Aleaciones ferrosas

Contenido

INTRODUCCIÓN. 2

ALEACIONES FERROSAS. 3

ACEROS. 3

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FORMACIÓN DE LOS ACEROS. 3

- **ACEROS SIMPLES** 5
- **ACEROS ALEADOS.** 7

APLICACIONES. 9

- **ACEROS DE ALTA ALEACIÓN.** 9

1. Aceros Inoxidables. 9
   - Aceros martensíticos. 9
   - Aceros ferríticos. 10
   - Aceros austeníticos. 10
2. Aceros para herramientas. 10

FUNDICIONES DE HIERRO (Hierros Colados). 11

- FUNDICIÓN BLANCA. Las fundiciones blancas reciben este nombre debido a que no contienen grafito libre, sino que el carbono se presenta combinado o enlazado en la cementita. 13
- FUNDICIÓN GRIS. Esta clase de fundición es la más utilizada industrialmente. Su estructura de matriz metálica contiene grafito precipitado en forma de láminas de diversos tamaños, formas y grosores, las cuales al ser fracturadas brindan a la fundición su característico color gris oscuro. 14
- FUNDICIÓN MALEABLE. 16
- FUNDICIÓN NODULAR[10]. 17

Ejemplo Práctico. Selección de material para rodamientos. 17

CONCLUSIÓN. 21

Referencias. 22

INTRODUCCIÓN.

El uso de materiales ferrosos en ingeniería es vital, ya que emplearlos comúnmente tiene como finalidad soportar cargas estructurales, la fabricación de herramental, uso en aeronáutica e inclusive se utilizan como elementos que ayudan a la transmisión de potencia en maquinaria. Además de que este tipo de materiales nos ofrecen una ventaja en cuanto a costos ya que estos son relativamente bajos en comparación con otros materiales con propiedades similares.

Según mencionan los ingenieros Cárdenas y Díaz del Castillo [1], una aleación es una mezcla sólida homogénea compuesta de dos o más elementos, en las cuales al menos uno es metálico. Estas aleaciones están comúnmente constituidas por elementos metálicos: Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y algunos no metálicos como: Fósforo (P), Carbono (C), Silicio (Si), Azufre (S), entre otras. Cuando los aleantes no metálicos forman parte de la mezcla son utilizados en cantidades muy pequeñas, debido a que pueden modificar o arruinar diversas propiedades que se quieren obtener, mientras que si se mezclan sólo metales, pueden tener proporciones altas.

El método más utilizado para obtener estas aleaciones es a través de la fusión conjunta de los elementos, sin embargo, pueden obtenerse por otros métodos conocidos como la sinterización (Compresión de polvos metálicos y/o cerámicos mezclados para posteriormente ser tratados térmicamente), la electrólisis o sublimación. Para el método de fusión es necesario que los componentes sean solubles uno en el otro formando una solución líquida en la que los elementos de cada uno estén mezclados entre sí, para que así al solidificarse la fundición se formen las aleaciones.

ALEACIONES FERROSAS.

Las aleaciones ferrosas son aquellas que tienen como elemento principal al hierro (Fe) combinado con otros elementos cuya distribución y porcentaje de composición puede darle al hierro diversas características y ventajas. El elemento más común con el que se combina es el carbono (C) que a temperatura ambiente se encuentra realmente muy poco disuelto en la ferrita, ya que está casi por completo en forma de carburo de hierro (Fe_3C).

La importancia de las aleaciones ferrosas radica en el hecho de que el hierro es el metal más usado a nivel mundial debido a que los compuestos de este material abundan en la corteza terrestre, sin mencionar que su importancia llega a tal punto que representa el 95% en peso de la producción de metal. En su estado puro posee propiedades como magnetización o un buen calor específico (según el nivel de pureza), pero su aplicación principal es como metal base para aleaciones que buscan mejorar las propiedades mecánicas del mismo. [2]

Las aleaciones ferrosas se pueden clasificar a su vez en:

- Aceros.
- Fundiciones de hierro (hierros colados).

ACEROS.

Los aceros son aleaciones de hierro cuya cantidad de carbono está entre el 0.02% y el 2% aproximadamente, además de poder contener otros elementos que le proporcionan características o incrementan propiedades como la resistencia, maquinabilidad, elasticidad, dureza, etc. Es un grupo de aleaciones tan grande y variado, por lo que es de los materiales más utilizados en conformado y mecanizado.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FORMACIÓN DE LOS ACEROS.

Al analizar la estructura cristalina, se puede observar que los átomos de carbono, al ser más pequeños que los átomos de hierro, ocupan un sitio intersticial en la estructura cristalina de éste. Dependiendo del ordenamiento, el acero tiene dos fases con propiedades diferentes, ambas estables a temperaturas distintas. La fase α conocida como ferrita con una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC), y una fase γ conocida como austenita, con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras. (FCC). Estas estructuras cristalinas se pueden observar en la Figura 1.

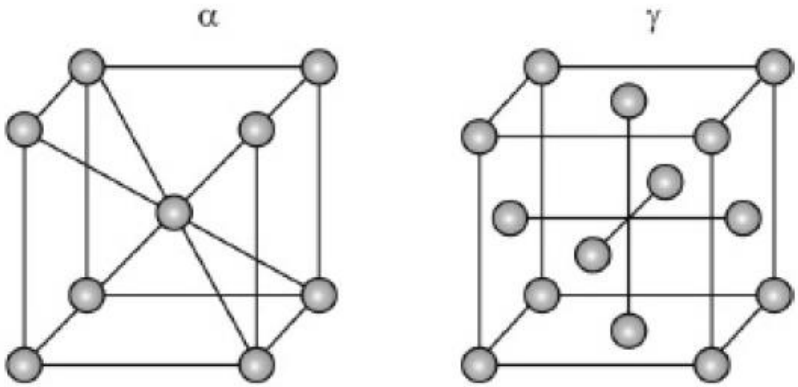

Figura 1. Estructura cristalina de la ferrita (izquierda) y la austenita (derecha). [4].

