



Universidad
Andrés Bello

TALLER ONLINE - Avances en la Cuantificación y Evaluación de
Recursos Artificiales (depósitos de Relaves, Escorias, Ripios, otros)

📅 12 de mayo, 2021 ⌚ de 9:00 a 12:30 horas

Caracterización y valorización de escorias de cobre: una propuesta que agrega valor al negocio metalúrgico

MARIO SANCHEZ
mario.sanchez@unab.cl

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO



Importancia de las escorias...

- El propósito de esta presentación es entender la importancia de las escorias y la necesidad de estudiarlas rigurosamente a objeto de apreciar su valor.
- El conocimiento de sus propiedades físicas y químicas no sólo nos permite entender y mejorar los procesos pirometalúrgicos...
- ...sino también apreciar el valor que ellas pueden agregar al proceso principal de obtención de un metal...



Acercas de las escorias...

- Tradicionalmente las escorias han sido consideradas un subproducto de la producción del metal principal.
 - Sin embargo, las escorias son parte importante de la operación de una fundición dada sus propiedades físico químicas:
 - Alto punto de fusión
 - Alta viscosidad
 - Alta resistencia a la transferencia de calor y la electricidad
- Adicionalmente, las escorias no es un subproducto corriente: puede contener aún componentes valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados...

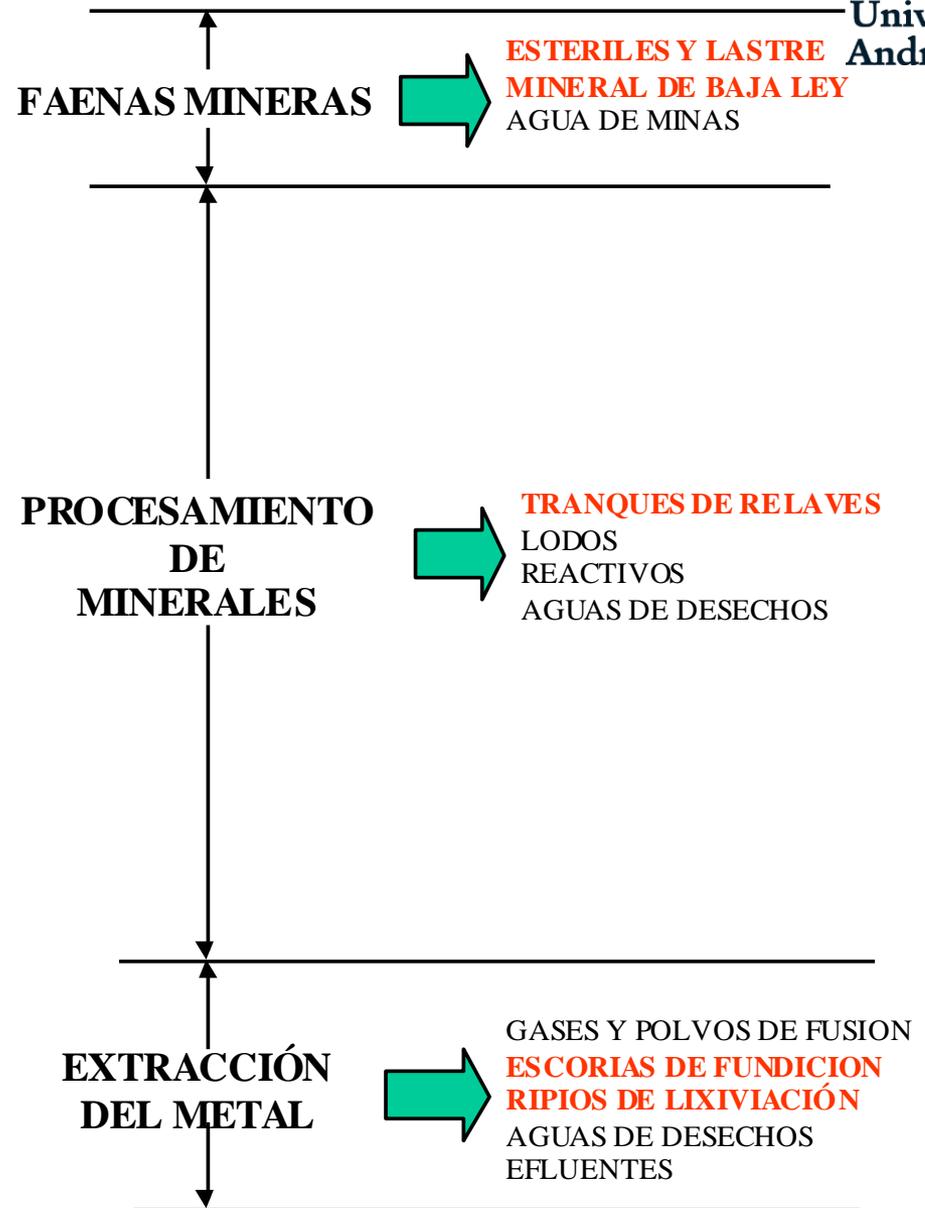
Dos tipo de metales/materiales pueden recuperarse ...

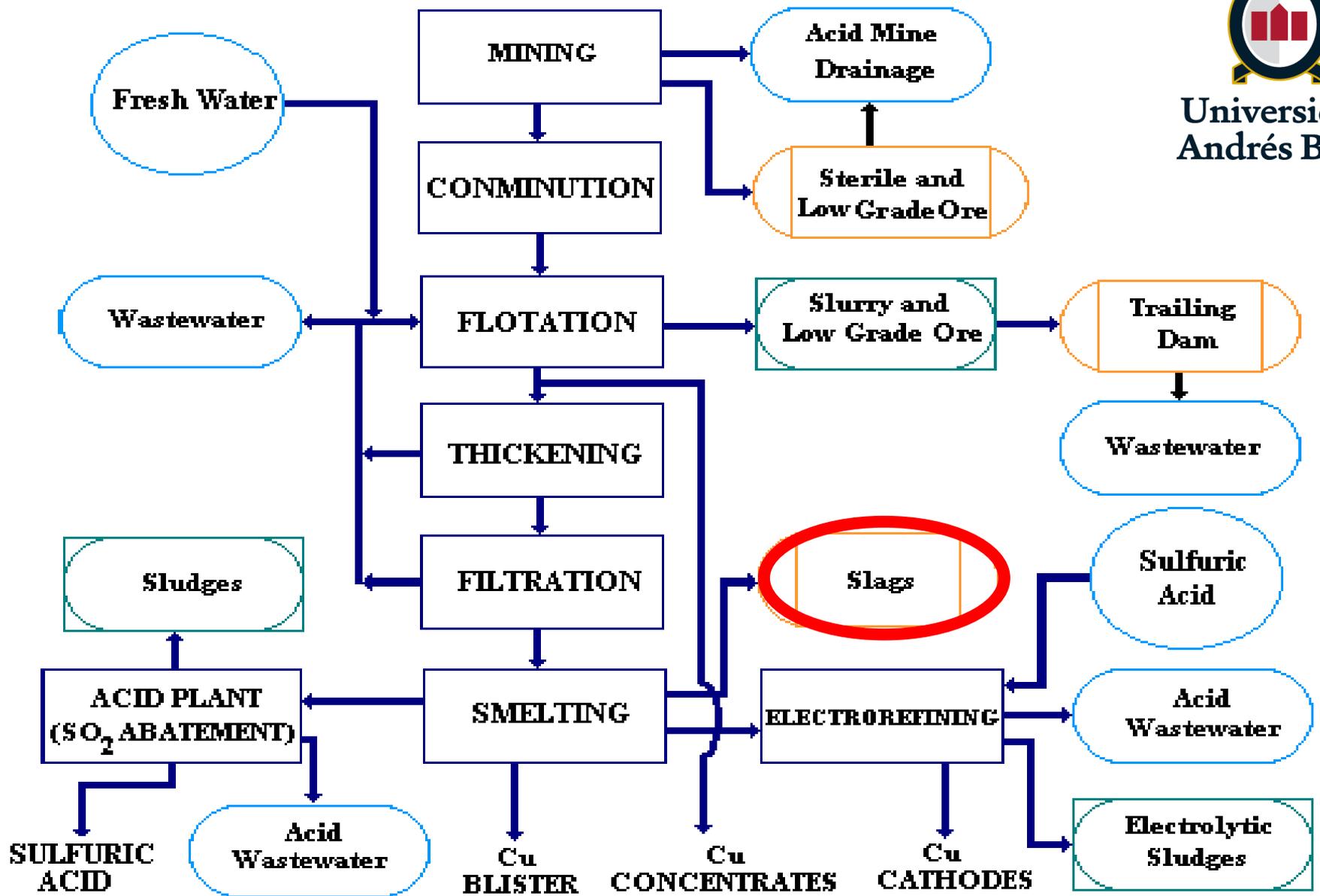
- (a) Los de muy bajo contenido pero de un alto valor, como por ejemplo Au, Ag, Mo, Cu...**
- (b) Los de alto contenido y volumen pero con menor valor, como por ejemplo: Fe, SiO₂...**

