

Introducción a la ingeniería metalúrgica y de materiales

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA

PROFESOR: LUIS ENRIQUE JARDÓN PÉREZ

Índice

- Introducción ciencia e ingeniería de materiales
- Introducción a la ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales
- Herramientas de la ingeniería de procesos
- Ejemplo de proceso metalúrgico

Ciencia e ingeniería de materiales

¿Qué es un material?

¿Por qué son importantes los materiales en la ingeniería?

Ciencia e ingeniería de materiales

Definición de material

La palabra material viene del latín “materialis” que quiere decir “relativo a la materia” compuesto por “mater” que alude a “madre, matriz, prima, materia”, más la partícula “ia” de “cualidad”, y el sufijo “al” que quiere decir “relativo a”.

En general se puede denominar como **material** a la sustancia que componen los cuerpos, es decir **aquello que muestra particularidades o características físicas**.

También se utiliza como sinónimo de componente o ingrediente.

Entonces podemos decir que material es lo tangible y concreto que se opone o es todo lo contrario a lo espiritual o a lo abstracto.

Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales

Los materiales se pueden clasificar de manera general en cinco grupos:

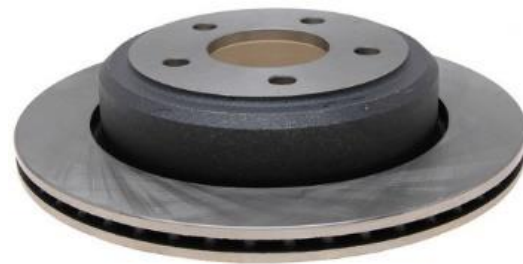
- Metales
- Cerámicos
- Polímeros
- Semiconductores
- Materiales compuestos

Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales: Metales

Los metales y sus aleaciones, generalmente tienen como características, una buena conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta al igual que su rigidez, ductilidad, conformabilidad y resistencia al impacto.

Ejemplos: aceros, hierros, aleaciones base aluminio, aleaciones base cobre, aleaciones base magnesio, cobre, latones, bronce, etcétera.



Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales: Cerámicos

Los cerámicos son altamente resistentes y duros, aunque también son frágiles, tienen en general baja conductividad térmica y eléctrica.

Ejemplos: Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , SiC , etcétera.



Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales: Polímeros

Los polímeros tienen baja conductividad térmica y eléctrica, son químicamente inertes a una gran cantidad de sustancias, tienen una reducida resistencia y pueden llegar a fallar a temperaturas elevadas.

Ejemplos: Polietileno, resinas epóxicas, policloruro de vinilo (PVC), etcétera.

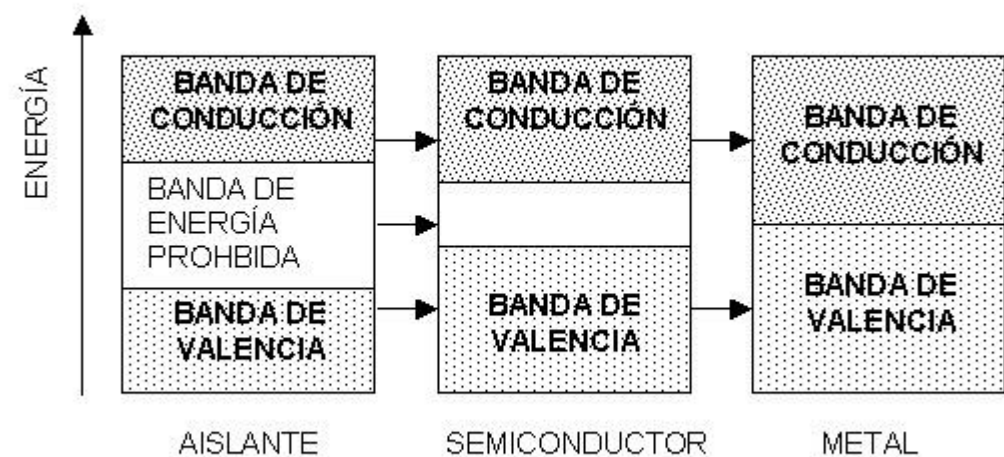
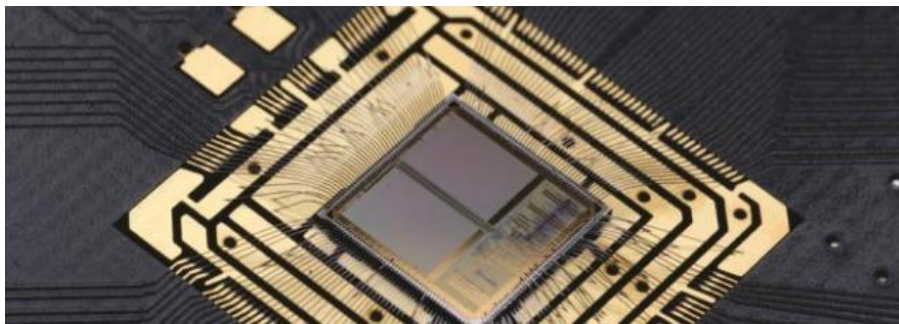


Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales: Semiconductores

Resultan esenciales para aplicaciones electrónicas y de comunicaciones, debido a que su conductividad eléctrica puede controlarse.

Ejemplos: silicio, germanio, entre otros.

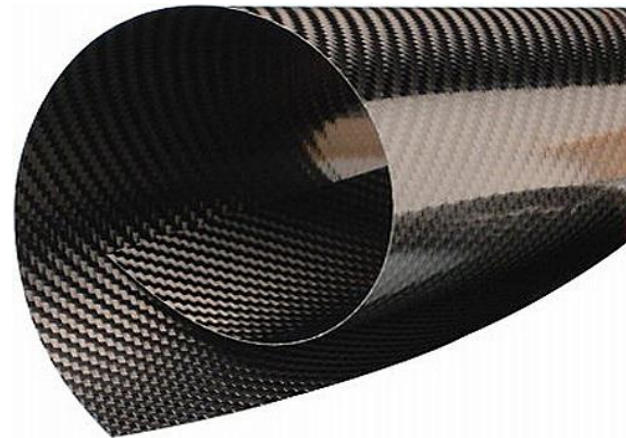


Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales: Materiales compuestos

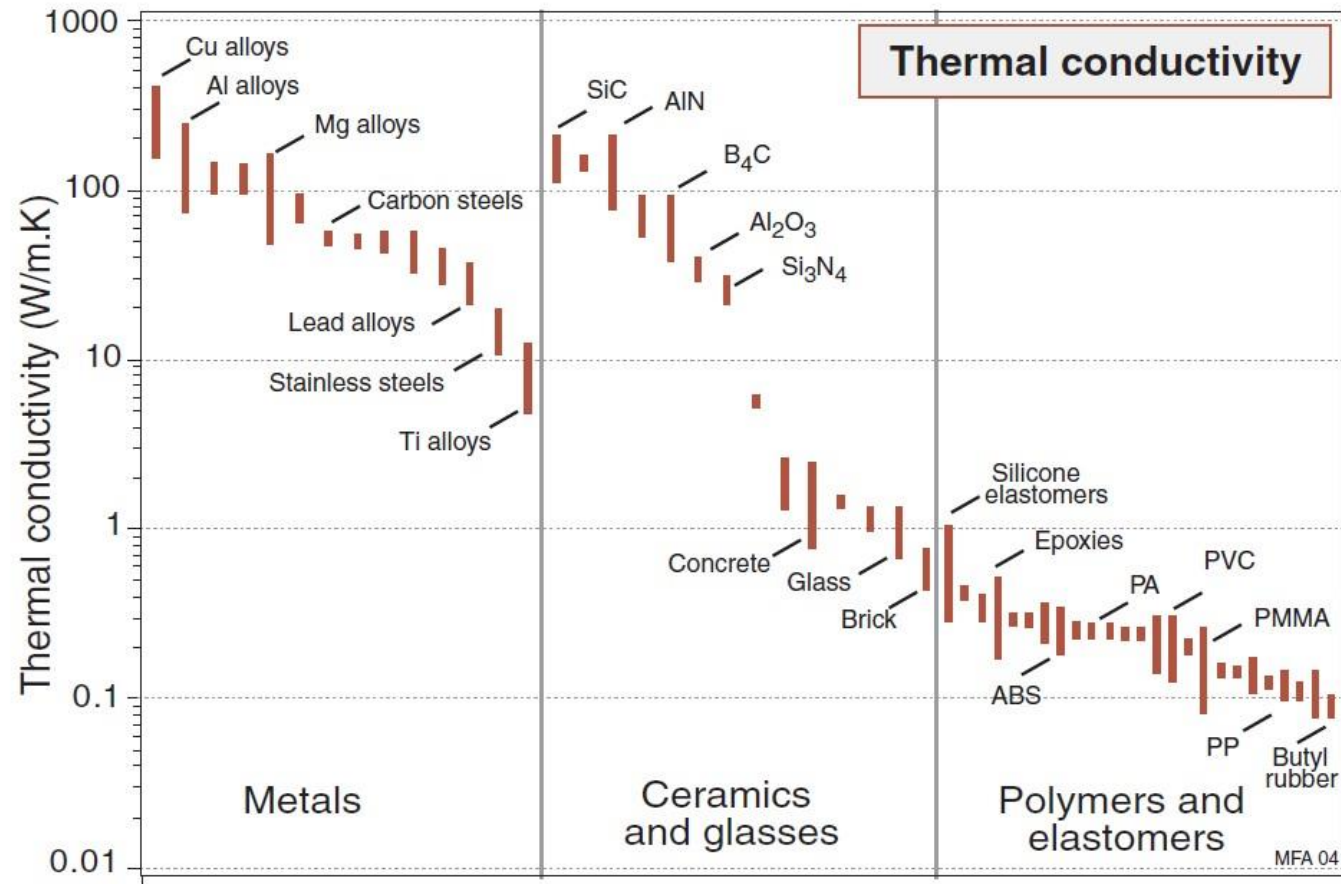
Los materiales compuestos están formados por una matriz, que es material base y que se encuentra en mayor proporción y un refuerzo que es un material que posee propiedades distintas a la matriz pero deseables en la misma, este puede presentarse como fibras, partículas u hojuelas, entre otras formas.

Ejemplos: aluminio reforzado con carburo de silicio, polímeros reforzados con fibra de carbono, etcétera.



