.0

Incremento en capacidad máxima por ciento.

De 1 a 14 días - 10.0

De 7 a 14 días - 5.0

b). Método Gravimétrico.

La absorción de la humedad en miligramos por cm^2 calculada mediante las fórmulas siguientes, nunca deberá ser mayor que 3.1 miligramos por cm^2 .

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5.} \quad (\text{Si } C \text{ es menor que } A).$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5.} \quad (\text{ Si } C \text{ es mayor que } A).$$

Donde:

- A = Peso de la muestra en miligramos, antes de la inmersión.
- B = Peso de la muestra en miligramos, después de la inmersión.
- C = Peso de la muestra en miligramos, después del secado en vacío.
- S = Area Total en cm^2 .

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS.

a). Resistencia de los Conductores.

La resistencia eléctrica a la corriente continua de los conductores, ya sean alambre o cable desnudos o recubiertos con estaño o plomo liga, no deberán exceder por más del 2% de los valores dados en la Tabla V.

Para cables multiconductores, el incremento de resistencia debido al cableado de los conductores no deberá exceder de los siguientes porcentajes; además del 2% indicado en el párrafo anterior:

Una capa de conductor.	2%
Más de una capa de conductor.	3%

Pares u otras unidades pre-cableadas.

4%.

Todos los valores de resistencia medidos, deberán referirse a 20°C.

b). Alta Tensión.

El aislamiento del conductor de cada uno de los tramos de manufactura deberá soportar la aplicación de un voltaje alterno, de 50 ó 60 ciclos, según se especifica en la Tabla VI, después de haber estado sumergido en agua durante 12 horas.

c). Resistencia del aislamiento.

Inmediatamente después de la prueba de alta tensión y estando aún dentro del agua, deberá probarse la resistencia del aislamiento del conductor, la cual no debe ser inferior a la calculada mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$R = K \text{ long.} \cdot 10 \frac{D}{d}$$

en donde:

R = Resistencia de aislamiento en Meghms por Km.

K = Constante = 500, a 15.5°C.

D = Diámetro sobre aislamiento.

d = diámetro del alambre o cable desnudo.

Si el agua tiene una temperatura diferente a 15.5°C , deberá corregirse la lectura de resistencia del aislamiento mediante los factores de corrección indicados en la Tabla VII.

d). Prueba de Chispa.

Si el fabricante desea disminuir el número de pruebas de alta tensión y resistencia del aislamiento solicitados en los dos incisos anteriores, puede elegir cualquiera de los dos métodos mencionados a continuación siempre y cuando el equipo de prueba -- empleado así como el procedimiento seguido satisfagan los requisitos solicitados.

METODO A.

Si todo conductor fabricado pasa a través de un probador de chispa según se describe en el método de prueba, puede reducirse -- el período de inmersión en agua a solo cuatro horas para efectuar la prueba de alta tensión y resistencia del aislamiento solicitado en los incisos b y c.

METODO B.

Si todo conductor fabricado pasa a través de un probador de chispa según se describe en el método de prueba respectivo, únicamente el 10% necesita someterse a la prueba de alta tensión y re

sistencia del aislamiento descritas en los incisos (b) y (c).

El voltaje aplicado a la prueba de chispa deberá estar de acuerdo con lo indicado en la Tabla VIII.

Acabado Superficial.

El aislamiento del conductor debe ser Homogéneo, debe estar razonablemente apretado sobre el conductor, debe tener buena flexibilidad para un fácil manejo y su superficie debe ser tersa, pulida y exenta de imperfecciones no compatibles con una buena práctica comercial.

METODOS DE PRUEBA.

Muestreo.

Lote de Entrega.

Estará formado por la cantidad de rollo o carretes objeto de la transacción comercial, que puede ser suministrada en entregas parciales.

Lote de Prueba.

El Lote de Prueba está formado por unidades del lote de entrega tomadas al azar.

Las muestras seleccionadas servirán para efectuar las siguientes

tes pruebas.

Propiedades originales del aislamiento.

Envejecimiento acelerado del aislamiento.

Choque Térmico.

Deformación por Calor.

Resistencia a la Flama.

Flexibilidad a Baja Temperatura.

Resistencia al Aceite.

Este muestreo podrá variarse mediante común acuerdo entre --
comprador y fabricante.

Para las determinaciones del diámetro o sección del conductor,
así como la del espesor del aislamiento, se tomará el 10% del -
lote de entrega para constituir el lote de prueba. En lotes meno
res de unidades se tomará una cuando menos para constituir el-
lote de prueba.

Lote de Muestra.

Estará constituido por tramos de material de tamaño adecuado-
para efectuar las pruebas, después de aplicar lo indicado en la
Tabla IX.

DETERMINACIONES:

Mecánicas.

a). Espesor del Aislamiento.

El espesor del aislamiento puede medirse con cualquier tipo de micrómetro adecuado, con lo cual puedan obtenerse lecturas - - con aproximación hasta de 0.03 mm. Se recomienda el uso de - un micrómetro de carátula tipo Randall and Stickney o similar, - que tenga un peso de 10 gramos sobre el brazo móvil, con objeto de hacer lecturas con una misma presión.

También puede emplearse un calibrador tipo Pie de Rey, siempre y cuando la presión que se le aplique a la muestra no sea tal que no pueda deslizarse el calibrador sin forzarlo.

Puede emplearse también un micrómetro óptico.

Para la determinación del espesor promedio del aislamiento, de berán tomarse por lo menos 5 lecturas espaciadas sobre diferen tes planos alrededor de la circunferencia del aislamiento, el espesor promedio encontrado será la medida aritmética de estas - lecturas.

El espesor mínimo del aislamiento será la menor de las lecturas encontradas en la muestra, según el procedimiento anterior. --

Cuando se midan aislamientos de cables formados por varios -- alambres deberá tenerse cuidado de colocar el calibrador en -- las partes entrantes de aquel en el aislamiento, o bien deberá -- emparejarse la superficie interna de la muestra de manera de -- presentar una superficie plana y lisa.

El espesor promedio encontrado deberá redondearse hasta 0.03 mm. o múltiplos.

b). Diámetro o Sección del Conductor.

El diámetro del conductor deberá medirse con un calibrador de gruesos micrométricos, con precisión de 0.003 mm., en un -- punto de la muestra tomando por lo menos dos lecturas a 90°; -- el promedio de las lecturas será el diámetro del conductor.

En conductores formados por cables concéntricos, la sección -- de los mismos se determinará por medio de la medición de los diámetros de alambres componentes, de acuerdo con el párrafo anterior, calculando después la sección a partir de estos diámetros.

Cuando la sección del conductor determinada de acuerdo con el método anterior no cumpla con los requisitos de esta especi--

cación podrá hacerse una determinación a partir del peso de la muestra y la densidad del cobre.

c). Esfuerzo de Tensión a la ruptura y alargamiento del aisla
miento.

Estas pruebas deberán realizarse a temperatura ambiente, per
fectamente entre 20 y 28° C. Las muestras deberán permane--
cer en el cuarto de pruebas no menos de 30 minutos antes de so
meterlas a las mismas.

La máquina de tensión que se emplee, deberá ser de transmi--
sión mecánica y preferentemente de tipo de péndulo. La aproxi
mación de la máquina deberá ser de 1% de la carga de ruptura -
de la muestra, como máximo.

Las pruebas se realizarán en muestras que no hayan sido someti
das a alargamientos previos. Se colocarán las muestras en--
tre marcas separadas 5 cm entre sí, siendo 10cm. aproximada
mente, la distancia inicial entre mordazas. Deberá llevarse la
muestra hasta la ruptura a una velocidad de 64 cm/min. aproxi
madamente; la ruptura deberá ocurrir entre las marcas. El es
fuerzo de tensión resultante se calculará por medio de la carga
de ruptura obtenida y el área de la sección de la muestra medi-

da antes de efectuar la prueba.

El alargamiento deberá determinarse simultaneamente con la carga de ruptura y estará dado por la distancia entre marcas, medida en el momento de la ruptura, menos 5 cm. (que es la separación original entre marcas). El por ciento de alargamiento hasta ruptura será el alargamiento en cms. dividido por la distancia original entre marcas y multiplicado por 100.

El cálculo del área del aislamiento deberá hacerse de la siguiente manera:

Para aislamiento de alambre y cable de 4.115 min. de diámetro y más pequeños, se tomarán muestras tubulares removidas del conductor, el área de la muestra deberá considerarse como la diferencia entre el área de un círculo cuyo diámetro sea el diámetro promedio sobre el aislamiento y el área del alambre, o cable desnudo.

