



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

CIENCIA DE LOS MATERIALES

cc

Dr. Ing. Claudio Careglio



Defectos en estructuras coladas





Objetivos de la charla

Se abordarán los siguientes objetivos para comprender los defectos en piezas metálicas vaciadas y su control en procesos industriales.



Comprender

Los mecanismos físicos y químicos que causan la formación de defectos durante el proceso de solidificación de piezas vaciadas.



Identificar

Los diferentes tipos de defectos: sopladuras (burbujas), rechupe (cavidades por contracción) y segregación de impurezas.



Conocer

Las estrategias de diseño y control de proceso más efectivas para minimizar la aparición de estos defectos y mejorar la calidad final.

Visión general de los defectos

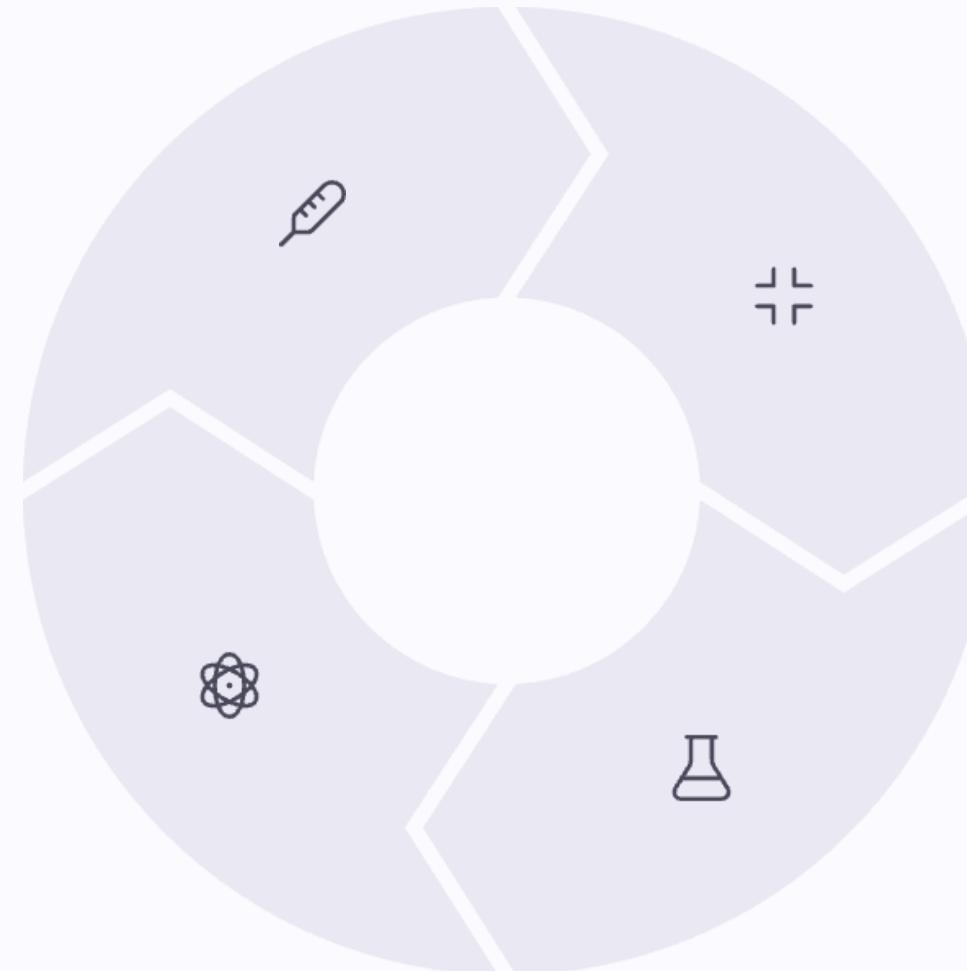
Durante el proceso de solidificación, el metal experimenta una transformación fundamental al pasar del estado líquido al sólido. Este cambio de fase viene acompañado de importantes modificaciones en sus propiedades.

Cambio de fase

El metal pasa de fundido a sólido con transformaciones estructurales

Cambio de composición

Las impurezas tienden a concentrarse en el líquido remanente



Cambio de volumen

Disminución volumétrica durante la solidificación

Cambio de solubilidad

Reducción en la capacidad de disolver gases

Como consecuencia de estos cambios, pueden quedar atrapados gases, líquido o impurezas disueltas en la estructura cristalina, generando los defectos que estudiaremos a continuación.

