Opositando

Tema 3: Fundiciones, proceso de obtención de la fundición. Metalurgia de la fundición. Clasificación, designación normalizada y aplicaciones. Soldabilidad

18 de agosto de 2026

Síguenos en Instagram y entérate de nuestras últimas actualizaciones:

opositando.shop

Índice

1. Introducción 1
2. Naturaleza y fundamentos de las fundiciones 1
3. Proceso de obtención de las fundiciones 3
4. Metalurgia de las fundiciones 5
5. Clasificación, designación normalizada y aplicaciones 7
6. Soldabilidad de las fundiciones 9
7. Implicaciones didácticas en el contexto educativo 12
8. Conclusión 14
9. Bibliografía 15

1. Introducción

Las fundiciones constituyen una familia esencial de aleaciones férreas cuya importancia industrial se explica por la combinación de una elevada colabilidad, un coste de producción competitivo, una amplia posibilidad de ajuste de propiedades mecánicas y una notable capacidad para fabricar piezas de geometría compleja. Se emplean en sectores tan diversos como la automoción, la maquinaria, la energía, la industria ferroviaria, la construcción, la fabricación de bienes de equipo y la producción de componentes sometidos a desgaste o vibraciones.

Desde el punto de vista de la tecnología de fabricación y de la soldadura, las fundiciones presentan particularidades que exigen un conocimiento riguroso de su composición química, de sus transformaciones metalúrgicas, de sus estructuras de solidificación y de su comportamiento frente a los ciclos térmicos. No pueden considerarse simplemente como aceros con mayor porcentaje de carbono, ya que el carbono y el silicio modifican de manera decisiva la forma de solidificación, la microestructura y las propiedades finales del material.

El estudio de las fundiciones integra conocimientos de ciencia de materiales, metalurgia física, procesos de moldeo, tratamientos térmicos, control de calidad y técnicas de unión. En el ámbito de la soldadura, este conocimiento es especialmente relevante porque las fundiciones poseen, por regla general, una soldabilidad inferior a la de los aceros de bajo carbono. La aparición de zonas endurecidas, tensiones residuales, porosidad, grietas o alteraciones microestructurales obliga a seleccionar cuidadosamente el procedimiento de reparación o unión.

Por tanto, el dominio de este tema permite interpretar las designaciones normalizadas de las fundiciones, relacionar sus estructuras con sus aplicaciones industriales y establecer criterios técnicos adecuados para abordar operaciones de soldeo, reparación, mecanizado y control de piezas fundidas.

2. Naturaleza y fundamentos de las fundiciones

Las **fundiciones** son aleaciones de hierro y carbono que contienen habitualmente un porcentaje de carbono superior al de los aceros, generalmente comprendido entre aproximadamente el 2 % y el 4,3 % en masa. Además del carbono, contienen silicio, manganeso, fósforo, azufre y, en determinados casos, elementos de aleación como níquel, cromo, molibdeno, cobre, vanadio o titanio.

La diferencia fundamental entre un acero y una fundición no debe establecerse únicamente mediante un límite estricto de carbono, sino mediante su comportamiento metalúrgico y tecnológico. Las fundiciones están concebidas principalmente para ser vertidas en estado líquido dentro de moldes, donde adquieren su forma definitiva por solidificación. Su temperatura de fusión es, en general, inferior a la de los aceros, lo que favorece su elaboración mediante moldeo y permite fabricar componentes de gran tamaño o de formas interiores complejas.

El sistema hierro-carbono permite comprender el origen de las principales estructuras presentes en las fundiciones. El eutéctico estable se produce a una composición próxima al 4,3 % de carbono y a una temperatura aproximada de 1147 °C. En estas condiciones, el líquido puede transformarse en una mezcla de austenita y grafito. Sin embargo, cuando la solidificación sigue el sistema metaestable, el carbono se combina con el hierro y forma cementita, Fe_3C, dando lugar a estructuras más duras y frágiles.

La tendencia del carbono a solidificar como grafito o como cementita depende, sobre todo, de la velocidad de enfriamiento, del contenido de silicio, de la composición global y de la presencia de elementos inoculantes o aleantes. El silicio es un elemento de gran importancia porque favorece la grafitización y reduce la tendencia a formar cementita. Por el contrario, elementos como el cromo, el manganeso o el vanadio favorecen la formación de carburos y aumentan la tendencia al blanqueamiento.