La formación de las aleaciones del carbono o algún otro elemento, está limitada por la solubilidad de los elementos mismos, misma que varía dependiendo de la temperatura. El siguiente diagrama de fases Fe-Fe_3C, dibujada por nuestro equipo (figura 2), muestra que para una temperatura de 700 °C, para composiciones menores al 0.02% en carbono, la única fase que tenemos es la fase α, pero si se excede el 0.02%, se observarán dos fases, α+Fe_3C.
También se puede apreciar que la solubilidad puede cambiar en función de la temperatura. Se toma de ejemplo una composición al 0.4%. A 600°C, se tienen las fases mencionadas anteriormente α+Fe_3C. Si se aumenta la temperatura a 800°, se puede notar que ya solo existirá una fase, la austenita.

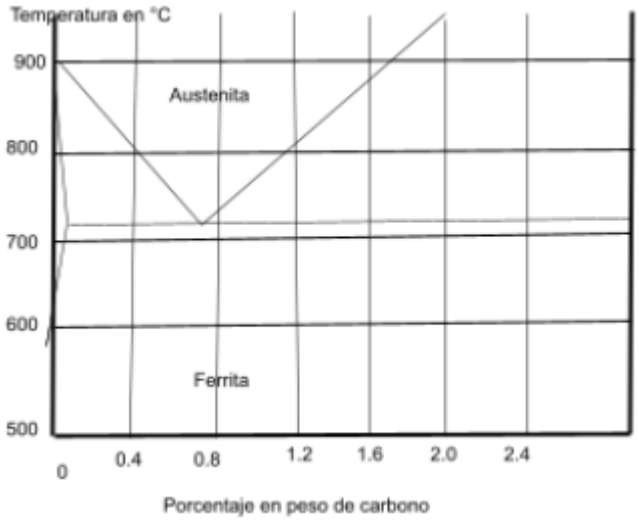

Figura 2. Fragmento del diagrama de fases Fe-Fe3C.Adaptada y traducida DE [4]

Por porcentaje en peso de otros elementos, los aceros se clasifican en:

- **ACEROS SIMPLES**

Los aceros simples son una aleación de hierro con un bajo porcentaje de carbono y con pequeñas cantidades de otros elementos (Fósforo (P), Azufre (S), Cobre (Cu), etc.) que se consideran como impurezas.

Los aceros simples son baratos y se clasifican, tal como se muestra en las lecturas para ingeniería [2], de acuerdo a su contenido de carbono en aceros de bajo carbono, aceros de medio carbono y aceros de alto carbono. Cuya estructura granular se muestra en la figura 3:

1. Aceros de bajo carbono (0.02<%C<0.3).
   Son dúctiles, soldables, no se pueden tratar térmicamente, poseen una resistencia mecánica moderada, además son maquinables.
2. Aceros de medio carbono (0.3<%C<0.65).
   Son templables, es decir que se pueden someter a temple y revenido, poseen buena resistencia mecánica y una ductilidad moderada.
3. Aceros de alto carbono (%C>0.8).
   Son templables, duros, resistentes al desgaste, difíciles de soldar y poco tenaces.

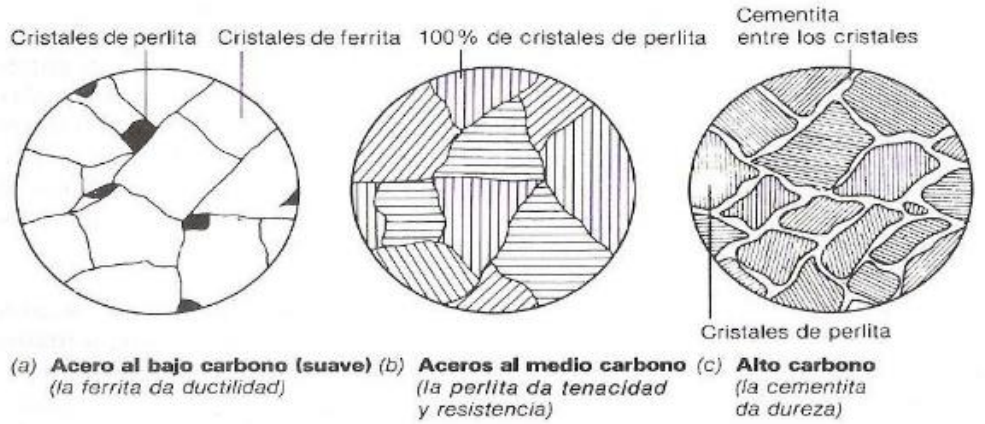

Figura 3. Estructura de los aceros simples. De izquierda a derecha, acero de bajo carbono, acero de medio carbono, acero de alto carbono.[4]

La imagen muestra la microestructura de cada uno de los aceros simples. Los aceros al bajo carbono tienen principalmente granos de ferrita con pequeños granos de perlita. La estructura de los aceros de medio carbono es enteramente perlítica. Por último, los aceros de alto carbono presentan cristales perlíticos y en los límites de grano presenta cementita.

APLICACIONES.

- Aplicaciones de los aceros de bajo carbono:

La principal aplicación que se puede encontrar en este tipo de aceros es en perfiles estructurales, alambres, clavos, tornillos, varillas y barras (ilustrados en la figura 4).

Figura 4. Productos generados de bajo carbono. De izquierda a derecha y de arriba a abajo, se pueden apreciar varillas, clavos, una estructura para un puente, lámina y alambre de púas. (Hernández, J. 2019).

-Aplicaciones de los aceros de medio carbono:
Al poseer una resistencia mecánica mayor a los aceros de bajo carbono, frecuentemente se emplean en la fabricación de herramientas utilizadas en la agricultura, también los encontramos en resortes, engranajes y en partes de maquinaria, por ejemplo, ejes para vehículos (figura 5).

Figura 5. Productos generados de los aceros de medio carbono. De izquierda a derecha, podemos observar un resorte, un tren de engranes y espárragos. [6].

-Aplicaciones de los aceros de alto carbono:
Dado que los aceros presentan una alta dureza así como una alta resistencia al desgaste se pueden fabricar herramientas de corte, de igual forma herramientas de arranque de viruta como por ejemplo; brocas, cintas de sierra, cuchillas, limas. También se les puede encontrar en objetos como los muelles, discos de arado, yunques, cables reforzados y vías de ferrocarril (ilustraciones en la figura 6).