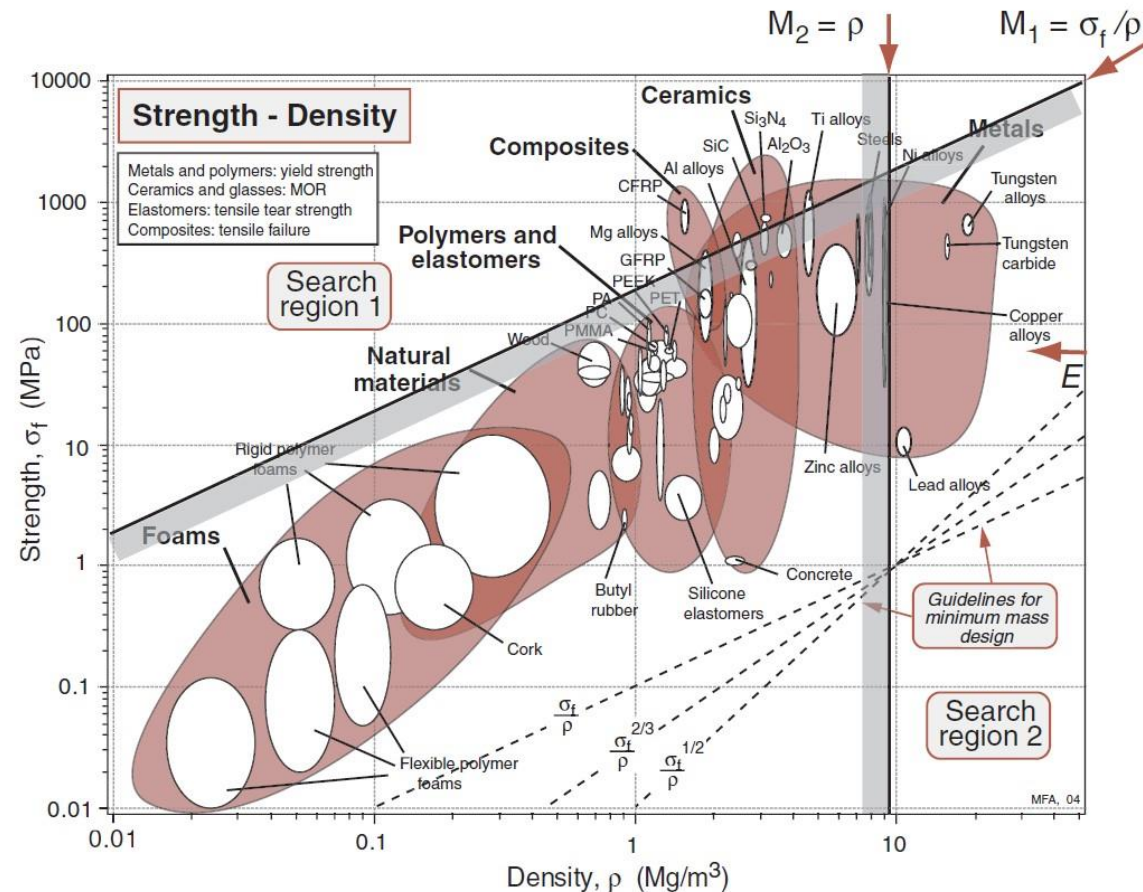
Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales



Ciencia e ingeniería de materiales

Clasificación de los materiales



Ciencia e ingeniería de materiales

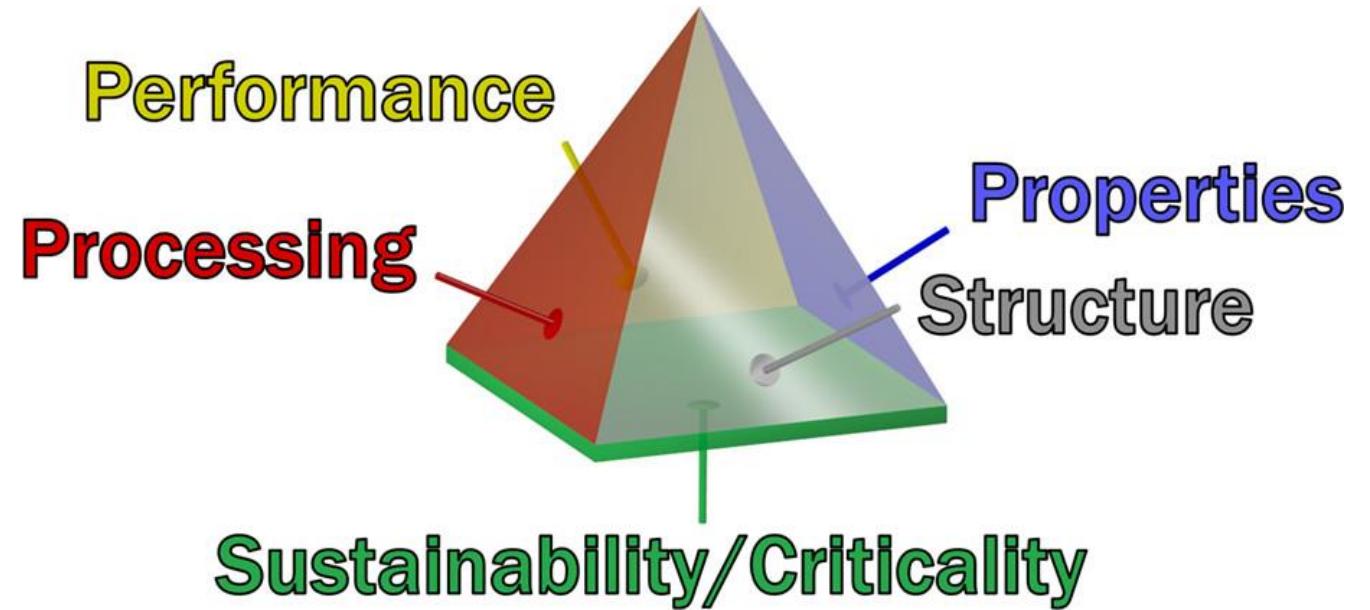
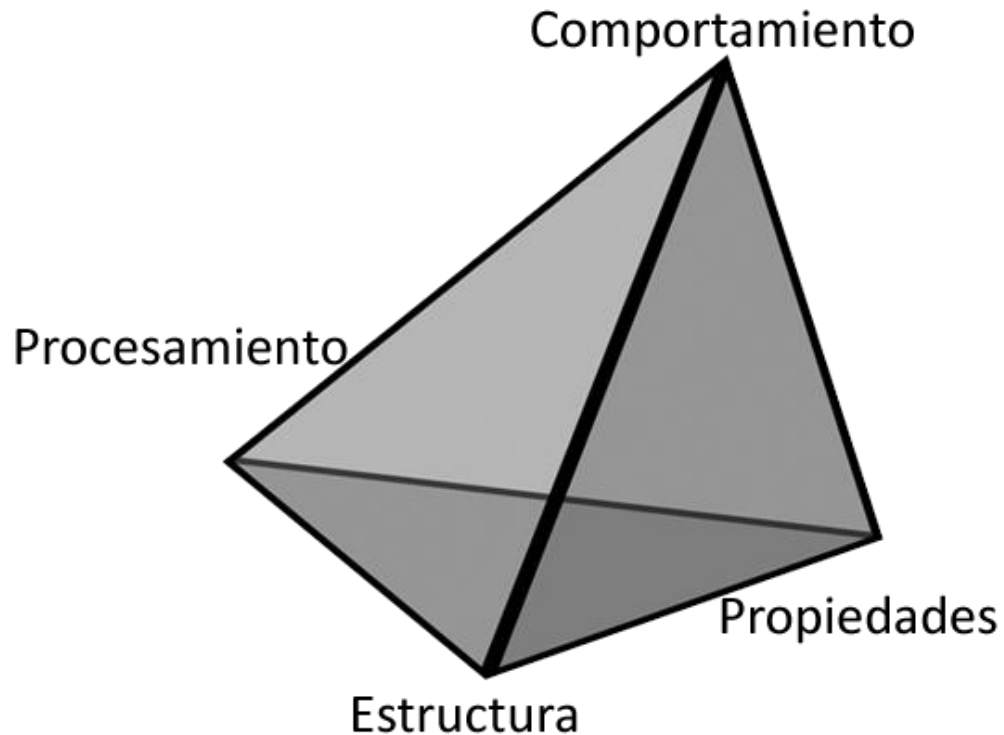
Importancia de los materiales

Los ingenieros tienen constantemente que ver con los **materiales**: en **manufactura y procesamiento** de los mismos, en la **selección** de los mismos para una aplicación específica, e inclusive en la **producción de nuevos materiales**.

Se debe saber si un **material** puede ser **transformado** de manera consistente en un producto, si se pueden **satisfacer criterios** de tolerancia dimensional y propiedades, si estas propiedades cambian a lo largo de la vida del producto, bajo qué condiciones se puede **presentar una falla** del mismo, el **costo** de producción del material y obtención del producto final, si se puede **reciclar** o como debe procesarse una vez finalice su vida útil.

Dada la **gran variedad** actual de **materiales disponibles**, se debe considerar cual es el mejor para cada función y si hay materiales que puedan ser sustitutos unos de otros, y que ventajas da cada uno de ellos.

Tetraedro de la ciencia e ingeniería de los materiales

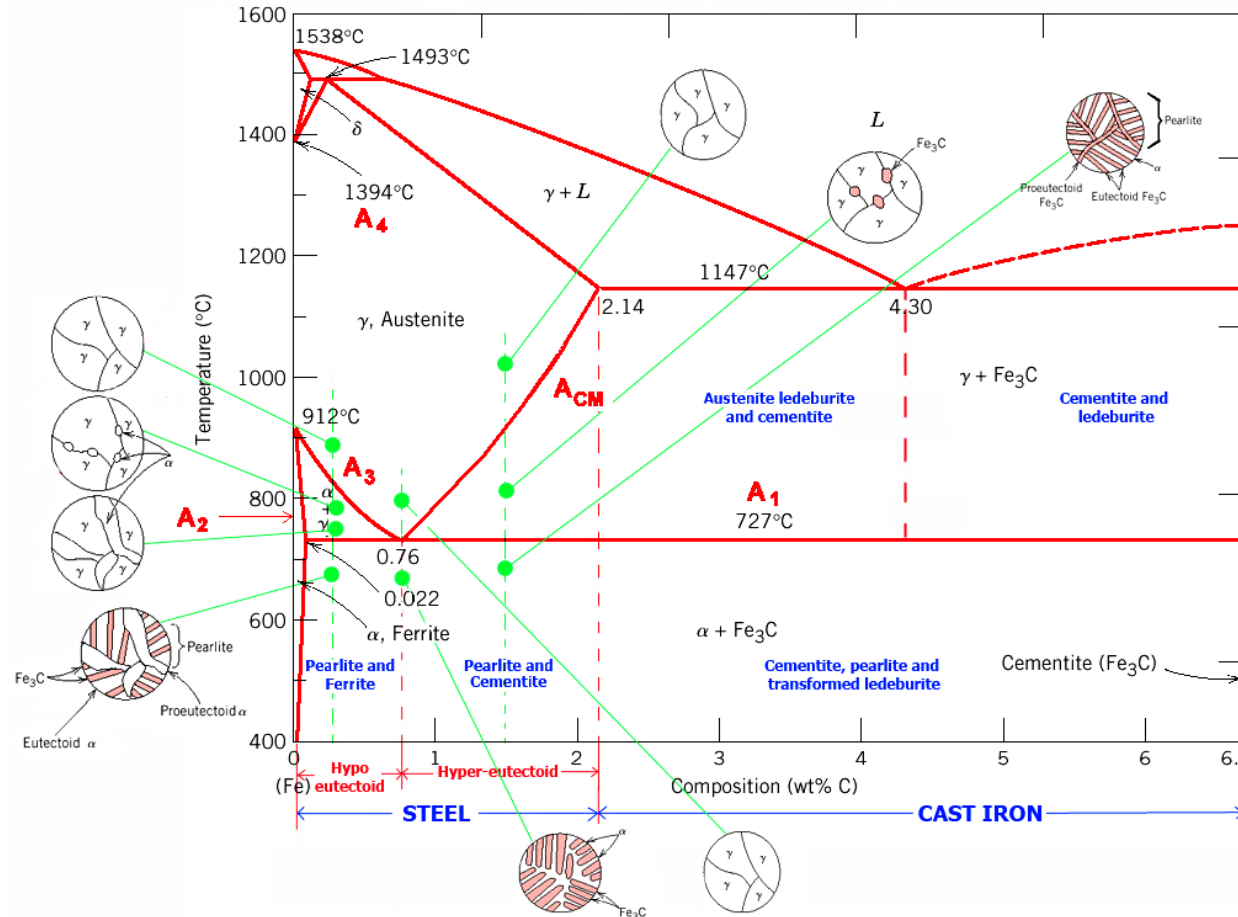


Tetraedro de la ciencia e ingeniería de los materiales

Ejemplo:

Acero

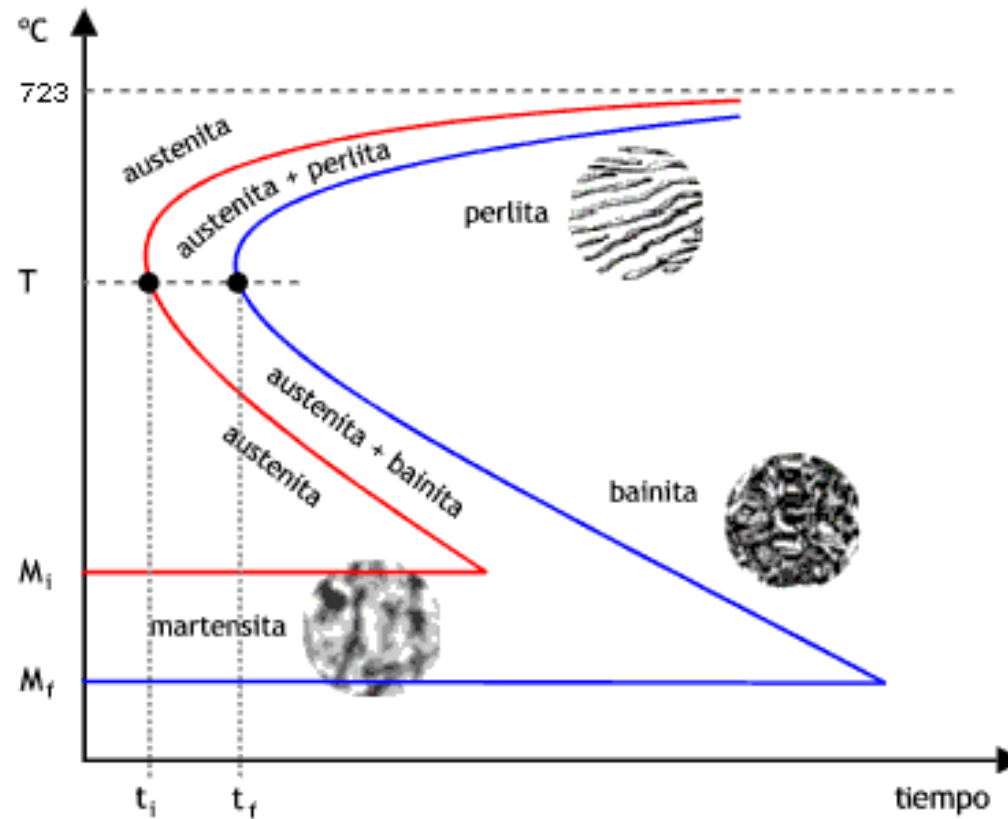
Hierro colado



Tetraedro de la ciencia e ingeniería de los materiales

Ejemplo:

Acero



Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

¿Qué es la ingeniería de procesos?

¿Cuáles son los procesos metalúrgicos y de materiales?

Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

La ingeniería de procesos se enfoca en el:

- Diseño
- Operación
- Control
- Optimización

En nuestro caso los procesos metalúrgicos son muy complejos e involucran en muchos casos la interacción de la Física, la Química, las Matemáticas e inclusive de la Biología en algunos casos.

Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

La ingeniería de procesos tiene impacto en todas las industrias metalúrgicas tales como:

- Fundición
- Corrosión y protección
- Procesamiento de minerales
- Desarrollo y selección de materiales
- Conformado mecánico
- Diseño de piezas metal – mecánicas
- Desarrollo de software

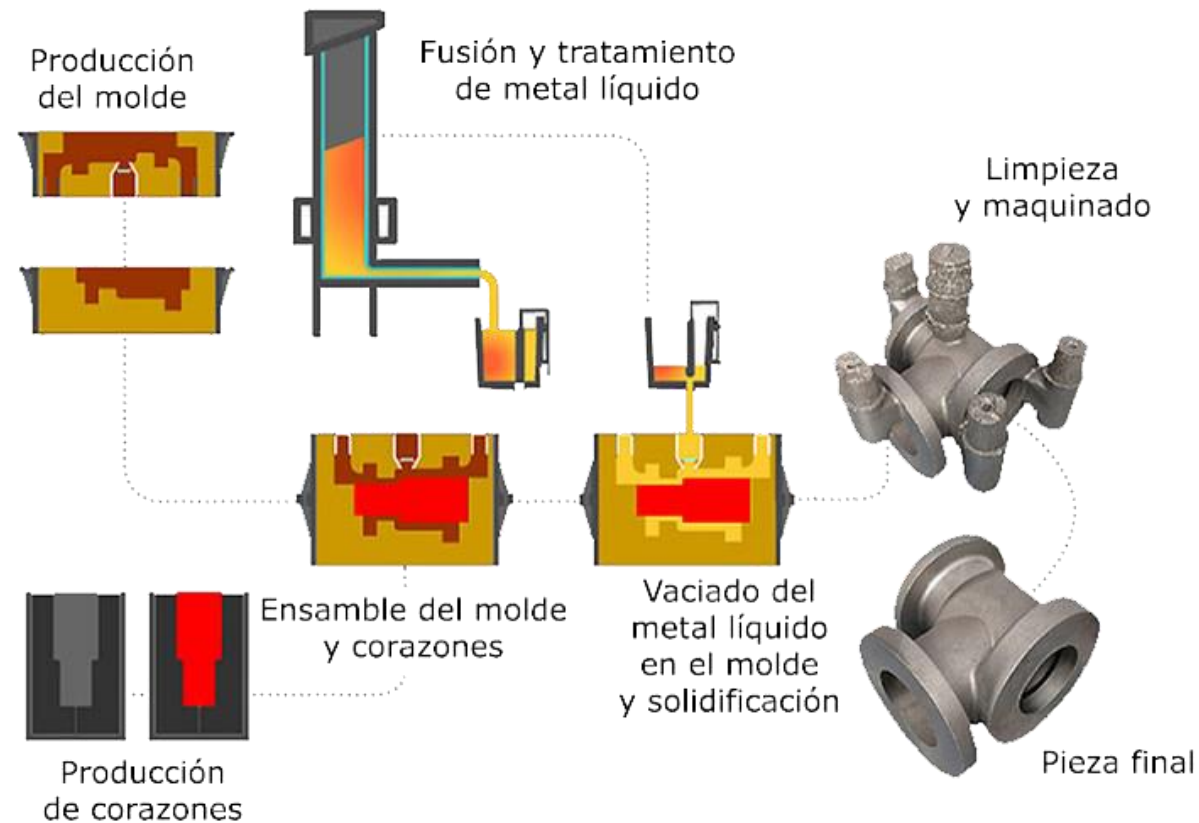
Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

La ingeniería de procesos metalúrgicos es un puente entre el comportamiento macroscópico del proceso y las características del producto.

La característica común de los procesos metalúrgicos en estado líquido o sólido es la complejidad de los mismos.

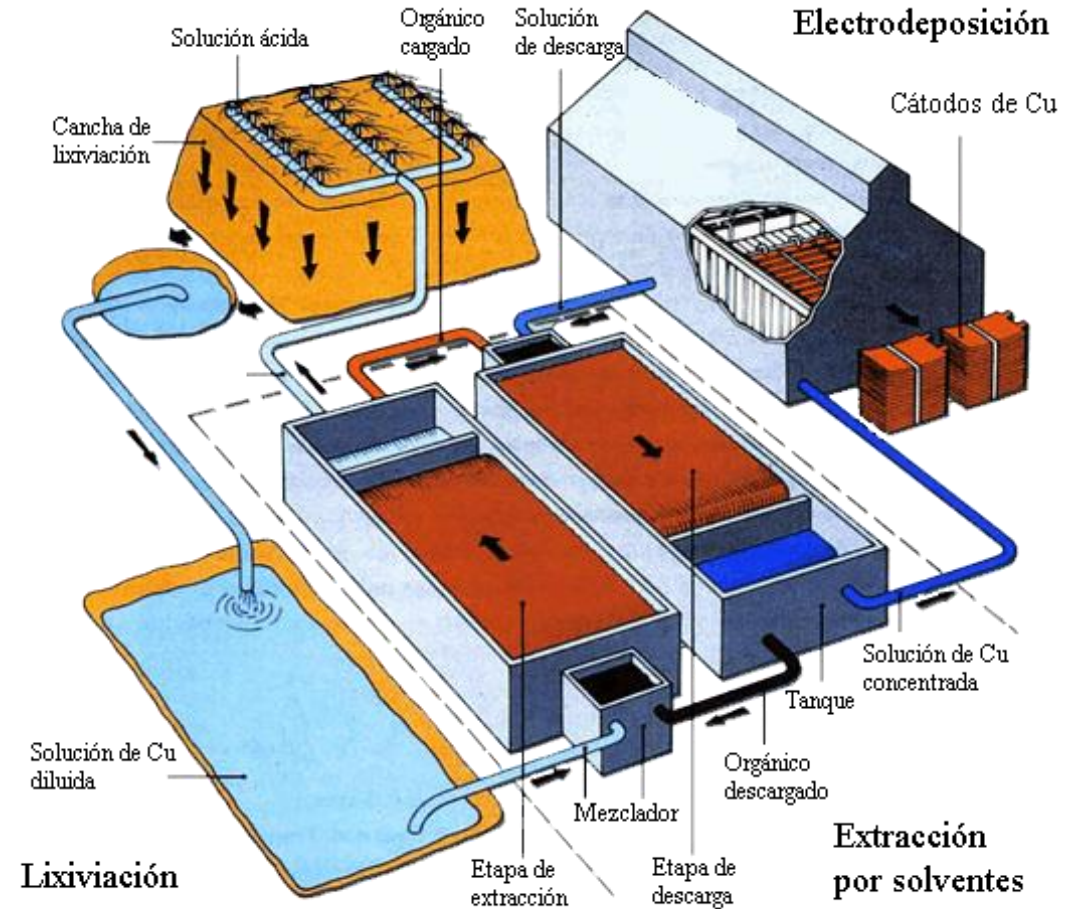
Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

Ejemplo de proceso: Fundición



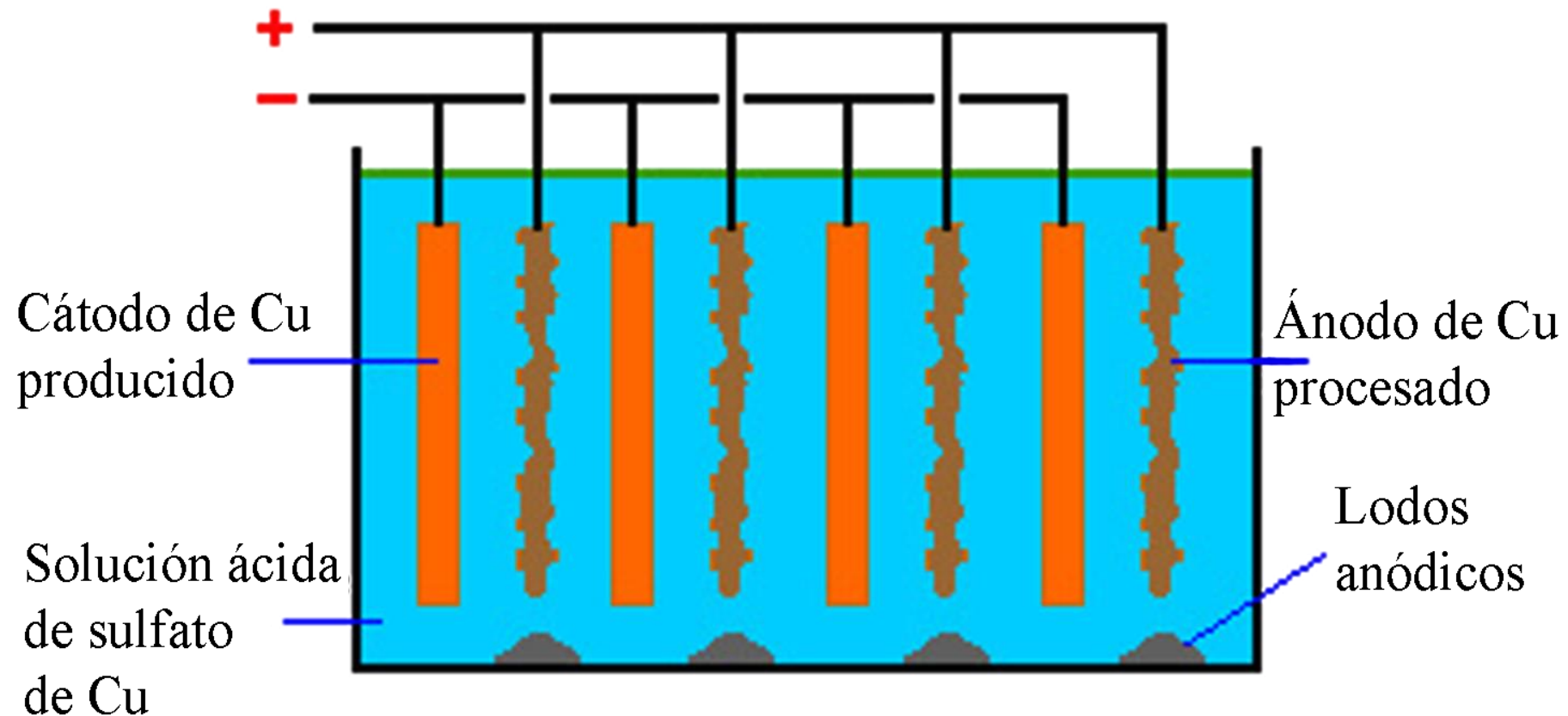
Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