Un parámetro útil para valorar de manera aproximada el efecto conjunto del carbono, silicio y fósforo es el **equivalente de carbono**, que puede expresarse mediante la relación:

$$C_{eq} = C + \frac{Si + P}{3}$$

Esta expresión ayuda a estimar la proximidad de una composición determinada al eutéctico y, por tanto, su comportamiento durante la colada. Un valor elevado de C_{eq} suele favorecer la fluidez del metal líquido y la formación de grafito, aunque debe interpretarse siempre junto con las condiciones reales de producción.

Por ejemplo, una fundición gris destinada a fabricar un cuerpo de bomba puede contener aproximadamente un 3,3 % de carbono y un 2 % de silicio. Esta composición favorece la aparición de grafito laminar y proporciona una buena capacidad de amortiguamiento de vibraciones. En cambio, si se incrementara de forma notable el contenido de cromo o se enfriara la pieza muy rápidamente, aumentaría la presencia de cementita y se reduciría considerablemente la mecanizabilidad.

Las fundiciones presentan habitualmente una resistencia a compresión elevada, una buena capacidad para absorber vibraciones y una aceptable resistencia al desgaste en determinadas condiciones. No obstante, algunas variedades poseen escasa ductilidad y baja resistencia a tracción, especialmente las fundiciones grises convencionales, debido a que las láminas de grafito actúan como concentradores de tensiones.

La estructura de las fundiciones no depende exclusivamente de la cantidad de carbono presente, sino de la forma en la que este aparece en la matriz. El carbono puede encontrarse como grafito laminar, grafito esferoidal, grafito compacto, cementita o carburos complejos. La matriz metálica puede ser ferrítica, perlítica, bainítica, martensítica o austenítica. La combinación entre la forma del grafito y la matriz determina las propiedades mecánicas finales.

Según indican Callister y Rethwisch, la microestructura controla el comportamiento macroscópico de los materiales metálicos, pues determina su dureza, resistencia, ductilidad, tenacidad y respuesta frente a los tratamientos térmicos. Esta afirmación resulta especialmente relevante en las fundiciones, en las que pequeños cambios de composición o de velocidad de enfriamiento pueden originar diferencias sustanciales de comportamiento.

3. Proceso de obtención de las fundiciones

La obtención de una pieza fundida comprende una secuencia de operaciones que comienza con la preparación de la carga metálica y finaliza con el control dimensional, metalúrgico y funcional de la pieza. Cada etapa condiciona la calidad final, por lo que la producción de fundiciones exige controlar tanto la composición química como el proceso térmico y el sistema de moldeo.

La carga metálica suele estar formada por arrabio, retornos de fundición, chatarra seleccionada, ferroaleaciones y elementos correctores. El arrabio procede del alto horno y contiene una elevada proporción de carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre. La chatarra aporta hierro y permite ajustar el coste de producción, pero debe seleccionarse cuidadosamente para evitar contaminaciones con cobre, estaño, aluminio, plomo o elementos residuales que alteren la estructura y las propiedades.

La fusión puede realizarse en distintos tipos de hornos. El **cubilote** ha sido tradicionalmente uno de los equipos más utilizados para producir fundición gris. Funciona como un horno de cuba en el que se introducen sucesivas capas de coque, metal y fundentes. Su principal ventaja es la elevada productividad, aunque ofrece un control químico menos preciso que los hornos eléctricos.

En las fundiciones modernas es frecuente el empleo del **horno de inducción**, que permite un control más preciso de la composición, mejora la limpieza metalúrgica y facilita la producción de pequeñas y medianas series con exigencias de calidad elevadas. El calentamiento se produce por inducción electromagnética, sin contacto directo entre la fuente de energía y el metal. Por ejemplo, en la fabricación de componentes de seguridad para maquinaria o automoción, el horno de inducción permite ajustar con precisión los contenidos de magnesio, silicio y elementos aleantes necesarios para obtener fundición de grafito esferoidal.

Durante la fusión es necesario controlar la temperatura del baño metálico y realizar análisis químicos mediante espectrometría. La composición se corrige añadiendo ferroaleaciones, carburantes, silicio metálico, ferromanganeso u otros materiales. El objetivo es obtener una composición compatible con el tipo de fundición deseado y con las condiciones de enfriamiento de la pieza.

Una vez fundido el metal, se realiza el **tratamiento del baño**. En las fundiciones grises se practica habitualmente la inoculación, que consiste en añadir productos ricos en silicio y calcio, habitualmente ferrosilicio inoculante, poco antes de la colada. La inoculación favorece la nucleación del grafito, reduce la tendencia a la formación de carburos y contribuye a obtener una estructura más homogénea.