Figura 6. Productos generados de los aceros de alto carbono. De izquierda a derecha y de arriba a abajo se pueden observar buriles, brocas, yunque, limas, muelles y discos de arado. [6]).

- **ACEROS ALEADOS.**

Los aceros aleados son aceros simples, pero a los cuales se les agrega, de manera intencional, algunos otros elementos como Cromo (Cr), Níquel (Ni), Tungsteno (W), Vanadio (V), Silicio (Si), Manganeso (Mn), entre otros. Sin embargo, es importante que la suma de estos elementos extra sean menor o igual al 5% de la composición total de la mezcla, ya que la intención de esta adición puede ser aumentar la resistencia mecánica, resistencia a la corrosión o mejorar su templabilidad y al agregar en mayor cantidad los aleantes puede disminuir alguna de ellas o sacrificarla.

Para designar a los aceros simples y aleados se utiliza un sistema de identificación de 4 dígitos desarrollado por American Iron and Steel Institute (AISI) y Society of Automotive Engineers (SAE), la cual fue adoptada por la Norma Oficial Mexicana (NOM). En esta identificación el primer dígito indica cual es el principal elemento de aleación; el segundo dígito, la modificación del acero original y los dos últimos dígitos nos dirán cuál es el porcentaje de carbono en centésimas de punto, como se muestra en la tabla 1. [2]

Tabla 1. Nomenclatura para categorizar aceros.

FAMILIA	PRINCIPAL ELEMENTO DE ALEACIÓN
1XXX	CARBONO
2XXX	NIQUEL
3XXX	NIQUEL-CROMO
4XXX	CROMO-MOLIBDENO
5XXX	CROMO
6XXX	CROMO-VANADIO
8XXX	CROMO-NIQUEL-MOLIBDENO
9XXX	CROMO-SILICIO

Según Calderón Célis menciona en su tesis digital [3], los elementos aleantes influyen en los aceros de la siguiente manera:

a. Carbono. Este elemento puede existir disuelto en el hierro o en formas combinadas como en la cementita. Ayuda a fijar la soldabilidad y es considerado el elemento aleante más importante y utilizado en los aceros. A medida que incrementa la cantidad de carbono en el acero también incrementará la dureza, la resistencia a la tracción y la respuesta del acero mismo tras ser tratado térmicamente para endurecer, sin embargo esto sacrifica gradualmente la soldabilidad, además de aumentar la capacidad de templabilidad proporcionando una unión frágil.
b. Níquel. La aleación con este elemento evita que el grano sufra un crecimiento durante los tratamientos térmicos ganando tenacidad. Disminuye en poca medida la temperatura sobre la que se realizan los tratamientos térmicos en los aceros ordinarios, incrementa ligeramente el límite de elasticidad y permite mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación.
c. Cromo. Suele estar combinado con otros elementos aleantes como el níquel, molibdeno, entre otros. Influye principalmente en la templabilidad de los aceros, puede provocar una dureza muy alta y fisuras adyacentes a la soldadura, esto debido a que suele provocar óxido de cromo en la superficie del material lo que interviene en la soldabilidad del mismo.
d. Molibdeno. Apoya a la soldabilidad del acero, ya que funciona como un desoxidante y sobre todo previene la formación de inclusiones de sulfuro de hierro (una clase de imperfecciones). El poder del temple del acero aumenta notablemente y su soldabilidad metalúrgica disminuye, por lo que los aceros con este elemento se deben tratar con mucho cuidado y en porcentaje de composición para el Molibdeno muy pequeño.
e. Vanadio: Es un elemento con gran capacidad de formar carburos los cuales servirán para afinar el grano. La presencia del vanadio como elemento aleante puede disminuir la velocidad crítica de enfriamiento, aumentar la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y la dureza del acero en sí (siempre cuidando que la composición porcentual de este elemento no sobrepase los límites, según mencionado de 0.05%, y empiece a fragilizar el acero notablemente).
f. Silicio: Funciona como desoxidante. La soldadura con contenido de silicio tiende a incrementar la resistencia mecánica sacrificando su ductilidad, lo que puede provocar la aparición de fisuras. Además, eleva el límite elástico y la resistencia a la fatiga de los aceros sin reducir la tenacidad del mismo.

APLICACIONES.

Dadas sus propiedades mecánicas como resistencia superficial se pueden generar piezas de valvulería; válvulas de mariposa, de guillotina o de retención, por mencionar algunas; de igual forma este tipo de aceros se utiliza en la fabricación de piezas de turbinas industriales, como Kaplan, Pelton o Francis, es decir estos materiales tienen un gran impacto en el sector energético. Cabe mencionar que su uso no se ve limitado en estos aspectos pues también son empleados en cojinetes o rodamientos dado que se pueden alcanzar óptimos acabados superficiales y una buena precisión dimensional, otra de sus aplicaciones es en el sector automotriz ya que se requiere su implementación en la carrocería de los coches para elementos de refuerzo. Se pueden observar algunos ejemplos de estas aplicaciones en la figura 7.

Figura 7. Productos obtenidos de los aceros de baja aleación. De izquierda a derecha se puede observar una parte para construcción de una turbina, rodamientos, y partes elaboradas con acero de baja aleación. [7].

- **<u>ACEROS DE ALTA ALEACIÓN</u>.**

Este tipo de aceros suele presentar un bajo contenido de carbono pues posteriormente son sometidos a tratamientos térmicos (T.T.), además de que es gracias a los elementos aleantes que se consiguen las características mecánicas que requerimos, obteniendo así aceros con una alta resistencia y tenacidad.

Los aceros de alta aleación se pueden clasificar en dos grupos:

1. Aceros Inoxidables.

   Son aleaciones Fe-Cr ó Fe-Cr-Ni con un contenido de carbono lo más bajo posible y con Cromo en al menos 12% lo que hace que posean una buena resistencia a la corrosión y a la oxidación conferida por una capa superficial de óxido de cromo. Los aceros inoxidables se clasifican de acuerdo a la microestructura que se puede obtener en ellos como:

   - Aceros martensíticos.