El área de un cable debe calcularse a partir de su diámetro máximo medido.

Para aislamiento de alambre o cable de 4.115 mm. de diámetro, deberá prepararse una probeta cuya sección transversal deberá

ser cuadrada o rectangular no mayor de 0.161 cm^2 , después de haber emparejado sus superficies para quitarles todas las marcas debidas al cableado, rellenos, corrugaciones, etc.

Las muestras de estas pruebas deberán tener una longitud aproximada de 15 cm.

Con objeto de obtener probetas excentas de imperfecciones debidas al corte, deberán usarse sacabocados especiales para este fin, cuyos filos deberán estar en tales condiciones que no pro--duzcan defectos en las aristas de las probetas.

Las dimensiones de los sacabocados mas usuales se muestran -- en la figura B.

Para emparejar las imperfecciones de las muestras, antes de--proceder a cortarlas con los sacabocados, deberá usarse una -- piedra de esmeril con la que paulatinamente se iran desvaneciendo las sinuosidades hasta dejarla lisa y pulida por ambas caras, dichas caras o superficies quedarán por lo tanto visiblemente -- paralelas. El espesor de la probeta en la parte que va a ser sometida a la prueba estará entre 1.6 y 3.5 mm. siempre que sea--posible.

El espesor de la probeta se considerará como el promedio de 3 mediciones hechas en la sección reducida, una en el centro y - las otras en los extremos de la misma. No se tomarán en cuenta muestras que presenten diferencia de más de 0.08 mm. entre lecturas, ni muestras con espesor mayor de 3.5 mm.

El ancho de la probeta se considerará como la distancia entre filos de sacabocados, en la porción reducida.

El espesor deberá medirse con la ayuda de un micrométro de caratula graduado hasta 0.03 mm., equipado de tal manera que - - pueda dar lecturas con una presión constante ejercida sobre la - probeta.

Si se quieren hacer determinaciones de áreas con mucha precisión para casos específicos, podrá emplearse el peso de la muestra, la longitud y la densidad del metal.

d). Envejecimiento Acelerado.

Las muestras sometidas a un envejecimiento acelerado por calor, deberán ser tubulares o en probeta, de acuerdo con lo indicado en el inciso anterior. Se introducirán en una estufa con circulación de aire caliente en su interior provista de un dispositivo termos-

tático capaz de mantener constantemente la temperatura dentro del límite de variación de $\pm 1^{\circ}\text{C}.$, y de un mecanismo que registre las temperaturas durante el tiempo de envejecimiento. Las dimensiones interiores de la estufa serán por lo menos de 30 x 30 x 30 cm., sin que excedan de 91 x 91 x 122 cm.

El aire que contenga la estufa se debe renovar adecuadamente a la presión atmosférica y debe hacerse circular en su interior -- por medio de un ventilador, de manera que las diferencias de temperatura entre dos puntos cualesquiera del espacio destinado a las muestras en prueba, no sea mayor de $2^{\circ}\text{C}.$, pudiendo -- emplearse divisones interiores para uniformar la temperatura -- de ser necesario.

La fuente de calor puede ser cualquiera y debe estar localizada en la entrada del aire, fuera de la cámara de envejecimiento -- propiamente dicha. Si se emplea en el ventilador algún motor -- de corriente directa o de cualquier otra clase que esté provisto de conmutador, el aire que esté circulando en el interior no deberá tener contacto con el conmutador para evitar que el ozono -- formado por la chispas de las escobillas actúe sobre las muestras.

Mediante acuerdo entre fabricante y comprador, la estufa podrá verificarse antes de iniciar una prueba colocando algunos termómetros indicadores de máxima en distintos puntos de su interior para asegurarse que la temperatura sea uniforme.

Las muestras deben suspenderse verticalmente, de tal forma que no se toquen entre sí ni toquen las paredes del horno.

Al sacarlas de la estufa las muestras tendrán un período de reposo a la temperatura ambiente de 16 a 48 horas antes de someterlas a las pruebas de ruptura y alargamiento.

La estufa debe alcanzar la temperatura de prueba antes de colocar las muestras dentro de ella.

Se recomienda no colocar probetas de diferentes materiales dentro de la misma estufa.

e). Choque Térmico.

Se toman muestras de conductor y sin quitarlas el aislamiento se enrollan en un mandríl según se indica en la Tabla II y se introducen en una estufa, de acuerdo con las indicaciones señaladas, después de lo cual se sacan y se observan a simple vista debiendo pasar el requisito solicitado en estas mismas especifici

Mediante acuerdo entre fabricante y comprador, la estufa podrá verificarse antes de iniciar una prueba colocando algunos termómetros indicadores de máxima en distintos puntos de su interior para asegurarse que la temperatura sea uniforme.

Las muestras deben suspenderse verticalmente, de tal forma que no se toquen entre sí ni toquen las paredes del horno.

Al sacarlas de la estufa las muestras tendrán un período de reposo a la temperatura ambiente de 16 a 48 horas antes de someterlas a las pruebas de ruptura y alargamiento.

La estufa debe alcanzar la temperatura de prueba antes de colocar las muestras dentro de ella.

Se recomienda no colocar probetas de diferentes materiales dentro de la misma estufa.

e). Choque Térmico.

Se toman muestras de conductor y sin quitarlas el aislamiento se enrollan en un mandríl según se indica en la Tabla II y se introducen en una estufa, de acuerdo con las indicaciones señaladas, después de lo cual se sacan y se observan a simple vista debiendo pasar el requisito solicitado en estas mismas especifici

caciones.

f). Deformación por Calor.

En las pruebas de deformación con presiones en caliente, se debe medir el espesor antes y después de comprimirlo.

Para esta prueba se emplea un micrómetro Randal And Stikney-
o uno equivalente de manecilla indicadora, con el que pueda ha-
cerse que el opresor actúe con la carga indicada en la Tabla II,
dicho opresor tendrá un área de compresión plana que corres-
ponda a un diámetro de 9.53 mm. aproximadamente.

Procedimiento para la Prueba.

Ajuste el micrómetro de manera que deba sujetar a la muestra
con la carga especificada en la Tabla II, coloque el micróme-
tro dentro de un horno precalentado durante una hora a una tem
peratura de 120 a 122°C. Al final de este lapso de tiempo colo-
que la muestra dentro del horno separada del micrómetro. De
jela ahí por un período de una hora a la misma temperatura. --
Al finalizar este tiempo coloque la muestra directamente bajo-
el opresor del micrómetro con la carga especificada anterior--
mente y dejela ahí durante una hora a 120 - 122°C. Al final de-

este período lea la caratula del micrómetro para obtener la lec
tura final.

Calcule el espesor del aislamiento después de la prueba, me- -
diante la siguiente fórmula:

$$E_2 = \frac{D_2 - d}{2}$$

En donde:

E_2 = Espesor final del aislamiento.

D_2 = Diámetro final del conductor aislado.

d = diámetro del alambre o cable.

Para efectuar esta prueba las probetas deberán de prepararse -
de la siguiente manera:

Para conductores de 11.684 mm. (4/o AWG) de diámetro y más-
pequeños las mediciones de espesor deberán deducirse de la me
dición directa de diámetros sobre aislamiento y sobre el cobre.

Para conductores mayores de 11.684 mm. (4/o AWG) de diáme
tro debe prepararse una probeta tal como se hace para la prue-
ba de envejecimiento para poder medir el espesor sobre una par
te rectangular de la misma.

g). Propagación de la Flama en el Aislamiento.

El aparato para esta prueba consiste en una cámara de metal de 60 cm. de alto, 30 de ancho y 35 de profundidad aproximadamente, abierta en la parte superior y en el frente Fig. A.

En la parte interior de la cámara se introduce un quemador de gas de cuerpo cilíndrico alargado, con diámetro nominal interior de 9.5 mm. y long. aproximada de 10 cm. sobre la toma de aire.

El quemador estará provisto de una flama piloto, llave o llave para el control de ésta, del quemador principal y estará montado sobre un soporte que permita que el eje principal del quemador pueda formar un ángulo variable a voluntad con la vertical, pero de manera que se pueda aplicar cuando este ángulo sea de 20° .

La altura de la flama sobre el quemador debe ajustarse a unos 13 centímetros cuando se haya hecho girar el quemador hasta que su eje principal quede vertical.