El cobre puede ser recuperado via flotacion o reducción, dependiendo de su estado químico. El Molibdeno puede recuperarse via tratamientos piro e hidrometalúrgicos.

El hierro puede recuperarse como una aleación con bajo contenido de Cu y Mo. El SiO₂ puede recuperarse como un residuo a ser utilizado en obras civiles de construcción.

La recuperación de Cu y Mo puede pagar el proyecto. La recuperación de Fe y SiO₂ tiene efecto en la disminución de los volúmenes almacenados.

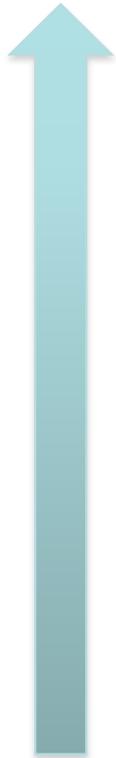






Caso del cobre: aproximadamente
1% es recuperado
→ 99% va a disposición

METAL



MINA

Residuos Solidos	Generacion (ton/ton Cu)
SO ₂ en gases de Fundición	< 1
Escorias de Fundicion	2 - 5
Colas de Flotacion	60 - 100
Ripos de Lixiviacion	100 - 200
Esteril de Mina	300 - 400

GRANDES PASIVOS ...



Universidad
Andrés Bello

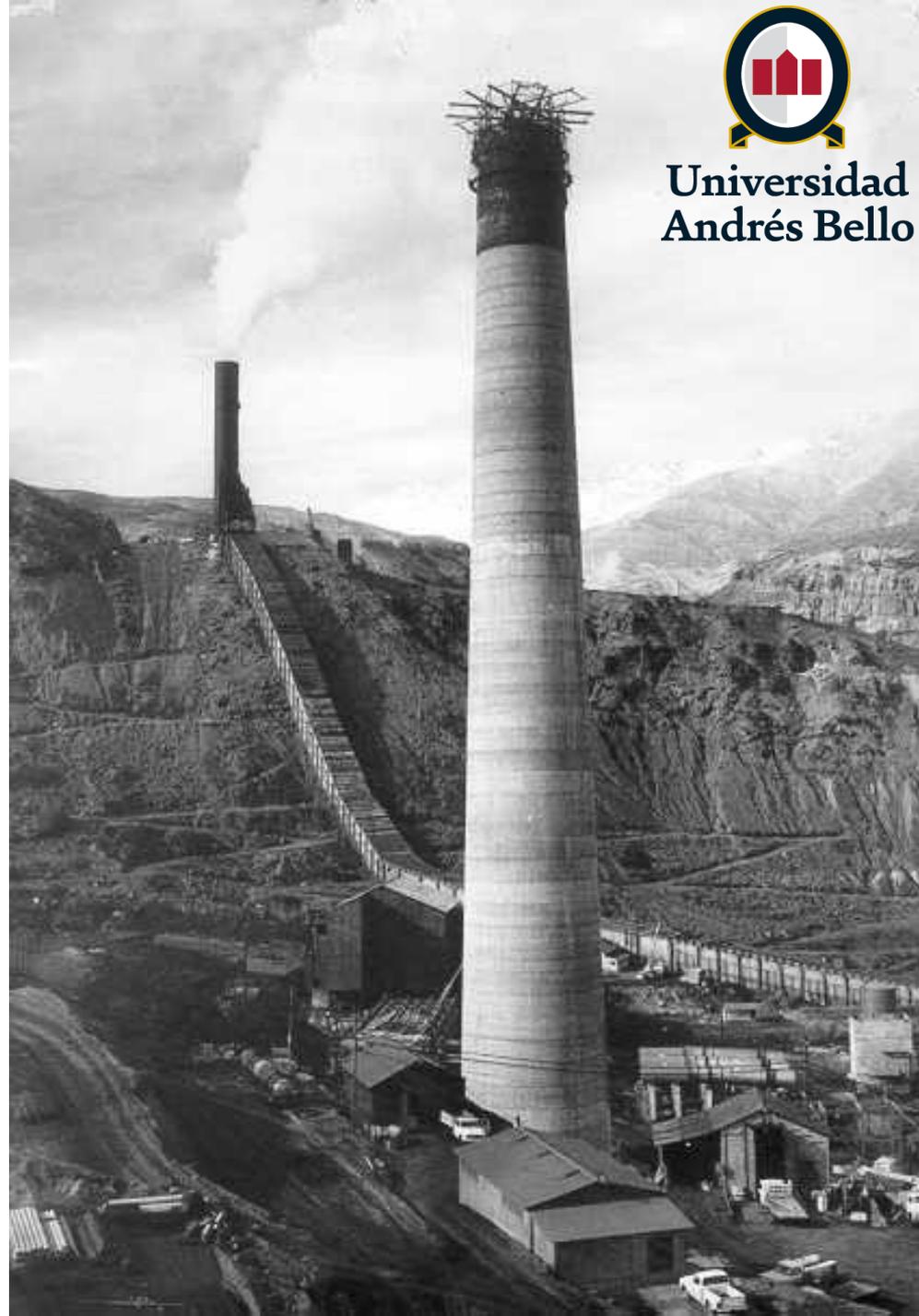


CASO PARADIGMATICO: GASES DE FUNDICIONES

...los gases de las fundiciones fueron un pasivo...!

...pero hoy son utilizados para producir acido sulfurico
→ valor comercial...

...Y DEJARON DE SER PASIVOS...