En las fundiciones de grafito esferoidal se aplica un tratamiento de nodulización mediante magnesio o aleaciones de magnesio, frecuentemente ferrosilicomagnesio. El magnesio modifica la morfología del grafito, transformándolo de laminar a esferoidal. Este cambio tiene una trascendencia decisiva: mientras el grafito laminar genera fuertes concentraciones de tensión, el grafito esferoidal reduce ese efecto y permite alcanzar valores de resistencia y ductilidad mucho más elevados.

Tras el tratamiento metalúrgico, el metal se vierte en moldes. El moldeo en arena es el método más extendido por su versatilidad y bajo coste. Los moldes pueden fabricarse con arena verde, arena con resinas, moldes de cáscara o sistemas químicamente endurecidos. Para grandes series también se emplean procesos como el moldeo en coquilla, la fundición centrífuga o la fundición a presión, aunque esta última tiene una aplicación más limitada en aleaciones ferrosas debido a las elevadas temperaturas de trabajo.

El diseño del sistema de colada es esencial. Debe incluir canales, bebederos, mazarotas y filtros que permitan llenar adecuadamente la cavidad del molde, minimizar la turbulencia y compensar la contracción durante la solidificación. Una mazarota mal dimensionada puede generar rechupes en zonas masivas de la pieza, mientras que una entrada de metal excesivamente rápida puede originar erosión del molde, inclusiones de arena o defectos por turbulencia.

Un caso característico es la fabricación de una carcasa de reductora con paredes de diferente espesor. Las zonas más gruesas se enfrían lentamente y pueden desarrollar grafito más grueso, mientras que las áreas delgadas se enfrían con mayor rapidez y pueden presentar tendencia al blanqueamiento. Para compensar este efecto, se diseña el sistema de alimentación y, si es necesario, se ajusta la composición o se utilizan enfriadores metálicos, denominados chill, en regiones concretas del molde.

Después de la solidificación se lleva a cabo el desmoldeo, la eliminación de canales y mazarotas, el granallado o limpieza superficial y el mecanizado de las zonas funcionales. Finalmente, se aplican controles de calidad. Entre los más habituales se encuentran el análisis químico, la determinación de dureza, los ensayos de tracción, la inspección visual, los líquidos penetrantes, las partículas magnéticas, los ultrasonidos y la radiografía industrial.

La calidad de una fundición debe valorarse de manera global. No basta con alcanzar una composición química nominal, puesto que la presencia de porosidad, inclusiones, segregaciones, grafito no deseado o tensiones internas puede comprometer la funcionalidad de la pieza. Por este motivo, el control de proceso debe complementarse con el control de producto.

4. Metalurgia de las fundiciones

La metalurgia de las fundiciones se centra en el estudio de las transformaciones que tienen lugar durante la solidificación y el enfriamiento posterior. El resultado final depende de la interacción entre composición, tratamiento del metal líquido, velocidad de enfriamiento, geometría de la pieza y tratamientos térmicos posteriores.

La solidificación puede seguir dos vías principales. En la **solidificación estable**, el carbono precipita en forma de grafito. En la **solidificación metaestable**, el carbono queda combinado en forma de cementita. La primera vía da lugar a fundiciones grafíticas, generalmente más mecanizables y con mejor capacidad de amortiguamiento. La segunda genera fundiciones blancas, muy duras y resistentes al desgaste, pero también muy frágiles y de difícil mecanizado.

La velocidad de enfriamiento es un factor decisivo. Una pieza delgada o enfriada mediante moldes de elevada conductividad térmica puede solidificar rápidamente y formar carburos. En cambio, una pieza gruesa, enfriada lentamente en arena, favorece la grafitización. Esta relación explica por qué una misma composición puede dar lugar a microestructuras distintas según la sección de la pieza.

En la fundición gris, el grafito aparece en forma de láminas o escamas. Estas láminas interrumpen la continuidad de la matriz metálica y favorecen la propagación de grietas bajo esfuerzos de tracción. Sin embargo, también proporcionan ventajas importantes: elevada capacidad de amortiguamiento, buena conductividad térmica, buena mecanizabilidad y excelentes propiedades antifricción. Por esta razón, la fundición gris continúa siendo idónea para fabricar bancadas de máquinas herramienta, bloques de motor, cuerpos de válvulas, tambores de freno o carcasas de maquinaria.