Se coloca verticalmente dentro de la cámara el conductor por probar, que debe tener una longitud aproximada de 45 cms, sujetandolo con una pinza de presión a resorte, cuidando que su parte posterior no haga contacto con la pared de la cámara y --

que quede bien tirante.

Se le pega al conductor en prueba una tira de papel Kraft que --
tenga aproximadamente 0.13 mm., de espesor y 13 mm. de an-
cho, de manera que queden más o menos 25 centímetros entre-
el centro del lugar de aplicación de la flama y la orilla inferior
del papel.

El papel debe estar engomado por una sola cara, ser pegado en
capas sencillas sobre el conductor y con la goma del lado de és
te, humediciendolo lo menos que sea necesario y haciendo que--
sus extremos sobresalgan unos dos centímetros del lado opues-
to al que se aplica la flama.

Se acerca el quemador, ya inclinado a 20° , cuidando que el eje
de éste y el de la muestra queden en el mismo plano vertical -
y la boca del quemador a una distancia aproximada de 4 centí--
metros de la superficie del conductor en prueba, en medio y --
sobre la prolongación del eje del quemador.

El centro de aplicación de la flama debe estar por lo menos a -
7.5 cm. del extremo inferior del conductor.

Ya hechos todos los ajustes, para los cuales conviene reempla-
zar momentaneamente el conductor por una varilla metálica --

que tengan las mismas dimensiones, con la flama piloto ardiendo y el quemador caliente y listo para trabajar, se le aplica a la muestra 5 veces la flama durante 15 segundos cada vez, dejando 15 segundos de intervalo entre una y otra aplicación.

El conductor no debe continuar ardiendo más de un minuto después de la última aplicación, ni debe quemarse más de un 25 % de la superficie de la parte saliente de la tira de papel indicadora, para que pueda considerarse que el aislamiento en prueba no propaga la flama.

h). Prueba de flexibilidad a Baja Temperatura.

Las muestras del aislamiento deberán ser sujetas a una temperatura de -9 a -11° C., por un período de una hora; inmediatamente después de sacar las muestras de la caja de refrigeración, deberán enrollarse en un mandril según se especifica en la Tabla IV. El devanado sobre el mandril debe hacerse de una manera uniforme de modo que no se emplee más de un minuto en esta operación.

i). Resistencia al Aceite.

Se colocarán las muestras de aislamiento de alambre o cable dentro de un recipiente que contenga aceite SAE - 20, a una tem

peratura entre 69 y 71° C., de manera que queden totalmente -
bajo el aceite, excepto las puntas; permanecerán por un tiempo
de cuatro horas en esta operación. Al final de este tiempo se-
sacan las muestras del aceite, se sacude el exceso del mismo-
y se dejan a una temperatura ambiente por un período de 16 a -
48 horas. El esfuerzo de tensión y el alargamiento del aisla--
miento de las muestras después de haber sido sometidas al acei-
te, debe de ser determinado y comparado con las propiedades -
originales.

La retención del esfuerzo de tensión y el alargamiento debe ser
tal que satisfaga el inciso respectivo a éstas Especificaciones.

j). Absorción de Humedad.

a). Método Eléctrico.

Se toma una muestra de conductor aislado, de 5 m. de longitud
aproximadamente y se seca en aire a 70°C. durante 24 horas -
después de lo cual se somete a enfriamiento con aire a 50°C, -
aproximadamente antes de sumergirse en agua. Los 3 m. cen-
trales de la muestra se sumergen en agua a 50°C $\pm$ 1°C. por-
un período de 14 días, dejando las puntas fuera de la misma. Se
coloca una tapa apretada de manera de formar una cámara lo -

más hermética posible con la muestra y se mantiene constante el nivel del agua.

Se mide la capacidad eléctrica a 1000 ciclos después de 1, 7 y 14 días de inmersión y se determina el incremento encontrado expresado en por ciento.

b). Método Gravimétrico.

Se toma una muestra de 28 cm. aproximadamente de conductor aislado, si es que la muestra pesa menos de 100 grs. ó si la muestra es más pesada se tomará un segmento de aislamiento de 10 cm. de largo por 2.5 cm. de ancho, emparejando sus su superficies que queden paralelas y pulidas.

Se limpian las muestras superficialmente con un trapo húmedo, y se secan a $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$. durante 48 horas después de lo cual se pesan aproximando las lecturas hasta el miligramo, llamando a este período "peso A".

La sección "S", será la medida sobre una longitud de 25 cm. -- cuando se trate de muestras de menos de 100grs de peso o la total del segmento preparado. En el primer caso, se dobla la muestra en "U" alrededor de un mandril que tenga un diámetro no menor de tres veces el diámetro de la muestra, la cual se su

merge en agua dejando fuera unicamente las puntas de 1.5 cm. cada una; se tapará la muestra tratando de dejarla lo más hermética posible. El agua destilada que se use en esta prueba - deberá estar a $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$, y la muestra se dejará en inmersión por un período de 168 horas, se deja enfriar el agua hasta la - temperatura ambiente, se saca la muestra y se sacude para -- quitarle el exceso de agua; se seca la muestra con un paño limpio y se pesa aproximando el miligramo llamando a este peso - "B", (esta operación deberá hacerse dentro de los 3 minutos - siguientes después de sacar la muestra del agua).

Se seca la muestra en horno con vacío de 5 mm. de mercurio - y a $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$. por un período de 48 horas, después de los cua-- les se pesa, llamando a este "peso C".

La absorción de la humedad se calculará mediante la aplicación de una de las dos fórmulas siguientes:

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5} \quad (\text{si } C. \text{ es menor que } A).$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5} \quad (\text{si } C. \text{ es mayor que } A).$$

Donde:

merge en agua dejando fuera unicamente las puntas de 1.5 cm. cada una; se tapará la muestra tratando de dejarla lo más hermética posible. El agua destilada que se use en esta prueba - deberá estar a $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$, y la muestra se dejará en inmersión por un período de 168 horas, se deja enfriar el agua hasta la - temperatura ambiente, se saca la muestra y se sacude para -- quitarle el exceso de agua; se seca la muestra con un paño limpio y se pesa aproximando el miligramo llamando a este peso - "B", (esta operación deberá hacerse dentro de los 3 minutos - siguientes después de sacar la muestra del agua).

Se seca la muestra en horno con vacío de 5 mm. de mercurio - y a $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$. por un período de 48 horas, después de los cua- les se pesa, llamando a este "peso C".

La absorción de la humedad se calculará mediante la aplicación de una de las dos fórmulas siguientes:

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5} \quad (\text{si C. es menor que A}).$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{6.5 \times 5} \quad (\text{si C. es mayor que A}).$$

Donde:

A = Peso de la muestra en miligramos, antes de la inmersión.

B = Peso de la muestra en miligramos, después de la inmersión.

C = Peso de la muestra en miligramos, después del secado en vacío.

S = Área total en cm.

a). Alto Voltaje.

El aislamiento debe soportar la prueba, de voltaje que se solicita en la Tabla VI, por un período de un minuto sin perforarse, -- bajo las siguientes condiciones.

El alambre o cable forrado debe estar sumergido en agua por un período no menor de 12 horas, y después debe sujetarse a la -- prueba de voltaje estando aún en inmersión.

Una punta del circuito debe ser conectado al conductor y la otra al electrodo en contacto con el agua en el cual están los conductores en inmersión. La capacidad del circuito de prueba debe ser suficiente para mantener un voltaje de prueba requerido y no debe ser en ningún caso inferior a 5 KVA.

El equipo completo para realizar esta prueba cuenta además con un tanque de tamaño adecuado en el cual deberán alojarse las --

muestras (carretes o rollos) en completa inmersión en el agua; además debe contar con un interruptor, lamparas indicadoras - u otra forma para indicar una corriente en el circuito de prueba; el transformador para la prueba deberá tener un voltaje de salida que pueda ser regulable desde o hasta el voltaje de prueba. La frecuencia del circuito no deberá ser mayor de 100 ciclos por segundo y la forma de onda debe ser aproximadamente senoidal.

Con objeto de evitar absorción de humedad en las puntas del conductor que va a ser sometido a la prueba de alto voltaje, estas pueden sumergirse en parafina liquida.

Comenzando en cero el voltaje aplicado debe ser incrementado gradualmente hasta que se alcance el valor de prueba requerido: el incremento de voltaje aplicado debe ser tan uniforme como sea posible y no debe ser mayor del 100% del voltaje nominal del alambre en 10 segundos y no menor del 100% en 60 segundos.

b). Resistencia del Aislamiento:

Inmediatamente después de la prueba de alto voltaje el conductor debe ser sometido a la prueba de resistencia de aislamiento mediante un megohmetro apropiado.