Universidad
Andrés Bello

Slag Valorization
Symposium,
Leuven, Belgium,
19-20 March 2013



Universidad
Andrés Bello

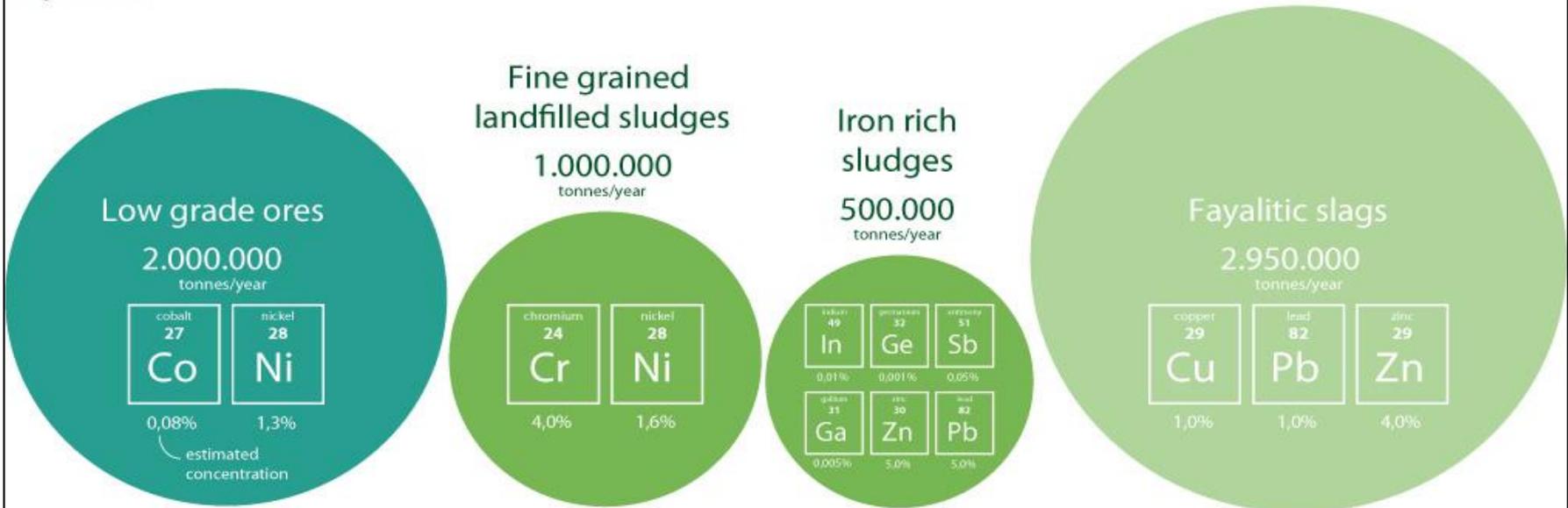
VALORIZACION DE LAS ESCORIAS...



Material streams in METGROW+ project: yearly production rates in the EU

*

rough estimate



STOCKS PASIVOS ACUMULADOS: PROYECTO UE



Composición promedio de las escorias chilenas:

30-40 % hierro

35-40% sílice

< 10 % alumina

< 1 % cobre

0.2-0.4 % molibdeno

...a veces también Zn y metales preciosos...

El molibdeno está presente en la mayoría de las escorias chilenas

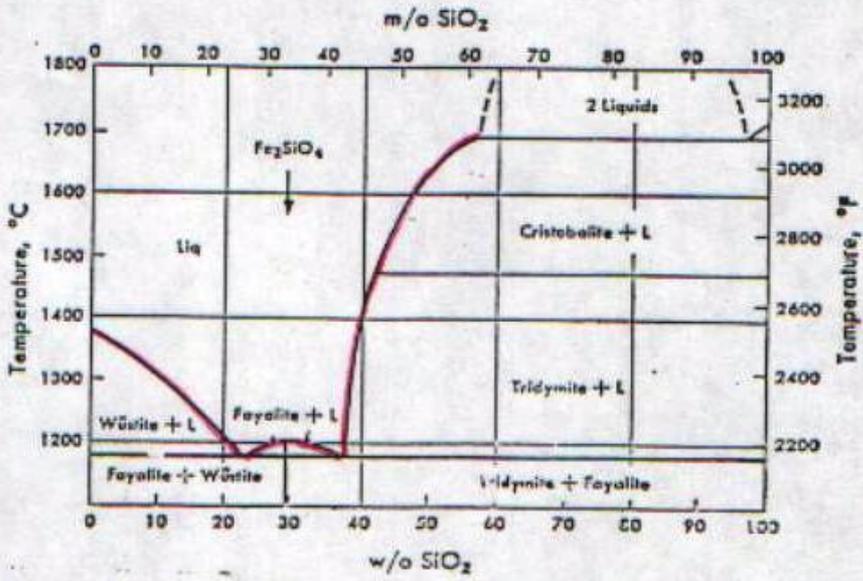
Durante las etapas de fusión y conversión el molibdeno tiende a concentrarse en la escoria → el molibdeno en la escoria aumenta en la medida que el cobre aumenta en la fase metálica

En la fase metálica (mata): cobre y molibdeno están como sulfuros

En la fase oxidada (escoria): El hierro y el molibdeno están asociados como compuestos oxidados complejos del tipo $2\text{FeO}\cdot\text{MoO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ con muy baja sensibilidad a la lixiviación.