La **fundición de grafito esferoidal**, también denominada fundición nodular o dúctil, presenta el grafito en forma de nódulos aproximadamente esféricos. Esta morfología reduce significativamente la concentración de tensiones y permite obtener propiedades mecánicas próximas a las de ciertos aceros. Una fundición EN-GJS-500-7, por ejemplo, posee una resistencia mínima a tracción de 500 MPa y un alargamiento mínimo del 7 %. Puede emplearse en cigüeñales, engranajes, tuberías a presión, soportes estructurales o componentes de suspensión.

La matriz de las fundiciones puede ser ferrítica, perlítica o mixta. Una matriz **ferrítica** proporciona mejor ductilidad y tenacidad, pero menor dureza y resistencia. Una matriz **perlítica** incrementa la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste, aunque reduce la ductilidad. En una fundición nodular ferrítico-perlítica se busca un compromiso entre ambas propiedades, útil en piezas sometidas a cargas alternantes y a exigencias moderadas de mecanizado.

La fundición blanca presenta una estructura en la que el carbono aparece principalmente combinado como cementita. Su fractura muestra un aspecto brillante o blanco, de donde procede su denominación. La elevada cantidad de carburos le confiere gran dureza, pero también una fragilidad considerable. Se utiliza en piezas sometidas a abrasión intensa, como revestimientos de molinos, rodillos de trituración, elementos de bombeo de lodos o placas de desgaste.

Las fundiciones maleables se obtienen a partir de fundiciones blancas sometidas a tratamientos térmicos prolongados de recocido. Durante estos tratamientos, parte de la cementita se descompone y origina carbono de revenido, también denominado grafito de temple o grafito irregular. Las fundiciones maleables combinan una buena resistencia con mayor ductilidad que la fundición gris, lo que históricamente favoreció su empleo en racores, herrajes, accesorios de tuberías y pequeñas piezas de automoción.

La fundición de **grafito compacto** o vermicular presenta una morfología intermedia entre el grafito laminar y el esferoidal. El grafito adopta una forma corta, redondeada y conectada. Ofrece mejores propiedades mecánicas que la fundición gris y conserva una buena conductividad térmica. Esta combinación ha favorecido su aplicación en bloques de motores diésel de elevada

presión de combustión, donde se requieren rigidez, resistencia térmica y capacidad de disipación de calor.

Los elementos de aleación permiten modificar de manera dirigida las propiedades. El níquel favorece estructuras austeníticas y mejora la resistencia a la corrosión; el cromo incrementa la dureza y la resistencia al desgaste al formar carburos; el molibdeno aumenta la resistencia a altas temperaturas y reduce la sensibilidad al ablandamiento; el cobre puede favorecer la perlita y mejorar la resistencia mecánica. No obstante, el uso de aleantes debe justificarse técnicamente, ya que aumenta el coste y puede complicar tanto el mecanizado como la soldabilidad.

Desde una perspectiva crítica, no existe una fundición universalmente superior. La selección debe basarse en un análisis funcional de la pieza: tipo de solicitación, espesor, condiciones térmicas, medio corrosivo, necesidad de mecanizado, requisitos de estanqueidad, volumen de producción y posibilidad de reparación. Elegir una fundición blanca para una pieza que requiere mecanizado posterior sería técnicamente inadecuado, del mismo modo que emplear fundición gris en un elemento sometido a grandes deformaciones plásticas puede conducir a una rotura prematura.

5. Clasificación, designación normalizada y aplicaciones

La clasificación de las fundiciones puede establecerse según diversos criterios: la forma del carbono, la estructura de la matriz, la composición química, la presencia de elementos de aleación, el tratamiento térmico recibido o las propiedades mecánicas mínimas exigibles. Para el ámbito industrial y educativo, resulta especialmente útil clasificarlas atendiendo a la forma en que se presenta el grafito o el carbono combinado.

Las principales familias son las siguientes:

- La **fundición gris de grafito laminar** se caracteriza por la presencia de grafito en forma de láminas. Posee buena colabilidad, elevada capacidad de amortiguamiento, buena mecanizabilidad y resistencia razonable a compresión. Su principal limitación es la baja ductilidad. Una bancada de torno fabricada con esta fundición absorbe vibraciones generadas durante el mecanizado, contribuyendo a mejorar la estabilidad de la máquina.
- La **fundición de grafito esferoidal** contiene nódulos de grafito obtenidos mediante tratamiento con magnesio. Presenta una mayor resistencia a tracción, mejor límite elástico y ductilidad superior a la fundición gris. Es apropiada para piezas de responsabilidad mecánica, como bujes, ejes, engranajes, colectores, tuberías y componentes de automoción.