La lectura deberá corregirse por temperatura y por longitud de manera de poder compararla con el valor nominal calculado.

Si la medición de resistencia de aislamiento se ha realizado a una temperatura diferente a 15.6°C . (60°F), dicha lectura debe corregirse mediante la aplicación de un factor indicado en la -- Tabla VII.

c). Prueba de Chispa.

El equipo necesario para esta prueba está formado por un transformador de corriente alterna equipado con un voltmetro indicador, que marque una lectura constante durante todo el tiempo -- que pase el alambre a través del eléctrodo. El eléctrodo debe consistir de una canal de sección "V" con cadenas en su interior y de manera que estas cuelguen y toquen a la superficie del aislamiento bajo las pruebas; las esferas de cadenas deberán tener un diámetro aproximado de 5 mm.; el espaciamiento entre cadena y cadena no debe ser mayor de 12.5 cm.; la longitud del eléctrodo no está especificada, pero la relación de la velocidad a la cual el alambre está saliendo de la máquina a través del eléctrodo debe ser tal que cualquier punto del alambre debe estar en -- contacto con el eléctrodo por un período de tiempo no menor a -

0.15 segs. Por conveniencia, puede checar-se que la velocidad máxima a que el alambre este corriendo, en metros por minutos sea igual a $33 \frac{1}{3}$ veces la longitud del electrodo en centímetros. El conductor debe estar conectado a tierra de manera que en caso de existir una falla de aislamiento ésta descargue a través del conductor.

El aparato deberá estar provisto de luces piloto que señalen las fallas.

La prueba de chispa debe ser una de las últimas operaciones en la producción del alambre y preferiblemente debe ser aplicada -- cuando se está cortando el material en las longitudes de empaque.

EQUIPO DE LABORATORIO.

En los párrafos anteriores hemos descrito brevemente el equipo de laboratorio empleado para las pruebas aceleradas de los conductores eléctricos con recubrimientos plásticos, ahora procede remos a describir dichos aparatos, los cuales ocupan un lugar -- importante en la fabricación de conductores recubiertos, ya que -- sin ellos no se podría determinar la calidad del producto.

Actualmente la calidad del producto es lo más importante, ya que

de ello depende el éxito o el fracaso de una Empresa.

Para medir el esfuerzo de tensión a la ruptura y alargamiento del aislamiento se emplea una máquina para medir tensiones, - esta máquina deberá ser de transmisión mecánica y preferentemente de tipo de péndulo.

Esta máquina deberá tener como máximo el 1% de error en cuento a la lectura de la carga, se puede usar también una balanza - de resorte siempre y cuando esta balanza cuente con un accesorio que evite el rebote del resorte cuando se llegue a la fuerza - de ruptura, y que dicha magnitud no sea distorsionada por el resorte.

Este tipo de máquina se emplea mucho en los laboratorios, para pruebas semejantes en cables de acero, concreto etc.; en vista - de que la prueba de tensión a ruptura y alargamiento se utiliza - mucho en la industria en general para probar todo tipo de productos.

El equipo de medición se compone principalmente de calibradores, Pie de Rey y balanzas, estos aparatos deberán tener cier-ta precisión de acuerdo con la importancia de la medición.

Actualmente muchos laboratorios emplean equipo electrónico - para pruebas delicadas, y aunque este equipo tenga un costo - - elevado, las ventajas que ofrece son innumerables, ya que una- persona jamas tendría la precisión necesaria.

Por otro lado la rapidez de la medición es un factor determinan te, ya que en algunas ocaciones se muestrea en plena producción para lo cual se requiere de suma rapidez, debido a que hay má-- quinas que producen hasta 25 mts. de cable por segundo, para lo cual se necesitan hacer mediciones con igual rapidez.

Las pruebas de envejecimiento acelerado se hacen en una estufa- con circulación de aire caliente, la cual deberá estar provista -- de un termostato capaz de mantener una temperatura constante - dentro de la camara y con una variación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, deberá contar además con un mecanismo que registre las temperaturas durante el tiempo que dure la prueba de envejecimiento.

Las dimensiones interiores de la estufa serán por lo menos de - 30 x 30 x 30 cm. y no mayores de 91 x 91 x 122 cms.

El aire que contenga la estufa se debe renovar adecuadamente a- la presión atmosférica y debe hacerse circular en su interior - -

por medio de un ventilador, de manera que las diferencias de temperatura entre dos puntos cualesquiera del espacio destinado a las muestras en prueba, no sea mayor de 2°C , pudiendo emplearse divisiones interiores para uniformar la temperatura de ser necesario.

La fuente de calor puede ser cualquiera y debe estar localizada en la entrada de aire, fuera de la cámara de envejecimiento propiamente dicha. Si se emplea en el ventilador algún motor de corriente directa o de cualquier otra clase que este provisto de conmutador, el aire que esté circulando no deberá tener contacto con el conmutador para evitar que el ozono formado -- por las chispas de las escobillas actúe sobre las muestras.

PRUEBA DE CHOQUE TERMICO.

Esta prueba se realiza en una estufa semejante a la utilizada -- para la prueba de envejecimiento, con la diferencia que en la -- prueba de envejecimiento acelerado las muestras se introducen a la estufa en forma tubular o de probetas y se suspenden de la estufa, para la prueba de choque térmico, las muestras se enrollan en un mandril según se indica en la Tabla II y se introducen en la estufa.

Prueba de Deformación por Calor.

El equipo para esta prueba se ha descrito con anterioridad empleándose como ya se ha dicho antes equipo electrónico al cual es mucho más preciso y al cual no se le puede engañar.

El horno empleado para esta prueba es igual que el descrito en los párrafos anteriores.

Prueba de Propagación de la Flama en el Aislamiento.

El equipo para esta prueba se ha descrito ampliamente con anterioridad.

Prueba de Flexibilidad a Baja Temperatura.

Para efectuar la prueba de flexibilidad a baja temperatura, como su nombre lo indica; necesitaremos una camara de refrigeración que esté provista de unos soportes para suspender las muestras y evitar que se peguen entre sí o a las paredes de la unidad refrigerante.

Esta unidad refrigerante no debe tener características especiales en sí, no debe ser muy grande para que enfrie con relativa facilidad y descienda a temperaturas cercanas a los 40°C, bajo cero.

Para la prueba de Flexibilidad solo necesitaremos una tempera--

tura aproximada de -9 a -11°C .

Prueba de Resistencia al Aceite.

Para esta prueba emplearemos unicamente un recipiente metálico de preferencia de acero; este recipiente deberá contar con una estufa eléctrica que mantenga la temperatura del aceite en un valor constante. Para ello contaremos con un termostato - acoplado al recipiente, el cual se encarga de conectar y desconectar las resistencias de la estufa a la menor variación de - - temperatura con una tolerancia máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Las dimensiones del recipiente podrán variar desde 30 cm. de largo, 20 - de ancho y 10 de profundidad hasta 60 cm. de largo, 40 de ancho y 30 de profundidad.

Prueba de Absorción de Humedad.

Esta prueba tiene dos métodos el Eléctrico y el Gravimétrico- El equipo de laboratorio empleado para el método eléctrico es- el siguiente:

a). Una estufa eléctrica dentro de una camara con circulación- de aire a través de las resistencias de la estufa, de manera que el aire impulsado se caliente al atravesar la sección de las re- sistencias. La temperatura se controla por medio de un termos

tato que se encuentra colocado en la parte superior de la cámara, de modo que, se pueda controlar la temperatura del aire caliente con bastante exactitud, teniendo una variación máxima de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

b). Un tanque de agua para sumergir las muestras que salen de la cámara de aire caliente. Este tanque deberá tener un sistema eléctrico de resistencias para poder calentar el agua hasta el punto de ebullición.

Deberá ser para trabajo pesado en vista de que esta prueba se tarda aproximadamente 14 días.

El tanque deberá ser lo más hermético posible en vista de que en algunas pruebas la temperatura dentro del recipiente excede los 100°C . convirtiéndolo el agua en vapor, el cual escaparía variando con ello el nivel del agua del recipiente teniendo que contar con un sistema de recuperación de agua y de precalentados, lo que elevaría enormemente el costo de la instalación.

c). Equipo en general para mediciones eléctricas.

