

### Efecto de la forma del grafito.

En las llamadas fundiciones grises, el grafito está presente en forma de láminas, de ahí su nombre “fundición laminar”.

Al producirse esfuerzos de tracción en ciertos puntos, algunas de esas láminas pueden iniciar grietas. Por ello los metalúrgicos han trabajado para disminuir o eliminar este efecto, cambiando el tamaño o distribución de las láminas.

En una primera etapa, la adopción del proceso de centrifugación a los tubos de fundición gris o laminar, permitió una mejora apreciable, al producir láminas de grafito muy finas.

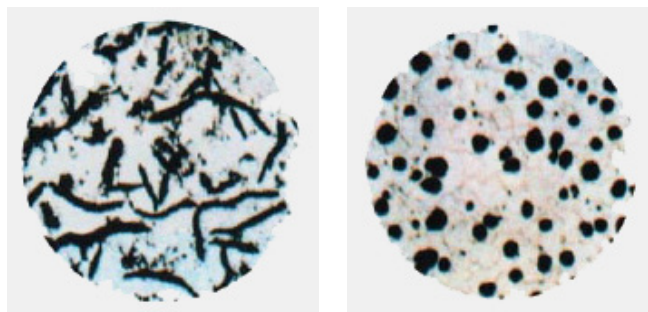
Un avance decisivo sucedió en 1948, cuando trabajos comunes entre USA y Gran Bretaña permitieron descubrir la fundición de grafito esferoidal, comúnmente conocido como fundición dúctil.

El grafito ya no se presenta en forma de láminas, sino que precipita en forma esférica. La posibilidad de propagación lineal de las fisuras es así eliminada.

La precipitación del grafito, en forma esferoidal, se obtiene gracias a la adición controlada de pequeñas cantidades de magnesio a la precipitación, previamente desulfurada matriz férrica.

Este tipo de fundición consigue casi igualar las propiedades mecánicas del acero pero manteniendo un excelente comportamiento frente a la corrosión.

### Propiedades del grafito en forma esférica



El hierro dúctil debe sus excelentes propiedades mecánicas a la forma esferoidal del grafito:

- Resistencia a tracción.
- Resistencia al impacto.
- Alto límite elástico
- Buen alargamiento.

Estas propiedades son optimizadas controlando la composición química y con un tratamiento térmico de la matriz férrica.

La fundición dúctil mantiene las cualidades tradicionales de las fundiciones, resultante de su contenido en carbono:

- Resistencia a la compresión
- Moldeabilidad
- Resistencia a la abrasión
- Se puede mecanizar
- Resistencia a la fatiga.

### Normas

Todos los tubos y accesorios de Mafusa son fabricados empleando las normas:  
ISO 2531-2009 / EN 545-2010 / EN 598-2009

Especificaciones		EN 545 / ISO 2531	Fábrica
Resistencia a la tracción (Mpa)	Tubos / Accesorios	420 / 400	≥400
Límite elástico Rp 0.2 (Mpa)	Tubos / Accesorios	300* / 300	300
Alargamiento a rotura (A en %)	Tubos / Accesorios	≥ 10% DN ≤ 1000 / 7% DN > 1000	≥5% (piezas)
Dureza (HB)	Tubos / Accesorios	< 230 / < 250	

ISO 2531-2009 / EN 545-2010 / EN 598-2009 permite valores entre 270 y 300 cuando:  
A ≥ 12% para DN ≤ 1000 – A ≥ 10% para DN > 1000

### Comparación de propiedades mecánicas

	Tubería de fundición dúctil	Tubería de fundición gris	Tubería de acero
Resistencia a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Min. 420	150 - 260	Min. 400
Límite elástico (N/mm <sup>2</sup> )	300	-	-
Resistencia al doblado (N/mm <sup>2</sup> )	Min 590	200 - 360	Min. 400
Alargamiento (%)	DN 100 - 1000 ≥ 10% DN 1200 - 2200 ≥ 7%	Insignificante	Min.18%
Módulo elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	Aprox. 16 x 10 <sup>4</sup>	Aprox. 16 x 10 <sup>4</sup>	Aprox. 16 x 10 <sup>4</sup>
Dureza (HB)	Máx. 230	Máx. 230	Aprox. 140

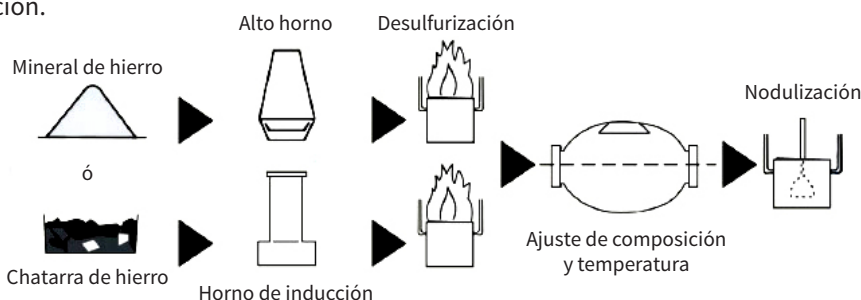
Varios estudios sobre los efectos de terremotos en la red de agua potable muestran que el ratio de daños por Km de tubería de fundición dúctil es la cuarta parte que para la fundición gris y la tercera parte que para otros tipos de tubería.