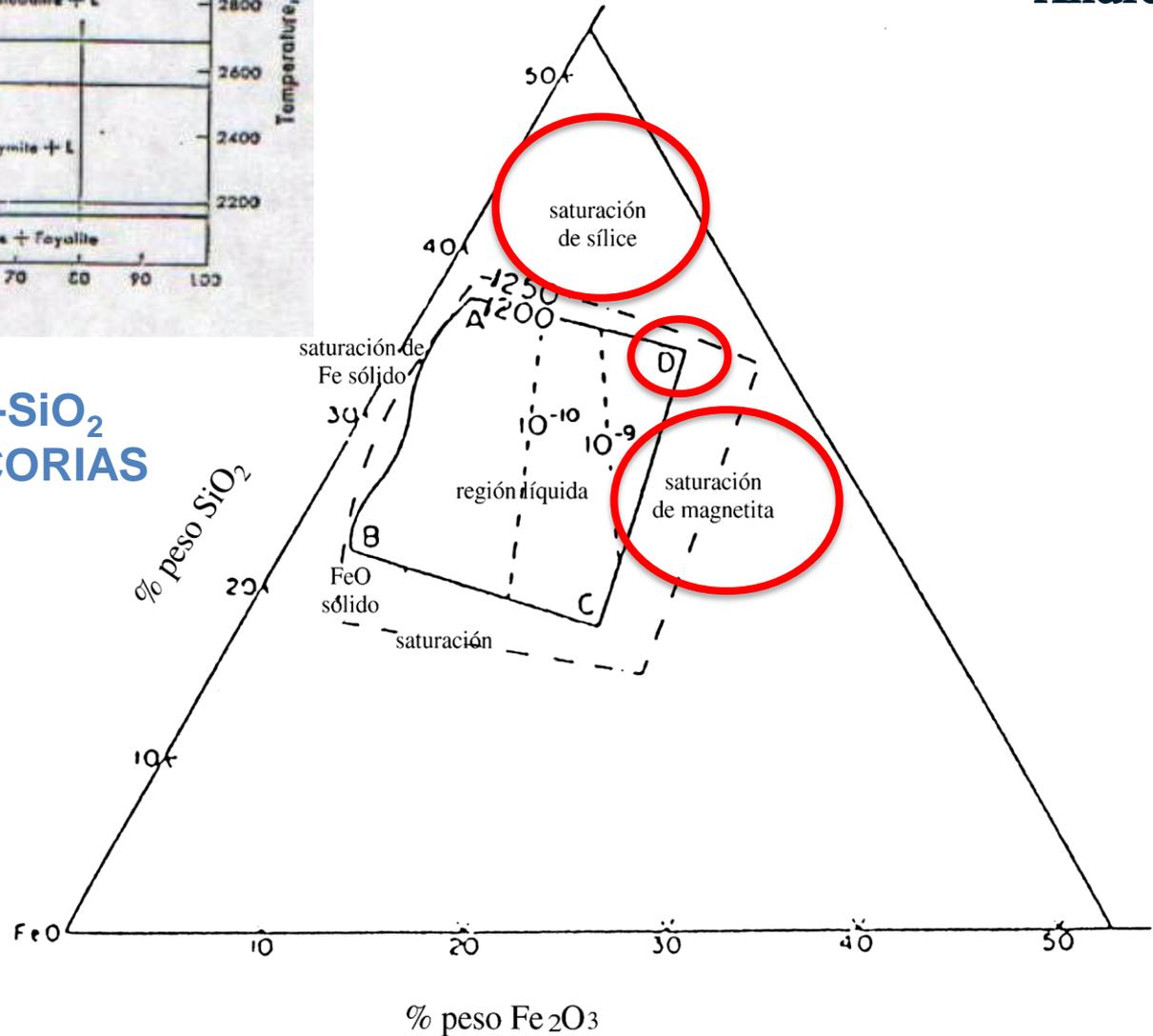


Universidad
Andrés Bello

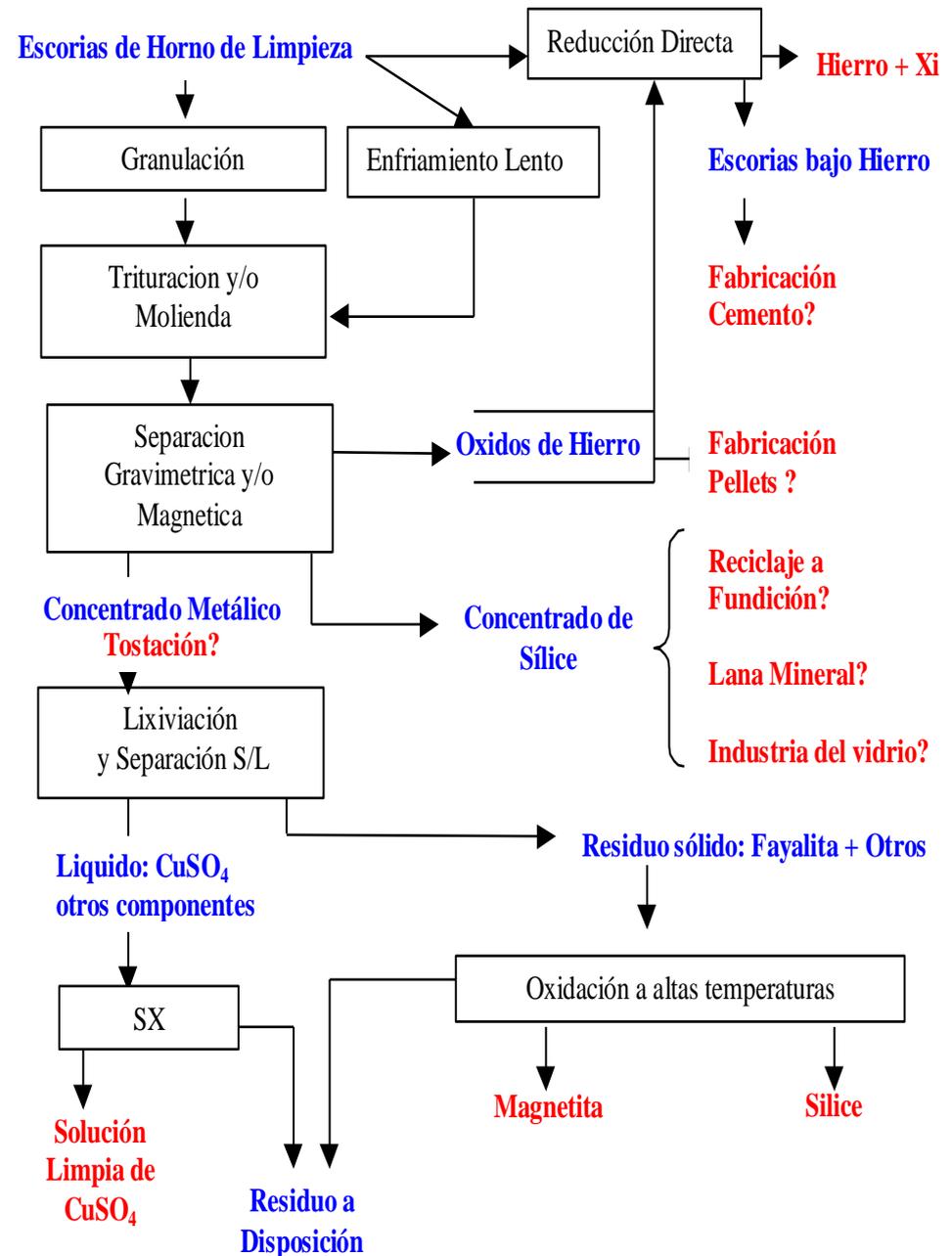
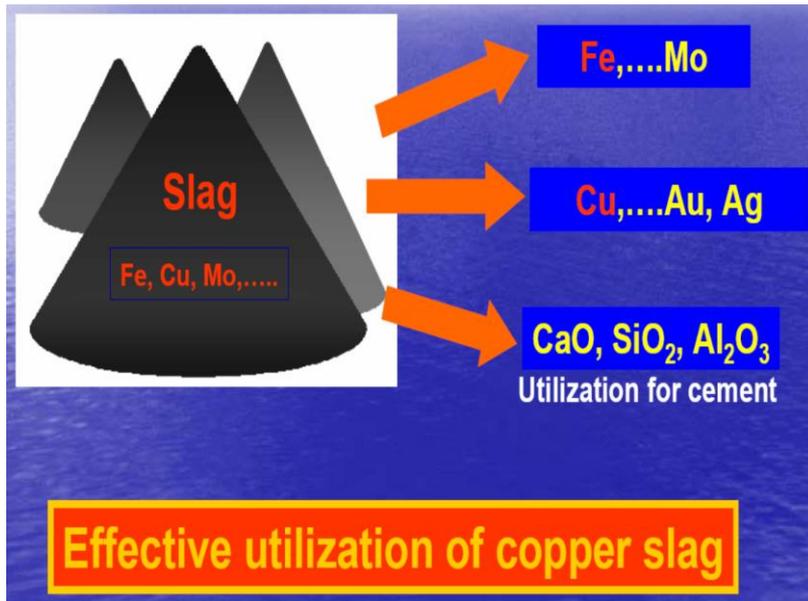


SISTEMA $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ASOCIADO A LAS ESCORIAS

NUESTRAS
ESCORIAS SON
FERRO
SILICATADAS...



RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE ESCORIAS DE FUNDICIÓN

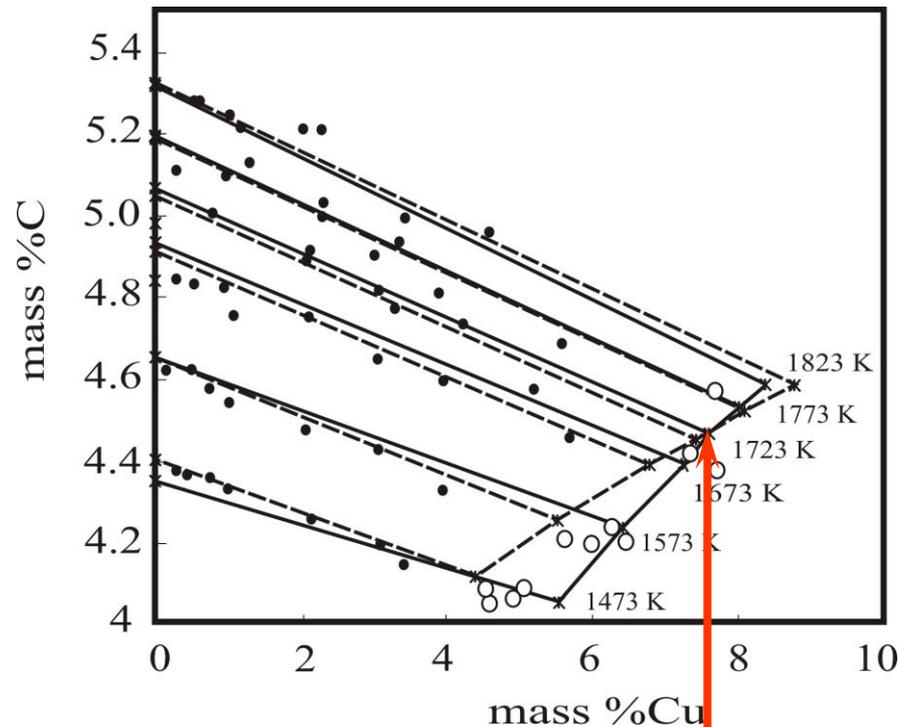
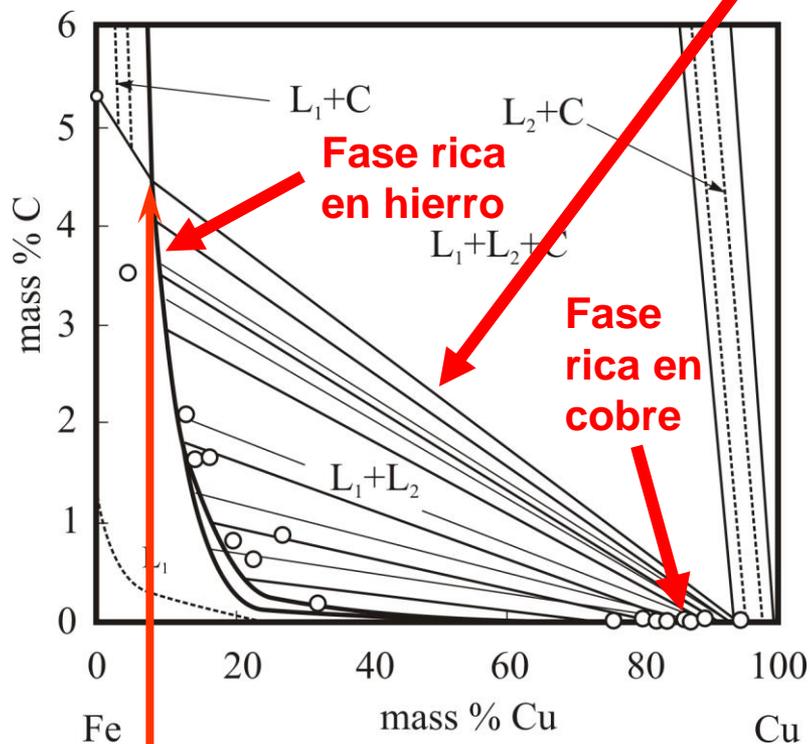