Equipo de Laboratorio empleado para el Método Gravimétrico.

a). Una balanza con aproximación de lecturas hasta miligra--

mos . Puede ser del tipo mecánico, de resortes o electrónica.

b). Una camara de aire caliente como la descrita en la prueba de absorción de humedad por el Método Eléctrico.

c). Un tanque de agua con calentamiento igual que el descrito en el inciso (b) sección anterior.

d). Un horno de secado por vacio; este puede estar formado por una camara de vacio, constuida de tal manera que tenga una resistencia eléctrica alrededor de ella, para que al elevearse la temperatura sea uniforme, y no solo en un punto de manera que ese centro sea el más caliente, siendo un error lo cual deformaría la veracidad de la prueba.

Las variaciones de la temperatura se controlan por medio de un termostato con una aproximación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Equipo de Laboratorio para efectuar las Pruebas Eléctricas.
Alto Voltaje.

Para la realización de esta prueba necesitamos un recipiente de agua con características especiales, ya que al estar sumergido el cable en el agua se le someterá a la prueba de alto voltaje, haciendo circular a través del conductor una cier

ta corriente.

Dentro de este recipiente se colocan los electrodos, a los cuales se conectan los conductores sometidos a la prueba, los otros puntos de los conductores se conectan al circuito.

La capacidad del circuito de prueba debe mantener un valor de voltaje determinado y el cual en ningún caso será menor de 5 KVA.

El equipo para la prueba de Alto Voltaje deberá contar además con un interruptor; lamparas indicadoras u otra forma para indicar una corriente en el circuito de prueba, un transformador que pueda regular el voltaje desde o hasta el valor que requiere la prueba.

La frecuencia del circuito no deberá ser mayor de 100 ciclos por segundo y la forma de onda deberá ser senoidal.

Resistencia del Aislamiento.

Para esta prueba emplearemos unicamente un megohmetro de alta sensibilidad. La lectura obtenida en el megohmetro se registrará por temperatura y por longitud.

Prueba de Chispa.

El equipo de laboratorio para esta prueba se ha descrito detalladamente en las páginas anteriores, no siendo necesaria su repetición.

Algunos conductores reaccionan a la luz solar debido al contenido de carbono negro en los compuestos de polietileno.

Para esta prueba se ha diseñado un equipo de laboratorio como el que se describe a continuación.

- a). Un espectro-fotómetro o fotómetro, que este de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM D 1003.
- b). Un soporte de muestra apropiado para el fotómetro por usarse. Este soporte podrá ser una hoja de material rígido de las dimensiones del soporte en que se va a usar, con una abertura en su centro que no restrinja el rayo de luz del fotómetro. Se empleará una cinta ante-adhesiva para sostener la muestra en el lugar de la abertura. Podrá utilizarse también un porta-muestras de cuarzo o vidrio, usados en el microscopio, sujetos en sus extremos con cinta ante-adhesiva, sensible a la presión; glicerina con graduación USP o de mejor calidad entre los vidrios para eliminar aire.

- c). Pinzas limpias para manejar las muestras.
- d). Un dado adecuado para cortar las muestras de prueba.

Figúra (1) barreno de ajuste para la parte dos de la figúra (2). -

Terminado: Cromado Brillante 409 A, 0.0002.

Material : Acero Ketos, templado a una dureza Rockwell "C"-
45.

Esmerilado Fino: Superficie bruñida y pulida.

- e). Una balanza de precisión con aproximación de ± 0.0001 --
gramos.
- f). Un juego de pesas clase 5 para usar en la balanza de preci-
sión.
- g). Un eliminador estático adecuado, tipo ionizado; que facilite
el manejo de las muestras.
- h). Un medio para determinar la densidad de la muestra con --
aproximación de $\pm 1\%$.
- i). Como alternativa a los puntos e, f y h, un micrómetro ca--
paz de medir el grueso de la película con aproximación de $\pm 5\%$ ó
mayor.

Las muestras serán de una película de tal dimensión, longitud y-
ancho o diámetro como se requieran para el aparato en el que se

medirá la transmisión de la luz. El grueso de la muestra será tal que la transmisión de ondas no será menor de 0.003 de la -- longitud de onda especificada para la medición de transmisión - si se va a usar un espectro fotómetro.

NOTA: Pueden prepararse muestras adecuadas prensando 2 a 3 miligramos de la muestra entre dos placas pulidas mostradas - en las figuras (1) y (2), a una temperatura de $140 - 185^{\circ}\text{C}$ y una fuerza de 30 ton.

No se necesita acondicionar la muestra previamente, pero debe cuidarse que la muestra no se dañe ni se contamine. Las mues tras unicamente deben usarse con pinzas limpias.

Esta superficie deberá estar esmerilada, bruñida y pulida antes de ensamblar los pernos de ajuste.

Terminación de los objetos 1, 2 y 3.

Cromado brillante 409 A, 0.0002.

Mat. 1: Acero Ketos templado dureza Rockwell 45 "C"

Mat. 2: Barra acero para broca 0.281 $\varnothing$ pulg.

Mat. 3: Barra acero para broca 0.312 $\varnothing$ pulg.

METODO DE LABORATORIO.

a). Deberá determinarse el grueso de las muestras.

1. Midiendo su peso y densidad antes de colocarlo en el porta muestras.

2. Medición micrométrica después del punto "C".

b). La muestra se colocará en el porta muestras unicamente-- usando pinzas limpias. La muestra montada estará libre de pliegues o arrugas.

c). La transmisión de las ondas a través de la muestra se medirá usando procedimiento aprobados para el espectro fotómetro-- o el fotómetro usado y la longitud ó longitudes de ondas especificadas para el material por probar. Este procedimiento debe usar se pra tres muestras y los resultados se promediaran.

Se cuidará que unicamente se exponga la muestra a la acción del - rayo del fotómetro y no una parte del porta muestras.

Si se usan porta muestras de microscopio se usará un porta mues tras similar con una ligera capa de glicerina entre los dos vidrios como referencia.

d). Si el grueso de las muestras se debe medir directamente se determinará de acuerdo con la norma ASTM D 374 método A ó C.

e). La absorción de la muestra debe calcularse como sigue:

$$a = \frac{A}{bc.}$$

en donde:

A = absorción = Long. $\frac{1}{T}$.

T = Transmisión.

b = grueso de la muestra (cms).

c = concentración de negro carbón (gramos/cm³) -
log. (-long. 10).

Método para determinar el contenido de negro carbón en plástico de etileno.

Finalidad: Este método describe el equipo y el procedimiento para determinar el contenido de Negro-Carbón en Plásticos de Etileno.

La información proporcionada en este método es útil también para fines de control y se necesita para calcular la absorción.

Equipo:

- a). Horno eléctrico adecuado para el uso con la tubería de (b).
- b). Tubería Pyrex o Vicor de 1 1/8" de diámetro y 4" aprox. - más larga que el horno.
- c). Dos tapones de hule o neopreno para tubería de (b).
- d). Tubería de vidrio de 10 mm. de diámetro y manguera de --

plástico o hule para conexiones.

e). Un barco de combustión de 3 1/2" x 3/4" x 1/2" aprox.
de porcelana o platino.

f). Un termómetro cubriendo por lo menos el rango entre 300-
a 500°C.

g). Un medidor de flujo adecuado para medir un flujo de 1 a 10-
litros por minuto .

h). Tres trampas frias con tapones esmerilados para conexión-
y tubos de conexión de 10 mm. de diámetro.

i). Un tubo de secado en forma de "U" con 20 mm. de o más de
diámetro interior, equipado con tapones de vidrio esmerilado o --
de neopreno.

j). Fibra de Vidrio.

k). Un desecador metálico.

l). Un quemador Bunsen.

m). Una balanza analítica con precisión aprox. de ± 0.0001 gr. -

n). Juego de pesas para usarse en la balanza.

Reactivos:

a). Nitrógeno purificado con un contenido de oxígeno no mayor -
de 0.01%.

b). Pyrogallol, grado técnico o mejor.

- c). Hidróxido de potasio, grado técnico.
- d). Tricloroetileno, grado técnico.
- e). Dióxido de carbono sólido (hielo seco).
- f). Ca C/2, anhidrido u otro disecante.