- La **fundición blanca** contiene cementita y carburos en proporción elevada. Presenta gran dureza y resistencia al desgaste abrasivo, pero es frágil y difícil de mecanizar. Puede emplearse en componentes que trabajan con minerales, arenas, partículas abrasivas o materiales de elevada dureza.
- La **fundición maleable** se obtiene por tratamiento térmico de fundiciones blancas. Se destina preferentemente a piezas de pequeño tamaño que requieren cierta deformabilidad y resistencia al impacto, como accesorios de tuberías o elementos de fijación.
- La **fundición de grafito compacto** posee grafito vermicular y ofrece propiedades intermedias entre la fundición gris y la nodular. Su aplicación es relevante en motores térmicos, colectores de escape y piezas sometidas a variaciones térmicas intensas.
- Las **fundiciones aleadas** incorporan elementos como níquel, cromo, molibdeno, silicio o cobre para mejorar propiedades específicas. Las fundiciones alto cromo, por ejemplo, se emplean en ambientes de fuerte abrasión; las fundiciones austeníticas al níquel pueden utilizarse en aplicaciones con exigencias de resistencia térmica, corrosiva o no magnética.

La designación normalizada permite identificar de forma clara la familia de fundición y sus propiedades mecánicas. La norma **UNE-EN 1560:2019** establece un sistema general de designación para materiales de fundición. En este sistema, el prefijo EN indica que se trata de una designación conforme a una norma europea, mientras que las letras posteriores identifican el tipo de grafito o de estructura.

La fundición gris se designa habitualmente mediante las siglas **EN-GJL**, donde GJ identifica una fundición y la letra L indica grafito laminar. La designación EN-GJL-200 corresponde a una fundición de grafito laminar con una resistencia mínima a tracción de 200 MPa, determinada sobre probetas normalizadas. Según la **UNE-EN 1561:2012**, esta clase de fundición se selecciona cuando se valoran especialmente la amortiguación de vibraciones, la colabilidad y la mecanizabilidad.

La fundición nodular se designa mediante el código **EN-GJS**, en el que la letra S hace referencia al grafito esferoidal. En la designación EN-GJS-400-15, el primer número indica una resistencia mínima a tracción de 400 MPa y el segundo, un alargamiento mínimo del 15 %. Esta combinación corresponde normalmente a una estructura predominantemente ferrítica, adecuada para piezas que requieren buena ductilidad. En una designación EN-GJS-700-2, en cambio, la resistencia es mayor, pero el alargamiento es inferior, lo que suele asociarse a una matriz más perlítica y resistente.

La norma **UNE-EN 1563:2019** regula las condiciones técnicas de suministro de las fundiciones de grafito esferoidal. Esta norma es particularmente importante en la selección de materiales para elementos estructurales y componentes sometidos a presión, dado que establece requisitos de propiedades mecánicas y criterios de control.

Las fundiciones de grafito compacto se designan como **EN-GJV**, donde la letra V identifica el grafito vermicular. Una fundición EN-GJV-450 presenta una resistencia mínima a tracción de 450 MPa. Conforme a la **UNE-EN 1564:2012**, este tipo de material se emplea cuando se necesita una combinación equilibrada de resistencia mecánica, estabilidad térmica y conductividad.

Las fundiciones maleables se incluyen en la **UNE-EN 1562:2019** y pueden presentar designaciones como EN-GJMB o EN-GJMW. Las letras adicionales diferencian el tipo de fundición maleable, en función de la estructura obtenida tras el tratamiento térmico. La interpretación completa de la designación resulta necesaria para seleccionar correctamente el material y establecer operaciones posteriores de mecanizado, tratamiento superficial o soldadura.

La lectura de una designación normalizada no debe limitarse a memorizar siglas. Debe permitir al profesional anticipar el comportamiento del material. Si se identifica una pieza como EN-GJL-250, puede preverse que tendrá buena respuesta frente a vibraciones y mecanizado, pero una ductilidad limitada. Si se trata de una EN-GJS-500-7, se espera una mayor capacidad resistente y una mejor respuesta frente a cargas alternantes, aunque sus condiciones de soldadura seguirán requiriendo precauciones.