Ejemplo de proceso: Obtención de cátodos de Cu



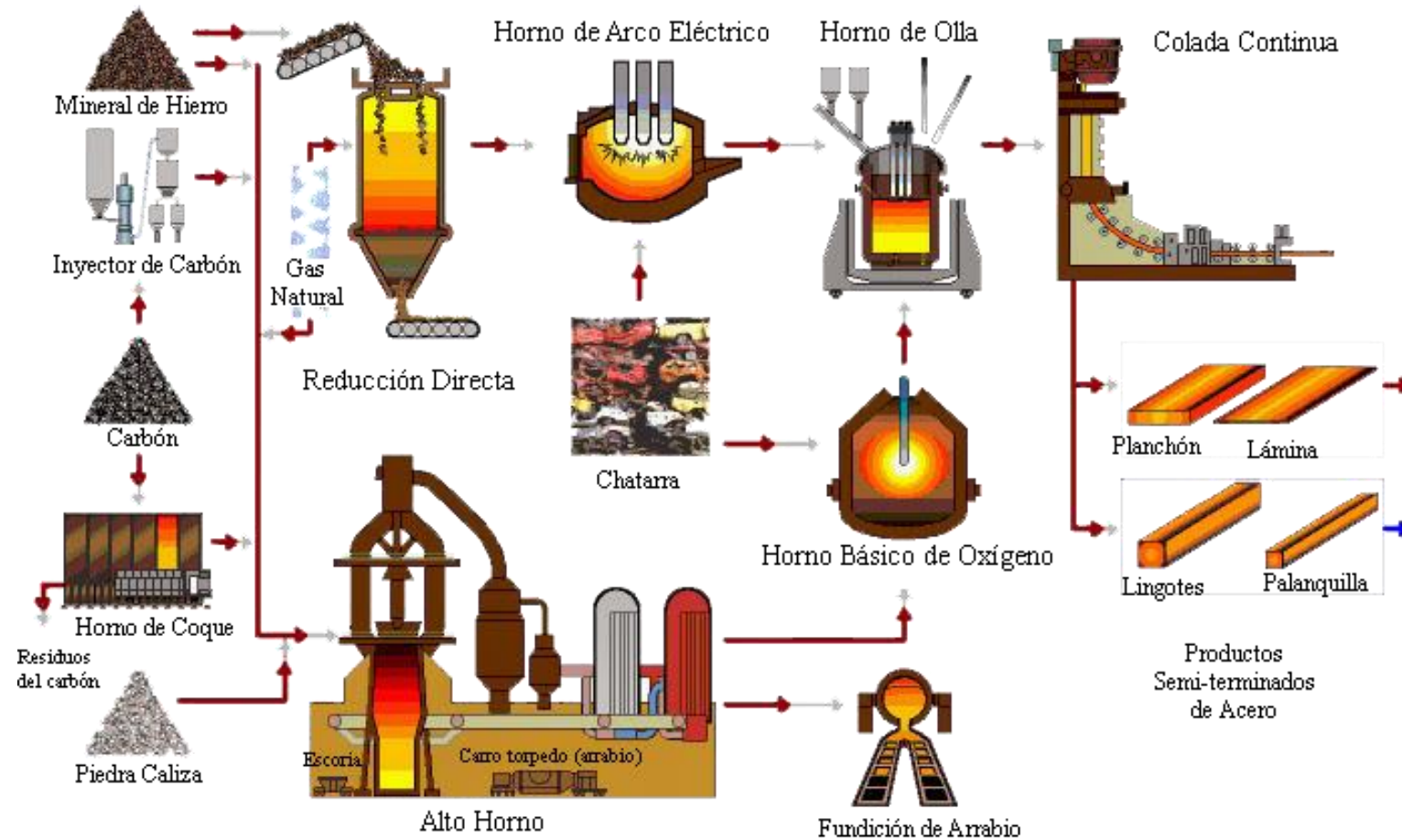
Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

Ejemplo de proceso: Electrorrefinación de Cu



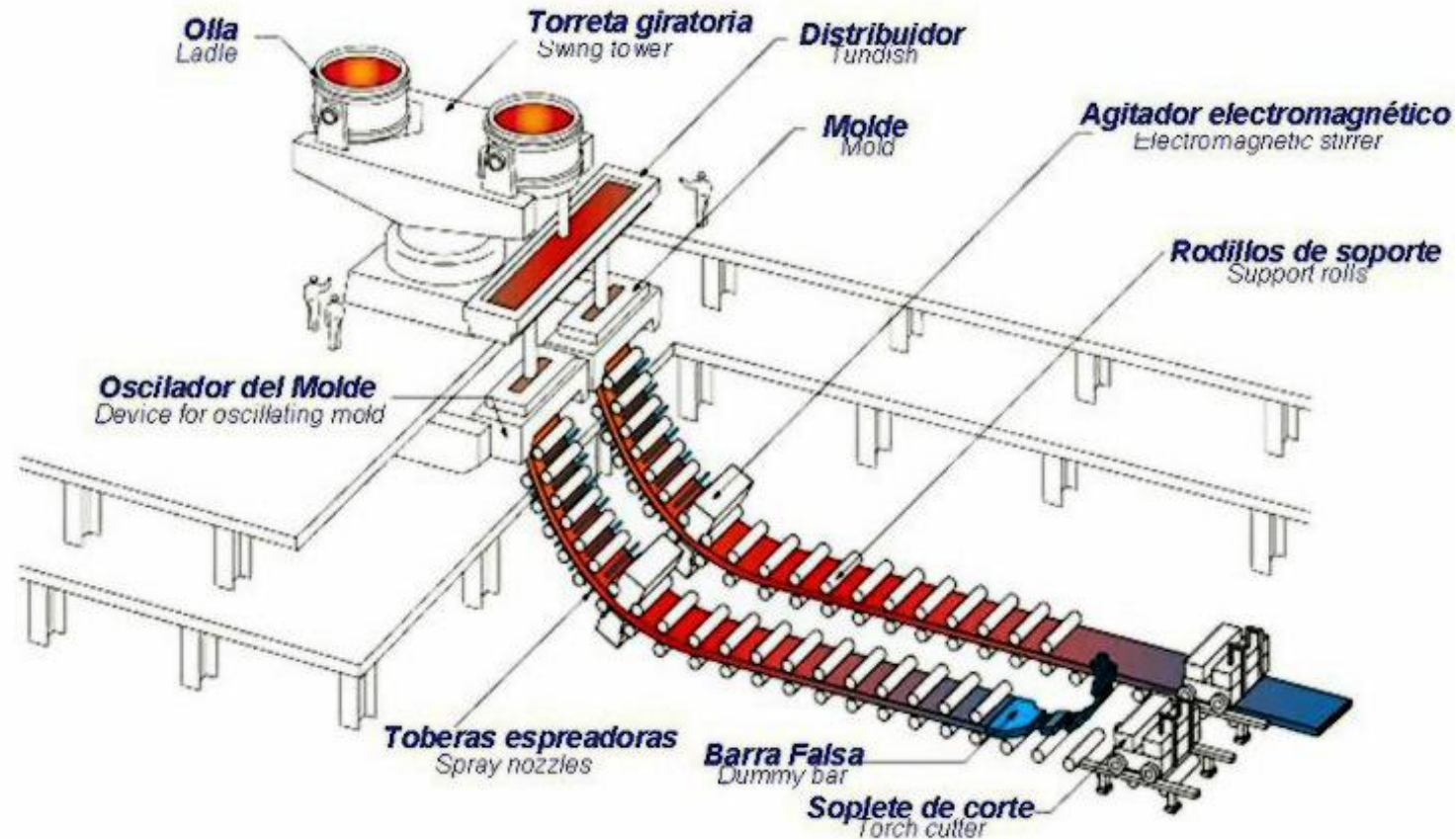
Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

Ejemplo de proceso: Aceración



Ingeniería de procesos metalúrgicos y de materiales

Ejemplo de proceso: Colada continua

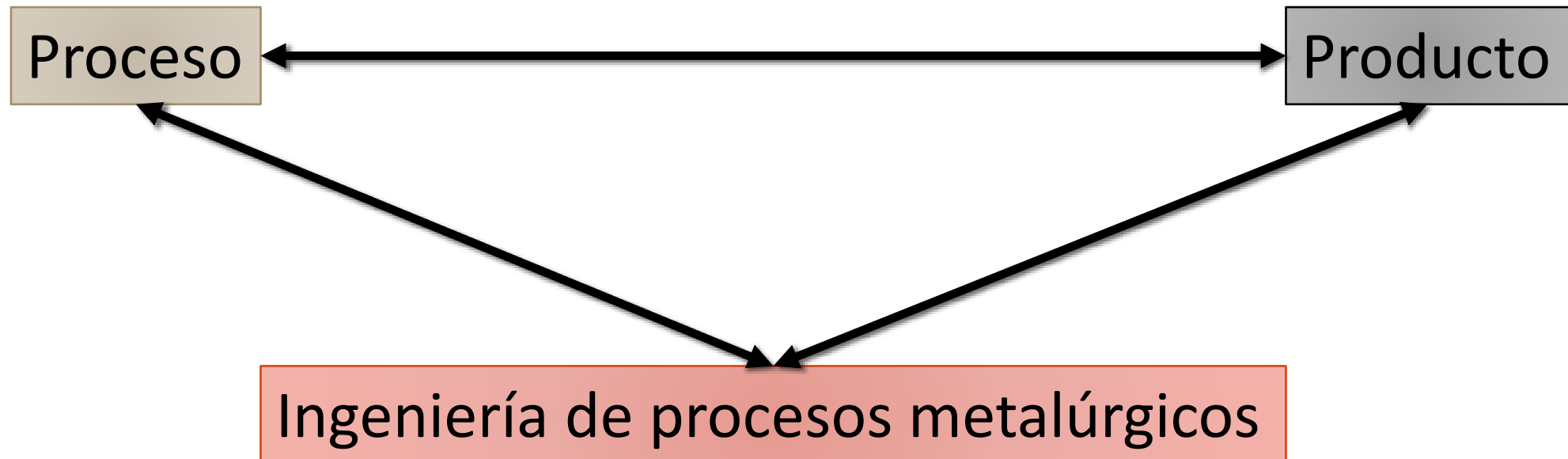


Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

¿Qué conocimientos requiere un ingeniero de procesos metalúrgicos?

¿Qué herramientas tiene un ingeniero de procesos metalúrgicos?