El método de laboratorio será el siguiente:

- a). El equipo de laboratorio se ensamblará de acuerdo con la -
figura 3. Ambas camaras de frío, colocadas a continuación de -
la camara de combustión contienen tricloroetileno, pero unicamente
te la primera se enfriará con hielo seco.
- b). La solución de 5g. pyrogallid y 50g. de hidróxido de potasio
en 100 ml. de agua, se prepara con anticipación y se introduce en
la trampa antes del tubo de secado, aprox. una tercera parte.
- c). El Ca C/2 anhidrido u otro disecante apropiado se usará en-
el tubo secador, colocado entre la fibra de vidrio suelta.
- d). Una probeta barco de combustión, se calentará al rojo vivo-
en el quemador Bunsen, pasándolo inmediatamente al secador me-
tálico para enfriarse en secante limpio por espacio de menos de --
30 minutos.
- e). La probeta se sacará del secador y se pesará lo más pronto
posible con aprox. de 0.0001 gr.
- f). 1.0 ± 0.1 gr. del plástico de etileno por analizar, se colo-

carán en la probeta (barco de combustión) pesándose ambos rápidamente con aprox. de 0.0001 gr.

g). El flujo del nitrógeno se ajustará a 1.7 ± 0.3 litros por minuto: la probeta con la muestra se colocará en el tubo Pirex, en el centro del horno con un termómetro de ajustado de manera que la punta toque la probeta. El calentamiento del horno se hará de tal manera que se alcance una temperatura de 350°C , -- en 10 minutos aproximadamente, 450°C . en otros 10 minutos y 500°C . después de 30 minutos; se continuará el calentamiento -- a $500 \pm 50^{\circ}\text{C}$. durante otros 10 minutos.

h). Se sacará el tubo del horno para enfriarlo durante 5 minutos y con la probeta en su lugar se conserva el flujo del nitrógeno.

Después se saca la probeta por el orificio, enfriándola en el secador por lo menos durante 30 minutos, pesandola nuevamente -- con todo y contenido, con aprox. de 0.0001 gr.

i). Todas las determinaciones o pruebas se harán por dupli-do. Cuando se hacen pruebas sucesivas, se dejará enfriar el -- horno por lo menos a 300°C . entre cada prueba.

El contenido de negro-carbón se calculará de la manera siguien-

te:

$$\text{Porcentaje de negro-carbón.} = \frac{\text{Peso del residuo} - (\text{gramos})}{\text{peso de la muestra.} (\text{gramos})} \times 100$$

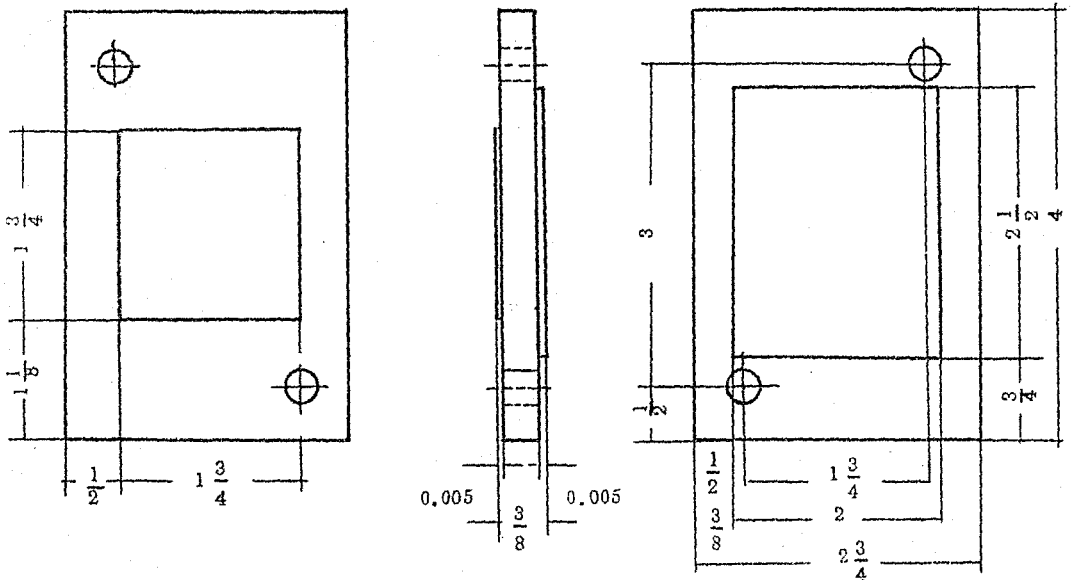
$$C = \text{Concentración de negro-carbón (grs/cm}^3\text{)} =$$

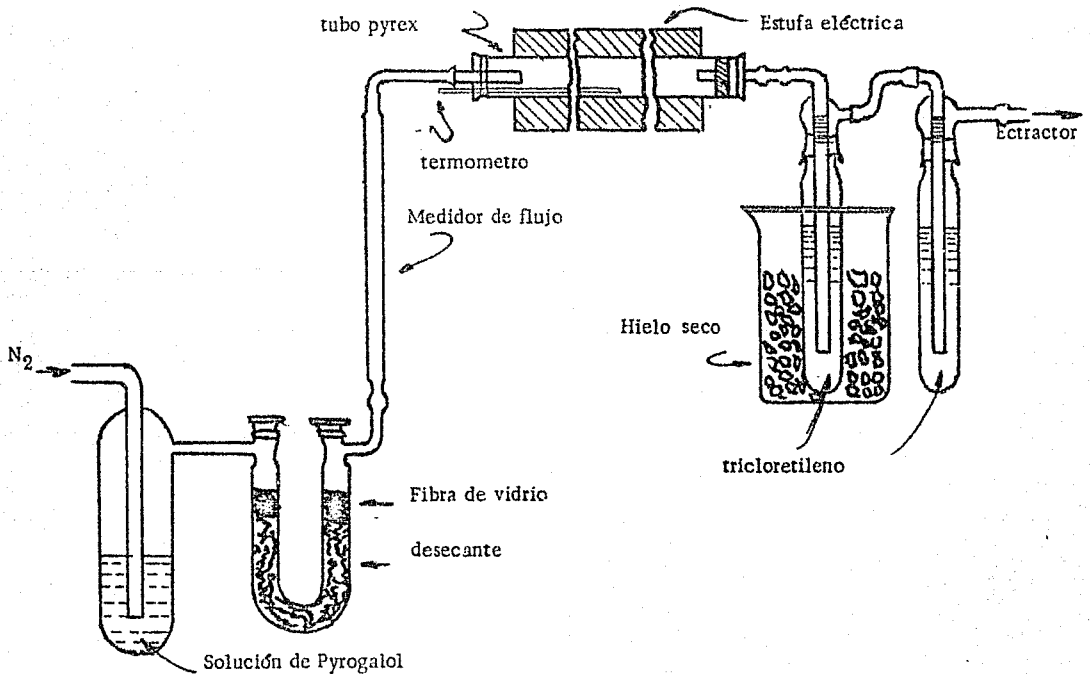
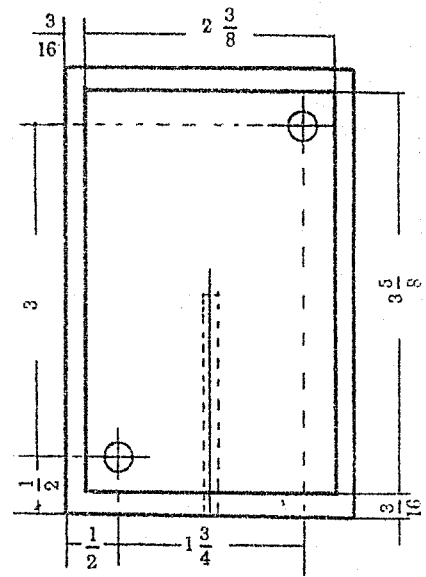
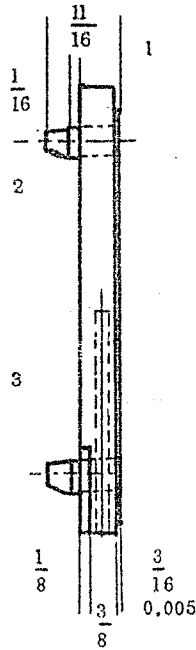
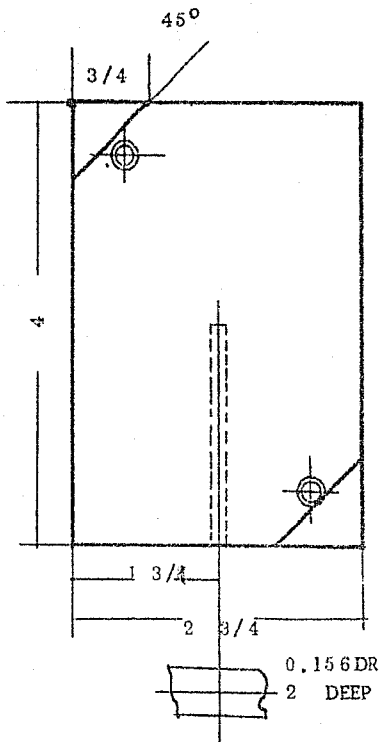
$$= \frac{\text{peso del residuo} \times \text{densidad de la muestra}}{\text{peso de la muestra.}}$$

El reporte del laboratorio deberá incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra.
- Cálculos individuales de porcentaje.
- Promedio de los cálculos.

