



13
Lij

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PROPIEDADES E IDENTIFICACION DE METALES RE-
SISTENTES A LA CORROSION A ALTAS TEMPERA-
TURAS, EMPLEADOS EN GENERADORES
DE VAPOR Y TURBINAS.

Trabajo Escrito Via Educación Continua
para la Cuarta Opción de Titulación

P r e s e n t a

Juan Francisco Saldaña Scheleske

Para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

MEXICO, D. F.

1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROPIEDADES E IDENTIFICACION DE METALES RESISTENTES

A LA CORROSION A ALTAS TEMPERATURAS,

EMPLEADOS EN GENERADORES DE VAPOR Y TURBINAS.

TEMARIO.

- 1.- INTRODUCCION. PROBLEMAS DE CORROSIÓN Y FALLAS EN EQUIPO QUE OPERA A ALTAS TEMPERATURAS COMO LOS GENERADORES DE VAPOR Y LAS TURBINAS.
- 2.- DEFINICIONES Y DESCRIPCION. LOS DIVERSOS COMPONENTES DE LOS GENERADORES DE VAPOR Y DE LAS TURBINAS.
- 3.- MATERIALES EMPLEADOS. LAS FORMAS PARA COMPONENTES EN CONTACTO CON AGUA, VAPOR SATURADO, VAPOR SOBRECALENTADO Y EL SISTEMA DE CONDENSADO.
- 4.- COMPOSICION QUIMICA. LÍMITES DE COMPOSICIÓN QUIMICA ESPECIFICADOS PARA CADA COMPONENTE EN SU RESPECTIVA UBICACIÓN.
- 5.- PROPIEDADES MECANICAS. ESFUERZO DE CEDENCIA Y RESISTENCIA A LA ROTURA DE CADA COMPONENTE SEGÚN SU UBICACIÓN.
- 6.- ENSAYOS DE IDENTIFICACION. ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO, MÉTODOS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICO, DENSIDAD, MAGNETISMO, PRUEBA DE LA CHISPA Y ENSAYOS A LA GOTA.
- 7.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.- INTRODUCCION. PROBLEMAS DE CORROSIÓN Y FALLAS EN EQUIPO QUE OPERA A ALTAS TEMPERATURAS COMO LOS GENERADORES DE VAPOR Y LAS TURBINAS.

El problema de la selección de metales resistentes a la corrosión a temperaturas elevadas, al igual que la elección de materiales para cualquier uso comprende los siguientes aspectos:

- 1.- Materiales que resistan las condiciones físicas de operación; como presión, temperatura, erosión, vibración, etc. las cuales son función de sus propiedades mecánicas.
- 2.- Materiales resistentes al medio químico en que se pretende que trabajen, o sea que no se degraden por corrosión, polimerización, disolución, etc.
- 3.- Materiales disponibles en el mercado nacional; pues en muchos casos, la escasa demanda no justifica la fabricación nacional, ni la importación.
- 4.- Materiales que cumpliendo con todos los requisitos anteriores tengan un costo mínimo. Como en general los metales baratos no son los más resistentes a las condiciones físicas y químicas, se hace necesario estimarle una vida útil limitada al equipo, y seleccionar aleaciones

que tengan esta duración. Este requisito está relacionado con el concepto de amortización, según el cual todo activo se cancela después de un número de años considerados como la vida útil de un equipo.

Es importante hacer resaltar que solamente debe de tomarse en consideración a los materiales que resistan las condiciones de operación durante la vida útil del equipo, o en algunos casos difíciles hasta un paro programado para su sustitución; y que además estén disponibles en el mercado nacional, seleccionando al más barato de estos materiales.

De no proceder en esta forma, el componente del equipo fallará prematuramente; lo que implica dejar de producir, la adquisición de una nueva pieza, el desmontaje de la pieza dañada y la instalación de la nueva, y en ocasiones daños a otros componentes del equipo y hasta lesiones al personal; todo lo cual generalmente supera en costos ampliamente a la elección correcta de la pieza de calidad.

Por lo tanto, aunque este trabajo está enfocado hacia la composición química de los metales, la cual determina su resistencia a la corrosión, y junto con los tratamientos térmicos las propiedades mecánicas mínimas, no hay que perder de vista el aspecto del costo de los mismos.

En cuanto a la disponibilidad, hay dos puntos importantes al respecto: Uno es la posibilidad tecnológica de fabricación, y el otro su existencia en el mercado nacional.

En función del proceso de fabricación, los metales, se clasifican en aleaciones para fundición y para forja. Los metales para fundición, tienen su composición química ajustada de manera que se obtengan piezas sanas por moldeo, esto es un metal de fundición debe de llenar el molde, y presentar propiedades adecuadas al solidificar, no requiriendo ser dúctil o maleable, puesto que se le va a emplear con la forma con que solidificó.

En tanto que las aleaciones de forja, sí deben de ser maleables y dúctiles, y no importa que se contraigan mucho al solidificar, o que su tensión superficial haga que no llenen bien los moldes, o que su temperatura de fusión sea muy alta, o que su viscosidad sea muy elevada al estado líquido, por que se les dará forma final en estado sólido por laminación, extrusión, forja, etc. Por lo tanto, es un error especificar por ejemplo el cuerpo de una válvula de acero inoxidable 304, ya que este acero es de forja, y el cuerpo de las válvulas se fabrica por moldeo. Lo correcto será especificar acero ASTM A 351 grado CF 8, que es el equivalente al 304 pero para fundición y no para forja.

El otro aspecto es el de la disponibilidad en el mercado nacional. Debido a nuestra vecindad con los Estados Unidos de Norteamérica, los materiales importados que más fácilmente se consiguen son los norteamericanos, y muchos fabricantes nacionales trabajan bajo normas de este país, debido a que sus equipos de manufactura son de esa procedencia, y a que

su principal mercado para exportación también es el norteamericano.

Por esta razón, y por no haber normas nacionales completas para las aleaciones empleadas en generadores de vapor y turbinas, en este trabajo solo se mencionan normas de dicho país, con las cuales podrán seleccionarse un conjunto de aleaciones adecuadas para estos usos, y en función de la disponibilidad y el costo, no abordados en el presente trabajo, se elegirá la aleación más adecuada.

Uno de los problemas que se presentan cuando se operan equipos a altas temperaturas y presiones, es el de las fallas debidas a que el metal no resistió la temperatura de operación, o la presión a dicha temperatura, o a que el medio con el cual está en contacto el metal ocasionó su corrosión; o a una combinación de estos factores.

Una de las condiciones necesarias para que un metal se comporte satisfactoriamente, no solo a temperatura elevada, sino en cualquier condición, es su correcta selección. Por lo anterior, este trabajo está enfocado en la selección e identificación de los metales con que se fabrican o reparan los generadores de vapor y las turbinas.

Sin embargo, en este capítulo se expondrá brevemente como ocurre la corrosión en estos equipos, con el objeto de conocer los problemas que motivan en un momento dado un cambio adecuado de materiales. Por la misma razón, en el capítulo segundo se describen los principales componentes

de un generador de vapor empleado para mover una turbina, con el objeto de ubicarse cuando se recomienda un material para un uso determinado.

Una posible causa de falla de un tubo o componente, es que su composición química no sea la adecuada para el uso que se le está dando. La verificación completa de la composición química de las aleaciones, se obtiene mediante el análisis químico cuantitativo completo. Este tema no será tratado en esta obra, debido a su extensión. Sin embargo, en el capítulo 6 se describen algunos métodos no destructivos de identificación de aleaciones. Estos métodos pueden ser de utilidad en casos como los siguientes:

- a) Reparaciones con soldadura de piezas cuya composición química se desconoce.
- b) Para separar tubos de las mismas dimensiones pero de diferente composición química, cuya identificación está borrada.
- c) Identificar la aleación con que están hechas piezas de composición química desconocida y de buena calidad, para adquirir las de igual calidad.
- d) Identificar el tipo de aleación con que está hecha una pieza fallada, como antecedente para recomendar otra aleación de mejor calidad.

- e) Verificar rápidamente que la aleación recibida es la solicitada.
- f) Identificar aleaciones a las que se les va a hacer metalografía, para seleccionar el reactivo de ataque adecuado.
- g) Localizar zonas de cambio de material en la planta, cuando dicho cambio no se aprecia con claridad.

Debe establecerse que todos estos métodos de identificación de aleaciones en campo, son inferiores al análisis químico cuantitativo completo, en cuanto a que se obtiene con ellos menor información que con dicho análisis. Sin embargo, en casos como los expuestos, la información de estos métodos puede ser suficiente, con las siguientes ventajas:

- a) Son más baratos.
- b) Son más rápidos.
- c) No son destructivos; esto es, no se requieren rebabas ni una pastilla del metal a probar, sino que se practican directamente sobre la pieza cuya aleación se desea identificar, sin más limitaciones que el que la pieza tenga

un área horizontal limpia.

- d) Permite identificar aleaciones cuya dureza hace muy difícil la obtención de rebabas.

En el caso de los componentes de los equipos que están en contacto con los gases de combustión, el problema de la corrosión se vuelve crítico, ya que cuando se quema gas o diesel, habrá azufre, y en el caso del combustóleo, además de azufre habrá compuestos de vanadio. Este caso es especialmente grave en México, ya que nuestros yacimientos de petróleo son muy ricos en azufre y vanadio con respecto a los de otros países, debido a su origen geológico, como puede verse en la siguiente tabla:

País	Azufre %	Vanadio ppm
U.S.A. Rumania y la URSS.	0.5-1.5	5-12
Siria, Kuwait y Persia	3.0-4.5	16-100
México	3.3-4.7	190-480

El contenido elevado de azufre en el combustóleo ocasiona lo siguiente:

- a) Eleva el punto de rocío de los gases de combustión, por formación de H_2SO_4 .

- b) Aumenta la formación de depósitos de sulfatos en los conductos de la caldera, sobrecalentadores, recalentador, economizador y precalentador de aire.
- c) Aumenta la corrosión no solo en los lugares antes mencionados, sino que también en los tanques de almacenamiento de combustóleo, y en sus tuberías.
- d) Reduce el rendimiento de la combustión, por obligar a operar con una temperatura de gases más alta en la chimenea, para evitar condensaciones ácidas corrosivas, lo que impide aprovechar este calor.
- e) Acelera la formación de gomas y sedimentos en los tanques y conductos del combustóleo.

En cuanto al efecto del vanadio, se puede señalar lo siguiente:

- a) Forma compuestos que se depositan al estado líquido en los refractarios, penetrando en sus poros y estrellándolos al solidificar, o desconchándolos.
- b) Reduce el tiempo de servicio y el rendimiento por la acumulación de depósitos en todos los tubos expuestos a los gases de combustión del generador de vapor.

c) Produce una fuerte corrosión en los tubos que conducen vapor sobrecalentado, por la acumulación de depósitos de bajo punto de fusión, ya que la reacción sólido-líquido ocurre mejor que la reacción sólido-sólido.

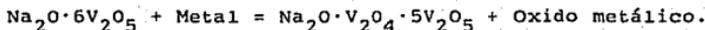
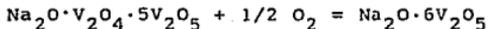
El efecto nocivo del azufre y el vanadio en el combustoleo, se explica de la siguiente forma:

Durante la quema del combustoleo, el vanadio se oxida a V_2O_5 , cuyo punto de fusión es de $675^\circ C$. en tanto que el sodio reacciona con los óxidos de azufre para formar Na_2SO_4 , cuyo punto de fusión es de $880^\circ C$.

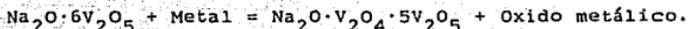
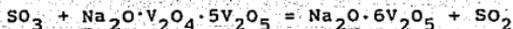
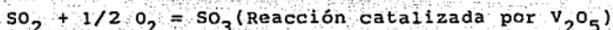
Si la temperatura de la superficie metálica es inferior a los $450^\circ C$. los dos compuestos anteriores no reaccionan; pero a temperaturas más altas se forma SO_2 más el compuesto $Na_2O \cdot V_2O_4 \cdot 5V_2O_5$ cuyo punto de fusión es de $625^\circ C$. Este compuesto, es el principal constituyente de las incrustaciones que se forman en los tubos del generador de vapor que están en contacto con los gases de combustión.

Los fenómenos de corrosión provocados por este compuesto, se producen mediante dos distintos procesos:

a) Con aire:



b) Con aire y SO_2 :



En el caso de los generadores de vapor, las ecuaciones que se llevan a cabo son las del caso b), las cuales explican la oxidación del metal en las superficies de los tubos del generador de vapor, y la presencia de corrosión derivada del SO_2 en los precalentadores de aire.

Como puede verse, tanto en los casos a) como b) interviene el oxígeno, el cual lo proporciona el aire de combustión; por lo tanto, una primera medida para reducir este problema, es operar con poco exceso de aire. Sin embargo, como el aire no puede dosificarse estequiométricamente, esta medida disminuye pero no soluciona el problema.

La solución definitiva al problema, es eliminar tanto el azufre como el vanadio del combustóleo, pero hasta la fecha esto no parece resultar económico; aunque dado el precio del vanadio, el volumen no despreciable de azufre, los problemas de corrosión que obligan a emplear aleaciones caras, las incrustaciones que obstaculizan el intercambio de calor provocando fallas y paros para limpieza, y los problemas cada vez más graves de contaminación del aire,

todo lo cual repercute en costos, hacen interesante reconsiderar esta posibilidad.

Con los contenidos actuales de azufre y vanadio en el combustoleo, las medidas que pueden tomarse para disminuir sus efectos nocivos son:

- 1.- Empleo de materiales más resistentes a los agentes corrosivos.
- 2.- Recubrimiento de las superficies de los metales expuestas a la corrosión, con compuestos químicos que idealmente sean inertes al medio corrosivo, impermeables y con una adherencia tal, que resistan las condiciones de operación sin desprenderse, agrietarse o dañarse.
- 3.- Operación con el mínimo posible de exceso de aire, como ya fue explicado.
- 4.- Adición de compuestos químicos, ya sea al combustoleo como aditivos o en los lugares más cercanos a las zonas donde hay corrosión, como los sopladores de limpieza de los sobrecalentadores, con el objeto de que los productos de combustión se vuelvan menos corrosivos.

A continuación, se discuten con más detalle estas 4 medidas cuyo objetivo es disminuir la corrosión producida por

los productos de combustión ricos en azufre y vanadio.

Debido a sus excelentes propiedades mecánicas, su buena resistencia a la corrosión y a su precio inferior al de otras aleaciones, los aceros son la familia de aleaciones más extensamente empleados en los generadores de vapor y en las turbinas.

Pero no todos los aceros son adecuados para soportar presión a temperatura elevada, sino que los más adecuados ordenados de menor a mayor resistencia a la corrosión, y por lo tanto de baratos a caros son:

Aceros al carbono. Para muchos componentes que no trabajan en condiciones muy severas, como los tubos de las paredes del hogar de plantas chicas y medianas, los aceros al carbono dan resultados satisfactorios. Sin embargo, no todos los aceros al carbono son adecuados para emplearse en estas condiciones, sino solo aquellos que no son templeables.

Siempre que se temple un acero, aparecen tensiones internas que se eliminan con el revenido. Pero en el caso de los aceros que soportan presión a temperaturas elevadas, si un enfriamiento brusco accidental transforma su microestructura en martensita, las tensiones internas introducidas por el temple se sumarán con la presión interna del tubo o componente, provocando su explosión.

Por lo anterior, los aceros que se emplean en generadores

de vapor no pueden ser al alto carbono, siendo el máximo tolerable 0.35 %, y siendo la mayoría de bajo carbono, esto es 0.12 % máximo. Por la misma razón, los elementos residuales que favorecen la templabilidad se controlan de manera que su concentración sea muy baja, sobre todo en los aceros al carbono de calidad.

Una razón adicional para requerir aceros no templables en generadores de vapor, es que todos sus tubos se unen por soldadura, al igual que otros componentes como las membranas o placas que unen a los tubos a lo ancho para formar la pared de agua del hogar, y la templabilidad y la soldabilidad son propiedades opuestas; esto es un acero fácilmente soldable no se endurece por temple, y un acero fácilmente endurecible por temple no puede ser soldado por que se agrieta al enfriarse la soldadura.

La grafitización, es otro problema que presentan los aceros al alto carbono cuando se les usa a temperaturas elevadas. Este fenómeno consiste en la transformación de la cementita presente en los aceros, en grafito por efecto de la permanencia del acero a temperaturas elevadas por mucho tiempo, o a un súbito calentamiento hasta la temperatura de austenitización. El grafito formado en estas condiciones, abate drásticamente las propiedades mecánicas de los aceros fragilizándolos.

La tendencia a la grafitización, aparece también en los aceros de bajo carbono, y en los aceros al molibdeno

cuando son desoxidados con aluminio. Por esta razón, en los aceros de calidad para calderas como el ASTM A 106, se fija un contenido mínimo de silicio, lo que quiere decir que el acero deberá ser desoxidado con silicio y no con aluminio, e igualmente se limita el máximo de elementos residuales que favorecen la templabilidad.

En resumen, los aceros al carbono adecuados para ser empleados en componentes a presión que trabajan a temperaturas elevadas deberán de ser:

- a) Con menos de 0.36 % de carbono, y de preferencia con 0.12 máximo de carbono.
- b) Con un bajo contenido de elementos residuales, para que no se favorezca su templabilidad.
- c) Con un contenido de manganeso controlado, por la razón anterior.
- d) Desoxidado de preferencia con silicio y no con aluminio.

Aceros al molibdeno. Este elemento tiene la propiedad de incrementar la resistencia tanto mecánica como a la corrosión en caliente de los aceros. Sin embargo, también aumenta su templabilidad, razón por la cual solo se usa como aleante en aceros de bajo carbono desoxidados con silicio, elemento que además de no favorecer la grafitización como ya fue dicho, tiene la propiedad de favorecer la formación de una cascarilla muy adherente, por efecto de la oxidación

a temperaturas elevadas y esta cascarilla protege al metal de la corrosión posterior.

Aceros al cromo-molibdeno. El cromo es el aleante que más protege contra la corrosión al acero, pero sus efectos benéficos se acentúan cuando además hay molibdeno presente. Las normas ASTM que especifican acero al cromo-molibdeno, como la A-213 tienen grados con contenidos crecientes de estos elementos, y a mayor grado, más aleantes y más resistencia a la corrosión.

Otro aleante que es muy empleado en los aceros de baja aleación que trabajan a temperatura ambiente, es el níquel; sin embargo no se le usa para temperaturas elevadas, en especial cuando la atmósfera del hogar contiene compuestos de azufre, debido a que se forma sulfuro de níquel sobre los límites de grano, provocando la fragilidad del acero.

Cuando se tienen problemas de corrosión con los aceros con 2.25 % de cromo y 1 % de molibdeno, se emplean aceros inoxidables austeníticos. En estos aceros, la austenita es estabilizada por el alto contenido de níquel, de más de 8 % ; en tanto que un contenido de cromo mayor de 16 % les imparte la resistencia a la corrosión que hace que se les llame inoxidables.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables

austeníticos, aumenta conforme se incrementa el contenido de cromo y níquel, lo que en general coincide con el aumento en el número de su grado o tipo. Si por ejemplo se consulta la norma ASME SA-240 en la sección de aceros para emplearse en contacto con vapor sobrecalentado de la presente obra, podrá comprobarse que todos los grados austeníticos contienen por lo menos 16 % de cromo, lo que los hace inoxidable, habiendo algunos grados más resistentes por contener más cromo, pero sin exceder el 26 %, ya que con contenidos mayores se precipita una fase intermetálica cromo-hierro llamada fase sigma, que les confiere gran fragilidad.

Los aceros inoxidable austeníticos de la serie 200, son aquellos en que una parte de níquel ha sido substituída por manganeso, con el objeto de abaratarlos, pero con una resistencia a la corrosión inferior.

Los demás aceros inoxidable austeníticos, son de la serie 300, como el 304 que es el típico 18-8, y el 316 que es el 18-8 modificado con molibdeno para mejorar su resistencia a la corrosión, el 321 estabilizado con titanio, y el 347 estabilizado con niobio o columbio y tántalo.

Dentro de algunos grados, como el 304, pueden apreciarse subgrados como el 304 L, que es idéntico al 304 excepto por el carbono que baja de 0.08 % máx. a 0.035 % máx. (la L significa "low carbon") con el objeto de evitar la precipitación nociva de carburos de cromo cerca de las soldaduras y en general por enfriamientos lentos. Los aceros de muy bajo

carbono, tienen una mejor resistencia a la corrosión, pero sus propiedades mecánicas son algo inferiores.

El acero 304 H es recomendado únicamente para alta temperatura, (H de high temperature) ya que su relativamente elevado contenido de carbono (0.10 máx.) hace que presente problemas de corrosión intergranular en medio acuoso. El acero 304 N contiene nitrógeno para mejorar las propiedades mecánicas sin afectar la soldabilidad ni la resistencia a la corrosión. Finalmente en el grado 304 LN se substituye algo de carbono por nitrógeno para mejorar la resistencia a la corrosión sin afectar las propiedades mecánicas.

Cuando se usan en medio acuoso los aceros inoxidable austeníticos que han sido enfriados lentamente desde temperaturas de forja o mayores, ocurre que se atacan intergranularmente con facilidad; y en el caso de soldaduras, ocurre el mismo tipo de ataque en una zona paralela al cordón de soldadura.

Este fenómeno se conoce como sensibilización, y se debe a la precipitación de carburos de cromo en los límites de grano. Esta precipitación ocurre cuando el acero se enfría lentamente entre los 816 y los 427 °C. y provoca el empobrecimiento de cromo en los granos de austenita donde se encontraba como solución sólida. Al empobrecerse en cromo estos límites de grano de austenita, no pueden formar la película protectora de óxido de cromo, y además el carburo de cromo es catódico respecto a la austenita, por lo que se le forman al acero

un gran número de micropares galvánicos, los cuales en un medio acuoso producen la corrosión intergranular del acero inoxidable.

Las soluciones a este problema que se insiste, ocurre en medio acuoso son 3: Enfriar rápidamente la aleación por medio de agua, o aire a presión en piezas delgadas; abatir el contenido de carbono para evitar su precipitación como carburo, ya que no se puede bajar el contenido de cromo; y agregar al acero elementos formadores de carburos más activos que el cromo, como el titanio, o el niobio y el tántalo, para que precipiten estos carburos y no el de cromo.

Lo anterior explica el por que no se recomiendan los aceros inoxidables austeníticos para los tubos de pared de agua, ya que va a haber calentamientos y enfriamientos lentos en presencia de agua o vapor saturado, y por lo tanto fallarían por corrosión intergranular de dentro hacia afuera. Pero lo que no explica es por que sí se emplean con vapor sobrecalentado. La razón es que el mecanismo de protección contra la corrosión de los aceros inoxidables a temperaturas elevadas y en un medio seco como vapor sobrecalentado o gases de combustión no es por la formación de una capa casi monomolecular de óxido de cromo como a temperatura ambiente, sino por una capa macroscópica, como se verá más adelante.

Por otra parte, las temperaturas máximas de servicio recomendadas para los principales metales expuestos a una atmósfera solamente oxidante son:

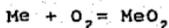
ALEACION	TEMPERATURA
	MAX. EN °C.
Aleaciones de aluminio	100
Aleaciones de cobre	180
Fundiciones de hierro	300
Titanio sin alear	380
Aceros al carbono	420
Aleaciones de titanio	450
Acero SA-178 grado A	454
Acero SA-178 grado C	510
Acero SA-192	510
Acero SA-210 grados A-1 y C	510
Acero SA-209 grado T-1a	524
Acero SA-213 grado T-2	538
Acero SA-213 grado T-11	566
Acero SA-213 grado T-3b	593
Acero SA-213 grado T-22	607
Acero SA-213 grado T-5	621
Acero SA-213 grado T-9	649
Acero SA-213 tipo 304 H	760
Acero SA-213 tipo 321 H	760
Acero SA-240 tipo 410	600
Acero SA-240 tipo 430	720
Acero SA-240 tipo 347	800
Aceros SA 249 tipos 309 y 310	1 000
Superalaciones base níquel con cromo	1 075
Superalaciones base cobalto con cromo	1 080

Otra forma empleada para disminuir la corrosión a temperaturas elevadas, consiste en el uso de recubrimientos. Este recurso se utiliza cuando no se quiere cambiar al metal seleccionado, ya sea debido a que sus propiedades mecánicas no pueden ser igualadas o superadas por otras aleaciones más resistentes a la corrosión; o por ser más barato recubrir un metal de poco costo, que instalar otro metal de costo elevado.

Aunque se ha propuesto recubrir todos los componentes del generador de vapor que entran en contacto con el fuego con recubrimientos protectores, este recurso solamente se emplea en México en la actualidad para proteger los álabes de las turbinas de gas, los cuales trabajan bajo condiciones muy severas tanto desde el punto de vista mecánico como químico; razón por la cual se eligen aleaciones muy resistentes desde el punto de vista mecánico, y se les recubre para que resistan la corrosión.

Para entender como trabajan los recubrimientos adecuados para temperaturas elevadas, es conveniente conocer primero como se protegen las aleaciones de manera natural contra la corrosión a temperaturas elevadas y en atmósferas oxidantes y secas; o sea gases de combustión muy por encima de su punto de rocío, así como vapor sobrecalentado.

Cuando un metal se ve expuesto a estas condiciones, ocurre la reacción general:



Me = Un metal cualquiera

MeO₂ = Oxido del metal.

La constante de equilibrio será:

$$K_p = \frac{a_{\text{MeO}_2}}{a_{\text{Me}} P_{\text{O}_2}}$$

α = Actividad

P_{O_2} = Presión parcial del oxígeno

Substituyendo este valor en la isoterma de Van't Hoff

$$\Delta G_1^\circ = -RT \ln K_p = -RT \ln \frac{a_{\text{MeO}_2}}{a_{\text{Me}} P_{\text{O}_2}}$$

Si el metal y el óxido son puros, sus actividades son unitarias, por lo que la isoterma de Van't Hoff se reduce a:

$$\Delta G_1^\circ = -RT \ln \frac{1}{P_{\text{O}_2}} = RT \ln P_{\text{O}_2} \quad \Delta G_1^\circ = \text{Energía libre estandar de Gibbs}$$

P_{O_2} = Presión parcial del oxígeno.

R = Constante de los gases

T = Temperatura absoluta.

La variación de la energía libre estandar en función de la temperatura, está representada en los diagramas de Ellingham en forma de rectas para cada reacción de oxidación de los principales metales, así como la del carbono y el azufre. En la siguiente hoja, puede consultarse un diagrama de Ellingham.

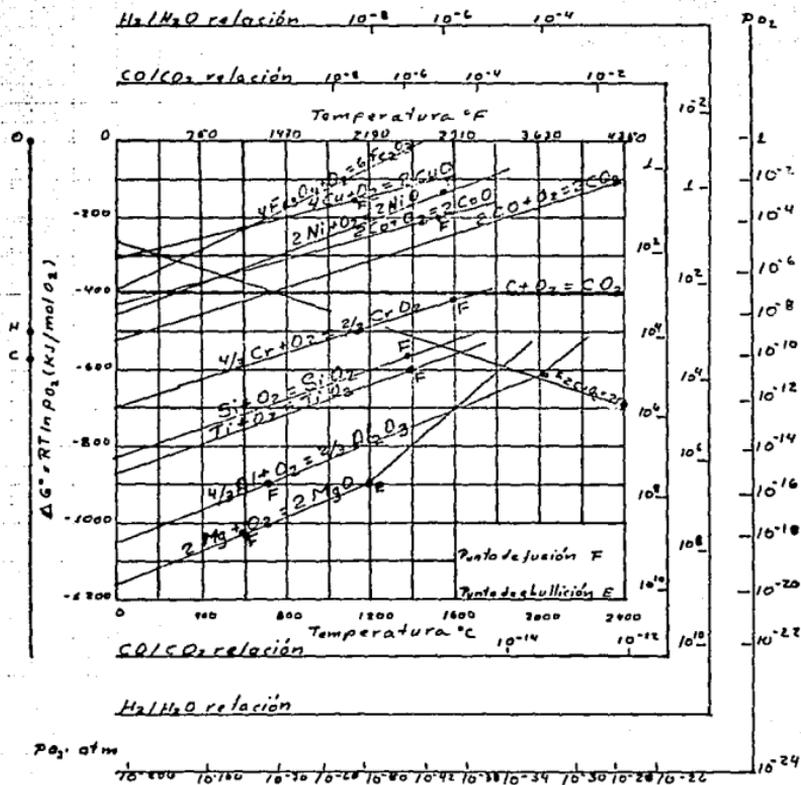


DIAGRAMA DE ELLINGHAM PARA OXIDOS.

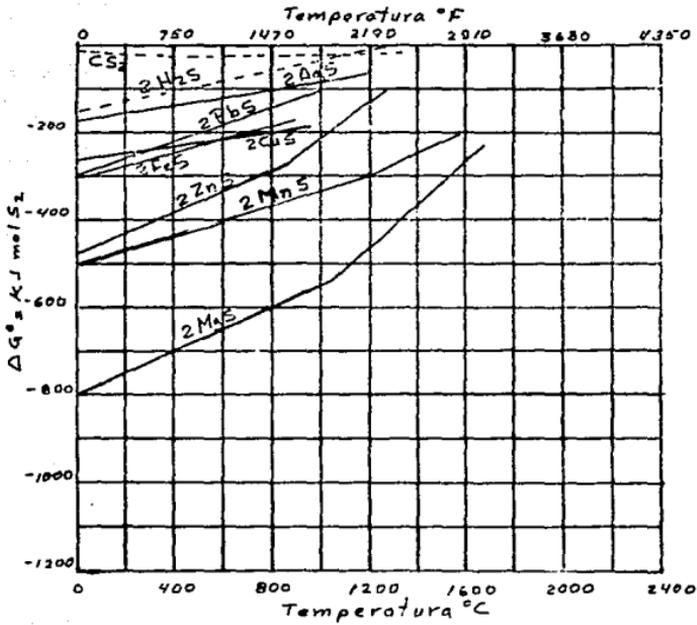


DIAGRAMA DE ELLINGHAM PARA SULFUROS

Usando los datos del diagrama anterior, se puede conocer la energía libre en condiciones diferentes a las estándar, aplicando la isoterma de Van't Hoff:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{MeO_2}{Me P_{O_2}}$$

Si la presión parcial del oxígeno es menor que el valor obtenido en el diagrama de Ellingham, entonces no habrá oxidación; en tanto que si la presión parcial de oxígeno es igual o mayor, entonces sí habrá corrosión. Así mismo, puede verse que todos los valores de ΔG° graficados son negativos, lo que significa que todas las reacciones incluidas pueden ocurrir espontáneamente, sin más requisito que alcanzar la presión parcial del oxígeno a la temperatura correspondiente en el diagrama de Ellingham.

De lo expuesto anteriormente, se deduce que los metales empleados en las calderas siempre se encuentran en condiciones termodinámicas inestables, y por lo tanto tienden a oxidarse, quedando solo averiguar a que velocidad se oxidan.

Para estudiar la cinética de la corrosión a temperaturas elevadas, se mide el aumento del espesor o de la masa de la película de óxido, en función del tiempo a una temperatura constante mediante las siguientes técnicas:

- a) Microscopía óptica con ocular graduado, platina caliente y para películas muy delgadas contraste de interferencias.
- b) Microscopía electrónica con microsonda para conocer la

composición química de los productos de corrosión.

c) Isótopos radioactivos del gas corrosivo.

Cuando las películas formadas son muy gruesas, también pueden usarse:

d) Gravimetría; se mide el aumento de peso del metal (ya que MeO pesa más que Me) en una termobalanza, la cual grafica el aumento de masa del metal en función del tiempo a temperatura elevada.

e) Volumetría; se expone el metal al efecto del gas a temperatura elevada y constante en el interior de un recipiente hermético, y se mide el volumen del gas que se consume al pasar al óxido sólido, manteniendo la presión constante.

En función de la temperatura y la presión parcial del oxígeno, un metal puede presentar los siguientes casos:

a) Adsorción del gas en la superficie del metal.

b) Formación de películas delgadas de óxidos protectores.

c) Formación de cascarilla o película gruesa protectora.

d) Formación de óxido no protector.

La adsorción o fijación del gas activo sobre la superficie del metal puede ser física o química. A temperaturas bajas, ocurre la fijación de la molécula del gas sobre el metal, conservando éstas su enlace covalente y habiendo una débil energía de unión. A temperaturas más elevadas, el oxígeno se disocia fijando los átomos electrones del metal, por lo que éste y el oxígeno quedan unidos por su carga eléctrica diferente.

Si el óxido formado es termodinámicamente inestable, la oxidación será reversible, al igual que la adsorción física, pero con una energía de unión notablemente mayor.

Si el óxido formado es termodinámicamente estable, la adsorción es irreversible, produciéndose entonces una reorganización de los dos tipos de átomos y la formación de un germen de óxido. La transición del estado de adsorción química hacia la oxidación ocurre en tres etapas:

- 1ª Incubación; Durante la cual se forma una película base adsorbida, y que termina con la aparición de los primeros gérmenes de óxido.
- 2ª Crecimiento lateral de los gérmenes, el cual termina cuando toda la superficie del metal está recubierta de dichos gérmenes de óxido.
- 3ª Crecimiento uniforme del producto de corrosión.

Cada germen se forma en el seno de la película de base de igual forma que como se desarrolla un cristal en una solución sobresaturada, siendo los centros de nucleación los defectos estructurales como las dislocaciones y límites de grano.

De la manera antes descrita, se pasa de la adsorción a la formación de películas delgadas. El que un metal desarrolle una película delgada o gruesa, depende de las condiciones termodinámicas, siendo un ejemplo del primer caso,

la oxidación del acero al carbono durante el tratamiento térmico de revenido, que sigue a todo temple.

Cuando este tratamiento se lleva a cabo en atmósfera oxidante como al aire, aparecen sobre su superficie los llamados "colores de revenido" y cuya relación con la temperatura se considera aproximadamente la siguiente:

COLORES QUE PRESENTA EL ACERO AL CARBONO TEMPLADO
DURANTE EL REVENIDO A LA TEMPERATURA INDICADA.

Amarillo paja claro	221° C.
Amarillo paja obscuro	237° C.
Amarillo rojizo	260° C.
Púrpura	282° C.
Azul obscuro	299° C.
Azul claro	321° C.

Lo que ocurre durante el revenido, es la formación de una película delgada de óxido, cuyo espesor es función de la temperatura. Cuando ésta, alcanza uno de los valores mostrados en la tabla anterior, la película de óxido adquiere un espesor tal, que al reflejarse la luz sobre y a través de ella, se producen fenómenos de interferencia; esto es, hay colores que se anulan por coincidir crestas con valles de sus ondas, y otros que se refuerzan cuando ambos rayos quedan en fase.

Al aumentar la temperatura, manteniendo constantes las otras condiciones anteriores, el acero desarrolla una película macroscópica de óxido, que es la cascarilla que se le forma durante la laminación, y que hace que disminuya la velocidad de corrosión a temperatura elevada, siempre que no se desprenda por cambios de temperatura o efectos mecánicos.

Por lo tanto, el que a un metal se le forme una película gruesa o delgada, depende de las condiciones termodinámicas.

Al obtener los valores de corrosión con respecto al tiempo a temperatura elevada para diferentes metales, se observa que la velocidad de corrosión no es fija sino variable, por lo que el siguiente paso es encontrar un modelo matemático o ecuación que describa dicho cambio de velocidad.

En el caso de los metales expuestos a oxidación seca a temperatura constante, se han encontrado 4 leyes generales que describen la velocidad de corrosión, dependiendo de la naturaleza química del metal. En las siguientes ecuaciones:

Y = Velocidad de corrosión.

t = Tiempo durante el cual, el metal se oxida.

K = Constante de proporcionalidad.

1.- LEY LINEAL.- $Y = Kt$

Esta ley la siguen los metales alcalinos y alcalinoté-

reos, y ocurre cuando la película de óxido no es protectora; lo cual puede deberse principalmente a que el volumen del óxido formado sea menor que el del metal que lo generó, lo que está relacionado con sus volúmenes específicos, pero corregidos por la estequiometría de la reacción de oxidación, de manera de referirse al mismo número de átomos de metal.

Debido a esta disminución de volumen, el óxido no puede cubrir al metal, sino que se agrieta o desmorona por estar sometido a tracción, permitiendo la entrada de oxígeno con lo cual sigue prosperando la corrosión.

Al cociente del volumen específico del metal, dividido entre el volumen específico de su óxido, multiplicados ambos valores por sus respectivos coeficientes de la reacción de oxidación, se le conoce como cociente de Pilling-Bedworth, e indica cuando su valor es menor de 1 que la cascarilla se agrietará; en tanto que con valores mayores de 2 tiende a desprenderse.

Otra posible causa de que el metal siga una ley lineal de ataque químico a temperatura elevada, es que los productos de corrosión sean líquidos o volátiles en las condiciones de temperatura elevada y presión que se estén estudiando.

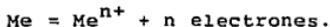
2.- LEY PARABOLICA. $y^2 = Kt$

Casi todos los metales tienen un intervalo de tempe-

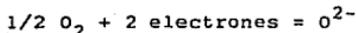
ratura en el cual cumplen la ley parabólica, y muchos metales de importancia tecnológica la obedecen en intervalos grandes; como el hierro, el níquel y el cobre. La constante de Pilling - Bedworth varía entre 1.5 y 2 para los metales que cumplen con esta ley, lo que significa que la capa de óxido es continua, y está sometida a un moderado esfuerzo de compresión.

La ley parabólica, indica que la velocidad de corrosión decrece con el tiempo, pero no se hace cero; y puesto que la película es continua, el avance de la corrosión implica que hay difusión a través de la cascarilla.

Por lo anterior, la reacción general de oxidación del metal, sólo se cumple cuando se inicia la corrosión, ya que en cuanto se forma la película de óxido, dicha reacción se descompone en dos semirreacciones que son:



Esta semirreacción, ocurre en la interfase metal-óxido; en tanto que en la interfase óxido-gases ocurre la siguiente:



Las anteriores semirreacciones, implican una conducción de electrones a través de la cascarilla; pero para formar el óxido correspondiente, se requiere además de la difusión de los iones metálicos a través de la película de óxido

para que alcancen a los iones de oxígeno, o la difusión del oxígeno hacia el metal, o la difusión de ambas especies a la vez.

Por lo tanto, las fuerzas impulsoras de la oxidación parabólica son el gradiente de concentración a través de la película, y el gradiente de potencial eléctrico, y de hecho la ley parabólica puede deducirse de las leyes de la difusión de Fick, variando la expresión obtenida de la aquí expuesta solo en una constante de integración, que si se parte de metal limpio como en nuestro caso vale cero.

La relación entre la temperatura y la velocidad de crecimiento parabólica se introduce en la constante K, siendo esta relación:

$$K = K^{\circ} e^{(-Q/RT)}$$

K° = Cte. para cada metal.

Q = energía de activación
para la difusión.

R = Cte. de los gases

T = Temperatura absoluta.

e = Base de los logaritmos
naturales.

La difusión a través de la cascarilla, ocurre principalmente por un mecanismo substitucional, ya sea de cationes o del anión oxígeno, siendo ambos fenómenos independientes. Lo anterior implica que puede ocurrir solo la difusión de una especie y no necesariamente de las dos; y a menor difusión de especies, menor velocidad de corrosión.

El hierro y el níquel, son ejemplos de metales cuyos iones difunden hacia la atmósfera a través de sus respectivos óxidos FeO y NiO; en tanto que a través del UO_2 y el ZrO_2 solo difunde el anión oxígeno.

La difusión de los iones a través de los productos de corrosión, es consecuencia del carácter no estequiométrico de dichos productos, lo que permite los gradientes de concentración, en lugar de un súbito aumento de cero al valor estequiométrico de los constituyentes de la cascarilla. Así por ejemplo, en la ecuación de oxidación del hierro a temperatura elevada para obtener lo que llamamos FeO, realmente lo que se obtiene debiera de escribirse como:



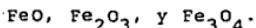
A $800^\circ C$, el valor de x varía entre 0.04 y 0.12, por lo que el subíndice del óxido cambia entre $Fe_{0.88}O$ cerca de la atmósfera, y $Fe_{0.96}O$ junto al metal.