### Proceso de fabricación del tubo

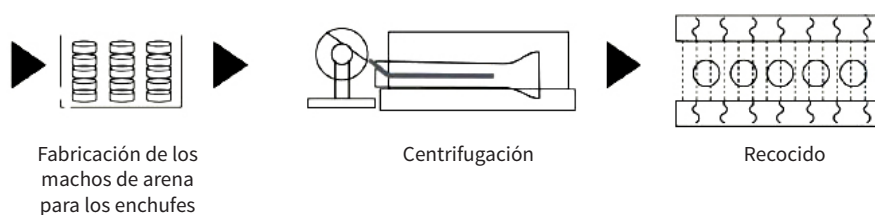
En la fabricación de tubos hay tres etapas:

- Preparación de la colada: horno de inducción (o alto horno), desulfurización y nodulización.
- Centrifugación del tubo.
- Acabado / recubrimientos.

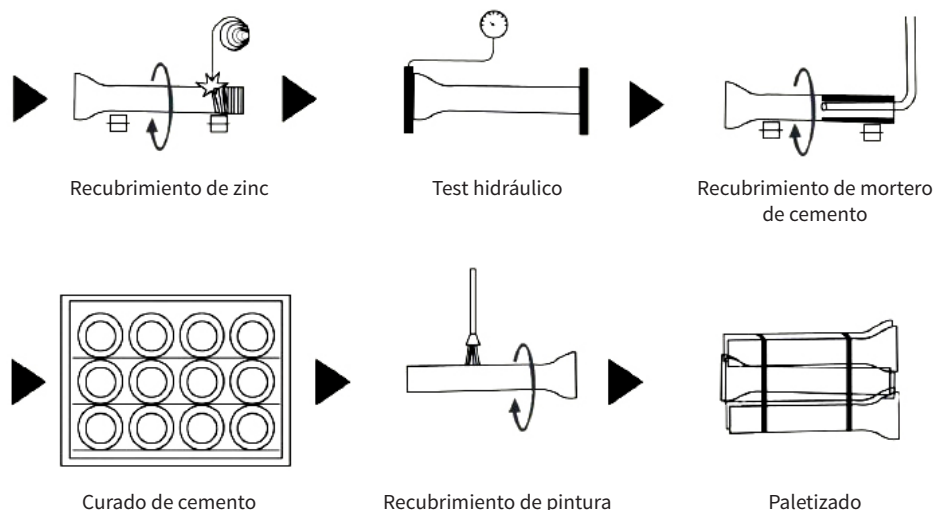
#### Preparación de la colada



#### Centrifugación



#### Acabados / Recubrimientos



## Fabricación de la tubería

### Preparación de la colada

La fundición se puede obtener directamente por reducción del mineral de hierro en un alto horno o mezclando lingotes y chatarra en un horno de inducción. En todos los casos, los materiales han de ser seleccionados y ensayados cuidadosamente para producir un metal base de gran calidad y pureza, apto para los tratamientos descritos más abajo. Tras la desulfuración, la temperatura de la colada se ajusta en un horno eléctrico, hasta el óptimo para trabajar con ella. En esta etapa se puede hacer correcciones en la composición química adicionando chatarra o ferroaleaciones específicas. Se introduce el magnesio en la colada para hacerla dúctil.

### Centrifugación

El proceso de centrifugación consiste en la deposición de una capa de hierro fundido dentro de un molde cilíndrico en un rápido movimiento rotatorio y la solidificación del metal por el continuo enfriamiento del molde. Los principales métodos usados son el "LAVAUD". En este procedimiento, el metal fundido es vertido en un molde de acero desnudo y sometido a un rápido enfriamiento. Se hace necesario un posterior tratamiento térmico para obtener tubos con las adecuadas propiedades mecánicas y estructurales.

### Acabados / Recubrimientos

#### • ZINCADO

Saliendo del horno de recocido, los tubos reciben un recubrimiento exterior de puro zinc metálico, aplicado con aire comprimido y a partir de alambre de zinc fundido con un arco eléctrico (o bien de combinación de varios metales, p.e. Zn+Al)

Durante el proceso de fabricación se llevan a cabo numerosos ensayos e inspecciones para garantizar la calidad del producto: ensayo de la estructura y propiedades mecánicas del metal, inspección visual, controles dimensionales, test hidráulico individualizado, etc.

Particular atención requieren las espigas y enchufes debido a su importancia en la estanqueidad de las juntas.

