



# TEMAS RELEVANTES DESDE LA INGENIERÍA DE PROCESOS

## OBJETIVO

Presentar los aspectos a considerar durante la exploración de un proyecto con minerales lixiviables.

## ALCANCE

- Minerales Oxidados.
- Mixtos con sulfuros secundarios
- Sulfuros Secundarios
- ¿Presencia de Primarios?

## PROBLEMAS DURANTE LA ETAPA DE EXPLORACIÓN:

- Cuerpo mineralizado aún no bien determinado.
- Disponibilidad de muestras
- Representatividad de las muestras.

## CONDICION:

- Muestras en cantidad limitada y no representativa, que debe procesarse pulverizadas.

## CONCLUSIONES:

- Las respuestas sólo indicarán una tendencia.
- El real valor de la metalurgia estará en la detección de los problemas a resolver más adelante.

# CONTRIBUCIONES DE LA METALURGIA EN ESTA ETAPA

## DEPENDE DEL CONTEXTO:

- **Si se requiere una primera aproximación:**

Bastan simples test de lixiviabilidad, para determinar tendencias de comportamiento y detectar los problemas a resolver.

- **Si necesita una aproximación más precisa:**

Entonces se requieren análisis y determinaciones más completas para determinar tendencias de comportamiento y los problemas deben detectarse y además ensayar las soluciones, para aplicarlas al disponer de muestras representativas válidas.

# LOS ENSAYOS RECOMENDABLES EN UNA PRIMERA APROXIMACIÓN

- **Caracterización química completa y determinación de la densidad real:**  
Determina analíticamente: Cobre total, Hierro, Aluminio, Magnesio y otros;  
p.ej.: calcita, metales nobles y otros.
- **Es conveniente un análisis de barrido ICP**  
Determina semi-cuantitativamente los cationes presentes y avisa la presencia de elementos convenientes e indeseables.
- **Pruebas de Lixiviación Iso-pH**  
Para evaluar las lixiviaciones de cobre e impurezas y consumos de ácido en lixiviaciones en botella de mineral en distintos escenarios de pH.

# LOS ENSAYOS RECOMENDABLES EN UNA APROXIMACIÓN MÁS PRECISA

Dependen del metalurgista. Los ensayos que en TERRAL se consideran necesarios y sus argumentos son:

## PRUEBAS BÁSICAS :

- **Humedad natural y de Impregnación**  
Para determinar el rango aporte de líquido tolerable en algunas pruebas y las pérdidas finales por impregnación.
- **Caracterización química completa y determinación de la densidad real.**
- **Análisis de barrido ICP**

## PRUEBAS BÁSICAS:

### - **Análisis Mineralógico (Óptico o por DRX)**

Por especialistas independientes o instituciones que cuentan con los equipos necesarios. Advierte sobre:

- Especies de mineral y ganga presentes
- Todo tipo de asociaciones entre las especies
- Orienta sobre las solubilidades de las especies que aportan cobre, impurezas y consumo de ácido.
- Presencia de interferentes

### - **Prueba End Point**

Lixiviación de la muestra con reactivos en secuencia de intensidad creciente:

***Acido débil => Acido fuerte => Acido Férrico => Cianuro => Agua regia***

La prueba valida las solubilidades de cobre e impurezas y consumidores estimadas desde la mineralogía.

## PRUEBAS BÁSICAS:

### - **Detección de arcillas Intercambiadoras Iónicas en el mineral**

Frecuentemente los minerales contienen arcillas que intercambian sus iones por los de cobre en las soluciones ricas y los fijan como un insoluble difícil de rescatar.

Prueba de contacto entre soluciones valoradas y finos del mineral para advertir sobre su presencia relativa y La capacidad de deprimir cobre, en términos de potencial de pérdida de recuperación :

### - **Detección de Reductores en el mineral**

Análogamente los minerales contienen especies reductoras que precipitan cobre desde las soluciones ricas, el que es difícil de rescatar.

Prueba de contacto entre soluciones valoradas y finos separados del mineral para evaluar la pérdida de cobre desde la solución de referencia a varios pH, su capacidad de afectar la recuperación y el ambiente de pH en que actúan. Esta prueba advierte sobre:



## PRUEBAS BÁSICAS:

### - Pruebas de Dosis de Oxidante

La oxidación favorece la lixiviación de sulfuros, “óxidos negros” e inhibe a los interferentes.

Esta prueba compara las recuperaciones y consumos de lixiviaciones en botella de mineral a varias dosis para establecer la más conveniente.