     Son simplemente al cromo y fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente. Contienen Cromo de 10.5% a 18%, más carbono hasta 1.2%. Se utilizan en cubertería, discos

de freno, partes para bombas y turbinas a gas o vapor, tuercas y tornillos, equipos quirúrgicos, instrumentos decorativos, dentales , etc.

- Aceros ferríticos.

  Son comúnmente utilizados en la industria alimentaria y contienen al menos 16% de cromo y 0.12% de carbono. Tienen una resistencia a la corrosión de moderada a buena, se endurecen por deformación en frío, no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico, son magnéticos y de poca dureza. Su uso se limita a procesos de formado en frío de poca severidad para artículos o utensilios en el hogar e industria alimenticia.

- Aceros austeníticos.

  Son la clasificación con mayor número de aleaciones disponibles con contenidos de Cromo del 16% al 26% y muy bajo contenido de carbono. Es el más utilizado en la industria alimentaria (tanques de almacenamiento, transporte de leche, contenedores, equipos de proceso, tuberías) entrando en contacto con el producto, además de ser muy resistentes a la corrosión y soldables.

2. Aceros para herramientas.

   Los principales elementos aleantes del acero para la creación de herramientas son el tungsteno (W), molibdeno (Mo), níquel (Ni), cobalto (Co), entre otros tantos. Para los aceros utilizados en la obtención de herramientas es necesario poseer una dureza alta tanto en frío como al ser calentada a altas temperaturas (rojo vivo), alta resistencia al desgaste, no sufrir una considerable deformación tras recibir un tratamiento térmico, una excelente templabilidad.
   Fue hasta pasada la Segunda Guerra Mundial que la AISI, en Estados Unidos de Norteamérica, decidió clasificar los aceros con fin herramental de la siguiente manera:
   - Aceros para trabajo en frío: Templables en agua (W), templables en aceite (O), templables al aire (A), de alto cromo - alto carbono (D).
   - Aceros resistentes al impacto (S).
   - Aceros para trabajo en caliente (H).
   - Aceros rápidos o aceros a alta velocidad (T-Tungsteno y M-Molibdeno).
   - Aceros para moldes (P).
   - Aceros de propósito general (L o F).

FUNDICIONES DE HIERRO (Hierros Colados).

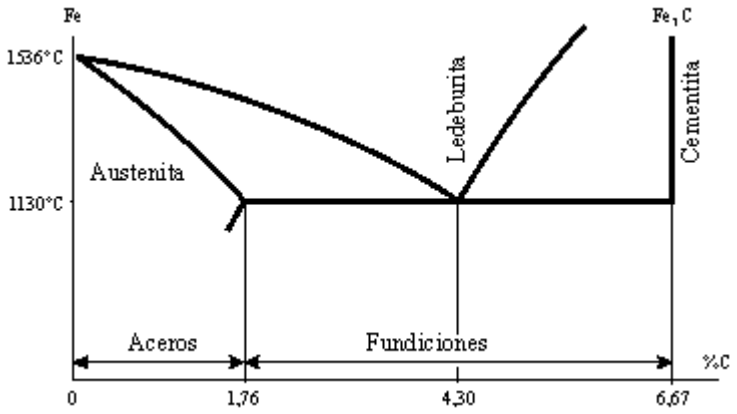

Figura 8: Diagrama Fe-Fe3C

Rubén Gutiérrez, un estudiante de la Facultad de Ingeniería de buenos aires (UBA), en su trabajo especial sobre metalografía [2] indica que "Las fundiciones de hierro contienen más carbono del necesario para saturar la austenita a temperatura eutéctica y por lo tanto su contenido es superior al 2.0%. La ductilidad del hierro fundido es baja, lo que hace que no siempre pueda trabajarse ni en frío ni en caliente, sin embargo, es relativamente sencillo de fundir y colar sobre moldes de formas complejas. Aunque son frágiles y sus propiedades mecánicas son inferiores a las de los aceros, su costo bajo, su fácil colado y sus propiedades específicas los hacen uno de los productos de mayor tonelaje de producción en el mundo." (sin fecha, π 1).

El hierro colado termina siendo, de igual modo que el acero, un material metalúrgico barato que tiene una alta resistencia a la compresión y al desgaste, además de caracterizarse por su facilidad de maquinado (en casos específicos como la fundición), buena fluidez, con temperaturas de fusión obtenibles de manera sencilla o fácilmente conseguibles en hornos simples, absorber vibraciones mecánicas, entre otras. Por estas y algunas otras características, además de los requerimientos que piden sus aplicaciones, es que se emplean ampliamente en la fabricación de partes de maquinarias como engranajes o bloques de cilindros, es decir aquellas partes no aptas para soportar altas cargas mecánicas.

Una fundición puede seguir ambos o un solo camino de solidificación dependiendo de su composición química y de la velocidad con que se enfría (como se puede ver en la figura 9) ya que, a pesar de que estos enfriamientos dependen un poco del tamaño de la pieza, los enfriamientos rápidos favorecen la formación de carburos y los enfriamientos lentos apoyan un poco a la formación de carbono en grafito.
Cuando la fundición sigue un camino metaestable (fundición blanca), la fase rica en carbono del constituyente eutéctico es la cementita, sin embargo, cuando sigue un camino estable (fundición gris), el constituyente es austenita + grafito.