Las aplicaciones deben vincularse a las propiedades. Las fundiciones grises son apropiadas para bancadas, cuerpos de bombas, bloques de motor y tambores de freno. Las nodulares se emplean en tuberías, válvulas, cigüeñales, engranajes y componentes de seguridad. Las blancas se reservan para desgaste abrasivo. Las aleadas se aplican en condiciones térmicas, corrosivas o abrasivas especiales. Esta relación entre estructura, propiedades y función constituye uno de los principios básicos de la selección de materiales.

6. Soldabilidad de las fundiciones

La **soldabilidad** puede definirse como la capacidad de un material para ser unido mediante un proceso de soldeo de forma que la unión resultante cumpla los requisitos de integridad, resistencia y servicio previstos. En las fundiciones, la soldabilidad suele ser limitada y depende de la clase de fundición, su composición, la geometría de la pieza, el estado superficial, la presencia de aceite o grafito, la rigidez de la unión y el procedimiento utilizado.

La principal dificultad reside en que el ciclo térmico de la soldadura puede modificar localmente la microestructura. Durante el calentamiento y el enfriamiento rápido, la zona afectada térmicamente puede formar cementita, martensita o estructuras de elevada dureza. Estas zonas son frágiles y tienen una alta susceptibilidad al agrietamiento, especialmente cuando existen tensiones residuales o restricciones geométricas.

La fundición gris es particularmente problemática porque el grafito laminar favorece la iniciación y propagación de grietas. Además, muchas piezas de fundición gris han trabajado durante años en contacto con lubricantes, combustibles, aceites o productos químicos. Estos contaminantes penetran en la porosidad superficial y, durante la soldadura, pueden producir gases, porosidad y falta de fusión.

Antes de soldar una fundición debe realizarse una inspección rigurosa. Es necesario identificar, en la medida de lo posible, el tipo de fundición, evaluar la localización y extensión de la grieta, comprobar si la pieza está contaminada, determinar su función y valorar si la reparación es técnicamente viable. En una bancada de máquina herramienta, por ejemplo, una reparación mediante soldadura puede alterar la estabilidad dimensional de la pieza y generar deformaciones. En este caso, puede ser preferible una reparación mecánica, mediante cosido metálico, grapas o sistemas de unión en frío.

La preparación de bordes tiene una gran importancia. Las grietas deben eliminarse por mecanizado, esmerilado o ranurado hasta alcanzar metal sano. En los extremos de una grieta se realizan con frecuencia taladros de detención, cuyo objetivo es reducir la concentración de tensiones e impedir que la fisura continúe propagándose durante el calentamiento. La zona debe limpiarse cuidadosamente mediante disolventes adecuados, cepillado y, si procede, calentamiento controlado para eliminar aceites impregnados.

Existen varios procedimientos de reparación por soldadura. La elección depende del tipo de fundición, del tamaño de la pieza, de la responsabilidad del componente y de las posibilidades de aplicar precalentamiento.

La **soldadura en caliente** consiste en precalentar la pieza, de forma general, a temperaturas elevadas que pueden situarse aproximadamente entre 500 °C y 650 °C. Se emplean aportaciones compatibles con la composición de la fundición y se procura mantener una temperatura uniforme durante toda la operación. Tras la soldadura, el enfriamiento debe ser muy lento, por ejemplo enterrando la pieza en arena seca o en material aislante. El objetivo es evitar la formación de estructuras blancas o martensíticas y reducir las tensiones residuales.

Este método ofrece buenos resultados metalúrgicos, pero presenta inconvenientes relevantes: elevado consumo energético, dificultad para calentar piezas grandes, riesgo de deformación y necesidad de equipamiento apropiado. Puede justificarse en la reparación de una gran carcasa de fundición gris cuando sea imprescindible recuperar la continuidad estructural y exista posibilidad de controlar todo el ciclo térmico.

La **soldadura templada o semicálida** utiliza temperaturas de precalentamiento más moderadas, normalmente entre 250 °C y 400 °C. Constituye una solución intermedia cuando el precalentamiento completo resulta difícil, pero se desea disminuir el gradiente térmico y la velocidad de enfriamiento.

La **soldadura en frío** no significa que la pieza permanezca totalmente fría, sino que se evita un precalentamiento general elevado. Se aplica mediante cordones cortos, con baja aportación térmica, dejando enfriar parcialmente entre pasadas. Es frecuente emplear electrodos de níquel, níquel-hierro o materiales de aporte especialmente formulados para fundiciones. El níquel favorece depósitos mecanizables y reduce la formación de fases frágiles en la unión.