Fig. 1, 2 y 3.





Estas son las pruebas y el equipo con el cual todo laboratorio - moderno de pruebas aceleradas deberá contar.

Algunos equipos serán más complicados, pero el principio básico es el mismo.

Algunos fabricantes hacen más complicadas y más difíciles las pruebas, con objeto de sacar al mercado un mejor producto.

TABLA I

Dimensiones nominales de conductores con aislamiento termoplástico,
a 20° C

Conductor Central			Aislamiento.	
Diámetro en mm.	Sección en mm. ²	Calibre AWG ó MCM	Espesor en mm.	Espesor en pulg.
0.097 - 1.290	0.519 - 1.31	20 - 16	0.64	1/40
1.628 - 2.588	2.08 - 5.26	14 - 10	0.79	2/64
3.264	8.37	8	1.19	3/64
4.115 - 6.543	13.30 - 33.62	6 - 2	1.59	4/64
7.343 - 11.684	42.41 - 107.2	1 - 4/0	1.98	5/64
	107.3 - 253.2	213 - 500	2.38	6/64
	253.3 - 506	501 - 1000	2.77	7/64
	507 - 1013	1000 - 2000	3.17	8/64

TABLA II

Mandriles usados para la prueba de choque térmico

Sección del Conductor en mm. ²	No. de Vueltas Adyacentes.	Diámetro del mandril x veces el diámetro del conductor aislado.
8.37 y menor	6	1
de 10.55 a 33.62	6	2
42.41	1	2
de 53.48 a 107.2	180 Grados	2
126.6 y mayor	180 Grados	5

TABLA III

Pesos usados para la prueba de deformación por calor.

Sección del Conductor mm. ²	Peso en Gramos
0.824	300
1.310	400
Menor de 1.310 hasta 8.37	500
de 10.55 a 42.41	750
de 53.48 a 107.2	1000
Probetas de medidas mayores a 107.2	2000

TABLA IV

Mandriles usados para la prueba de doblez en frío.

Sección del conductor en mm. ²	No. de Vueltas Adyacentes	Diámetro del man dril en mm.
0.824	6	3
1.010	6	3
2.080	6	8
3.310	6	10
5.260	6	14
8.370	6	18
13.30	6	32
21.15	6	35
33.62	6	40
42.41	6	68
53.48	6	73
67.43	6	76
85.0	6	82
107.2	Doble a 180°	88
de 126.6 a 253.2	Doble a 180°	8 x diam. cable
Mayor de 253.2	Doble a 180°	10 x diam. cable

TABLA V

Resistencia eléctrica nominal a la corriente continua, a 20° C

Sección del conductor mm ²	Calibre AWG Ø MCM	Resistencia	
		Alambre	Cable
.519	20	33.1	34.0
.823	18	21.0	21.4
1.31	16	13.2	13.4
2.08	14	8.27	8.4
3.31	12	5.22	5.32
5.26	10	3.28	3.34
8.37	8	2.06	2.10
13.3	6	1.30	1.31
21.1	4	0.815	0.820
33.6	2	0.513	0.518
42.4	1	0.406	0.411
53.5	1/0	0.322	0.329
67.4	2/0	0.256	0.261
85.0	3/0	0.203	0.207
107.2	4/0	0.161	0.164
126.8	250		0.139
152.2	300		0.116
177.6	350		0.0991
202.6	400		0.0868
228.0	450		0.0771
253.1	500		0.0694
279.3	550		0.0631
303.7	600		0.01763
328.8	650		0.01627
354.2	700		0.01511
379.3	750		0.01410
404.6	800		0.01322
429.9	850		0.01245
455.2	900		0.01175
505.8	1000		0.01058
634.4	1250		0.008463
759.2	1500		0.007052
887.0	1750		0.006045
1014	2000		0.005289

TABLA VI

Valores para la prueba de Alta Tensión.

Sección del conductor en mm ²	Calibre AWG ó MCM	Epesor de aislamiento mm plg.	Volts C. A.
.519 - 1.31	20 - 16	0.6 1/40	1000
2.08 - 5.26	14 - 10	0.79 2/64	1500
8.37	8	1.19 3/64	1500
13.30 - 33.62	6 - 2	1.59 4/64	2000
42.41 - 107.2	1 - 4/0	1.98 5/64	2500
107.3 - 253.2	213 - 500	2.38 6/64	3000
253.3 - 506	501 - 1000	2.77 7/64	3500
507 - 1013	1001 - 2000	3.17 8/64	4000

TABLA VII

Factores de corrección de resistencia de aislamiento por temperatura.

Temperatura del agua °C	Factor de corrección
10.0	0.29
11.7	0.45
13.3	0.66
15.0	0.91
15.6	1.00
16.7	1.26
18.3	1.80
20.0	2.50
21.7	3.50
23.3	5.00
25.0	6.60
26.7	8.30
28.3	11.0
30.0	17.5

TABLA VIII

Valores para la prueba de chispa.

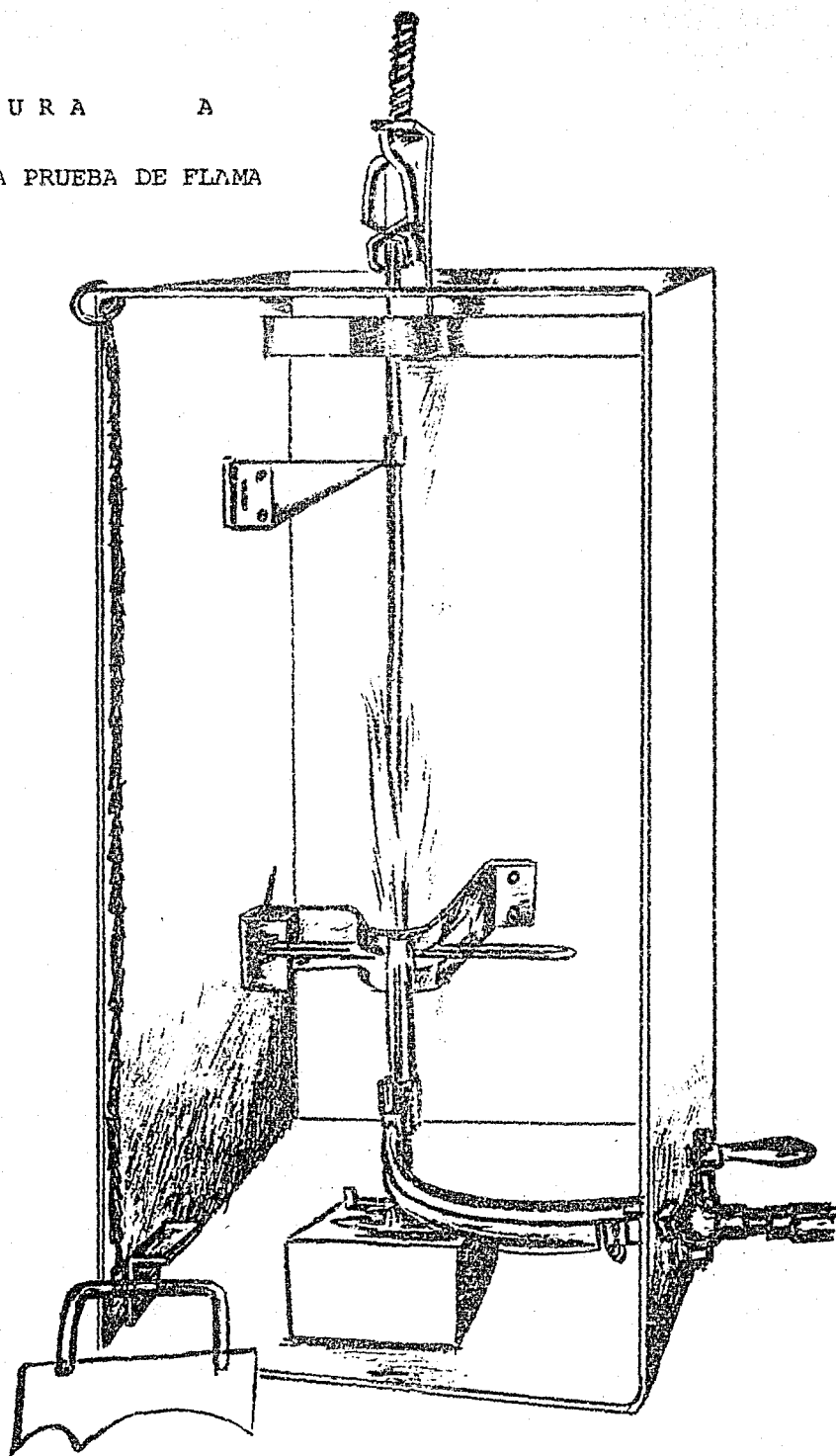
Sección del conductor en mm. ²	Calibre AWG ó MCM	Volts C.A.
.519 - 1.31	20 - 16	5000
2.08 - 5.26	14 - 10	7500
8.37	8	10 000
13.30 - 33.62	6 - 2	10 000
42.41 - 107.2	1 - 4/0	12 500
107.3 - 253.2	213 - 500	15 000
253.3 - 506	501 - 1000	17 500
507 - 1013	1001 - 2000	20 000