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Conocimientos

Metalurgia Química

Termodinámica
Cinética química
Propiedades físicas
Estructura

Ingeniería Química

Transporte de masa
Dinámica de fluidos
Transferencia de calor
Métodos numéricos
Análisis y Diseño

Metalurgia Física

Termodinámica
Estructura
Fenómenos micro – estructurales
Deformación
Propiedades mecánicas

Ingeniería Mecánica

Dinámica de fluidos
Transferencia de calor
Mecánica de sólidos
Análisis de esfuerzos
Métodos numéricos

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Principios de conservación

La termodinámica plantea los principios de conservación.

Realizar balances de materia y energía permiten identificar si un sistema se encuentra en equilibrio o no.

- Casos de **equilibrio** térmico, mecánico o químico dan lugar a la **termodinámica**.
- Casos de **desequilibrio** térmico, mecánico o químico dan lugar a **fenómenos de transporte**.

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Principios de conservación

- Desequilibrio mecánico (ΔP) → Flujo de fluidos (momentum)
- Desequilibrio térmico (ΔT) → Flujo de calor
- Desequilibrio químico (ΔC) → Flujo de especies químicas
- Todos los **fenómenos de transporte** y la **termodinámica** juntos constituyen las bases de la **ingeniería de procesos**.

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Herramientas

- Mediciones en planta del proceso
- Mediciones en laboratorio
- Plantas piloto
- Modelos físicos
- Modelos matemáticos

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Mediciones en planta

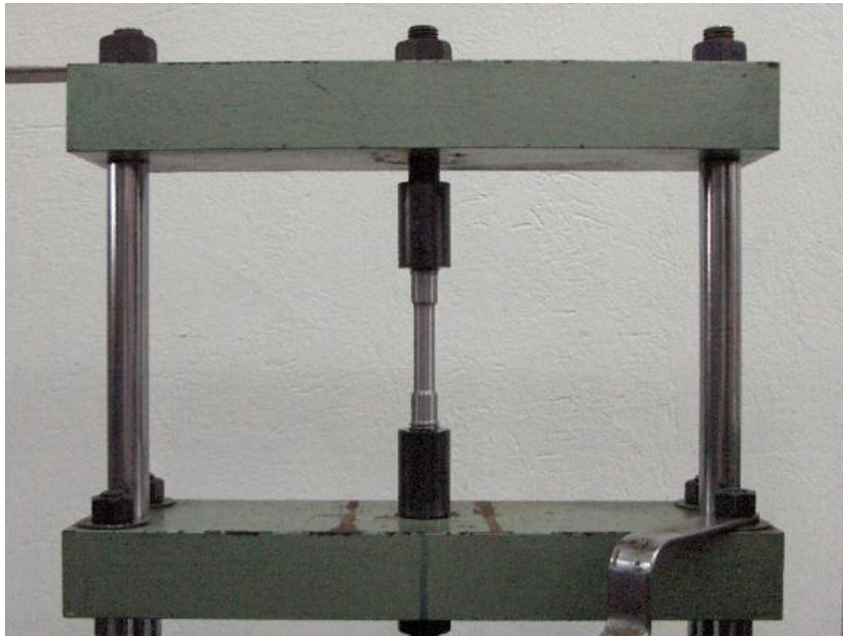
Son todas aquellas mediciones que se toman directamente en el proceso industrial.



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Mediciones en laboratorio

Se tratan de aquellos datos que se obtienen en el laboratorio de muestras del proceso bajo estudio.



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Plantas piloto

Es un escalamiento del proceso industrial a una medida que permite la modificación de variables sin comprometer la producción de la planta.



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos físicos

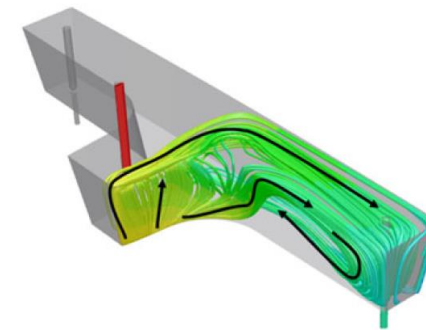
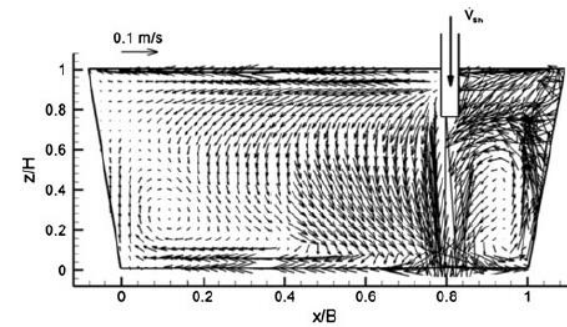
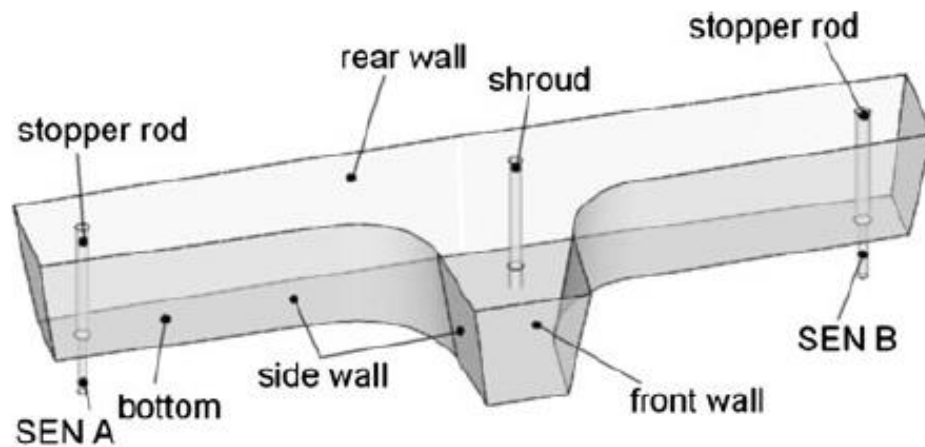
Es una representación a escala del proceso industrial (ya sea mayor o menor), realizada con materiales diferentes a los que se tienen en el proceso real pero que cumplen con criterios de similitud con los mimos, sirve para obtener datos que sería imposible obtener del proceso o planta piloto.



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos matemáticos

Un modelo matemático es un juego de ecuaciones algebraicas y/o diferenciales que pueden usarse para predecir cierto fenómeno.



Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos matemáticos

Se pueden clasificar en dos grandes ramas.

➤ Modelos fundamentales o mecanísticos:

Basados en leyes físicas básicas, como fenómenos de transporte, termodinámica o cinética química.

➤ Modelos de caja negra o empíricos:

Basados en observaciones particulares y no en leyes fundamentales. Sus conclusiones no se pueden generalizar ni extrapolar.

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos matemáticos

La representación cuantitativa del proceso mediante un modelo ayuda a:

- Entendimiento del proceso.
- Control del proceso.
- Optimización.
- Planeación e interpretación de las mediciones experimentales.

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos matemáticos

En términos generales la construcción de un modelo matemático involucra:

- **Definición del problema.** Establecer el sistema bajo estudio.
- **Análisis del orden de magnitud.** Valores típicos, mecanismos dominantes, números adimensionales, etcétera.
- **Trabajo experimental.** Validación del modelo, propiedades físicas, parámetros computacionales.
- **Trabajo computacional.** Resolución numérica o analítica del problema.
- **Síntesis.** Entendimiento cuantitativo del sistema.

Herramientas de la ingeniería de procesos metalúrgicos

Modelos matemáticos

Actualmente, se pueden realizar modelos matemáticos de manera relativamente fácil debido a:

- Muchos modelos precedentes y situaciones análogas.
- Disposición fácil y barata de computadoras.
- Un gran número de paquetes de cómputo comercial y libre.

Ejemplo de proceso metalúrgico

Olla de aceración

Introducción (importancia del acero en México)

En el **año 2016** la producción mundial de acero fue de 1, 603, 988 miles de toneladas, de las cuales **19, 002** fueron producidas en territorio mexicano (cerca de dos terceras partes de la capacidad de producción), ocupando con esto el **13o lugar en producción mundial** y siendo el segundo mayor productor de Norteamérica aportando un 17.12% de la producción de la región, solo por debajo de Estados Unidos.

En México la industria siderurgia representa un **2.0% del PIB (6.9% del PIB industrial)**, generando aproximadamente **672 mil empleos** de manera directa e indirecta. La producción de acero es además la industria que consume mayor cantidad de gas natural y ocupa el 3er lugar en consumo de energía eléctrica.

Introducción (rutas de aceración)

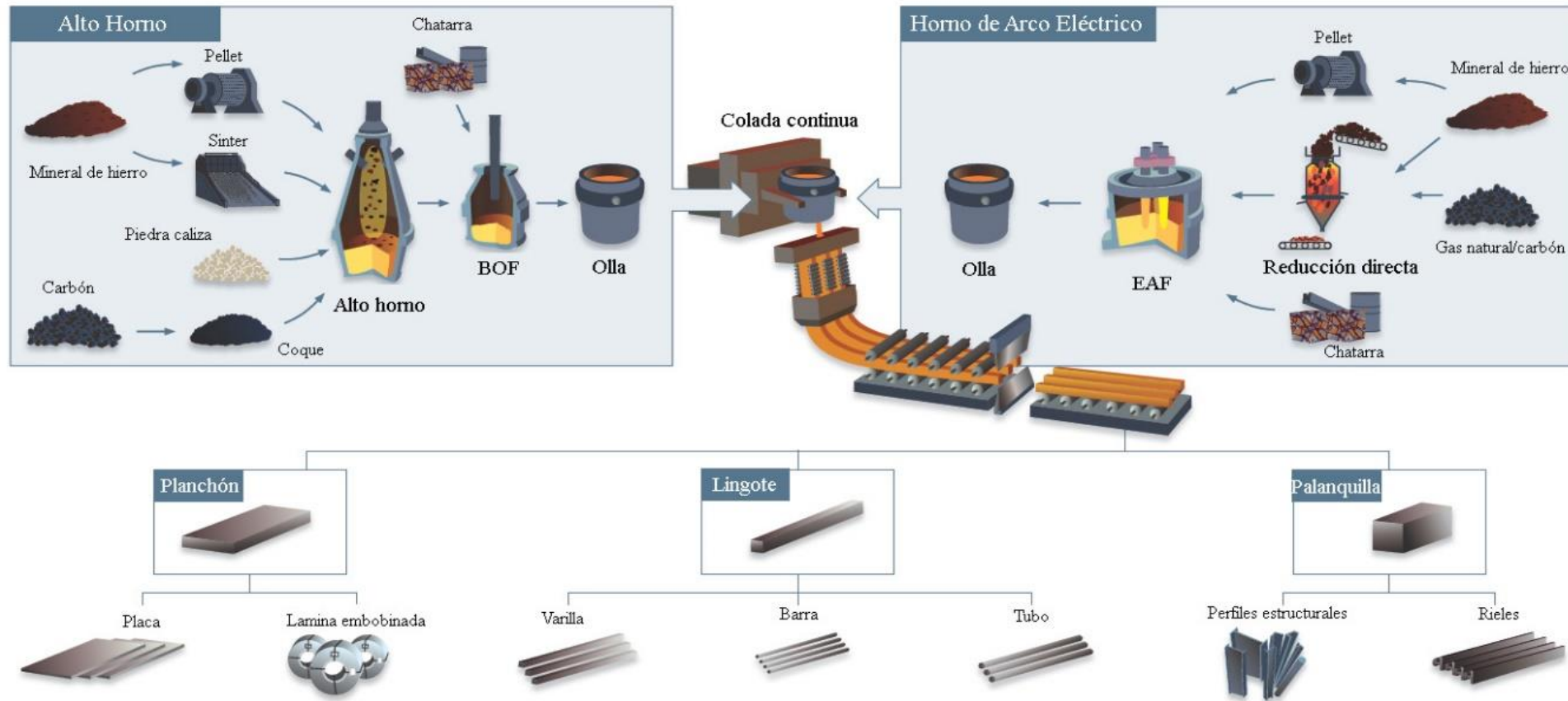
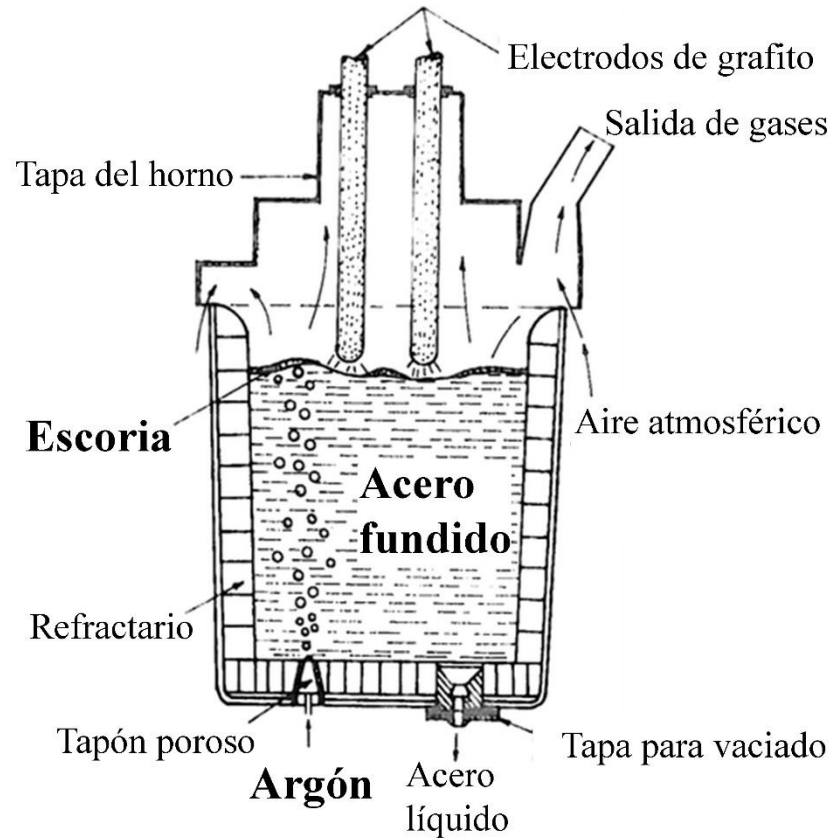


Figura.- Esquema de los principales procesos de aceración.

Introducción (olla de aceración)



Objetivos de la refinación secundaria del acero:

- Desoxidar
- Desulfurar
- Ajustar composición química
- Homogenizar composición química y temperatura
- Remover y/o modificar inclusiones

Fases principales para la fluido dinámica:

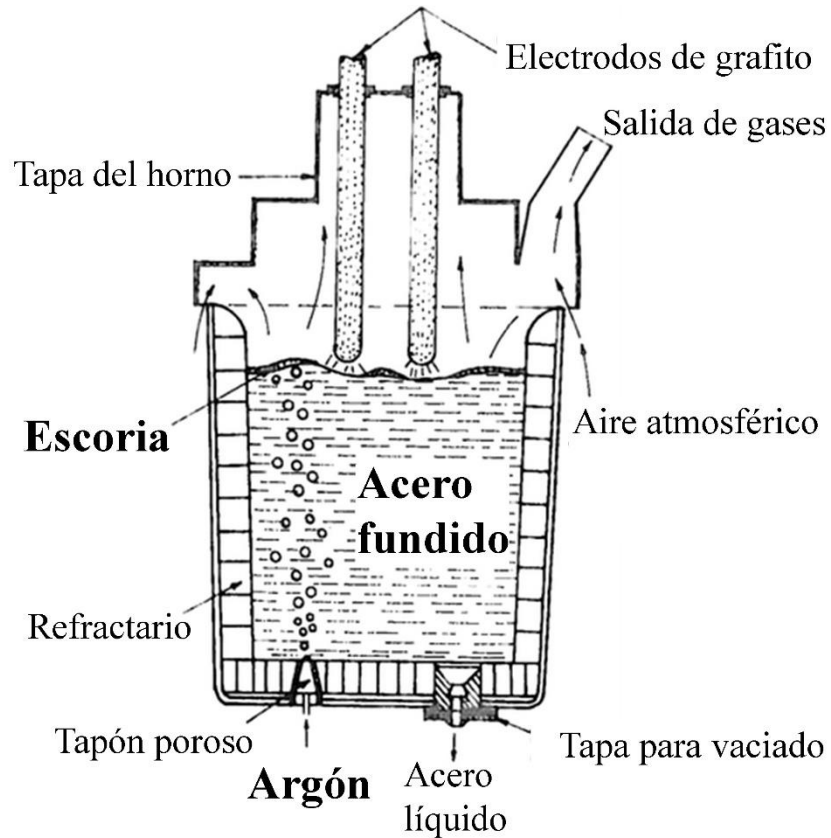
- Acero fundido
- Argón
- Escoria

Ejemplos de variables estudiadas

¿Qué variables se podrían considerar importantes para el proceso?

¿Cómo evaluaría el efecto de dichas variables?

Ejemplos de variables estudiadas



Variables estudiadas principalmente:

- Flujo de gas
- Número de tapones
- Posición de los tapones (angular y radial)
- Espesor de tercera fase (escoria)
- Diseño de la olla.

Respuestas estudiadas principalmente:

- Fluido dinámica
- Tiempo de mezclado
- Área de ojo
- Transporte de masa

Herramientas para realizar las mediciones:

- Mediciones en planta
- Mediciones en laboratorio
- Planta piloto
- Modelado físico
- Modelado matemático

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno?

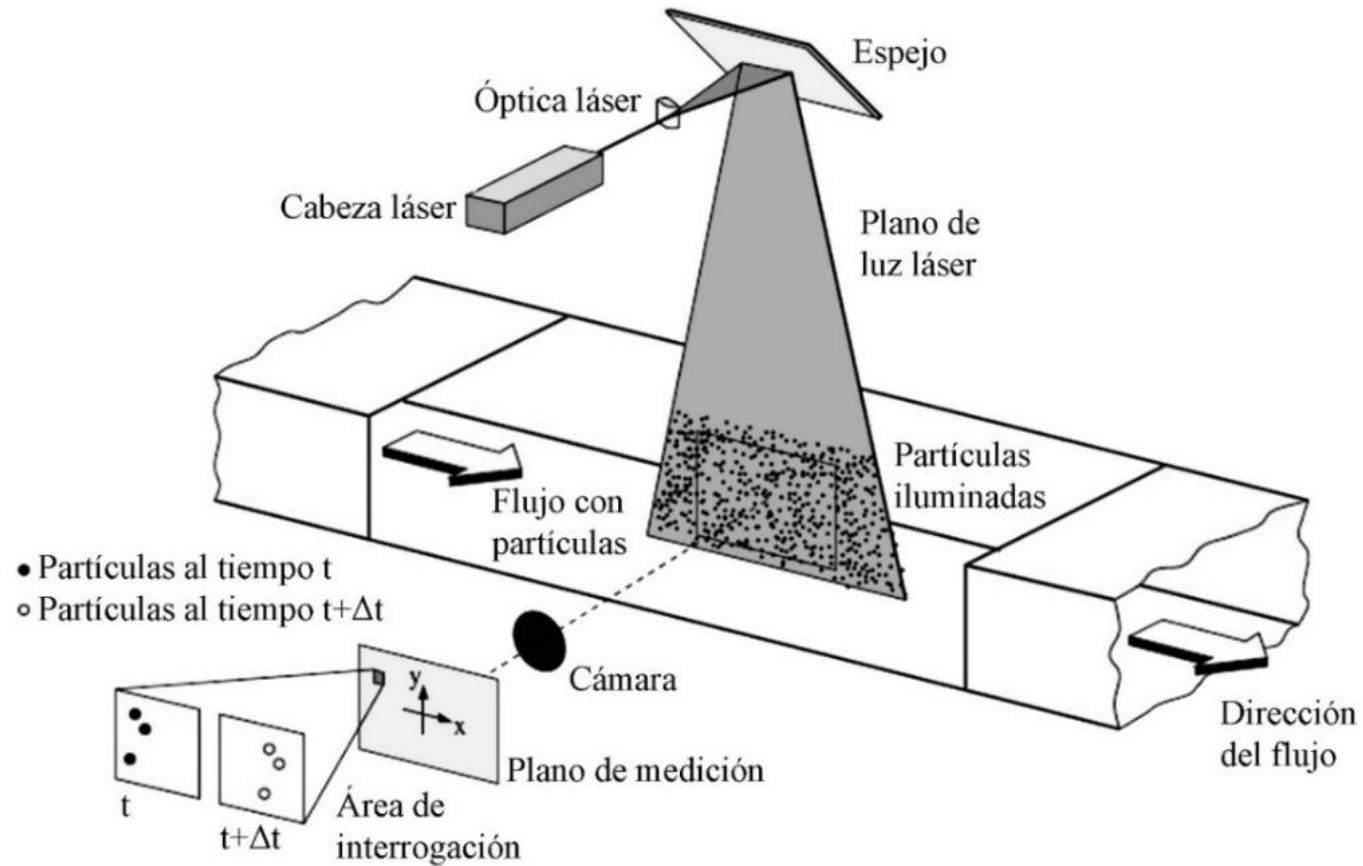
Modelado físico

Consideraciones:

- Criterios de similitud
- Técnicas experimentales
- Materiales
- Recursos experimentales

Material/Propiedad	ρ [kg m⁻³]	μ [kg m⁻¹ s⁻¹]	ν [m² s⁻¹]
Acero líquido (1600°C)	7014	6.4×10^{-3}	0.91×10^{-6}
Agua líquida (20°C)	1000	1.0×10^{-3}	1.00×10^{-6}

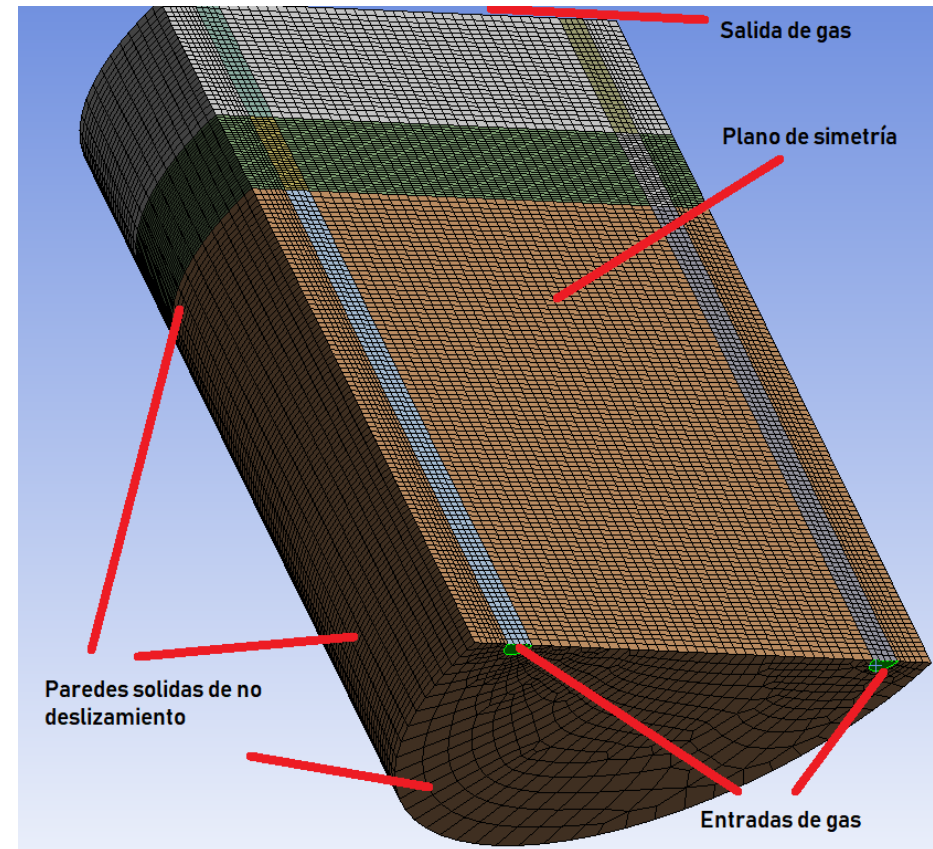
Modelado físico



Modelado matemático

Consideraciones:

- Suposiciones
- Ecuaciones gobernantes
- Condiciones de frontera
- Recursos computacionales



Modelado matemático

a) Ecuación de fracción de volumen

El volumen de la fase q , V_q está dado por la integral de volumen:

$$V_q = \int_V \alpha_q dV$$

α_q es la fracción de volumen de la fase q , por lo tanto la suma de la fracción de volumen de todas las fases debe de ser 1:

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1$$

Modelado matemático

b) Ecuación de continuidad para cada fase

La ecuación de continuidad para cada fase q , asumiendo un fluido incompresible, es:

$$\nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = 0$$

Donde ρ_q, \vec{v}_q son la densidad y el vector velocidad de la q -ésima fase respectivamente.

Modelado matemático

c) Ecuación de transporte de momentum para cada fase

La ecuación de transporte de momentum para cada fase es:

$$\nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla P + \nabla \cdot \left(\alpha_q \mu_{ef,q} \left(\nabla \vec{v}_q + (\nabla \vec{v}_q)^T \right) \right) + \alpha_q \rho_q \vec{g} + \vec{F}_T$$

Para la fase I agua:

$$\mu_{ef,l} = \mu_{l,l} + \mu_{t,l}$$

Par las otras fases:

$$\mu_{ef,q} = \mu_{l,q}$$

Modelado matemático

d) Ecuaciones del modelo de turbulencia k-ε Realizable

k energía cinética turbulenta:

$$\nabla \cdot (\alpha_l \rho_l k_l \vec{v}_l) = \nabla \cdot \left(\alpha_l \left(\mu_l + \frac{\mu_{t,l}}{\sigma_k} \right) \nabla k_l \right) + \alpha_l G_{k,l} + \alpha_l G_b - \alpha_l \rho_l \varepsilon_l + \alpha_l \rho_l \Pi_{k,l}$$

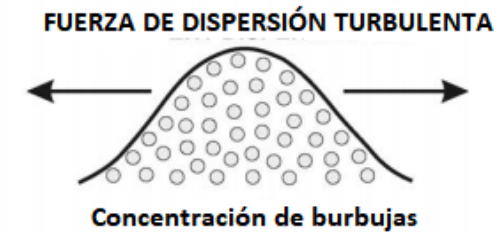
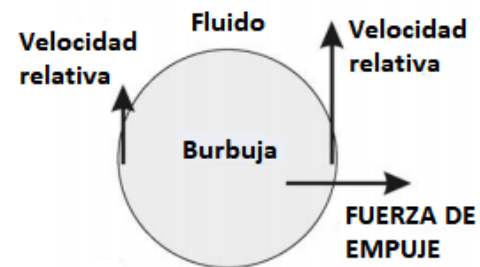
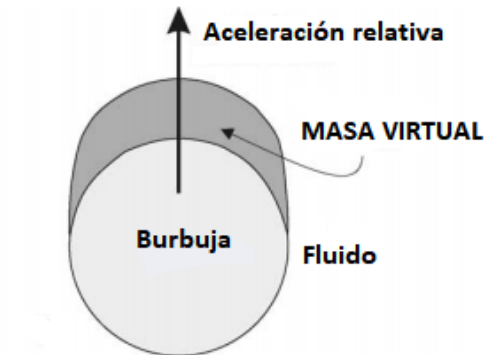
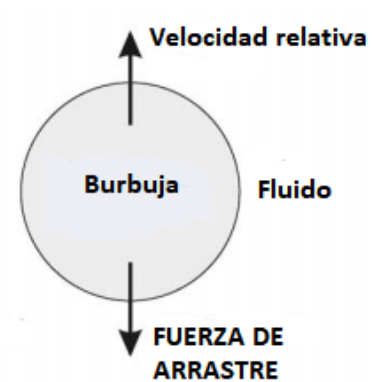
ε disipación de la energía cinética turbulenta:

$$\nabla \cdot (\alpha_l \rho_l \varepsilon_l \vec{v}_l) = \nabla \cdot \left(\alpha_l \left(\mu_l + \frac{\mu_{t,l}}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon_l \right) + \alpha_l C_1 \left(\frac{\varepsilon_l}{k_l} G_b C_3 + \rho_l \Pi_{\varepsilon,l} \right) - \alpha_l \rho_l C_2 \frac{\varepsilon_l^2}{k_l + \sqrt{\frac{\varepsilon_l \mu_l}{\rho_l}}} + \alpha_l \rho_l \Pi_{\varepsilon,l}$$

Modelado matemático

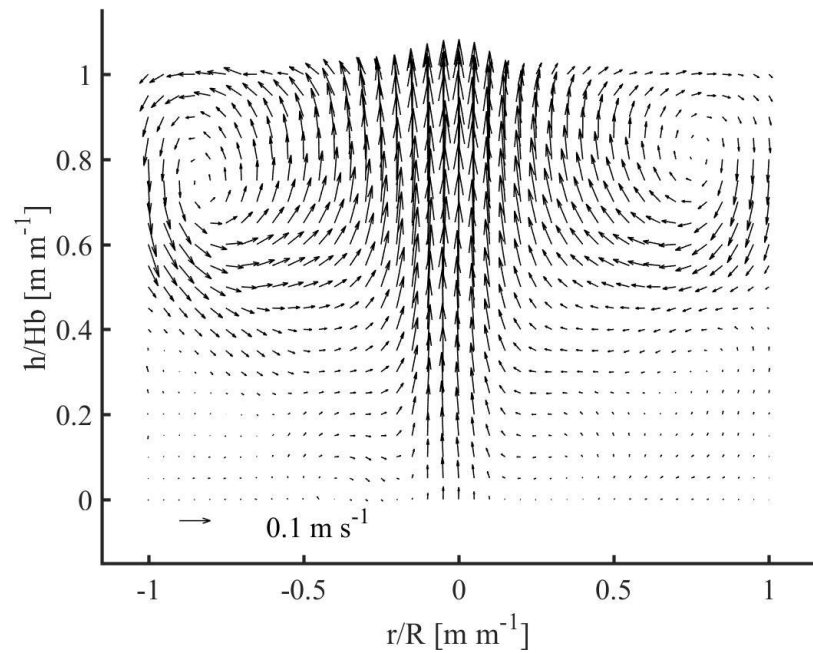
e) Ecuaciones de fuerzas de interfase

$$\vec{F}_T = F_A + F_{MV} + F_E + F_{DT}$$

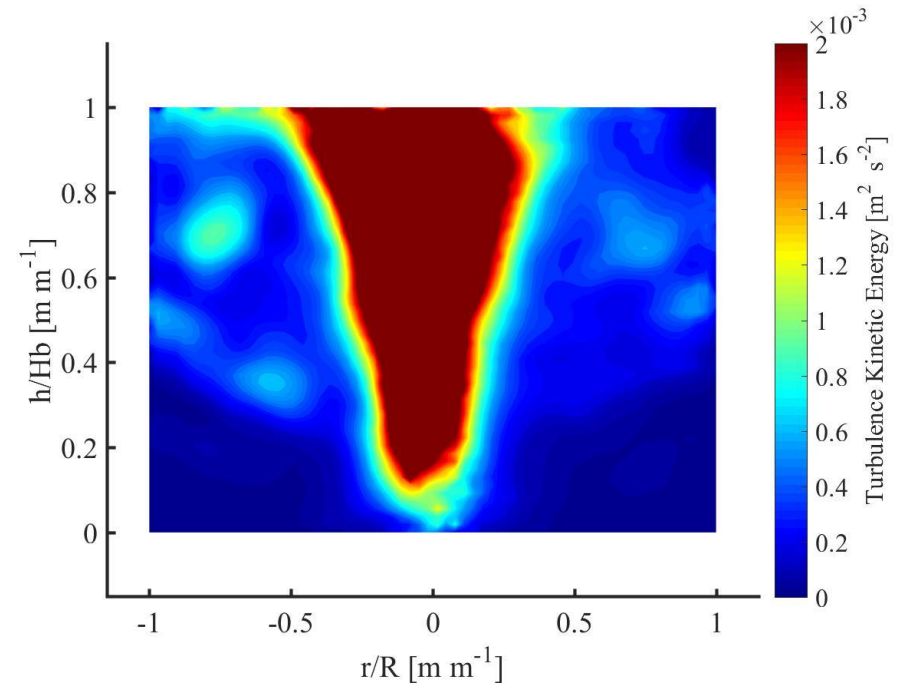


Ejemplos de resultados (modelado físico)

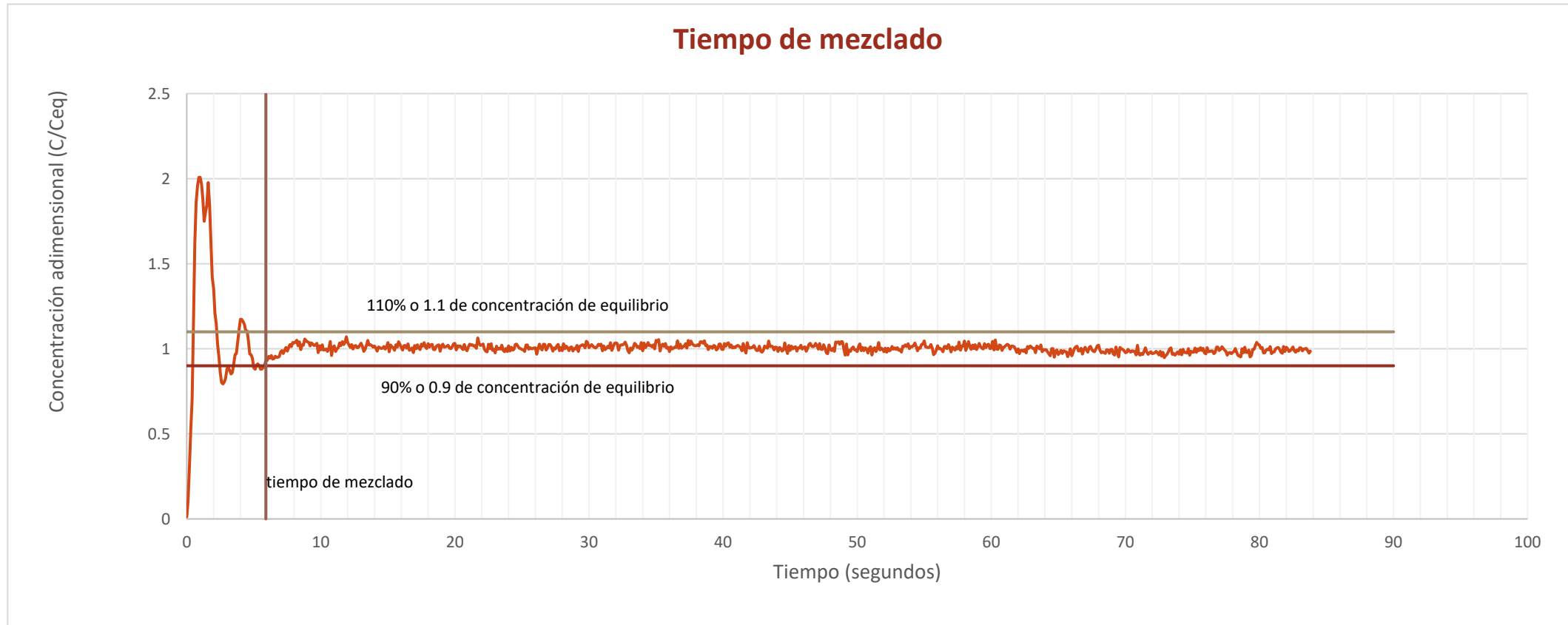
PATRÓN DE FLUJO



CONTORNO DE ENERGÍA CINÉTICA
TURBULENTA

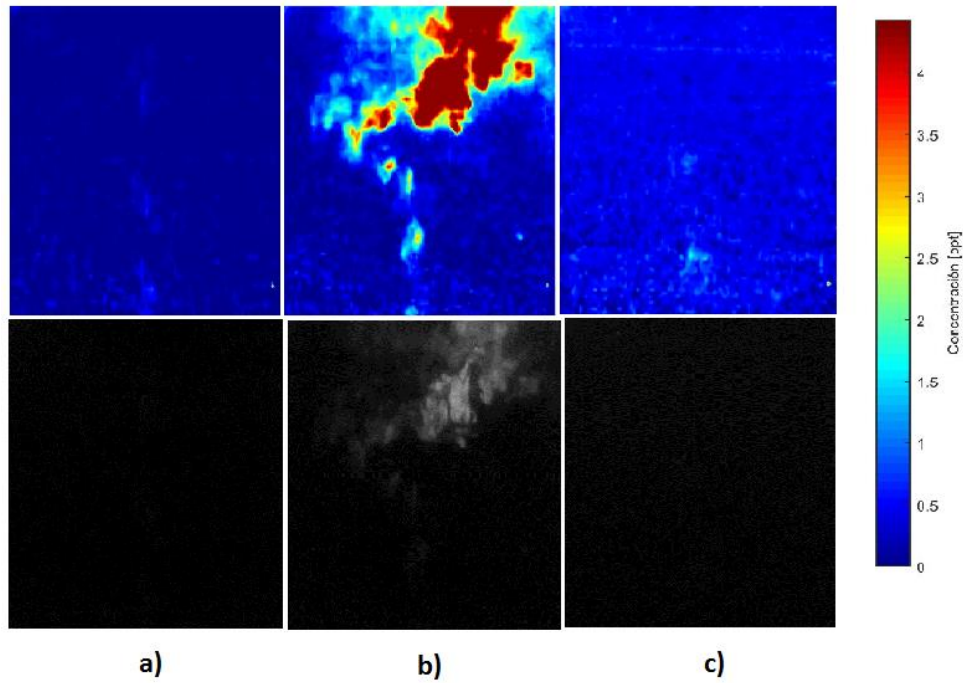


Ejemplos de resultados (modelado físico)

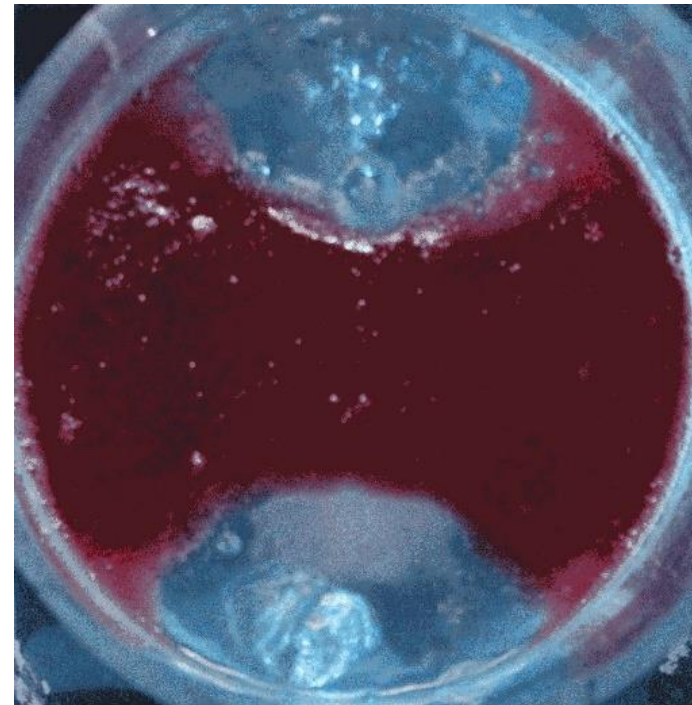


Ejemplos de resultados (modelado físico)

CONTORNOS DE CONCENTRACIÓN
INSTANTÁNEOS (PLIF)



ÁREA DE OJO

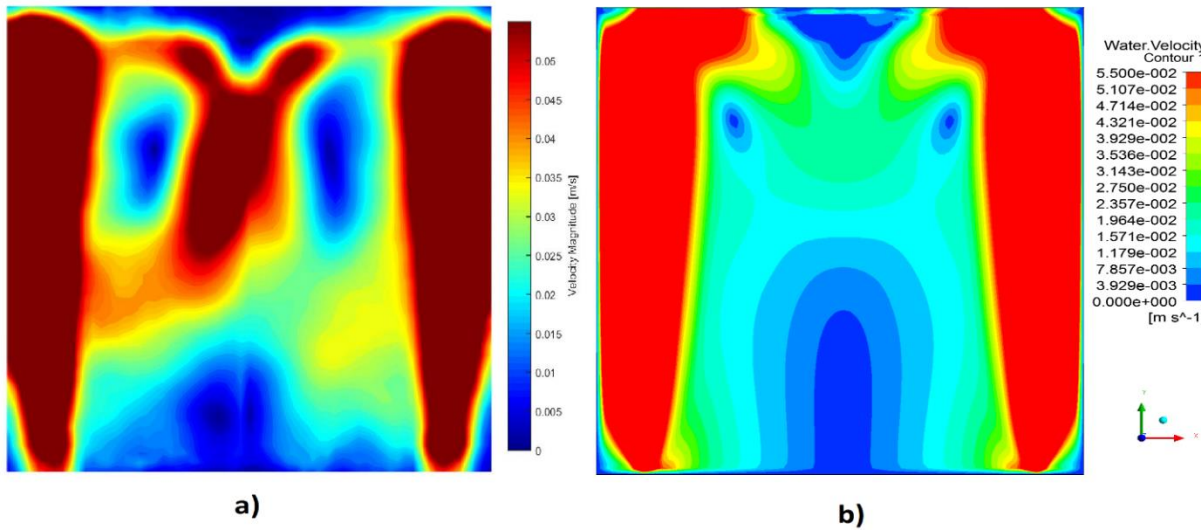


Ejemplos de resultados (modelado matemático)

Validación:

a) Contornos de energía cinética turbulenta experimentales.

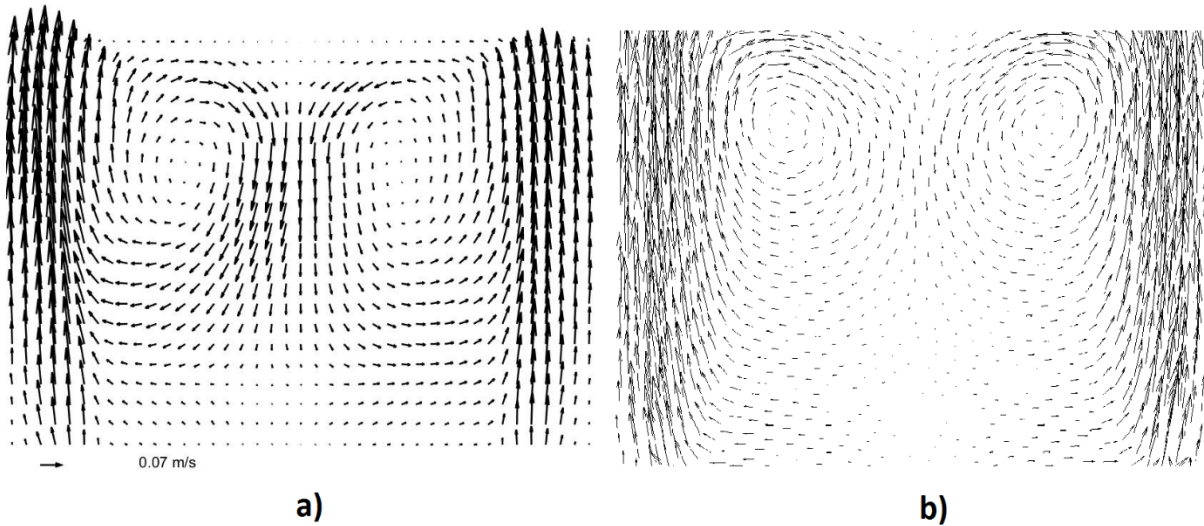
b) Contornos de energía cinética turbulenta simulados.



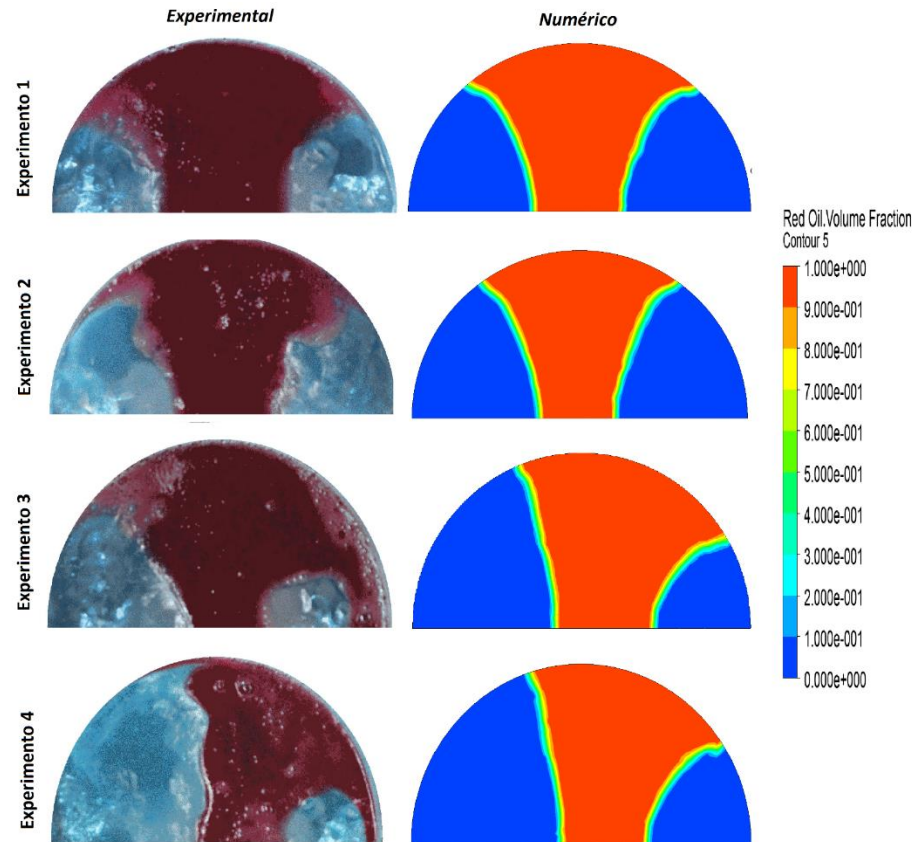
Ejemplos de resultados (modelado matemático)

Validación:

- a) Patrones de flujo experimentales.
- b) Patrones de flujo simulados.



Ejemplos de resultados (modelado matemático)



Validación:

Izquierda: Áreas de ojo experimentales.

Derecha: Áreas de ojo simuladas.

Ejemplos de resultados

Variable	Nivel -	Nivel +
Flujo de gas (L/min.)	1.54	2.22
Porcentaje de escoria	3%	5%
Distribución de los flujos	50/50	75/25

Ejemplo de optimización basado en las variables presentadas en la tabla.