Defecto A – Burbujas (sopladuras)

Causas principales

Las sopladuras se originan por gases disueltos en el metal durante la solidificación, ya sea introducidos en el horno o generados por reacciones químicas durante el proceso.

La solubilidad de estos gases disminuye drásticamente al pasar del estado líquido al sólido, provocando su expulsión durante la solidificación.

Mecanismo de formación

Al formarse las estructuras dendríticas durante la solidificación, el gas expulsado queda atrapado entre los brazos de las dendritas sin posibilidad de escapar.

En el caso específico del acero, las reacciones:



generan monóxido de carbono que queda atrapado entre las dendritas formando sopladuras (burbujas atrapadas).

Prevención de sopladuras

Para evitar la formación de sopladuras, es fundamental implementar técnicas específicas que eliminen o reduzcan los gases disueltos en el metal antes y durante el vaciado.

Desgasificado previo

Eliminación de gases disueltos antes del vaciado mediante técnicas como aplicación de vacío, inyección de gases inertes (argón o nitrógeno) o uso de compuestos químicos que favorezcan la liberación de gases.

Desoxidación completa

Reducción al mínimo del óxido de hierro (FeO) en el fundido para evitar la formación de CO. Se logra mediante la adición controlada de elementos desoxidantes como aluminio, silicio o manganeso.

Vaciado controlado

Realización del vaciado de forma lenta y controlada para evitar turbulencias que puedan arrastrar aire al interior del molde. Uso de sistemas de llenado que minimicen la oxidación durante el proceso.

Defecto B – Rechupe



Causa principal

Contracción volumétrica durante la solidificación



Formación de cavidades

Zonas de líquido aisladas se solidifican dejando huecos



Tubificación en lingotes

Contracciones y abatimientos sucesivos forman un tubo central

El rechupe es una consecuencia directa de la contracción que experimenta el metal al solidificarse. Cuando zonas de metal líquido quedan aisladas por el avance del frente de solidificación, estas no pueden ser alimentadas con metal adicional, generando cavidades al contraerse durante su solidificación.

En lingotes de gran tamaño, este fenómeno puede manifestarse como una serie de contracciones y abatimientos sucesivos que forman un "tubo" central, afectando significativamente la integridad de la pieza.

Diseño de moldes y alimentación

El diseño adecuado de moldes y sistemas de alimentación es fundamental para minimizar los defectos por contracción durante la solidificación metálica.



Columna de alimentación

Canal diseñado para solidificar al final del proceso, permitiendo alimentar las contracciones de la pieza principal con metal líquido adicional.

Geometría de lingoteras

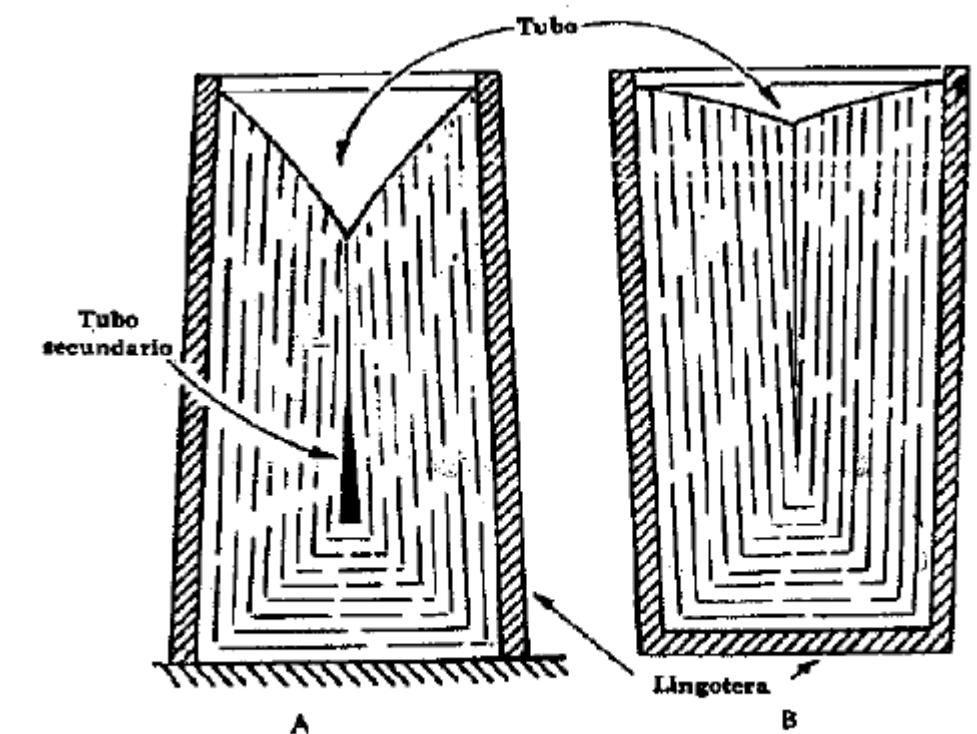
Para lingotes grandes: extremo menor hacia arriba (facilita eyeción). Para lingotes pequeños: extremo mayor hacia arriba (permite volteo).