Lo anterior se explica por la existencia de vacancias en la subred del ión hierro en el óxido, que permiten el alejamiento de la estequiometría y por lo tanto la difusión.

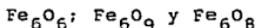
Los óxidos de níquel y cobalto, se alejan mucho menos de la estequiometría, lo que explica que se oxiden mas lentamente que el hierro a temperatura elevada, aunque los 3 metales obedecen la ley parabólica de la oxidación, cambiando entre ellos el valor de la constante K° por lo aquí explicado.

El Al_2O_3 , el Cr_2O_3 , y el SiO_2 prácticamente no presentan desviaciones con respecto a su composición estequiométrica, y debido a esto, la difusión de sus respectivos cationes es muy difícil, lo que explica la estabilidad del cromo y el silicio a temperatura elevada. En cuanto al aluminio, tiene la desventaja de su bajo punto de fusión, por lo que no se le usa puro, ni a sus aleaciones para temperatura alta, pero como su óxido funde a 2045°C sí es empleado como aleante de metales refractarios.

Cuando un elemento puede formar varios óxidos simultáneamente, lo que depende de las condiciones termodinámicas, éstos se ordenan en capas paralelas a la superficie metálica, con el óxido más rico en oxígeno en contacto con la atmósfera, y el más pobre en contacto con el metal. Por ejemplo, el hierro puede formar:



Multiplicando cada subíndice de los óxidos por el mínimo común múltiplo de los subíndices del hierro que es 6, queda:



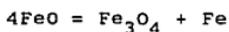
Por consiguiente, junto al metal se forma FeO , y junto a la atmósfera oxidante Fe_2O_3 , quedando el Fe_3O_4 en el centro.

Se insiste en que lo anterior ocurre solamente cuando las condiciones termodinámicas permiten la formación de todos los óxidos simultáneamente. Por ejemplo, a 700°C y 1 atm. se forma una capa gruesa de FeO en contacto con

el hierro, recubierta por una capa de Fe_3O_4 delgada, que a su vez está recubierta por otra capa muy fina de Fe_2O_3 .

Cuando la oxidación ocurre abajo de los 570°C , el FeO es inestable, por lo que no puede formarse, quedando el metal cubierto por una capa gruesa de Fe_3O_4 , cubierta a su vez por otra capa muy delgada de Fe_2O_3 .

Otra dificultad para el estudio anterior, es que el FeO formado arriba de los 570°C se descompone parcialmente al enfriarse, según la reacción:



Lo anterior explica por qué el óxido formado a temperatura elevada y analizado a temperatura ambiente, parece estar formado solamente por Fe_3O_4 de color gris muy oscuro, y por qué después de algún tiempo de exposición, el color del óxido cambia adquiriendo un tono café; esto último es debido a que el hierro de la reacción anterior, ocluido en el óxido reacciona a temperatura y humedad ambiente, para formar Fe_2O_3 que es de color café rojizo.

3.- LEY LOGARITMICA.- $Y = K \text{Ln } t$

Esta ley, que se presenta a temperatura ambiente, también se presenta a temperaturas moderadamente elevadas y en atmósfera seca, en algunos metales como el zinc; y se explica por la difusión intersticial de los cationes de zinc a través de la capa de óxido, debido a la presencia de hendiduras paralelas a la interfase.

Otra circunstancia que favorece la corrosión logarítmica es la temperatura relativamente baja, que dificulta la conducción electrónica a través de la capa de óxido.

4.- LEY ASINTOTA HORIZONTAL; $Y = K(1 - e^{-At})$; Esta ley, en la cual A es otra constante, se ha observado que la cumplen algunos metales a temperatura ambiente o moderadamente elevada. Tal es el caso del silicio, el cromo y el aluminio. Al inicio, la corrosión se lleva a cabo rápidamente, debido a que los metales son muy reactivos, formando una capa de óxido; pero debido a que esta capa es muy adherente, continúa e impermeable, así como de composición muy definida, la oxidación decrece hasta detenerse por completo.

En el caso de las aleaciones, debido a que cada constituyente tiene una diferente afinidad por el oxígeno, como puede verse en el diagrama de Ellingham, y una diferente velocidad de difusión de sus cationes en la cascarilla, pueden ocurrir segregaciones en la capa de óxido de al menos un constituyente, y enriquecimiento de la aleación en otro constituyente.

Cuando se tiene una aleación binaria, formada por un metal base y un aleante, pueden ocurrir los siguientes casos:

1.- Solo se oxida el aleante, formando una película. Por

ejemplo las aleaciones hierro-cromo.

2.- Solo se oxida el aleante, pero no forma película, sino que el óxido queda ocluido en el seno del metal base. Ejemplo las aleaciones plata-cadmio.

3.- Se oxida solamente el metal base, formando una cascarilla con glóbulos del aleante ocluidos. Ejemplo las aleaciones cobre-oro, y cobre-plata.

4.- Se oxida solamente el metal base, quedando interpuesto entre éste y su óxido una película de aleante metálico. Ejemplo las aleaciones níquel-platino, los aceros al cobre, con estaño o con plata.

5.- Los dos metales pueden formar óxidos, los cuales son insolubles entre si; por lo que la cascarilla será bifásica. Ejemplo la aleación cobre-níquel, cobre zinc, cobre aluminio y cobre berilio.

6.- Ambos metales forman óxidos, los cuales son solubles y tienen la misma estructura; por lo que la cascarilla será monofásica con ambos óxidos en solución sólida con la misma proporción que en la aleación. Ejemplo las aleaciones níquel-cobalto.

7.- Ambos metales pueden formar un óxido doble, cuya estructura es diferente de la de cada óxido por separado; en general la película será bifásica con el óxido del solvente como matriz, y el óxido doble como segunda fase. Ejemplo las aleaciones níquel-cromo.

Con las explicaciones anteriores, se comprende mejor la selección de aleantes para los aceros resistentes a las altas temperaturas, empleados en generadores de vapor, tema que ya fue tratado. Pero como estas aleaciones resisten la corrosión por la formación de cascarilla, y ésta es superficial, otra posible solución a este problema es recubrir al acero con una delgada capa de otros metales, los cuales al oxidarse formen una película adherente e impermeable más protectora que la que desarrolla el metal.

No se recubre directamente con el óxido, por ser deficiente su adherencia al metal, sino que mejor se cubre a éste con una capa metálica, ya sea por electrodeposición, por metalizado a temperatura elevada, o mediante la aplicación del metal al estado de plasma, en forma de aerosol.

Los metales más adecuados para este recubrimiento, son los que obedecen la ley asintota a temperaturas moderadamente bajas, y la parabólica con una baja velocidad de oxidación, como el silicio, el aluminio y el cromo; con la ventaja de que las propiedades mecánicas del acero, y otras como la tendencia a la grafitización no se ven afectadas, y de que el costo de estos aceros recubiertos es menor que el de aleaciones de resistencia a la corrosión equivalente; pero con la desventaja de que si por cualquier razón se daña o desprende la capa de óxido, el metal se corroerá aceleradamente en ese punto.

Una composición típica para recubrir aceros es la siguiente:

Cromo ----- 27.5 %
Aluminio --- 6 %
Molibdeno -- 2 %
Hierro ---- balance

Las técnicas de aplicación de estos recubrimientos, sobre los tubos ya ensamblados, son la metalización y la pulverización de la aleación al estado de plasma.

El metalizado y el plasma en aerosol, son ventajosos sobre todo en la reparación de piezas, y difieren entre si por algunos detalles de aplicación, como los siguientes:

	Plasma	Metalizado
Temperatura de aplicación	16 649° C	2 760° C
Velocidad de gases	610 m/seg	91 m/seg
Material	Polvo	Alambre
Oxidos	0-15 %	más de 30 %
Superficie obtenida	Fina	Rugosa

Una vez que se ha aplicado el recubrimiento, hasta un espesor típico entre 0.6 y 2.5 mm, se calienta la pieza en atmósfera moderadamente oxidante, con el doble propósito de lograr la interdifusión entre el recubrimiento y el metal base, lo que garantiza la adherencia, y transformar

el recubrimiento metálico en óxido protector.

Un ejemplo típico de protección contra los agentes corrosivos a temperatura elevada lo constituyen los álabes de turbina de gas hechos con superaleaciones base níquel o base cobalto.

Como se trata de piezas relativamente pequeñas, que pueden recubrirse desarmadas, se emplea la técnica de electrodeposición, la cual permite obtener una capa de espesor muy uniforme y libre de defectos.

El primer metal empleado, fue el aluminio, para formar un sistema constituido por compuestos intermetálicos del tipo NiAl y CoAl, los cuales protegen al formar el óxido doble.

Un notable incremento en la resistencia a la corrosión en caliente, se logró con la incorporación de platino por su efecto ya visto en la oxidación de aleaciones de dos componentes.

Otro tipo de recubrimiento más reciente, es el logrado con el sistema cromo-aluminio-ytrio, el cual imparte una buena protección a las aleaciones base níquel, hierro y cobalto, por el efecto protector del ytrio cuyo óxido es fuertemente adherente y cuya presencia dificulta la difusión del metal base hacia el exterior.

En México, se usan álabes de turbina de gas, hechos con superaleaciones base níquel y base cobalto, debido a que son las únicas que resisten las severas condiciones

de trabajo mecánico, y se recubren para que también soporten la atmósfera corrosiva formada por la combustión de diesel o gas natural, ricos en azufre pero sin vanadio.

En cambio los generadores de vapor no se han recubierto en México, debido a que los recubrimientos aquí descritos ofrecen una mejoría en la resistencia a la corrosión por oxidación o por azúfre, pero no por vanadio.

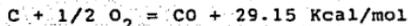
Esto es debido a que las sales de vanadio son líquidas, lo que cambia el mecanismo de corrosión, pero principalmente por que los compuestos de vanadio necesitan ser removidos ya que obstruyen el paso de gases y el intercambio de calor; y como se adhieren muy fuertemente al metal, se desprenden con todo y la capa protectora de óxido.

Una vez vista la substitución de materiales, y el uso de recubrimientos, como recursos para abatir la corrosión a temperaturas elevadas, se tratará la siguiente medida que es disminuir el exceso de aire de combustión, para reducir la presión parcial de oxígeno en los gases de combustión.

Para que un combustible arda completamente, es necesario que el hidrógeno y el carbono contenidos en los mismos, se transformen por reacción química con el oxígeno, para formar vapor de agua y CO_2 . Si la transformación se realiza parcialmente, la combustión se denomina incompleta; y en este caso, el carbono forma además de CO_2 una cierta can-

tividad de CO, y parte del hidrógeno puede encontrarse entre los gases, libre o en forma de hidrocarburos.

El calor generado por estas reacciones, es el siguiente:



De las anteriores reacciones, puede verse que cuando el carbono se quema con menos aire que el requerido para formar CO_2 , se forma CO pero se pierden 67.85 Kcal/mol lo que representa casi el 70 % del calor que puede proporcionar el carbono. Por esta razón, nunca se opera con carencia de aire.

Por otra parte, si se considera que el aire contiene un 21 % de oxígeno, y un 79 % de nitrógeno en volúmen, debido a la hipótesis de Avogadro, y a la 1ª ley de Amagat de los volúmenes parciales, por cada mol de oxígeno, se tendrán $79/21 = 3.76$ moles de nitrógeno.

Este nitrógeno no aporta calor a la reacción de combustión, pero la temperatura de la flama disminuye debido al calor que se consume en calentar a este gas; y si hay una gran cantidad de aire de exceso, la flama se enfriará

mucho más, perdiéndose el calor en calentar aire en lugar de agua o vapor dentro de los tubos.

Por lo antes expuesto, lo ideal sería operar con la cantidad de aire estequiométrica. Sin embargo, para que esto fuera posible, sería necesario:

- a) Conocer el análisis elemental del combustoleo.
- b) Conocer la cantidad exacta de combustoleo que se está alimentando al quemador.
- c) Conocer la composición química exacta del aire.
- d) Poder suministrar la cantidad exacta de aire que se requiere al quemador.
- e) Mezclar a la perfección al aire con el combustoleo.

De las condiciones anteriores, ofrecen dificultad el análisis elemental del combustoleo, pero sobre todo la mezcla de éste con el aire.

Cada combustoleo tiene un análisis elemental particular, siendo un ejemplo el siguiente:

Carbono	84.1 %
Hidrógeno	11.0 %
Oxígeno	0.4 %
Azufre	4.5 %

Puesto que este análisis cambia de un combustoleo a otro, se hace necesario practicar un análisis elemental cada que se le adquiere. Pero al adquirirlo se le deposita

con el ya existente, y como es muy viscoso la mezcla se dificulta, todo lo cual hace difícil saber exactamente que análisis elemental tiene el combustoleo que se está quemando en un momento dado.

Pero la mayor dificultad, estriba en lograr una mezcla perfecta del aire con el combustoleo. Esto es función del diseño del quemador, pero no es posible, ni siquiera con quemadores de alta precisión, obtener una combustión completa solo con el aire teórico.

Otro camino para conocer si se opera con deficiencia o exceso de aire, es analizar los gases de combustión; donde la presencia de CO indica carencia de aire, en tanto que un exceso de aire dará lugar a oxígeno libre. Sin embargo, se tiene que la muestra se toma de la chimenea, y no hay uno, sino por lo menos 6 quemadores en las plantas grandes, siendo el análisis obtenido un promedio de la operación de estos quemadores, pudiendo haber por ejemplo 2 que operan con falta de aire, por 4 con exceso; en cuyo caso el análisis parece contradictorio, pues aparece CO y oxígeno de exceso.

Todas las dificultades anteriores, hacen que no se pueda efectuar la quema del combustoleo con la cantidad de aire teórico, y que sea antieconómico suministrar menos aire, por lo que se trabaja con exceso de éste; sin embargo con un buen control de los parámetros descritos, las plantas en México se operan con un exceso de aire que varía entre

el 0.5 % y el 2.0 % para plantas nuevas, lo que desde el punto de vista de la corrosión es adecuado.

El combustoleo da problemas antes, y después de la combustión. La refinación, transportación y almacenamiento, pueden ser fuentes de su contaminación con agua; dulce si proviene de condensaciones, y salada si proviene de mar, cuando se transportó en buques tanque.

Esta agua, disminuye la estabilidad de las impurezas dispersas, y es muy corrosiva; por lo que ataca los tanques de almacenamiento, las bombas, los conductos por los que circula el combustoleo y las tuberías de vapor con que se le calienta para abatir su viscosidad y poderlo transportar y atomizar en los quemadores.

Los productos de corrosión junto con el agua, el polvo y las impurezas dispersas precipitadas, forma lodos que reducen la capacidad de almacenamiento de los tanques, tapan o reducen la capacidad de conducción de las líneas y bombas, y ensucian los filtros, calentadores y quemadores; provocando una atomización deficiente, lo que obliga a aumentar el aire de exceso con las consecuencias ya mencionadas.

La solución a este problema, es drenar el tanque de almacenamiento de combustoleo para extraer el agua, cuando ésta alcanza el 1 % de su capacidad. Limpiar los filtros y quemadores a intervalos regulares, y agregar aditivos alcalinos, que neutralicen la acidez del agua, así como

agregar emulsionantes con objeto de evitar que la poca agua remanente de la purga se separe del combustoleo en las líneas, ya que de ocurrir esto, pueden apagarse los quemadores, lo que puede provocar una explosión.

Los problemas posteriores a la combustión, provienen de las cenizas del combustoleo, constituidas por las sales de vanadio y azufre ya mencionadas, más sodio y níquel en concentraciones entre 100 y 500 ppm y aún más.

Como ya fue explicado, con exceso de aire el vanadio se oxida a pentóxido (V_2O_5), y con el sodio se forma el vanadil vanadato de sodio ($Na_2O \cdot V_2O_4 \cdot 5V_2O_5$); en tanto que con el níquel se forma ($NiO \cdot V_2O_5$), ambos de bajo punto de fusión y muy corrosivos. Además, estos compuestos y el hierro catalizan la transformación de SO_2 en SO_3 .

El objetivo que se persigue con el uso de los aditivos, es la formación de vanadatos de temperatura de fusión más elevada que los ya citados; formar depósitos pulverulentos y poco adherentes sobre el metal, y envenenar a los catalizadores de SO_2 a SO_3 . Sin embargo, el sodio es más activo que los metales ya citados, por lo que no se puede evitar la formación del vanadato de sodio, más que eliminando el sodio en el combustoleo. Esto no se ha logrado por completo, pero se le puede reducir a cantidades muy bajas, mediante extracciones con agua caliente a presión, pura o con sulfato de magnesio disuelto.

El más común de los aditivos, es el óxido de magnesio,

solo para formar los vanadatos de magnesio, de puntos de fusión mucho más elevados que los de sodio y níquel; o combinado con óxido de aluminio para formar además aluminato de magnesio, que es un cristal octaédrico conocido como espinela, cuyo punto de fusión es también muy alto, y que forma cenizas no adherentes, y por lo tanto de fácil remoción.

Además la espinela alcalina al depositarse en los tubos del sobrecalentador y recalentador evitan el efecto catalítico del hierro y del vanadio, abatiendo la formación de SO_3 y por lo tanto la corrosión del precalentador de aire y de la chimenea.

Los principales compuestos que pueden formarse al quemar combustóleo con y sin aditivo, y sus respectivas temperaturas de fusión, pueden consultarse en la siguiente tabla:

COMPUESTO	T EN °C
$NaVO_3$	630
$CrVO_4$	810
$FeVO_4$	816
MgV_2O_6	700
CoV_2O_6	705
NiV_2O_6	720
V_2O_4	+ de 1750
V_2O_3	690
$Na_2O \cdot V_2O_5$	630

COMPUESTO	T EN °C
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{V}_2\text{O}_5$	621
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{V}_2\text{O}_5$	620
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$	640
$3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$	850
$10\text{Na}_2\text{O} \cdot 7\text{V}_2\text{O}_5$	573
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{V}_2\text{O}_5$	625
$5\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{V}_2\text{O}_4 \cdot 11\text{V}_2\text{O}_5$	535
$2\text{MgO} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$	835
$3\text{MgO} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$	1 190
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MoO}_3$	550
$\text{Ni}-\text{Ni}_3\text{S}_2$	645
$\text{FeO}-\text{FeS}$ (eutéctico)	940
$\text{Fe}-\text{FeS}$ (eutéctico)	988
$\text{Co}-\text{CoS}$	877
$2\text{NaHSO}_4 = \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$	250
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$	400
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$	335
$3\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7 \cdot \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$	280
$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	624
$\text{K}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	618
$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	552
$\text{Na}_3\text{Al}(\text{SO}_4)_3$	646
$\text{K}_3\text{Al}(\text{SO}_4)_3$	655
ZnSO_4 se descompone	740
Na_2SO_4	884

COMPUESTO	T EN °C
K_2SO_4	1 076
$MgSO_4$ se descompone	1 124
$Al_2(SO_4)_3$ se descompone	770
$CaSO_4$	1 450
$Fe_2(SO_4)_3$ se descompone	480
$NiSO_4$ se descompone	783
$MoCl_5$	194
$NbCl_5$	205
$FeCl_3$	282
Na_2SO_4 - NaCl eutéctico	625
$NaCl$	800
KCl	776
$CaCl_2$	772
$CrCl_2$	820

La tabla anterior es útil por que la temperatura de los tubos de cada sección del generador de vapor, es un dato de diseño, y además es medible, y la composición química de los depósitos de la caldera pueden obtenerse por difracción de rayos X; y consultando la tabla se puede saber si los depósitos son sólidos o líquidos en las condiciones de trabajo, y por lo tanto su agresividad al metal, así como la eficacia de los aditivos, cuando se les usa.

Es interesante hacer destacar que los aditivos no solo no eliminan ningún depósito en los tubos, ni evitan la formación

de cenizas, sino que por el contrario, la cantidad de cenizas se incrementa, lo que aumenta la frecuencia de las limpiezas, pero esta ceniza es menos dura, menos adherente al tubo, más fácil de eliminar y menos corrosiva que la que se forma sin aditivo.

Lo anterior, obliga a emplearlos con calderas nuevas o perfectamente limpias, ya que de lo contrario, estas cenizas se adherirán a los depósitos ya existentes y empeorarán el problema por obstrucciones en lugar de remediarlo.

En cuanto a la forma de suministrarlos también ofrece problemas. Se ha intentado agregar el aditivo en forma de polvo directamente en el sobrecalentador y recalentador, pero en estos lugares no reacciona con una buena eficiencia.

Al dosificar los aditivos en los quemadores, ya sea en polvo con el aire o como suspensión agregada al combustoleo, erosionan a los quemadores, modificando los calibres de las boquillas y haciendo que después de algún tiempo no se pueda controlar eficazmente la combustión.

Otro problema es su granulometría, que de no ser muy fina aumenta su poder abrasivo y disminuye su eficacia como aditivo, y finalmente está su costo que resulta elevado.

Por los problemas expuestos, después de algunos años de emplear aditivos en México se ha dejado de emplearlos, considerando que es posible que sean eficientes con contenidos menos elevados de vanadio, azufre y sodio, pero con las cenizas de los combustoleos empleados actualmente en México,

ocasionan muchos problemas de operación, y resultan muy caros.

Una vez revisadas las medidas que pueden emplearse para abatir la velocidad de corrosión hasta niveles que permitan la amortización de los equipos, únicamente resta tratar la termofluencia, que es otro fenómeno que ocurre a los metales sometidos a carga a temperatura elevada, y que es la principal causa de falla en tubos del generador de vapor.

La termofluencia puede definirse como el fenómeno de flujo plástico que con el paso del tiempo experimentan los metales, al estar sometidos a cargas o esfuerzos inferiores a su límite elástico, y a temperaturas elevadas.

Esta definición, destaca que los factores que actúan sobre los metales para provocar su falla por termofluencia son: Temperatura elevada, tiempo prolongado y un esfuerzo que por estar por debajo del límite elástico, no debiera de producir la falla del metal.

Cuando se somete a un metal a una carga constante por debajo de su límite elástico, pero a temperatura elevada, se observa lo siguiente:

- 1º Al principio, el metal parece ceder a la carga, deformándose con relativa rapidez.
- 2º Después, el metal parece estabilizarse, y aunque se sigue deformando, lo hace muy lentamente.

3º Al llegar a esta etapa, el metal nuevamente aumenta su velocidad de deformación plástica cada vez más, hasta que sobreviene la rotura.

Este fenómeno no ocurre a bajas temperaturas, por lo que el nombre de termofluencia resalta que ocurre una fluencia lenta del metal, por efecto de la temperatura elevada.

La termofluencia es fundamentalmente un fenómeno de tipo dislocacional, si bien la afectan otros defectos cristalinos como las vacancias y los límites de grano, al actuar como formadores y colectores de defectos.

El mecanismo propuesto para las dos primeras etapas de la termofluencia, comprende sucesivamente la formación de las dislocaciones, el movimiento de éstas en los planos de deslizamiento, la aparición de la deformación en los granos, a lo largo de sus límites y finalmente el rompimiento de esos granos, para dar lugar a subgranos por la difusión de las dislocaciones, lo que equivale a un reblandecimiento.

En la primera etapa predomina la formación de las dislocaciones, mientras que en la segunda se establece un equilibrio dinámico entre la formación y su anulación.

Cuando los granos y subgranos se deslizan a lo largo de sus límites, debido a la elevada densidad de sus dislocaciones, se inicia la tercera etapa.

Durante la termofluencia, la estructura metalográfica de los aceros se modifica, ocurriendo priméramente la transformación de la perlita laminar en globular, y su posterior

difusión, ya no como perlita sino como glóbulos de carburo de hierro dispersos en la ferrita, o concentrados en los límites de grano.

Esta globulización, obedece a la tendencia del sistema por alcanzar un estado de menor energía libre, pero está acompañada de un decremento en la resistencia a la tracción del acero.

Cada metal tiene su propia resistencia a la termofluencia y es un problema de tecnología de materiales, el elegir al metal más adecuado, para unas condiciones dadas de servicio, y al menor costo posible; siendo los aceros aleados más resistentes a la termofluencia que los aceros al carbono, y siendo el molibdeno el aleante más eficaz para elevar la resistencia a este fenómeno.

CAPÍTULO II

DEFINICIONES Y DESCRIPCION

2.- DEFINICIONES Y DESCRIPCION. LOS DIVERSOS COMPONENTES DE LOS GENERADORES DE VAPOR Y DE LAS TURBINAS.

En este capítulo, se van a definir algunos términos, se dará el nombre de algunos equipos y se explicarán los principales ciclos de una central termoeléctrica.

CENTRALES DE GENERACION.- Instalación completa cuyo objetivo es producir energía eléctrica, a partir de otra fuente de energía.

TIPOS DE CENTRALES DE GENERACION.- En función del tipo de energía que se transforma en eléctrica, las centrales pueden ser hidroeléctricas, de combustión interna, turbogas, termoeléctrica, de ciclo combinado, geotérmica y nuclear.

CENTRAL HIDROELECTRICA.- Es donde se transforma la energía potencial del agua en cinética que mueve una turbina, que a su vez mueve a un generador eléctrico que transforma la energía mecánica en electricidad.

CENTRAL DE COMBUSTION INTERNA.- La energía química de un combustible se transforma en energía mecánica en un motor de combustión interna, que mueve al generador.

CENTRAL DE COMBUSTION TURBOGAS.- La energía química del gas combustible, se transforma en energía mecánica que hace rotar a una turbina de gas, que mueve al generador.

CENTRAL TERMOELECTRICA.- La energía química de un combustible, se emplea para generar vapor que hace girar a una turbina, cuya flecha transmite el movimiento al generador.

CENTRAL DE CICLO COMBINADO.- Es la combinación de una central turbogas y una central termoeléctrica. Primeramente, se quema gas para que la expansión producto de su combustión mueva una turbina acoplada a un generador, como en la central turbogas; pero en lugar de enviar los gases calientes a la atmósfera, se aprovechan para ayudar a generar vapor en una caldera para hacer rotar otra turbina y un generador, de la misma forma que en una central termoeléctrica.

CENTRAL GEOTERMICA.- El vapor que brota de la tierra en los campos geotérmicos, es aprovechado para hacer girar al sistema turbina generador ya visto.

CENTRAL NUCLEOELECTRICA.- La fisión o ruptura de átomos de uranio 238, enriquecido con 3 a 4 % de su isótopo 235 en agua, genera calor sin combustión que transforma a dicha agua en vapor, el cual mueve a la turbina y al generador como en los casos anteriores.

VAPOR SATURADO.- Vapor a la temperatura de ebullición

del agua, a una presión determinada. Cuando se trata de enfriar el vapor saturado se condensa, esto es cambia al estado líquido.

VAPOR SOBRECALENTADO.- Vapor a una temperatura mayor que la de ebullición del agua a la presión de que se trate. El vapor sobrecalentado puede enfriarse hasta la temperatura de saturación, en la cual cambia al estado líquido.

CENTRALES TERMoeLECTRICAS.

El combustible puede ser gas, diesel, combustoleo o carbón; efectuándose la combustión en el hogar, que es un recinto cuyas paredes están formadas por tubos unidos mediante una membrana metálica, y cuyo centro está hueco.

El hogar forma parte del generador de vapor, el cual a su vez es parte de la central termoeléctrica. Los otros componentes de dicha central son la turbina de vapor, el generador eléctrico, el condensador y el equipo auxiliar.

Los principales componentes del generador de vapor son:

El hogar; constituido por las paredes de agua (por contener agua en su interior, en contraposición con los tubos de humo, donde los gases de combustión pasan por el

interior de los tubos, y que solo se usan en calderas muy chicas).

Las paredes de agua del hogar, se continúan por un pasaje generalmente ascendente llamado zona de radiación, y otro pasaje generalmente descendente llamado zona de convección, (no necesariamente en este orden) y pasan a un lugar donde no están en contacto con los gases de combustión, llamado por esta razón cámara muerta, donde se unen a unos tubos más gruesos llamados cabezales superiores, de donde otros tubos gruesos conocidos como tubos elevadores, llevan al agua con vapor al domo.

El domo es el lugar donde se separa el agua del vapor. En algunos diseños hay 2 domos, uno superior y otro inferior unidos entre sí por varios tubos.

Los sobrecalentadores reciben el vapor saturado del domo por los tubos de vapor saturado, (éstos y el domo están en el interior de la cámara muerta) y lo sobrecalientan en dos pasos, llamados sobrecalentador primario y secundario. El sobrecalentador primario, está formado por tubos que atraviesan la zona de convección; en tanto que el sobrecalentador secundario atraviesa la zona de radiación, estando ambos conectados en serie.

El vapor sobrecalentado llega al primer paso de la turbina, proveniente del sobrecalentador secundario, que es la parte más caliente del generador de vapor. De aquí pasa a la turbina de alta presión. En estos pasos, el vapor

trabaja, esto es pierde energía enfriándose pero todavía sale vapor sobrecalentado, por lo que se le introduce en el recalentador, generalmente ubicado entre los sobrecalentadores, de donde pasa sucesivamente a la turbina de intermedia 1; a la de presión intermedia 2, y a la turbina de baja presión, que suele ser de doble flujo, esto es, una entrada y dos salidas con ruta simétrica, para pasar al condensador.

Aunque se hable de varias turbinas, en realidad debe entenderse diferentes pasos de una sola turbina; o sea, sobre un solo rotor se encuentran sujetos todos los álabes móviles; en tanto que en diferentes compartimentos incommunicados de una sola carcasa, se encuentran todos los álabes fijos.

El vapor saturado que sale de la turbina de baja presión, se conduce al condensador, donde se transforma en agua, lo que disminuye al máximo la presión; ya que la turbina trabaja por la diferencia de presiones que hay entre la entrada y la salida de cada uno de sus pasos.

En el condensador, el agua de circulación, que es el medio de enfriamiento y que puede ser de mar, río, agua negra, etc. pasa por el interior de los tubos, generalmente en dos pasos; en tanto que el vapor se condensa en el lado externa de los tubos, y se acumula en la parte inferior de la carcasa, llamada pozo caliente.

Unas bombas de baja presión, se alimentan con el

agua del pozo caliente y otros condensados menores y la envían a los calentadores de baja presión; donde el agua se calienta con vapor de extracciones de la turbina en sus pasos intermedios.

De aquí el condensado pasa al desaereador, en cuyo interior hay vacío formado por un eyector de vapor, y el agua gotea acumulándose en el fondo; en tanto que una pequeña cantidad de vapor atraviesa el agua de abajo hacia arriba, arrastrando al aire con su oxígeno disuelto y expulsándolo hacia la atmósfera.

El agua desaereada se acumula en el tanque de oscilación, de donde es succionada por las bombas de agua de alimentación, que son de alta presión para vencer la presión del domo, bombeándola hacia los calentadores de alta presión. Aquí se calienta con vapor de extracciones de los pasos intermedios de la turbina; y en los modelos grandes y modernos, el agua pasa al economizador, que es el último cambiador de calor que aprovecha los gases de combustión para calentar vapor, y está hecho de tubos aleteados exteriormente para mejorar la transferencia de calor, pudiendo tener las aletas en forma de anillos, espirales, segmentos radiales, etc.

Finalmente, el agua condensada es conducida del economizador al domo, de donde baja por los tubos bajantes al domo inferior, cuando éste existe, y a los cabezales de distribución, de donde el agua pasa a los tubos de pared de agua para repetir el ciclo.

Otro ciclo que es interesante describir, es el del aire y los gases de combustión.

El aire es absorbido por los ventiladores de tiro forzado. Se les llama de tiro forzado, por que obligan al aire a circular en el interior de los ductos empujándolo o comprimiéndolo, en tanto que se habla de tiro inducido, cuando el aire es succionado del interior de los ductos; esto es, la presión se hace inferior a la atmosférica.

Del ventilador de tiro forzado, el aire pasa al precalentador de aire con vapor; donde éste proviene de una extracción de la turbina, y circula por el interior de unos tubos que atraviesan el ducto del aire.

Del precalentador de aire con vapor, éste pasa al precalentador de aire con gases, que puede ser recuperativo; cuando hay tubos por cuyo interior circula el aire y por el exterior gases calientes; y de tipo regenerativo, que es el más común en centrales medianas y grandes, y que consiste en una rueda dividida por su diámetro que gira lentamente, teniendo en una mitad gases calientes, y en la otra el aire. La rueda tiene unas canastas con lámina ondulada, las cuales se calientan con el paso de los gases, y luego se enfrían con el paso del aire, y así sucesivamente.

Del precalentador de aire, éste se dirige a los quemadores, donde se atomiza con el combustible, para que ambos se quemem en el hogar.

Del hogar, los gases de combustión pasan a la zona de radiación, donde encuentran a su paso a los tubos del sobrecalentador secundario y del recalentador, los cuales dejan pequeños claros zigzagueantes para el paso de los gases.

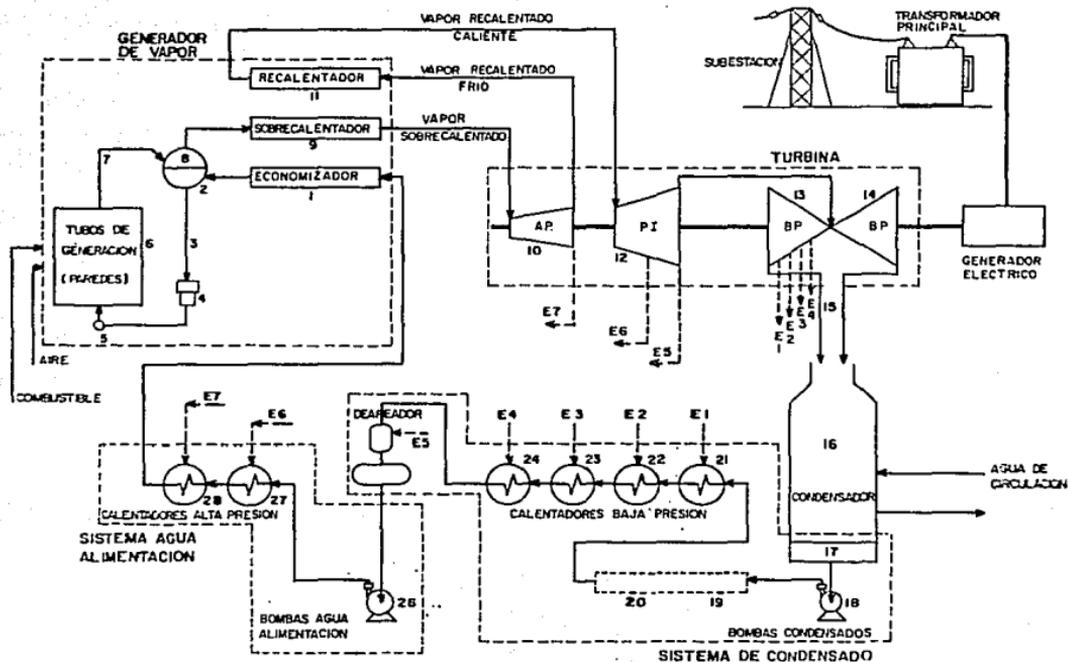
Posteriormente dan vuelta los gases hacia abajo, para entrar en la zona de convección, donde encuentran a su paso a los tubos del sobrecalentador primario y del economizador, cuando lo hay, arreglados también de forma que quedan claros sigsagueantes para el paso de los gases.

A la salida del economizador, un ducto conduce a los gases hacia el precalentador de aire con gases, pasando por la mitad correspondiente para calentar las canastas ya descritas.

En algunos modelos, de aquí sigue el ventilador de tiro inducido, y en otros directamente la chimenea.

Las siguientes figuras, ilustran lo expuesto en este capítulo.

DIAGRAMA DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA



GENERADOR DE VAPOR.

- 1.- Economizador.
- 2.- Domo.
- 3.- Tubos bajantes.
- 4.- Bombas de circulación controlada.
- 5.- Domo inferior o cabezales.
- 6.- Tubos de pared de agua.
- 7.- Tubos elevadores.
- 8.- Dispositivos para separar agua de vapor dentro del domo.
- 9.- Sobrecalentadores (se ilustra solo uno).
- 11.- Recalentador.

TURBINA.

- 10.- Turbina de alta presión y primer paso.
- 12.- Turbina de presión intermedia.
- 13 y 14.- Turbina de baja presión.
- 15.- Escape.

SISTEMA DE EXTRACCIONES.

- E7.- Extracción a calentador 7.
- E6.- Extracción a calentador 6.
- E5.- Extracción a desaerador 5.
- E4.- Extracción a calentador 4.

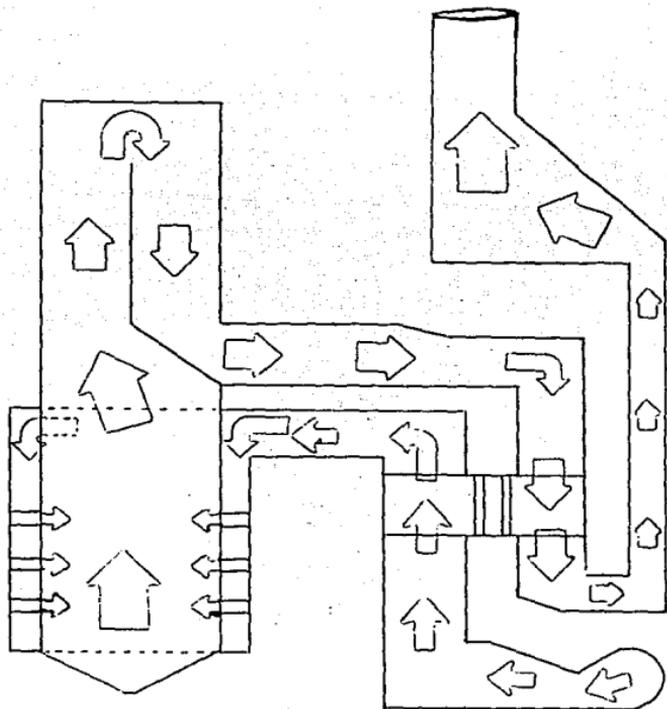
SISTEMA DE CONDENSADO.

- 16.- Condensador.
- 17.- Pozo caliente.
- 18.- Bombas de condensado.
- 19.- Otros.
- 20.- Calentadores.
- 21.- Calentador de baja presión 1.
- 22.- Calentador de baja presión 2.
- 23.- Calentador de baja presión 3.
- 24.- Calentador de baja presión 4.
- 25.- Calentador del desaerador.

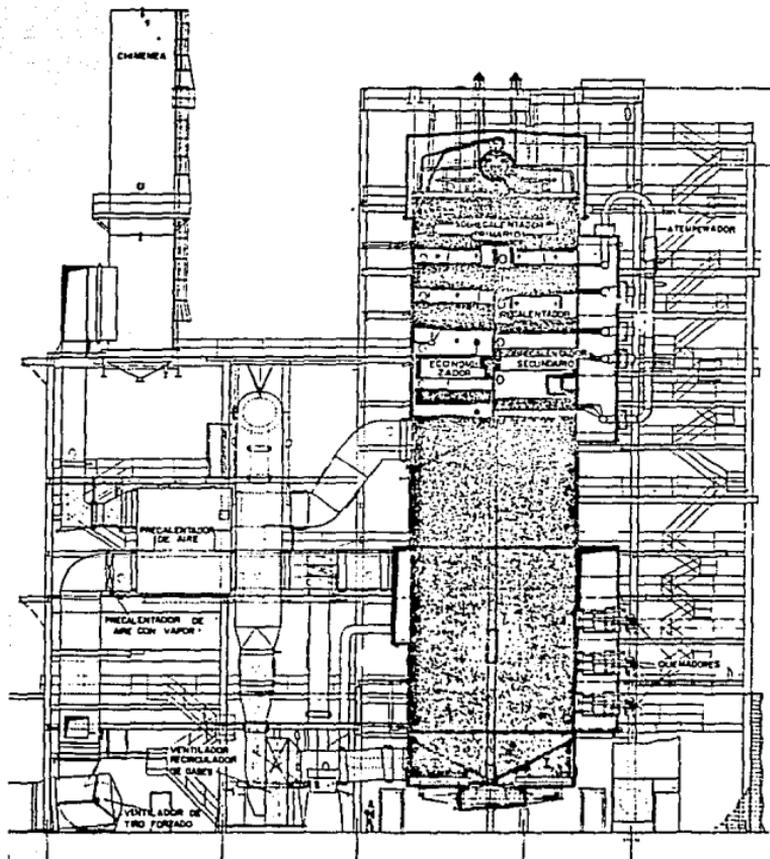
SISTEMA AGUA ALIMENTACION.