### - Pruebas de Lixiviación Iso-pH

El consumo de ácido es al mismo tiempo función del aporte de ácido al mineral y modifica las recuperaciones de cobre y disoluciones de impurezas.

La prueba compara las recuperaciones, disoluciones y consumos de lixiviaciones en botella de mineral en distintos escenarios de pH, en una prueba estandarizada.

## PRUEBAS BÁSICAS:

### - Pruebas de dosis de ácido en curado

Por razones cinéticas y de percolabilidad del lecho se acostumbra agregar parte del ácido previo a la lixiviación. Esta prueba compara las recuperaciones y consumos de mineral tratado con distintas dosis de ácido, para establecer la más conveniente de aplicar al mineral para las pruebas siguientes.

## CONCEPTO DE LAS PRUEBAS MODELADAS:

- En las Pruebas Básicas se ha recolectado una buena base de datos respecto del mineral y de su comportamiento.
- Ahora se debe combinar esa información según una estrategia proyectada de lixiviación del mineral.
- Esa estrategia se debe verificar en pruebas, para medir sus desviaciones y adoptar las correcciones, si son necesarias, en una prueba siguiente.

**La regla de oro de las pruebas metalúrgicas es que se debe ensayar lo que se va a hacer. Dado que lo que se va a hacer aún no se sabe, se inicia un proceso de tanteo iterativo entre cálculos y pruebas.**

## LA MODELACIÓN DE LAS PRUEBAS

La conciliación de la información se efectúa por modelación de una prueba en botella, la que está condicionada por:

- La recuperación de cobre, consumo de ácido y disolución de impurezas de la prueba Iso-pH adoptada como referencia.
- Las concentraciones de cobre, ácido e impurezas establecidas previamente como objetivos a obtener en el PLS.
- El arreglo de un circuito de lixiviación con recirculación de PLS al riego, eventualmente re-acidulado.
- El balance de masas de una planta completa, que refleja el ingreso de soluciones de otros sectores de la planta a la lixiviación, p. ej.: del descarte de electrolito.
- Las dosis de ácido en curado y de oxidantes deducidos de las pruebas básicas.
- El balance de masas ajusta las disoluciones observadas de impurezas y los aportes de ácido deducidos de las pruebas básicas.

## LIXIVIACIÓN EN BOTELLAS MODELADAS:

- Aplica soluciones artificiales preparadas con las concentraciones deducidas del balance de masas.
- Las cantidades de soluciones artificiales representan las razones de riego del balance para lograr las concentraciones objetivo en el PLS.
- Se aplican las soluciones de riego y se recogen y analizan las soluciones obtenidas.
- La desviación entre las soluciones reales obtenidas y las artificiales calculadas, refleja el grado de control obtenido sobre el proceso.