En una reparación localizada de una carcasa de bomba de fundición gris, puede emplearse un electrodo de níquel y ejecutar pequeños cordones alternados de unos pocos centímetros. Después de cada depósito se realiza un ligero martilleo, denominado peening, para compensar parcialmente la contracción del metal de soldadura. Esta técnica exige experiencia, pues un martilleo excesivo o aplicado sobre un cordón demasiado frío puede generar daños adicionales.

Los procesos de soldeo más empleados son el soldeo manual por arco con electrodo revestido, el proceso TIG y, en determinados casos, el proceso MIG. El soldeo oxiacetilénico, aunque menos habitual en la producción industrial actual, permite aportar calor de manera relativamente gradual y puede resultar útil en reparaciones tradicionales de fundición gris. La selección del proceso debe atender a la accesibilidad, al espesor, al tipo de aportación y a la necesidad de control térmico.

La fundición nodular suele presentar una soldabilidad algo mejor que la fundición gris desde el punto de vista de la concentración de tensiones asociada al grafito, pero continúa existiendo riesgo de endurecimiento en la zona afectada térmicamente. Además, la pérdida local de magnesio y las transformaciones de la matriz pueden reducir la ductilidad. Por ello, tampoco debe considerarse un material fácilmente soldable.

Las fundiciones blancas y muchas fundiciones altamente aleadas presentan una soldabilidad muy baja. La elevada proporción de carburos, la fragilidad y la dificultad para evitar estructuras

endurecidas hacen que la reparación por soldadura sea excepcional y deba estudiarse de manera específica. En algunos casos, la solución más adecuada es la sustitución de la pieza o la aplicación de recargues especializados con aleaciones resistentes al desgaste.

La calidad de una reparación soldada debe verificarse mediante inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, control de dureza y, cuando la aplicación lo requiera, ensayos de estanqueidad o mecanizado de comprobación. Una reparación aparentemente correcta puede ocultar fisuras internas o zonas de elevada dureza que fallen posteriormente en servicio.

La decisión de soldar una fundición debe adoptarse con criterio técnico y económico. No toda grieta debe repararse por soldeo. En piezas sometidas a presión, rotación, impacto o responsabilidad para la seguridad, la reparación exige un procedimiento cualificado, personal competente y un control final riguroso. La soldadura improvisada, sin identificación del material ni control térmico, constituye una práctica de riesgo.

7. Implicaciones didácticas en el contexto educativo

El estudio de las fundiciones posee una clara aplicación en la Formación Profesional vinculada a la fabricación mecánica, la soldadura, la construcción metálica, el mantenimiento industrial y la automoción. El alumnado debe comprender que la selección de un material no depende únicamente de su resistencia mecánica nominal, sino de la relación entre composición, estructura, proceso de fabricación, propiedades, coste y condiciones de servicio.

La **Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre**, establece un marco educativo orientado al desarrollo competencial, a la inclusión, a la mejora de la cualificación profesional y a la conexión entre el aprendizaje y las necesidades sociales y productivas. En este contexto, el contenido sobre fundiciones permite abordar competencias científicas, tecnológicas y profesionales mediante situaciones de aprendizaje vinculadas a la interpretación de planos, la identificación de materiales, el control de procesos y la resolución de problemas técnicos.

Asimismo, el **Real Decreto 659/2023, de 18 de julio**, regula la ordenación del Sistema de Formación Profesional y refuerza una organización formativa basada en resultados de aprendizaje, competencias profesionales y vinculación con el entorno productivo. El conocimiento de las fundiciones puede integrarse en módulos relacionados con los materiales, los procesos de fabricación, la interpretación gráfica, la metrología, el control de calidad, la soldadura y el mantenimiento de equipos industriales.

Desde una perspectiva metodológica, resulta adecuado partir de piezas reales o de documentación técnica. El alumnado puede analizar una carcasa, una bancada, una válvula o un disco de freno, identificar sus características funcionales y justificar qué tipo de fundición resulta más adecuado. Esta estrategia favorece un aprendizaje significativo, pues relaciona la microestructura con la función industrial de la pieza.

También es conveniente trabajar la lectura de designaciones normalizadas. Interpretar códigos como EN-GJL-250 o EN-GJS-500-7 permite desarrollar la competencia técnica necesaria para consultar planos, fichas de materiales, especificaciones de compra y documentación de mantenimiento. El aprendizaje debe ir más allá de la memorización de siglas, orientándose a inferir propiedades y aplicaciones a partir de la designación.