Vaciado sincronizado

Control preciso del ritmo de llenado en relación con el ritmo de solidificación para asegurar una alimentación constante de las zonas en contracción.

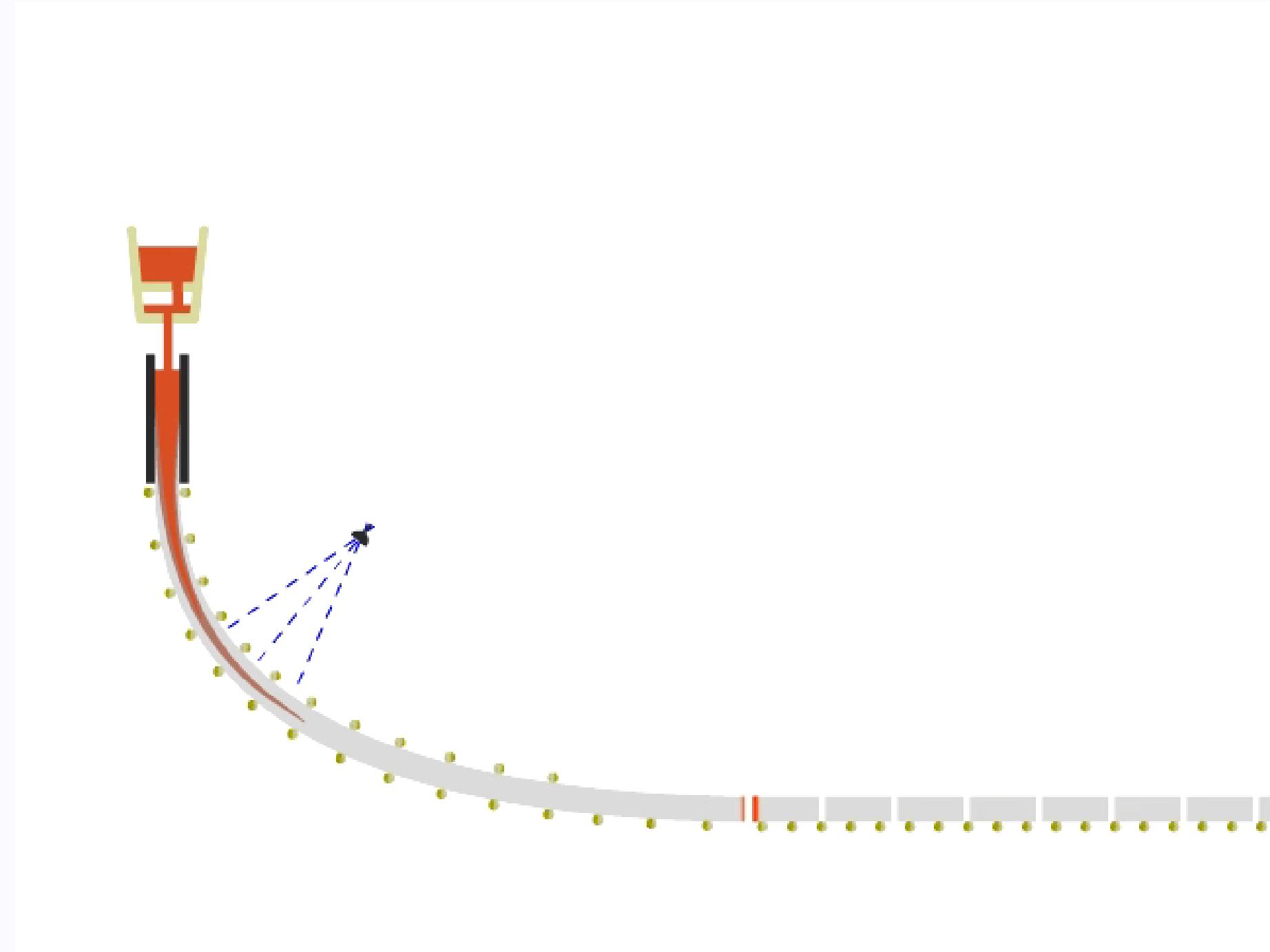
Control térmico

Manejo de gradientes de temperatura para dirigir la solidificación desde extremos hacia alimentadores.