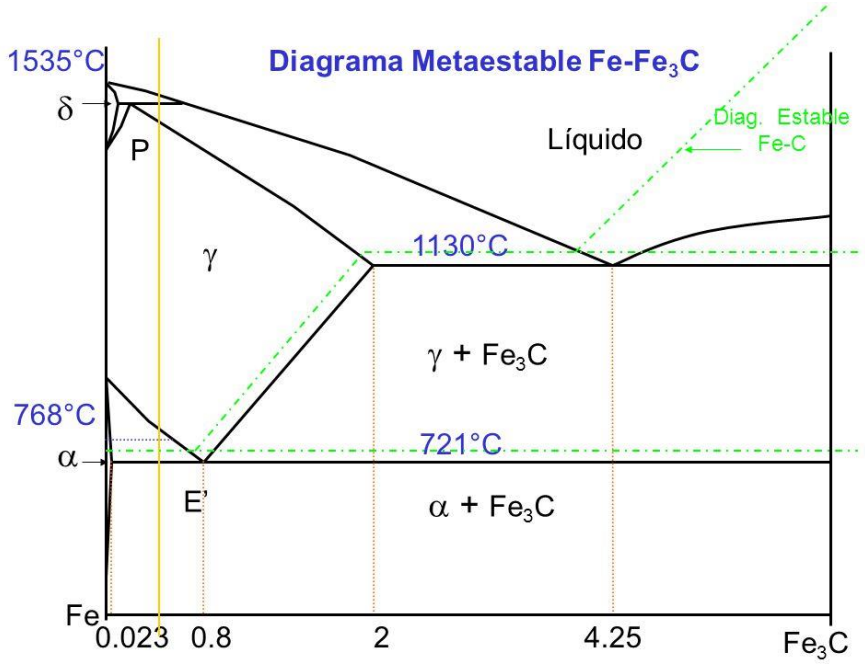

Figura 9. Diagrama metaestable Fe-Fe_3C[2].

Las fundiciones pueden descomponerse en las fases más estables ferrita y cementita, por lo que el diagrama de fases puede llamarse diagrama de equilibrio estable. Cuando en la fundición el hierro y el carbono están combinados se puede considerar a las fases Fe_3C estables bajo algunas situaciones, es por esto que a esta estabilidad se le conoce como "equilibrio metaestable", pero es dependiendo de la velocidad de enfriamiento requerida para obtener las características deseadas que se seleccionará si ocupar el diagrama estable o el metaestable. Esto es, si la velocidad de enfriamiento es muy lenta ocuparemos el diagrama estable, si por el contrario la velocidad es alta se ocupará el diagrama metaestable.

A lo largo del diagrama se pueden observar diversas fases estables y metaestables entre las que podemos encontrar:

a. Cementita. Es la fase más dura que aparece en el diagrama. Es una fase metaestable con carbono intersticial generalmente duro, frágil, con baja resistencia a la tensión y alta resistencia compresiva.
b. Austenita. Es una solución sólida intersticial de carbono disuelto en hierro la cual es inestable a temperatura ambiente y tiene una tenacidad alta.
c. Ferrita. Del mismo modo es una solución sólida intersticial con una pequeña cantidad de carbono disuelto. Es la estructura más suave existente en el diagrama, pero en las fundiciones tiene un alto contenido de silicio lo que provoca que sus propiedades sean distintas a las de la austenita pura, es decir que la ferrita en el acero es diferente que la ferrita en las fundiciones.
d. Perlita: Es una mezcla eutectoide fina de láminas juntas alternadas, dispuestas paralelamente y orientadas análogamente de ferrita y cementita, sin embargo al ser el componente principal de una matriz no nos garantiza propiedades físicas máximas debido a que depende de la cantidad y forma en que se

encuentre el grafito. Una fundición será un poco más resistente al desgaste cuanto más fina sea la estructura.

e. Ledeburita: Es una mezcla eutéctica de austenita y cementita.

Tras tratar térmicamente una fundición blanca se transforma la cementita en grafito y es de este modo que se obtiene otra familia de las fundiciones: las fundiciones maleables.

En resumen, los hierros fundidos se clasifican en función de la forma en que se encuentra el carbono:

- FUNDICIÓN BLANCA.
  Las fundiciones blancas reciben este nombre debido a que no contienen grafito libre, sino que el carbono se presenta combinado o enlazado en la cementita.

  Entre sus características podemos encontrar:
  1. Gran dureza y resistencia a la abrasión.
  2. Gran rigidez y fragilidad.
  3. Poca resistencia al choque.
  4. Dificultad para lograr una uniformidad de estructura metalográfica según su espesor.

  Según Gutiérrez [2], en el estado líquido ya se van formando cristales de austenita que disuelven el carbono gradualmente hasta llegar a la temperatura eutéctica, en la que el material líquido sobrante se convertirá en ledeburita y cementita, pero como la reacción sucede a alta temperatura (1100°C) la ledeburita aparece como una mezcla gruesa. Posteriormente, al bajar la temperatura, la austenita segrega carbono porque baja la solubilidad, de manera que da lugar a la precipitación de cementita proeutectoide mayormente sobre la cementita ya presente.
  A la temperatura eutectoide, la austenita con 0.8% de carbono se transforma en perlita por la reacción eutectoide. La estructura típica de una fundición blanca (figura 10) corresponde a dendritas de austenita transformada (perlita) rodeadas de una red interdendrítica de cementita. Es gracias a esto que la fundición blanca es muy dura y resistente al desgaste, pero frágil y difícil de maquinar. Su aplicación está en aquellos lugares donde la resistencia a la abrasión y desgaste es lo más importante ya que no admite ninguna deformación.

Figura 10. Fundición blanca (400x), se aprecia que el carburo eutéctico (constituyente claro) y perlita (constituyente oscuro).[8]

- FUNDICIÓN GRIS.

Esta clase de fundición es la más utilizada industrialmente. Su estructura de matriz metálica contiene grafito precipitado en forma de láminas de diversos tamaños, formas y grosores, las cuales al ser fracturadas brindan a la fundición su característico color gris oscuro.

Sus principales características son:

1. Excelente colabilidad.
2. Buena resistencia al desgaste.
3. Excelente respuesta a los tratamientos térmicos de endurecimiento superficial.
4. Poca resistencia mecánica.

En este tipo de aleación la mayor parte es carbono primario o grafito, pero la cementita tiende a separarse en austenita y grafito gracias a el control de la composición y velocidad de enfriamiento. La mayoría de las fundiciones grises son hipoeutécticas con un porcentaje de 2 a 4% de carbono y solidifican formando austenita primaria, mientras que la formación de cementita a temperatura eutéctica es minimizada por el alto contenido de carbono y la presencia del silicio. Durante el enfriamiento posterior, la austenita baja su solubilidad y segrega más grafito y por lo tanto, más partículas grises.[9]

Como ya se mencionó, la matriz de esta fundición es metálica por lo que de ahí obtendrá su dureza. Si la rapidez de enfriamiento y composición son tales que la cementita grafitiza, la matriz será totalmente ferrítica, pero si en lugar de esto se mantiene la cementita eutectoide, la matriz tenderá a ser totalmente perlítica.