CONCEPTO DE “EMISIÓN CERO”



System Fe - Cu - C

El Metal se separa en dos fases: una rica en hierro y otra rica en cobre



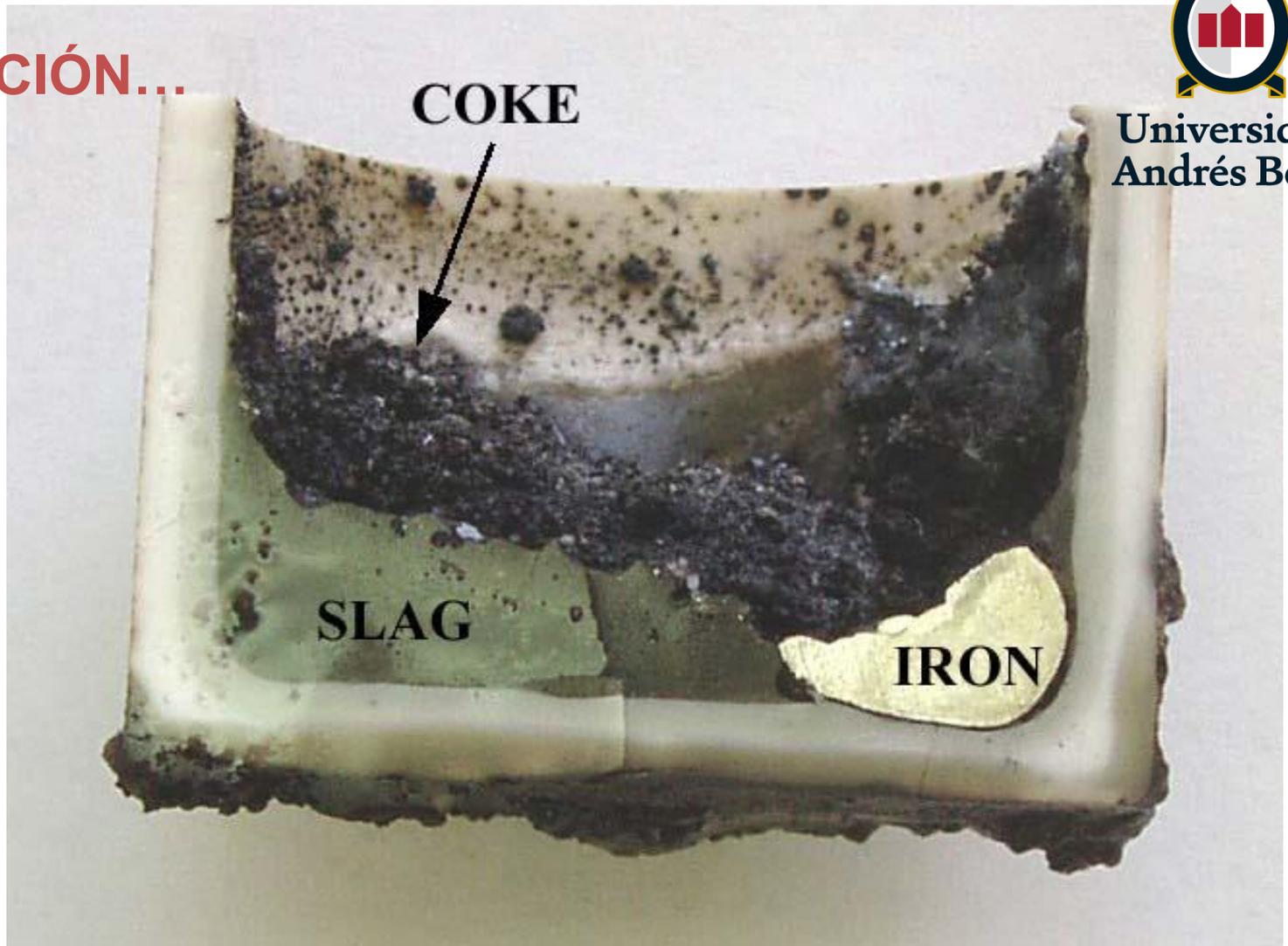
Aleación de hierro saturada en cobre y carbono a 1723 K

Carbon decreases solubility of copper in Fe-C alloy at all temperatures...

PRIMERA APROXIMACIÓN...



Universidad
Andrés Bello

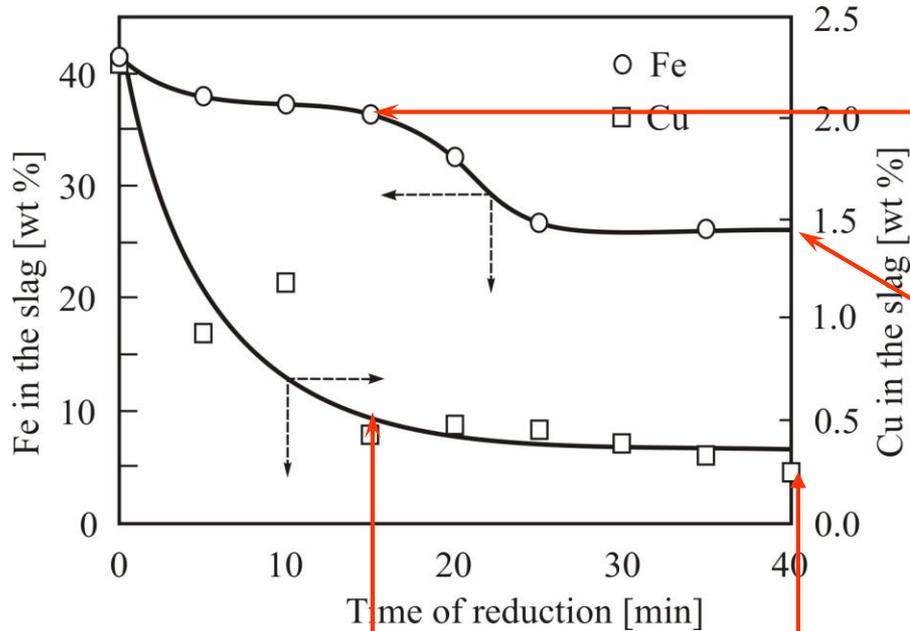


Alloy	Cu	Mo	Fe
A1	1,86	0,98	94,96
A2	1,93	1,03	93,33

**NECESIDAD DE BAJAR
CONTENIDO DE COBRE A $< 1\%$**



Efecto del tiempo de reducción



La reducción del óxido de hierro comienza después de 15 min, cuando la mayor parte del cobre ya ha sido reducido.