- 26.- Bombas de agua de alimentación.
- 27.- Calentador de alta presión 6.
- 28.- Calentador de alta presión 7.

FLUJO DE AIRE Y GASES EN EL GENERADOR DE VAPOR.



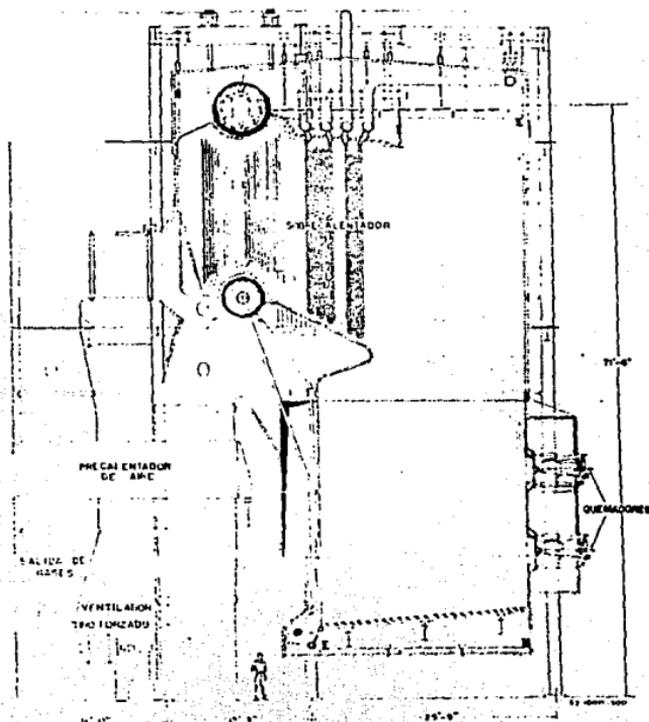
OTRO GENERADOR DE VAPOR.



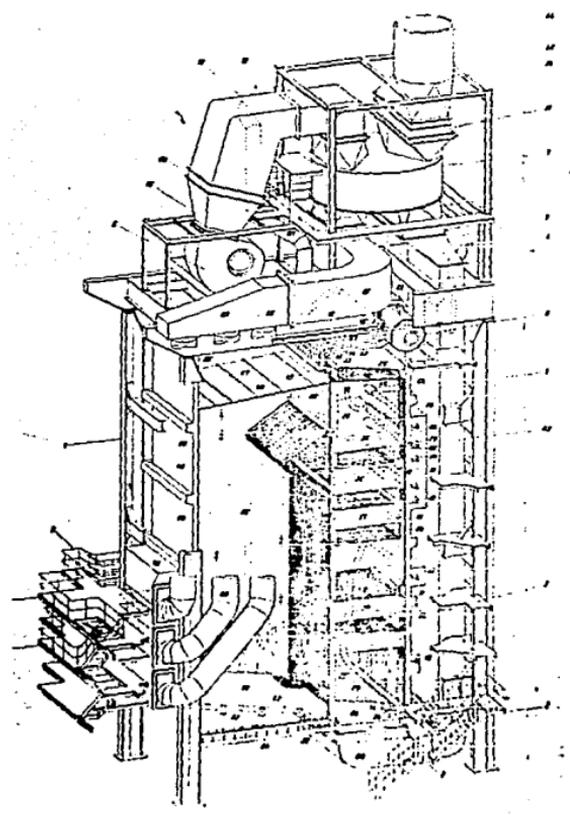
GENERADOR DE VAPOR DE BAJA CAPACIDAD.

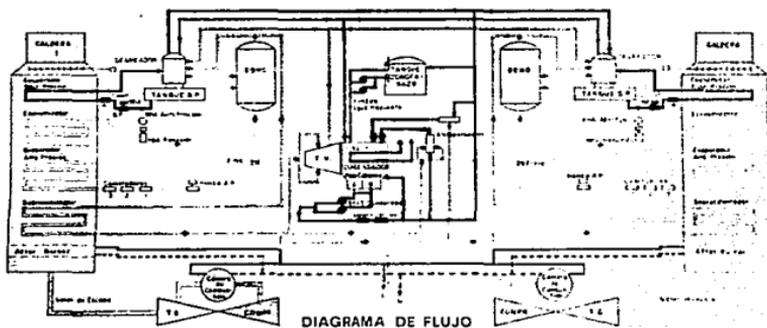
Obsérvese que en este diseño no hay economizador ni recalentador, y que en cambio tiene dos domos y tubos bajantes que atraviesan la zona de convección del generador.

Los sobrecalentadores en este diseño son tubos colgantes que también atraviesan la zona de convección, pero en su lugar más caliente.

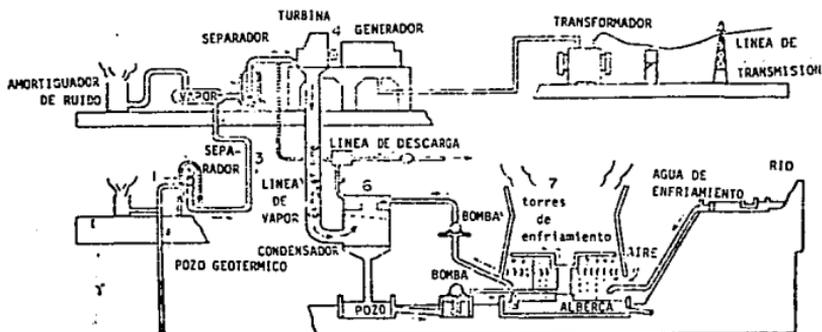


ILUSTRACION TRIDIMENSIONAL DE OTRO GENERADOR DE VAPOR.





CENTRAL DE CICLO COMBINADO.



CENTRAL GEOTERMICA.

CAPÍTULO III

MATERIALES EMPLEADOS

3.- MATERIALES EMPLEADOS.

El problema de elegir los materiales adecuados para ser empleados en los diferentes componentes del generador de vapor, ha sido resuelto por la ASME, asociación norteamericana de ingenieros mecánicos en la parte PG del código ASME para calderas y recipientes a presión. (ASME Boiler and pressure vessel code. Part PG).

Esto significa que el problema del diseñador o del usuario, se limita a la elección del material mas adecuado para sus necesidades, de entre todos los materiales adecuados que fija el código ASME.

En los Estados Unidos de Norteamérica, no existe hasta la fecha una norma nacional, que designe a los diferentes metales; por tal razón, cada asociación o sociedad técnica ha fijado su propia nomenclatura de metales, así como las características con que el metal debe de cumplir. De esta manera, hay normas API del instituto norteamericano del petroleo; normas MIL militares; normas ASTM de la sociedad norteamericana para pruebas y materiales; normas ANSI del instituto nacional norteamericano de estándares; normas AISI del instituto norteamericano del acero y del hierro; normas SAE de la sociedad de ingenieros en automóviles; normas AWS de la sociedad norteamericana de soldadura, etc. Afortunadamente, los autores del código ASME no inventaron otra nomenclatura, sino que emplearon las normas de

la ASTM, mas 4 normas ANSI.

Las normas ASTM, están hechas para regular las relaciones entre comprador y vendedor, y contienen todos los detalles necesarios para poder pedir y surtir un material sin ambigüedades. Por esta razón, hay una norma ASTM para cada uso en lugar de una norma por cada material; así por ejemplo las normas ASTM A 161; A 209; A 250 y A 335 especifican exactamente al mismo material, llamándolo a veces P1 y otras veces T1, debido a que sirve para hacer tubos para 4 usos diferentes.

Cuando hay muchos materiales que pueden servir para un uso determinado, quedan incluidos dentro de una misma norma ASTM ; así por ejemplo la norma ASTM A 213 contiene 42 metales diferentes, ya que estos 42 metales sirven para hacer tubos sin costura para calderas, vapor sobrecalentado y cambiadores de calor en general. Mas aun, hay normas que solo marcan requerimientos generales para un uso específico, y que no contienen ningún material, ya que en otra norma se especifican los materiales, la cual aparece como documento aplicable.

De todo lo anterior, se deduce que para especificar que un material está dentro de los requerimientos de una norma ASTM, no basta con citar el número de la norma, sino que además hay que especificar el grado o tipo; y que por otra parte, dado un material es absurdo preguntar con que norma cumple sin decir el uso, ya que puede haber un número

muy grande de normas con que cumple el material. Para dar una idea de la extensión del ASTM, la edición 1987 consta de 66 volúmenes, divididos en 15 secciones con un total de 62 000 páginas aproximadamente.

Todas las normas ASTM (cerca de 8 000) tienen un nombre clave, el cual se inicia por una letra, que indica lo siguiente:

- A = Metales ferrosos.
- B = Metales no ferrosos.
- C = Cemento, concreto y materiales cerámicos.
- D = Materiales misceláneos.
- E = Temas misceláneos.
- F = Materiales para aplicaciones específicas.
- G = Corrosión, degradación y deterioro.
- ES= Material de emergencia.
- P = Norma propuesta.

Ejemplo: ASTM A 213-85.

Un número que es el sucesivo de adopción de la norma.

Ejemplo: ASTM A 213-85.

Un guión y otro número, que indica el año de adopción o de cambio. Ejemplo: ASTM A 213-85.

Una T en lugar de los dígitos correspondientes a los años, cuando la norma es tentativa.

Un año entre paréntesis después del año de revisión, para indicar una revisión reciente sin cambios. Ejemplo:

ASTM A 660-79 (1985).

Finalmente, cuando después del número de la norma, aparece una letra M, indica que las unidades empleadas en dicha norma son métricas, o sea del sistema SI.

El código ASME usa las normas ASTM sin modificaciones, solo agrega una letra S antes de la letra empleada por la ASTM. Por ejemplo: La norma ya citada ASTM A 213-85 es idéntica a la norma ASME SA 213-85.

Las normas especificadas por el código ASME en su parte PG-9 para tubos y partes presurizadas se encuentran enlistadas en la siguiente tabla.

NORMAS PARA TUBERIA Y COMPONENTES A PRESION PARA PARTES DEL GENERADOR DE VAPOR
QUE TRABAJAN CON AGUA O VAPOR SATURADO.

ASME	TITULO	TRADUCCION.
SA-53	Welded and seamless steel pipe (excluding galvanized)	Tubería de acero con y sin costura (excluyendo el galvanizado).
SA-105	Forgings, carbon steel for piping components.	Componentes forjados de acero al carbono para tubería.
SA-106	Seamless carbon steel pipe for high temperature service.	Tubería de acero al carbono sin costura para servicio a alta temperatura.
SA-178	Electric resistance welded carbon steel boiler tubes.	Tubos de acero al carbono con costura hecha por resistencia eléctrica para calderas.
SA-181	Forged or rolled steel pipe flanges, forged fittings and valves and parts for general service.	Bridas forjadas o laminadas para tubería de acero, accesorios de unión forjados y válvulas así como partes para servicio general.
SA-182	Forged or rolled alloy steel pipe flanges, forged fittings, and valves and parts for high temperature service (ferritic only).	Bridas de acero aleado forjadas o laminadas para tubería, accesorios forjados, válvulas y partes para servicio a altas temperaturas. (solamente ferrítico).
SA-192	Seamless carbon steel boiler tubes for high pressure service.	Tubos para caldera de acero al carbón sin costura para servicio a alta presión.
SA-209	Seamless carbon molybdenum alloy steel boiler and superheater tubes.	Tubos de acero al carbono-molibdeno sin costura para caldera y sobrecalentadores.
SA-210	Seamless medium carbon steel boiler and superheater tubes.	Tubos sin costura para caldera y sobrecalentadores de acero al medio carbono.
SA-213	Seamless ferritic and austenitic alloy steel boiler, superheater and heat exchanger tubes (Ferritic only).	Tubos sin costura para caldera, sobrecalentador y cambiadores de calor de acero aleado ferrítico y austenítico. (Únicamente ferrítico).

ASME	TITULO.	TRADUCCION.
SA-216	Carbon steel castings suitable for fusion welding for high temperature service.	Acero al carbono de fundición, apropiado para ser soldado por fusión, para servicio a altas temperaturas.
SA-217	Alloy steel castings for pressure containing parts suitable for high temperature service.	Acero aleado de fundición, para partes que contengan presión, adecuado para servicio a alta temperatura.
SA-226	Electric resistance welded carbon steel boiler and superheater tubes for high pressure service.	Tubos para caldera y sobrecalentador de acero al carbono con costura hecha por resistencia eléctrica, para servicio a alta temperatura.
SA-234	Piping fittings of wrought carbon steel and alloy steel for moderate and elevated temperatures.	Accesorios forjados de acero al carbón y aleado para unión de tubería, para temperatura moderada y elevada.
SA-250	Electric resistance welded carbon-molybdenum alloy steel boiler and superheater tubes.	Tubos para caldera y sobrecalentador de acero al carbono-molibdeno, con costura hecha por resistencia eléctrica.
SA-266	Carbon steel seamless drum forgings.	Colectores de vapor de acero al carbon forjado y sin costura.
SA-268	Seamless and welded ferritic stainless steel tubing for general service.	Tubo delgado de acero inoxidable ferrítico con y sin costura para servicio general.
SA-335	Seamless ferritic alloy steel pipe for high temperature service.	Tubo sin costura de acero aleado ferrítico, para servicio a alta temperatura.
SA-336	Alloy steel seamless drum forgings (ferritic only)	Colectores de vapor de acero aleado forjado y sin costura (unicamente ferríticos).
SA-423	Seamless and electric welded low alloy steel tubes.	Tubos de acero de baja aleación sin costura y con costura hecha con soldadura eléctrica.
SA-660	Centrifugally cast carbon steel pipe for high temperature service.	Tubos de acero al carbono fundido y centrifugado para servicio a alta temperatura.

NORMAS PARA TUBERIA Y COMPONENTES A PRESION PARA PARTES DEL GENERADOR DE VAPOR

QUE TRABAJAN CON VAPOR SOBRECALENTADO.

ASME	TITULO	TRADUCCION.
SA-182	Forged or roller alloy steel pipe flanges, forged fittings, and valves and plates for high temperature service.	Bridas de acero aleado forjadas o laminadas para tubería, accesorios forjados, válvulas y partes para servicio a altas temperaturas.
SA-213	Seamless ferritic and austenitic alloy steel boiler, superheater and heat exchanger tubes.	Tubos sin costura para caldera, sobrecalentador y cambiadores de calor de acero aleado ferrítico y austenítico.
SA-240	Stainless and heat resisting chromium and chromium-nickel steel plates, sheet and strip for fusion welded unfired pressure vessels.	Placa, lámina y fleje para soldadura por fusión, de acero inoxidable y resistente al calor, al cromo y al cromo-níquel, para recipientes a presión no expuestos al fuego.
SA-249	Welded austenitic steel boiler, superheater, heat exchanger, and condenser tubes.	Tubos con costura de acero inoxidable austenítico para calderas, sobrecalentadores y tubos de condensador.
SA-268	Seamless and welded ferritic stainless steel tubing for general service.	Tubo delgado de acero inoxidable ferrítico con y sin costura, para servicio general.
SA-312	Seamless and welded austenitic stainless steel pipe.	Tubo de acero inoxidable austenítico con y sin costura.
SA-336	Alloy steel seamless drum forgings.	Colectores de vapor de acero aleado forjado y sin costura.
SA-351	Ferritic and austenitic steel castings for high temperature service.	Acero fundido ferrítico y austenítico, para servicio a alta temperatura.
SA-369	Ferritic alloy steel forged and bored pipe for high temperature service.	Tubo de acero aleado ferrítico, forjado y taladrado para servicio a temperatura elevada.

ASME	TITULO.	TRADUCCION.
SA-376	Seamless austenitic steel pipe for high temperature central station service.	Tubo sin costura de acero inoxidable austenítico, para uso a alta temperatura en centrales generadoras de energía.
SA-430	Austenitic steel forged and bored pipe for high temperature service.	Tubo de acero inoxidable austenítico forjado y taladrado, para servicio a temperatura elevada.
SA-479	Stainless and heat resisting steel bars and shapes for use in boilers and other pressure vessels.	Barras y láminas de acero inoxidable y resistente al calor, para usarse en calderas y otros recipientes a presión.
SB-407	Nickel iron chromium alloy seamless pipe and tube.	Tubería sin costura de aleación níquel-hierro-cromo.
SB-408	Nickel iron chromium alloy rod and bar.	Barras y varillas de aleación níquel-hierro-cromo.
SB-409	Nickel iron chromium alloy plate, sheet, and strip.	Placas, láminas y flejes de aleación níquel-hierro-cromo.
SB-423	Nickel iron chromium molybdenum seamless pipe and tube.	Tubería sin costura de aleación níquel-hierro-cromo-molibdeno.
SB-424	Nickel iron chromium molybdenum copper alloy plate, sheet and strip.	Placa, lámina y fleje de aleación níquel-hierro-cromo-molibdeno-cobre.
SB-425	Nickel iron chromium molybdenum copper alloy rod and bar.	Barras y varillas de aleación níquel-hierro-cromo-molibdeno-cobre.

NORMAS PARA TUBERIA Y COMPONENTES A PRESION DE ALEACIONES BASE COBRE,
QUE SE USAN EN EL CONDENSADOR Y EN LOS OTROS CAMBIADORES DE CALOR AGUA-VAPOR.

ASME	TITULO	TRADUCCION.
SB-42	Seamless coper pipe, standard sizes.*	Tubería sin costura de cobre, en tamaño estandar.**
SB-43	Seamless red brass pipe, standard sizes.*	Tubería sin costura de latón rojo, en tamaño estandar.**
SB-75	Seamless coper tube.	Tubo sin costura de cobre.
SB-111	Coper and coper-alloy seamless condenser tubes and ferrule stock.	Tubos sin costura, de cobre y aleaciones de cobre, para condensador, y sus casquillos para fijar los tubos al espejo.

*Thickness not less than ANSI schedule 40 standard pipe.

**Espesor de tubería no menor del especificado en la norma ANSI para cédula 40.

NOTAS DE LAS TABLAS ANTERIORES.

Mientras que en español solamente se usan los términos tubo y tubería, en inglés se usan dos palabras: "Pipe" o "piping" y "tube" o "tubing". No existe una distinción clara entre ambos términos. En general, el término "pipe" se usa para tubería de pared gruesa, diámetro relativamente grande, tramos de 6 a 12 metros, roscable y de pared relativamente rugosa; en tanto que el término "tube" se usa para tubería de diámetro reducido y pared delgada, que se vende en rollos de muchos metros de longitud, no roscable y de pared muy lisa.

Un ejemplo cotidiano es el tubo para gas y el tubo de cobre para agua. El de gas en inglés es "tubing", en tanto que el de agua es "pipe".

Las reglas del código ASME, son aplicables para todo generador de vapor, cuya presión de trabajo sea por lo menos de 103 421.36 Pa. (15 psig).

Cuando en las tablas anteriores se indica alta temperatura, se refiere a la obtenida en generadores de vapor cuya presión de trabajo es superior a 1.103 MPa (160 psig), y/o su temperatura de trabajo sea superior a 121° C (250° F).

Todos los componentes del generador de vapor, deben

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

ser de acero; estén en contacto con vapor saturado o sobrecalentado, excepto las aleaciones base níquel que aparecen en la segunda tabla, y cuya clave empieza con la letra B.

Los componentes del sistema de condensado pueden ser de acero o de las aleaciones no ferrosas mostradas en la tabla anterior, pero estos metales no estarán en contacto con el fuego ni con los gases de combustión.

CAPÍTULO IV

COMPOSICION QUIMICA

COMPOSICIONES QUIMICAS DE LOS ACEROS ESPECIFICADOS POR EL CODIGO ASME

PARA COMPONENTES DEL GENERADOR DE VAPOR QUE TRABAJAN CON AGUA O VAPOR SATURADO.

SA 53-86. TUBERIA DE ACERO CON Y SIN COSTURA.

	%	C	S	P	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Otros requerimientos:
Tipo S, Grado A.	Máx.	0.25	0.06	0.05	0.95	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08	Cu+Ni+Cr+Mo+V = 1.00 Máx.
Tipo S, Grado B.	Máx.	0.30	0.06	0.05	1.20	----	----	----	----	----	
Tipo E, Grado A.	Máx.	0.25	0.06	0.05	0.95	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08	Cr+Ni+Mo+Cu+V = 1.00 Máx.
Tipo E, Grado B.	Máx.	0.30	0.06	0.05	1.20	----	----	----	----	----	
Tipo F, sin grado.	Máx.	----	0.06	0.08	----	----	----	----	----	----	

SA 105-86. COMPONENTES FORJADOS DE ACERO AL CARBON PARA TUBERIA.

C	S	P	Manganeso	Si	Nota:						
Máx.	Máx.	Máx.	Mín. Máx.	Máx.	Por cada 0.01 % de C. menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.06 %, sin exceder el 1.35 % Mn.						
0.35	0.050	0.040	0.60-1.05	0.35							

SA 106-86. TUBERIA DE ACERO AL CARBON SIN COSTURA PARA SERVICIO A ALTA TEMPERATURA.

	C	S	P	Manganeso	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Para los 3 grados: Por cada
	Máx.	Máx.	Máx.	Mín. Máx.	Mín.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	0.01 % de C menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.06 %, sin exceder el 1.35 % de Mn.
Grado A	0.25	0.058	0.048	0.27-0.93	0.10	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08	
Grado B	0.30	0.058	0.048	0.29-1.06	0.10	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08	
Grado C	0.35	0.058	0.048	0.29-1.06	0.10	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08	

Nota: El Cr, Ni, Mo, Cu, y V son elementos residuales, y su suma no deberá de exceder el 1.00 % máximo en los 3 grados.

SA 178-85b. TUBOS PARA CALDERA DE ACERO AL CARBON CON COSTURA HECHA POR RESISTENCIA ELECTRICA.

	Carbono	S	P	Manganeso		Si
	Mín. Máx.	Máx.	Máx.	Mín. Máx.	Mín.	
Grado A	0.06-0.18	0.060	0.050	0.27-0.63		----
Grado C	---- 0.35	0.060	0.050	---- 0.80		----
Grado D	---- 0.27	0.015	0.030	1.00-1.50		0.10

SA 181-85a. BRIDAS FORJADAS O LAMINADAS PARA TUBERIA DE ACERO, ACCESORIOS DE UNION FORJADOS Y VALVULAS ASI COMO PARTES PARA SERVICIO GENERAL.

	C	S	P	Mn	Si	Por cada 0.01 % de C. menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.06 %, sin exceder el 1.35 % Mn.
	Max. Máx.	Máx.	Máx.	Máx. Máx.	Máx.	
Clase 60 y 70.	0.35	0.05	0.05	1.10	0.35	

SA 182-86a. BRIDAS DE ACERO ALEADO FORJADAS O LAMINADAS PARA TUBERIA, ACCESORIOS FORJADOS, VALVULAS Y PARTES PARA SERVICIO A ALTAS TEMPERATURAS. (SOLAMENTE FERRITICOS).

Sím- bolo	U.N.S.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
F-1	K12822	Mín.	----	-----	-----	0.60	0.15	----	----	0.44	
		Máx.	0.28	0.045	0.045	0.90	0.35	----	----	0.65	
F-2	K12122	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.10	0.50	----	0.44	
		Máx.	0.21	0.040	0.040	0.80	0.60	0.81	----	0.65	
F-5	K41545	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	4.0	----	0.44	
		Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.0	0.50	0.65	

SA 182-86a.

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.			
F-5a	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	4.0	-----	0.44				
UNS K42544	Máx.	0.25	0.030	0.040	0.60	0.50	6.0	0.50	0.65				
F-6a	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	-----				
UNS K91151	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	13.5	0.50	-----				
F-6b	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	1.0	0.40	Cu			
UNS -----	Máx.	0.15	0.02	0.02	1.00	1.0	13.5	2.0	0.60	0.50			
F-6NM	Mfn.	-----	-----	-----	0.5	-----	11.5	3.5	0.5				
UNS S41500	Máx.	0.05	0.030	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0				
F-7	Mfn.	-----	-----	-----	0.30	0.50	6.0	-----	0.44				
UNS K61595	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.0	-----	0.65				
F-9	Mfn.	-----	-----	-----	0.30	0.50	8.0	-----	0.90				
UNS K90941	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.0	-----	1.10				
F-91	Mfn.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	-----	0.85	Cb+Ta	N	Al	V
UNS -----	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	0.40	1.05	0.10	0.07	0.04	0.25
F-11 y F-11a	Mfn.	0.10	-----	-----	0.30	0.50	1.00	-----	0.44				
UNS K11572	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	1.00	1.50	-----	0.65				

SA 182-86a.

Símbolo y Un.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
Num. System.												
F-11b	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	----	0.44			
UNS K11597	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	----	0.65			
F-12	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	0.80	----	0.44			
UNS K11564	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	0.60	1.25	----	0.65			
F-12b	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	0.80	----	0.44			
UNS K11562	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.60	0.50	1.25	----	0.65			
F-21	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	2.65	----	0.80			
UNS K31545	Máx.	0.15	0.040	0.040	0.60	0.50	3.35	----	1.06			
										V	B	Ti
F-21b	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	2.75	----	0.90	0.20	0.001	0.015
UNS K31870	Máx.	0.18	0.020	0.020	0.60	0.10	3.25	----	1.10	0.30	0.003	0.035
F-22	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	2.00	----	0.87			
UNS K21390	Máx.	0.15	0.040	0.040	0.60	0.50	2.50	----	1.13			
										N	Cu	Cb
F-XH 27 Cb	Mín.	----	-----	-----	----	----	25.00	----	0.75	----	----	0.05
UNS S44627	Máx.	0.010	0.020	0.020	0.40	0.40	27.50	0.50	1.50	0.015	0.20	0.20
F-425	Mín.	----	-----	-----	----	----	14.0	----	----			
UNS S42900	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	16.0	0.50	----			

Símbolo y Un.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
Num. System.										
F-430	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	----	----	
UNS S43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	18.0	0.50	----	
Cu										
FR	Mín.	----	----	----	0.40	----	----	1.60	----	0.75
UNS K22035	Máx.	0.20	0.050	0.045	1.06	----	----	2.24	----	1.25

SA 192-85. TUBOS PARA CALDERA DE ACERO AL CARBÓN SIN COSTURA PARA SERVICIO A ALTA PRESTION.

Símbolo y Un.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
Num. System.										
----	Mín.	0.06	----	----	0.27	----	----	----	----	
----	Máx.	0.18	0.058	0.048	0.63	0.25	----	----	----	

SA 209-85b. TUBOS DE ACERO AL CARBONO-MOLIBDENO SIN COSTURA PARA CALDERAS Y SOBRECALENTADORES.

Símbolo y Un.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
Num. System.										
T1	Mín.	0.10	----	----	0.30	0.10	----	----	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.80	0.50	----	----	0.65	
T1a	Mín.	0.15	----	----	0.30	0.10	----	----	0.44	
	Máx.	0.25	0.045	0.045	0.80	0.50	----	----	0.65	
T1b	Mín.	----	----	----	0.30	0.10	----	----	0.44	
	Máx.	0.14	0.045	0.045	0.80	0.50	----	----	0.65	

SA 210-86a. TUBOS SIN COSTURA PARA CALDERA Y SOBREALENTADORES DE ACERO AL MEDIO CARBONO.

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
A-1	Mfn.	----	----	----	----	0.10	----	----	----	Por cada 0.01 % de C. menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.06 %, sin exceder el 1.35 % de Mn.
	Máx.	0.27	0.058	0.048	0.93	----	----	----	----	
C	Mfn.	----	----	----	0.29	0.10	----	----	----	
	Máx.	0.35	0.058	0.048	1.06	----	----	----	----	

SA 213-85c. TUBOS SIN COSTURA PARA CALDERA, SOBREALENTADOR Y CAMBIADORES DE CALOR DE ACERO ALEADO FERRITICO Y AUSTENITICO. (UNICAMENTE FERRITICO).

Símbolo	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
T-2	Mfn.	0.12	-----	-----	0.30	0.10	0.50	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.61	0.30	0.81	0.65	
T-3b	Mfn.	----	-----	-----	0.30	0.10	0.50	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.35	0.65	
T-5	Mfn.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	
T-5b	Mfn.	----	-----	-----	0.30	1.00	4.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	2.00	6.00	0.65	

SA 213-85c.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
T-5c	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	4.00	0.45	Ti = (4)(%C)
	Máx.	0.12	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	0.70
T-7	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	6.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.00	0.65	
T-9	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.25	8.00	0.90	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10	
T-11	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	0.65	
T-12	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	0.80	0.44	
	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.61	0.50	1.25	0.65	
T-17	Mín.	0.15	-----	-----	0.30	0.15	0.80	-----	v 0.15
	Máx.	0.25	0.045	0.045	0.61	0.35	1.25	-----	-----
T-21	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.65	0.80	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.35	1.06	

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.				
T-22	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	1.90	0.87					
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.60	1.13					
									V	Cb	N	Ni	Al
T-91	Mín.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	0.85	0.18	0.06	0.030	----	----
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	1.05	0.25	0.1	0.070	0.40	0.04
									N	Ni+Cu	Ti+Cb		
18Cr-2Mo	Mín.	----	-----	-----	----	----	17.5	1.75	-----	-----	0.20+4(C+N)		
	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	2.50	0.035	1.00	0.80		

SA 216-84e. ACERO AL CARBONO DE FUNDICION, APROPIADO PARA SER SOLDADO POR FUSION PARA SERVICIO A ALTAS TEMPERATURAS.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Cr+Ni+Mo+Cu+V
WCA	Máx.	0.25	0.045	0.04	0.30	0.60	0.50	0.50	0.20	0.30	0.30	1.00
WCB	Máx.	0.30	0.045	0.04	1.00	0.60	0.50	0.50	0.20	0.30	0.30	1.00
WCC	Máx.	0.25	0.045	0.04	1.20	0.60	0.50	0.50	0.20	0.30	0.30	1.00

Nota para los 3 grados: Por cada 0.01 % de C. menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.06 %, sin exceder el 1.35 % de Mn.

SA 226-85. TUBOS PARA CALDERA Y SOBRECALENTADOR DE ACERO AL CARBONO CON COSTURA HECHA POR RESISTENCIA ELECTRICA,
PARA SERVICIO A ALTA TEMPERATURA.

Grado Único	%	C	S	P	Mn	Si
	Mín.	0.06	-----	-----	0.27	----
	Máx.	0.18	0.060	0.050	0.63	0.25

SA 234-86. ACCESORIOS FORJADOS DE ACERO AL CARBONO Y ALEADO PARA UNION DE TUBERIA,
PARA TEMPERATURA MODERADA Y ELEVADA.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS
WPB	Mín.	----	-----	-----	0.29	0.10	----	----	
	Máx.	0.30	0.058	0.050	1.06	----	----	----	
WPC	Mín.	----	-----	-----	0.29	0.10	----	----	
	Máx.	0.35	0.058	0.050	1.06	----	----	----	
WP 1	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.10	----	0.44	
	Máx.	0.28	0.045	0.045	0.90	0.50	----	0.65	
WP 12 y	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	0.80	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.80	0.60	1.25	0.65	
WP 11 y	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44	
	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	1.00	1.50	0.65	

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS				
WP 11b	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44					
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	0.65					
WP 22 y WP 22a	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	1.90	0.87					
	Máx.	0.15	0.040	0.040	0.60	0.50	2.60	1.13					
WP 5	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.44					
	Máx.	0.15	0.030	0.040	0.60	0.50	6.00	0.65					
WP 7	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	6.00	0.44					
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.00	0.65					
WP 9	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.25	8.00	0.90					
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10					
WPR	Mín.	----	-----	-----	0.40	----	----	----	Ni	Cu			
	Máx.	0.20	0.050	0.045	1.06	----	----	----	2.24	1.25			
WP 91	Mín.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	0.85	----	Ni	V	Cb	Al
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	1.05	0.40	0.18	0.06	0.03	----

SA 250-86. TUBOS PARA CALDERA Y SOBREALENTADOR DE ACERO AL CARBONO-MOLIBDENO,
CON COSTURA HECHA POR RESISTENCIA ELECTRICA.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS			
T 1	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	----	0.44				
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.80	0.50	----	0.65				

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Mo	OTROS.
T 1a	Mín.	0.15	-----	-----	0.30	0.10	0.44	
	Máx.	0.25	0.045	0.045	0.80	0.50	0.65	
T 1b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.10	0.44	
	Máx.	0.14	0.045	0.045	0.80	0.50	0.65	

SA 266-85. COMPONENTES DE ACERO AL CARBON FORJADOS, PARA RECIPIENTES A PRESION.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si
i y 2	Mín.	-----	-----	-----	0.40	0.15
	Máx.	0.35	0.040	0.040	1.05	0.36
3	Mín.	-----	-----	-----	0.50	-----
	Máx.	0.45	0.040	0.040	0.90	0.35
4	Mín.	-----	-----	-----	0.80	0.15
	Máx.	0.30	0.040	0.035	1.35	0.35

SA 268-86a. TUBO DELGADO DE ACERO INOXIDABLE FERRITICO CON Y SIN COSTURA, PARA SERVICIO GENERAL.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Al
TP 405	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	0.10
S 40500	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	0.75	13.5	0.50	0.30

SA 268-86a.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS
TP 410	Mín.	----	----	----	----	----	11.5	----	----	
S 41000	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	0.75	13.5	0.50	----	
TP 429	Mín.	----	----	----	----	----	14.0	----	----	
S 42900	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	16.0	0.50	----	
TP 430	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	----	----	
S 43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	18.0	0.50	----	
TP 443	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	----	----	Cu 0.90
S 44300	Máx.	0.20	0.030	0.040	1.00	0.75	23.0	0.50	----	1.25
TP 446	Mín.	----	----	----	----	----	23.0	----	----	N 0.10
S 44600	Máx.	0.20	0.030	0.040	1.50	0.75	30.0	0.50	----	0.25
TP 329	Mín.	----	----	----	----	----	23.0	2.50	1.0	
S 32900	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	0.75	28.0	5.00	2.0	
----	Mín.	----	----	----	----	----	11.5	----	----	T1 12(%C)
S 40800	Máx.	0.06	0.045	0.045	1.00	1.00	13.0	0.80	----	1.10
TP 409	Mín.	----	----	----	----	----	10.5	----	----	T1 6(%C)
S 40900	Máx.	0.08	0.045	0.045	1.00	1.00	11.75	0.50	----	0.75
TP 439	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	----	----	Al N T1
S 43035	Máx.	0.07	0.030	0.040	1.00	1.00	19.00	0.50	----	0.15 0.04 1.10

SA 268-86a

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS		
-----	Mín.	-----	-----	-----	0.5	-----	11.5	3.5	0.5			
S 41500	Máx.	0.05	0.03	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0			
TP 430 T1	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	-----	-----	T1 5(%C)		
S 43036	Máx.	0.10	0.030	0.040	1.00	1.00	19.50	0.75	-----	0.75		
TP XM-27	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	-----	0.75	Cu N		
S 44627	Máx.	0.01	0.02	0.02	0.40	0.40	27.5	0.5	1.50	0.2	0.015	
TP XM-33	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	-----	0.75	Cu N T1 7(%C+%N)		
S 44626	Máx.	0.06	0.020	0.040	0.75	0.75	27.0	0.50	1.50	0.20	0.040	1.00
18Cr 2Mo	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.5	-----	1.75	N T1+Cb 0.20+4(C+N)		
S 44400	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	1.00	2.50	0.035	0.80	
29-4	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	-----	3.5	N Cu C+N		
S 44700	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	0.15	4.2	0.020	0.15	0.025
29-4-2	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	2.0	3.5	N Cu C+N		
S 44800	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	2.5	4.2	0.020	0.15	0.025
26-3-3	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	1.0	3.0	N Titanio+Cb 0.20 6(%C+%N)		
S 44660	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	28.0	3.50	3.50	0.040	1.00	-----

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Titanio+Columbio
25-4-4	Mfn.	----	-----	-----	----	----	24.5	3.5	3.5	-----	0.20+4(%C+%N)
S 44635	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	0.75	26.0	4.5	4.5	0.035	0.80
-----	Mfn.	----	-----	-----	----	----	28.00	----	3.60	-----	0.20 6(%C+%N)
S 44735	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	30.00	1.00	4.20	0.045	1.00 ----

SA 335-86a. TUBO SIN COSTURA DE ACERO ALEADO FERRITICO, PARA SERVICIO A ALTA TEMPERATURA.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
P 1	Mfn.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	----	0.44	
K 11522	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.80	0.50	----	0.65	
P 2	Mfn.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	0.50	0.44	
K 11547	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.61	0.30	0.81	0.65	
P 5	Mfn.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.45	
K 41545	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	
P 5b	Mfn.	----	-----	-----	0.30	1.00	4.00	0.45	
K 51545	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	2.00	6.00	0.65	
P 5c	Mfn.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.45	
K 41245	Máx.	0.12	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	
P 7	Mfn.	----	-----	-----	0.30	0.50	6.00	0.44	
K 61595	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.00	0.65	

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.					
P 9	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.25	8.00	0.90						
K 81590	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10						
P 11	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44						
K 11597	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	0.65						
P 12	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	0.80	0.44						
K 11562	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.61	0.50	1.25	0.65						
P 15	Mín.	----	-----	-----	0.30	1.15	----	0.44						
K 11578	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.65	----	0.65						
P 21	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	2.65	0.80						
K 31545	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.35	1.06						
P 22	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	1.90	0.87						
K 21590	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.60	1.13						
P 91	Mín.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	0.25	0.06	0.18	0.030	----	----	
-	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	1.05	0.10	0.25	0.070	0.40	0.04	

SA 336-86a. COLECTORES DE VAPOR DE ACERO ALEADO FORJADO Y SIN COSTURA.
(UNICAMENTE FERRITICOS).

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.				
F 1	Mín.	0.20	-----	-----	0.60	0.20	----	0.40					
	Máx.	0.30	0.040	0.040	0.80	0.35	----	0.65					

SA 336-86a.

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
F 11 y	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.45	
F 11a	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	1.00	1.50	0.65	
F 11b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44	
	Máx.	0.15	0.03	0.03	0.60	1.00	1.50	0.65	
F 12	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	0.80	0.45	
	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	0.60	1.10	0.65	
F 5	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	4.0	0.45	Ni
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.0	0.65	0.50
F 5a	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	4.0	0.45	Ni
	Máx.	0.25	0.030	0.040	0.60	0.50	6.0	0.65	0.50
F 9	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	8.00	0.90	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10	
F 6	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	Ni
	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	1.00	13.5	-----	0.50
F 21 y	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.65	0.80	
F 21a	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.25	1.06	

SA 336-86a.

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	OTROS.		
F 22 y	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.00	-----	0.90	-----			
F 22a	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.50	-----	1.10	-----			
F 30	Mín.	-----	-----	-----	0.50	0.15	-----	-----	0.30	0.10			
	Máx.	0.45	0.040	0.040	0.90	0.45	-----	-----	0.60	0.25			
F 31	Mín.	-----	-----	-----	0.50	0.10	-----	2.25	0.20	-----			
	Máx.	0.35	0.040	0.040	0.90	0.40	-----	3.00	0.50	0.15			
F 32	Mín.	-----	-----	-----	0.50	0.15	3.00	0.50	0.30	0.05			
	Máx.	0.35	0.040	0.040	0.90	0.45	3.60	1.00	0.50	0.15			
FXM-27Cb	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	-----	0.75	-----	N	Cb	Cu
	Máx.	0.01	0.02	0.02	0.40	0.40	27.5	0.50	1.50	-----	0.015	0.05	0.20
F 91	Mín.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	-----	0.85	0.18	N	Cb	Al
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	0.40	1.05	0.25	0.03	0.06	0.04
F 21b	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	-----	2.65	-----	0.90	0.20	B	T1	
	Máx.	0.15	0.020	0.020	0.60	0.10	3.25	-----	1.10	0.30	0.001	0.015	
											0.003	0.035	

SA 423-86. TUBOS DE ACERO DE BAJA ALEACION SIN COSTURA Y CON COSTURA HECHA CON SOLDADURA ELECTRICA.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	OTROS.
1	Mín.	----	-----	0.06	----	0.10	0.24	0.20	----	0.20	
	Máx.	0.15	0.060	0.16	0.55	----	1.31	0.70	----	0.60	
2	Mín.	----	-----	-----	0.50	----	----	0.40	0.10	0.30	
	Máx.	0.15	0.05	0.040	1.00	----	----	1.10	----	1.00	

SA 660-79(1985). TUBOS DE ACERO AL CARBONO FUNDIDO Y CENTRIFUGADO PARA SERVICIO A ALTA TEMPERATURA.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Por cada 0.01 % de C. menor que el máximo especificado, podrá incrementarse el máximo Mn especificado en un 0.04 %, sin exceder el 1.10 % de Mn. para el grado WCA, y 1.40 % Mn para el grado WCC. El grado WCB no tiene esta tolerancia.
WCA	Máx.	0.25	0.045	0.040	0.70	0.60	
WCB	Máx.	0.30	0.045	0.040	1.00	0.60	
WCC	Máx.	0.25	0.045	0.040	1.20	0.60	

COMPOSICIONES QUIMICAS DE LOS ACEROS ESPECIFICADOS POR EL CODIGO ASME

PARA COMPONENTES DEL GENERADOR DE VAPOR QUE TRABAJAN CON VAPOR SOBREALENTADO.