Esta matriz puede ser combinada y diversa, dependiendo de los requerimientos a cumplir, por ejemplo la mezcla grafito-ferrita da la fundición gris más suave y débil. La resistencia y dureza aumentan al aumentar la proporción de cementita hasta alcanzar el máximo en la matriz grafito-perlita. En la figura 12 se puede observar la microestructura de una fundición gris.

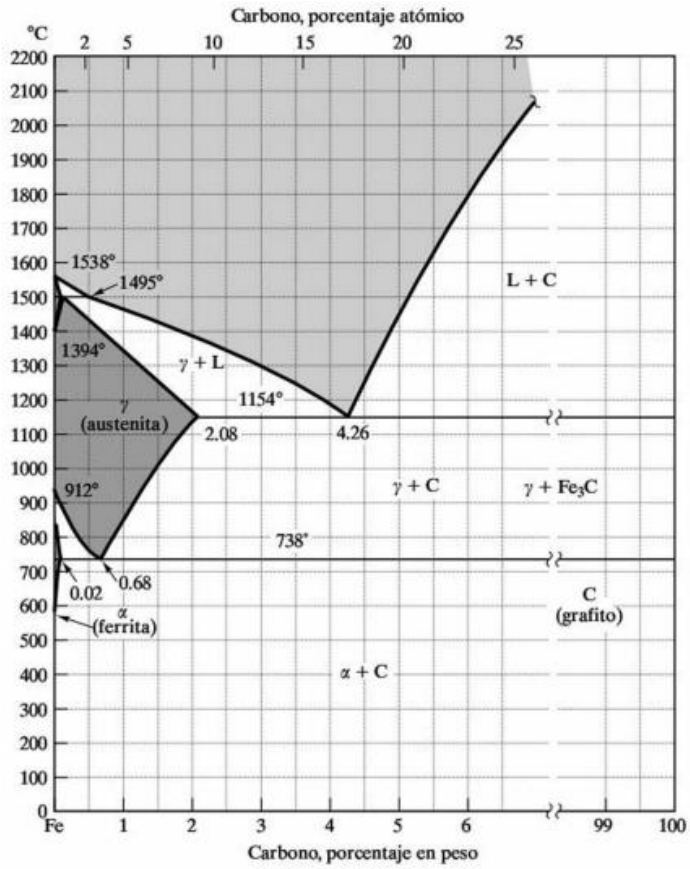

Figura 11. Diagrama de fases Fe-C. [9].

En la Figura 11 se muestra al que se considera como el verdadero diagrama hierro carbono en el que se sustituye a la cementita por grafito como fase estable, se puede observar que la parte izquierda de este diagrama es casi idéntica a la parte izquierda del diagrama Fe-Fe_3C.

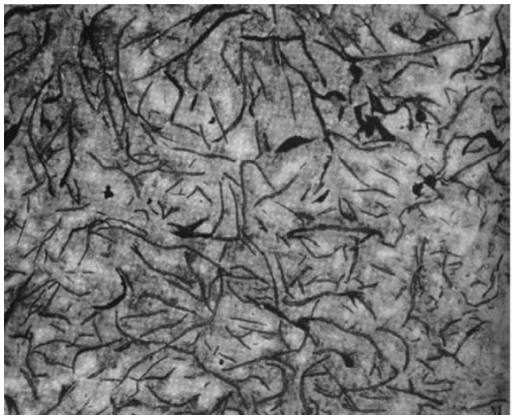

Figura 12. Microestructura típica de una fundición gris (100x), placas de grafito en una matriz con un 20% de ferrita libre (constituyente claro) y un 80% de perlita (constituyente oscuro).[8]

- FUNDICIÓN MALEABLE.

La fundición maleable primeramente se moldea de una forma semejante a como se haría con una fundición blanca, es decir, con grandes cantidades de carburos de hierro y sin grafito, de esta forma la composición química de las fundiciones maleables se limita a las composiciones que forman fundiciones blancas. Una vez se tiene esta composición se somete a un tratamiento térmico llamado grafitización o también conocido como recocido de alta temperatura, en donde se logra una descomposición de los carburos junto a un efecto de ablandamiento debido al calentamiento a una temperatura por encima de la eutectoide, con suficiente tiempo para homogeneizar y disolver los carburos; por último un posterior enfriamiento. Como resultado de este proceso tendremos precipitados nodulares irregulares de grafito en donde tendremos que la matriz presente puede ser ferrita, perlita o martensita (por ejemplo, en la figura 14 se presenta una matriz de ferrita)[5]. Las propiedades de este tipo de fundiciones dependen principalmente de la microestructura que se logre en este proceso. Así una fundición de matriz perlítica puede presentar una resistencia de entre 400-600 [MPa] con porcentajes de alargamiento entre el 2 y el 10%. Mientras que una fundición maleable con matriz ferrítica puede llegar a alcanzar valores de resistencia aproximadamente de 350[Mpa], con porcentajes de alargamiento con valores de 10 a 20%, por último pueden presentar una dureza Brinell con un aproximado de 150 unidades, por esto se puede observar que la fundición maleable con matriz perlítica cuenta con una mayor dureza en comparación con la de matriz ferrítica pero aquella que cuenta con una menor dureza posee una mayor ductilidad.
Normalmente los aleantes más utilizados para este tipo de fundiciones son el carbono, el manganeso, el silicio, el fósforo y el azufre, los porcentajes admisibles de cada uno de los aleantes mencionados se muestran con mayor detalle en la tabla 2 .