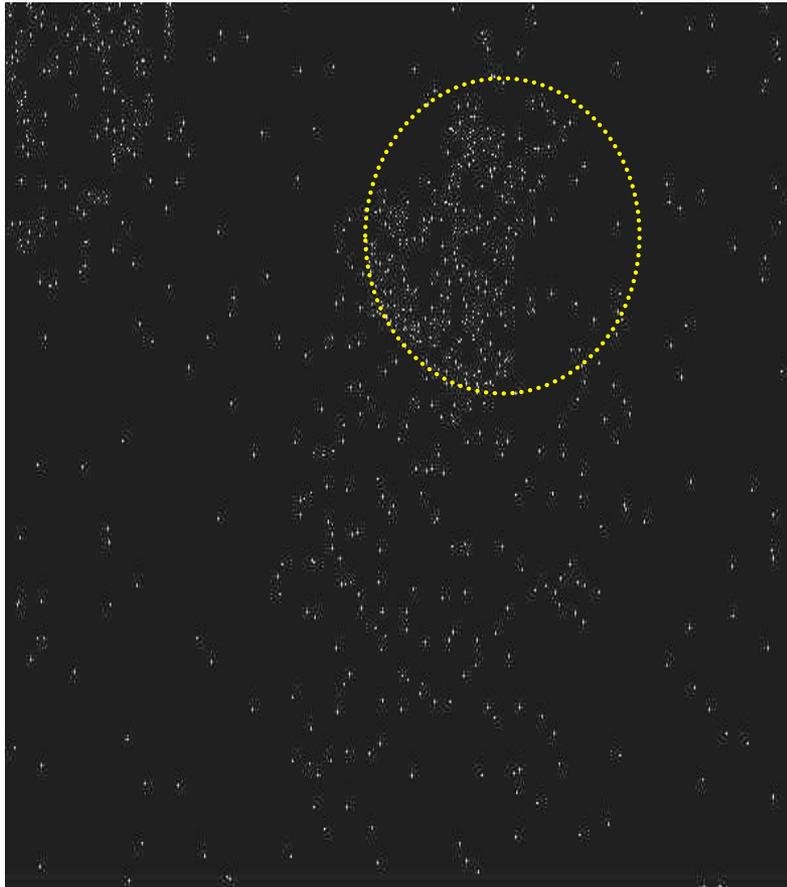
El hierro alcanza un valor mínimo de 27% a los 40 min de reducción

El contenido de cobre decrece de 2.3% a 0.5% en los primeros 15 min.

El contenido final de cobre decrece hasta 0.3% en la escoria final.

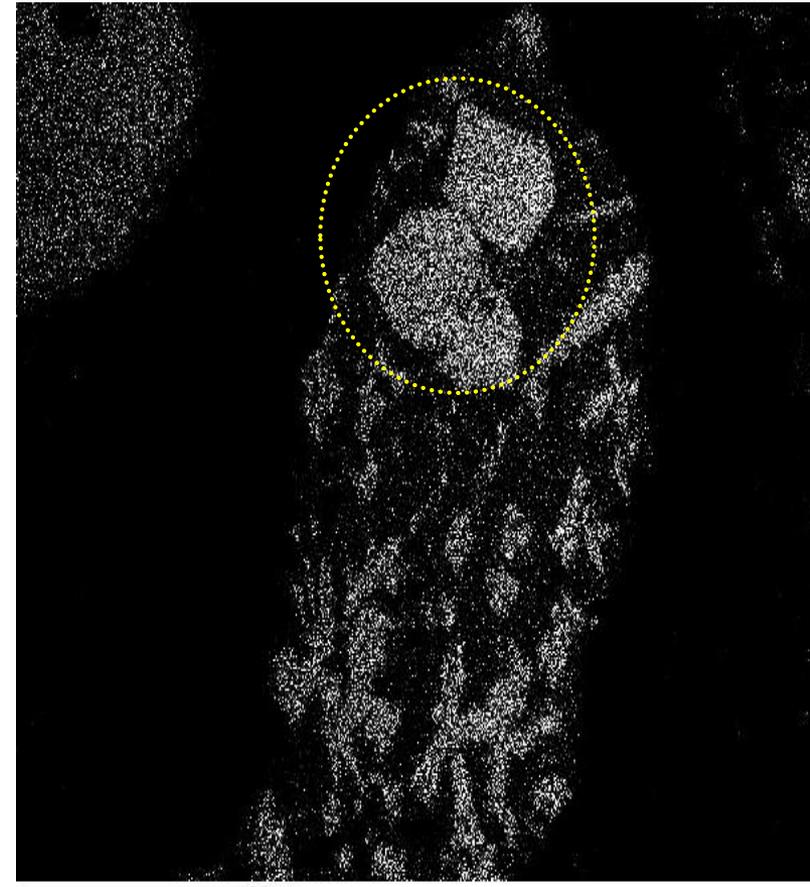
Así, el tiempo estimado para las experiencias fue de 50 min.

El molibdeno está asociado molecularmente con la magnetita



Mo Mo en fase 3

Molybdenum Distribution



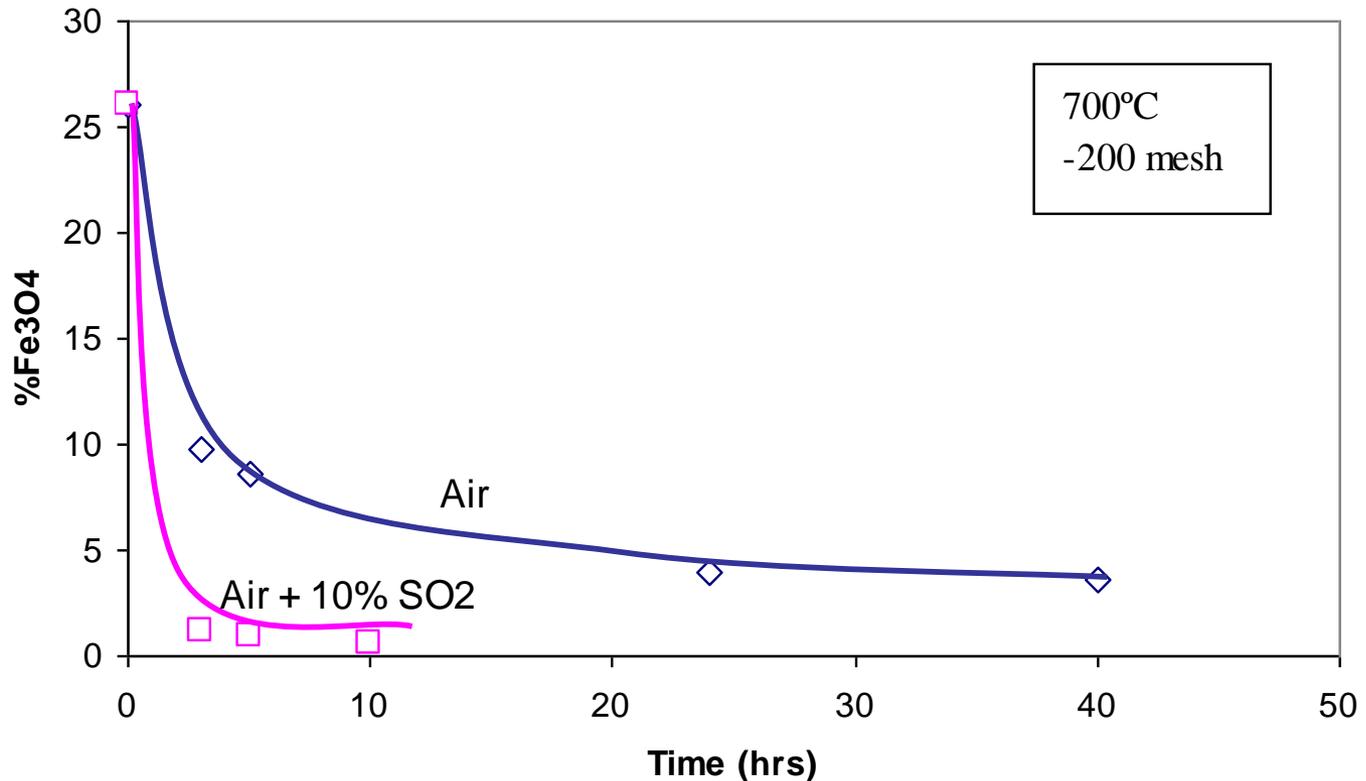
Fe Mo en fase 3

Iron Distribution

Microprobe Analysis: association Fe-Mo



PARA SEPARAR EL MOLIBDENO DEL HIERRO, NECESITAMOS ROMPER LA FUERTE ASOCIACION ENTRE EL MOLIBDENO Y LA MAGNETITA → OXIDACION DE LA MAGNETITA