SA 182-86a. BRIDAS DE ACERO ALEADO FORJADAS O LAMINADAS PARA TUBERIA, ACCESORIOS FORJADOS,
VALVULAS Y PARTES PARA SERVICIO A ALTAS TEMPERATURAS.

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
F-1	Mín.	----	-----	-----	0.60	0.15	----	----	0.44	
UNS K12822	Máx.	0.28	0.045	0.045	0.90	0.35	----	----	0.65	
F-2	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.10	0.50	----	0.44	
UNS K12122	Máx.	0.21	0.040	0.040	0.80	0.60	0.81	----	0.65	
F-5	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	4.0	----	0.44	
UNS K41545	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.0	0.50	0.65	
F-5a	Mín.	----	-----	-----	----	----	4.0	----	0.44	
UNS K42544	Máx.	0.25	0.030	0.040	0.60	0.50	6.0	0.50	0.65	
F-6a	Mín.	----	-----	-----	----	----	11.5	----	----	
UNS K91151	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	13.5	0.50	----	
										Cu
F-6b	Mín.	----	----	----	----	----	11.5	1.0	0.40	----
UNS -----	Máx.	0.15	0.02	0.02	1.00	1.0	13.5	2.0	0.60	0.50

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.			
F-6NM	Mín.	----	----	----	0.5	----	11.5	3.5	0.5				
UNS S41500	Máx.	0.05	0.030	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0				
F-7	Mín.	----	----	----	0.30	0.50	6.0	----	0.44				
UNS K61595	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.0	----	0.65				
F-9	Mín.	----	----	----	0.30	0.50	8.0	----	0.90				
UNS K90941	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.0	----	1.10				
										Cb+Ta	N	Al	V
F-91	Mín.	0.08	----	----	0.30	0.20	8.00	----	0.85	0.06	0.03	----	0.18
UNS -----	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	0.40	1.05	0.10	0.07	0.04	0.25
F-11 y F-11a	Mín.	0.10	----	----	0.30	0.50	1.00	----	0.44				
UNS K11572	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	1.00	1.50	----	0.65				
F-11b	Mín.	----	----	----	0.30	0.50	1.00	----	0.44				
UNS K11597	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	----	0.65				
F-12	Mín.	0.10	----	----	0.30	0.10	0.80	----	0.44				
UNS K11564	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	0.60	1.25	----	0.65				
F-12b	Mín.	----	----	----	0.30	----	0.80	----	0.44				
UNS K11562	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.60	0.50	1.25	----	0.65				

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
F-21	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.65	-----	0.80			
UNS K31545	Máx.	0.15	0.040	0.040	0.60	0.50	3.35	-----	1.06			
										V	B	Ti
F-21b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.75	-----	0.90	0.20	0.001	0.015
UNS K31870	Máx.	0.18	0.020	0.020	0.60	0.10	3.25	-----	1.10	0.30	0.003	0.035
F-22	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.00	-----	0.87			
UNS K21590	Máx.	0.15	0.040	0.040	0.60	0.50	2.50	-----	1.13			
										N	Cu	Cb
F-XM 27 Cb	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.00	-----	0.75	-----	-----	0.05
UNS S44627	Máx.	0.010	0.020	0.020	0.40	0.40	27.50	0.50	1.50	0.015	0.20	0.20
F-429	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	14.0	-----	-----			
UNS S42900	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	16.0	0.50	-----			
F-430	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.0	-----	-----			
UNS S43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	18.0	0.50	-----			
										Cu		
FR	Mín.	-----	-----	-----	0.40	-----	-----	1.60	-----	0.75		
UNS K22035	Máx.	0.20	0.050	0.045	1.06	-----	-----	2.24	-----	1.25		

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
F-304	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	
S30400	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	11.00	----	
F-304 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	
S30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	11.00	----	
F-304 L	Mín.	-----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	
S30403	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	----	
F-304 N	Mín.	-----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	N
S30451	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.00	10.50	----	0.10
F-304 LN	Mín.	-----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	0.10
S30453	Máx.	0.030	0.030	0.040	2.00	0.75	20.00	10.50	----	0.16
F-310	Mín.	-----	-----	-----	----	----	24.00	19.00	----	
S31000	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	1.00	26.00	22.00	----	
F-316	Mín.	-----	-----	-----	----	----	16.00	10.00	2.00	
S31600	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	
F-316 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	16.00	10.00	2.00	
S31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	

Símbolo y Un.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
Num. System.										
F-316 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	
S31603	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	15.00	3.00	
N										
F-316 H	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	11.00	2.00	0.10
S31651	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	0.16
N										
F-316 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	11.00	2.00	0.10
S31653	Máx.	0.030	0.030	0.040	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	0.16
Ti										
F-321	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	5(%C)
S32100	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	-----	12.00	-----	0.70
Ti										
F-321 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	4(%C)
S32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	-----	12.00	-----	0.70
Cb+Ta										
F-347	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	10(%C)
S34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	1.10
Cb+Ta										
F-347 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	8(%C)
S34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	1.10
Cb+Ta Ta										
F-348	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	10(%C) -----
S34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	1.10 0.10

SA 240-86.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	OTROS.		
TP 305	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	17.00	10.50			
S 30500	Máx.	0.12	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	13.00			
---	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	19.50	17.50	Mo	Cu	N
S 31254	Máx.	0.020	0.010	0.030	1.00	0.80	20.50	18.50	6.00	0.50	0.18
TP 309 Cb	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	22.00	12.00	Nb+Ta 10(%C)		
S 30940	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	16.00	1.10		
TP 309 S	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	22.00	12.00			
S 30908	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	15.00			
TP 310 Cb	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	24.00	19.00	Nb+Ta 10(%C)		
S 31040	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.50	26.00	22.00	1.10		
TP 310 S	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	24.00	19.00			
S 31008	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.50	26.00	22.00			
TP 316	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	Mo	N	
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	2.00	----	
									3.00	0.10	

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
										Cb+Ta	Ta	
F-348 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	8(%C)	-----	
S34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	1.10	0.10	
										N		
F XM-11	Mín.	-----	-----	-----	8.00	-----	19.00	5.50	-----	0.15		
S21904	Máx.	0.040	0.030	0.060	10.00	1.00	21.50	7.50	-----	0.15		
										N	Cb+Ta	V
F XM-19	Mín.	-----	-----	-----	4.00	-----	20.50	11.50	1.50	0.20	0.10	0.10
S20910	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.40	0.30	0.30
F-10	Mín.	0.10	-----	-----	0.50	1.00	7.00	19.00	-----			
S33100	Máx.	0.20	0.030	0.040	0.80	1.40	9.00	22.00	-----			
										N	Cu	
F-44	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	19.50	17.50	6.00	0.18	0.50	
S31254	Máx.	0.020	0.010	0.030	1.00	0.80	20.50	18.50	6.50	0.22	1.00	
										N	Ce	
F-45	Mín.	0.05	-----	-----	-----	1.40	20.00	10.00	-----	0.14	0.03	
S30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.00	12.00	-----	0.20	0.08	
F-46	Mín.	-----	-----	-----	-----	3.70	17.00	14.00	-----			
S01815	Máx.	0.018	0.020	0.020	2.00	4.30	18.50	15.50	0.20			

ACEROS INOXIDABLES FERRITICO-AUSTENITICOS.

Símbolo y Un. Num. System.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N
F-50	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	24.0	5.5	1.2	0.14
S31200	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	26.0	6.5	2.0	0.20
F-51	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	21.0	4.5	2.5	0.08
S31803	Máx.	0.030	0.020	0.030	2.00	1.00	23.0	6.5	3.5	0.20

SA 213-85c. TUBOS SIN COSTURA PARA CALDERA, SOBRECALENTADOR Y CAMBIADORES DE CALOR
DE ACERO ALEADO FERRITICO Y AUSTENITICO.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
T-2	Mín.	0.12	-----	-----	0.30	0.10	0.50	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.61	0.30	0.81	0.65	
T-3b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.10	0.50	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.35	0.65	
T-5	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	4.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	
T-5b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	1.00	4.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	2.00	6.00	0.65	

SA 213-85c.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
T-5c	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.45	T1 = (4)(%C)
	Máx.	0.12	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65	0.70
T-7	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	6.00	0.45	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.00	0.65	
T-9	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.25	8.00	0.90	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10	
T-11	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	1.50	0.65	
T-12	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	0.80	0.44	
	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.61	0.50	1.25	0.65	
T-17	Mín.	0.15	-----	-----	0.30	0.15	0.80	----	V 0.15
	Máx.	0.25	0.045	0.045	0.61	0.35	1.25	----	----
T-21	Mín.	----	-----	----	0.30	----	2.65	0.80	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.35	1.06	

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.				
T-22	Mfn.	----	-----	-----	0.30	----	1.90	0.87					
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.60	1.13					
T-91	Mfn.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	0.85	0.18	0.06	0.030	----	----
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	1.05	0.25	0.1	0.070	0.40	0.04
18Cr-2Mo	Mfn.	----	-----	-----	----	----	17.5	1.75	-----	-----	0.20+4(C+N)		
	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	2.50	0.035	1.00		0.80	

ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
TP 20i	Mfn.	----	-----	-----	5.50	----	16.0	3.50	----
S 20100	Máx.	0.15	0.030	0.060	7.50	1.00	18.0	5.50	0.25
TP 202	Mfn.	----	-----	-----	7.50	----	17.0	4.00	----
S 20200	Máx.	0.15	0.030	0.060	10.0	1.00	19.0	6.00	0.25
TP 304	Mfn.	----	-----	-----	----	----	18.0	8.00	----
S 30400	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	----

SA 213-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	OTROS.		
TP 304 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00			
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00			
TP 304 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	N 0.10		
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	0.16		
TP 304 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	N 0.10		
S 30453	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	0.16		
TP 304 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00			
S 30403	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0			
TP 309 Cb	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.00	12.00	Mo	Cu	Nb+Ta
S 30940	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	16.00	0.75	0.75	10(%C) 1.10
TP 309 S	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.00	12.00	Mo	Cu	
S 30908	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	15.00	0.75	0.75	
TP 310	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	24.0	19.0			
S 31000	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	0.75	26.0	22.0			

SA 213-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.	
TP 310 Cb	Mín.	----	----	----	----	----	24.00	19.00	0.75	Cu	Nb+Ta
S 31040	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.00	22.00	0.75	0.75	10(%C)
TP 310 S	Mín.	----	----	----	----	----	24.00	19.00	----	Cu	----
S 31008	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.00	22.00	0.75	0.75	----
TP 316	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00		
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00		
TP 316 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00		
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00		
TP 316 L	Mín.	0.08	----	----	----	----	16.0	10.0	2.00		
S 31603	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	15.0	3.00		
TP 316 N	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	N	0.10
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16	
TP 316 LN	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	N	0.10
S 31653	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16	

SA 213-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	OTROS.
TP 321	Mín.	----	----	----	----	----	17.0	9.0	Ti 5(%C)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	0.60
TP 321 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	17.0	9.00	Ti 4(%C)
S 32109	Máx.	0.04	0.030	0.040	2.00	0.75	17.0	9.00	0.60
TP 347	Mín.	----	----	----	----	----	17.0	9.00	Nb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	1.00
TP 347 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	17.00	9.00	Nb+Ta 8(%C)
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	1.0
TP 348	Mín.	----	----	----	----	----	17.0	9.00	Ta Nb+Ta 10(%C)
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.00	13.00	0.10 1.00
TP 348 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	17.0	9.00	Ta Nb+Ta 8(%C)
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	0.10 1.0
TP XM-15	Mín.	----	----	----	----	1.50	17.00	17.50	
S 38100	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	2.50	19.00	18.50	

SA 213-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
---	Mín.	0.05	-----	-----	-----	1.40	20.0	10.0	-----	N	Ce	
S 30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.0	12.0	-----	0.14	0.03	
---	Mín.	0.06	-----	-----	5.5	0.2	14.0	9.0	0.8	Cb	V	B
S 21500	Máx.	0.15	0.030	0.040	7.0	1.0	16.0	11.00	1.2	0.75	0.15	0.003
---	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	13.0	4.0	N	Cu	
S 31725	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.00	17.00	5.0	0.10	0.75	
---	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	13.5	4.0	N	Cu	
S 31726	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	17.5	5.0	0.20	0.75	

SA 240-86. PLACA, LAMINA Y FLEJE DE ACERO INOXIDABLE RESISTENTE AL CALOR AL CROMO Y AL CROMO-NIQUEL, PARA RECIPIENTES A PRESION.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	OTROS.	
---	Mín.	-----	-----	-----	-----	3.7	17.0	14.0	Mo	-----
S 01815	Máx.	0.018	0.020	0.020	2.00	4.3	18.5	15.5	0.20	
TP 201	Mín.	-----	-----	-----	5.50	-----	16.00	3.50	N	-----
S 20100	Máx.	0.15	0.030	0.060	7.50	1.00	18.00	5.50	0.25	

SA 240-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
TP 202	Mín.	----	----	----	7.50	----	17.00	4.00	----
S 20200	Máx.	0.15	0.030	0.060	10.0	1.00	19.00	6.00	0.25
TP 302	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	8.00	----
S 30200	Máx.	0.15	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	10.00	0.10
TP 304	Mín.	----	----	----	----	----	18.00	8.00	----
S 30400	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	10.50	0.10
TP 304 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	18.00	8.00	----
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	10.50	----
TP 304 H	Mín.	----	----	----	----	----	18.00	8.00	0.10
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	10.50	0.16
TP 304 LN	Mín.	----	----	----	----	----	18.00	8.00	0.10
S 30453	Máx.	0.035	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	12.00	0.16
TP 304 L	Mín.	----	----	----	----	----	18.00	8.00	----
S 30403	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	12.00	0.10

SA 240-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 316 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	----	
TP 316 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	
S 31603	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	----	
TP 316 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	0.10	
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	0.16	
TP 316 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	0.10	
S 31653	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	0.16	
TP 316 Ti	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.0	----	Ti 5(%C+%N)
S 31635	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.0	0.10	0.70
TP 316 Cb	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.0	----	Nb+Ta 10(%C)
S 31640	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	18.00	14.00	3.0	0.10	1.10
TP 317	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	11.00	3.00	----	
S 31700	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	15.00	4.00	0.10	

SA 240-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
---	Mfn.	---	---	---	---	---	18.00	13.00	4.0	---	---
S 31725	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	17.00	5.0	0.10	---
---	Mfn.	---	---	---	---	---	17.00	13.50	4.0	0.10	---
S 31726	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	17.50	5.0	0.20	---
TP 317 L	Mfn.	---	---	---	---	---	18.00	11.00	3.00	---	---
S 31703	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	15.00	4.00	0.10	---
TP 321	Mfn.	---	---	---	---	---	17.00	9.00	---	---	Ti 5(%C+N)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	12.00	---	0.10	0.70
TP 321 H	Mfn.	0.04	---	---	---	---	17.00	9.00	---	---	Ti 4(%C+N)
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	0.75	17.00	12.00	---	---	0.70
TP 347	Mfn.	---	---	---	---	---	17.00	9.00	---	---	Cb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	13.00	---	---	1.00
TP 347 H	Mfn.	0.04	---	---	---	---	17.00	9.00	---	---	Cb+Ta 8(%C)
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	13.00	---	---	1.00

SA 240-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.		
TP 348	Mfn.	----	-----	-----	----	----	17.00	9.00	----	----	Ta	Co	Nb+Ta
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	13.00	0.10	----	0.10	0.20	10(%C)
TP 348 H	Mfn.	0.04	-----	-----	----	----	17.00	9.00	----	----	Ta	Co	Nb+Ta
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	0.75	19.00	13.00	----	----	0.10	0.20	8(%C)
TP XM-15	Mfn.	----	-----	-----	----	1.50	17.00	17.50	----	----			
S 38100	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	2.50	19.00	18.50	----	----			
-- ---	Mfn.	0.05	-----	-----	----	1.40	20.00	10.00	----	0.14	Ce		
S 30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.00	12.00	----	0.20	0.08		
TP XM-21	Mfn.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----	0.16			
S 30425	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	20.00	10.50	----	0.30			
TP XM-17	Mfn.	----	-----	-----	7.50	----	17.50	5.00	2.00	0.25			
S 21600	Máx.	0.08	0.030	0.045	9.00	0.75	22.00	7.00	3.00	0.50			
TP XM-18	Mfn.	----	-----	-----	7.50	----	17.50	5.00	2.00	0.25			
S 21603	Máx.	0.03	0.030	0.045	9.00	0.75	22.00	7.00	3.00	0.50			

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.	
											V	Nb
TP XM-19	Mín.	----	-----	-----	4.00	----	20.50	11.50	1.50	0.20	0.10	0.10
S 20910	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	0.75	23.50	13.50	3.00	0.40	0.30	0.30
TP XM-29	Mín.	----	-----	-----	11.50	----	17.00	2.25	----	0.20		
S 24000	Máx.	0.08	0.030	0.060	14.50	0.75	19.00	3.75	----	0.40		
TP XM-31	Mín.	----	-----	-----	14.00	0.30	17.00	----	----	0.35		
S 21400	Máx.	0.12	0.030	0.045	16.00	1.00	18.50	1.00	----	----		

SA 240-B6. ACEROS AUSTENITICO-FERRITICOS.(DUPLEX)

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.	
											Cu	
---	Mín.	----	-----	-----	----	----	24.0	4.5	2.0	0.10	1.5	
S 32550	Máx.	0.04	0.030	0.040	1.5	1.0	27.0	6.5	4.0	0.25	2.5	
---	Mín.	----	-----	-----	----	----	24.0	5.5	1.2	0.14		
S 31200	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	26.0	6.5	2.0	0.20		
---	Mín.	----	-----	-----	----	----	21.0	4.50	2.50	0.08		
S 31803	Máx.	0.030	0.020	0.030	2.00	1.00	23.0	6.50	3.50	0.20		
TP 329	Mín.	----	-----	-----	----	----	23.00	2.50	1.0	----		
S 32900	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	0.75	28.00	5.00	2.0	----		

SA 240-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
TP 405	Mín.	----	-----	-----	----	-----	11.5	-----	-----	A1 0.10
S 40500	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	1.00	14.50	0.60	-----	0.30
TP 409	Mín.	----	-----	-----	----	-----	10.50	0.50	-----	T1 6(%C)
S 40900	Máx.	0.08	0.045	0.045	1.00	1.00	11.75	0.50	-----	0.75
TP 410	Mín.	----	-----	-----	----	-----	11.50	-----	-----	
S 41000	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	13.50	0.75	-----	
TP 410 S	Mín.	----	-----	-----	----	-----	11.50	-----	-----	
S 41008	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	1.00	13.50	0.60	-----	
---	Mín.	----	-----	-----	----	-----	10.50	0.60	-----	N
S 41050	Máx.	0.040	0.030	0.045	1.00	1.00	12.50	1.10	-----	0.10
---	Mín.	----	-----	-----	0.5	-----	11.50	3.5	0.5	
S 41500	Máx.	0.05	0.030	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0	
TP 429	Mín.	----	-----	-----	----	-----	14.00	-----	-----	
S 42900	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	1.00	16.00	0.75	-----	

SA 240-86.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.			
TP 430	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	-----	-----				
S 43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	1.00	18.00	0.75	-----				
TP 439	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	-----	-----	Al	N	Titanio	
S 43035	Máx.	0.07	0.030	0.040	1.00	1.00	19.00	0.50	-----	0.15	0.04	0.20+4(%C+%N)	
-----	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.5	-----	1.75	N	Titanio+Culombio		
S 44400	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	1.00	2.50	0.035	0.20+4(%C+%N)		
-----	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.00	-----	0.75	Cb	Cu	N	Ni+Cu
XM 27	Máx.	0.010	0.020	0.020	0.40	0.40	27.50	0.50	1.50	0.20	0.20	0.015	0.50
S44627	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	N	Cu	Titanio	
XM 33	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.00	-----	0.75	-----	-----	0.20 ó 7(%C+%N)	
S 44626	Máx.	0.06	0.020	0.040	0.75	0.75	27.00	0.50	1.50	0.04	0.20	1.00	
-----	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	24.5	3.5	3.5	N	Titanio+Culombio		
S44635	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	0.75	26.0	4.5	4.5	0.035	0.20+4(%C+%N)		
-----	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	1.0	3.0	N	Titanio+Culombio		
S 44660	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	28.0	3.50	3.50	0.040	0.20 ó 6(%C+%N)		

SA 240-86.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.	
	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	-----	3.5	-----	Cu	C+N
S 44700	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	0.15	4.2	0.020	0.15	0.025
	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	2.0	3.5	-----	Cu	C+N
S 44800	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	2.5	4.2	0.020	0.15	0.025
	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.00	-----	3.60	-----	Titanio+Colombio	
S 44735	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	30.00	1.00	4.20	0.045	1.00	0.20 6 6(%C+%N)

SA 249-86. TUBOS CON COSTURA DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO PARA CALDERAS, SOBRECALENTADORES Y TUBOS DE CONDENSADOR.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
TP 201	Mín.	-----	-----	-----	5.50	-----	16.0	3.50	-----
S 20100	Máx.	0.15	0.030	0.060	7.50	1.00	18.0	5.50	0.25
TP 202	Mín.	-----	-----	-----	7.50	-----	17.0	4.00	-----
S 20200	Máx.	0.15	0.030	0.060	10.0	1.00	19.0	6.00	0.25
TP 304	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	-----
S 30400	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	-----

SA 249-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N		
TP 304 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	-----		
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	-----		
TP 304 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	0.10		
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00	0.16		
TP 304 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	0.10		
S 30453	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	0.16		
TP 304 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	-----		
S 30403	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.00	13.00	-----		
TP 309 Cb	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.0	12.0	-----	Cu	Ta
S 30940	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.0	16.0	-----	0.75	1.10
										10(%C)	-----
TP 305	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	10.0	-----		
S 30500	Máx.	0.12	0.030	0.045	2.00	1.00	19.0	13.0	-----		
TP 309	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.0	12.0	-----		
S 30900	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	0.75	24.0	15.0	-----		

SA 249-86.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.	
										Cu	
TP 309 S	Mfn.	----	----	----	----	----	22.0	12.0	----	----	
S 30908	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.0	15.0	0.75	0.75	
TP 310	Mfn.	----	----	----	----	----	24.0	19.0	----	----	
S 31000	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	0.75	26.0	22.0	----	----	
TP 310 Cb	Mfn.	----	----	----	----	----	24.0	19.0	----	Cu	Cb+Ta
S 31040	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.0	22.0	0.75	0.75	10(%C)
										Cu	
TP 310 S	Mfn.	----	----	----	----	----	24.0	19.0	----	----	
S 31008	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.0	22.0	0.75	0.75	
TP 316	Mfn.	----	----	----	----	----	16.0	10.0	2.00	----	
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	----	
TP 316 H	Mfn.	0.04	----	----	----	----	16.0	10.0	2.00	----	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	----	
TP 316 L	Mfn.	----	----	----	----	----	16.0	10.0	2.00	----	
S 31603	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	15.0	3.00	----	

SA 249-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 316 N	Mín.	----	-----	-----	----	----	16.0	10.0	2.00	0.10	
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16	
TP 316 LN	Mín.	----	-----	-----	----	----	16.0	10.0	2.00	0.10	
S 31653	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	15.0	3.00	0.16	
TP 317	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.0	11.0	3.00	----	
S 31700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	14.0	4.00	----	
TP 317 L	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.0	11.0	3.00	----	
S 31703	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	15.0	4.00	----	
TP 321	Mín.	----	-----	-----	----	----	17.0	9.00	----	----	T1 5(%C)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.70
TP 321 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	T1 4(%C)
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	0.60
TP 347	Mín.	----	-----	-----	----	----	17.0	9.00	-----	-----	Nb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	1.00

SA 249-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 347 H	Mfn.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	Ti 8(%C)
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	1.00
TP 348	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	Ta Nb+Ta 10(%C)
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	0.10 1.00
TP 348 H	Mfn.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	Ta Nb+Ta 8(%C)
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	0.10 1.0
TP XM-15	Mfn.	-----	-----	-----	-----	1.50	17.0	17.50	-----	-----	
S 38100	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	2.50	19.00	18.50	-----	-----	
TP XM-19	Mfn.	-----	-----	-----	4.00	-----	20.50	11.50	1.50	0.20	V Nb+Ta 0.10 0.10
S 20910	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.40	0.30 0.30
TP XM-29	Mfn.	-----	-----	-----	11.50	-----	17.00	2.25	-----	0.20	
S 24000	Máx.	0.08	0.030	0.040	14.50	1.00	19.00	3.75	-----	0.40	
---	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	19.50	17.50	6.00	0.180	Cu 0.50
S 31254	Máx.	0.020	0.010	0.030	1.00	0.80	20.50	18.50	6.50	0.220	1.00

SA 249-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
	Mín.	0.05	-----	-----	-----	1.40	20.0	10.0	-----	0.14	Ce 0.03
S 30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.0	12.0	-----	0.20	0.08
	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	13.00	4.0	-----	Cu -----
S 31725	Máx.	0.03	0.030	0.045	2.00	0.75	20.0	17.00	5.0	0.10	0.75
	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	13.00	4.0	0.10	Cu -----
S 31726	Máx.	0.03	0.030	0.045	2.00	0.75	20.0	17.00	5.0	0.20	0.75

SA 268-86a. TUBO DELGADO DE ACERO INOXIDABLE FERRITICO CON Y SIN COSTURA,
PARA SERVICIO GENERAL.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
TP 405	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	0.10	
S 40500	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	0.75	13.5	0.50	0.30	
TP 410	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	-----	
S 41000	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	0.75	13.5	0.50	-----	
TP 429	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	14.0	-----	-----	
S 42900	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	16.0	0.50	-----	

SA 268-86a.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
TP 430	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	----	----			
S 43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	0.75	18.0	0.50	----			
										Cu		
TP 443	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	----	----	0.90		
S 44300	Máx.	0.20	0.030	0.040	1.00	0.75	23.0	0.50	----	1.25		
										N		
TP 446	Mín.	----	----	----	----	----	23.0	----	----	0.10		
S 44600	Máx.	0.20	0.030	0.040	1.50	0.75	30.0	0.50	----	0.25		
TP 329	Mín.	----	----	----	----	----	23.0	2.50	1.0			
S 32900	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	0.75	28.0	5.00	2.0			
										Ti		
----	Mín.	----	----	----	----	----	11.5	----	----	12(%C)		
S 40800	Máx.	0.08	0.045	0.045	1.00	1.00	13.0	0.80	----	1.10		
										Ti		
TP 409	Mín.	----	----	----	----	----	10.5	----	----	6(%C)		
S 40900	Máx.	0.08	0.045	0.045	1.00	1.00	11.75	0.50	----	0.75		
										Al	N	Ti
TP 439	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	----	----	----	----	0.20+4(C+N)
S 43035	Máx.	0.07	0.030	0.040	1.00	1.00	19.00	0.50	----	0.15	0.04	1.10

SA 268-86a.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
-----	Mín.	-----	-----	-----	0.5	-----	11.5	3.5	0.5			
S 41500	Máx.	0.05	0.03	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0			
TP 430 T1	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	-----	-----	T1 5(%C)		
S 43036	Máx.	0.10	0.030	0.040	1.00	1.00	19.50	0.75	-----	0.75		
TP XM-27	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	-----	0.75	Cu	N	
S 44627	Máx.	0.01	0.02	0.02	0.40	0.40	27.5	0.5	1.50	0.2	0.015	
TP XM-33	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	-----	0.75	Cu	N	T1
S 44626	Máx.	0.06	0.020	0.040	0.75	0.75	27.0	0.50	1.50	0.20	0.040	7(%C+%N) 1.00
18Cr 2Mo	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.5	-----	1.75	N	T1+Cb	
S 44400	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	1.00	2.50	0.035	0.20+4(C+N) 0.80	
29-4	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	-----	3.5	N	Cu	C+N
S 44700	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	0.15	4.2	0.020	0.15	0.025
29-4-2	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.0	2.0	3.5	N	Cu	C+N
S 44800	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.0	2.5	4.2	0.020	0.15	0.025

SA 268-86a.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Titanio+Columbio
26-3-3	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	25.0	1.0	3.0	-----	0.20 6(%C+%N)
S 44660	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	28.0	3.50	3.50	0.040	1.00 -----
25-4-4	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	24.5	3.5	3.5	-----	0.20+4(%C+%N)
S 44635	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	0.75	26.0	4.5	4.5	0.035	0.80
-----	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	28.00	-----	3.60	-----	0.20 6(%C+%N)
S 44735	Máx.	0.030	0.030	0.040	1.00	1.00	30.00	1.00	4.20	0.045	1.00 -----

SA 312-86b. TUBO DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO CON Y SIN COSTURA.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
TP 304	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	-----
S 30400	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	-----
TP 304 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	-----
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	-----
TP 304 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	0.10
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	0.16

SA 312-86b.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N	Mo	Nb+Ta 10(%C)	Cu
TP 304 LN	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	8.00	0.10			
S 30453	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	0.16			
TP 304 L	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	8.00	----			
S 30403	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----			
TP 309 Cb	Mín.	----	----	----	----	----	22.00	12.00	----	Mo	Nb+Ta 10(%C)	Cu
S 30940	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	16.00	----	0.75	1.10	0.75
TP 309 S	Mín.	----	----	----	----	----	22.00	12.00	----	Mo	Cu	
S 30908	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	24.00	15.00	----	0.75	0.75	
TP 310	Mín.	----	----	----	----	----	24.0	19.0	----			
S 31000	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	0.75	26.0	22.0	----			
TP 309	Mín.	----	----	----	----	----	22.0	12.0	----			
S 30900	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	0.75	24.0	15.0	----			
TP 310 Cb	Mín.	----	----	----	----	----	24.00	19.00	----	Mo	Cu	Nb+Ta 10(%C)
S 31040	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.00	22.00	----	0.75	0.75	1.10

SA 312-86b.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS. Cu
TP 310 S	Mín.	----	----	----	----	----	24.00	19.00	----	----
S 31008	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	0.75	26.00	22.00	0.75	0.75
TP 316	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	
TP 316 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	
TP 316 L	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	10.0	2.00	
S 31603	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	15.0	3.00	
TP 316 N	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	N 0.10
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16
TP 316 LN	Mín.	----	----	----	----	----	16.0	11.0	2.00	N 0.10
S 31653	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	15.0	3.00	0.16
TP 317	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	11.0	3.00	----
S 31700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	14.0	4.00	----

SA 312-86b.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 317 L	Mín.	----	-----	-----	----	-----	18.0	11.0	3.00	----	
S 31703	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	15.0	4.00	----	
TP 321	Mín.	----	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Ti 5(%C)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.70
TP 321 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Ti 4(%C)
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.60
TP 347	Mín.	----	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Nb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	1.00
TP 347 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Nb+Ta 8(%C)
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	1.00
TP 348	Mín.	----	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Ta Nb+Ta 10(%C)
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.10 1.00
TP 348 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	-----	17.0	9.00	----	----	Ta Nb+Ta 8(%C)
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.10 1.0

SA 312-86b.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
-- ---	Mín.	-----	-----	-----	-----	3.7	17.0	14.0	-----	-----	Cu
S 01815	Máx.	0.018	0.02	0.02	2.00	4.3	18.5	15.5	0.20	-----	0.50
TP XM-15	Mín.	-----	-----	-----	-----	1.50	17.0	17.50	-----	-----	
S 38100	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	2.50	19.00	18.50	-----	-----	
TP XM-19	Mín.	-----	-----	-----	4.00	-----	20.50	11.50	1.50	0.20	V Nb+Ta
S 20910	Máx.	0.060	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.40	0.10 0.10
TP XM-29	Mín.	-----	-----	-----	11.50	-----	17.0	2.25	-----	0.20	
S 24000	Máx.	0.080	0.030	0.060	14.50	1.00	19.0	3.75	-----	0.40	
-- ---	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	19.50	17.50	6.00	0.180	Cu
S 31254	Máx.	0.020	0.010	0.030	1.00	0.80	20.50	18.50	6.50	0.220	1.00
TP XM-10	Mín.	-----	-----	-----	8.00	-----	10.00	5.50	-----	0.15	
S 21900	Máx.	0.08	0.030	0.040	10.00	1.00	21.50	7.50	-----	0.40	
TP XM-11	Mín.	-----	-----	-----	8.00	-----	19.00	5.50	-----	0.15	
S 21903	Máx.	0.04	0.030	0.040	10.00	1.00	21.50	7.50	-----	0.40	

SA 312-86b.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
---	Mín.	0.05	-----	-----	----	1.40	20.0	10.0	----	0.14	Ce 0.03
S 30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.0	12.0	----	0.20	0.08
---	Mín.	-----	-----	-----	----	----	18.0	13.0	4.0	----	Cu ----
S 31725	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	17.0	5.0	0.10	0.75
---	Mín.	-----	-----	-----	----	----	17.0	13.5	4.0	0.10	Cu ----
S 31726	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	17.5	5.0	0.20	0.75

SA 336-86a. COLECTORES DE VAPOR DE ACERO ALEADO FORJADO Y SIN COSTURA.

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
F 1	Mín.	0.20	-----	-----	0.60	0.20	-----	0.40	
	Máx.	0.30	0.040	0.040	0.80	0.35	-----	0.65	
F 11 y	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.45	
F 11a	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	1.00	1.50	0.65	
F 11b	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44	
	Máx.	0.15	0.03	0.03	0.60	1.00	1.50	0.65	

SA 336-86a.

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
F 12	Mín.	0.10	-----	-----	0.30	0.10	0.80	0.45	
	Máx.	0.20	0.040	0.040	0.80	0.60	1.10	0.65	
F 5	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	4.0	0.45	Ni
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.0	0.65	0.50
F 5a	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	4.0	0.45	Ni
	Máx.	0.25	0.030	0.040	0.60	0.50	6.0	0.65	0.50
F 9	Mín.	-----	-----	-----	0.30	0.50	8.00	0.90	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10	
F 6	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.5	-----	Ni
	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	1.00	13.5	-----	0.50
F 21 y	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.65	0.80	
F 21a	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.25	1.06	
F 22 y	Mín.	-----	-----	-----	0.30	-----	2.00	0.90	
F 22a	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.50	1.10	

SA 336-86a.

Clase.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mó	V	OTROS.		
F 30	Mín.	----	----	----	0.50	0.15	----	----	0.30	0.10			
	Máx.	0.45	0.040	0.040	0.90	0.45	----	----	0.60	0.25			
F 31	Mín.	----	----	----	0.50	0.10	----	2.25	0.20	----			
	Máx.	0.35	0.040	0.040	0.90	0.40	----	3.00	0.50	0.15			
F 32	Mín.	----	----	----	0.50	0.15	3.00	0.50	0.30	0.05			
	Máx.	0.35	0.040	0.040	0.90	0.45	3.60	1.00	0.50	0.15			
FXM-27Cb	Mín.	----	----	----	----	----	25.0	----	0.75	----	N	Cb	Cu
	Máx.	0.01	0.02	0.02	0.40	0.40	27.5	0.50	1.50	----	0.015	0.05	0.20
F 91	Mín.	0.08	----	----	0.30	0.20	8.00	----	0.85	0.18	N	Cb	Al
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	0.40	1.05	0.25	0.03	0.06	----
F 21b	Mín.	0.10	----	----	0.30	----	2.65	----	0.90	0.20	B	Ti	
	Máx.	0.15	0.020	0.020	0.60	0.10	3.25	----	1.10	0.30	0.001	0.015	

ACEROS AUSTENITICOS.

SA 336-86a.

Clase y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N	
F 304	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	----	
S 30408	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	11.00	----	
F 304 M	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	----	
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	11.00	----	
F 304 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	0.10	
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	0.75	20.00	11.00	0.16	
F 304 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	0.10	
S 30453	Máx.	0.030	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	11.00	0.16	
F 304 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.00	8.00	----	
S 30403	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	----	
F 316	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	----	Mo 2.00
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	14.00	----	3.00

SA 336-86a.

Clase y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
F 316 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	-----	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	-----	
F 316 L	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	-----	
S 31603	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	15.00	3.00	-----	
F 316 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	11.00	2.00	0.10	
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.00	0.75	18.00	14.00	3.00	0.16	
F 316 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	0.10	
S 31653	Máx.	0.030	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.16	
F 321	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	-----	Ti 5(%C)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.035	2.50	0.85	-----	-----	-----	-----	0.60
F 321 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	-----	Ti 4(%C)
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	-----	12.00	-----	-----	0.60
F 347	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	9.00	-----	-----	Nb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.80	19.00	12.00	-----	-----	1.00

SA 336-86a.