En el ámbito de la soldadura, las actividades prácticas deben desarrollarse con una rigurosa cultura preventiva. El alumnado ha de comprender los riesgos asociados a la manipulación de piezas pesadas, proyecciones, humos metálicos, limpieza con disolventes, precalentamiento, trabajo con piezas contaminadas y posibles roturas frágiles. La prevención no debe tratarse como un contenido aislado, sino como un criterio integrado en la planificación de cada operación.

Una propuesta didáctica especialmente valiosa consiste en presentar una pieza de fundición fisurada y solicitar al alumnado que diseñe un procedimiento de actuación. Debe decidir si procede la soldadura, el cosido mecánico o la sustitución de la pieza; identificar el material de base; seleccionar el proceso y el metal de aportación; establecer la preparación de bordes; definir el precalentamiento; prever el enfriamiento y proponer los controles finales. Esta tarea desarrolla análisis técnico, autonomía, comunicación profesional y toma de decisiones fundamentadas.

La evaluación debe combinar instrumentos diversos. Las pruebas escritas pueden valorar la comprensión de los diagramas y clasificaciones; las prácticas de taller permiten observar la correcta ejecución de operaciones; las rúbricas sirven para evaluar la planificación de procedimientos; y los informes técnicos favorecen la precisión terminológica y la capacidad de argumentación. Debe valorarse especialmente la justificación razonada de las decisiones, no solo la obtención de una respuesta final.

La atención a la diversidad puede concretarse mediante apoyos visuales, muestras metalográficas, tablas comparativas, secuencias de proceso y tareas graduadas en complejidad. Al mismo tiempo, el alumnado con mayor nivel de autonomía puede profundizar en la relación entre composición química, velocidad de enfriamiento, defectología y procedimientos de reparación.

8. Conclusión

Las fundiciones constituyen materiales metálicos de gran relevancia tecnológica debido a su capacidad de moldeo, a la diversidad de estructuras que pueden presentar y a la posibilidad de adaptar sus propiedades a diferentes condiciones de servicio. Su comportamiento depende de la composición química, de la forma en que se presenta el carbono, de la matriz metálica, de la velocidad de enfriamiento y de los tratamientos aplicados durante y después de la colada.

El proceso de obtención exige controlar la carga, la fusión, la composición, la inoculación o nodulización, el diseño del molde, la solidificación y la inspección final. La metalurgia de las fundiciones explica por qué el grafito puede adoptar formas laminares, esferoidales o compactas, así como por qué pueden formarse estructuras carbídicas de elevada dureza y fragilidad.

La clasificación y la designación normalizada permiten identificar de forma sistemática las características de cada fundición y establecer una relación coherente entre material, propiedades y aplicación. El conocimiento de normas como las pertenecientes a la serie UNE-EN 1560 resulta imprescindible para interpretar documentación técnica y seleccionar materiales de forma justificada.

La soldabilidad de las fundiciones exige una atención específica debido al riesgo de endurecimiento, fisuración, porosidad y tensiones residuales. La elección entre soldadura en caliente, semicálida, en frío o procedimientos alternativos debe basarse en el tipo de fundición, la función de la pieza y los requisitos de seguridad y calidad.

En la Formación Profesional, el estudio de las fundiciones favorece la integración de conocimientos científicos, tecnológicos y prácticos, y contribuye al desarrollo de profesionales capaces de analizar materiales, planificar procesos, prevenir riesgos y tomar decisiones técnicas fundamentadas.

9. Bibliografía

AENOR. (2012). *UNE-EN 1561:2012. Fundición. Fundición gris.* Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2012). *UNE-EN 1564:2012. Fundición. Fundición de grafito compactado.* Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2019). *UNE-EN 1560:2019. Fundición. Sistema de designación de materiales para fundiciones. Símbolos de material y números de material.* Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2019). *UNE-EN 1562:2019. Fundición. Fundición maleable.* Asociación Española de Normalización.

AENOR. (2019). *UNE-EN 1563:2019. Fundición. Fundición de grafito esferoidal.* Asociación Española de Normalización.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Ciencia e ingeniería de materiales.* Reverté.

España. Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*, 340, de 30 de diciembre de 2020.

España. Real Decreto 659/2023, de 18 de julio, por el que se desarrolla la ordenación del Sistema de Formación Profesional. *Boletín Oficial del Estado*, 174, de 21 de julio de 2023.