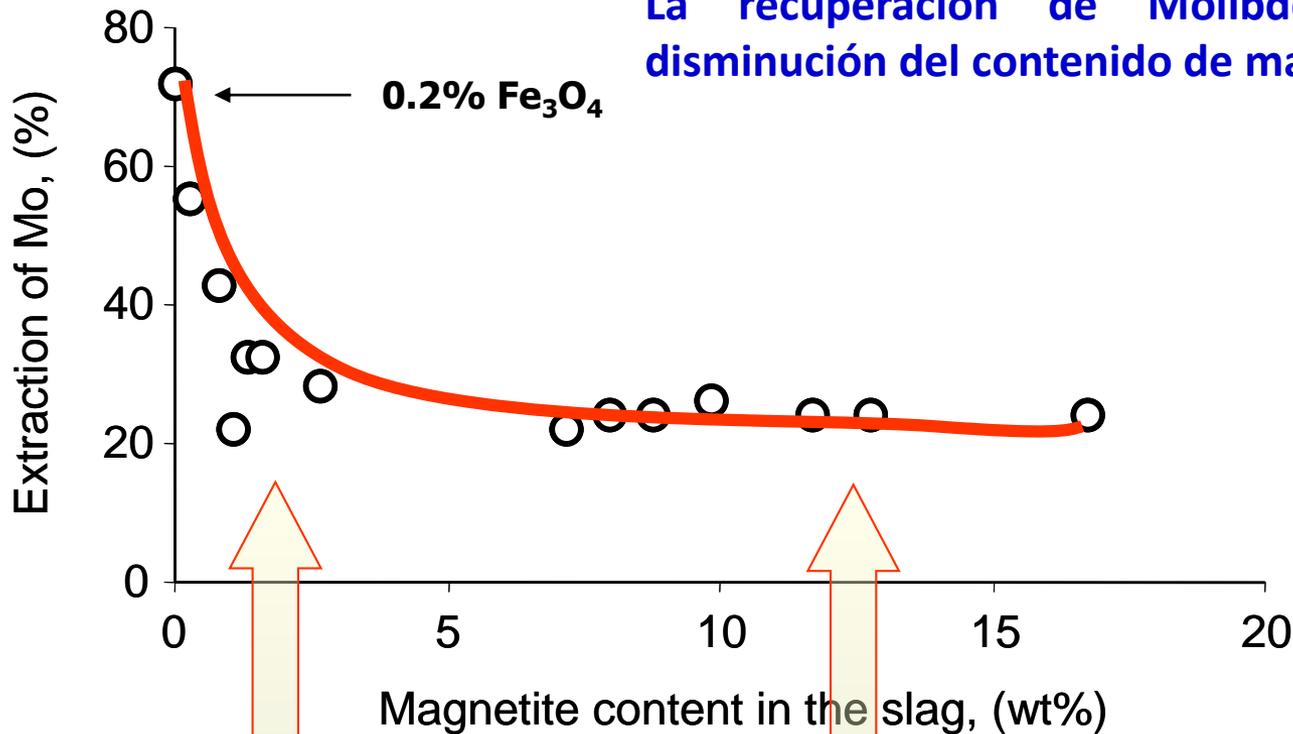


MOLIBDENO



Universidad
Andrés Bello

La recuperación de Molibdeno aumenta con la disminución del contenido de magnetita en en la escoria



700 °C

Air + 10%SO₂

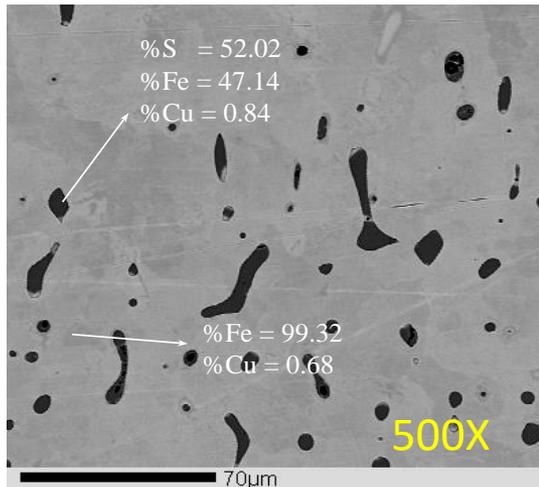
Escorias de
enfriamiento
rápido

Escorias de
enfriamiento
lento



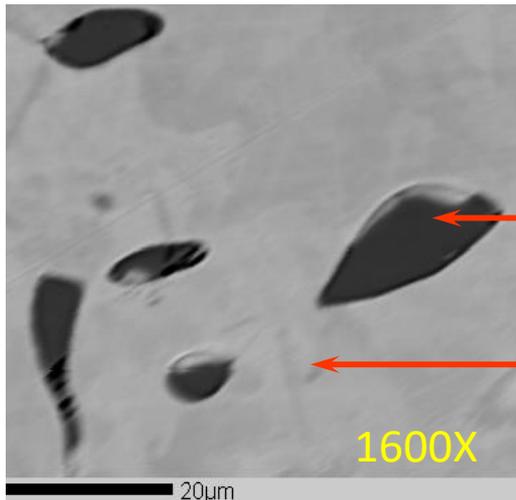
RESULTADOS

Micrografía de la aleación de hierro



La fase metálica contiene 99.32% de hierro y 0.68% de cobre.

Las inclusiones de sulfuros de hierro contienen 0.84% de cobre.



Inclusión de Sulfuro de hierro

Aleación hierro-cobre



RESULTADOS IMPORTANTES

La adición de coque es muy efectiva para disminuir el contenido de cobre en la escoria, llegando a valores de 0.06% de cobre en la escoria final.

Para disminuir el contenido de cobre en la aleación hierro-cobre se necesita operar en dos etapas:



La primera etapa reduce el contenido de cobre en la escoria y produce una aleación rica en cobre.



La segunda etapa reduce el óxido de hierro para formar una aleación rica en hierro metálico conteniendo 0.84% de cobre, lo que puede considerarse un muy buen resultado para una aleación de uso comercial.

Sin embargo, se insinúa realizar más experiencias a objeto de aumentar la recuperación global de hierro en el proceso y también disminuir aún más el contenido de cobre en la aleación final para hacerla más utilizable en la industria del hierro y de los aceros.