Clase y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.	
F 347 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	17.00	9.00	-----	-----	Nb+Ta 8(%C)	
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	-----	1.00	
F 348	Mín.	-----	-----	-----	----	----	17.00	9.00	-----	-----	Ta	Nb+Ta 10(%C)
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	-----	0.10	1.00
F 348 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	17.00	9.00	-----	-----	Ta	Nb+Ta 8(%C)
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	13.00	-----	-----	0.10	1.0
F 310	Mín.	-----	-----	-----	----	----	24.00	19.00	-----	-----		
S 31000	Máx.	0.15	0.030	0.040	2.00	1.00	26.00	22.00	-----	-----		
F XM-19	Mín.	-----	-----	-----	4.00	-----	20.50	11.50	1.50	0.20	0.10	0.10
S 20910	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.40	0.30	0.30
F XM-11	Mín.	-----	-----	-----	8.00	-----	19.00	5.50	-----	0.15		
S 21903	Máx.	0.04	0.030	0.060	10.00	1.00	21.50	7.50	-----	0.40		

SA 351-86. FUNDICION DE ACERO AUSTENITICO, PARA SERVICIO A TEMPERATURA ELEVADA.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
CF 3, y	Mín.	----	----	----	----	----	17.0	8.0	----	
CF 3A	Máx.	0.03	0.040	0.040	1.50	2.00	21.0	12.0	0.50	
CF 8, y	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	8.0	----	
CF 8A	Máx.	0.08	0.040	0.040	1.50	2.00	21.0	11.0	0.50	
CF 3M, y	Mín.	----	----	----	----	----	17.0	9.0	2.0	
CF 3MA	Máx.	0.03	0.040	0.040	1.50	1.50	21.0	13.0	3.0	
CF 8M	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	9.0	2.0	
	Máx.	0.08	0.040	0.040	1.50	1.50	21.0	12.0	3.0	
CF 8C	Mín.	----	----	----	----	----	18.0	9.0	----	Nb 8(±C)
	Máx.	0.08	0.040	0.040	1.50	2.00	21.0	12.0	0.50	1.00
CF 10	Mín.	0.04	----	----	----	----	18.0	8.0	----	
	Máx.	0.10	0.040	0.040	1.50	2.00	21.0	11.0	0.50	

SA 351-86.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
CF 10M	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.0	9.0	2.0	
	Máx.	0.10	0.040	0.040	1.50	1.50	21.0	12.0	3.0	
CH 8	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.0	12.0	-----	
	Máx.	0.08	0.040	0.040	1.50	1.50	26.0	15.0	0.50	
CH 10	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.0	12.0	-----	
	Máx.	0.10	0.040	0.040	1.50	2.00	26.0	15.0	0.50	
CH 20	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	22.0	12.0	-----	
	Máx.	0.20	0.040	0.040	1.50	2.00	26.0	15.0	0.50	
CK 20	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	23.0	19.0	-----	
	Máx.	0.20	0.040	0.040	1.50	1.75	27.0	22.0	0.50	
HK 30	Mín.	0.25	-----	-----	-----	-----	23.0	19.0	-----	
	Máx.	0.35	0.040	0.040	1.50	1.75	27.0	22.0	0.50	
HK 40	Mín.	0.35	-----	-----	-----	-----	23.0	19.0	-----	
	Máx.	0.45	0.040	0.040	1.50	1.75	27.0	22.0	0.50	

SA 351-86.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	NI	Mo	OTROS.		
HT 30	Mín.	0.25	-----	-----	-----	-----	13.0	33.0	-----			
	Máx.	0.35	0.040	0.040	2.00	2.50	17.0	37.0	0.50			
CF 10MC	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	15.0	13.0	1.75	Nb 10(%C)		
	Máx.	0.10	0.040	0.040	1.50	1.50	18.0	16.0	2.25	1.20		
CN 7M	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	19.0	27.5	2.0	Cu 3.0		
	Máx.	0.07	0.040	0.040	1.50	1.50	22.0	30.5	3.0	4.0		
CD 4MCu	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	24.5	4.75	1.75	Cu 2.75		
	Máx.	0.04	0.040	0.040	1.00	1.00	26.5	6.00	2.25	3.25		
CG 6Mn	Mín.	-----	-----	-----	4.00	-----	20.50	11.50	1.50	Nb 0.10	V 0.10	N 0.20
	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.30	0.30	0.40
CG 8M	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	18.0	9.0	3.0			
	Máx.	0.08	0.04	0.04	1.50	1.50	21.0	13.0	4.0			
CF 10SMnN	Mín.	-----	-----	-----	7.00	3.50	16.0	8.0	0.08			
	Máx.	0.10	0.030	0.060	9.00	4.50	18.0	9.0	0.18			

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Nb
CT 15C	Mín.	0.05	-----	-----	0.15	0.50	19.0	31.0	0.50
	Máx.	0.15	0.03	0.03	1.50	1.50	21.0	34.0	1.50

SA 369-85b. TUBO DE ACERO ALEADO FERRITICO, FORJADO Y TALADRADO PARA SERVICIO A TEMPERATURA ELEVADA.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.					
FP 11	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	1.00	0.44						
	Máx.	0.15	0.03	0.03	0.60	1.00	1.50	0.65						
FP 5	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	4.00	0.45						
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	6.00	0.65						
FP 9	Mín.	----	-----	-----	0.30	0.50	8.00	0.90						
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	10.00	1.10						
FP 21	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	2.65	0.80						
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	3.35	1.06						
FP 91	Mín.	0.08	-----	-----	0.30	0.20	8.00	0.85	----	0.18	0.03	0.06	----	
	Máx.	0.12	0.010	0.020	0.60	0.50	9.50	1.05	0.40	0.25	0.07	0.10	0.04	

SA 369-85b.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
FP A	Mfn.	----	----	----	0.27	0.10	----	----	
	Máx.	0.25	0.058	0.048	0.93	----	----	----	
FP B	Mfn.	----	----	----	0.29	0.10	----	----	
	Máx.	0.30	0.058	0.048	1.06	----	----	----	
FP 1	Mfn.	0.10	----	----	0.30	0.10	----	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.80	0.50	----	0.65	
FP 2	Mfn.	0.10	----	----	0.30	0.10	0.50	0.44	
	Máx.	0.20	0.045	0.045	0.61	0.30	0.81	0.65	
FP 3b	Mfn.	----	----	----	0.30	----	1.65	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.35	0.65	
FP 7	Mfn.	----	----	----	0.30	0.50	6.00	0.44	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	1.00	8.00	0.65	
FP 12	Mfn.	----	----	----	0.30	----	0.80	0.44	
	Máx.	0.15	0.045	0.045	0.61	0.50	1.25	0.65	

SA 369-85b.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	OTROS.
FP 22	Mín.	----	-----	-----	0.30	----	1.90	0.87	
	Máx.	0.15	0.030	0.030	0.60	0.50	2.60	1.13	

SA 376-86. TUBOS SIN COSTURA DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO,
PARA USARSE A ALTAS TEMPERATURAS EN CENTRALES GENERADORAS DE ENERGIA.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N	Mo
TP 304 S 30400	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.0	8.00	----	
	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00	----	
TP 304 H S 30409	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	18.0	8.00	----	
	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00	----	
TP 304 N S 30451	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.0	8.00	0.10	
	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00	0.16	
TP 304 LN S 30453	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.0	8.00	0.10	
	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.00	0.16	
TP 316 S 31600	Mín.	----	-----	-----	----	----	16.0	11.0	----	2.00
	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	----	3.00

SA 376-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 316 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.0	11.0	2.00	----	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	----	
TP 316 N	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.0	11.0	2.00	0.10	
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16	
TP 316 LN	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	16.0	11.0	2.00	0.10	
S 31653	Máx.	0.035	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16	
TP 321	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	T1 5(%C)
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	0.60
TP 321 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	T1 4(%C)
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	0.60
TP 347	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	Nb+Ta 10(%C)
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	1.00
TP 347 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	-----	Nb+Ta 8(%C)
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	-----	1.00

SA 376-86.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 348	Mfn.	----	----	----	----	----	17.0	9.00	----	----	10(%C)
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	----	----	0.10 1.00
----	Mfn.	----	----	----	----	----	18.0	13.00	4.0	----	----
S 31725	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	17.00	5.0	0.10	0.75
----	Mfn.	----	----	----	----	----	17.0	13.50	4.0	0.10	----
S 31726	Máx.	0.03	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	17.50	5.0	0.20	0.75
TP 16-8-2	Mfn.	0.05	----	----	----	----	14.5	7.50	1.5	----	----
-----	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	16.5	9.50	2.0	----	----

SA 430-85a. TUBOS DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO FORJADO Y TALADRADO, PARA SERVICIO A TEMPERATURA ELEVADA.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
FP 304 δ	Mfn.	0.04	----	----	----	----	18.0	8.00	----
FP304 H	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	----

SA 430-85a.

Grado	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.
FP 304 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	18.0	8.00	-----	N 0.10
	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	11.0	-----	0.16
FP 3166	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.0	11.00	2.00	
FP 316 H	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	
FP 316 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.0	11.00	2.00	N 0.10
	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	18.0	14.0	3.00	0.16
FP 321 6	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	Ti 4(%C)
FP 321 H	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	0.60
FP 347 6	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.0	9.00	-----	Nb 8(%C)
FP 347 H	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	20.0	13.0	-----	1.00
FP 16-8-2H	Mín.	0.05	-----	-----	-----	-----	14.5	7.50	1.5	
	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	0.75	16.5	9.50	2.0	

SA 479-85c. BARRAS Y LAMINAS DE ACERO INOXIDABLE Y RESISTENTE AL CALOR,
PARA SER USADAS EN CALDERAS Y OTROS RECIPIENTES A PRESION.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.	
											Nb	V
TP XM-19	Mín.	-----	-----	-----	4.00	----	20.50	11.50	1.50	0.20	0.10	0.10
S 20910	Máx.	0.06	0.030	0.040	6.00	1.00	23.50	13.50	3.00	0.40	0.30	0.300
TP XM-17	Mín.	-----	-----	-----	7.50	----	17.50	5.00	2.00	0.25		
S 21600	Máx.	0.08	0.030	0.045	9.00	1.00	22.00	7.00	3.00	0.50		
TP XM-18	Mín.	-----	-----	-----	7.50	----	17.50	5.00	2.00	0.25		
S 21603	Máx.	0.03	0.030	0.045	9.00	1.00	22.00	7.00	3.00	0.50		
-----	Mín.	-----	-----	-----	7.00	3.50	16.00	8.00	----	0.08		
S 21800	Máx.	0.10	0.030	0.060	9.00	4.50	18.00	9.00	----	0.18		
TP XM-11	Mín.	-----	-----	-----	8.00	----	19.00	5.50	----	0.15		
S 21904	Máx.	0.04	0.030	0.060	10.00	1.00	21.50	7.50	----	0.40		
TP XM-29	Mín.	-----	-----	-----	11.50	----	17.00	2.25	----	0.20		
S 24000	Máx.	0.08	0.030	0.060	14.50	1.00	19.00	3.75	----	0.40		

SA 479-85c.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N
TP XM-29	Mín.	----	-----	-----	11.50	----	17.00	2.25	0.20
S 24000	Máx.	0.080	0.030	0.060	14.50	1.00	19.00	3.75	0.40
TP 302	Mín.	----	-----	-----	----	----	17.00	8.00	----
S 30200	Máx.	0.15	0.030	0.045	2.00	1.00	19.00	10.00	0.10
TP 304	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----
S 30400	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	10.50	0.10
TP 304 H	Mín.	0.04	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----
S 30409	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	20.00	10.50	----
TP 304 N	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	0.10
S 30451	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	12.00	0.16
TP 304 LN	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	0.10
S 30453	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	12.00	0.16
TP 304 L	Mín.	----	-----	-----	----	----	18.00	8.00	----
S 30403	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	12.00	0.10

SA 479-85c.

Grado.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N		
--- ---	Mín.	---	---	---	---	1.40	20.00	10.00	0.14		
S 30815	Máx.	0.10	0.030	0.040	0.80	2.00	22.00	12.00	0.20		
TP ER 308	Mín.	---	---	---	1.00	0.25	19.50	9.00	---		
S 30880	Máx.	0.08	0.030	0.030	2.50	0.60	22.00	11.00	---		
TP 309 Cb	Mín.	---	---	---	---	---	22.00	12.00	---	Nb+Ta	
S 30940	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	24.00	16.00	---	10(%C)	1.10
TP 309 S	Mín.	---	---	---	---	---	22.00	12.00	---		
S 30908	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	24.00	15.00	---		
TP 310 Cb	Mín.	---	---	---	---	---	24.00	19.00	---	Nb+Ta	
S 31040	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.50	26.00	22.00	0.10	10(%C)	1.10
TP 310 S	Mín.	---	---	---	---	---	24.00	19.00	---		
S 31008	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.50	26.00	22.00	---		
--- ---	Mín.	---	---	---	---	---	19.50	17.50	0.18	Mo	Cu
S 31254	Máx.	0.020	0.010	0.030	1.00	0.80	20.50	18.50	0.22	6.50	1.00

SA 479-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.
TP 316	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	
S 31600	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.10	
TP 316 H	Mín.	0.04	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	
S 31609	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	----	
TP 316 L	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	
S 31603	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.10	
TP 316 N	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	0.10	
S 31651	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.16	
TP 316 LN	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	11.00	2.00	0.10	
S 31653	Máx.	0.030	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.16	
TP 316 T1	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	Ti
S 31635	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.10	5(%C+%N)
TP 316 Cb	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	16.00	10.00	2.00	----	Nb+Ta
S 31640	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	18.00	14.00	3.00	0.10	10(%C)
											1.10

SA 479-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	OTROS.		
TP 321	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	9.00	----	----	T1		
S 32100	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	19.00	12.00	----	----	5(%C+%N)		
TP 321 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	17.00	9.00	----	----	T1		
S 32109	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	19.00	12.00	----	----	4(%C+N)		
TP 347	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	9.00	----	----	Nb+Ta		
S 34700	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	19.00	13.00	----	----	10(%C)		
TP 347 H	Mín.	0.04	----	----	----	----	17.00	9.00	----	----	Nb		
S 34709	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	19.00	13.00	----	----	8(%C)		
TP 348	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	9.00	----	----	Ta	Co	Nb+Ta
S 34800	Máx.	0.08	0.030	0.045	2.00	1.00	19.00	13.00	----	----	0.01	0.20	10(%C)
----	Mín.	----	----	----	----	----	18.00	13.00	4.0	----	Cu		
S 31725	Máx.	0.03	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	17.00	5.0	0.10	0.75		
----	Mín.	----	----	----	----	----	17.00	13.50	4.0	0.10	Cu		
S 31726	Máx.	0.03	0.030	0.045	2.00	1.00	20.00	17.50	5.0	0.20	0.75		

SA 479-85c.

Grado y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Co	Nb
TP 348-H	Mfn.	0.04	-----	-----	-----	-----	17.00	-----	8(%C)
S 34809	Máx.	0.10	0.030	0.040	2.00	1.00	19.00	0.20	1.00

GRADO AUSTENÍTICO-FERRÍTICO.

U.N.S.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu
S 32550	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	24.0	4.50	2.0	0.10	1.50
	Máx.	0.04	0.030	0.040	1.50	1.0	27.0	6.50	4.0	0.25	2.50

ACEROS MARTENSÍTICOS.

Tipo y UNS	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	OTROS.
TP 403	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.50	
S 40300	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	0.50	13.00	
TP 410	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.50	
S 41000	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	13.50	
TP XM-30	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.50	Nb 0.05
S 41040	Máx.	0.18	0.030	0.040	1.00	1.00	12.50	0.30
TP 414	Mfn.	-----	-----	-----	-----	-----	11.50	Ni 1.25
S 41400	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	12.50	2.50

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
---	Mín.	---	---	---	0.5	---	11.50	3.5	0.5
S 41500	Máx.	0.05	0.030	0.030	1.0	0.60	14.0	5.5	1.0

SA 479-85c. ACEROS FERRITICOS.

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS.		
TP 405	Mín.	---	---	---	---	---	11.50	---	---	Al 0.10		
S 40500	Máx.	0.08	0.030	0.040	1.00	1.00	14.50	0.60	---	0.30		
TP 430	Mín.	---	---	---	---	---	16.00	---	---			
S 43000	Máx.	0.12	0.030	0.040	1.00	1.00	18.00	---	---			
TP XM-8	Mín.	---	---	---	---	---	17.00	---	---	N Titanio 0.20+4(%C+%N)		
S 43035	Máx.	0.07	0.030	0.040	1.00	1.00	19.00	0.50	---	0.04 1.10		
---	Mín.	---	---	---	---	---	17.5	---	1.75	N Titanio+Cb 0.20+4(%C+%N)		
S 44400	Máx.	0.025	0.030	0.040	1.00	1.00	19.5	1.00	2.50	0.035 0.80		
XM 27	Mín.	---	---	---	---	---	25.00	---	0.75	Cb Cu N 0.05 --- ---		
S44627	Máx.	0.010	0.02	0.02	0.40	0.40	27.50	0.50	1.50	0.20 0.20 0.015		
---	Mín.	---	---	---	---	---	28.00	---	3.50	N Cu C+H --- --- ---		
S 44700	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.00	0.15	4.20	0.020 0.15 0.025		

Tipo y UNS.	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	C+N
	Mín.						28.00	2.00	3.50			
S 44800	Máx.	0.010	0.020	0.025	0.30	0.20	30.00	2.50	4.20	0.020	0.15	0.025

ALEACIONES DE BASE NIQUEL.

Las normas ASME SB 407, SB 408, SB 409, SB 423, SB 424, y SB 425, contienen de manera repetida 5 tipos o grados de aleaciones U.N.S. Estos grados, y sus normas son:

- SB 407; SB 408 y SB 409: UNS N 08800; N 08810 y N 08811.
- SB 423; SB 424 y SB 425: UNS N 08825; N 08221.

En la tabla de la siguiente página, pueden consultarse las composiciones químicas.

ALEACIONES DE BASE NIQUEL.

U.N.S.	%	C	S	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe	Al	Ti	Al+Ti
N 08800	Mín.	-----	-----	---	---	19.0	30.0	---	-----	39.5	0.15	0.15	----
	Máx.	0.10	0.015	1.5	1.0	23.0	35.0	---	0.75	-----	0.60	0.60	----
N 08810	Mín.	0.05	-----	---	---	19.0	30.0	---	-----	39.5	0.15	0.15	----
	Máx.	0.10	0.015	1.5	1.0	23.0	35.0	---	0.75	-----	0.60	0.60	----
N 08811	Mín.	0.06	-----	---	---	19.0	30.0	---	-----	39.5	0.15	0.15	0.85
	Máx.	0.10	0.015	1.5	1.0	23.0	35.0	---	0.75	-----	0.60	0.60	1.20
N 08825	Mín.	-----	-----	---	---	19.5	38.0	2.5	1.5	22.0	-----	0.6	----
	Máx.	0.05	0.03	1.0	0.5	23.5	46.0	3.5	3.0	-----	0.2	1.2	----
N 08221	Mín.	-----	-----	---	---	20.0	39.0	5.0	1.5	22.0	-----	0.6	----
	Máx.	0.025	0.03	1.0	0.5	22.0	46.0	6.5	3.0	-----	0.2	1.0	----

ALEACIONES DE BASE COBRE PARA EL CONDENSADOR.

U. N. S.	%	Cu	P	OTROS.								Impurezas
				Pb	Zn	Hg	Cd	Se	S	Bi	O ₂	
C 10100	Mín.	99.99	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Máx.	-----	0.0003	0.0010	0.0001	0.0001	0.0001	0.0010	0.0018	0.0010	0.0010	0.0040
C 10200	Mín.	99.95	-----									
	Máx.	-----	-----									
C 10300	Mín.	99.95	0.001									
	Máx.	-----	0.005									
C 10800	Mín.	99.95	0.005									
	Máx.	-----	0.012									
C 12000	Mín.	99.90	0.004									
	Máx.	-----	0.012									
C 12200	Mín.	99.9	0.015									
	Máx.	-----	0.040									
C 14200	Mín.	99.40	0.015	As 0.15								
	Máx.	-----	0.040	0.50								
C 19200	Mín.	98.7	0.01	Fe 0.8								
	Máx.	-----	0.04	1.2								

U. N. S.	%	Cu	Sn	Al	Pb	Fe	Zinc	O TROS.			
C 23000	Mín.	84.0	----	----	----	----	Remanente				
	Máx.	86.0	----	----	0.05	0.05	Remanente				
C 28000	Mín.	59.0	----	----	----	----	Remanente				
	Máx.	63.0	----	----	0.30	0.07	Remanente				
C 44300	Mín.	70.0	0.9	----	----	----	Remanente	As 0.02			
	Máx.	73.0	1.2	----	0.07	0.06	Remanente	0.06			
C 44400	Mín.	70.0	0.9	----	----	----	Remanente	Sb 0.02			
	Máx.	73.0	1.2	----	0.07	0.06	Remanente	0.10			
C 44500	Mín.	70.0	0.9	----	----	----	Remanente	P 0.02			
	Máx.	73.0	1.2	----	0.07	0.06	Remanente	0.10			
C 60800	Mín.	Rema-	---	5.0	----	----	-----	As 0.02			
	Máx.	nente	---	6.5	0.10	0.10	-----	0.35			
C 61300	Mín.	Rema-	0.20	6.0	----	2.0	-----	Ni	Mn	P	Si
	Máx.	nente	0.50	7.5	0.01	3.0	0.10	0.15	0.20	0.015	0.10
C 61400	Mín.	Rema-	----	6.0	----	1.5	-----	Ni	Mn		
	Máx.	nente	----	8.0	0.01	3.5	0.20	----	1.0		

ALEACIONES DE BASE COBRE PARA EL CONDENSADOR.

U.N.S.	%	Cu	Ni+Co	Pb	Fe	Zn	Mn	Otros.	
								Al	As
C 68700	Mín.	76.0	----	----	----	Rema-	----	1.8	0.02
	Máx.	79.0	----	0.07	0.06	nente	----	2.5	0.06
C 70400	Mín.	Remanente	4.8	----	1.3	----	0.30		
	Máx.	Remanente	6.2	0.05	1.7	1.0	0.80		
C 70600	Mín.	Remanente	9.0	----	1.0	----	----		
	Máx.	Remanente	11.0	0.05	1.8	1.0	1.0		
C 71000	Mín.	Remanente	19.0	----	0.50	----	----		
	Máx.	Remanente	23.0	0.05	1.0	1.0	1.0		
C 71500	Mín.	Remanente	29.0	----	0.40	----	----		
	Máx.	Remanente	33.0	0.05	1.0	1.0	1.0		
C 71640	Mín.	Remanente	29.0	----	1.7	----	1.5		
	Máx.	Remanente	32.0	0.05	2.3	1.0	2.5		
C 72200	Mín.	Remanente	15.0	----	0.50	----	----	Cr	0.30
	Máx.	Remanente	18.0	0.05	1.0	1.0	1.0		0.70

NOTA: Las aleaciones de cobre anteriores, son adecuadas para tubos, y se encuentran en las normas SB 42; SB 43; SB 75 y SB 111 sin cambios, por lo cual se les incluyó en un solo listado.

ALEACIONES BASE COBRE DE FUNDICION PARA USARSE A ALTA TEMPERATURA.

NORMA	U.N.S.	%	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	ELEMENTOS RESIDUALES.					
								Fe	Sb	S	P	Al	Si
SB 61	C 92200	Mfn.	86.0	5.5	1.0	3.0	---	----	----	----	----	----	----
		Máx.	90.0	6.5	2.0	5.0	1.0	0.25	0.25	0.05	0.05	0.005	0.005
SB 62	C 83600	Mfn.	84.0	4.0	4.0	4.0	---	----	----	----	----	----	----
		Máx.	86.0	6.0	6.0	6.0	1.0	0.30	0.25	0.08	0.05	0.005	0.005

ALEACIONES USADAS EN LAS TURBINAS.

Las aleaciones adecuadas para ser usadas en los diversos componentes de las turbinas, no se encuentran en el código ASME como es el caso de los materiales del generador de vapor, lo que dificulta su selección.

Sin embargo, existen algunas normas ASTM para algunos componentes de las turbinas. Estas son:

ASTM A 356-84a.

Heavy-Walled, carbon, low alloy, and stainless steel castings for steam turbines.

Fundiciones de acero al carbon, de baja aleación e inoxidable para componentes de turbinas de vapor de paredes muy resistentes.

GRADO	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	V
1	Máx.	0.35	0.030	0.035	0.70	0.60	----	----	----
2	Mín.	----	----	----	----	----	----	0.45	----
	Máx.	0.25	0.030	0.035	0.70	0.60	----	0.65	----
5	Mín.	----	----	----	----	----	0.40	0.40	----
	Máx.	0.25	0.030	0.035	0.70	0.60	0.70	0.60	----
5	Mín.	----	----	----	0.50	----	1.00	0.45	----
	Máx.	0.20	0.030	0.035	0.80	0.60	1.50	0.65	----
9	Mín.	----	----	----	0.50	0.20	1.00	0.90	0.05
	Máx.	0.20	0.030	0.035	0.90	0.60	1.50	1.20	0.15

ASTM A 356-84a.

GRADO	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	V	OTROS
9	Mín.	----	-----	-----	0.50	0.20	1.00	0.90	0.20	
	Máx.	0.20	0.030	0.035	0.90	0.60	1.50	1.20	0.35	
10	Mín.	----	-----	-----	0.50	----	2.00	0.90	----	
	Máx.	0.20	0.030	0.035	0.80	0.60	2.75	1.20	----	
CA6NM	Mín.	----	-----	-----	----	----	11.5	0.4	----	Ni 3.5
	Máx.	0.06	0.030	0.040	1.00	1.00	14.0	1.0	----	4.5

ASTM A 470-84.

Vacuum-treated carbon and alloy steel forgings
for turbine rotors and shafts.

Acero al carbono y aleado de forja,
tratado al vacío para rotores de turbina
y flechas.

CLASE	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
1	Mín.	----	-----	-----	----	0.15	----	----	----	0.03
	Máx.	0.45	0.025	0.025	0.90	0.35	----	----	----	----
2	Mín.	----	-----	-----	0.20	0.15	----	2.50	0.25	0.03
	Máx.	0.25	0.015	0.012	0.60	0.30	0.75	----	----	----

ASTM A 470-84.

CLASE	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
3 y 4	Mín.	----	-----	-----	0.20	0.15	----	2.50	0.25	0.03
	Máx.	0.28	0.015	0.012	0.60	0.30	0.75	----	----	----
5, 6 y 7	Mín.	----	-----	-----	0.20	0.15	1.25	3.25	0.25	0.05
	Máx.	0.28	0.015	0.012	0.60	0.30	2.00	4.00	0.60	0.15
8	Mín.	0.25	-----	-----	----	0.15	1.05	----	1.00	0.20
	Máx.	0.35	0.015	0.012	1.00	0.35	1.50	0.75	1.50	0.30
9	Mín.	----	-----	-----	----	0.15	----	2.00	0.25	0.03
	Máx.	0.30	0.025	0.025	0.70	0.35	0.75	----	----	0.12

Notas:

- a) El contenido de silicio de las clases 2 a 7 inclusive y 9 será de 0.10 Máximo, cuando la aleación sea desoxidada por vacio-carbono.
- b) Es deseable que el comprador especifique un contenido mínimo de molibdeno de 0.40 %, para las clases 2,3,4,5,6 y 9.
- c) La adición de vanadio es opcional para la clase 1.
- d) El contenido de antimonio, deberá ser reportado con fines informativos únicamente en las clases 2 a la 9 inclusive.

ASTM A 471-84.

Vacuum-treated alloy steel forgings for turbine rotors disks and wheels.

Acero aleado de forja, tratado al vacio para discos rotores de turbina (discos de toberas) y ruedas.

CLASE	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
1 a 9	Mfn.	-----	-----	-----	-----	0.15	0.75	2.00	0.20	0.05
	Máx.	0.28	0.015	0.015	0.70	0.35	2.00	4.00	0.70	----
10	Mfn.	0.27	-----	-----	0.70	0.20	0.85	----	1.00	0.20
	Máx.	0.37	0.015	0.015	1.00	----	1.25	0.50	1.50	0.30

Notas:

- a) El contenido máximo de carbono es: 0.35 % para las clases 4 y 5; y 0.40 % para las clases 6,7,8 y 9.
- b) Cuando se especifica desoxidación por vacio, el contenido máximo de silicio será de 0.10 %.
- c) El contenido de antimonio deberá de ser reportado en todos los casos con fines informativos.

ASTM A 768-82.

Vacuum-treated 12 % chromium alloy steel forgings
for turbine rotors and shafts.

Acero aleado con 12 % de cromo, forjado y
tratado al vacío, para rotores de turbina
y flechas.

Clase	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
1	Mín.	-----	-----	-----	-----	-----	11.0	0.40	0.50
	Máx.	0.15	0.015	0.018	1.0	0.35	13.0	0.75	0.50

ASTM B 23-83.

White metal bearing alloys.
(Known commercially as "Babbitt metal").

Aleaciones de metal blanco para chumaceras.
(Conocidas comercialmente como "metal Babbitt").

Aleación y UNS	%	Sn	Sb	Pb	Cu	Fe	As	Bi	Zn	Al	Cd	Total
1 55191	Mín.	90.0	4.0	0.35	4.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	99.80
	Máx.	92.0	5.0	0.35	5.0	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05	-----
2 55193	Mín.	88.0	7.0	-----	3.0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	99.80
	Máx.	90.0	8.0	0.35	4.0	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05	-----
3 55189	Mín.	83.0	7.5	-----	7.5	-----	-----	-----	-----	-----	0.000	99.80
	Máx.	85.0	8.5	0.35	8.5	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05	-----

ASTM B 23-83

Aleación y UNS	%	Sn	Sb	Pb	Cu	Fe	As	Bi	Zn	Al	Cd	Total
11	Mín.	86.0	6.0	----	5.0	----	----	----	----	----	----	99.80
55188	Máx.	89.0	7.5	0.50	6.5	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05	----
7	Mín.	9.3	14.0	Rem.	----	----	0.30	----	----	----	----	----
53581	Máx.	10.7	16.0	Rem.	0.50	0.10	0.60	0.10	0.005	0.005	0.05	----
8	Mín.	4.5	14.0	Rem.	----	----	0.30	0.10	0.005	0.005	0.05	----
L 53565	Máx.	5.5	16.0	Rem.	0.50	0.10	0.60	0.10	0.005	0.005	0.05	----
13	Mín.	5.5	9.5	Rem.	----	----	----	----	----	----	----	----
L 53346	Máx.	6.5	10.5	Rem.	0.50	0.10	0.25	0.10	0.005	0.005	0.05	----
15	Mín.	0.8	14.5	Rem.	----	----	0.8	----	----	----	----	----
L 53620	Máx.	1.2	17.5	Rem.	0.6	0.10	1.4	0.10	0.005	0.005	0.05	----

NOTA: Los números UNS de las aleaciones 1, 2, 3, y 11 según el índice UNS son respectivamente L 13910; L 13890; L 13840 y L 13870. En la edición 1987 de la norma B 23 aparecen como se copiaron en estas tablas, y en ediciones anteriores no aparece el UNS. El número del índice parece el correcto.

OTRAS ALEACIONES EMPLEADAS EN TURBINAS.

Antes de continuar con el siguiente listado, es prudente aclarar que los materiales empleados en las turbinas hidráulicas, de vapor, de gas estacionarias, y de aviación son diferentes, ya que sus condiciones de trabajo son muy diferentes.

Las turbinas hidráulicas, no son tema de este trabajo, por lo que solo se señalará que sus componentes comunmente se hacen de acero inoxidable con 12 % de cromo. tal como el AISI-SAE 403, y en muy pocos casos de acero inoxidable AISI SAE 304.

Las turbinas de vapor generalmente tienen sus álabes hechos de una de las siguientes aleaciones:

Tipo	%	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	OTROS	
403	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	11.5	----	----		
S 40300	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	0.50	13.0	----	----		
410	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	11.5	----	----		
S 41000	Máx.	0.15	0.030	0.040	1.00	1.00	13.0	----	----		
422	Mín.	0.20	-----	-----	-----	-----	11.0	0.50	0.75	0.75	0.15
S 42200	Máx.	0.25	0.025	0.025	1.00	0.75	13.0	1.00	1.25	1.25	0.3
17-4 PH	Mín.	----	-----	-----	-----	-----	15.5	3.00	----	Cu	Nb+Ta
S 17400	Máx.	0.07	0.030	0.040	1.00	1.00	17.5	5.00	----	3.00	0.15
										5.00	0.45

Las turbinas de gas, son las que requieren de las aleaciones mas resistentes, por trabajar en las condiciones mas criticas. Sus principales aleaciones son:

COMPOSICION NOMINAL DE LAS ALEACIONES EMPLEADAS EN LA SECCION DE COMPRESION DE LAS TURBINAS DE GAS.

ALABES ESTACIONARIOS Y MOVILES.

Aleación	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	OTROS.				
AISI 403	Típico	----	----	----	12.0	----	----	Bal.					
	Máximo	0.15	1.00	0.50	----	----	----	Bal.					
AISI 410	Típico	----	----	----	12.5	----	----	Bal.					
	Máximo	0.15	1.00	1.00	----	----	----	Bal.					
AMS 5613	Típico	----	----	----	12.5	----	----	Bal.	Al	Cu	N		
	Máximo	0.15	1.00	1.00	----	0.75	0.50	Bal.	0.05	0.05	0.08		
Greek Ascoloy	Típico	0.15	0.40	0.30	13.0	2.0	----	Bal.	W	3.0			
	A 286	Típico	0.08	1.40	0.50	15.0	26.0	1.25	Bal.	Ti	Al	V	B
									2.1	0.25	0.3	0.003	

ALEACIONES NO FERROSAS PARA ALABES ESTACIONARIOS Y MOVILES.

Titanio	%	Al	V	Ti						
Ti-6Al-4V	Típico	6.0	4.0	Balance.						
Aluminio	%	Ni	Ti	Fe	Cu	Mg	Si	Al		
2618-T6	Típico	1.0	0.07	1.1	2.2	1.5	0.25	Balance.		

Alíquel	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	Al	Fe	Cu	B
Inconel 718	Típico	0.04	0.2	0.2	19.0	53.0	3.0	5.2	0.9	0.5	19.0	0.1	0.004

RODETES Y DISCOS DE TOBERAS.

Aleación	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	OTROS.
AISI 410	Típico	----	----	----	12.5	----	----	Bal.	
	Máximo	0.15	1.00	1.00	----	----	----	Bal.	
AMS 6304	Típico	0.46	0.6	0.3	1.0	----	0.50	Bal.	0.3
A 286	Típico	0.08	1.40	0.50	15.0	26.0	1.25	Bal.	2.1 0.25 0.3 0.003
AISI 4340	Mínimo	0.38	0.60	0.20	0.70	1.65	0.20		
	Máximo	0.43	0.80	0.35	0.90	2.00	0.30		
Incoloy 901	Típico	0.05	0.50	0.35	13.0	40.0	6.0	Bal.	2.5 0.2 0.1
11Cr 6Co	Típico	----	----	----	11.0	----	----	Bal.	6.0

ALEACIONES NO FERROSAS PARA RODETES Y DISCOS.

Titanio	%	Al	V	Ti
Ti-6Al-4V	Típico	6.0	4.0	Balace.

COMPOSICION NOMINAL DE LAS ALEACIONES EMPLEADAS EN LA SECCION DE COMBUSTION DE LAS TURBINAS DE GAS.

CANDADOS Y TRANSICIONES.

Aleación	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	OTROS.	
Hastelloy X	Típico	0.15	----	----	22.0	Ba1.	9.0	20.0		
Nimonic 263	Típico	0.06	----	----	20.0	51.0	5.9	0.5	Co	20.0
Inconel 617	Típico	0.07	0.50	0.50	22.0	54.0	9.0	----	Co	Al 12.5 1.00
Incoloy 800H	Típico	0.08	0.80	0.50	21.0	32.5	---	46.0	Cu	0.4
RA-333	Típico	0.05	1.50	1.25	25.0	Ba1.	3.0	18.0	Co	W 3.0 3.0 ThO ₂
TD-Nickel	Típico	----	----	----	----	Ba1.	---	----	2.0	

ALEACIONES NO FERROSAS PARA SELLOS.

Cobalto	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	W	Fe
L-605	Típico	0.15	1.5	0.5	20.0	10.0	Ba1.	15.0	2.0

TUBOS EN CONTACTO CON EL FUEGO.

Aleación de Co.	%	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	W	Fe	La
HS-188	Típico	0.10	1.25	0.3	22.0	22.0	Bal.	14.0	3.0	0.04

COMPOSICION NOMINAL EN % DE ALABES MOVILES.

Aleación	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb	Ti	Al	Fe	B	Zr	Ta
IN-939	0.15	0.2*	0.2*	22.5	Bal.	19.0	---	2.0	1.0	3.7	1.9	---	0.009	0.10	1.4
IN 792	0.12	---	---	12.4	Bal.	9.0	1.9	3.8	---	4.5	3.1	---	0.02	0.10	3.9
IN-738	0.17	0.2*	0.3*	16.0	Bal.	8.5	1.7	2.6	0.9	3.4	3.4	0.5*	0.01	0.10	1.7
Inconel 713 C	0.12	---	---	12.5	Bal.	---	4.2	---	2.0	0.8	6.1	0.5*	0.012	0.10	---
Inconel X-750	0.04	0.5	0.2	15.5	Bal.	---	---	1.0	2.5	0.7	7.0	---	---	---	---
B-1900	0.10	0.2*	0.2*	8.0	Bal.	10.0	6.0	0.1*	0.1*	1.0	6.0	0.35*	0.015	0.10	4.0 0.015
GTD-111	0.10	---	---	14.0	Bal.	9.5	1.5	3.8	---	4.9	3.0	---	0.01	---	2.8
Udimet 720	0.035	---	---	18.0	Bal.	14.7	3.0	1.25	---	5.0	2.5	---	0.033	0.03	---

* Máximo

COMPOSICION NOMINAL EN % DE ALABES MOVILES.
(CONTINUACION)

Alcación	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb	Ti	Al	Fe	B	Zr	Ta
Udimet 710	0.07	0.1*	0.2*	18.0	Bal.	14.7	3.0	1.5	---	5.0	2.5	0.5*	0.02	----	----
Udimet 700	0.07	---	---	15.0	Bal.	18.5	5.0	---	---	3.5	4.4	0.5*	0.025	----	----
René 77	0.07	---	---	15.0	Bal.	18.5	5.2	---	---	3.5	4.25	1.0*	0.04	----	----
Astroloy	0.06	---	---	15.0	Bal.	15.0	5.25	---	---	3.5	4.4	---	0.03	----	----
Udimet 520	0.05	---	---	19.0	Bal.	12.0	6.0	1.0	---	3.0	2.0	---	0.005	----	----
Udimet 500	0.08	---	---	19.0	Bal.	18.0	4.0	---	---	3.0	3.0	0.5"	0.007	----	----
Nimonic 105	0.08	---	---	15.0	54.0	20.0	5.0	---	---	1.2	4.7	---	0.005	----	----
Nimonic 115	0.20	---	---	15.0	55.0	15.0	4.0	---	---	4.0	5.0	1.0	-----	0.04	----

COMPOSICION NOMINAL EN % DE ALABES ESTACIONARIOS Y BOQUILLAS.

Alcación	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb	Ti	Al	Fe	B	Zr	Ta
IN-939	0.15	0.2"	0.2*	22.5	Bal.	19.0	---	2.0	1.0	3.7	1.9	---	0.009	0.10	1.4

* Máximo

COMPOSICION NOMINAL EN % DE ALABES ESTACIONARIOS Y BOQUILLAS.
(CONTINUACION)

Alación	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb	Ti	Al	Fe	B	Zr	Ta		
IN-738	0.17	0.2*	0.3*	16.0	Bal.	8.5	1.7	2.6	0.9	3.4	3.4	0.5*	0.01	0.10	1.7		
Inconel 713 C	0.12	---	---	12.5	Bal.	---	4.2	---	2.0	0.8	6.1	0.5*	0.012	0.10	---		
X-40	0.50	0.50	0.50	25.0	10.0	Bal.	---	7.5	---	---	---	1.5	---	---	---		
X-45	0.25	1.0*	---	25.5	10.5	Bal.	---	7.0	---	---	---	2.0*	0.010	---	---		
FSX-414	0.25	1.0*	1.0*	29.5	10.5	Bal.	---	7.0	---	---	---	2.0*	0.012	---	---		
ECY-76B	0.60	---	---	21.5	10.0	Bal.	---	7.0	---	0.2	---	1.0	0.01*	---	3.5		
Mar-M 509	0.60	0.10*	0.10*	21.5	10.0	Bal.	---	7.0	---	0.2	---	1.0	0.010*	0.50	3.5		
Mar M 302	0.85	0.10	0.20	21.5	---	Bal.	---	10.0	---	---	---	---	0.005	0.15	9.0		
N-155 (Multimet)	0.10	1.5	0.5	21.0	20.0	20.0	3.0	2.5	1.0	---	---	Bal.	---	---	---	N	Cu
																0.15	0.50*
WI-52	0.45	0.50	0.50	21.0	1.0*	Bal.	---	11.0	2.0	---	---	2.0	---	---	---		

* Máximo

COMPOSICION NOMINAL EN % DE ROJETES Y DISCOS.

Aleación	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	Al	Fe	B	Otros
M-152	0.12	----	----	12.0	2.5	1.7	----	----	Bal.	----	V 0.3
V-57	0.08*	0.35*	0.75*	14.8	27.0	1.25	3.0	0.25	Bal.	0.01	V 0.5
Incoloy 901	0.10*	0.4	0.4	13.5	42.5	6.0	2.7	0.2	36.2	----	
Inconel 706	0.03	0.2	0.2	16.0	41.5	----	1.75	0.2	37.5	----	Cu 0.15* Nb+Ta 2.9
A-286	0.08	1.4	0.5	15.0	26.0	1.25	2.1	0.25	Bal.	0.003	V 0.3
Discaloy	0.04	0.9	0.8	13.5	26.0	2.75	1.75	0.1	Bal.	----	
Greek Ascoloy	0.15	0.4	0.3	13.0	2.0	----	----	----	Bal.	----	N 3.0
Waspaloy A	0.07	0.5*	0.5*	19.5	Bal.	4.3	3.0	1.4	2.0*	0.006	Co 13.5 Zr 0.09 S 0.03* Cu 0.10*
Acero al Cr-	0.30	---	---	1.0	0.5	1.25	---	---	Bal.	----	V 0.25

* Máximo.