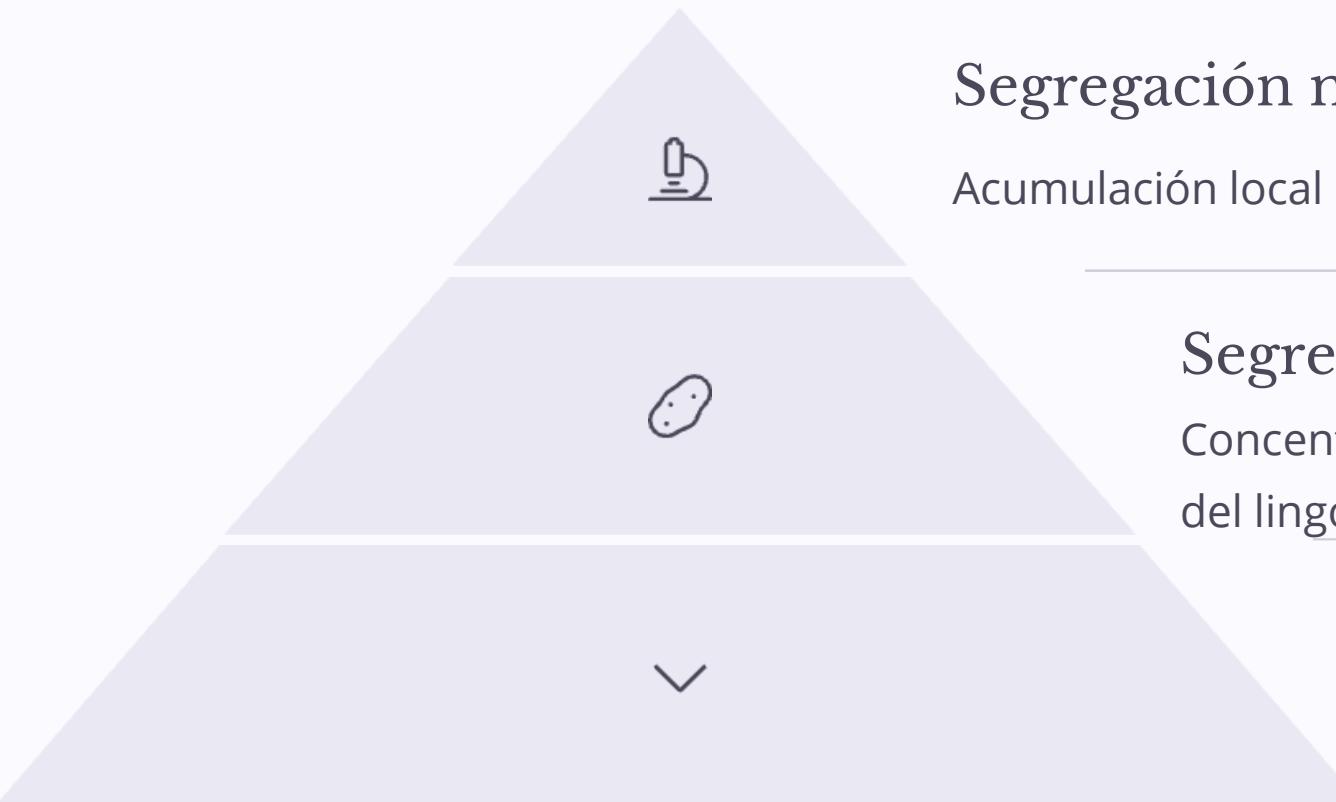
Influencia de la forma del molde sobre la extensión del rechape central en un lingote de acero

Diseño de moldes y alimentación



Defecto C – Segregación de impurezas

La segregación es un fenómeno donde las impurezas y elementos aleantes se distribuyen de manera no uniforme en la pieza solidificada, concentrándose principalmente en el líquido que solidifica al final del proceso.