TABLA IX

Cantidad de la orden m.	Sección del conductor mm. ² (MCM)	No. de Unidades	Tamaño mínimo de muestras (m)
Menor de 1000	Menor de 126.8 (250)	Ninguna	--
Menor de 500	126.8 y mayores (250 y mayores)	ninguna	--
De 1000 a 15000	Menor de 126.8 (250 y menores)	1	1.8
De 500 a 7500	126.8 y mayores (250 y mayores)	1	1.0
Más de 7500 m: Primeros 7500 m	126.8 y mayores (250 y mayores)	1	1.0
Cada 7500 m. Adicionales	126.8 y mayores (250 y mayores)	1	1.0
Más de 50 000 m: Primeros 50 000 m.	Menor de 126.8 (250)	1	1.8
Cada 50 000 m. Adicionales	Menor de 126.8 (250)	1	1.8

FIGURA A

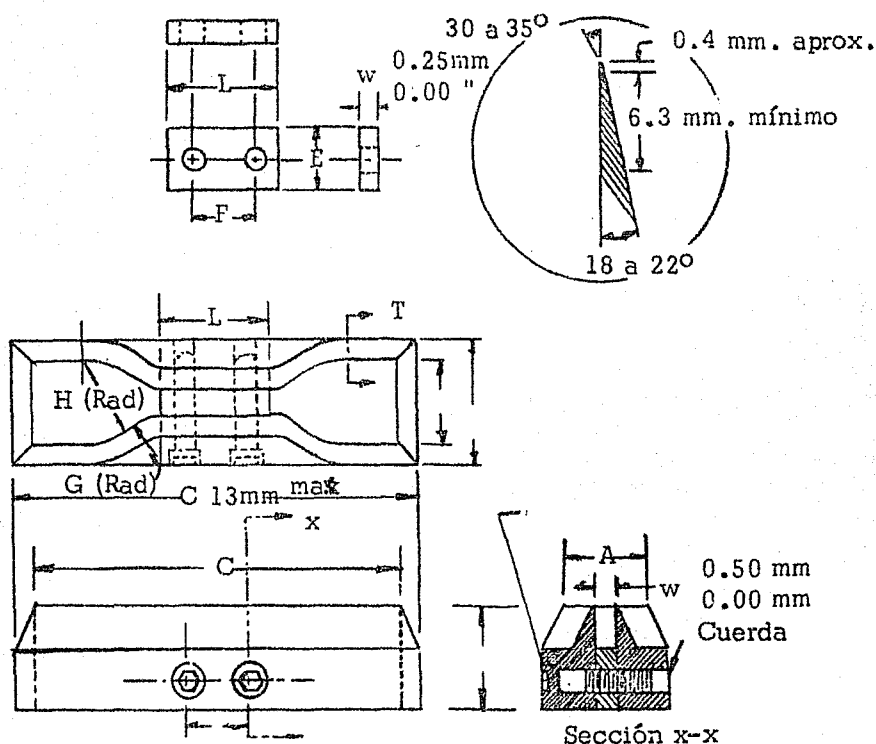
EQUIPO PARA LA PRUEBA DE FLAMA



Dimensiones. Tolerancia		Tipo de Sacabocados.					
(mm.)	(mm.)	A	B	C	D	E	F
A	-0.8	25.4	25.4	25.4	15.9	15.9	15.9
B	Max	38.0	38.0	38.0	28.6	28.6	28.6
C	Min.	140.0	140.0	114.0	100.2	127.0	127.0
D	6.3	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6
D-E	0.8	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
F	1.6	38.1	38.1	38.1	19.1	38.1	38.1
G	0.8	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
H	1.6	25.4	25.4	25.4	15.8	15.8	15.8
L	1.6	59.0	59.0	59.0	33.3	59.0	59.0
W	ver Fig.	12.7	6.3	6.3	3.2	3.2	6.3

FIGURA B

Dimensión de los sacabocados más usuales para preparar las probetas para las pruebas mecánicas de plástico.



CONCLUSIONES

En el desarrollo de este estudio se han observado los efectos de la corrosión en general. Siendo este fenómeno como ya hemos mencionado uno de los más perjudiciales de la naturaleza. Afortunadamente cada día contamos con nuevos métodos de protección, y aunque en el desarrollo de nuevos métodos contra la corrosión se gastan enormes sumas de dinero, los resultados de ahí obtenidos nos ahorran cantidades mayores que las inversiones realizadas.

Cada elemento se corroe en mayor o menor grado con cierta velocidad, siendo este el factor esencial que nos obliga a descubrir y encontrar nuevos procesos con los cuales se detendra el avance de la corrosión.

Para desarrollar nuevos métodos de pruebas, o mejorar los ya utilizados, las grandes industrias crean laboratorios con equipos costosísimos; pero la experiencia nos ha demostrado que ninguna inversión por grande que sea, se asemeja a los daños causados por la corrosión.

En los últimos 20 años se han realizado estudios, se han creado normas, y se han mejorado todos los métodos de protección contra la corrosión existentes.

Aún queda mucho por estudiar y mejorar, los hombres de ciencia y los inversionistas se han dado cuenta de la importancia

de la corrosión para lo cual dedican muchas horas de estudios y se invierten grandes sumas de dinero.

Las industrias en general cuentan con equipos de laboratorio semejantes a los descritos anteriormente.

Hornos de Aire Caliente, Camaras Frias, Depósitos de Aceite y Agua, Camaras de Niebla, etc. El equipo varía en tamaño - capacidad y niveles de trabajo en si, pero las pruebas básicas son siempre las mismas; su principal objeto detener la corrosión.

Los materiales y objetos se protegen con diferentes sustancias, sometiendolas posteriormente a las pruebas aceleradas de corrosión, con lo que se comprobará su durabilidad y resistencia en un lapso de tiempo no menor de 5 años.

BIBLIOGRAFIA

Corrosión, Pasividad y Protección Superficial de los Metales.

U. R. Evans

Electroquímica

F. Tödt

Proceeding Royal Society

Evans
Banister
Britton

American Society for Metal, Corrosion of Metals

American Society for Metals, Metals Handbook

The Corrosion Handbook

H. H. Uhlig

Corrosion

M. H. Brown
W. W. Binger
R. H. Brown

Chemical Manifestation of Internal Stress

F. H. Keating

Werkstoffe und Korrosion

W. Machu

Metal Industry, Recorder II, London

Metall Oberfläche

H.H. Seemann

Corrosion and Material Protection

J.T. Waber
H.J. McDonald
B. Loughtin

Werkstoffe und Korrosion

H. Braun

Normas ASTM.

Korrosion und Metall Schutz

H. Bennek

Werkstoffe und Korrosion

H. Nathorst

Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Low Carbon:

Austenitic Stainless Steels.

D. C. Buck
J.J. Hager
F.J. Phillips
B.R. Queneau

Revista " Der Metallarbeiter ".

Corrosion and Corrosion Control

H.H. Uhlig

Corrosión y Anticorrosivos

Evans
Ulick
Richardson

Corrosion Problems of the Petroleum Industry.

Institute of Petroleum, London.