CAPÍTULO V

PROPIEDADES MECANICAS

PROPIEDADES MECANICAS.

MATERIAL PARA CALDERAS	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 53				
Tipo F	25	170	45	310
TP E y S GR A	30	205	48	330
TP E y S GR B	35	240	60	415
A 105	36	250	70	485
A 106 GR A	30	205	48	330
A 106 GR B	35	240	60	415
A 106 GR C	40	275	70	485
A 178 GR A	26	180	47	325
A 178 GR C	37	255	60	415
A 178 GR D	40	275	70	485
A 181 Clase 60	30	205	60	415
A 181 Clase 70	36	250	70	485
A 182 F-1	40	275	70	485
A 182 F-2	40	275	70	485
A 182 F-5	40	275	70	485
A 182 F-5a	65	450	90	620
A 182 F-6a clase 1	40	275	70	485
A 182 F-6a clase 2	55	380	85	585
A 182 F-6a clase 3	85	585	110	760
A 182 F-6a clase 4	110	760	130	895
A 182 F-6b	90	620	110	760
A 182 F-6NM	90	620	115	790
A 182 F-7	40	275	70	485
A 182 F-9	55	380	85	585
A 182 F-91	60	415	85	585

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL PARA CALDERAS ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 182 F-11	40	275	70	485
A 182 F-11a	45	310	75	515
A 182 F-11b	30	305	60	415
A 182 F-12	40	275	70	485
A 182 F-12b	30	205	60	215
A 182 F-21	45	310	75	515
A 182 F-21b	60	415	85	585
A 182 F-22	45	310	75	515
A 182 F-22a	30	305	60	415
A 182 F-XM-27Cb	35	240	60	415
A 182 F-429	35	240	60	415
A 182 F-430	35	240	60	415
A 182 FR	46	315	63	435
A 192	26	180	47	325
A 209 Grado T-1	30	205	55	380
A 209 Grado T-1a	32	220	60	415
A 209 Grado T-1b	28	195	53	365
A 210 Grado A-1	37	255	60	415
A 210 Grado C	40	275	70	485
A 213 Grado T 91	60	415	85	585
A 213 Gr. 18Cr 2Mo	40	275	60	415
A 213 los otros grados ferríticos	30	205	60	415
A 216 Grado WCA	30	205	60	415
A 216 Grado WCB	36	250	70	485
A 216 Grado WCC	40	275	70	485
A 217 Gr. WCI	35	240	65	450
A 217 Grados WC4; WC5; WC6; WC9	40	275	70	485

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL PARA CALDERAS	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 217 Gr. WC11	50	345	80	550
A 217 Grados C5 y C 12	60	415	90	620
A 217 Gr. CA 15	65	450	90	620
A 226	26	180	47	325
A 234 Gr. WPB	35	240	60	415
A 234 GR. WPC; WP11 y WP12	40	275	70	485
A 234 Gr. WP 1	30	205	55	380
A 234 Grs. WP11b; WP12b; WP22a; WP5; WP7; WP9.	30	205	60	415
A 234 Gr. WPR	46	315	63	435
A 234 Grs. WP11a; WP22.	45	310	75	515
A 234 Gr. WP 91	60	415	85	585
A 250 Gr. T 1	30	205	55	380
A 250 Gr. T 1a	32	220	60	415
A 250 Gr. T 1b	28	195	53	365
A 266 Clase 1	30	205	60	415
A 266 Clase 2 y 4	36	250	70	485
A 266 Clase 3	37.5	260	75	515
A 268 Gr. 405	30	205	60	415
A 268 UNS S 40800	30	205	55	380
A 268 TP 410	30	205	60	415
A 268 Grs. TP 429	35	240	60	415
TP 430; TP 430 Ti				

$$(KSI)(1000) = PSI = Lb/in^2$$

$$(MPa)(1000000) = Pascales = Newton/m^2$$

$$(MPa)(0.1019716) = Kg fuerza/mm^2$$

MATERIAL PARA CALDERAS ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 268 TP 443	40	275	70	485
A 268 TP 446	40	275	70	485
A 268 TP 392	70	485	90	620
A 268 TP 409	30	205	55	380
A 268 TP 439	30	205	60	415
A 268 UNS S41500	90	620	115	795
A 268 TP XM-27	40	275	65	450
A 268 TP XM-33	45	310	68	470
A 268 18Cr 2Mo	40	275	60	415
A 268 29-4 y 29-4-2	60	415	80	550
A 268 26-3-3	65	450	85	585
A 268 25-4-4	75	515	90	620
A 268 UNS S 44735	60	415	75	515
A 335 Grados P1 y 2	30	205	55	380
A 335 Grado P 91	60	415	85	585
A 335 los otros grados	30	205	60	415
A 336 Clase F 1	40	275	70	485
A 336 Clase F 11	40	275	70	485
A 336 Clase F 11 A	45	310	75	515
A 336 Clase F 11 B	30	205	60	415
A 336 Clase F 12	40	275	70	485
A 336 Clase F 5	36	250	60	415
A 336 Clase F 5 A	50	345	80	550
A 336 Clase F 9	50	345	80	550
A 336 Clase F 6	55	380	85	585
A 336 Clase F 21	45	310	75	515

$$(KSI)(1\ 000) = PSI = Lb/in^2$$

$$(MPa)(1\ 000\ 000) = Pascales = Newton/m^2$$

$$(MPa)(0.101\ 971\ 6) = Kg\ fuerza/mm^2$$

MATERIAL PARA CALDERAS ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 336 Clase F 21A	30	205	60	415
A 336 Clase F 22	45	310	75	515
A 336 Clase F 22A	30	205	60	415
A 336 Clase F 30	50	345	80	550
A 336 Clase F 31	70	485	95	660
A 336 Clase F 32	60	415	100	690
A 336 Cl. FXM-27 Cb	35	240	60	415
A 336 F 91	60	415	85	585
A 336 F 21 B	60	415	85	585
A 423 Grados 1 y 2	37	255	60	415
A 660 Grado WCA	30	207	60	414
A 660 Grado WCB	36	248	70	483
A 660 Grado WCC	40	276	70	483

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES ESPECIFICADAS
POR EL CODIGO ASME PARA COMPONENTES DEL GENERADOR
DE VAPOR QUE TRABAJAN CON VAPOR SOBREALENTADO.

MATERIAL ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 182 Gr. F 1	40	275	70	485
A 182 Gr. F 2	40	275	70	485
A 182 Gr. F 5	40	275	70	485
A 182 Gr. F 5a	65	450	90	620
A 182 Gr. F 6a Cl.1	40	275	70	485
A 182 Gr. F 6a Cl.2	55	380	85	585
A 182 Gr. F 6a Cl.3	85	585	110	760
A 182 Gr. F 6a Cl.4	110	760	130	895

MATERIAL ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 182 Gr. F 6b	90	620	110	760
A 182 Gr. F 6 NM	90	620	115	790
A 182 Gr. F 7	40	275	70	485
A 182 Gr. F 9	55	380	85	585
A 182 Gr. F 91	60	415	85	585
A 182 Gr. F 11	40	275	70	485
A 182 Gr. F 11a	45	310	75	515
A 182 Gr. F 11b	30	205	60	415
A 182 Gr. F 12	40	275	70	485
A 182 Gr. F 12b	30	205	60	415
A 182 Gr. F 21	45	310	75	515
A 182 Gr. F 21b	60	415	85	585
A 182 Gr. F 22	45	310	75	515
A 182 Gr. F 22a	30	205	60	415
A 182 Gr. F XM-27Cb	35	240	60	415
A 182 Gr. F 429	35	240	60	415
A 182 Gr. F 430	35	240	60	415
A 182 Gr. F R	46	315	63	435

ACEROS AUSTENITICOS

A 182 Gr. F 304	30	205	75	515
A 182 Gr. F 304H	30	205	75	515
A 182 Gr. F 304L	25	170	70	485
A 182 Gr. F 304N	35	240	80	550
A 182 Gr. F 304LN	30	205	75	515
A 182 Gr. F 310	30	205	75	515

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	Mpa	KSI	Mpa
A 182 Gr. F 316	30	205	75	515
A 182 Gr. F 316H	30	205	75	515
A 182 Gr. F 316L	25	170	70	485
A 182 Gr. F 316N	35	240	80	550
A 182 Gr. F 316LN	30	205	75	515
A 182 Gr. F 347	30	205	75	515
A 182 Gr. F 347H	30	205	75	515
A 182 Gr. F 348	30	205	75	515
A 182 Gr. F 348H	30	205	75	515
A 182 Gr. F 321	30	205	75	515
A 182 Gr. F 321H	30	205	75	515
A 182 Gr. F XM-11	50	345	90	620
A 182 Gr. F XM-19	55	380	100	690
A 182 Gr. F 10	30	205	80	550
A 182 Gr. F 44	44	300	94	650
A 182 Gr. F 45	45	310	87	600
A 182 Gr. F 46	35	240	78	540

ACEROS FERRITICO-AUSTENITICOS.

A 182 Gr. F 50	65	450	100	690
A 182 Gr. F 51	65	450	90	620

ACEROS FERRITICOS.

A 213 T 91	60	415	85	585
A 213 18Cr-2Mo	40	275	60	415
A 213 los otros gr.	30	205	60	415

$$(KSI)(1000) = PSI = Lb/in^2$$

$$(MPa)(1000000) = Pascales = Newton/m^2$$

$$(MPa)(0.1019716) = Kg Fuerza/mm^2$$

ACEROS AUSTENITICOS.

MATERIAL ASTM	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
A 213 TP 201	38	260	95	655
A 213 TP 202	45	310	90	620
A 213 TP 304	30	205	75	515
A 213 TP 304H	30	205	75	515
A 213 TP 304N	35	240	80	550
A 213 TP 304L	25	170	70	485
A 213 TP 304LN	30	205	75	515
A 213 TP 309Cb	30	205	75	515
A 213 TP 309S	30	205	75	515
A 213 TP 310	30	205	75	515
A 213 TP 310Cb	30	205	75	515
A 213 TP 310S	30	205	75	515
A 213 TP 316	30	205	75	515
A 213 TP 316H	30	205	75	515
A 213 TP 316L	25	170	70	485
A 213 TP 316N	35	240	80	550
A 213 TP 316LN	30	205	75	515
A 213 TP 321	30	205	75	515
A 213 TP 321H	30	205	75	515
A 213 TP 347	30	205	75	515
A 213 TP 347H	30	205	75	515
A 213 TP 348	30	205	75	515
A 213 TP 348H	30	205	75	515
A 213 XM-15	30	205	75	515

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

ACEROS AUSTENITICOS.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 213				
UNS S 30815	45	310	87	600
UNS S 21500	33	230	78	540
UNS S 31725	30	205	75	515
UNS S 31726	35	240	80	550

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 240				
UNS S 01815	35	240	78	540
201-1	30	205	90	620
201-2	45	310	95	655
202	38	260	90	620
302	30	205	75	515
304	30	205	75	515
304L	25	170	70	485
304LN	30	205	75	515
304H	30	205	75	515
304N	35	240	80	550
305	30	205	75	515
UNS S30815	45	310	87	600
309S	30	205	75	515
309Cb	30	205	75	515
310S	30	205	75	515
310Cb	30	205	75	515

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 240				
UNS S 31254	44	300	94	650
316	30	205	75	515
316L	25	170	70	485
316LN	30	205	75	515
316H	30	205	75	515
316Ti	30	205	75	515
316Cb	30	205	75	515
316N	35	240	80	550
317	30	205	75	515
UNS S 31725	30	205	75	515
UNS S 31726	35	240	80	550
317L	30	205	75	515
321	30	205	75	515
321H	30	205	75	515
347	30	205	75	515
347H	30	205	75	515
348	30	205	75	515
348H	30	205	75	515
XM-15	30	205	75	515
XM-21				
Lámina y fleje	50	345	90	620
Placa	40	275	85	585
XM 17				
lámina y fleje	60	415	100	690
Placa	50	345	90	620

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 240				
XM 18				
Lámina y fleje	60	415	100	690
Placa	50	345	90	620
XM 19				
Lámina y fleje	60	415	105	725
Placa	55	380	100	690
XM 29				
Lámina y fleje	60	415	100	690
Placa	55	380	100	690
XM 31				
Lámina y fleje	70	485	125	860
Placa	55	380	105	725

ACEROS AUSTENITICO-FERRITICOS.

UNS S 32550	80	550	110	760
UNS S 31200	65	450	100	690
UNS S 31803	65	450	90	620
329	70	485	90	620

ACEROS FERRITICOS O MARTENSITICOS.

405	25	170	60	415
409	30	205	55	380
410	30	205	65	450
410S	30	205	60	415
UNS S 41050	30	205	60	415
UNS S 41500	90	620	115	795
429	30	205	65	450

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 240				
430	30	205	65	450
439	30	205	65	450
UNS S 44400	40	275	60	415
XM-27	40	275	65	450
XM-33	45	310	68	470
UNS S 44635	75	515	90	620
UNS S 44660	65	450	85	585
UNS S 4470060	60	415	80	550
UNS S 44800	60	415	80	550
UNS S 44735	60	415	80	550
ASTM A 249				
TP 201	38	260	95	655
TP 202	38	260	90	620
TP 304	30	205	75	515
TP 304H	30	205	75	515
TP 304L	25	170	70	485
TP 304LN	30	205	75	515
TP304N	35	240	80	550
TP 305	30	205	75	515
UNS S30815	45	310	87	600
TP 309	25	170	75	515
TP 309S	30	205	75	515
TP 309Cb	30	205	75	515
TP 310	30	205	75	515
TP 310S	30	205	75	515
TP 310Cb	30	205	75	515

(KSI)(1.000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 249				
UNS S 31254	44	300	94	650
316	30	205	75	515
TP 316L	25	170	70	485
316LN	30	205	75	515
316H	30	205	75	515
316N	35	240	80	550
317	30	205	75	515
UNS S 31725	30	205	75	515
UNS S 31726	35	240	80	550
317	30	205	75	515
317L	30	205	75	515
321	30	205	75	515
321H	30	205	75	515
347	30	205	75	515
347H	30	205	75	515
348	30	205	75	515
348H	30	205	75	515
XM-15	30	205	75	515
XM-19	55	380	100	690
XM-29	55	380	100	690
ASTM A 268				
405	30	205	60	415
409	30	205	55	380
410	30	205	60	415
429	35	240	60	415

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 268				
430	35	240	60	415
439	30	205	60	415
UNS S 44400	40	275	60	415
XM-27	40	275	65	450
XM-33	45	310	68	470
UNS S 44635	75	515	90	620
UNS S 44660	65	450	85	585
UNS S 44700	60	415	80	550
UNS S 44800	60	415	80	550
UNS S 44735	60	415	75	515
UNS S 40800	30	205	55	380
430Ti	35	240	60	415
443	40	275	70	485
446	40	275	70	485
329	70	485	90	620
UNS S 41500	90	620	115	795
ASTM A 312				
304	30	205	75	515
304H	30	205	75	515
304L	25	170	70	485
TP 304LN	30	205	75	515
TP304N	35	240	80	550
UNS S30815	45	310	87	600
TP 309	30	205	75	515
TP 309S	30	205	75	515

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 312				
TP 309Cb	30	205	75	515
TP 310	30	205	75	515
TP 310S	30	205	75	515
TP 310Cb	30	205	75	515
UNS S 31254	44	300	94	650
316	30	205	75	515
TP 316L	25	170	70	485
316LN	30	205	75	515
316H	30	205	75	515
316N	35	240	80	550
317	30	205	75	515
UNS S 31725	30	205	75	515
UNS S 31726	35	240	80	550
317	30	205	75	515
317L	30	205	75	515
321	30	205	75	515
321H	30	205	75	515
347	30	205	75	515
347H	30	205	75	515
348	30	205	75	515
348H	30	205	75	515
XM-15	30	205	75	515
XM-10	50	345	90	620
XM-11	50	345	90	620
XM-19	55	380	100	690
XM-29	55	380	100	690

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 312				
UNS S 01815	35	240	78	540
ASTM A 336				
F 1	40	275	70	485
F 11	40	275	70	485
F 11A	45	310	75	515
F 11B	30	205	60	415
F 12	40	275	70	485
F 5	36	250	60	415
F 5A	50	345	80	550
F 9	55	380	85	585
F 6	55	380	85	585
F 21	45	310	75	515
F 21A	30	205	60	415
F 22	45	310	75	515
F 22A	30	205	60	415
F 30	50	345	80	550
F 31	70	485	95	660
F 32	60	415	100	690
F XM-27Cb	35	240	60	415
F 91	60	415	85	585
F 21B	60	415	85	585
ACEROS AUSTENITICOS				
304	30	205	70	485
304H	30	205	70	485
304L	25	170	65	450

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 336				
304LN	30	205	70	485
304N	35	240	80	550
310	30	205	75	515
316	30	205	70	485
316L	25	170	65	450
316LN	30	205	70	485
316H	30	205	70	485
316N	35	240	80	550
321	30	205	70	485
321H	30	205	70	485
347	30	205	70	485
347H	30	205	70	485
348	30	205	70	485
348H	25	170	65	450
XM-11	50	345	90	620
XM-19	55	380	100	690
ASTM A 351				
CF 3	30	205	70	485
CF 3A	35	240	77	530
CF 8	30	205	70	485
CF 8A	35	240	77	530
CF 3M	30	205	70	485
CF 3MA	37	255	80	550
CF 8M	30	205	70	485
CF 8C	30	205	70	485

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 351				
CF 10	30	205	70	485
CF 10M	30	205	70	485
CH 8	28	195	65	450
CH 10	30	205	70	485
CH 20	30	205	70	485
CK 20	28	195	65	450
HK 30	35	240	65	450
HK 40	35	240	62	425
HT 30	28	195	65	450
CF 10MC	30	205	70	485
CN 7M	25	170	62	425
CD 4MCu	70	485	100	690
CG 6MMN	42.5	295	85	585
CG 8M	35	240	75	515
CF 10SMnN	42.5	295	85	585
CT 15C	25	170	63	435
ASTM A 369				
FPA	30	210	48	330
FPB	35	240	60	410
FP 1 y FP 2	30	210	55	380
FP 91	60	415	85	585
Los otros grados	30	210	60	410
ASTM A 376				
	30	210	75	520

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 430				
Todos los grados	30	205	70	485
ASTM A 479				
XM-11 RECOCIDO	50	345	90	620
XM-17 y XM-18 RECOCIDOS	50	345	90	620
S 01815 RECOCIDO	35	240	78	540
S 21800 RECOCIDO	50	345	95	655
S 31254 RECOCIDO	44	305	95	650
S 31725 RECOCIDO	30	205	75	515
S 31726 RECOCIDO	35	240	80	550
XM-19 RECOCIDO	55	380	100	690
XM-19 ROLADO EN CALIENTE HASTA 2 IN. (50.8 mm) IN- CLUSIVE	105	725	135	940
DE 2 a 3 IN. (50.8 a 76.2 mm) INCLUSIVE	75	515	115	795
DE 3 a 8 IN. (76.2 a 203.2 mm) INCLUSIVE	60	415	100	690
XM-19 ENDURECIDO POR DEFORMACION EN FRIO: HASTA 1 1/2 IN. (38.1 mm)	125	865	145	1000

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE		RESISTENCIA A	
	CEDENCIA EN		LA ROTURA EN	
ASTM A 479	KSI	MPa	KSI	MPa
1 1/2- 2 1/4 IN. (38.1-57.2 mm)				
INCLUSIVE	105	725	120	825
XM-29 RECOCIDO	55	380	100	690
S 30815 RECOCIDO	45	310	87	600
302; 304; 304H; 304LN; ER308; 310S 316; 316H; 316LN; 321; 321H; 347; 347H; 348 y 348H				
TODOS RECOCIDOS	30	205	75	515
304L y 316L RECOCIDOS	25	170	70	485
304N y 316N RECOCIDOS	35	240	80	550
309S	30	205	75	515
316 ENDURECIDO POR DEFORMACION A NIVEL 1	65	450	85	585
316 ENDURECIDO POR DEFORMACION A NIVEL 2, EN ESPESORES DE HASTA 2 in. (50.8 mm)	75	515	95	650
316 END. POR DEF. NIVEL 2 DE 2 - 2 1/2 IN. (50.8-63.5 mm)	65	450	90	620

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 479				
316 END. POR DEF.				
NIVEL 2 DE 2 1/2 - 3				
IN. (63.5-76.2 mm)	55	380	80	550
403 y 410 RECOCIDOS	40	275	70	485
403 y 410 TEMPLADO				
Y REVENIDO A:				
675 ^o C.	40	275	70	485
590 ^o C.	85	585	110	760
570 ^o C.	100	690	130	900
414 TEMPLADO Y				
REVENIDO A 590 ^o C.	90	620	115	795
S 41500 TEMPLADO				
AL AIRE Y REVENIDO				
A 565 ^o C.	90	620	115	795
XM-30 RECOCIDO	40	275	70	485
XM-30 TEMPLADO Y				
REVENIDO A 590 ^o C.	100	690	125	860
ACEROS FERRITICOS RECOCIDOS				
405	25	170	60	415
430 y XM-8	40	275	70	485
XM-27	40	275	65	450
S 44401	45	310	60	415
S 44700	55	380	70	485
S 44800	55	380	70	485

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM A 479				
ACEROS FERRITICO-AUSTENITICOS				
S 32550 RECOCIDO	80	550	110	760

ASTM B 407-87

NICKEL-IRON-CHROMIUM ALLOY
SEAMLESS PIPE AND TUBE.

TUBOS DE ALEACION NIQUEL-
HIERRO-CROMO SIN COSTURA.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM B 407				
UNS N 08800:				
RECOCIDO Y				
ESTIRADO EN FRIO	30	205	75	520
RECOCIDO Y ACABADO EN CALIENTE, O				
ACABADO EN CALIENTE	25	170	65	450
UNS N 08810 y N 08811				
ACABADO EN FRIO O CALIENTE Y RECOCIDO	25	170	65	450

ASTM B 408-87

NICKEL-IRON-CHROMIUM ALLOY
ROD AND BAR.

BARRAS Y REDONDOS DE ALEA-
CION NIQUEL-HIERRO-CROMO.

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL	ESFUERZO DE		RESISTENCIA A	
	CEDENCIA EN		LA ROTURA EN	
ASTM B 408	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS N 08800:				
TRABAJADO EN CALIENTE	35	240	80	550
TRABAJADO EN FRIO O TRABAJADO EN CALIENTE Y RECOCIDO 30		205	75	515
UNS N 08810 y N 08811				
TRABAJADO EN FRIO O TRABAJADO EN CALIENTE Y RECOCIDO	25	170	65	450

ASTM B 409-87

NICKEL-IRON-CHROMIUM ALLOY
PLATE, SHEET, AND STRIP.

PLACAS, LAMINAS Y FLEJES
DE ALEACION NIQUEL-HIERRO-
CROMO.

MATERIAL	ESFUERZO DE		RESISTENCIA A	
	CEDENCIA EN		LA ROTURA EN	
ASTM B 409	KSI	MPa	KSI	MPa
RECOCIDO				
<u>PLACA LAMINADA EN CALIENTE.</u>				
UNS N 08800	30	205	75	520
UNS N 08800 SIN RECOCER	35	240	80	550
UNS N 08810	25	170	65	450
UNS N 08811	25	170	65	450

LAMINA ROLADA EN CALIENTE.

UNS N 08800	30	205	75	520
-------------	----	-----	----	-----

NOTA: Las placas, láminas y flejes laminados en caliente o en frío y después recocidas en todos los casos tienen las

propiedades mecánicas mostradas para placa en la tabla anterior.

ASTM B 423-84

NICKEL-IRON-CHROMIUM-MOLYBDENUM
-COPPER ALLOY SEAMLESS PIPE AND
TUBE.

TUBO SIN COSTURA DE ALEACION
NIQUEL-HIERRO-CROMO-
MOLIBDENO-COBRE.

MATERIAL ASTM B 423 RECOCIDO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS N 08825 ACABADO EN CALIENTE Y REC.	25	172	75	517
UNS N 08825 ACABADO EN FRIO Y RECOCIDO	35	241	85	568
UNS N 08221 ACABADO EN FRIO Y RECOCIDO	34	235	79	545

ASTM B 424-84

Ni-Fe-Cr-Mo-Cu ALLOY PLATE,
SHEET, AND STRIP.

PLACA, LAMINA Y FLEJE
DE ALEACIONES Ni-Fe-Cr-
Mo-Cu.

MATERIAL ASTM B 424 RECOCIDO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS N 08325	35	241	85	586
UNS N 08221	34	235	79	544

ASTM B 425-84

Ni-Fe-Cr-Mo-Cu ALLOY ROD AND BAR.

REDONDOS Y BARRAS DE
ALEACION Ni-Fe-Cr-Mo-Cu.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
RECOCIDO	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS N 08825	35	241	85	586
UNS N 08221	34	235	79	544

ALEACIONES BASE COBRE PARA EL SISTEMA DE CONDENSADO.

ASTM B 43-87

SEAMLESS RED BRASS PIPE,
STANDARD SIZES.

TUBERIA SIN COSTURA DE
LATON ROJO, EN TAMAÑO
ESTANDAR.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
RECOCIDO O 61	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS C 23000	12.0	83.0	40.0	276.5

ASTM B 42-87

SEAMLESS COPPER PIPE,
STANDARD SIZES.

TUBERIA SIN COSTURA DE
COBRE, EN TAMAÑO ESTANDAR.

$$(KSI)(1\ 000) = PSI = Lb/in^2$$

$$(MPa)(1\ 000\ 000) = Pascales = Newton/m^2$$

$$(MPa)(0.101\ 971\ 6) = Kg\ fuerza/mm^2$$

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
ASTM B 42 RECOCIDO O 61	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS C 10200; 10300; 10800; 12000 y 12200.	9	88	30	294

ASTM B 75-86

SEAMLESS COPPER TUBE.

TUBERIA SIN COSTURA
DE COBRE.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
ASTM B 75 RECOCIDO 050 y 060	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS C 10100; 10200; 10300; 10800; 12000; 12200 y 14200.	9.0	62	29.7	205

ASTM B 111-87

COPPER AND COPPER-ALLOY
SEAMLESS CONDENSER TUBES
AND FERRULE STOCK.

TUBERIA SIN COSTURA
DE COBRE Y ALEACIONES
DE COBRE, Y CASQUILLOS
DE UNION A ESPEJO.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
ASTM B 111	KSI	MPa	KSI	MPa
C 10100; 10200; 10300 10800; 12000; 12200; y 14200 estirado ligero	29.7	205	36.3	250

MATERIAL ASTM B 111	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS C10100; 10200; 10300; 10800; 12000; 12200 y 14200 ESTI- RADO DURO	39.9	275	45.0	310
UNS C 19200 ESTI- RADO LIGERO	34.8	240	39.9	275
UNS C 19200 ESTI- RADO DURO	42.8	295	47.9	330
UNS C 19200 RECO- CIDO O61	12.3	85	37.7	260
UNS C 23000 RECO- CIDO O61	12.3	85	39.9	275
UNS C 28000 RECO- CIDO O61	20.3	140	50.1	345
UNS C 44300; 44400 y 44500 RECOCIDO O61	15.2	105	45.0	310
UNS C 60800 RECO- CIDO O61	18.9	130	50.1	345
UNS C 61300 y 61400 RECOCIDO O61	29.7	205	69.6	480
UNS C 68700 RECO- CIDO O61	18.1	125	51.1	345
UNS C 70400 RECO- CIDO O61	12.3	85	37.7	260
UNS C 70400 ESTI- RADO LIGERO H55	29.7	205	39.9	275

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL ASTM B 111	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
UNS C 70600 RECOCIDO O61	15.2	105	39.9	275
UNS C 70600 ESTI- RADO LIGERO H55	34.8	240	45.0	310
UNS C 71000 RECOCIDO O61	16.0	110	45.0	310
UNS C 71500 RECOCIDO O61	18.1	125	52.2	360
UNS C 71500 ESPE- SOR DE PARED MAYOR DE 1.21 mm INCLUSI- VE Y ESTIRADO CON RELEVO DE ESFUERZOS	50.1	345	71.8	495
UNS C 71640 RECOCIDO O61	24.7	170	63.1	435
UNS C 71640 ESTIRA- DO Y CON RELEVO DE ESFUERZOS	58.0	400	81.2	560
UNS C 72200 RECOCIDO O61	16.0	110	45.0	310
UNS C 72200 ESTI- RADO LIGERO H55	45.0	310	50.1	345

NOTA: Los tratamientos térmicos para las aleaciones de cobre se encuentran contenidos en la norma ASTM B 601, y la descripción completa del tratamiento se abrevia por medio de siglas como O 61 ó H55 etc.

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

ASTM B 61-86

STEAM OR VALVE BRONZE
CASTINGS.

FUNDICIONES DE BRONCE
AMARILLO PARA VALVULAS
QUE TRABAJAN CON VAPOR.

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM B 61				
UNS C 92200	16	110	34	235

ASTM B 62-86

COMPOSITION BRONZE OR OUNCE
METAL CASTINGS.

COMPOSICION DE FUNDICIO-
NES DE BRONCE AMARILLO
Y DE ALEACIONES Cu-Sn-
Pb-Zn. (OUNCE METAL)

MATERIAL	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
ASTM B 62				
UNS C 83600	14	95	30	205

$$(\text{KSI})(1\ 000) = \text{PSI} = \text{Lb/in}^2$$

$$(\text{MPa})(1\ 000\ 000) = \text{Pascales} = \text{Newton/m}^2$$

$$(\text{MPa})(0.101\ 971\ 6) = \text{Kg fuerza/mm}^2$$

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN TURBINAS.

MATERIAL ASTM A 356 GRADO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
1	36	250	70	485
2	35	240	65	450
5	40	275	70	485
6	45	310	70	485
8	50	345	80	550
9	60	415	85	585
10	55	380	85	585
CA6NM	80	550	110	760

ASTM A 470 CLASE

1	40	275	75	515
2	55	380	80	550
3	70	483	90	620
4	85	585	105	725
5	70	483	90	620
6	85	585	105	725
7	95	655	120	825
8	85	585	105	725
9	70	485	95	655

ASTM A 471 CLASE

1	75	520	100	690
2	85	585	105	725

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL ASTM A 471 CLASE	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
3	95	655	110	760
4	105	725	120	830
5	115	790	130	900
6	125	860	140	965
7	135	930	150	1035
8	145	1000	160	1105
9	155	1070	170	1170
10	85	585	105	725
ASTM A 768 CLASE 1	70	482	90	620

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

NOTA: Todas las propiedades mecánicas enlistadas en este trabajo son mínimas, con el objeto de poder hacer substituciones, y no para control de calidad. En este último caso, todos los valores mínimos son válidos, pero cuando las propiedades se incrementan por tratamiento térmico o mecánico a veces se fijan valores máximos no considerados en el presente trabajo.

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL PARA CHUMACERAS.

MATERIAL ASTM B 23 ALEACION NO.	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA COMPRESION EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
1	4.4	30.3	12.85	88.6
2	6.1	42.0	14.9	102.7

MATERIAL ASTM B 23 ALEACION NO.	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA COMPRESION EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
3	6.6	45.5	17.6	121.3
7	3.55	24.5	15.65	107.9
8	3.4	23.4	15.6	107.6
15	---	---	---	---

PROPIEDADES MECANICAS DE OTRAS
ALEACIONES EMPLEADAS EN TURBINAS.

ALEACIONES PARA TURBINAS DE VAPOR.

MATERIAL AISI TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
403 RECOCIDO	30	205	70	485
410 RECOCIDO	30	205	65	450
403 y 410 TEMPLADOS Y REVENIDOS (BARRAS DE 1 IN. DE DIAM.)				
A:				
204 ^o C.	145	1000	190	1310
315 ^o C.	140	965	180	1241
648 ^o C.	85	586	110	758
760 ^o	60	414	90	621
422 TEMPLADO Y REVENIDO A 649 ^o C	125	862	145	1000

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

MATERIAL AISI TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
17-4 PH CON REVENIDO DE PRECIPITACION A:				
482° C.	170	1170	190	1310
496° C.	155	1070	170	1170
552° C.	145	1000	155	1070
579° C.	125	860	145	1000
593° C.	115	795	140	965
621° C.	105	725	135	930

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES
EMPLEADAS EN LAS TURBINAS DE GAS.

SECCION DE COMPRESION.

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
403 RECOCIDO	30	205	70	485
410 RECOCIDO	30	205	65	450
403 y 410 TEMPLADOS Y REVENIDOS (BARRAS DE 1 IN. DE DIAM.) A:				
204° C.	145	1000	190	1310
315° C.	140	965	180	1241
648° C.	85	586	110	758
760°	60	414	90	621

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

NOTA: La aleación AMS 5613, tiene las mismas propiedades mecánicas que el acero inoxidable martensítico tipo 410 ya que se trata del mismo material, pero con elementos residuales controlados e inspecciones adicionales a las usuales, especificadas por la AMS o Aerospace Material Specifications, una división de la SAE o Society of Automotive Engineers.

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
GREEK ASCOLOY TEM- PLADO Y REVENIDO	110	760	145	1000
A-286 ENDURECIDO POR PRECIPITACION	104.5	720	149.4	1030
Ti-6Al-4V	152.3	1050	156.7	1080
INCONEL 718	188.6	1300	220.5	1520
ALEACION DE ALUMI- NIO AA 2618-T6 EN- DURECIDA POR PRECI- PITACION	54	370	64	440

ALEACIONES PARA RUEDAS Y DISCOS.

AISI 410 VER ALEACIONES DE LA SECCION DE COMPRESION.

A- 286 VER ARRIBA EN ESTA MISMA HOJA.

Ti-6Al-4V VER ARRIBA EN ESTA MISMA HOJA.

$$(KSI)(1\ 000) = PSI = Lb/in^2$$

$$(MPa)(1\ 000\ 000) = Pascales = Newton/m^2$$

$$(MPa)(0.101\ 971\ 6) = Kg\ fuerza/mm^2$$

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
AISI 4340 TEM- PLADO Y REVENIDO	241	1660	291	2005
AMS 6304	103	710	124	855
INCOLOY 901 ENDURE- CIDO POR PRECIPITA- CION	107	740	162	1120
ACERO 11Cr-6Co	135	930	155	1065

ALEACIONES USADAS EN CANDADOS Y TRANSICIONES.

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
HASTELLOY X TEMPLADO	52	360	114	785
NIMONIC 263	58	400	95	650
INCONEL 617				
AISI 309 RECOCIDO	30	205	75	515
AISI 310 RECOCIDO	35	240	83	570
INCOLOY 800	30	207	75	517
RA-333				
TD-NIQUEL	48.3	333	71.2	491

ALEACIONES USADAS EN LOS SELLOS.

L-605; TAMBIEN LLAMADA HAYNES 25	67	460	146	1010
-------------------------------------	----	-----	-----	------

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES DE TUBOS QUE CRUZAN EL FUEGO.

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
HS-188 (HAYNES 188)	70	485	139	960

PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES USADAS EN ALABES Y PALETAS.

IN-939	112	770	138	950
IN-792	154	1060	170	1170
IN-738	140	970	162	1120
INCONEL 713	107	740	123	850
INCONEL X-750	118	815	177	1220
B-1900	120	825	141	970
GTD 111				
UDIMET 720				
UDIMET 710	130	895	156	1075
UDIMET 700	140	965	204	1410
RENE 77	115	795	148	1020
ASTROLOY	152	1050	205	1410
UDIMET 520	125	860	190	1310
UDIMET 500	122	840	190	1310
NIMONIC 105	118	815	166	1140
NIMONIC 115	125	860	180	1240

ALEACIONES DE ALABES ESTACIONARIOS Y BOQUILLAS.

X-40	76	525	108	745
X-45	76	525	108	745
FSX-414	64	440	107	740
ECY-768				
MAR-M 509	83	570	114	785

MATERIAL TIPO	ESFUERZO DE CEDENCIA EN		RESISTENCIA A LA ROTURA EN	
	KSI	MPa	KSI	MPa
MAR M-302	100	690	135	930
N-155	54	370	116	800
WI-52				
INCONEL 713	107	740	123	850
IN-738	140	970	162	1120
IN-939	112	770	138	950

ALEACIONES PARA RODETES Y DISCOS.

M-252	107	740	165	1140
V-57				
INCOLOY 901	107	740	162	1120
INCONEL 706	142	980	188	1300
A-286	104.5	720	149.4	1030
DISCALOY				
GREEK ASCOLOY	110	760	145	1000
WASPALOY A	115	795	185	1280
ACERO Cr-Mo-V				

(KSI)(1 000) = PSI = Lb/in²

(MPa)(1 000 000) = Pascales = Newton/m²

(MPa)(0.101 971 6) = Kg fuerza/mm²

CAPÍTULO VI

ENSAYOS DE IDENTIFICACION

6.- ENSAYOS DE IDENTIFICACION.

Todas las especificaciones de metales, indican los elementos que deben contener, y sus concentraciones para que su comportamiento en servicio sea satisfactorio. Por lo tanto cuando se adquiere una aleación, cuando se le fabrica o cuando falla prematuramente, la única manera de saber si cumple con los requisitos químicos de dicha especificación, es practicándole un análisis químico cuantitativo completo.

Sin embargo, puede haber casos en los cuales no sea indispensable analizar cuantitativamente todos los constituyentes de la aleación, debido a que ésta no sea totalmente desconocida. Cuando esto ocurre, puede ser suficiente con un o unos ensayos cualitativos.

Por ejemplo, supongamos que se les borra la identificación a unos tubos de acero inoxidable SA 430, pudiendo ser tipo 304N ó 316N. Al consultar ambos grados, podrá comprobarse que ambos aceros contienen la misma cantidad de carbono, azufre, fósforo, manganeso, silicio y nitrógeno; y que el cromo y el níquel, pueden caer en valores con los cuales cumplan ambas aleaciones; pero el acero 316N contiene de 2 a 3 % de molibdeno, en tanto que el 304N no contiene a este elemento. Un análisis químico completo resolverá la duda, pero dicho análisis será costoso, lento, o ambas

cosas a la vez y aportará información innecesaria. Este problema puede resolverse más rápido y barato:

Analizando cuantitativamente solo el molibdeno.

Analizando cualitativamente dicho elemento.

Comparando la velocidad de ataque por ejemplo con ácido clorhídrico, entre placas de 304N, 316N y la muestra. (El acero 304N reacciona más rápido).

Obsérvese que en el orden en que están las anteriores propuestas se obtiene una información cada vez menor, pero a cambio de esto los métodos son cada vez más simples, más rápidos y los dos últimos no requieren rebabas para su ejecución, ya que pueden efectuarse directamente sobre el tubo, sin más requisito que desbastarlo con lija inmediatamente antes del ensayo.

Otras ventajas de estas formas de identificación, ya fueron enumeradas en la página 6 del presente trabajo.

Los métodos empleados para identificar una aleación sin la obtención de rebabas ni cortando la pieza, sino probándola superficialmente, instalada o en bodega, pueden ser agrupados para su estudio de la siguiente manera:

INSTRUMENTALES

RAYOS X

ESPECTROSCOPIA DE EMISION

BASADOS EN PRO-
PIEDADES FISICAS
Y QUIMICAS

MAGNETISMO
CHISPA
DUREZA
ENSAYOS A LA GOTA
COLOR Y BRILLO

Como puede observarse, tanto los métodos instrumentales como los ensayos a la gota son métodos de análisis químico, pero en este caso limitados a la condición de poder ser efectuados directamente sobre la pieza metálica; en tanto que el magnetismo, la dureza y el color son propiedades físicas que pueden ser empleadas como complemento de las pruebas químicas, cuando una de estas características distingue a una aleación.

En cuanto a la prueba de la chispa, ésta sirve únicamente para identificar a algunos aleantes de los aceros.

El fundamento en que se basan los equipos de rayos X y los espectroscopios de emisión portátiles, para la identificación de aleaciones en campo, es el mismo en que se basan los equipos de laboratorio, siendo los equipos de campo menos precisos y exactos, debido a las limitaciones de tamaño, peso, volumen, resistencia a los cambios de temperatura, a las vibraciones, etc.