Segregación menor

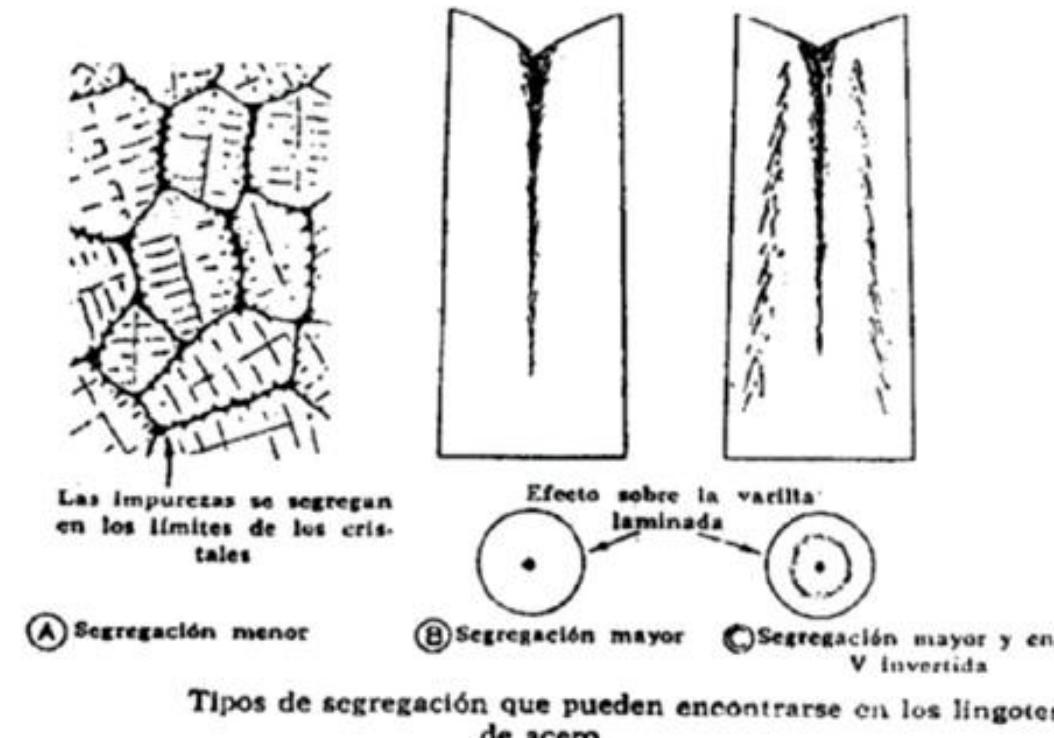
Acumulación local en extremos dendríticos

Segregación mayor

Concentración en el tubo central
del lingote

"V" invertida

Banda de impurezas en forma de V en lingotes grandes



La segregación menor ocurre a nivel microscópico entre los brazos de las dendritas, mientras que la segregación mayor afecta a regiones macroscópicas de la pieza. En lingotes de gran tamaño con bajo gradiente térmico, puede formarse una característica banda de impurezas en forma de "V" invertida, visible al pulir una sección vertical del lingote.

Consecuencias de la segregación

La distribución no homogénea de elementos e impurezas en la estructura metálica genera importantes problemas que afectan tanto a las propiedades mecánicas como a los procesos posteriores de conformado.

Fragilidad general

Los puntos de concentración de impurezas actúan como focos de iniciación de fracturas, reduciendo significativamente la resistencia mecánica de la pieza y su capacidad para soportar cargas.

Susceptibilidad a desmoronarse

Durante los procesos de trabajado en caliente o frío, las zonas con alta concentración de impurezas pueden desmoronarse o agrietarse, comprometiendo la integridad de la pieza durante su conformado.

Variabilidad de propiedades

La distribución heterogénea de elementos genera zonas con propiedades mecánicas muy diferentes dentro de la misma pieza.

Estrategias de mitigación

Para reducir el impacto de los defectos de segregación en las piezas metálicas, se pueden implementar diversas estrategias tanto durante como después del proceso de solidificación.

| Estrategia | Descripción |
|-------------------------------|---|
| Homogenización térmica | Tratamiento térmico post-solidificación a alta temperatura para promover la difusión de impurezas |
| Control del gradiente térmico | Diseño de sistemas de enfriamiento que promuevan solidificación uniforme |
| Uso de aleantes específicos | Adición de elementos que limiten la tendencia a la segregación |

Resumen y conclusiones

Principales defectos que aparecen durante la solidificación metálica y sus mecanismos de formación (para estructuras coladas):

Tipos de defectos

Sopladuras, rechupe y segregación .

Causas

Presencia de gases, el volumen, la solubilidad y la composición cambian durante la solidificación

Control

Correcto diseño de moldes y control del proceso son fundamentales para la calidad

La comprensión de los mecanismos físicos y químicos que generan estos defectos permite desarrollar estrategias efectivas para su prevención y control en entornos industriales.