#### • RECUBRIMIENTO DE CEMENTO

Se aplica por centrifugación. En el método usado, el mortero es vertido dentro del tubo y centrifugado a gran velocidad, lo cual tiene el efecto de darle una excelente compactación.

El mortero de cemento es curado en una atmósfera controlada de vapor y calor (autoclave).



#### • PINTURA

Una vez se ha curado el mortero, los tubos son movidos a las líneas de pintura, donde se aplica por spray sobre la capa de zinc.

Es posible la aplicación de distintos tipos de pintura (bituminosa, epoxy, poliuretano, acrílica al agua, etc).

Los tubos son, entonces, paletizados (para DN ≤300) y pasan a expedición.

### Fabricación de piezas

La fabricación de accesorio de fundición dúctil sigue el mismo patrón (preparación de la colada, fundición, acabado y recubrimiento) que la tubería, excepto por el hecho de que la fundición en moldes de arena no requiere tratamiento de calor posterior, ya que el enfriamiento es lo suficientemente lento para que no se produzcan productos no deseados en la matriz férrica.

### Fundición de accesorios

Para la fabricación de accesorios utilizamos el sistema “Lost Foam” donde el positivo de la pieza es previamente construido con poliuretano, lo cual proporciona un aspecto final inmejorable a la pieza acabada.

Una vez acaba el proceso de fundición, los accesorios son debastados y granallados. Finalmente son probados uno a uno con aire y posteriormente pintados.



### Acabados / Recubrimientos

El propósito de un recubrimiento exterior es dar una protección duradera contra los suelos corrosivos. MAFUSA ofrece un completo rango de recubrimientos exteriores para cubrir todos los casos de suelos corrosivos.

Los recubrimientos exteriores de los tubos y accesorios para agua potable y riego pueden ser divididos en tres categorías de acuerdo con la agresividad del suelo:

- Recubrimiento estándar, apropiados para la gran mayoría de suelos.
- Protecciones suplementarias para suelos muy corrosivos.
- Recubrimientos especiales para medios extremadamente corrosivos.

El propósito de la protección interna es:

- Garantizar que el rendimiento hidráulico del tubo se mantiene durante largo tiempo.
- Prevenir cualquier riesgo de ataque interno por las aguas transportadas.
- Evitar la alteración de las cualidades organolépticas del agua transportada.

Los cementados y recubrimientos interiores de los tubos y accesorios se pueden dividir en tres categorías de acuerdo con la agresividad de las aguas transportadas:

- Recubrimientos estándares: aptos para la gran mayoría de afluentes y aguas potables.
- Protecciones reforzadas: para aguas agresivas con los cementos ordinarios (aguas blandas, ácidas, altamente abrasivas)
- Recubrimientos especiales: ofrecidos para casos muy especiales de aguas corrosivas (afluentes industriales...)



Recubrimientos exteriores	Tubería	Accesorio
Recubrimiento estándar	Zinc metálico + pintura ó Zn + Al + pintura	Pintura epoxídica
Protección suplementaria	Zinc metálico + pintura + manga de polietileno (colocada en obra)	Pintura epoxídica + manga de polietileno (colocada en obra)
Recubrimientos especiales	Consultar (poliuretano, epoxy, etc.)	Consultar

Recubrimientos internos	Tubería	Accesorio
Recubrimiento estándar	Mortero de cemento ordinario (ISO 2531 / EN 545)	Mortero de cemento ordinario / Epoxy
Protecciones reforzadas	Mortero de cemento aluminoso (EN 598)	Mortero de cemento aluminoso / Epoxy
Recubrimientos especiales	Consultar	Consultar

Mafusa analiza, bajo pedido, la calidad del agua, para recomendar la protección más adecuada.

## Marcaje

### Tubos

Marcaje	Localización	Tipo Marcaje
<b>Tubos con enchufe</b>		Fundido Pintado en la caña
DN / Tipo de enchufe / Material (fundición dúctil) D.I. / Fábrica / Año de fabricación / Logo		
<b>Tubos con bridas</b>		Pintado en la caña (bridas soldadas)  Fundición (Bridas fundidas con la caña)
Fábrica / DN / PN / Longitud útil / Material (fundición dúctil) D.I. / Año de fabricación		

### Accesorios

Marcaje	Localización	Tipo marcaje
<b>Accesorios con enchufe</b>		Fundido / Pintado
DN / Tipo de enchufe / Material (fundición dúctil) D.I. / Fábrica / Año de fabricación / PN / Ángulo		

## Empaquetado

### Tubos con DN < 300

Tubos en paquetes, accesorios paletizados. Los tubos de pequeño diámetro se suministran paletizados, los paquetes son diseñados para facilitar y acelerar la manipulación de los tubos.



### Tubos con DN > 300

Tubos y accesorios sin paletizar.