Los métodos de rayos X y la espectroscopía de emisión, se basan en la emisión de radiación electromagnética, y

ésta se puede caracterizar por:

Su longitud de onda λ

Su número de onda σ

Su frecuencia ν

La longitud de una onda sinusoidal, es la distancia entre dos máximos consecutivos del tren de ondas. La frecuencia es el número de ciclos por unidad de tiempo y el número de onda, es la cantidad de ondas que hay en la unidad de longitud.

Los anteriores parámetros, se relacionan entre si mediante las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{1}{\sigma}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\nu = \sigma c$$

Donde c es la velocidad de la luz en el medio a través del cual se esté desplazando (3×10^8 m/s). Las unidades más empleadas para la longitud de onda son:

Angstroms $\text{\AA} = 10^{-10}$ m.

Milimicras $\mu = 10^{-9}$ m.

Nanómetros nm = 10^{-9} m.

En cuanto a la frecuencia, sus unidades más comunes son

los Hertz (1 Hz = 1 ciclo por segundo).

El espectro electromagnético, es una escala continua de radiación que se extiende desde una longitud de onda aproximada del orden de 10^{-14} m de los rayos cósmicos, hasta los 100 m de las ondas de radio.

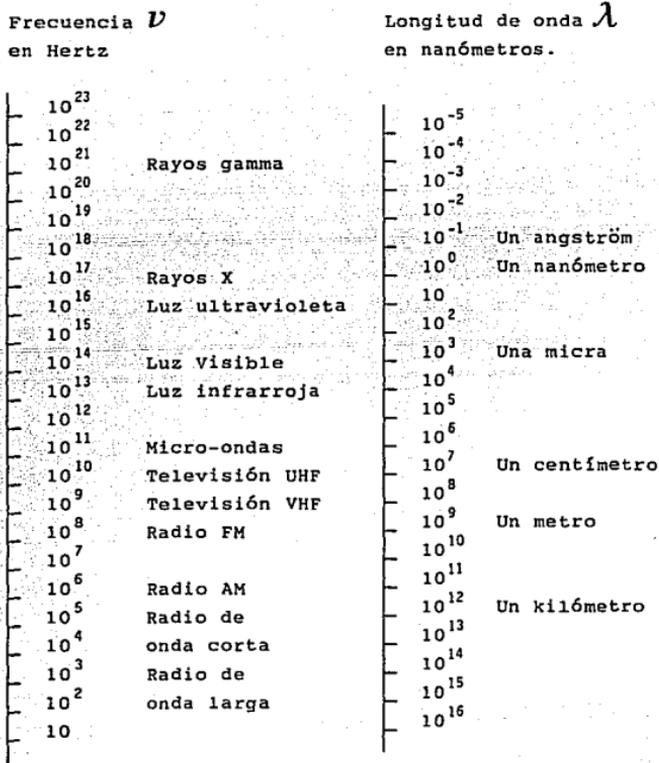
Los nombres descriptivos de las diferentes secciones del espectro son históricas; y son una clasificación conveniente relacionada con la fuente de radiación. En todas sus secciones, posee la misma velocidad C y la misma naturaleza electromagnética, siendo la única diferencia de una parte del espectro a otra su frecuencia ν su longitud de onda λ y su energía \mathcal{E} . La relación entre esta energía y la frecuencia, viene dada por la ecuación:

$$\nu = \frac{\Delta \mathcal{E}}{h}$$

$$h = \text{Constante de Planck}$$
$$h = 6.62620 \times 10^{-34} \text{ J seg.}$$

Las regiones del espectro electromagnético no tienen fronteras definidas y exactas, puesto que la clasificación es un poco arbitraria, pero en la siguiente tabla se da una idea del orden de magnitud de su ubicación y rango:

DIAGRAMA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



Existen tres tipos de espectros de emisión:

- 1) Espectro continuo.
- 2) Espectro en bandas.

3) Espectro en líneas.

Los espectros continuos, son emitidos por sólidos incandescentes y están caracterizados por la ausencia de cualquier tipo de línea francamente definida; o sea que los sólidos al calentarse emiten luz policromática, siendo su espectro continuo, aunque no todo de la misma intensidad.

La longitud de onda máxima que emiten los sólidos incandescentes, está en función de la temperatura absoluta, según la ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\max} T = 2.898$$

λ = Longitud de onda en nm.

T = Temperatura en °K.

Los espectros de banda, consisten en grupos de líneas que se acercan cada vez más entre si, conforme se aproximan a la cabeza de la banda, que es el límite. Estos espectros son originados por moléculas excitadas.

En los espectros de líneas, éstas aparecen perfectamente definidas, esparcidas de una manera amplia, en apariencia irregular y en número y ubicación característico de cada elemento.

Estos espectros solo pueden ser emitidos por átomos o iones de elementos en estado gaseoso o en forma de vapor, los cuales pasan del estado basal al excitado cuando absorben energía en forma de calor, luz, chispa, arco eléctrico, etc. y regresan del estado excitado al basal con la emisión

de ondas electromagnéticas de frecuencia inversamente proporcional al cambio de nivel energético experimentado por sus electrones.

Según la teoría cuántica, cada átomo o ion tiene estados definidos de energía, siendo ésta mínima en el estado basal, que es como se encuentran los elementos a temperatura ambiente. Adicionando energía mediante medios térmicos, eléctricos u otros como ya fue dicho, uno o más electrones pueden ser llevados a un estado energético más alto y lejano del núcleo. Cuando estos electrones regresan a su estado de energía normal, emiten el exceso de ésta como un fotón, o sea una forma de radiación electromagnética.

Como hay estados de energía definidos, solo existe un número limitado de longitudes de onda posibles en el espectro de emisión. A mayor energía de excitación, mayor energía del electrón excitado, y mayor energía emitida cuando éste regresa al estado basal. Como según la teoría cuántica este cambio de nivel energético no puede ser continuo, el espectro que emite tampoco lo es.

Dicho cambio energético, puede originarlo el retorno de uno o varios electrones de cada átomo, pudiendo efectuarse dicho regreso en una o varias etapas, y emitiendo respectivamente una o varias líneas en el espectro electromagnético, por lo que cualquier elemento, incluyendo al hidrógeno, tendrá un espectro de emisión formado por muchas líneas.

Dicho espectro de emisión electromagnética cambiará de un elemento a otro, debido a que cada elemento tiene un número diferente de electrones, protones y radio atómico; todo lo cual hace que el nivel energético de sus electrones sea diferente del de otros elementos.

Sin embargo, estas diferencias pueden no ser muy grandes, y por lo tanto difíciles de medir. Por ejemplo, la línea que emite el hidrógeno cuando el electrón de un átomo de hidrógeno salta del nivel de energía del número cuántico principal $n = 3$ al estado basal con $n = 1$, está ubicada en los 1025.717 \AA ; en tanto que la del helio es de 1025.270 \AA . Esto implica que un aparato con poca resolución, en una mezcla de ambos gases solo detectará una línea en los 1025 \AA .

Los principales componentes de un espectrómetro de emisión son:

- 1.- Una fuente de excitación.
- 2.- Un sistema dispersor de la radiación.
- 3.- Detectores fotoeléctricos.
- 4.- Un microprocesador.

Los aparatos portátiles para la identificación cualitativa de aleaciones, usan como fuente de excitación un arco eléctrico de corriente directa, el cual es formado entre dos electrodos, uno de los cuales lo constituye la pieza metálica que se desea identificar, previamente des-

bastada mediante papel de lija número 240, siendo el otro electrodo una pequeña barra de cobre, plata o tungsteno según lo que se quiera analizar.

El arco se inicia juntando momentáneamente los electrodos y separándolos a una distancia entre 1 y 20 mm. Esta distancia no debe variar durante el análisis, por lo cual es controlada por el microprocesador.

La diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de 20 KV, en tanto que la intensidad de corriente puede variar entre 1 y 5 amperios, con lo cual se logra la vaporización de entre 10 y 50 mg de la aleación de estudio, a una temperatura no menor de 4 000° C. ni mayor de 8 000° C. No conviene una temperatura más elevada, porque esta energía adicional solo traería como consecuencia la ionización de los átomos, con lo cual la emisión disminuye en el lugar de detección.

Otra variable que hay que controlar es la composición y presión de la atmósfera entre los electrodos, para lo cual el microprocesador controla que la presión durante el análisis sea constante, del orden de 100 mm Hg pudiendo ser dicha atmósfera aire o argón, de manera opcional.

En los equipos portátiles, el electrodo de cobre, plata o tungsteno se encuentra dentro de un dispositivo con forma de pistola de plástico, el cual se aplica contra la muestra que se desea analizar. La punta de este dispositivo tiene boquillas intercambiables, para que se adapte a la

superficie de la muestra y pueda formarse en su interior el vacío requerido para el análisis.

Además se encuentra conectado con el resto del equipo mediante un cable que contiene la alimentación eléctrica, la manguera del argón en algunos modelos, y un cable con fibras ópticas, las cuales transmiten la radiación electromagnética emitida por la muestra en el arco eléctrico hacia el sistema dispersor de la radiación.

Estas fibras ópticas de alta tecnología, conducen la luz sin pérdidas ni distorsiones, teniendo además la característica de ser flexibles, siendo su longitud comercial variable entre los 10 y los 30 metros.

La luz emitida por la muestra en el arco eléctrico es conducida por las fibras ópticas hasta el sistema dispersor de la radiación electromagnética, el cual es una red de difracción.

En la actualidad, todos los equipos de calidad que requieren de monocromadores, como el que nos ocupa, utilizan una red de difracción fabricada mediante holografía.

Primeramente, se procede a fabricar una sola red, que reúna las mejores características de calidad posibles, por lo cual será muy cara. El siguiente paso consiste en obtener el holograma de dicha red mediante técnicas que utilizan rayos laser. Finalmente, el holograma permite duplicar los detalles superficiales de la red de difracción original en las redes con que se equipará a los aparatos.

Una red de difracción consta de varias estrías paralelas equidistantes, trazadas sobre una superficie metálica o de vidrio. La luz que incide en estas estrías se difracta, esto es se desvía en distintos ángulos, según las longitudes de onda de la luz y la distancia entre las estrías.

La ecuación fundamental para la difracción de la luz es:

$$N\lambda = D(\sin I + \sin \theta)$$

N = Número natural pequeño que indica el orden del espectro.

λ = Longitud de onda.

D = Distancia entre las estrías de la red.

I = Angulo de incidencia.

θ = Angulo de difracción.

La luz difractada pasa finalmente al sistema de detectores fotoeléctricos, donde se transforma en energía eléctrica.

Los detectores fotoeléctricos empleados en los espectrógrafos portátiles son de silicio monocristalino de estado sólido, y se ubican con la parte sensible a la luz orientada hacia el interior de un círculo conocido como de Rowland, dentro del cual, también se encuentra la red de difracción, tipo espejo cóncavo con un radio de curvatura igual al doble del radio del círculo de Rowland. La luz penetra por una rejilla para incidir en la red, difractándose hacia los

elementos fotodetectores. A este arreglo se le conoce como de Paschen-Runge.

Cada línea del espectro obtenido, es identificada mediante un detector en función de su ubicación, debido a que la red difracta a la luz de cada longitud de onda siempre en la misma dirección, según la ecuación anterior. Para evitar desviaciones en la trayectoria del haz de luz, el interior del círculo de Rowland siempre se encuentra al alto vacío.

El cambio de la longitud de onda a lo largo de la curva focal, expresado en Angstroms por cada milímetro se conoce como poder de dispersión lineal recíproca, y entre más pequeño es este número mayor sensibilidad tiene el equipo para detectar pequeños cambios en la longitud de onda recibida, pero por lo mismo no podrá cubrir un rango muy extenso de longitudes de onda.

La señal eléctrica de cada detector fotoeléctrico pasa al microprocesador, donde los elementos son identificados en función de la combinación de detectores que generan electricidad, o sea identificando las líneas del espectro electromagnético recibidas en los detectores; y relacionando además sus intensidades relativas.

Para identificar al elemento, los datos anteriores son comparados por el microprocesador con los datos obtenidos con las muestras con que se calibró previamente al equipo.

Mientras que el número y ubicación de las líneas permite

la identificación del elemento, la intensidad de la señal obtenida se relaciona con la concentración de dicho elemento en la muestra.

La función del microprocesador es controlar algunas variables del análisis como la distancia entre el electrodo y la muestra para unirlos y separarlos con el objeto de iniciar el arco eléctrico, y mantenerlos después separados a una distancia constante; ajustar la presión del aire o del argón y mantenerla constante; controlar los tiempos de desalojo de aire con argón, de mantenimiento del arco eléctrico, etc. y por otra parte almacenar los datos obtenidos con las muestras patrón, compararlos con los del análisis e identificar a la aleación.

Como podrá observarse, los espectrógrafos portátiles para la identificación de aleaciones son aparatos de muy reciente introducción en el mercado, ya que contienen avances tecnológicos como el microprocesador, las fibras ópticas y los fotodetectores de estado sólido de silicio monocristalino, los cuales ya fueron mencionados, y otros como el uso del Tristor que permite el manejo de las intensidades de corriente del arco eléctrico en forma más estable que con la antigua combinación de condensador y platinos operados por relés para suministrar o cortar la energía; principio que también se usa en el encendido electrónico de los automóviles.

Por todo lo dicho puede parecer que los equipos de campo en la actualidad compiten con los de laboratorio; sin embargo la tabla siguiente nos muestra que los equipos de laboratorio también se han beneficiado con los adelantos técnicos, y son superiores a los de campo.

CARACTERISTICAS TIPICAS DE LOS ESPECTROMETROS DE EMISION.

Característica	De laboratorio.	De campo.
Altura	1.3 m	1.0 m
Ancho	1.15 m	0.6 m
Profundidad	0.86 m	0.71 m
Masa	800 Kg	185 Kg
Espectrofotómetro		
Montaje	Pashen-Runge	Pashen-Runge
Distancia focal	0.75 m	0.75 m
Rango espectral	170-800 nm	220-530 nm.
Disp. recíproca	5.3-0.15 A/mm	5 A/mm
Red holográfica	2400 líneas/mm	2400 líneas/mm
Lineas detectables	20-63	24 fijo
Excitación.		
Fuente	Arco DC o chispa	Arco DC
Detectores	Fototubos de 1,3 cm	Si de Edo. sólido
Repetibilidad en concentraciones de 10 %	0.2-0.8 %	semicuantitativo

Característica	De laboratorio	De campo
Elementos detectables desde:	No. atómico 4	No. atómico 19
Forma de muestra	Pastilla o rebabas	Sobre la pieza
Microprocesadores	Dos	Uno
Precio	\$212 000 000.00 (\$80 000.00 US)	\$129 850 000.00 (\$49 000.00 US)

El otro método instrumental para la identificación de aleaciones es la espectroscopía de rayos X. Como ya fue dicho, la emisión de un espectro visible de líneas solamente ocurre cuando los elementos se encuentran en estado gaseoso o de vapor; para lo cual se requiere de la energía térmica necesaria, ya que no hay metales gaseosos a temperatura ambiente, además de la energía de excitación. Sin embargo, en el estado sólido también se puede obtener un espectro de emisión característico, siendo en este caso las fuentes de excitación posibles:

Radiando la muestra con rayos X primarios, para obtener una radiación secundaria.

Radiando la muestra con rayos gamma.

Bombardeando la muestra con un haz de electrones de alta energía.

El espectro obtenido en todos los casos no será de luz, sino de rayos X.

En los equipos portátiles, solo se utilizan fuentes radioactivas como medio de excitación, por ligeras, compactas y para que los equipos consuman poca energía eléctrica.

Cuando se hacen incidir los rayos gamma de la fuente radioactiva en la muestra, ésta emite un espectro de líneas de rayos X debido a un fenómeno de fluorescencia.

Cuando la radiación gamma, que es radiación electromagnética de alta energía, saca a un electrón de la capa K o L de un átomo de la muestra, es substituido por otro proveniente de una capa externa de menor energía.

Existen dos tipos de rayos X: K alfa, y K beta. Los rayos K alfa, se emiten cuando un electrón desciende de la capa L a la K; en tanto que los rayos K beta se emiten cuando baja un electrón de la capa M a la K.

Las frecuencias de las líneas de los rayos X K alfa y K beta, aumentan con el número atómico Z de acuerdo con la ecuación de Moseley:

$$c/\lambda = \nu = a(Z - b)^2$$

c = Velocidad de la luz.

λ = Longitud de onda.

ν = Frecuencia.

Z = Número atómico.

a y b = Constantes.

Los valores de las constantes anteriores para encontrar las frecuencias de las líneas K alfa para cada elemento son:

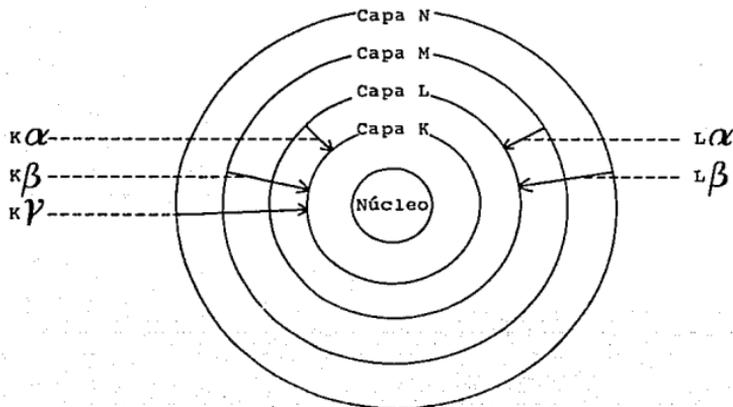
$$a = 2.48 \times 10^{15}$$

$$b = 1$$

Los elementos cuyo número atómico Z es menor de 23 producen únicamente series K; los de mayor número atómico, producen rayos X de las series K y L.

Este tipo de espectros es independiente del estado físico o de la combinación química del elemento.

Los rayos X de la serie L se producen cuando un electrón baja de una capa superior a la capa L. El siguiente diagrama ilustra la emisión de rayos X tanto K como L.



Como puede observarse, existen bastantes similitudes entre el análisis químico por fluorescencia de rayos X y la espectroscopía de emisión; ya que en ambos casos se provoca la emisión de radiación electromagnética de la muestra mediante una fuente de excitación; esta radiación es característica del elemento que la genera; en ambos casos se requiere dispersarla, identificarla, cuantificarla y compararla con patrones previos para obtener el resultado deseado.

Por lo anterior, las partes que constituyen a ambos equipos pueden nombrarse con términos semejantes; sin embargo la diferencia entre la longitud de onda, la frecuencia y la energía entre los rayos X y la luz visible, hacen que los componentes sean diferentes.

Como ya fue visto, los espectrómetros de rayos X emplean una fuente de excitación, que en los equipos portátiles es una fuente radioactiva. Estas son pastillas de cadmio 109, o de americio 241. El primero es mucho más barato que el segundo, pero su vida útil es de 453 días; en tanto que el americio 241 dura 420 años, o sea que excede la vida útil del equipo. En ambos casos, los equipos requieren de 6 pastillas con un máximo de 7 mCi (milicurie) cada una, equivalentes a 259 MBq (megabequerelios) cada una.

Debido a la pérdida de potencia de la fuente de excitación, los equipos requieren recalibrarse periódicamente, y con la fuente de cadmio 109 esta recalibración se requiere

efectuar con mayor frecuencia que con la de americio 241.

El siguiente componente es un dispersor de energía de rayos X. Como los rayos X tienen una longitud de onda de fracciones de nanómetro, no pueden emplearse redes de difracción, pues sus estrías resultarían del orden de la separación entre los átomos que constituyen sus moléculas; pero sí pueden emplearse monocristales exactamente como las redes de difracción ya explicadas.

Hasta la década de los sesenta, únicamente se empleaban monocristales como el Topacio, fluoruro de litio, etc. como dispersores de onda de rayos X, los cuales descomponían el haz de rayos X en su espectro en función de los ángulos de incidencia y difracción según la ley de Bragg, y empleando un solo contador Geiger cuyo ángulo se variaba, graficándose el ángulo en el cual se obtenía la señal intensa.

Este sistema no se usa en los equipos portátiles por lento y voluminoso. En lugar de emplear espectrometría de dispersión de longitud de onda, se emplea espectrometría de dispersión de energía.

Como ya fue explicado, la frecuencia es igual a la energía dividida entre la constante de Planck; por lo tanto a mayor frecuencia mayor energía. Los rayos X procedentes de la muestra, se hacen incidir en una oblea hecha con un monocristal de silicio puro, cuidadosamente tratado con litio para que no contenga impurezas o irregularidades en su estructura cristalina que puedan atrapar electrones.

La emisión de rayos X por la muestra, no ocurre en forma continua, sino intermitente en forma de cuantos de rayos X, como la emisión de luz; debido a que ésta se realiza únicamente cuando un lugar vacío en una capa electrónica inferior, es ocupada por un electrón de otra capa superior, y esto ocurre en aproximadamente 10^{-15} segundos.

Cuando un cuanto de rayos X penetra a la oblea de silicio puro, pierde su energía transformándola en fotoelectrones que ionizan a los átomos de silicio. Cada ionización se efectúa con un consumo de 3.8 electrón-volts de energía, por lo que el número de átomos ionizados será equivalente a la energía del cuanto de rayos X, dividido entre 3.8.

Cuando los átomos de silicio se ionizan, pierden electrones, los cuales son colectados mediante la aplicación de una diferencia de potencial en poco menos de un microsegundo, por un transistor preamplificador de efecto de campo.

La señal de este transistor cuando la oblea de silicio recibe un cuanto de rayos X, consiste en un pulso eléctrico cuya intensidad es proporcional a la cantidad de energía del cuanto de rayos X.

Esta señal eléctrica, pasa a un amplificador de bajo ruido, y se envía a un microprocesador especial multicanal, el cual mide la intensidad del pulso y lo almacena en una memoria.

Al recibir el microprocesador nuevos impulsos eléctricos,

mide su intensidad, y va sumando en su memoria señales de igual intensidad.

Al terminar el análisis, el resultado puede aparecer en forma gráfica en un monitor, donde en el eje horizontal se grafica la energía de cada cuanto de rayos X, y en el eje vertical el número de veces que se recibió señal con cada energía.

La gráfica presentará picos verticales, cuya ubicación será indicativa del elemento que la produjo, en tanto que su altura guardará proporción con su concentración.

Tanto la oblea de silicio como el preamplificador de efecto de campo, se refrigeran mediante nitrógeno líquido, no presurizado, el cual hierve al nivel del mar a -195.8°C . con el objeto de reducir el ruido electrónico de la señal de salida.

La comparación del espectro de energía de rayos X obtenido en la muestra con los estándares para identificar elementos o aleaciones es también función del microprocesador del equipo.

Un típico equipo portátil consta de un detector de 4.5 Kg, en el cual está incluido la fuente de excitación radioactiva, la oblea de silicio, el preamplificador, un frasco de Dewar con nitrógeno líquido para un día de trabajo, el amplificador, un gatillo para efectuar cada análisis e indicadores del resultado, así como otro control para imprimir resultados.

Un cable de 23 metros de largo une a este detector con una base que contiene a la computadora, un monitor, la impresora y otro frasco de Dewar de 25 litros para recargar al analizador; así como un receptáculo para apoyar a éste cuando no está en uso.

El aparato analiza hasta 18 elementos simultáneamente en 5 segundos, y almacena en su memoria hasta 470 aleaciones; teniendo un costo aproximado de \$156 000 000.00 (\$60 000.00 U.S.)

Si el objetivo es identificar aleaciones en bodegas o en plantas, tanto el espectrómetro de emisión como el de rayos X cumplen con el objetivo. Sin embargo el espectrómetro de emisión deja una huella sobre el material, similar a la que queda cuando los soldadores inician un electrodo recubierto de soldadura eléctrica, operación que se conoce como "cebar el arco", y la literatura reporta que esta operación es una causa potencial de falla del metal por picadura, tanto en medio acuoso como a temperatura elevada; lo que pone en desventaja a la espectroscopía de emisión frente a la de rayos X que no afecta en lo absoluto a la muestra.

En cuanto al uso de la fuente radioactiva por los equipos de rayos X, éstos son totalmente seguros en condiciones normales de trabajo, siendo la obtención de radiografías de las tuberías de las plantas una operación mucho más riesgosa que operar a los espectrómetros de rayos X.

IDENTIFICACION DE ALEACIONES
MEDIANTE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS.

La más simple de las propiedades aprovechable para identificar a una aleación, es su color y brillo. El color de las aleaciones empleadas en generadores de vapor y turbinas es:

Aceros al carbono: Gris brillante cuando está muy pulido, y gris semimate en fracturas y superficies no muy pulidas. Se oxida muy fácilmente con la humedad, y los productos de corrosión acuosa son de color café; en tanto que los productos de corrosión a temperatura elevada son de color gris obscuro o negros.

Aceros al molibdeno y al cromo-molibdeno: Igual al anterior, siendo un poco más resistentes a la corrosión, pero no como para que se note en su aspecto.

Aceros inoxidable: Gris muy brillante cuando está bien pulido, brillando ligeramente más el austenítico que los otros tipos.

Cobre: Es de color rojo característico. Sus productos de corrosión son de color verde.

Latones: Son de color amarillo.

Bronces: Son de color más rojizo que los latones, pero menos que el cobre puro.

Cuproníqueles: En función del contenido de níquel, son amarillos rojizos hasta blancos para un 50 % de níquel o más.

Metal "Babbitt" para chumaceras: Es de un color blanco ma-

te y de tacto grasoso. Prácticamente no se puede diferenciar al "Babbitt" o metal blanco base estaño, del base plomo.

Superalcaciones base níquel y base cobalto: Tienen un aspecto bastante parecido al del acero de baja aleación o al de los aceros inoxidables endurecibles por precipitación.

Como puede verse, con el color y brillo solamente pueden diferenciarse los siguientes metales por grupos generales:

COLOR DE LAS ALEACIONES EMPLEADAS EN LOS
GENERADORES DE VAPOR Y EN LAS TURBINAS.

Rojo	Cobre.
Amarillo	Latones.
Amarillo rojizo	Bronces.
Gris muy brillante	Aceros inoxidables.
Gris semimate	Aceros al carbono, de baja aleación y superaleaciones.
Blanco mate	Metal "Babbitt".

IDENTIFICACION DE ALEACIONES
POR SUS PROPIEDADES MAGNETICAS.

Este otro método con el cual se pueden diferenciar aleaciones, se basa en la diferente fuerza con que éstas son atraídas por un imán. En función de los medios disponibles, se pueden identificar las diferentes aleaciones de 3 formas que son:

- a) Aplicándoles un imán con la mano.
- b) Midiendo la fuerza con que un imán es atraído por la muestra.
- c) Midiendo la curva de histéresis magnética, o la permeabilidad magnética de la aleación.

En los dos primeros casos, podemos clasificar a las aleaciones en:

- i) No magnéticas.
- ii) Debilmente magnéticas.
- iii) Fuertemente magnéticas.

Las aleaciones empleadas en generadores de vapor y turbinas no magnéticas son:

Todos los tipos de metal "Babbitt".

Todos los aceros inoxidables austeníticos, o sea de la serie 300 como el 304, 316, etc. no deformados en frío.

Todas las aleaciones base cobre, que no contienen hierro, y las que lo contienen hasta un 5 %, recocidas,

laminadas en caliente o de fundición.

Algunas superaleaciones base níquel, como el Incoloy 901 o el Inconel 718.

Las aleaciones empleadas en generadores de vapor y turbinas débilmente magnéticas son:

Todos los aceros inoxidable endurecibles por precipitación como el 17-4 PH, 17-7 PH etc.

Los aceros inoxidable austeníticos 302 y 304 con al menos un 60 % de deformación en frío. (Recristalizados no son magnéticos).

Las aleaciones base cobre aleadas con al menos un 1.5 % de hierro y deformadas en frío como los cuproníqueles que contienen de 1.0 - 1.8 % de Fe.

Las aleaciones empleadas en generadores de vapor y turbinas fuertemente magnéticas son:

Todos los aceros al carbono, al molibdeno y al cromo-molibdeno.

Todos los aceros inoxidable ferríticos y martensíticos de la serie 400.

Las aleaciones níquel-cromo-cobalto-hierro.

Nota: Algunas aleaciones de fundición base cobre con contenidos de hierro de hasta un 5 %, como la UNS C95400 conocida comercialmente como bronce al aluminio en ocasio-

nes son magnéticas, pero esto es un defecto que es conveniente aclarar:

La composición química de dicha aleación UNS C95400 es la siguiente:

Cobre	83 % mínimo.
Aluminio	10.0 - 11.5 %
Hierro	3.0 - 5.0 %
Manganeso	0.50 % máximo.
Níquel	2.5 % máximo.
Otros elementos	0.5 % Máximo.

Normalmente, la microestructura de esta aleación está constituida por un 50 % de cristales de fase alfa cúbica centrada en el cuerpo, y 50 % de fase metaestable beta hexagonal empaquetada compacta.

Con la anterior microestructura, esta aleación es tan débilmente atraída por el imán que resulta difícil percibir la atracción con la mano.

Pero en ocasiones estas aleaciones presentan un magnetismo fácilmente detectable; y observando su microestructura aparece un nuevo constituyente consistente en inclusiones no metálicas de magnetita Fe_3O_4 la cual se encuentra atrapada en la masa metálica, pero su adherencia con la misma es muy débil, por lo que estos granos fácilmente se arrancan del metal.

Cuando se somete al metal correctamente elaborado a

la acción de ácido nítrico 1:1 ésta se disuelve en su totalidad. Pero cuando se hace la misma prueba con la aleación defectuosa, la magnetita no se disuelve, sino que queda en forma de un polvo negro magnético en el fondo del recipiente en que se atacó a la aleación.

Las propiedades mecánicas de la aleación con magnetita son muy inferiores a las de la aleación normal, especialmente la resistencia a la abrasión, habiéndose dado casos en que impulsores de bomba fallaron por esta razón en uno o dos meses en operación.

Lo anterior es un ejemplo de un ensayo tan simple como acercar un imán a las piezas nuevas, para verificar si éstas están defectuosas o no.

Un método menos rudimentario para medir la fuerza con que un imán se pega a las muestras, puede emplearse adquiriendo un aparato de "Tinsley" que está diseñado para medir espesores de pintura aplicada sobre lámina de acero.

El modelo más preciso del medidor de "Tinsley" tiene una forma parecida a la de un pájaro estilizado. En el "pico del pájaro" se encuentra un pequeño imán unido en su centro al extremo de una barra, cuyo otro extremo se une a un eje que le permite al imán subir y bajar. En dicho eje, se encuentra un resorte que hace fuerza hacia la parte de arriba de la barra, y cuya fuerza puede variarse mediante una perilla graduada.

Para usar el aparato, se apoya "el pájaro" de manera que el imán del pico haga contacto con la muestra, al igual que "las patas" donde se ubica el eje, cuidando que la escala marque cero. A continuación se gira lentamente la perilla, con lo cual el resorte aplica una fuerza ascendente al imán. Cuando dicha fuerza es ligeramente superior a la del imán, éste se despegar de la muestra y sale por la "cresta del pájaro" pintado de rojo y produciendo un chasquido. En este momento se deja de girar la perilla, y se toma la lectura en la escala sobre la misma.

Otro modelo es similar a una pluma de escribir con un imán en la punta unido al cuerpo mediante un resorte y una escala en el cuerpo similar a la de un dinamómetro. Para emplearlo se apoya la punta en la muestra, cuidando que el aparato quede perpendicular a la superficie de la pieza. Al retirar el aparato, el resorte se tensa y desplaza a un indicador sobre la escala del aparato hasta que el imán se despegar de la muestra, con lo cual el indicador se detiene en la lectura que es proporcional a la fuerza requerida para despegar al imán de la pieza.

La escala de ambos aparatos es espesor de pintura, pero puede relacionarse con la atracción magnética de diferentes materiales empleando patrones, con lo que se mide la fuerza en lugar de estimarla a mano. Ambos aparatos son relativamente baratos, dando lecturas más repetibles el

que tiene forma de pájaro, pero siendo más comodamente transportable y utilizable en áreas chicas o irregulares el de forma de pluma de escribir.

Finalmente puede medirse la histéresis magnética o la permeabilidad magnética y obtener un resultado totalmente cuantitativo. Sin embargo los equipos para efectuar estas determinaciones no son portátiles ni baratos, y si su empleo es justificable para un fabricante de núcleos de transformador resulta antieconómico emplearlos para la identificación cualitativa de aleaciones, por lo que no se describe su empleo.

IDENTIFICACION DE ALEACIONES POR SU DUREZA.

Todas las aleaciones quedan bien definidas o caracterizadas cuando se conoce su composición química y sus propiedades mecánicas. Por lo tanto, cuando se tienen varias muestras metálicas revueltas, cada aleación puede identificarse por sus propiedades mecánicas, a condición de que éstas sean diferentes. Por lo tanto rigurosamente hablando más que con la dureza es con todas las propiedades mecánicas con lo que se puede en algunos casos identificar a las aleaciones.

Los datos de resistencia a la rotura o tracción y 1f-

mite elástico mínimos de cada aleación empleada en los generadores de vapor y en las turbinas ya se encuentran tabulados en el capítulo V del presente trabajo. Sin embargo, la prueba de tracción es destructiva, requiere de un equipo grande y costoso y las probetas llevan un maquinado relativamente lento de efectuar.

La prueba de dureza tiene las ventajas de que requiere un equipo mucho más barato y pequeño, existiendo durómetros portátiles; deja solo una pequeña huella sobre la muestra, intrascendente excepto cuando interesa el acabado superficial o en los casos de piezas sometidas a fatiga; y solo requiere de una superficie limpia y plana, que pueda apoyarse con firmeza en el soporte del aparato, de manera que la superficie plana quede perpendicular al penetrador.

La descripción de los equipos, sus ventajas y desventajas así como los detalles y precauciones en las determinaciones de dureza, pueden consultarse en los siguientes documentos:

Norma oficial mexicana NOM B-172: "Métodos de prueba mecánicos para productos de acero."

Norma oficial mexicana NOM B-116: "Determinación de la dureza Brinell en materiales metálicos."

Norma oficial mexicana NOM B-119: "Método de prueba para la determinación de la dureza Rockwell y Rockwell superficial en productos de hierro y acero."

Las anteriores normas mexicanas, se basan en las siguientes normas ASTM respectivamente:

Norma ASTM A-370: "Methods and definitions for mechanical testing of steel products."

Norma ASTM E-10: "Test methods for Brinell hardness of metallic materials."

Norma ASTM E-18: "Test methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials."

La determinación de dureza, es un tema muy tratado en los textos de ciencia de materiales, introducción a la metalurgia y metalurgia física; se recomienda especialmente:

Ensaye e inspección de los materiales en ingeniería; cuyos autores son Davis, Troxell y Wiskocil, editado por CECSA.

Tratamientos térmicos de los aceros; escrito por José Apraiz Barreiro, y publicado por editorial Dossat.

Acero para herramientas; escrito por Frank R. Palmer, George V. Luerssen y Joseph S. Pendleton; editado por Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.

Las durezas de las aleaciones empleadas en los generadores de vapor y en las turbinas, se presentan en las siguientes tablas:

DUREZA DE LAS ALEACIONES DEL GENERADOR
DE VAPOR Y DE LA TURBINA

Material ASTM	DUREZA
A 105	187 HB
A 182 F 1;2;	143-192 HB
A 182 F 5;7;	143-217 HB
F 5a;	187-248 HB
F 6a Clase 1;	143-187 HB
F 6a Clase 2	167-229 HB
F 6a Clase 3	207-302 HB
F 6a Clase 4	263-321 HB
F 6b	235-285 HB
F 6NM	295 HB Máx.
F 9	179-217 HB
F 91	248 HB Máx.
F 11;12;	143-207 HB
F 11a;21;22;	156-207 HB
F 11b; 11b;12b;	121-174 HB
F 21b	174-237 HB
F 22a	170 HB Máx.
F XM-27Cb;429;430;	190 HB Máx.
FR	197 HB Máx.
A 192	137 HB Máx.
A 209 T-1	146 HB Máx.
A 209 T-1a	153 HB Máx.
A 209 T-1b	137 HB Máx.
A 210 A-1	143 HB Máx.
A 210 C	179 HB Máx.
A 213 T5b;T7; y T9	179 HB Máx.
A 213 T-91	250 HB Máx.
A 213 Grado 18Cr-2Mo	217 HB Máx.
A 213 Todos los otros reados no inox.	217 HB Máx.
A 226	125 HB Máx.
A 234 WP5; WP7; WP9 y WPR	217 HB Máx.

Material ASTM	Dureza
A 234 WP91	248 HB Máx.
A 234 Los otros grados	197 HB Máx.
A 250 T1	146 HB Máx.
A 250 T 1a	153 HB Máx.
A 250 T 1b	137 HB Máx.
A 266 1	121-170 HB
A 266 2 y 4	137-197 HB
A 266 3	156-207 HB
A 268 TP 405; TP 409; 29-4; 29-4-2	207 HB Máx.
A 268 UNS S 40800; TP 410; TP 443; TP 446	207 HB Máx.
A 268 TP 429; TP 430; TP 430 Ti;	190 HB Máx.
A 268 TP 439; TP XM-27	190 HB Máx.
A 268 TP 329;	271 HB Máx.
A 268 UNS S 41500;	295 HB Máx.
A 268 TP XM-33	241 HB Máx.
A 268 18Cr-2Mo	217 HB Máx.
A 268 26-3-3	265 HB Máx.
A 268 25-4-4	270 HB Máx.
A 423 Grados 1 y 2	170 HB Máx.

DUREZA DE METALES QUE TRABAJAN CON VAPOR SOBRECALENTADO

A 182 F 1	143-192 HB Máx.
A 182 F 2	143-192 HB Máx.
A 182 F 5	143-217 HB Máx.
A 182 F 5a	187-248 HB Máx.
A 182 F 6a Clase 1	143-187 HB Máx.
A 182 F 6a Clase 2	167-229 HB Máx.
A 182 F 6a Clase 3	207-302 HB Máx.
A 182 F 6a Clase 4	263-321 HB Máx.
A 182 F 6b	235-285 HB Máx.

MATERIAL ASTM	DUREZA BRINELL
A 182 F 6NM	295 Máx.
A 182 F 7	143-217
A 182 F 9	179-217
A 182 F 91	248 Máx.
A 182 F 11	143-207
A 182 F 11a	156-207
A 182 F 11b	121-174
A 182 F 12	143-207
A 182 F 12b	121-174
A 182 F 21	156-207
A 182 F 21b	174-237
A 182 F 22	156-207
A 182 F 22a	170 Máx.
A 182 F XM-27Cb	190 Máx.
A 182 F 429	190 Máx.
A 182 F 430	190 Máx.
A 182 FR	197 Máx.
A 182 Grados austeníticos y ferrítico-austeníticos	-----
A 213 Grados ferríticos:	
T 5b; T 7; y T-9	179 HB Máx.
T 91	250 HB Máx.
18Cr-2Mo	217 HB Máx.
Todos los demás grados	163 HB Máx.
A 213 Grados austeníticos:	
TP 201 y 202	219 HB Máx.
UNS S 30815	217 HB Máx.
Todos los otros grados	192 HB Máx.

MATERIAL ASTM

DUREZA BRINELL Máx.

A 240 UNS S30200	202
A 240 UNS S30400	202
A 240 UNS S30403	183
A 240 UNS S30453	202
A 240 UNS S30409	202
A 240 UNS S30451	202
A 240 UNS S30500	183
A 240 UNS S30815	217
A 240 UNS S30908	217
A 240 UNS S30940	217
A 240 UNS S31008	217
A 240 UNS S31040	217
A 240 UNS S31254	220
A 240 UNS S31600	217
A 240 UNS S31603	217
A 240 UNS S31653	217
A 240 UNS S31609	217
A 240 UNS S31635	217
A 240 UNS S31640	217
A 240 UNS S31651	217
A 240 UNS S31700	217
A 240 UNS S31703	217
A 240 UNS S32100	217
A 240 UNS S32109	217
A 240 UNS S34700	202
A 240 UNS S34709	202
A 240 UNS S34800	202
A 240 UNS S34809	202
A 240 UNS S38100	217
A 240 UNS S30452	241
A 240 UNS S21600	241
A 240 UNS S21603	241
A 240 UNS S20910	241

MATERIAL ASTM	DUREZA BRINELL MAXIMO
A 240 UNS S24000	241

ACEROS AUSTENITICO-FERRITICOS (DUPLEX)

A 240 UNS S32550	297
A 240 UNS S31200	220
A 240 UNS S31803	290
A 240 UNS S32900	271

ACEROS FERRITICOS O MARTENSITICOS.