## COMENTARIOS GENERALES

### **LAS LIMITACIONES ASOCIADAS A PRUEBAS EN BOTELLAS SE ASOCIAN A LA ALTA LIBERACION:**

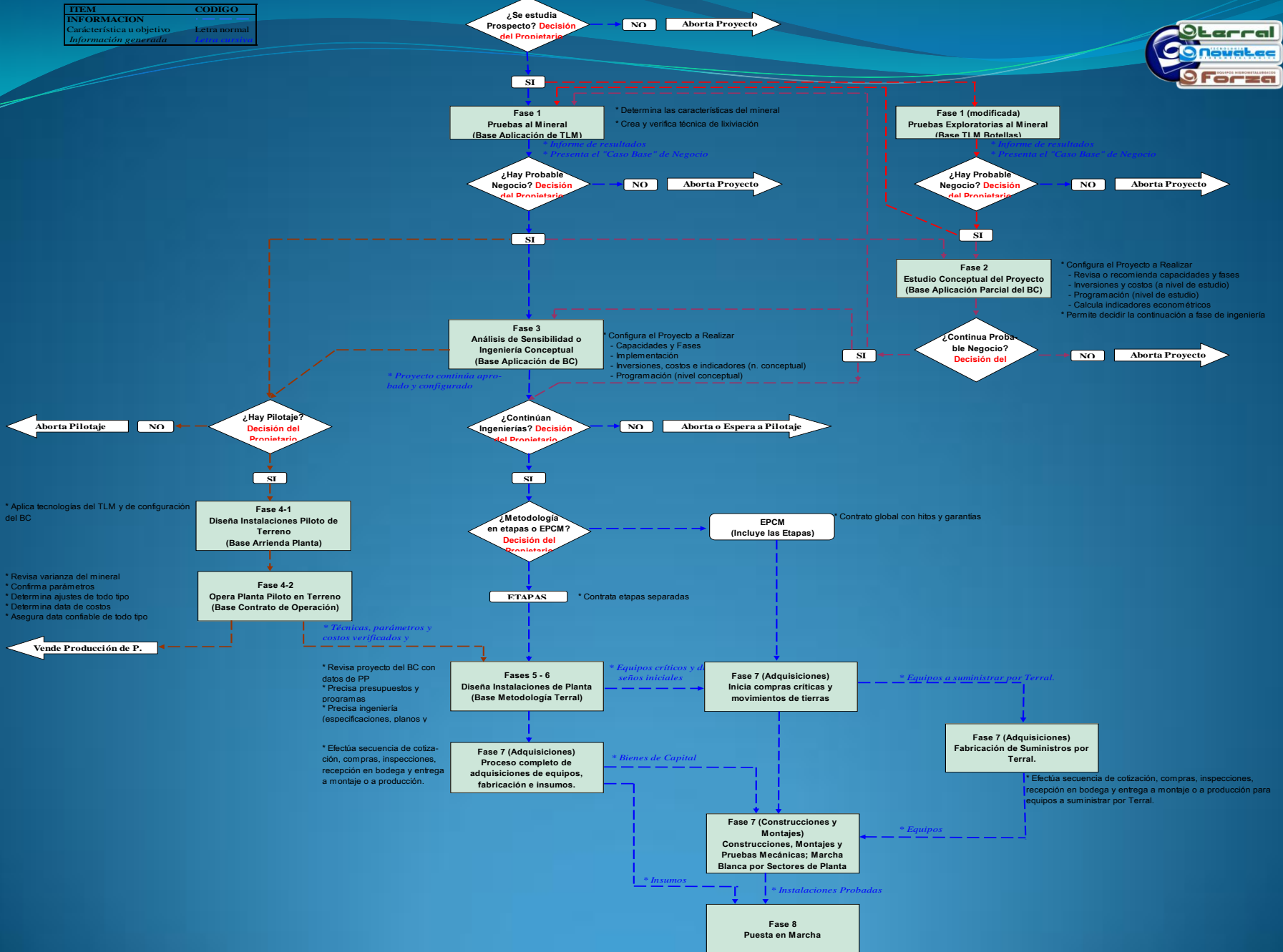
1. Esta favorece la recuperación de cobre y la disolución de impurezas y el consumo de ácido.
2. Por lo tanto los resultados solo representan tendencias proporcionales y sin indicaciones sobre la cinética de la lixiviación .
3. Impide aplicar algunos “trucos” para disminuir el consumo de ácido, p. ej.: el bloqueo cinético del consumo de ácido por la calcita.
4. Se puede rastrear independientemente el comportamiento de cada una de las especies, para recomponer matemáticamente el comportamiento de otras proporciones distintas y soslayar la falta de representatividad de su proporción en las muestras disponibles.

# COMENTARIOS GENERALES

## LAS VENTAJAS ASOCIADAS A LAS PRUEBAS EN BOTELLAS SON:

1. Si refleja el grado de control de la lixiviación alcanzado por la metalurgia, para establecer objetivos cumplibles de recuperación, consumo de ácido y concentraciones del PLS.
2. Refleja el grado de inhibición de los “interferentes” logrado por las metodologías.
3. Define el grado de control sobre las variables de la lixiviación para adoptar otras condiciones objetivo.
4. Proporciona información para los primeros diseños tentativos de planta y cálculos de inversiones y costos de operación.

ITEM	CODIGO
INFORMACION	Letra normal
Característica u objetivo	Letra normal
Información generada	Letra normal





## CONCLUSIONES

- Una aproximación más precisa del comportamiento del mineral conviene cuando la magnitud del recurso detectado ya justifica elaborar el proyecto industrial .
- La magnitud del recurso que podría justificar el avance a elaborar el proyecto industrial depende obviamente de las combinaciones de:
  - Precio del cobre
  - Inversiones necesarias y costos de producción esperables
  - Tecnologías de producción
- Dado que existen Tecnologías de Precipitación Limpia que se justifican económicamente para producciones basadas en un recurso de entre 150.000 y 500.000 toneladas, a los precios actuales del cobre, puede pensarse en iniciar operaciones una vez alcanzado ese moderado límite, para que el proyecto inmediatamente adquiera flujos de caja para continuar las exploraciones.