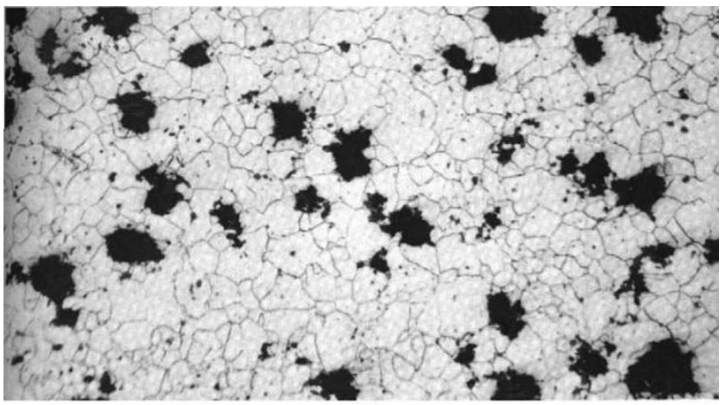

Figura 13. Fundición maleable (100x), nódulos de grafito en una matriz de ferrita. [8]).

Aleación	Número UNS	Composición (% en peso)								
		C	Mn	Si	P	S	Ni + Cu	Cr	Mo	Mg
Fundición maleable, ferrítica Grado 32510		2.30-2.70	0.25-0.55	1.00-1.75	0.05 max	0.03-0.18				

Tabla 2 . Designación de valores de aleación para una fundición maleable ferrítica. [9]

- FUNDICIÓN NODULAR[10].

También es conocida como fundición esferoidal, y en algunos casos también es llamada fundición dúctil, debido a que en este tipo de aleación, el grafito, que sustituye a la cementita como fase estable, se presenta por toda la matriz uniformemente en forma de esferoides casi regulares.
Las fundiciones nodulares se forman a partir de la fundición gris a causa de agregados en pequeñas cantidades de elementos como magnesio (Mg), calcio (Ca) y cerio (Ce), cuando este se encuentra en estado líquido durante el colado. Estos elementos funcionan como nodulizantes (de ahí su nombre) para el grafito, que originan diferentes propiedades mecánicas en el material como:

1. Resistencia a la tracción.
2. Gran ductilidad.
3. Mejor capacidad de elongación.
4. Mayor resistencia y tenacidad.

Dependiendo del tratamiento térmico que se pueda aplicar al material, la matriz que rodee a los esferoides de grafito puede ser:

1. Ferrítica.

Se consigue a partir de un calentamiento a 700[°C] durante varias horas y una velocidad de enfriamiento lenta (lo más posible que se pueda realizar) con el fin de conseguir una difusión total del grafito en el material. Esto genera que el material tenga una resistencia a la tracción entre 380 y 480 [MPa].y un rango de ductilidad entre 10 y 20%.

2. Perlítica.

Se obtiene solo con la pieza moldeada y agregando los aleantes especiales (mencionados anteriormente) o mediante un tratamiento de normalizado. Las características que esto genera en el material es un aumento en la resistencia a la tracción entre 550 y 900 [MPa], sin embargo esto se logra a costa de una menor ductilidad.

3. Martensítica.

Aplicando un tratamiento de temple, usando como líquido de enfriamiento aceite desde una temperatura de aproximadamente 930[°C] se obtiene una matriz martensítica que, en comparación con las anteriores, brinda ahora una mayor resistencia a la tracción, la cual ahora va entre 680 y 1030 [MPa].

Ejemplo Práctico. Selección de material para rodamientos. [3]

Necesidades del producto.

Los rodamientos o baleros son un dispositivo que transmite carga o movimiento de un componente a otro, con una fricción mínima o casi nula. Dadas sus características, son una pieza importante de maquinaria.
Existen varios tipos de cojinetes, dependiendo de la aplicación y de la geometría de estos.
Se pueden encontrar rodamientos de bolas, de conos, de cilindros, de esferas y de agujas.
Todos estos tipos tendrán la misma tarea básica, pasar carga de un componente a otro; sin embargo, varían en que la distribución de la carga mencionada será diferente.
El cálculo del tipo de rodamiento no se verá aquí, pues nos centraremos más en las propiedades de los materiales, por lo que seleccionaremos un rodamiento de bolas.
El rodamiento de bolas facilita la transmisión de cargas dinámicas, por lo que estará sujeto a esfuerzos y fatiga.
El cojinete tiene también que asegurar que no hay movimiento relativo entre el eje y el rodamiento. Además, la carga dinámica se hace a altas velocidades sin que estas sufran deformaciones ni se pierda mucha energía por lo que deben tener un bajo coeficiente de fricción.
En términos generales, se requiere que el cojinete tenga alta resistencia, tenacidad, alta dureza en su superficie, resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga, propiedades que se hacen mediante forjado, mecanizado, tratamiento térmico y acabado con muy buena templabilidad. Además, el material debe de tener un ciclo de vida elevado y los rodamientos requieren una estructura uniforme.
De acuerdo a las especificaciones, se necesita martensita templada con una dureza de 60 HRC. Con estas especificaciones, pasaremos a seleccionar los materiales adecuados.

Proceso de conformado

El rodamiento de bolas tiene tres partes: las pistas exterior e interior, las bolas y la jaula.

Las pistas se mecanizan a partir de tubos de acero recocidos de grado apropiado para rodamientos, se tratan térmicamente para obtener dureza y microestructura y luego se acaban y se muelen a las dimensiones.

Por lo tanto, la calidad del acero debe ajustarse al conocido acero de calidad para rodamientos que contiene muy pocas inclusiones y es estructuralmente homogéneo. El tamaño original del carburo en el acero debe ser muy fino para que estas manchas no se conviertan en fuentes de microgrietas. Las bolas se mecanizan a partir de barras recocidas de tamaño adecuado, conformadas y tratadas térmicamente para endurecerlas y rectificarlas.

Las piezas tratadas térmicamente no deben tener una alta tensión residual, y también austenita retenida, debido al temple térmico mientras se endurece para obtener una alta dureza especificada por las normas de rodamientos.

Selección del material

Toda la información anterior fue introductoria y necesaria para entender los requerimientos del material. Ahora que ya se establecieron las necesidades, se procede a elegir el material adecuado.
El rodamiento es un componente sometido a grandes esfuerzos, además de resistir la fatiga y el desgaste del metal. Para el análisis de fallas, se debe tomar en cuenta los factores ambientales, como el polvo y la suciedad, la fluctuación de temperatura y la entrada de agua.
Con base en estas consideraciones, la selección del acero para cojinetes puede tomar tres rutas:
(1) uso de acero limpio de alta dureza y bajo contenido de inclusión para fatiga y resistencia al desgaste;
(2) uso de acero endurecido superficialmente de grado cementado para mejorar la resistencia a la fatiga, el desgaste y las picaduras
(3) Uso de acero inoxidable para resistencia contra factores ambientales severos. Sin embargo, el acero altamente endurecido con rodamiento de cromo es la más común.

Existe una especificación para rodamientos de bolas.
Acero AISI 52100, acero grado EN-31 o DIN 100Cr6 cuyos detalles se dan en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones del acero AISI 52100 [3].

Especificaciones del material	%C	%Si	%Mn	%Cr
AISI 52100 (o su equivalente EN-31. DIN 100Cr6)	0.95-1-10	0.15-0.35	0.25-0.45	1.3-1.6

Para aplicaciones ordinarias de rodamientos de bolas, sería adecuado el acero SAE 52100. Pero, para aplicaciones de rodamientos de bolas de alta resistencia, el mismo acero debe adquirirse en función de las siguientes condiciones:

El acero debe adquirirse con una distribución uniforme del carbono para obtener propiedades uniformes, por otro lado, los niveles de hidrógeno y oxígeno en el acero deben ser lo más bajos posible.

En cuanto al proceso de formado, incluido el tratamiento, no debe provocar microfisuras ni quemaduras en la superficie del suelo y dejar tensiones residuales en las superficies de contacto.

Para concluir el ejemplo práctico, de los análisis de diferentes tipos de aplicaciones, es evidente que las aplicaciones del acero para diferentes propósitos requieren

análisis técnicos de propiedades de uso final, pasos en la fabricación y procesamiento, e identificación de rendimiento y parámetros de fabricación.

Para cada necesidad dentro del campo de ciencias y tecnología, como estructuras, bio-wearables, maquinaria, la selección y aplicación del acero también son funciones de la calidad del diseño y la fabricación para la prevención de fallas prematuras. Es la suma de calidad de diseño, calidad del acero, precisión de fabricación, calidad de mantenimiento y condiciones ambientales y de servicio.

CONCLUSIÓN.

En conclusión, en este trabajo se recalca la importancia respecto al conocimiento de estos materiales como lo son los aceros y las fundiciones (aleaciones ferrosas), ya que como se pudo analizar, se presentan elementos aleantes, los cuales modificarán propiedades físicas, químicas y mecánicas como la ductilidad, la dureza, la tenacidad, entre otras abordadas en este trabajo, teniendo en cuenta que los elementos aleantes se verán limitados por su solubilidad, la cual podrá manipularse mediante la temperatura de trabajo. De igual forma se requiere tener nociones sobre los rangos de porcentajes en los que se manejan estos aleantes, pues si se añade mucho porcentaje de algún aleante buscando mejorar alguna propiedad, puede modificar otras, así, al aumentar el carbono, podremos mejorar la ductilidad, pero reducir su resistencia. Por ello, los porcentajes son de suma relevancia para la generación del material deseado. Durante la investigación también se analizaron estándares presentes en aleaciones ferrosas los cuales son generados por organizaciones como la AISI y la SAE, de esta manera se pudo ver cómo muchas de estas aleaciones tienen ya un grado y una categoría dependiendo de las solicitaciones que tendrán durante su ciclo de vida.

Cabe mencionar que se profundizó en el análisis de las clasificaciones tanto de aceros como de fundiciones, las fases presentes y los microconstituyentes que conforman cada uno de los grupos así como de los subgrupos, recabando información acerca de las características que ofrece cada uno de ellos, por ejemplo, en cuanto a soldabilidad, maquinabilidad, resistencia a la corrosión y tratamientos térmicos a los que pueden o no ser sometidos, con base en estas últimas características se estudió las aplicaciones para las que son mayormente usados, ya sea en herramientas, en maquinaria, uso doméstico, industrial o construcción por mencionar algunos.

En cuanto a las fundiciones, una característica que cabe resaltar es que se pueden clasificar en función de la forma en que se encuentra el carbono en su microestructura, ya que a la par se presentarán en el material distintos tipos de matrices, por ejemplo, ferrítica, perlítica o martensítica dependiendo de las condiciones de trabajo, ofreciendo cada una de ellas ventajas y desventajas para algún uso específico.

Referencias.

1. Díaz del Castillo, F. & Cárdenas, J. (2015). *Lecturas para ingeniería no. 23 "Superaleaciones". México: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Recuperado de: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/superaleaciones.pdf*
2. Gutiérrez, R. (s.f). *Metalografía - Aleaciones Ferrosas.* De Facultad de Ingeniería, Universidad pública de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: http://materias.fi.uba.ar/6750/Resumen%20Fundiciones%20de%20hierro.pdf
3. Calderón Célis, J. (s.f). *Modelo Uliram para determinar nuevas composiciones químicas para materiales de aporte.* (Tesis digital). Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Perú. Recuperada de: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/calderon_cj/Cap1.pdf
4. Whiting, L. (2014). "Introduction to Steel". En Sahoo, M.(Ed.) *Principles of Metal Casting* (pg 23-50). Recuperado de: https://www-accessengineeringlibrary-com.pbidi.unam.mx:2443/content/book/9780071789752/toc-chapter/chapter1/section/section1
5. Shackelford, J. F. (2005). Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. (6ta ed., Vol. 1). Madrid, España: Pearson.
6. Hernández Vázquez, J. (2019, 30 julio). Usos de acero [Ilustración]. Recuperado de https://deingenierias.com/el-acero/tipos-de-acero/
7. Saiz, C. (2013, 13 enero). Tipos de aceros y sus propiedades. [Ilustración]. Recuperado de: http://carlossaiz.blogspot.com/2013/01/tipos-de-aceros-empleados-en-la.html
8. Metals Handbook (1978), 9na ed., Vol.1, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.
9. Metals Handbook, (1986) 8va ed., Vol. 8: Metallography, Structures, and Phase Diagrams, American Society for Metals, Metals Park, OH.
10. Callister, William D. (1995). Ciencia e ingeniería de los materiales. (3ra ed.). España. Ed: Reverté.