A 240 UNS S40500	183
A 240 UNS S41000	217
A 240 UNS S41008	183
A 240 UNS S41050	183
A 240 UNS S41500	295
A 240 UNS S42900	183
A 240 UNS S43000	183
A 240 UNS S43035	183
A 240 UNS S44400	217
A 240 UNS S44627	190
A 240 UNS S44626	217
A 240 UNS S44635	270
A 240 UNS S44660	241

MATERIAL ASTM

MATERIAL ASTM	DUREZA ROCKWELL B MAXIMO
A 249 TP 201	95
A 249 TP 202	95
A 249 TP 304	90
A 249 TP 304H	90
A 249 TP 304L	90
A 249 TP 304N	90
A 249 TP 304LN	90

MATERIAL ASTM	DUREZA ROCKWELL B MAXIMO
A 249 TP 305	90
A 249 TP 309	90
A 249 TP 309Cb	90
A 249 TP 309S	90
A 249 TP 310	90
A 249 TP 310Cb	90
A 249 TP 310S	90
A 249 TP 316	90
A 249 TP 316H	90
A 249 TP 316L	90
A 249 TP 316N	90
A 249 TP 316LN	90
A 249 TP 317	90
A 249 TP 317L	90
A 249 TP 321	90
A 249 TP 321H	90
A 249 TP 347	90
A 249 TP 347H	90
A 249 TP 348	90
A 249 TP 348H	90
A 249 TP XM-15	25R _C
A 249 TP XM-29	100
A 249 UNS S31254	96
A 249 UNS S30815	95
A 249 UNS S31725	90
A 249 UNS S31726	90
A 268 UNS S40500	95
A 268 UNS S40800	95
A 268 UNS S41000	95
A 268 UNS S42900	90
A 268 UNS S43000	90
A 268 UNS S43036	90

MATERIAL ASTM	DUREZA ROCKWELL B MAXIMO
A 268 UNS S44300	95
A 268 UNS S44600	95
A 268 UNS S32900	28 R _C
A 268 UNS S40900	95
A 268 UNS S43035	90
A 268 UNS S44627	90
A 268 UNS S41500	32 R _C
A 268 UNS S44626	100
A 268 UNS S44400	95
A 268 UNS S44700	100
A 268 UNS S44660	25 R _C
A 268 UNS S44635	27 R _C
A 268 UNS S44735	100

MATERIAL ASTM	DUREZA BRINELL Maximo
Austeníticos	
A 479 Tipo XM-17 y XM-18 Recocidos	212
A 479 Tipo UNS S 21800 Recocido	241
A 479 Tipo XM-19 Recocido	293

Martensíticos	
A 479 Tipo 403 y 410 Recocido	223
A 479 Tipo 403 y 410 Templado y revenido a 675° C.	223
Templado y revenido a 590° C	269
Templado y revenido a 570° C	302
A 479 Tipo 414 Templado y revenido a 590°C	321
A 479 Tipo UNS S 41500 Normalizado y rev.	295
A 479 Tipo XM-30 Recocido	235
A 479 Tipo XM-30 Templado y revenido a 590° C	302

MATERIAL ASTM

DUREZA BRINELL
MAXIMO

FERRITICOS.

A 479 Tipo 405	207
A 479 Tipo 430 y XM-8	190
A 479 Tipo XM-27	219
A 479 Tipo UNS S 44401	217

FERRITICO-AUSTENITICO

A 479 Tipo UNS S 32550	297
------------------------	-----

ALEACIONES NIQUEL-HIERRO-CROMO

MATERIAL ASTM

DUREZA ROCKWELL B
MAXIMO

B 409 UNS N 08800	86-88 (Lámina y fleje)
B 424 UNS N 08825 y 08221 lámina y fleje Placa	95 135-165

METAL BABBITT

MATERIAL ASTM

DUREZA BRINELL TIPICA
CON PENETRADOR DE 10
mm, CARGA 500 Kg por
30 seg.

B 23 Aleación no. 1	17.0
B 23 Aleación no. 2	24.5
B 23 Aleación no. 3	27.0
B 23 Aleación no. 7	22.5
B 23 Aleación no. 8	20.0
B 23 Aleación no. 15	21.0

IDENTIFICACION DE ALEACIONES
MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CHISPA.

Esta prueba consiste en sujetar a la aleación y ponerla en contacto con una piedra de esmeril, para observar la longitud, morfología y color de las chispas que se desprenden. Para tener éxito en esta prueba se recomienda:

- a) Para los aceros que se emplean a altas temperaturas, y que son de bajo carbono y blandos, se recomienda emplear una piedra de esmeril A-46-S-5-V. (Nomenclatura del Instituto Norteamericano de Estándares ANSI que significa:

A = Abrasivo de alúmina.

46 = Tamaño de grano del abrasivo en mallas ASTM.

S = Grado de dureza del aglutinante que abarca de la letra A hasta la Z.

5 = Relación entre la cantidad de partículas abrasivas, la cantidad de aglutinante y la cantidad de huecos o poros, en escala del 1 al 15.

V = Aglomerante de tipo vitrificado.

- b) Que la velocidad tangencial de la piedra de esmeril sea entre 35 - 45 m/seg.

- c) Que no haya luz solar directa, sino una iluminación te-

nue indirecta.

- d) Que se cuente con metales de composición química conocida, para poder comparar sus chispas con las de la muestra en idénticas condiciones.
- e) Que la piedra de esmeril la muestra y los metales de referencia, se encuentren limpios y libres de óxidos, escamas de laminación, incrustaciones, depósitos, grasa o aceite, etc.
- f) Que se procure que la presión del metal contra la piedra sea igual tanto con la muestra como con las piezas de referencia.
- g) Que el área del metal en contacto con la piedra no sea muy pequeña, esto es, no se pueden probar hojas de rasurar por el filo.
- h) La observación debe hacerse contra un fondo liso, de preferencia negro, y no debe usarse como fondo ninguna fuente de luz.

El ensayo de la chispa, solo sirve para metales ferrosos. Cuando una aleación ferrosa se pone en contacto con una piedra de esmeril que rota a gran velocidad, ocurren desprendimientos de pequeñas partículas de metal; y por efecto de la fricción, se ponen incandescentes, emitiendo luz por esta razón. Al entrar en contacto con el oxígeno de la atmósfera, las partículas incandescentes se oxidan, y el carbono presente en dicha partícula pasará a CO₂ ga-

seoso; por lo que la diferencia entre el volumen del carbono y del CO_2 ocasiona una pequeña explosión de la partícula, que se ve como una fragmentación con chisporroteo de la trayectoria luminosa que sale de la unión de la piedra de esmeril con el metal.

Como este fenómeno ocurre con emisión de luz, y no por reflexión de la misma, no se le puede ver con una iluminación externa fuerte, como la luz solar o la de un flash, ya que con esto solo se logra disminuir el contraste entre la pequeña partícula luminosa y el fondo, que pasa de negro a iluminado. Por esta razón, se hicieron las recomendaciones c) y h); y por esta misma razón, el fenómeno no puede retratarse fielmente, como se explica a continuación:

Con una esmeriladora eléctrica de alta velocidad, 16 000 RPM y una piedra abrasiva de 5.08 cm. (2 pulgadas) de diámetro, se obtiene la siguiente velocidad tangencial:

$$(0.0508 \text{ m})(3.14159)(16\ 000)(1 \text{ min.}/60 \text{ seg.}) = \underline{42.56 \text{ m/seg.}}$$

Que se encuentra dentro del rango de velocidades recomendado. Pero debido a la poca luz que se emite durante la prueba, ésta no puede ser retratada a una velocidad mayor de 1/60 de segundo, (con película ASA 400 - 27 DIN) y con esta velocidad de exposición, cada partícula recorrerá:

$$(42.56 \text{ m/seg.})(1/60 \text{ seg.}) = \underline{0.709 \text{ m}}$$

O sea que lo que debiera salir en la fotografía como un punto, sale como una línea de 71 cm. Por esta razón, no hay buenas fotografías del fenómeno, y los libros donde se describe esta prueba, ilustran con láminas o dibujos que son más esquemáticos o artísticos que reales.

La trayectoria de las chispas producidas por los aceros, se pueden dividir en 3 zonas:

La primera, es la más cercana al disco abrasivo y está formada por rayos rectilíneos. Aquí es donde mejor se aprecia el color.

La segunda también tiene rayos rectilíneos, pero aparecen algunas explosiones o bifurcaciones.

En la tercera zona, es donde aparecen la mayor parte de las explosiones.

Cuando se practica el ensayo de la chispa, hay que observar:

- a) La longitud de cada zona.
- b) El color y la luminosidad.
- c) La forma del rayo, que puede ser liso y delgado, con abultamientos intermitentes.
- d) La forma y color de la terminación de la chispa, pudiendo ser como lenguas, gotas, puntas de lanza o ramificaciones que terminan sin cambiar de sección.

e) La forma de las ramificaciones, que pueden ser como estrellas, flores, ramas de árbol, etc.

Se insiste en que estas descripciones y las ilustraciones de la bibliografía, son hechas para dar una idea de lo que hay que observar, pero que la única forma confiable de proceder es con patrones o muestras de referencia de composición conocida, ya que éstas proporcionarán chispas en las condiciones más parecidas posible a la de las muestras.

No hay que confundir a los aceros de herramienta que trabajan a alta temperatura, y que son al alto carbono y aleados con elementos como tungsteno y cobalto, con los aceros para calderas que son el tema de este trabajo.

En el caso de los aceros empleados en generadores de vapor, el ensayo de la chispa permite identificar:

Aceros al bajo carbono; Su chispa está formada por rayos lisos de color amarillo oscuro que en su punta aumentan ligeramente de volumen y de luminosidad.

Aceros al molibdeno; Su chispa tiene la peculiaridad de que en la punta aparece una prolongación separada del resto del rayo, de color rojo-anaranjado característico.

Aceros al cromo-molibdeno; Se observa la misma terminación

de chispa que es característica del molibdeno, pero la longitud de la chispa es menor.

La presencia de níquel no es muy clara en los ensayos de chispa, por lo que se recomienda otro método para identificar a este elemento en los aceros.

En el caso de los aceros inoxidables austeníticos como el 304, las chispas presentan una angosta línea de poca longitud de color blanco amarillento. El acero inoxidable 321 aplicado con fuerza sobre la piedra de esmeril, produce unas chispas más largas que las del 304 en iguales condiciones, y con una coloración un poco más anaranjadas que en el caso anterior.

Los aceros inoxidables fundidos con molibdeno como el acero fundido ASTM A 296 grado CF-8M producen chispas cortas de gran densidad amarillento rojizas, y aplicando el metal con fuerza sobre la piedra puede verse un anillo luminoso en la superficie de la piedra al rotar.

El esmerilado es un método para dimensionar y terminar piezas metálicas, que puede ser usado para identificar metales; de la misma forma, quien tiene un torno, cepillo, fresadora, etc. puede identificar o diferenciar metales cuyas características de maquinado sean diferentes. La forma de proceder es la siguiente:

Se coloca en la máquina herramienta la pieza que se desea probar, se selecciona la profundidad de corte y se enciende la máquina a la velocidad mínima. Si todo se ve normal, se procede a aumentar la velocidad de maquinado, lo cual generalmente se hace por pasos discretos. De esta manera se aumenta la velocidad, hasta que las rebabas empiezan a salir de color "azul de revenido" y se observa una pequeña cantidad de humo desprenderse de la pieza al pasarle a ésta el buril. La velocidad inmediata anterior en que no sale humo ni se quema la rebaba, es la velocidad máxima de maquinado, y esta puede cambiar bastante,

dependiendo de la composición química del metal y del tratamiento térmico.

Desde luego que el maquinado es más una característica tecnológica que un método para identificar aleaciones, y además los aceros empleados en los generadores de vapor tienen características de maquinado similares; sin embargo se menciona el método por que en ocasiones puede ser aplicado.

IDENTIFICACION DE ALEACIONES MEDIANTE ENSAYOS A LA GOTA.

Los ensayos a la gota, han sido desarrollados específicamente para identificar aleaciones o la presencia de un metal en una aleación, basándose en las propiedades químicas tanto de la aleación como del metal que se busca.

Hay dos formas de efectuar estos ensayos: Disolviendo rebabas y efectuando la determinación en la solución, o agregando los reactivos directamente sobre la superficie de la pieza que se va a probar.

En el primer caso, caemos en el campo del análisis químico cualitativo, enfocado a la identificación de aleaciones. Tiene como ventajas el efectuarse en condiciones más controlables y en casos difíciles obtener resultados más claros; pero el ensayo resulta destructivo y se requiere de cristalería y otros recursos de laboratorio. Por esta razón y por ser un tema muy extenso y ampliamente tratado en los libros de análisis químico cualitativo, no va a ser tratado en este trabajo.

En todos los casos, para obtener buenos resultados en los ensayos a la gota es necesario observar lo siguiente:

La superficie del metal, deberá estar libre de polvo y grasa; y el lugar de la pieza donde se vaya a efectuar el ensayo deberá lijarse o esmerilarse inmediatamente antes de efectuarlo.

Algunas reacciones desprenden calor, por lo que de hacerse en láminas delgadas pueden alterarse los resultados. En estos casos, apoyar la lámina en otro metal grueso, para que disipe el calor de las reacciones químicas.

Observar estrictamente las condiciones del ensayo.

Los recipientes donde se guardan los reactivos, agitadores, goteros, placas de ensayos a la gota, etc, deberán de estar escrupulosamente LIMPIOS.

Utilice sustancias químicas grado reactivo, elaboradas por un fabricante de confianza o prestigio, en especial cuando no se tiene experiencia, pues en ocasiones los reactivos baratos contienen como impureza al elemento buscado, o no reaccionan adecuadamente por problemas de concentración o de interferencias.

ACEROS AL CARBON

Reactivos requeridos:

Acido nítrico 1:1. A 50 ml. de agua destilada, agregarle 50 ml. de ácido nítrico concentrado (65 %, densidad 1.40)

Procedimiento: Agregar una gota de ácido nítrico 1:1 a una superficie recién lijada, y aguardar por 5 minutos. Enjuague sin frotar con un poco de agua destilada. Una mancha café de oxido férrico donde estaba el ácido, indica que la muestra es de acero al carbono.

Puede estimarse el contenido aproximado de carbono, de la siguiente manera:

Agregar 2 gotas de ácido nítrico 1:1 a la superficie recién lijada de la muestra, y después de un minuto transferir una de las gotas al centro de un papel filtro. La intensidad de la mancha es proporcional al contenido de carbono. Comparando con estándares, puede aproximarse el porcentaje de carbono.

ACEROS DE BAJA ALEACION.

ACEROS AL MOLIBDENO.

Reactivos:

A 50 ml. de agua destilada, agregarle cuidadosamente 10 ml. de H_2SO_4 concentrado. (95-98 % ; densidad 1.84)

Disolver 10 g de tiocianato de sodio NaSCN en 90 ml. de agua destilada. (Pueden emplearse indistintamente los tiocianatos de potasio, sodio o amonio; respectivamente KSCN, NaSCN ó NH_4SCN)

Disolver 10 g de cloruro de estaño(II) dihidratado ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$) en 25 ml. de ácido clorhídrico fumante (37 % ; densidad 1.19). Diluir una gota en 3 de agua inmediatamente antes de usarlo. Nota: Si se diluye con tiempo se precipita.

Procedimiento:

Agregar una gota de solución de ácido sulfúrico a la superficie recién lijada del metal. Aguardar 30 segundos.

Añadir una gota de solución de tiocianato. Aguardar otros 30 segundos.

Succionar el líquido con un papel filtro previamente humedecido (no empapado) en ácido clorhídrico 1:10 (una parte de HCl fumante y 10 partes de agua) y agregar una gota de solución de cloruro de mercurio(II). La formación de una mancha roja o rosa de $H_3Mo(SCN)_6$ indica que el acero está aleado con molibdeno.

Nota: La bibliografía describe una determinación con etilxantato de potasio $SC(SK)OC_2H_5$ solo que este reactivo es muy difícil de conseguir en México.

ACEROS AL CROMO MOLIBDENO. IDENTIFICACION DEL CROMO.

Reactivos:

Acido clorhídrico concentrado. (37 %; densidad 1.19)

Acido nítrico concentrado. (65 %; densidad 1.40)

Hidróxido de sodio 10 M. Pesar 41 g de NaOH disolverlos en agua destilada y aforar a 100 ml. Guardar en gotero de plástico.

Agua oxigenada al 3 %. Diluir 10 ml. de peróxido de hidrógeno H_2O_2 de 30 volúmenes en 90 ml. de agua destilada.

Difenil carbazida: Disolver 0.6 g de difenil carbazida en 60 ml. de alcohol etílico de 96°.

Acido sulfúrico 1:5: Cuidadosamente, agregar 10 ml. de ácido sulfúrico concentrado (96-98 % ; densidad 1.84) sobre 50 ml. de agua destilada.

Acido oxálico. Agregar a 100 ml. de agua destilada, ácido oxálico agitando hasta que no se disuelva, y queden cristales sin disolver en el fondo del recipiente. Utilizar únicamente el líquido.

Procedimiento:

Agregar sucesivamente a la superficie recién lijada de metal 6 gotas de ácido clorhídrico concentrado; 3 gotas de ácido nítrico concentrado y 3 gotas de agua destilada.

Aguardar a que la solución reaccione con el metal, y agregar 10 gotas de hidróxido de sodio y 7 gotas de agua oxigenada. Agitar con una varilla de vidrio y aguardar 5 minutos.

Colocar una pequeña bola de algodón sobre el líquido, y presionarlo con la punta de un gotero. Succionar con dicha punta 5 gotas de líquido, de manera que el algodón funcione como filtro, y colocar las 5 gotas en una placa de porcelana para ensayos a la gota.

Agregar una gota de ácido oxálico, y agitar durante un minuto.

Agregar 2 gotas de difenil carbazida y agitar con una varilla de vidrio durante un minuto.

Sin dejar de agitar, agregar una o dos gotas de ácido sulfúrico.

Aparece una coloración roja que desaparece, dando paso a otra coloración violeta que alcanza su máxima intensidad en 2 minutos. La coloración violeta, indica la presencia de cromo.

El ácido oxálico se agrega para evitar la interferencia del molibdeno, formando $H_2 MoO_3(C_2O_4)$.

ACEROS INOXIDABLES.

Las pruebas para identificar a los aceros inoxidables son las mismas que se emplearon en los aceros al carbono y de baja aleación, con las siguientes modificaciones:

Ensayo del acero al carbón; Cuando se trata de acero al carbón, la reacción ya descrita es casi instantanea y enérgica. Si se trata de un acero de baja aleación, la reacción se vuelve mas lenta, y el depósito se vuelve verde en lugar de café; en tanto que si no hay reacción con el ácido nítrico, la muestra es un acero inoxidable.

Cuando esto ocurre, se prueba la muestra con un imán, si no hay atracción, la muestra es un acero inoxidable de la serie 18Cr-8Ni, o sea serie 300; en tanto que de haber atracción, la muestra es un acero inoxidable ferrítico o martensítico, y en este último caso la prueba de dureza puede aclarar si el acero inoxidable es martensítico 38-62 R_C; o acero inoxidable ferrítico 8-24 R_C.

ACEROS INOXIDABLES CON MOLIBDENO.

El ensayo de molibdeno para aceros inoxidables, es idéntico que el ya descrito para aceros al molibdeno de baja aleación.

Otra forma de diferenciar a los aceros 302 y 304 sin

molibdeno de los aceros 316 y 317 con molibdeno es sumergir las muestras entre 60 y 66° C. en una solución de 0.3 g de fluoruro de sodio NaF en 60 ml. de agua, más 100 ml. de ácido fosfórico H_3PO_4 . Los aceros inoxidable con molibdeno no reaccionan, en tanto que el 302 y el 304 se llenan de burbujas por el ataque. Las desventajas de esta prueba son la inmersión y la temperatura.

DETERMINACION DE NIQUEL.

Reactivos:

Acido nítrico 1:5. Agregar 10 ml. de ácido nítrico concentrado sobre 50 ml. de agua destilada.

Acido clorhídrico fumante (37 % ; densidad 1.19).

Hidróxido de amonio NH_4OH concentrado (25 % mínimo; densidad 0.91).

Solución extractora: Disolver 5 g de citrato de amonio en 50 ml. de agua destilada. Puede emplearse tartrato de amonio en lugar de citrato de amonio.

Papel indicador de níquel: Cuidadosamente diluir 2.5 ml. de ácido sulfúrico sobre 100 ml. de agua destilada. Enfriar y agregar 25 g de acetato de amonio, agitando hasta disolución total. Sumergir papel filtro endurecido en esta solución (Wathman 540, 541 ó similar) y secar el papel a no más de 50° C. Humedecer nuevamente el papel (no por inmersión) en una solución alcohólica de dimetil glioxima al 1 % y secar sin calentar, protegiendo del polvo. Cortar tiras de 1.5 X 4 cm. y guardarlas en un frasco seco y hermético.

Procedimiento:

Colocar una gota de ácido nítrico 1:5 sobre la superficie recién lijada del metal. Si hay ataque, el acero no es inoxidable. Si no hay ataque, agregar una gota de ácido clorhídrico. Aguardar dos minutos desde el inicio de la reacción.

Succionar el líquido del ataque con una tira del papel reactivo.

Colocar el papel reactivo en la boca del frasco de hidróxido de amonio, de manera que esté en contacto solo con sus vapores, hasta que la mancha tome una coloración oscura.

Colocar la solución extractora en una pequeña cápsula de porcelana, y sumergir la tira de papel durante 2 minutos.

Enjuagar con un poco de agua destilada fría. Si hay níquel, aparece una mancha color de rosa o roja sobre el papel.

COBRES UNS C 10100; 10200; 10300; 10800; 12000; 12200; 14200; y 19200.

Reactivos:

Cloruro férrico acidificado. Disolver 6 g de cloruro férrico en 6 ml. de ácido clorhídrico concentrado, y diluir a 60 ml. con agua.

Procedimiento.

Colocar 2 gotas del reactivo sobre la superficie recién lijada del metal y aguardar 20 segundos. Enjuagar sin frotar con un chorro delgado de agua, nada más para eliminar la coloración de la solución anterior. Una mancha oscura donde se encontraba la gota de reactivo, indica que hay cantidades importantes de fósforo o arsénico en tanto que una superficie sin mancha indica un cobre de alta pureza como los indicados en esta sección.

LATONES.

DETERMINACION DE ESTAÑO.

Reactivos:

Acido nítrico concentrado.

Acido clorhídrico fumante o concentrado.

Magnesio metálico en pequeños trozos.

Cloruro de mercurio(II). Solución saturada. Disolver 5 g de cloruro de mercurio(II) $HgCl_2$ en 100 ml. de agua. Se disuelven 4 g aproximadamente. Usar solo la solución.

Procedimiento.

Agregar 4 gotas de ácido nítrico sobre la superficie recién lijada del metal. Aguardar 2 minutos.

Succionar 2 gotas con un gotero, y transferirlas a un tubo de ensaye de 75 mm de longitud por 10 mm de diámetro. Agregar 10 gotas de ácido clorhídrico fumante y mezclar usando un tapón de hule e invirtiendo repetidamente el tubo.

Agregar unas pocas partículas de magnesio metálico para eliminar el cobre de la solución.

Cuando todo el cobre se haya precipitado, la solución podrá quedar transparente o coloreada.

Agregar 1 ml. de agua, mezclar como ya se indicó y agregar 4 gotas de cloruro de mercurio(II). Un precipitado

blanco o gris confirma la presencia de estaño en proporción mayor al 0.25 % en la muestra.

DETERMINACION DE ZINC.

Reactivos:

Acido nítrico concentrado.

Hidróxido de sodio 6M. Disolver 24 g de NaOH en 100 ml. de agua destilada.

Acido clorhídrico 3M. Agregar 15 ml. de ácido clorhídrico fumante a 45 ml. de agua destilada.

Sulfato de cobalto (II) heptahidratado $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Disolver 0.012 g de sulfato de cobalto (II) en 2.5 ml. de ácido clorhídrico fumante, y diluir con agua destilada a 60 ml.

Tiocianato de amonio y mercurio(II). Disolver 5.8 g de cloruro de mercurio(II) HgCl_2 y 1.9 g de tiocianato de amonio NH_4SCN en 60 ml. de agua.

Procedimiento.

Colocar 2 gotas de ácido nítrico concentrado en una superficie recién lijada del metal a probar. Aguardar 2 minutos.

Agregar 2 gotas de agua y transferir 3 gotas de la solución a una placa de porcelana para ensayos a la gota.

Adicionar 4 gotas de hidróxido de sodio 6M y mezclar

con una varilla de vidrio. Si hay zinc, se precipita como hidróxido.

Agregar otras 4 gotas más de hidróxido de sodio 6M y mezclar. Se redisuelve el hidróxido de zinc.

Colocar sobre la solución, una pequeña bola de algodón y con un gotero de plástico succionar el líquido, usando el algodón como filtro, y transferirlo a un tubo de ensaye de 75 mm de longitud por 10 mm de diámetro.

Adicionar 4 gotas de ácido clorhídrico 3M, agitar y adicionar otras 4 gotas de ácido clorhídrico 3M.

Agregar 3 gotas de sulfato de cobalto(II) y 3 gotas de tiocianato de amonio y mercurio(II). Agitar por 15 segundos.

Un precipitado azul, indica la presencia de zinc.

CONCLUSION

7.- CONCLUSION.

Debido a su complejidad, las plantas termoeléctricas se compran completas y el fabricante las entrega operando. Sin embargo, en muchas ocasiones estos equipos tienen fallas prematuras, o sea mucho antes de vencerse su plazo de amortización. Estas fallas pueden deberse a muchos problemas, como errores de diseño, de ensamblado y de operación.

De todas las posibles causas de falla, una de ellas puede ser una elección inadecuada de materiales, debida a condiciones de corrosión más severas que las esperadas en el diseño.

En el presente trabajo, se trató la elección de aleaciones nada más desde el punto de vista de su resistencia a la corrosión, haciendo énfasis en las causas por las cuales la corrosión a temperaturas elevadas puede ser más severa en México que en otros países.

Se incluyó además una lista completa de aleaciones resistentes a la corrosión a temperaturas elevadas, para usarse en generadores de vapor, así como algunos materiales para turbinas.

Desde el punto de vista químico, esta información es completa; sin embargo desde el punto de vista mecánico solo cubre las propiedades mínimas para la recomendación de cambios de materiales, debido a que las propiedades mecánicas completas ocuparían un volumen exagerado.

Finalmente se proponen unos métodos para la identificación de aleaciones en campo, de manera que quien tenga problemas con un componente determinado pueda identificar su especificación rápidamente, como una base para recomendar otra aleación superior.

El costo de un componente importado para generadores de vapor y turbinas, suele ser hasta 15 veces superior al costo del mismo componente fabricado en el país; razón por la cual se ha iniciado un programa de substitución de importaciones. Sin embargo, los fabricantes extranjeros para defender sus intereses no proporcionan en muchos casos la composición química de sus componentes, sino que solo proporcionan un número de parte para su substitución.

Para todos estos casos, se espera que esta obra sea de utilidad como un punto de partida que desde luego deberá ser perfeccionado y ampliado en el futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

7.- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

- 1.- Defectos y roturas en recipientes a presión y tuberías.
Autor: Helmuth Thielsch. Editorial: Urmo 1969.
- 2.- Los combustibles y su tecnología.
Autor: Wilfrid Francis. Editorial Urmo 1969.
- 3.- Contenidos de carbono y azufre en el combustoleo mexicano, analizados por absorción atómica y con bomba calorimétrica en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad. Trabajo inédito.
- 4.- Tratamiento de los combustibles residuales. Tecnología y aplicación. Editado por la oficina de ingeniería química de la gerencia de generación y transmisión de la Comisión Federal de Electricidad sin fecha.
- 5.- Combat fuel oils problems scientifically.
Autor: George D. Rumell. Editado por Betz laboratories inc. sin fecha.
- 6.- La combustión. Teoría y aplicaciones.
Autor: Giuliano Salvi. Editorial Dossat 1975.
- 7.- Metals Handbook 8ª edición vol. 10.
Editor: American Society for Metals 1975.
- 8.- Metals Handbook 8ª edición vol. 11.
Editor: American Society for Metals 1976.
- 9.- Metals Handbook 9ª edición vol. 1
Editor: American Society for Metals 1978.

- 10.- Metals Handbook 9ª edición vol. 2
Editor: American Society for Metals 1979.
- 11.- Metals Handbook 9ª edición vol. 3
Editor: American Society for Metals 1980.
- 12.- Metals Handbook 9ª edición vol. 10
Editor: American Society for Metals 1986.
- 13.- Metals reference book. 5ª edición.
Editores: Colin J. Smithells y Eric A. Brandes.
Editorial Butterworths 1978.
- 14.- Handbook of Chemistry and Physics. 56ª edición.
CRC Press 1975-1976.
- 15.- Enciclopedia de Tecnología Química.
Autores: Kirk-Othmer vol. 5
Editorial UTEHA 1962.
- 16.- Introducción a las Centrales Termoeléctricas.
Editor: Gerencia de generación y transmisión de la
Comisión Federal de Electricidad; Publicación
CFE-A001-0 1985.
- 17.- Operaciones Básicas de Ingeniería Química.
Autores: Mc.Cabe-Smith. Editorial Reverté 1973.
- 18.- Piping Handbook 5ª edición.
Autor: Sabin Crocker. Editorial Mc.Graw Hill 1973.
- 19.- Manual del Ingeniero Químico.
Autor: John H. Perry. Editorial UTEHA 1958.

- 20.- Selecting Carpenter Stainless Steels.
Editor: Carpenter Steel Division. 1978.
- 21.- Steel Piping, Tubing, and Fittings. Vol. 01.01 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 22.- Steel Plate, Sheet, Strip, and Wire. Vol. 01.03 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 23.- Copper and Copper Alloys. Vol. 02.01 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 24.- Die-Cast Metals; Aluminium and Magnesium Alloys. Vol. 02.02 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 25.- Nonferrous Metals-Nickel. Lead, Tin Alloys, Precious, Primary, Reactive Metals. Vol. 02.04 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 26.- Metallic and Inorganic Coatings; Metal Powders, Sintered P/M Structural Parts. Vol. 02.05 de los libros anuales de la ASTM. 1987.
- 27.- ASME sección I parte PG.
American Society of Mechanical Engineers 1982.
- 28.- Mediciones Físicas.
Autor: I. Q. Carlos J. Diéguez Rivas.
Editorial Química S.A. México 1963.
- 29.- Aceros Especiales y Otras Aleaciones.
Autor: José Apraiz Barreiro. 5ª Edición.
Editorial Dossat 1975.

- 30.- Spot Test in Inorganic Analysis.
Autor: Fritz Feigl. Editorial Elsevier Publishing
Co. 6ª Edición 1972.
- 31.- You Can Identify Metals by Quick Fields Test.
Artículo publicado en la revista "Hydrocarbon Processing
& Petroleum Refiner" en enero de 1963 Vol. 42 No. 1.
- 32.- Elemental Xray Analysis of Materials Exam Methods.
Autor: John C. Russ. Editado por EDAX Laboratories.
1ª Edición 1972.
- 33.- Reactivos. Diagnóstica. Productos químicos. Catálogo
Merck 1984.
- 34.- Organic Reagents for Trace Analysis.
Autores: J. Fries y H. Getrost.
Editorial: Merck 1977.
- 35.- Catálogo Sargent Welch No. 130. 1982.
- 36.- Chemistry Handbook. 2ª Edición.
Autor: Donald B. Summers.
Editorial: Willard Grant Press 1975.
- 37.- Química analítica.
Autora: Margarita Watty B.
Editorial : Alhambra Universidad 1982.
- 38.- Las fallas por sobrecalentamiento de tubos de caldera
y sus características metalográficas.
Autor: A. Acoltzi C.- Revista del Instituto Mexicano
del Petroleo. 1973.
- 39.- Practical Guide to High-Temperature Alloys.
Autor: Peter Elliott.- Materials Performance 1989

- 40.- Corrosión y Oxidación. Fundamentos.
Autor: John M. West. Editorial Limusa 1986.
- 41.- Fundamentos de Corrosión.
Autor: J. C. Scully. Editorial Alhambra 1968.
- 42.- AtomComp 81 Specrometer.- Instructivo del aparato.
Thermo Jarrell Ash Corporation 1986.
- 43.- Tecnología de los oficios metalúrgicos.
Autor: A. Leyensetter. Editorial Reverté 1974.
- 44.- Trabajado del acero inoxidable.
Autor: Modesto Ortuño. Editorial CEAC 1967.
- 45.- Metallic Materials Specification Handbook.
Autor: Robert B. Ross. Editorial E. & F. N. Spon 1980.
- 46.- Handbook of Analytical Chemistry. Sec. 6 Emission Spectroscopy. Autores de la sección 6: Charles E. Harvey y J. Edward Van Dien.
- 47.- Métodos Instrumentales de Análisis.
Autores: H. Willard, L. L. Merritt Jr. y J. A. Dean.
Editorial CECSA 1971.
- 48.- Analizador por Fluorescencia de Rayos X 8620.
ASOMA Instruments.
- 49.- Notas del curso de Rayos X del Diplomado en Corrosión, impartido por el Ing. Quím. y Quím. Leticia Baños López en el edificio "D" de la Facultad de Química de la U.N.A.M. en 1989.

- 50.- Spectrotest. Mobile spectrometer for product mix control and material identification. Folleto publicitario de la compañía Spectro Inc.
- 51.- The Use of Fiber Optic Cables in Oes.
Autor: K. A. Slickers.
Spectro Inc. Boletín técnico 50/86.
- 52.- Kevex Analist 6700. Folleto publicitario.
Kevex Corporation 1982.
- 53.- On the Spot Analysis. Folleto publicitario.
Kevex Corporation 1982.
- 54.- XRF Spectrometry. Hoja técnica.
Kevex Co.
- 55.- X-Site 9900. Folleto publicitario.
Kevex Co. 1984.
- 56.- Combustion Turbine Materials Problems. AP-4475
Proyecto de Investigación 2382-2. Reporte final
Marzo de 1986. Preparado por Battelle Columbus Laboratories
Electric Power Resech Institute. Palo Alto California.
- 57.- Modern Power Station Practice. 2ª Edición.
Central Electric Generating Board.
Pergamon Press.
- 58.- Fatigue at High Temperature.
Autor: R. P. Skelton. Applied Science Publishers.

- 59.- Source Book on Materials for Elevated-Temperature Applications. Compiled by Elihu F. Bradley. American Society for Metals.
- 60.- Motores Térmicos. Motores de Pistón y Turbinas de Gas. Autor: Günther Schneider. Editorial Urmo 1973.
- 61.- The Development of Gas Turbine Materials. Autor: G. W. Meetham. Applied Science Publishers Ltd.
- 62.- Description of the Function of the Individual Boards. Spectro Analytical Instruments GmbH. Sin fecha.
- 63.- Corrosion Behavior of Steels in Geothermal Steam Power Plant. Autor: Jun-ichi Sakai, Motokazu Kanezashi y Iwao Matsushima.- Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, Volume 16 Number 12, 1976.

I N D I C E

1.- INTRODUCCION	1
Problemas ocasionados por el azufre que contiene el combustoleo.	7
Problemas ocasionados por el vanadio contenido en el combustoleo	8
Mecanismos de corrosión del acero por compuestos de azufre y vanadio del combustoleo	9
Medidas para disminuir la corrosión por azufre y vanadio	11
Los aceros adecuados para resistir la corrosión en los generadores de vapor	12
Aceros al molibdeno	14
Aceros al cromo-molibdeno	15
Aceros inoxidables austeníticos	15
Sensibilización de los aceros inoxidables	17
Temperaturas máximas de servicio de diversos metales	19
Mecanismos de corrosión a temperaturas elevadas	20
Diagrama de Ellingham para óxidos	22
Diagrama de Ellingham para sulfuros	23

Cinética de la corrosión a temperatura elevada	24
Colores de revenido de aceros al carbono y su explicación como un fenómeno de corrosión	27
Ley lineal de la corrosión	28
Ley parabólica de la corrosión	29
Ley logarítmica de la corrosión	34
Ley asíntota horizontal	35
Oxidación de las aleaciones	35
Recubrimientos contra la corrosión a temperatura elevada	37
El exceso de aire de combustión y la corrosión	40
Formación de lodos por agua en el combustoleo	44
El uso de aditivos en el combustoleo	45
Compuestos que es posible que se formen durante la combustión y sus temperaturas de fusión	46
Desventajas en el uso de aditivos en combustoleos contra la corrosión	48
La termofluencia de los metales	50
2.- DEFINICIONES Y DESCRIPCION	53
Centrales de generación y sus tipos	53
Central hidroeléctrica	53
Central de combustión interna	53
Centrales Turbogás, Termoeléctrica, de Ciclo Combinado, Geotérmica y Nucleoeléctrica	54

Vapor saturado	54
Vapor sobrecalentado	55
Principales componentes de las Centrales Termoeléctricas. El Hogar	55
Las paredes de agua, el Domo, los Sobrecalentadores y el primer paso de la Turbina	56
Otros pasos de la Turbina, el Condensador, el Pozo Caliente y las bombas de baja presión	57
Los calentadores de baja presión, el Desaeareador, el tanque de oscilación, las bombas de alimentación, los calentadores de alta presión y el Economizador	58
El ciclo del aire y los gases de combustión	59
Diagrama de una Central Termoeléctrica	61
Ilustración del flujo de aire y gases de combustión en un generador de vapor	63
Plano de un generador de vapor	64
Plano de otro generador de vapor	65
Plano de un generador de vapor de baja capacidad	66
Ilustración tridimensional de otro generador de vapor	67
Diagramas de una central de Ciclo Combinado y de una Central Geotérmica	68

3.- MATERIALES EMPLEADOS	70
Nomenclatura de las normas ASTM	72
Nomenclatura del código ASME	73
Títulos de las normas para tubería y componentes a presión para partes del generador de vapor que trabajan con agua o vapor saturado	74
Títulos de las normas para tubería y componentes a presión que trabajan con vapor sobrecalentado	76
Título de las normas para tubería y componentes a presión de aleaciones base cobre que se usan en el Condensador y en los otros cambiadores de calor que trabajan con agua y con vapor saturado	78
4.- COMPOSICION QUIMICA	81
Composición química de los aceros del generador de vapor que trabajan con agua o vapor saturado	82
Composición química de los aceros del generador de vapor que trabajan con vapor sobrecalentado	101
Composición química de las aleaciones base níquel	157
Composición química de las aleaciones base cobre para el condensador y otros cambiadores de calor	159
Composición química de las aleaciones base cobre de fundición para emplearse a alta temperatura	162
Composición química de las aleaciones normalizadas empleadas en las turbinas	163

Otras aleaciones empleadas en Turbinas	169
5.- PROPIEDADES MECANICAS	177
Propiedades mecánicas de los aceros en contacto con agua y vapor saturado	178
Propiedades mecánicas de los aceros que trabajan con vapor sobrecalentado	182
Propiedades mecánicas de las aleaciones base níquel	199
Propiedades mecánicas de las aleaciones base cobre para el sistema de condensado	202
Propiedades mecánicas de las aleaciones base cobre fundidas	206
Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en las turbinas	207
6.- ENSAYOS DE IDENTIFICACION	216
Introducción	216
Fundamentos teóricos de los métodos instrumentales	218
Espectrómetros de emisión portátiles	244
Espectroscopio de rayos X portátiles	231
Identificación de aleaciones por su color	239
Identificación de aleaciones por sus propiedades magnéticas	241

Identificación de aleaciones por su dureza	246
Dureza de las aleaciones empleadas en los generadores de vapor y en las turbinas	249
Identificación de aleaciones mediante el ensayo de la chispa	257
Identificación de aleaciones mediante ensayos a la gota sobre el metal	263
CONCLUSION	273
Bibliografía consultada	277