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de
Ingeniería Metalúrgica y de Materiales

Dr. Claudio Aguilar R.
Departamento de Ingeniería
Metalúrgica y Materiales



Universidad
Andrés Bello®

Dr. Mario Sanchez M.
Departamento de Ingeniería
Metalúrgica



Dr. Jose Palacios G.
Vicerrectoría de Investigación,
Innovación y Postgrado



Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo

Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación

Gobierno de Chile

Proyecto FONDEF ID 19 | 10163

Escoria de fundición de Cu
Producción: 4
millones/año en Chile



Aplicación procesos térmicos
+
Aplicación de procesos tecnológicos
=
Materiales de alto desempeño

MERCADOS DEMANDA APLICACIONES DE HIERRO

Energía



Electromagnetismo



Médico

Automotriz, ~ 1000 piezas/auto
9 millones automóvil/año



Aeroespacial



defensa



Bienes de consumo

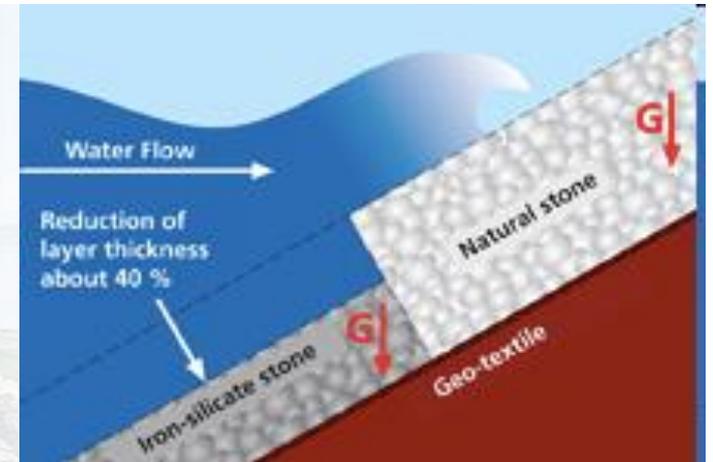


EXPERIENCIA INTERNACIONAL: OTROS USOS



- > USO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION,
- PROTECCION DE LECHOS FLUVIALES, PUERTOS Y SECTORES COSTEROS

Ello requiere de clasificación por tamaño, previo a su uso.
Tiene ventajas por la densidad diferente a otros tipo de rocas.



<http://www.aurubis.com/>

**EXPERIENCIA
INTERNACIONAL:
OTROS USOS**



**Universidad
Andrés Bello**

Uso de de rocas hierro-silicatadas en la construcción de carreteras

Ventajas:

Buena capacidad al tráfico pesado

Buena resistencia a las bajas temperaturas

Buena permeabilidad al agua

<http://www.aurubis.com/>



**EXPERIENCIA
INTERNACIONAL:
OTROS USOS**



**Universidad
Andrés Bello**

Otras areas de aplicación de las escorias hierro-silicatadas



Desarrollo urbano:

>Las rocas hierro-silicatas ofrecen ventajas en el diseño de la construcción urbana y rural.

<http://www.aurubis.com/>

Conference on Steel and Society, Osaka, Japan, June 4-6, 2000

**EXPERIENCIA
INTERNACIONAL:
OTROS USOS**

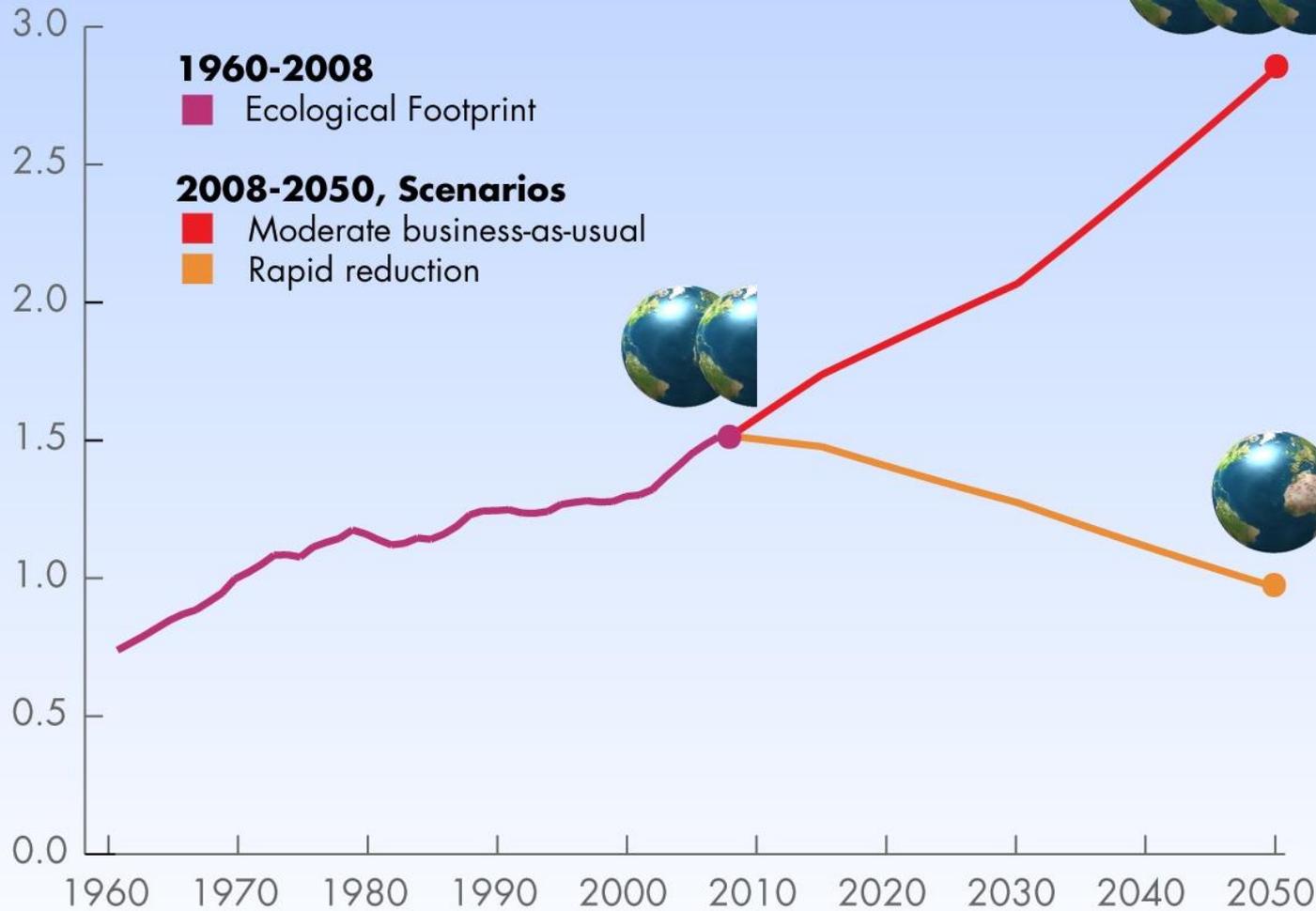


Usar 1 m³ de escoria hierro-silicatada
equivale a utilizar 1.4 m³ de roca natural
→ impacto positivo al medio ambiente.

La Huella Ecológica: Límites Planetarios



Universidad
Andrés Bello



y-axis: number of planet earths, x-axis: years



Universidad
Andrés Bello®
CONECTAR · INNOVAR · LIDERAR

Postgrados

INSPIRA

LIDERA
DIFERÉNCIATE HOY

DIPLOMADO EN ECONOMÍA CIRCULAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

Más información en: postgradounab.cl

DIPLOMADO ECONOMIA CIRCULAR (160 hrs)

1.- CONCEPTOS ECONOMICOS

2.- PROCESOS INDUSTRIALES

**3.- RECONVERSION DE DESARROLLOS
LINEALES A CIRCULARES**

**4.- CASOS CUANTIFICABLES EN LA
INDUSTRIA PRIMARIA Y SECUNDARIA**

INFORMACION:

postgradounab.cl



Universidad
Andrés Bello

TALLER ONLINE - Avances en la Cuantificación y Evaluación de
Recursos Artificiales (depósitos de Relaves, Escorias, Ripios, otros)

📅 12 de mayo, 2021 ⌚ de 9:00 a 12:30 horas

Caracterización y valorización de escorias de cobre: una propuesta que agrega valor al negocio metalúrgico

MARIO SANCHEZ
mario.sanchez@unab.cl

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO