



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**PROCESO HIDROMETALÚRGICO PARA
RECUPERACION DE BISMUTO APARTIR DE
CONCENTRADOS DE PLANTA DE POLVOS Y
EFLUENTES.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

PRESENTA:

PORFIRIO PÉREZ GALVÁN

**DIRECTOR: Dr. GUILLERMO DEL CARMEN TIBURCIO
MUNIVE.**

CO-DIRECTOR: Dr. JESÚS L. VALENZUELAGARCIA.

Hermosillo, Sonora

mayo del 2022

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

APROBACION DEL JURADO

de la tesis presentada por:

Porfirio Pérez Galván

Esta tesis ha sido revisada por cada uno de los miembros del Jurado y por mayoría de votos la han encontrado satisfactoria.

11/03/2022

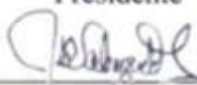
Fecha



Dr. Guillermo del Carmen Tiburcio Munive
Presidente

11/03/2022


Fecha



Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García
Secretario

11/03/2022


Fecha



Dra. Ofelia del Carmen Hernández Negrete
Vocal

11/03/2022

Fecha



M.C. Ana Elizabeth Serma Ibarra
Sinodal Externo



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

AUTORIZACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO

4 de Abril de 2022.

Por medio de la presente se hace constar que el estudiante **PORFIRIO PÉREZ GALVÁN**, ha cumplido satisfactoriamente con los requisitos académicos correspondientes para la realización del Examen de grado del programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería.

DR. ABRAHAM ROGELIO MARTIN GARCÍA

COORDINADOR DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA:
INGENIERÍA QUÍMICA

Resumen

Ante el inminente cambio en las leyes de los concentrados de sulfuros de cobre que se procesan en el Complejo Metalúrgico “La Caridad”, se han observado disminución del contenido de cobre y a su vez el incrementado de elementos considerados como impurezas, estos elementos son considerados como indeseables dentro del proceso de obtención de cobre, ya que afectan las propiedades físicas, químicas y eléctricas, además de generar un castigo económico en el mercado de los productos finales como cobre anódico, cobre catódico, alambrón de cobre y ácido sulfúrico comercial, por lo que son elementos no deseados en su matriz. Sin embargo, estos elementos al igual que el cobre, son muy importantes para diversos procesos en diferentes industrias como la del zinc, plomo, etcétera pues constituyen la materia prima para su proceso, por ello es importante que las industrias metalúrgicas volteen a ver a los subproductos que se generan, y buscar alternativas de tratamiento de estos a fin de obtener productos comerciales, logrando así un beneficio ecológico y económico para la empresa. Tal es el caso del elemento bismuto, el cual se ha observado incremento considerable en los concentrados, además este elemento tiene valor comercial que se podría aprovechar y así consecuentemente podría permitir controlar la calidad química de otros subproductos generados en la empresa, particularmente la calidad del sulfato de Plomo producido en la Planta de Polvos y Efluentes (PTPE).

Abstract

Given the imminent change in the grade of the copper sulfide concentrates that are processed in the "La Caridad" Metallurgical Complex, a decrease in the copper content has been observed and, in turn, the increase in elements considered as impurities, these elements are considered as undesirable within the process of obtaining copper, since they affect the physical, chemical and electrical properties, in addition to generating an economic punishment in the market of the final products such as anodic copper, cathodic copper and copper rod, for which they are elements not desired in your matrix. However, these elements, are as important as copper for various processes in different industries such as zinc, lead, etc., since they constitute the raw material for their process, which is why it is important that the metallurgical industries turn to see the by-products that are generated, and look for treatment alternatives for these in order to obtain commercial products, thus achieving an ecological and economic benefit for the company. Such is the case of the element bismuth, which has been observed to increase considerably in concentrates. In addition, this element has a commercial value that could be used and, consequently, could allow control of the chemical quality of other by-products generated in the company, particularly the quality of the Lead sulfate produced at the Dust and Effluent Plant (PTPE).

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza y un poco de su inmensa sabiduría para enfrentar los obstáculos que se presentan día a día, además de brindarme las oportunidades para seguir creciendo como persona.

A mi padre(†) Juan Pérez Gonzales, que aún que lo tuve poco tiempo, siempre me dio buen ejemplo con su comportamiento, además de los valores que sembró en mí forjaron mi carácter de superación.

A mi madre Gloria Galván Saldaña(†), por su sencillez, tenacidad y coraje para sacar adelante a ocho hijos.

Con cariño a mi tía Herminia Pérez Gonzalez (†) que siempre considere como una madre por su apoyo en todo momento, y mis hermanos José Luis (†), José (†), Alejandra (†), Rosalio, Rogelio, Martha y Domitila, por brindarme su apoyo y tener siempre para mí una frase de superación

A Norma Angelica Piña Griego, mi compañera, amiga y esposa que con su amor me fortalece a seguir adelante para alcanzar mis metas, aunado a su paciencia, hace nuestro camino más fácil y agradable.

A mi hija Gloria Angelica Pérez Piña, que desde el momento que supe de su llegada es el motor especial en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	V
ABSTRACT	V
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS	XIII
CAPÍTULO 1	17
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	17
Introducción	17
Justificación.....	18
Objetivo general	19
Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO 2.....	20
ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	20
Revisión Bibliográfica.....	20
Breve historia del Complejo Metalúrgico.	20
Etapa de Fusión Primaria.....	22

Etapa de Conversión.	23
Balance de impurezas	26
Procesos de producción.	27
Análisis Termodinámico.	28
Diagrama de Pourbaix	29
Características de los diagramas de Pourbaix	31
Determinación de cuando se formará un precipitado en una solución	32
Aplicación de Oxiclورو de Bismuto BiOCl.	34
CAPÍTULO 3	36
MATERIALES Y MÉTODOS	36
Materiales y equipos	36
Metodología	37
Técnicas de caracterización de material	37
Diagrama de flujo para obtener BiClO	38
Propiedades Físicas del Concentrado de Plomo (sulfato de plomo)	39
Caracterización de la materia prima	41
Pruebas lixiviación nivel laboratorio, con diferentes concentraciones de H₂SO₄ y NaCl	44
Consumo de reactivo y análisis de efluente producido.	44
Parámetros a controlar	44

Procedimiento	45
Caracterización del concentrado de Bismuto	46
Estudios de caracterización mineralógica de muestras de polvos del Convertidor Teniente. .	47
Estudio de caracterización mineralógica de muestras de polvos de los convertidores Peirce Smith.....	50
CAPÍTULO 4.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	52
Concentración de Ácido sulfúrico – Cloruro de sodio.....	52
Variación de porcentaje de sólidos.	54
Precipitación de compuesto de Bismuto con agua de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTARI).....	57
Medición de pH Y mV en soluciones de lixiviación de Bismuto.	62
pH vs potencial en función del porcentaje de sólidos.	63
Balance de recuperación de Bismuto	66
CAPÍTULO 5.....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
Conclusiones:.....	67
Recomendaciones:.....	69
CAPÍTULO 6.....	70

BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	73
Anexo A:.....	73
Anexo B:.....	75
Anexo C:.....	78

Lista de Figuras

Figura 1. Línea del tiempo de Metcob	21
Figura 2. Diagrama del sistema de limpieza de gases del proceso de fusión y conversión.	24
Figura 3. Proceso de oxidación de un metal.....	30
Figura 4. Diagrama de equilibrio Potencia –Ph para el sistema bismuto-agua a 25°C. (Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix).....	33
Figura 5. Diagrama de flujo para la producción de BiClO, a partir de polvos del ácido débil de Planta de Polvos y Efluentes (PTPE).....	38
Figura 6. Caracterización: PbSO ₄ 800 μm, en ella se observa que el elemento predominante es el Plomo.....	41
Figura 7. Caracterización puntual PbSO ₄ 80 μm en ella se continúa observando que el elemento predominante es el Plomo.	42
Figura 8. Análisis de la materia prima concentrado de sulfato de plomo, fuente, UNISON.	43
Figura 9. Concentrado de Bismuto (BiClO)	45
Figura 10. Caracterización del concentrado de bismuto, 800 μm en ella se observa que el elemento predominante es el bismuto, con algunos elementos como impurezas. ...	46
Figura 11. Recuperación de bismuto variando la concentración de NaCl vs tiempo de reacción.	53
Figura 12. Recuperación de Bi vs Pb lixiviado, variando únicamente la concentración de NaCl.....	54
Figura 13. Representa la recuperación de Bi usando como variable el % de sólidos, en ella se observa qué al incrementar el contenido de sólidos, se incrementa la concentración de bismuto en el electrolito, producto de la lixiviación.	55
Figura 14. Se observa que entre los valores 17% y 20% de sólidos, se obtiene la máxima lixiviación de bismuto y la mínima de iones Cl ⁻	57
Figura 15. Comportamiento de Cl ⁻ y Bi ²⁺ en el licor	59
Figura 16. Comportamiento de precipitación de BiClO en función a la relación de agua	60
Figura 17. Concentrado de Bismuto (BiClO).....	61

Figura 18. Calidad química del BiClO en función a la procedencia del agua utilizada en la precipitación.	62
Figura 19. Prueba con 15% de sólidos.	64
Figura 20. Prueba con 17% de sólidos.	64
Figura 21. Prueba con 20% de sólidos.	65
Figura 22. Prueba con 25% de sólidos.	65

Lista de Tablas

Tabla 1. Se observa la entrada de impurezas a través de insumos.....	25
Tabla 2. Se observa la calidad química de las corrientes principales de polvos metalúrgicos, enfocándose principalmente en impurezas.....	26
Tabla 3. Muestra un balance general de las principales impurezas y sus porcentajes en las diferentes corrientes del proceso, con respecto a un 100% de entradas de estos elementos en los principales insumos.	26
Tabla 4. Estudio granulométrico de la materia prima.....	39
Tabla 5. Calidad química del concentrado de sulfato de plomo.....	40
Tabla 6. Se observa la reconstrucción mineralógica de materia prima, se aprecian porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además la fórmula química ideal de cada mineral, los elementos de mayor abundancia observados son: Pb, O ₂ y S.....	41
Tabla 7. Reconstrucción mineralógica de la materia prima, donde se observa porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además las fórmulas químicas ideales de cada mineral.	42
Tabla 8. Se representan las variables a controlar en las pruebas, con sus respectivas unidades.	44
Tabla 9. Reconstrucción mineralógica del material producto, donde se observa porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además las fórmulas químicas ideales de cada mineral.....	46
Tabla 10. Análisis químicos.....	47
Tabla 11. Especies identificadas en microscopio electrónico de barrido.....	47
Tabla 12. Composiciones de especies de sulfatos de Pb. Obtenidas en MEB.	48
Tabla 13. Porcentaje de abundancia de las especies más comunes.....	48
Tabla 14. Análisis químicos.....	50
Tabla 15. Representa la concentración en el electrolito de bismuto y cloro, además de la cantidad de gramos precipitados de BiClO con la variación de relación agua – licor, como se muestra en la tabla.....	58
Tabla 16. Comparativo de calidad química de BiClO utilizando diferente calidad química y física de agua reutilizada en el complejo.	61

Tabla 17. Se observa el comportamiento de pH Y Potencial como una función de la concentración de Cl⁻ en los electrolitos obtenidos para las diferentes pruebas..... 63

Tabla 18. Balance metalúrgico de recuperación de concentrado de bismuto. 66

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo es un esfuerzo en el cual, participaron varias personas dedicándole tiempo en su lectura, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo para finalizar esta investigación, acompañándome en los momentos difíciles y también en los momentos agradables y de celebración.

Agradezco al Dr. Tiburcio Munive Guillermo del Carmen por haber aceptado ser el director de tesis, por su paciencia y apoyo durante el desarrollo de las actividades de esta investigación, sin olvidar la excelente asesoría que me brindo.

Al Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García y Dra. Ofelia del Carmen Hernández Negrete, por su apoyo, comentarios y sugerencias en cada revisión.

A la M.C Ana Elizabet Serna Ibarra, por dedicar tiempo a la revisión, darme sugerencias que me ayudaron a crecer profesionalmente.

Al Dr. Abraham Rogelio Martín García, por su apoyo en todo momento y darme la oportunidad de realizar mis estudios a distancia.

A mis maestros de la Universidad de Sonora, por compartir sus conocimientos y apoyo en todo momento

Desde luego no me iba a olvidar de la persona que todos los días molesto con permisos, revisión de reportes y que me ha apoyado durante mi estancia en la compañía, al Ing. José Maria Velázquez Valdez y más que un Jefe lo considero como un amigo, mil gracias por su apoyo.

Y por supuesto, agradezco a la compañía Metalúrgica de Cobre S.A de C.V con su gran líder Ing. Leopoldo Mariscal Samaniego, la oportunidad que me brinda de presentar este trabajo de investigación, y que ha sido mi segundo hogar, donde he estado laborando por veinticuatro años con lealtad, cariño y entregando todo mi profesionalismo. Me siento muy orgulloso de pertenecer a esta gran empresa y ahora mucho más por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en los departamentos de Ingeniería de Proceso e Investigación y Nuevos Procesos.

Nunca olvidar a esta gran y reconocida institución educativa como es la UNISON, agradezco a su personal académico y administrativo por apoyarme a alcanzar mi sueño, con orgullo de corazón de ser Búho.

A TODOS, MI RECONOCIMIENTO Y GRATITUD

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Introducción

Metalúrgica de Cobre S.A. de C.V. es un complejo metalúrgico dedicado al procesamiento de concentrados de cobre para la elaboración de productos tales como, Cobre electro-refinado, Alambre de Cobre, Oro y Plata fina, Selenio, Teluro, Platino, Paladio, ácido sulfúrico y sulfato de plomo. Sus principales fuentes de suministro de mineral son la mina de Buena Vista del Cobre y La Caridad en Sonora, México, con aproximadamente el 95% de participación total. Mientras que la otra parte, consiste en concentrados complejos y subproductos ricos en cobre y metales preciosos con un alto contenido de impurezas, derivados de los procesos de zinc y plomo, correspondientes a la planta de zinc de IMMSA en San Luis Potosí y Peñoles en Torreón Coahuila.

La necesidad de incorporar estos materiales al proceso de producción de cobre precisó de modificar los procedimientos operativos para la formación de las mezclas de concentrados en ambas unidades de fundición primaria. Sin embargo, con esta modificación, la eliminación de impurezas a través de procesos de fundición primaria y conversión no fue suficiente, y es por esto que se implementó el uso de purgas de impurezas en diferentes etapas del proceso de producción de cobre.

La composición química de los polvos de purgas ha mostrado tener un gran impacto en el proceso de refinación, así como en la calidad del producto final de cobre, ya que cuando los polvos recuperados de las purgas se incluyeron en el procesamiento de la mezcla de concentrados, las impurezas se incrementaron y saturaron de nuevo al sistema, por tal motivo se incrementa la cantidad de este material en el almacén.

Siendo así necesario diseñar un proceso de tratamiento de polvos, en donde sea posible aprovechar algunas de las impurezas presentes y así evitar su incorporación al sistema de producción de ánodos evitando la contaminación de nuestros productos.

De manera particular, se plantea el aprovechamiento del bismuto pues este metal se encuentra en altas concentraciones en las corrientes de impurezas, y además en la actualidad tiene un atractivo y alto valor comercial, otro punto importante a mencionar es que este elemento se está incrementando ligeramente, pero en forma constante en las unidades mineras de mayor aportación de concentrado al complejo metalúrgico.

Justificación

En la actualidad los concentrados de cobre y materiales de otros procesos que se procesan en el Complejo Metalúrgico “La Caridad” han incrementado el contenido de elementos considerados como impurezas, estos elementos son indeseables ya que afectan las propiedades físicas, químicas y eléctricas del cobre final ya sea cobre refinado o alambrón de Cobre. Sin embargo, son elementos que al igual que al cobre, aportan valor, además de ser muy importantes para diversos procesos en diferentes industrias, tal es el caso del Bismuto, el cual tiene valor comercial que se podría aprovechar y así consecuentemente podría permitir controlar, calidad del concentrado de Plomo producido en la PTPE (planta de tratamiento de polvos y efluentes).

Objetivo general

Determinar un proceso de aprovechamiento del Bismuto como subproducto de concentrado de Plomo obtenido de purgas del procesamiento de minerales de cobre.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las corrientes principales donde se encuentra las especies mineralógicas de este elemento.
- Analizar el comportamiento de lixiviación batch a partir de concentrado de plomo producto del tratamiento de polvos metalúrgicos.
- Estudiar el efecto de la concentración de cloruro de sodio en la lixiviación de bismuto a diferentes porcentajes de sólidos.
- Analizar el pH y potencial REDOX en la lixiviación de bismuto.
- Determinar el pH y potencial REDOX en la Precipitación de Oxidocloruro de Bismuto.
- Determinar el efecto de la solución y calidad del agua para lograr la precipitación de Oxidocloruro de Bismuto.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Revisión Bibliográfica

Actualmente y a nivel mundial, debido a la sobre explotación de los yacimientos de minerales los concentrados de cobre están presentando cambios en su mineralogía, de manera que los elementos con valor, como en el caso del cobre, han disminuido su ley, mientras que el contenido de elementos considerados como impurezas se ha incrementado notablemente (Flash smelting congress 2014; archivos MetCob). Durante la fusión de estos concentrados y por la naturaleza de los diversos hornos de fusión primaria y conversión se generan como subproductos polvos metalúrgicos, los cuales advengan la mayoría de elementos considerados impurezas, por tal motivo se tiene la necesidad de purgarlos del proceso ya que generaran un problema de contaminación a productos y subproductos.

Breve historia del Complejo Metalúrgico.

El 6 de junio de 1986 se inicia operaciones la Fundición de cobre en el Complejo Metalúrgico La Caridad, con capacidad de producción de 180,000 TPA de cobre anódico, al inicio se contaba con un Horno de Fusión Instantánea de cuatro quemadores (HFI) tecnología finlandesa Outokumpu. En 1997 se llevó a cabo una expansión con el objetivo de incrementar la capacidad de producción de 180,000 a 300,000 TPA de cobre anódico. Para este propósito fue instalado una segunda unidad de fusión primaria, eligiéndose por su versatilidad el Convertidor Teniente, tecnología chilena, siendo el responsable de este proyecto Consorcio Indec.

Así también en 1997 se puso en marcha de la refinería electrolítica de Cobre con una capacidad de 300,000 TPA de cobre catódico y en 1998 la Planta de alambión inicio sus operaciones para para producir 150,000 TPA de alambión de cobre (8 mm de diámetro). En 1999 la Planta de Metales Preciosos empieza su operación con una capacidad de 90,000 Onzas de Oro, 16 millones de onzas de Plata y 125 ton de Selenio por año. Finalmente, la puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Polvos y Efluentes fue en el año 2009, con el fin de procesar todos los polvos generados como subproducto proveniente de los Convertidores Peirce Smith y Convertidor Teniente; así como también la purga de Plantas de Ácido.

En septiembre de 2013 con un gran desafío, no sólo para modernizar el HFI, inicio el reemplazo de los cuatro antiguos quemadores por un solo quemador de la tecnología más avanzada, también de tecnología finlandesa. Se realizaron muchos cambios estructurales para adaptar el nuevo horno, no sólo fue renovarlo, sino también para llevar a cabo modificaciones importantes en toda la línea de alimentación y de manejo de gases del HFI.

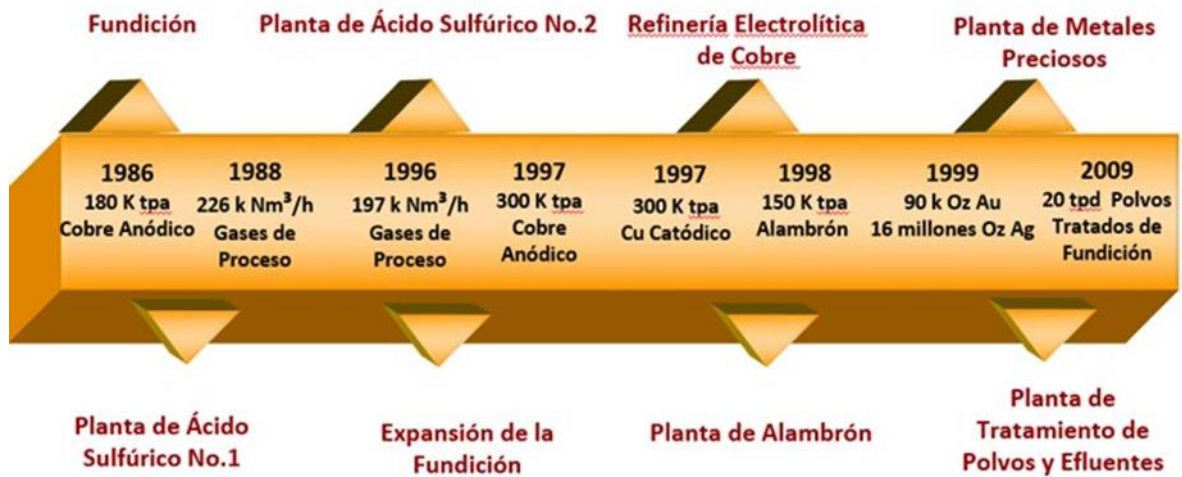


Figura 1. Línea del tiempo de Metcob

Etapa de Fusión Primaria.

Polvos de Horno Flash (HFI): el HFI de tecnología Finlandesa, es alimentado con concentrado seco (0.2% de humedad), fundente, polvos metalúrgicos y carga fría del mismo proceso (para mantener el balance térmico), además carga fría de otros procesos para compensar metales con valor, en esta etapa se generan tres corrientes importantes mata (65%Cu), escoria y gases con polvos, los gases están formados principalmente de dióxido de azufre de alta concentración (23 -25%SO₂, pero que a través de los sistemas de limpieza son diluidos), los polvos que los acompaña tiene que ser separados antes de que lleguen a las plantas de ácido sulfúrico, para lograr este objetivo, se cuenta con dos importantes equipos. La mezcla gas-polvos pasan a través de una CRC (caldera recuperadora de calor constituida por paredes de tubos) donde la mayor parte de estos polvos son precipitados por el cambio brusco de velocidad y temperatura, posteriormente esta corriente aún con polvos pasa a través de dos PCE's (precipitadores electrostáticos) secos, donde las partículas de polvos más finas son eléctricamente cargadas y depositadas en unas placas de acero y por medio de un sistema de golpeo precipitan, los gases aún con una ligera cantidad de polvos llegan a una cámara de mezcla donde se unen con los gases generados en el RT y CPS. Los polvos que fueron atrapados serán recirculados al mismo horno, se considera que el 6% de la alimentación de concentrados corresponde a polvo metalúrgico generados y recirculados en este equipo para así mantener el balance.

Polvos del Convertidor Teniente (CT): El RT de tecnología chilena, esta tecnología utiliza el proceso continuo de fusión–conversión que de acuerdo con la forma de alimentar el concentrado se divide en dos procesos:

Proceso Convencional: Consiste en la conversión de cualquier mata a metal blanco, primeramente, es alimentada la mata, el concentrado húmedo y material frío son alimentados continuamente a través de un pasaje llamado garr-gun, acompañados de fundente y polvos recuperados del mismo proceso.

Proceso Autógeno: consiste en la inyección de concentrado seco con 0.2% de humedad por toberas de inyección y alimentación continua de concentrado húmedo y material frío por el Gar-Gun, además de fundente y polvos.

En esta etapa de igual forma se genera tres corrientes, metal blanco (71%Cu), escoria y una corriente de gas-polvos, la corriente de gases y polvos pasa a una cámara de enfriamiento donde es espreada con agua, la finalidad es precipitar los polvos por el cambio brusco de temperatura y velocidad, posteriormente pasan a través de un PCE (precipitador electrostático) tipo cottrell, los polvos que son recuperados en la cámara de enfriamiento son recirculados al RT, mientras que los polvos recuperados en el cottrell salen del sistema y son enviados a una tolva móvil y transportados a la PTPE (planta de polvos y efluentes), los gases con una cantidad mínima de polvos llegan a la cámara de mezcla con los gases del HI, por diseño se considera una generación del 1% en base a la alimentación de concentrado.

Etapa de Conversión.

Polvos de los convertidores Pierce Smith (CPS): En esta etapa se tiene tres CPS, la alimentación a estos equipos es mata generada en el HFI y hornos eléctricos, metal blanco del CT, fundente, carga fría y polvos de alta densidad; al igual que en los equipos de fusión primaria, se genera una corriente de gas y polvo durante la etapa de conversión de la mata a cobre blíster o ampollado, esta mezcla de gas y polvos pasan a través de una cámara de enfriamiento tipo scruber donde son espreados a contracorriente con agua, la finalidad es disminuir la temperatura y atrapar los polvos de mayor densidad, posteriormente esta corriente pasa a través de un PCE donde se recuperara la mayor parte de los polvos, los polvos atrapados en la cámara de enfriamiento son recirculados a los CPS.

Los polvos que fueron atrapados en el PCE (precipitador electrostático), son mezclados con los polvos del CT y son enviados a una tolva móvil y posteriormente transportados

a la PTPE, una pequeña cantidad es arrastrada en la corriente de gases hacia la cámara de mezcla donde se encontraran las tres corrientes de gases (HI, RT y CPS) formando una sola corriente y continuara su camino hacia las plantas de ácido sulfúrico.

Una pequeña cantidad de polvos que no fue atrapada en los sistemas de limpieza son arrastrados por la corriente de gases metalúrgicos hasta el área de acondicionamiento y limpieza de gases en el área de planta de ácido, esta corriente de gases y polvos es recibida en dos torres de enfriamiento donde son esparcidos con agua para su limpieza y disminuir temperatura, dando como resultado una nueva corriente formada de agua y polvos, lo que pasa a formar un efluente conocido como ácido débil, mismo que también es enviado a la PTPE (planta de tratamiento de polvos y efluentes), mientras que los gases ya más limpios siguen su camino para formar ácido sulfúrico producto.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo que describe estas corrientes.

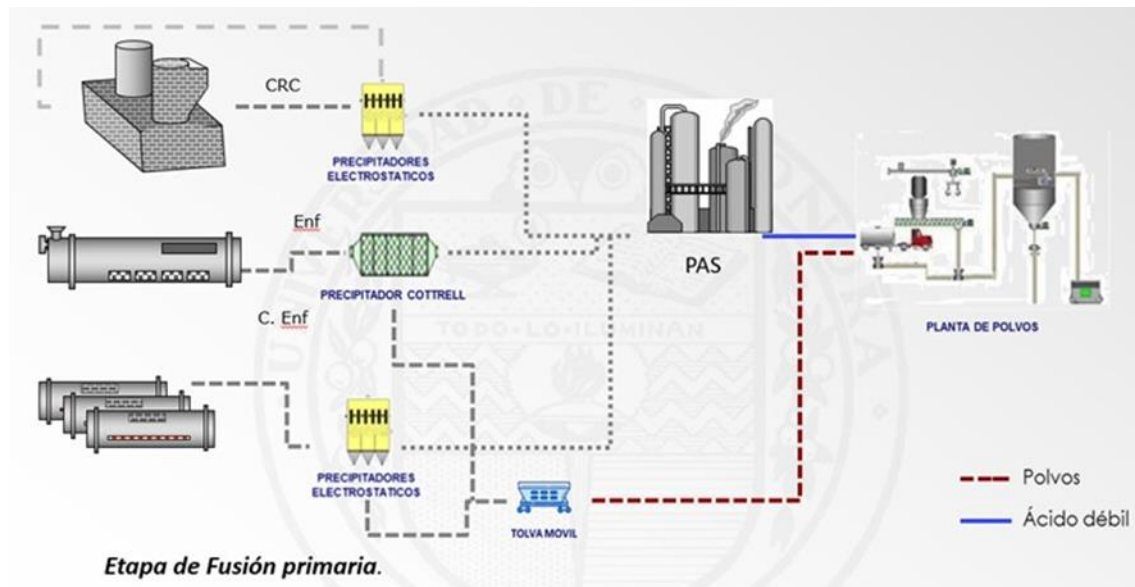


Figura 2. Diagrama del sistema de limpieza de gases del proceso de fusión y conversión.

Actualmente contamos con dos tipos de polvos metalúrgicos de características físicas y químicas diferentes, los generados por:

HFI: polvos de color marrón y negro, con una densidad de 1 ton/m³ en promedio, estos en su mayoría son recuperados en la caldera recuperadora de calor y en los precipitadores electrostáticos y son recirculados al mismo HFI.

CT: polvos de color blanco ostión, con densidad de 0.5 ton/m³ promedio, con 43.8 ° ángulo de reposo, en su mayoría son recuperados en el precipitador cottrell y enviados a la planta de tratamiento de polvos y efluentes a través de una tolva móvil.

CPS: polvos entre blanco ostión y negro, con densidad de 2 ton/m³ promedio. 33.5° de ángulo de reposo, en su mayoría son recuperados en un precipitador electrostático, en ocasiones se mezclan con los polvos del CT y enviados a la planta de polvos y efluentes a través de una tolva móvil.

En la tabla 1 y 2 se observa la calidad química de los Insumos procesados y la calidad química de los polvos metalúrgico de las distintas fuentes, respectivamente.

Tabla 1. Se observa la entrada de impurezas a través de insumos.

Corriente/elemento	%Cu	%Pb	%Zn	%As	%Sb	%Bi	%Se	%Te
Concentrado 1	24.22	0.147	1.15	0.081	0.021	0.026	0.026	0.009
Concentrado 2	23.96	0.336	3.45	0.215	0.044	0.022	0.026	0.009
Concentrado 3	29.74	9.47	1.94	0.036	0.014	0.092	0.012	0.033
Concentrado 4	25.87	2.33	10.22	0.100	0.139	0.563	0.089	0.016
Concentrado 5	17.69	9.88	8.64	1.471	0.574	0.202	0.050	0.010
Material 1	37.76	25.58	0.88	4.102	0.713	0.086	0.927	0.233
Material 2	0.43	9.95	4.03	0.073	0.104	0.071	0.019	0.007
Material 3	56.19	2.48	3.69	5.99	0.059	0.014	0.005	0.002

Fuente, biblioteca digital INP, Metcob.

Tabla 2. Se observa la calidad química de las corrientes principales de polvos metalúrgicos, enfocándose principalmente en impurezas.

Corriente/elemento	%Cu	%Pb	%Zn	%As	%Sb	%Bi	%Se	%Te
Polvos CT	5.37	18.48	15.47	2.93	0.92	1.22	0.12	0.043
Polvos CPS	11.92	16.41	17.11	6.41	0.72	3.85	0.16	0.036
Lodos en ácido débil	NA	35.44	NA	2.13	0.19	6.09	0.81	0.040
Sulfato de Plomo	4.85	36.19	0.652	1.27	0.39	5.38	0.21	0.072
Lodos de la fosa II	NA	9.02	NA	0.76	0.16	3.72	NA	NA

Fuente, biblioteca digital INP, Metcob.

Balance de impurezas

Tabla 3. Muestra un balance general de las principales impurezas y sus porcentajes en las diferentes corrientes del proceso, con respecto a un 100% de entradas de estos elementos en los principales insumos.

	%As	%Sb	%Bi	%Pb	%Zn
Polvos de ZnO	1.04	12.10	1.60	6.98	12.05
Cobre Anódico	26.06	21.13	12.74	2.10	0.16
Escoria Final	20.61	38.80	13.76	58.26	77.42
Polvos CT-CPS	12.30	10.14	39.07	13.61	3.57
Ácido débil	30.95	13.40	25.58	5.20	1.32
Otros	9.04	4.43	7.25	13.85	5.48
Total	100	100	100	100	100

Fuente, biblioteca digital INP, Metcob.

Procesos de producción.

El bismuto, es el elemento más metálico y el menos abundante de los elementos del grupo del nitrógeno (Grupo 15[VA] de la tabla periódica). El número atómico de este elemento es 83, su peso atómico es de 208.980 uma, entre sus propiedades físicas tenemos: Es un material denso (9.747 g/cm^3), tiene una estructura cristalina rombohedral y su grupo espacial es R3m, es duro, quebradizo, lustroso (con brillo metálico, su punto de fusión es de 271.3°C y su punto de ebullición de 1560°C . Se distingue de todos los demás metales por su color gris-blanco con un matiz rojizo. El bismuto en su forma mineral se encuentra formando óxidos y sulfuros complejos con otros metales como Cu, Pb, Zn entre otros, ya sea en minerales, polvos de procesamiento y escorias de fundición. Es uno de los pocos metales que se expanden al solidificarse. Su conductividad térmica es menor que la de cualquier otro metal, con excepción del mercurio.

El bismuto forma rápidamente una película de óxido a temperaturas superiores a su punto de fusión, y se inflama al llegar al rojo formando el óxido amarillo, Bi_2O_3 . En casi todos los compuestos de bismuto está en forma trivalente y pentavalente. Entre los compuestos más importantes del bismuto son: El Bismutato de sodio NaBiO_3 , el pentafluoruro de Bismuto BiF_5 y el oxiclورو de Bismuto BiClO . son posiblemente los compuestos más importantes.

El Bismuto y algunos de sus compuestos tienen un alto valor comercial debido a sus múltiples aplicaciones, que van desde las medicinales, de pigmentos, metalurgia, de cosmetología, catalíticas entre otros.

Existen varios métodos que permiten concentrar y refinarlo a partir de diferentes especies mineralógicas de los polvos metalúrgicos.

Procesos Pirometalúrgicos: De los métodos de refinación más conocidos se encuentra el de separación del bismuto del plomo por el proceso de Betterton-Kroll que implica la formación de bismuto de calcio o magnesio de alta fusión (Ca_3Bi_2 o Mg_3Bi_2), mediante su separación o eliminación como escoria. La escoria puede ser clorada para eliminar el magnesio o el calcio, y finalmente el plomo arrastrado. El posterior tratamiento con hidróxido de sodio producirá entonces Bismuto de alta pureza. (Xing et al, 2019).

Proceso de electrorefinación: Otro método alternativo de separación es el proceso electrolítico Betts, que consiste en la deposición de plomo electrolítico en cátodos (desde ánodos de plomo con impurezas y entre ellas el Bismuto) utilizando como medio una solución de ácido fluosilícico H_2SiF_6 libre y fluosilicato de plomo PbSiF_6 , el Bismuto se precipita en lodos anódicos, los cuales son tratados por lixiviación con HCl concentrado para posteriormente recuperar el bismuto.

Sin embargo, la variación de las fuentes de mineral de cobre, y la preparación de las mezclas de concentrado para fundición, hace que las impurezas de los polvos de las purgas del proceso de refinación sean muy particulares. Por lo que, el proceso de recuperación a partir de estos polvos requerirá de ajustes que permitan optimizar la pureza del compuesto.

Análisis Termodinámico.

Este análisis se fundamenta principalmente en los diagramas Eh-pH, los cuales muestran las áreas de estabilidad de las diferentes especies en función del potencial de hidrogeno (pH) y el potencial electroquímico (Eh), con referencia al electrodo estándar de hidrogeno, de cualquier sistema dado. Estos sistemas han sido utilizados ampliamente para intentar comprender el comportamiento de las especies en los estudios de corrosión, geoquímica, procesamiento de minerales e hidrometalurgia.

Diagrama de Pourbaix

Los diagramas potencial-pH, también conocidos como diagramas de Pourbaix, son representaciones gráficas de la estabilidad de un metal y sus productos de corrosión en función del potencial y el pH (acidez o alcalinidad) de la solución acuosa. Tales diagramas se construyen a partir de cálculos termodinámicos basados en la ecuación de Nernst y los datos de solubilidad de diversos compuestos metálicos, muestran tres zonas bien definidas: una zona de inmunidad, donde el metal permanece en forma metálica; una zona de corrosión, donde el metal pasa a una forma iónica; y una zona pasiva donde el metal forma capas de productos con el Oxígeno y el Hidrógeno, que podrían inhibir el proceso corrosivo. Tales diagramas pueden ser utilizados para predecir la dirección espontánea de reacciones, estimar la estabilidad y la composición de los productos de corrosión y predecir los cambios ambientales que eviten o reduzcan la corrosión. Es importante destacar las limitaciones en el uso de estos diagramas, los cuales representan solo condiciones de equilibrio y por lo tanto no predicen la velocidad de una reacción. Por otra parte, el supuesto tácito de que los productos de corrosión (óxidos, hidróxidos, etc.) pueden conducir a la pasividad, no siempre es cierto; además la posibilidad de precipitación de otros iones como cloruros, sulfatos y fosfatos, ha sido ignorada. Aún con las limitaciones de los diagramas de Pourbaix, los mismos pueden ser usados como una ayuda práctica en el diseño de experimentos adecuados para la predicción de la corrosión. Los investigadores han discutido en detalle cómo estos diagramas se pueden conectar con el mundo real y una conclusión importante fue que mientras todos los componentes significativos para el proceso de corrosión se incluyan en el cálculo, se obtendrá una indicación razonable que puede obtenerse mediante una medida real del pH o del potencial de corrosión comparado con lo calculado en los esquemas teóricos. En vista de lo anterior, este trabajo recopila investigaciones que incluyen cálculos termodinámicos que implican la construcción de diagramas de Pourbaix para los casos donde se adicionan compuestos o iones que modifican los diagramas simples Metal-H₂O, lo cual permite su comparación y establecer su efecto sobre las zonas del diagrama donde el material esta inmune, se pasiva o se corroe

Fue creado por el químico Ruso Marcel Pourbaix (1904-1998) En el año 1963 publica "Atlas of Electrochemical Equilibria", éste contenía el diagrama de Pourbaix de todos los elementos conocidos en esa época. También es conocido como diagrama Eh-PH

Fundamento de la precipitación: La precipitación de un metal en un electrolito es básicamente una reacción electroquímica. Se produce una reacción de oxidación y una de reducción junto a la circulación de iones a través del electrolito.

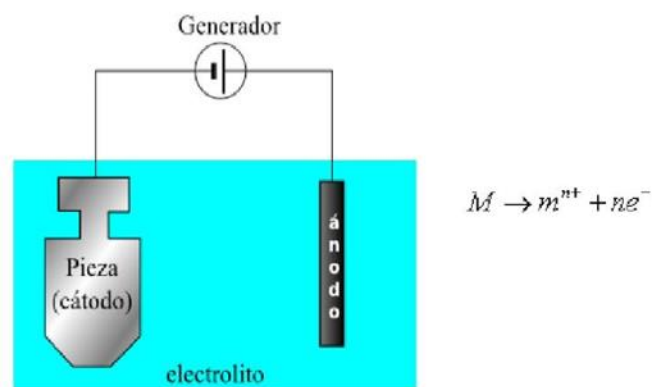


Figura 3. Proceso de oxidación de un metal.

Características de los diagramas de Pourbaix

Existen tres tipos generales de líneas en los diagramas de Pourbaix, cada una representa un equilibrio entre dos especies:

- Líneas horizontales. Indican reacciones con dependencia solamente del potencial.
- Líneas verticales. Indican reacciones con dependencia solamente del pH.
- Líneas oblicuas. Indican reacciones con dependencia tanto del potencial como del pH.

También puedes observar que estos tres tipos de líneas aparecen representadas en el diagrama con dos tipos de trazado: continuo y discontinuo fino. Si aparecen con trazado continuo indican un equilibrio bien entre dos especies sólidas o bien entre una especie sólida y una especie soluble con distintos valores de actividad (10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} y 100). Si aparecen con trazado discontinuo fino indican un equilibrio entre dos especies solubles. Por último, verás que en los diagramas aparecen dos líneas discontinuas gruesas señaladas como “a” y “b”, que representan el equilibrio de descomposición del agua con desprendimiento de oxígeno e hidrógeno, respectivamente. La región entre las dos líneas representa una zona donde el agua es estable con respecto al oxígeno y al hidrógeno. Por encima de la línea “a” (condiciones oxidantes), el agua se descompone por desprenderse oxígeno en forma de gas. Por debajo de la línea “b” (condiciones reductoras), el agua se descompone por desaparecer los protones en forma de hidrógeno gaseoso.

Es importante recordar que, cuando un elemento pierde electrones se oxida, para que exista esa oxidación debe existir un oxidante que capta esos electrones. cuando un elemento gana electrones se reduce, para que exista esa reducción debe existir un reductor.

Ejemplos: $\text{Bi}^{2+} + 3 \text{e}^- = \text{Bi}^0$. (Reducción del Bi^{2+}). En este caso el Bi^{2+} se redujo pasando a Bi metálico. El Bi^0 sería el reductor del sistema. $\text{Bi}^0 = \text{Bi}^{2+} + 2\text{e}^-$ (Oxidación del Bi^0) En

este caso el Bi^0 se oxidó, ya que perdió electrones pasando a Bi^{2+} (estado más oxidado). El oxidante del sistema sería Bi^{2+} .

para la construcción de los diagramas, el estado más oxidado (oxidante del sistema) siempre se va a dar para valores mayores al potencial Eh de equilibrio.

Determinación de cuando se formará un precipitado en una solución

Una solución saturada es aquella en que el soluto sin disolver se encuentra en equilibrio dinámico con la solución. Esta es precisamente la situación en la se aplica Kps. En otras palabras, una solución saturada existirá sólo cuando el producto iónico, el producto de las concentraciones de los iones disueltos elevado cada uno a su potencia apropiada, sea exactamente igual a la Kps. Cuando el producto iónico es menor que la Kps, la solución no se encuentra saturada, debido a que habría que disolver más sal a fin de elevar las concentraciones hasta el punto en el cual el producto iónico es igual a Kps. Por otra parte, cuando producto iónico es mayor que la Kps, existirá una solución supersaturada debido a que una parte de la sal tendrá que precipitarse a fin de bajar la concentración para que el producto iónico sea de nuevo igual a Kps.

Solo se formará un precipitado en una solución cuando la mezcla esté sobresaturada. Por consiguiente, se puede utilizar el valor del producto iónico en una solución para saber si se formará o no un precipitado. En resumen, se observa que:

- Insaturada Producto iónico < Kps No se formará precipitado.
- Saturada Producto ionico = Kps
- Sobresaturada Producto iónico > Kps Se formará un precipitado

Por lo tanto, en nuestro caso bajo este esquema precipitará la sal de BiClO con diluyendo la solución acuosa que contiene Bi^{2+} y Cl^- como lo predice el diagrama de Pourbaix.

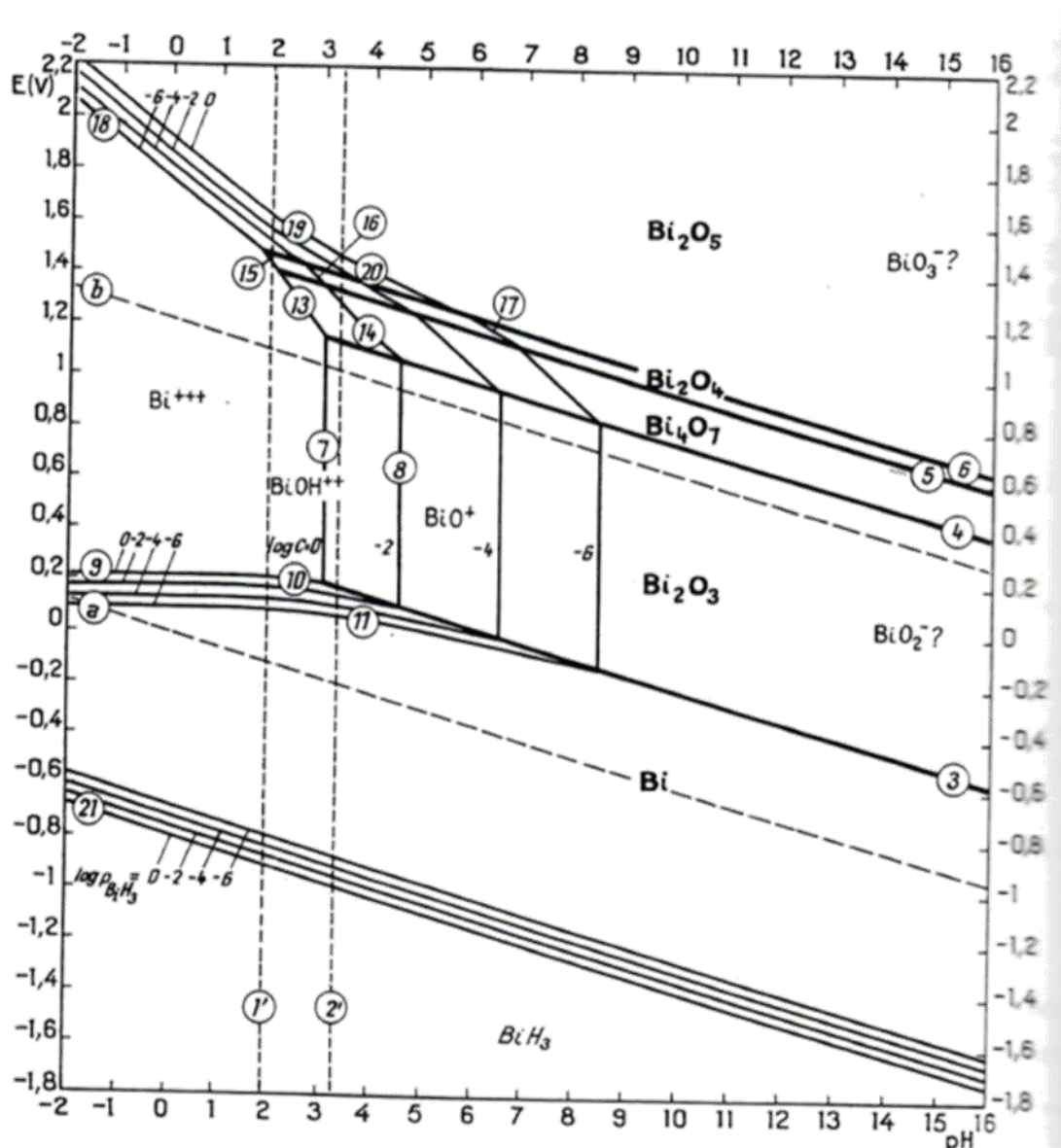


Figura 4. Diagrama de equilibrio Potencia -Ph para el sistema bismuto-agua a 25°C. (Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Marcel Pourbaix)

Aplicación de Oxiclورو de Bismuto BiOCl.

Cosméticos y pigmentos

El oxiclورو de bismuto suele utilizarse en la industria de los cosméticos, debido a que presenta diversas características, proporcionan un color intenso y brillo satinado. Su gran capacidad de adherencia a la piel lo hace ideal para cualquier aplicación en cosmética de color. Pigmentos presentes de BiOCl predispersado en nitrocelulosa que brindan brillo nacarado y permite una compatibilidad perfecta con las formulaciones de esmaltes y barnices para uñas, entre otras aplicaciones.

Farmacéutica

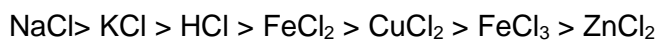
Su principal uso es en la industria farmacéutica, de la cual se obtiene compuesto que son usados para la elaboración de medicamentos antidiarreicos, uno de los productos más conocidos es el famoso antidiarreico Pepto-Bismol. El bismuto es un ingrediente en algunos productos farmacéuticos, aunque el uso de algunas de estas sustancias está disminuyendo.

Catalizadores

Actualmente, existe mucho interés en el desarrollo de mejores catalizadores para la remoción de metales pesados de efluentes contaminados procedentes de varias industrias. El BiClO ha sido ampliamente estudiado como un posible fotocatalizador BiClO ya que este ha mostrado ser un mejor fotodegradador bajo luz ultravioleta, superando al actualmente utilizado a nivel comercial óxido de titanio TiO_2 (o bien P25, dióxido de titanio puro, de partículas finas, de humo hidrofílico que se utiliza como catalizador. Ofrece estabilidad química y térmica, mejora de las propiedades de envejecimiento a alta temperatura e impacto positivo en la protección contra la inflamabilidad. Aeroxide® TiO_2 P 25 se utiliza en selladores).

Como ya se ha mencionado, en el proceso de refinación de cobre en Metalúrgica de Cobre S.A. de C.V, el tipo de impurezas encontradas en los polvos de las purgas son muy específicas. Se realizará un análisis de tamaño de partículas, de especies mineralógicas para conocer las especies que componen al polvo de las purgas, así como su respectivo contenido, de cada corriente del proceso, así como de los productos y subproductos.

Dentro de los agentes lixiviantes que se utilizan se encuentra el ácido sulfúrico H_2SO_4 y el cloruro de sodio NaCl dado a su fácil disponibilidad y bajo costo comparado con otras alternativas similares. El NaCl tiene un alta constante de disociación ya que el ion Cl^- provee una alta actividad iónica comparando con otras sales/ácidos (T.K Hatl et al.) de la siguiente manera:



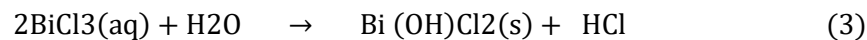
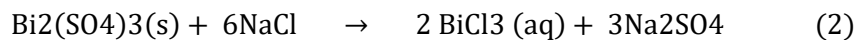
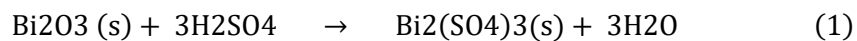
Además, para nuestro estudio se utilizará NaCl comercial.

CAPÍTULO 3

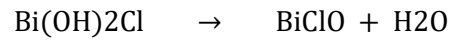
MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y equipos

Debido a la alta concentración de Cu y Pb en los polvos metalúrgicos, es recomendable que nuestra materia prima sea el polvo que acompaña el ácido débil que es generado en las PAS (Plantas de ácido sulfúrico), ya que es la corriente con mayor contenido en bismuto en el complejo. Considerando lo anterior, el proceso propuesto comenzará con una disolución de valores de Cu, en ácido sulfúrico H_2SO_4 . Para la obtención del $BiClO$ se realizará una disolución acida con H_2SO_4 de acuerdo con la ecuación 1 con sus diferentes parámetros de concentración de acidez libre, así como la variación de la relación liquido-sólido o porcentajes de sólidos, tiempos de contacto. Posteriormente, se realizará un tratamiento en NaCl de acuerdo con la ecuación 2. Para formar el complejo $BiClO$, se seguirá un proceso bajo las siguientes semi-reacciones: a pH cercanos a 5 se puede precipitar el bismuto como $BiClO$ de la siguiente manera:



Se puede tener pérdida de agua de acuerdo a la siguiente reacción:



Metodología

Se utilizó como materia prima polvo contenido en ácido débil, el cual viaja hacia la PTPE proveniente de ambas plantas de ácido sulfúrico y que son el producto de la limpieza de gases de SO₂ en la torre de acondicionamiento de ambas plantas de ácido, además se realizaron pruebas con diferentes corrientes de polvos metalúrgicos que contienen bismuto, dando resultados positivo, por lo tanto, la aplicación de esta metodología es eficiente para la obtención de un concentrado de bismuto de calidad química comercial.

Técnicas de caracterización de material

Para la caracterización de nuestra materia prima, se utilizó las siguientes técnicas.

1. Análisis químico del mineral
 2. Microscopia electrónica de barrido,
 3. Difracción de rayos X
- caracterización morfológica, estructura y química de los polvos de purgas.
 - caracterización morfológica, estructural y química de polvo obtenido BiClO.

Diagrama de flujo para obtener BiClO

En la figura 5, se observa el diagrama de flujo propuesto para la obtención de Oxiclورو de Bismuto, este diagrama fue utilizado en diversas pruebas utilizando polvos de diferentes fuentes que contienen bismuto.

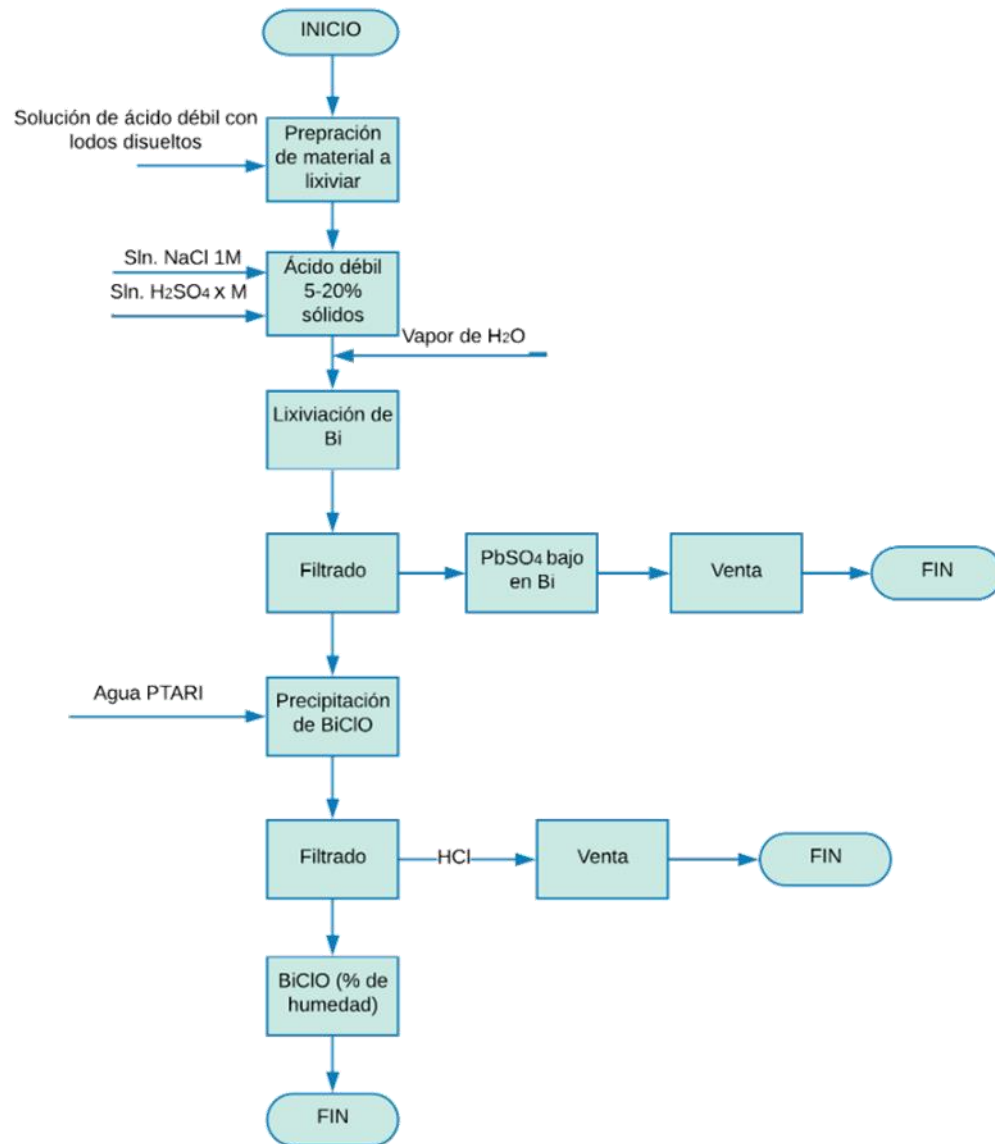


Figura 5. Diagrama de flujo para la producción de BiClO, a partir de polvos del ácido débil de Planta de Polvos y Efluentes (PTPE).

Propiedades Físicas del Concentrado de Plomo (sulfato de plomo)

Este concentrado obtenido del ácido débil, se observa de color gris, con tamaño de partícula entre 40 a 50 mallas y más uniforme, de peso ligero en comparación con el concentrado de cobre residual obtenido en la misma planta.

Propiedades físicas:

- Densidad: 6.29 ton/m³ promedio.
- Acidez: 5.92 gr/l de H₂SO₄ promedio.
- pH: 4.45 promedio.

Tabla 4. Estudio granulométrico de la materia prima

Concentrado de Plomo			
Malla	Gramos Retenidos	% Retenido	% Acumulado
40	833	77.2	77.2
50	56	5.2	82.4
60	38	3.5	85.9
70	4	0.4	86.3
80	13	1.2	87.5
100	16	1.5	89
140	22	2	91
200	25	2.3	93.3
270	20	1.9	95.2
325	33	3.1	98.2
Fondo	19	1.8	100
Total	1,079		

Fuente, sala de preparación de muestras, Metcob.

Es importante comentar que la calidad química de la materia prima depende de la calidad química del concentrado a procesar, en la siguiente tabla se muestra la calidad química de la materia prima el año donde se realizaron la mayoría de las pruebas de recuperación de oxiclورو de bismuto.

Tabla 5. Calidad química del concentrado de sulfato de plomo

Elemento	% Pb	% Cu	% As	% Sb	% Bi	% Se	% Te	ppm Hg
Enero	54.69	4.00	0.57	0.2	2.51	0.16	0.03	465
Febrero	54.19	2.37	0.52	0.35	2.39	0.20	0.04	579
Marzo	55.54	1.71	0.66	0.32	2.9	0.20	0.05	544
Abril	54.07	3.00	0.86	0.41	3.24	0.19	0.06	414
Mayo	52.46	3.32	1.02	0.45	3.44	0.22	0.07	481
Junio	52.61	3.58	1.39	0.36	5.09	0.26	0.08	501
Julio	53.5	3.62	1.21	0.31	5.02	0.31	0.09	674
Agosto	56.46	3.74	0.87	0.25	3.09	0.26	0.09	656
Septiembre	55.80	3.46	1.21	0.41	3.75	0.23	0.07	505
Octubre	59.95	2.43	0.75	0.28	2.60	0.32	0.07	528
Noviembre	56.77	2.11	1.13	0.45	3.49	0.37	0.05	393
Diciembre	59.46	1.28	0.92	0.56	2.40	0.23	0.03	550
Promedio	55.71	2.88	0.93	0.36	3.33	0.25	0.06	524

Fuente, Laboratorio central, Metcob.

Caracterización de la materia prima

En la siguiente **figura 6**, correspondiente al sulfato de plomo utilizado en las pruebas, se observa el área seleccionada para su caracterización, además el respectivo espectro, el cual muestra los elementos más abundantes

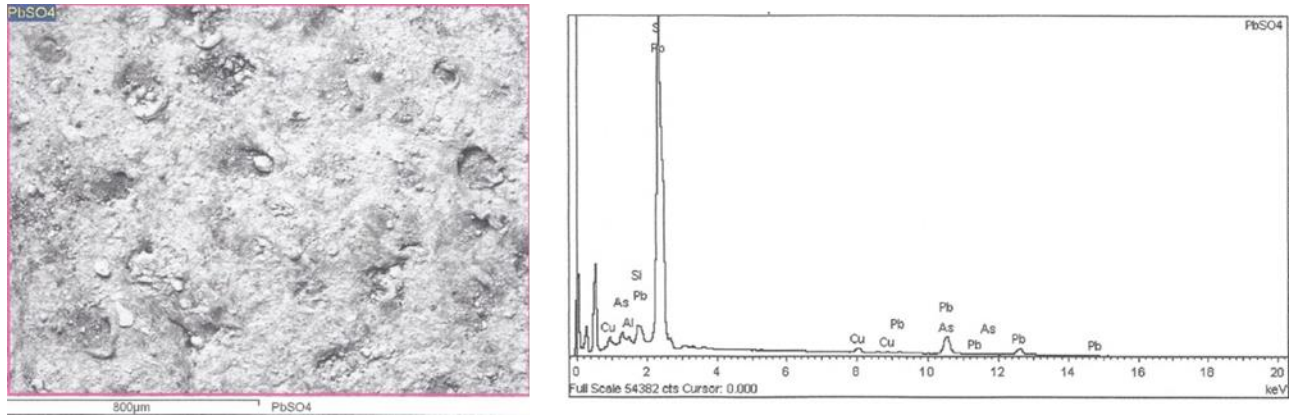


Figura 6. Caracterización: PbSO_4 800 μm , en ella se observa que el elemento predominante es el Plomo.

Tabla 6. Se observa la reconstrucción mineralógica de materia prima, se aprecian porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además la fórmula química ideal de cada mineral, los elementos de mayor abundancia observados son: Pb, O_2 y S.

PBSO4

Element	Weight%	Compd%	Formula
Al	0.44	0.84	Al_2O_3
Si	1.37	2.93	SiO_2
S	10.01	24.99	SO_3
Cu	2.31	2.89	CuO
As	1.77	2.33	As_2O_3
Pb	61.29	66.03	PbO
O	22.81		
Totals	100.00		

Fuente, Resultado del análisis por SEM, laboratorio del departamento de metalurgia de la UNISON.

Se realizó un segundo análisis, siendo ahora más puntual, **Figura 7**.

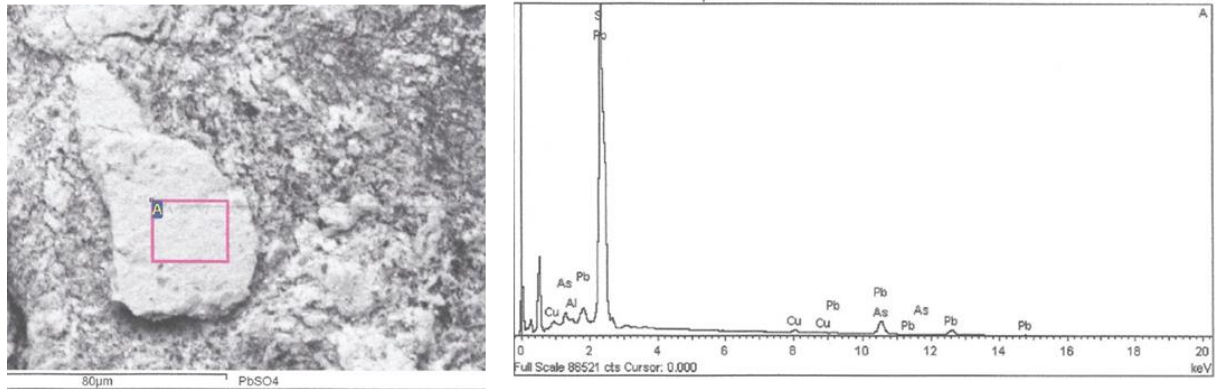


Figura 7. Caracterización puntual PbSO_4 80 μm en ella se continúa observando que el elemento predominante es el Plomo.

Tabla 7. Reconstrucción mineralógica de la materia prima, donde se observa porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además las formulas químicas ideales de cada mineral.

PBSO4 A

Element	Weight%	Compd%	Formula
Al	0.36	0.69	Al_2O_3
S	10.45	26.10	SO_3
Cu	1.22	1.53	CuO
As	1.91	2.52	As_2O_3
Pb	64.20	69.16	PbO
O	21.85		
Totals	100.00		

Fuente, laboratorio del departamento de metalurgia de la UNISON.

Figura 8, se observa el análisis por difracción de Rx. de la materia prima, se logra observar el plomo como elemento de mayor presencia y abundancia.

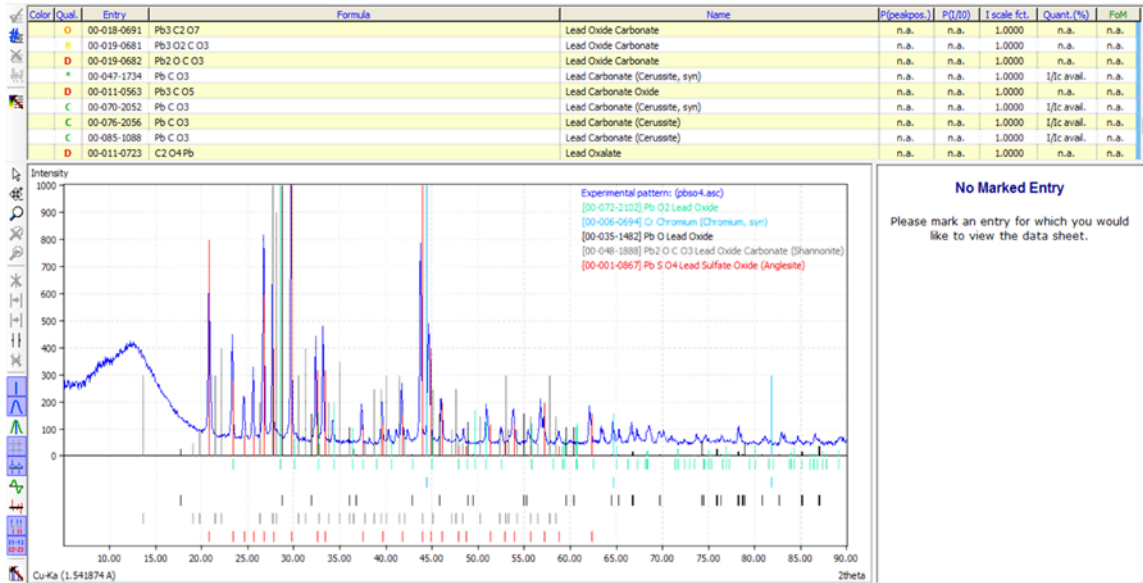


Figura 8. Análisis de la materia prima concentrado de sulfato de plomo, fuente, UNISON.

Observaciones en la caracterización de la materia prima:

- Se aprecian partículas de CuO características del avance del proceso del cobre
- Se observan especies del elemento abundante PbO, PbSO₄.
- También se detectan partículas de silicatos de plomo y ligeramente de cobre.
- El espectro por difracción de rayos X, muestra un pico sobresaliente de Pb y S correspondiente a la Anglesita.

Pruebas lixiviación nivel laboratorio, con diferentes concentraciones de H_2SO_4 y NaCl

- Determinar la cantidad de acidez libre y potencial redox (mV)
- Efecto del pH en la solución de lixiviación.

Consumo de reactivo y análisis de efluente producido.

Parámetros a controlar

Tabla 8. Se representan las variables a controlar en las pruebas, con sus respectivas unidades.

Concentraciones	Molaridad (M)
Cantidades de reactivos	T, Kg, g.
Tiempo de lixiviación	hr., min.
Agitación	rpm.
Temperatura	°C
pH	0 – 2
Volumen de agua residual	m ³
Relación:	L – S

Procedimiento

A continuación, se muestran el procedimiento general que se utilizó para realizar estas pruebas, modificando únicamente las variables que se mencionan en cada caso:

1. Preparar una solución de ácido sulfúrico – Cloruro de sodio, de concentración conocida mezclarlas y llevarla a una temperatura de 60-65 °C.
2. Adicionar el porcentaje requerido de sólidos a lixiviar y dejar en agitación un determinado tiempo, la agitación esta en base a las partículas en suspensión.
3. Posteriormente decantar la solución inicial de lixiviación, la cual es la solución rica en bismuto.
4. A la solución inicial se le adicionarán ocho partes de agua para llevar a cabo el precipitado de bismuto que se busca, se dejará decantar y se separará el material del efluente final.
5. El precipitado es secado y pesado para su respectivo análisis químico.

Este precipitado es de color amarillo debido a los elementos presentes en el compuesto, además del proceso de obtención.



Figura 9. Concentrado de Bismuto (BiClO)

Caracterización del concentrado de Bismuto

En la siguiente figura 10, corresponde al concentrado de bismuto obtenido de las diferentes pruebas, se observa el área seleccionada para su caracterización, además el respectivo espectro, el cual muestra los elementos de mayor abundancia.

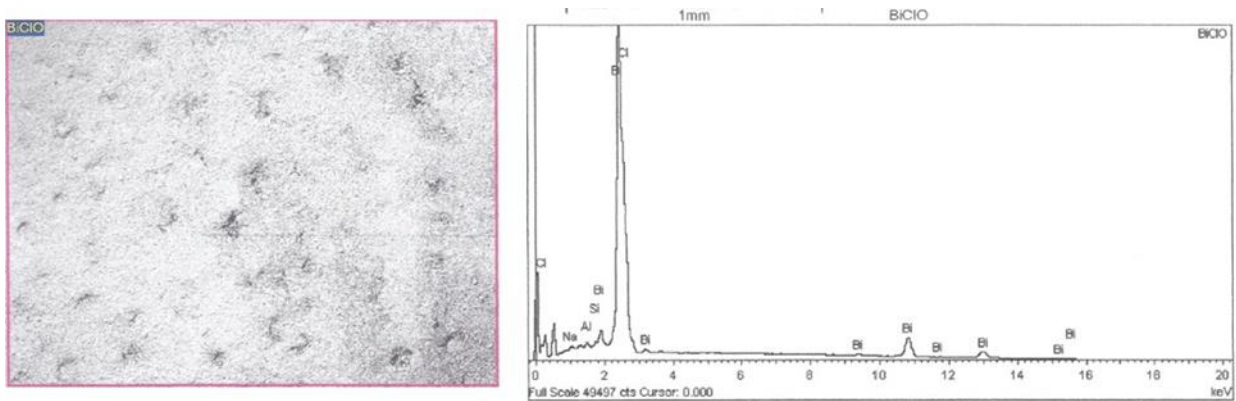


Figura 10. Caracterización del concentrado de bismuto, 800 μm en ella se observa que el elemento predominante es el bismuto, con algunos elementos como impurezas.

Tabla 9. Reconstrucción mineralógica del material producto, donde se observa porcentajes calculados a partir de los análisis químicos, considerando además las formulas químicas ideales de cada mineral

BICLO

Element	Weight%	Compd%	Formula
Na	0.61	0.82	Na ₂ O
Al	0.42	0.79	Al ₂ O ₃
Si	0.29	0.63	SiO ₂
Cl	11.67	0.00	
Bi	77.23	86.10	Bi ₂ O ₃
O	9.79		
Totals	100.00		

Fuente, laboratorio del departamento de metalurgia de la UNISON.

Estudios de caracterización mineralógica de muestras de polvos del Convertidor Teniente.

La muestra presenta una cantidad importante de sulfato de plomo, muchos de los cuales analizan contenidos de Cu, As y Zn. El estudio de difracción de rayos X reporta como la principal especie la anglesita que corrobora lo analizado en el MEB. En menores cantidades se encontró sulfuro de cobre, y sulfuros de Cu-Fe; los primeros con composición semejante a la calcocita y los segundos a calcopirita que son escasos. Hay menor cantidad de óxidos de hierro; cuando están libres, no toman forma esférica y se aprecian con aspecto de mineral. Se apreciaron especies de feldespatos de potasio que se adhiere a los sulfuros de cobre.

Tabla 10. Análisis químicos.

Muestra	g/t Au	g/t Ag	% Cu	% Pb	% Fe	% Zn	% As	% Sb	% Mo
Polvos Cottrell (RT)	1.88	369	25.0	13.9	5.9	8.9	1.94	0.10	0.930

Tabla 11. Especies identificadas en microscopio electrónico de barrido.

De hierro: Óxidos de hierro: FeOx	De plomo: Óxido de Pb/Cu, Zn,As (matriz)
De cobre: Sulfuro de Cu, Cu ₂ S Sulfuros de Cu, Fe	Ganga: Feldespatos de potasio

Tabla 12. Composiciones de especies de sulfatos de Pb. Obtenidas en MEB.

O	As	S	Fe	Cu	Pb
7.81	7.02	11.58	4.36	6.76	62.47
6.74	7.86	9.41	2.27	7.15	66.57
6.65	7.47	8.82	1.05	6.62	69.40

Tabla 13. Porcentaje de abundancia de las especies más comunes.

Sulfatos de Pb	70.00
Sulfatos de Cu	15.00
Sulfatos de Cu-Fe	5.00
Óxidos de Fe	4.00
Feldespatos de K	3.00
Óxidos Pb-Cu	3.00
	100

Observaciones:

- La muestra presenta una cantidad importante de sulfato de Pb, muchos de los cuales analizan contenidos de Cu, As y Zn en solución sólida y cuya variación en la composición se muestra en la tabla 12. Una cantidad menor de esta especie no reporta azufre.
- El estudio de difracción de rayos X reporta como la principal especie la anglesita que corrobora lo analizado en MEB.
- En menores cantidades se encontraron sulfuro de cobre y sulfuros de Cu-Fe ; los primeros con composición semejante a la calcocita y los segundos a la calcopirita.
- Los sulfuros de cobre presentan a menudo oclusiones e interrecimientos de óxidos de plomo, así como óxidos de hierro.
- Los sulfuros de cobre se aprecian en partículas de forma esférica, típica de productos de procesos.
- Hay menor cantidad de óxidos de hierro; cuando están libres, no toman formas esféricas y se aprecian con aspecto de mineral.
- También se aprecian especies de feldespatos de potasio que se adhieren a las partículas de cobre.

Estudio de caracterización mineralógica de muestras de polvos de los convertidores Peirce Smith

La mayor parte de la muestra está compuesta de partículas con una composición típica de calcocita, sin y con bajos contenidos de hierro en solución sólida; las cuales presentan formas esféricas que son características de productos de procesos, la muestra presenta además abundantes partículas amorfas que se aglomeran entre si o bien rodean a cuarzos y silicatos . estas especies analizan sulfatos de plomo con contenido de arsénico y cobre, otro tipo de especie muy común son los silicatos de Fe-Cu los cuales también se aprecian amorfos. Se detectaron en forma muy escasa oclusiones de sulfuros de plomo en tamaños menores de 1 micra ocluidos principalmente en especies tipo calcocita.

Análisis químico:

Se ensayó la muestra por los elementos más comunes. Los resultados se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Análisis químicos.

Muestra	g/t Au	g/t Ag	% Cu	% Pb	% Fe	% Zn	% As	% Sb	% Mo
Polvos Cottrell (RT)	2.72	503	48.1	5.61	1.34	1.4	1.15	0.13	0.045

Especies identificadas por difracción de rayos X.

El espectro obtenido, muestra una serie de picos que cubren altura hasta de 300 cps de intensidad que no corresponden a ninguna especie, sino que son efectos de un ruido característico de partículas amorfas que no presentan caracterización. Los picos que sobresalieron fueron los del tipo anglesita y silicatos de hierro; en menores cantidades se aprecian calcocita y cobre nativo.

Especies identificadas en el microscopio electrónico de barrido.

- Calcocita, Cu_2S
- Óxidos de cobre, CuO
- Cuarzo, SiO_2

Observaciones:

- La muestra presenta abundantes partículas que analizan composición típica de calcocita. Dichas partículas presentan formas esféricas que son características de productos de procesos. Es común observar oclusiones de sulfuros de plomo menores de 1micra en estas especies.

- Se aprecian partículas de cobre metálico de forma escasa.

- Otro tipo de partículas que se observan en forma de aglomerados amorfos que comúnmente rodean a las partículas de cuarzo. Estas especies analizan sulfatos de plomo, arsénico y zinc.

- También se detectaron abundantes partículas de silicatos de Fe-Cu y silicatos de plomo formando partículas amorfas sin aglomerarse.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación, se describen diferentes pruebas realizadas con variación de variables, así como los resultados obtenidos de cada una de estas pruebas.

Concentración de Ácido sulfúrico – Cloruro de sodio.

Se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de cloruro de sodio (NaCl), manteniendo la concentración de ácido sulfúrico (H₂SO₄) constante [1M], y de esta forma encontrar la concentración adecuada de cloruro de sodio que nos permita obtener la mejor recuperación de Bismuto, sin dejar iones Cl⁻ libres que puedan ocasionar daño a equipos y tubería por corrosión, y una posible formación de gas cloro (Cl₂), además, se tomaron alícuotas cada 30 minutos después de iniciar la lixiviación para evaluar el tiempo óptimo de agitación.

Las condiciones para las primeras pruebas realizadas son las siguientes:

- H₂SO₄ [1M].
- Temperatura = 60 - 65 °C.
- % de sólidos = 5%.
- Tiempo de agitación total = 90 minutos.

Las concentraciones de NaCl que fueron utilizadas en esta serie de pruebas son:

- 0.5 M
- 1 M
- 1.5 M

A continuación, se mencionan los resultados de estas pruebas:

La extracción de bismuto se realiza más rápido cuando utilizamos la concentración de 1.5 M de cloruro de sodio, pero a través del tiempo las líneas de las tres concentraciones de NaCl tienen a encontrarse, como se observa en la figura 11.

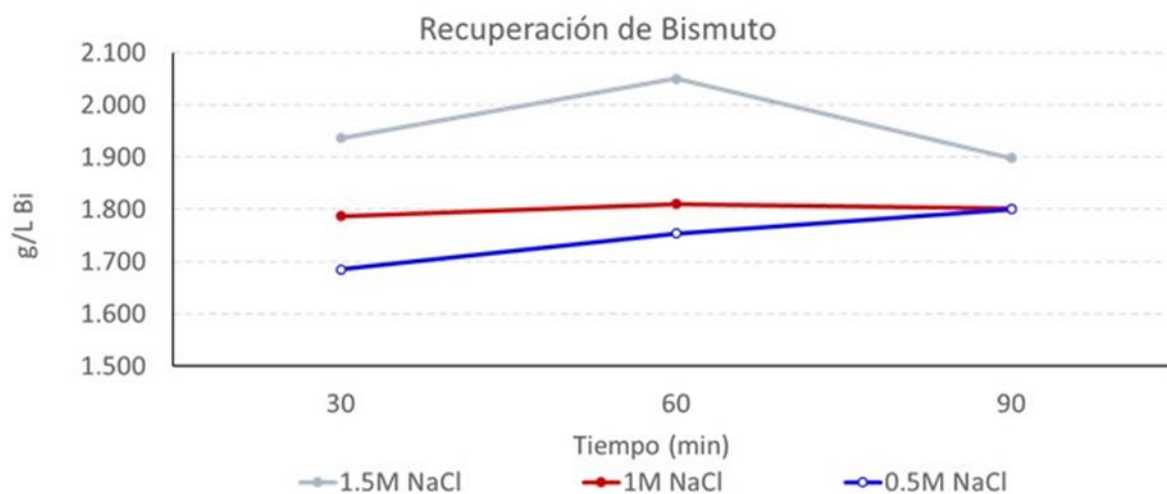


Figura 11. Recuperación de bismuto variando la concentración de NaCl vs tiempo de reacción.

Observando los resultados obtenidos, se decidió trabajar con la concentración de NaCl [1 M], posteriormente se realizaron dos pruebas más para conocer la variación en la recuperación de bismuto respecto a las concentraciones a 0.9 M, 1M y 1.1 M acotando el intervalo, y observar el punto donde el cloro libre (Cl^-) es el reactivo limitante en la reacción que se lleva a cabo, en esta ocasión también se analizó la concentración de plomo lixiviada para considerar el comportamiento de este elemento durante las pruebas futuras, con el objetivo de observar pérdidas de este elemento por el efecto del proceso de lixiviación.

Las variables para estas pruebas, son las siguientes:

- H_2SO_4 [1M]
- Temperatura = 60-65 °C
- % de sólidos = 5%
- Tiempo de agitación total = 60 minutos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de estas pruebas:

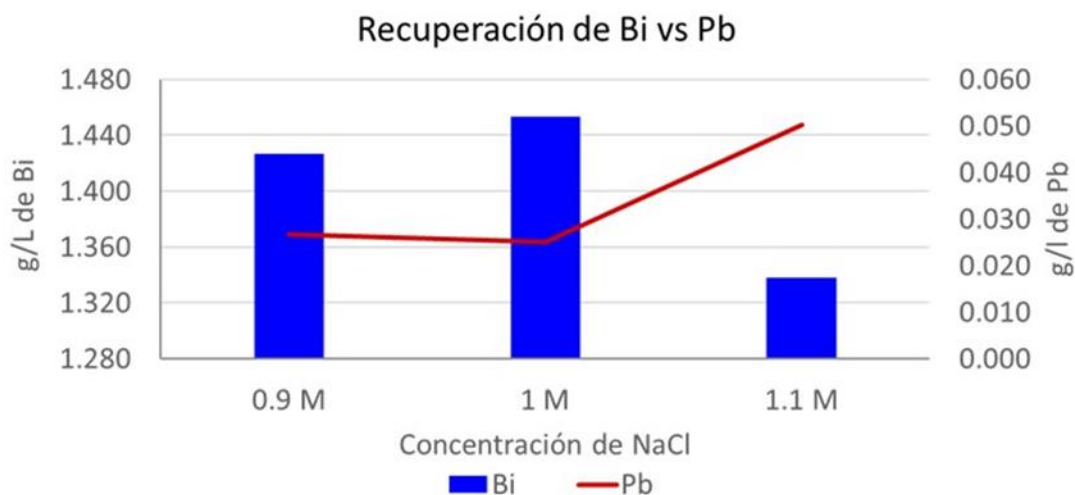


Figura 12. Recuperación de Bi vs Pb lixiviado, variando únicamente la concentración de NaCl.

En la figura 12, se puede observar, que a una concentración de 1M, se obtiene una buena recuperación de bismuto, ya que la pérdida de plomo por lixiviación es mínima.

Variación de porcentaje de sólidos.

Tratando de eficientar el proceso, se realizaron pruebas con diferentes porcentajes de sólidos, manteniendo la concentración de H_2SO_4 y NaCl constantes a [1M], repitiéndose el mismo procedimiento.

Las condiciones en las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- H_2SO_4 [1M].
- NaCl [1M].
- Temperatura = 60-65 °C.

Tiempo de agitación total = 60 minutos

Los porcentajes de sólidos a analizar en estas pruebas, son:

- 5% de sólidos.
- 6% de sólidos.
- 7% de sólidos.
- 8% de sólidos.

Los resultados obtenidos en estas pruebas, se pueden observar en la figura 13, y son los siguientes:

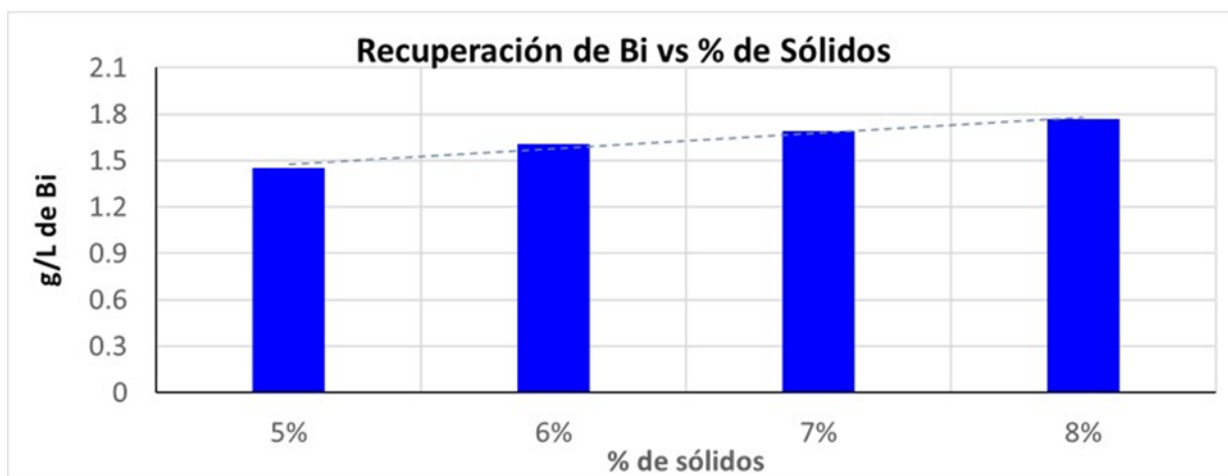


Figura 13. Representa la recuperación de Bi usando como variable el % de sólidos, en ella se observa que al incrementar el contenido de sólidos, se incrementa la concentración de bismuto en el electrolito, producto de la lixiviación.

Ya establecidos los criterios necesarios para llevar a cabo el proceso y obtener los resultados más óptimos, se buscó el porcentaje de sólidos que permita el mayor consumo del Ion Cl^- , dejando la mínima cantidad libre en la solución, esto con la finalidad de minimizar el daño que pueda causar a equipos y tuberías debido al proceso de corrosión, además de buscar la máxima cantidad de sólidos a lixiviar, para optimizar el consumo de reactivos, por lo tanto, se plantaron tres pruebas con diferentes porcentajes de sólidos los cuales son las siguientes:

- 15 % de sólidos.
- 17 % de sólidos y
- 20 % de sólidos.

Las condiciones operativas para estas pruebas las cuales mantuvimos constantes, fueron:

- H_2SO_4 [1M].
- NaCl [1M].
- Temperatura = 60 - 65 °C.

Tiempo de agitación total = 60 minutos.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 14:

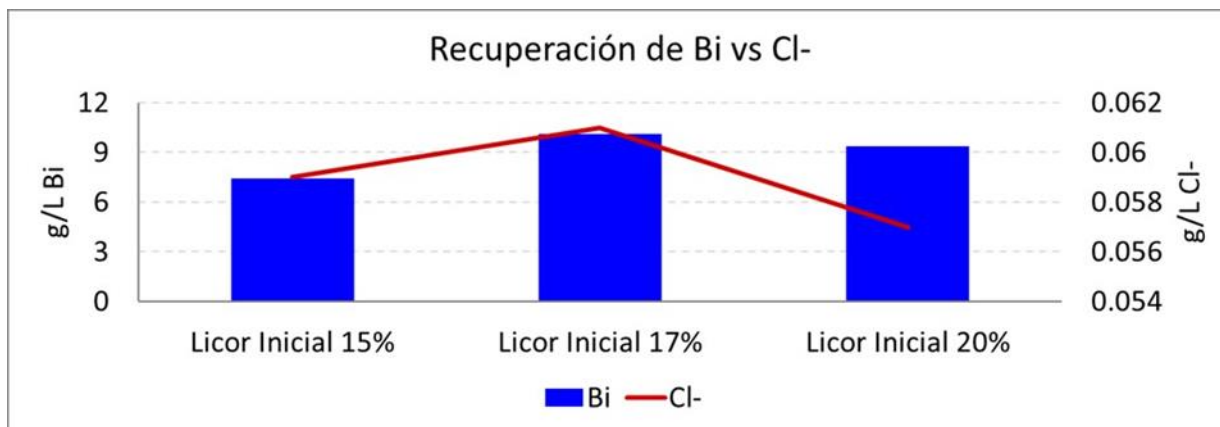


Figura 14. Se observa que entre los valores 17% y 20% de sólidos, se obtiene la máxima lixiviación de bismuto y la mínima de iones Cl⁻.

Precipitación de compuesto de Bismuto con agua de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTARI).

Una opción para optimizar insumos y promover el cuidado del medio ambiente, es precipitar el bismuto con agua recuperada de operaciones industriales, en especial de la Planta tratadora de aguas residuales (PTARI), al utilizar el agua de descarte de esta planta no se incrementara esta corriente de efluentes, al utilizarla en las pruebas los resultados obtenidos fueron alentadores, ya que la precipitación de BiClO se llevó a cabo, además se buscó reducir las ocho partes de agua que se utilizaron al principio para precipitar, se realizaron pruebas con una variación desde una relación de 1:1, partes de agua – partes de licor, hasta 5:1 Partes de agua – partes de licor.

Para estas pruebas se analizaron la concentración de Bi y Cl⁻ en el efluente final, así como la cantidad de bismuto precipitado.

Las condiciones de las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- H_2SO_4 [1M].
- NaCl [1M].
- Temperatura = 60-65 °C.
- Tiempo de agitación total = 60 minutos.
- Porcentaje de sólidos = 17 %

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 15. Representa la concentración en el electrolito de bismuto y cloro, además de la cantidad de gramos precipitados de BiClO con la variación de relación agua – licor, como se muestra en la tabla

IDENTIFICACION	g/L Bi	mg/L Cl^-	gr BiClO
Licor Inicial	9.250	19.18	
1 : 1	0.907	63.95	0.4
1 : 2	0.242	52.08	0.7
1 : 3	0.129	53.58	0.9
1 : 4	0.09	44.09	1.01
1 : 5	0.047	29.28	1.95

En la **figura 15**, se puede observar que, la relación entre bismuto y cloro, al inicio son inversamente proporcionales, pero a medida que se incrementa la adición de agua ambos empiezan a disminuir

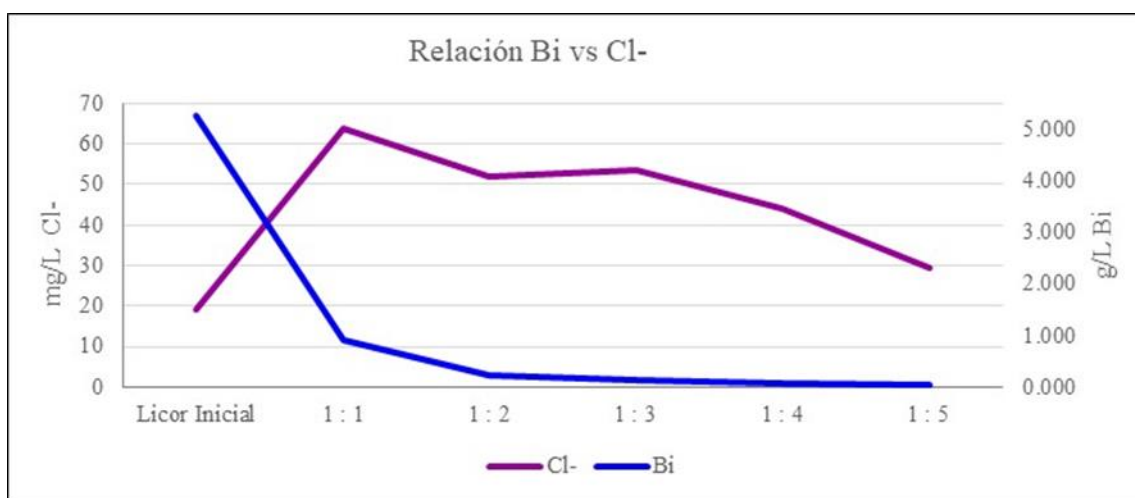


Figura 15. Comportamiento de Cl⁻ y Bi²⁺ en el licor

Mientras que en la **figura 16**, se puede observar el comportamiento de la precipitación de BiClO en función de adición de agua

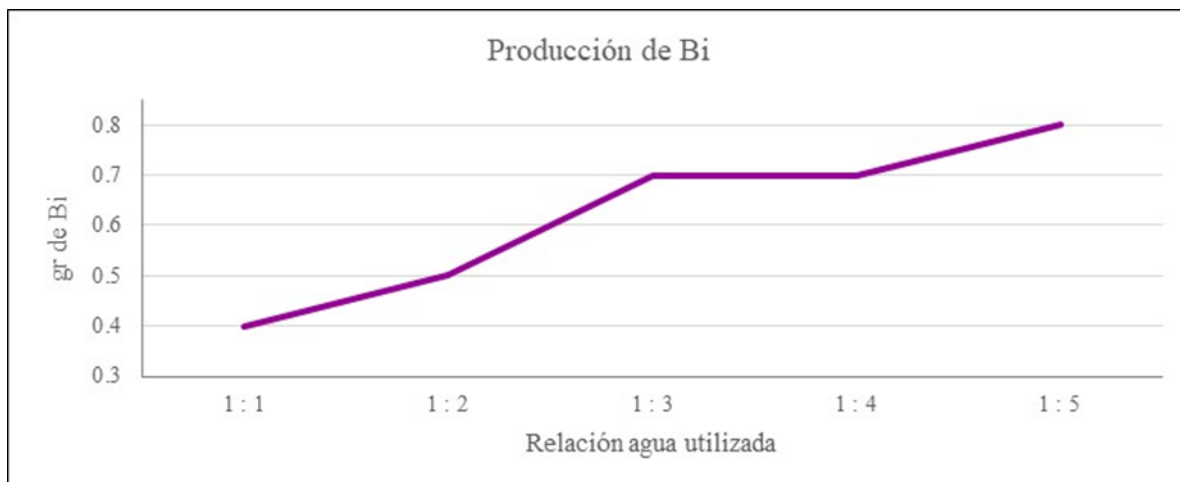


Figura 16. Comportamiento de precipitación de BiClO en función a la relación de agua.

Precipitación de compuesto de Bismuto con agua del Caster de Alambrón.

Se realizaron pruebas de lixiviación de bismuto con parámetros que ya habían sido establecidos como constantes, únicamente se modificó la calidad química del agua con la cual se realiza la precipitación de oxiclورو de bismuto, en esta ocasión fue realizada con agua de desecho del CASTER de Planta de Alambrón, el objetivo es observar si esta agua que se utilizó en el proceso de enfriamiento de la barra de cobre y que contiene reactivos orgánicos, permite la precipitación, y posteriormente comparar la calidad química y cantidad del compuesto de bismuto (BiClO) obtenido con la utilización de ambas calidades de aguas utilizadas (agua de la PTARI y del Caster), analizando si hay diferencia o variación para su utilización, es importante recordar que en las primeras pruebas se utilizó agua de proceso.

Además, también un elemento importante a analizar es el contenido de arsénico en el compuesto de bismuto, debido a que la información comercial que se tiene como referencia para la venta de este material es que el límite máximo permitido sea de 0.5 %.

Las condiciones para estas pruebas fueron las siguientes:

- H_2SO_4 [1M].
- NaCl [1M].
- Temperatura = 60- 65 °C.
- Tiempo de agitación total = 60 minutos.

Porcentaje de sólidos = 15 %

Los resultados obtenidos son los siguientes:

En la figura 17, se observa el aspecto físico del material que presenta alta pureza.



Figura 17. Concentrado de Bismuto (BiClO).

Tabla 16. Comparativo de calidad química de BiClO utilizando diferente calidad química y física de agua reutilizada en el complejo.

IDENTIFICACION	% As	% Bi	% Pb	% Zn	% Sb	% Cd	% Se	% Te	% Cu	% Mo	ppm Ag	ppm F
BiClO PTARI	0.11	67.68	3.90	0.04	1.16	0.01	0.05	0.42	0.16	0.21	0.18	
BiClO CASTER	0.49	76.08	1.93	0.05	0.60	0.01	0.18	0.11	0.21	0.36	0.11	98.00

En la **figura 18**, se observa la calidad química de concentrado de bismuto precipitado con dos diferentes calidades de agua residual.

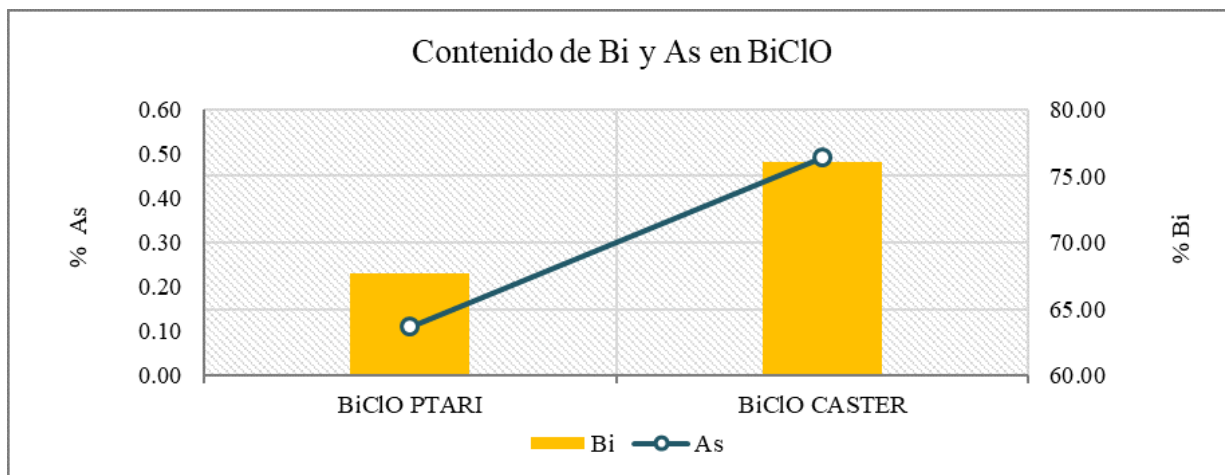


Figura 18. Calidad química del BiClO en función a la procedencia del agua utilizada en la precipitación.

Medición de pH Y mV en soluciones de lixiviación de Bismuto.

De igual forma se realizaron mediciones de pH y potencial en la solución que contiene el bismuto lixiviado y en la solución posterior a llevar a cabo la precipitación, con la finalidad de corroborar lo que indica la teoría de acuerdo al diagrama de Pourbaix.

Las condiciones de las pruebas realizadas son las siguientes:

- H_2SO_4 [1M].
- NaCl [1M].
- Temperatura = 60-65 °C.
- Tiempo de agitación total = 60 minutos.

Los porcentajes de sólidos que se manejaron en estas pruebas son:

- 15% de sólidos.
- 17% de sólidos.
- 20% de sólidos.
- 25 % de sólidos.

Los resultados de estas pruebas son los siguientes:

Tabla 17. Se observa el comportamiento de pH Y Potencial como una función de la concentración de Cl⁻ en los electrolitos obtenidos para las diferentes pruebas.

IDENTIFICACIÓN	pH	POTENCIAL (mV)
Licor Inicial 15%	0.41	402
Inicio de precipitación de Bi 15%	1.02	362
Licor final precipitación de Bi 15%	1.04	358
Licor Inicial 17%	0.46	403
Inicio de precipitación de Bi 17%	1.06	359
Licor final precipitación de Bi 17%	1.10	353
Licor Inicial 20%	0.53	388
Inicio de precipitación de Bi 20%	0.84	366
Licor final precipitación de Bi 20%	1.10	355
Licor Inicial 25%	0.39	393
Inicio de precipitación de Bi 25%	0.77	371
Licor final precipitación de Bi 25%	1.17	347

Tabla 17, resultados de medición de pH y mV en función al porciento de solidos utilizados.

pH vs potencial en función del porciento de sólidos.

En las figuras 19 a 22 se observa comportamiento de pH de la solución con respecto al porcentaje de solidos que se manejaron en las diferentes pruebas.

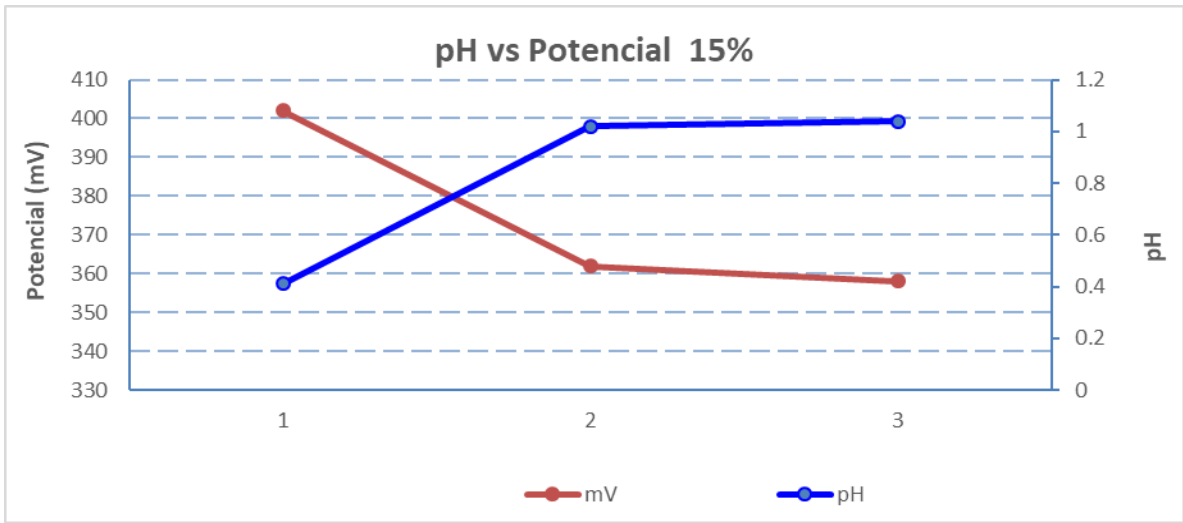


Figura 19. Prueba con 15% de sólidos.

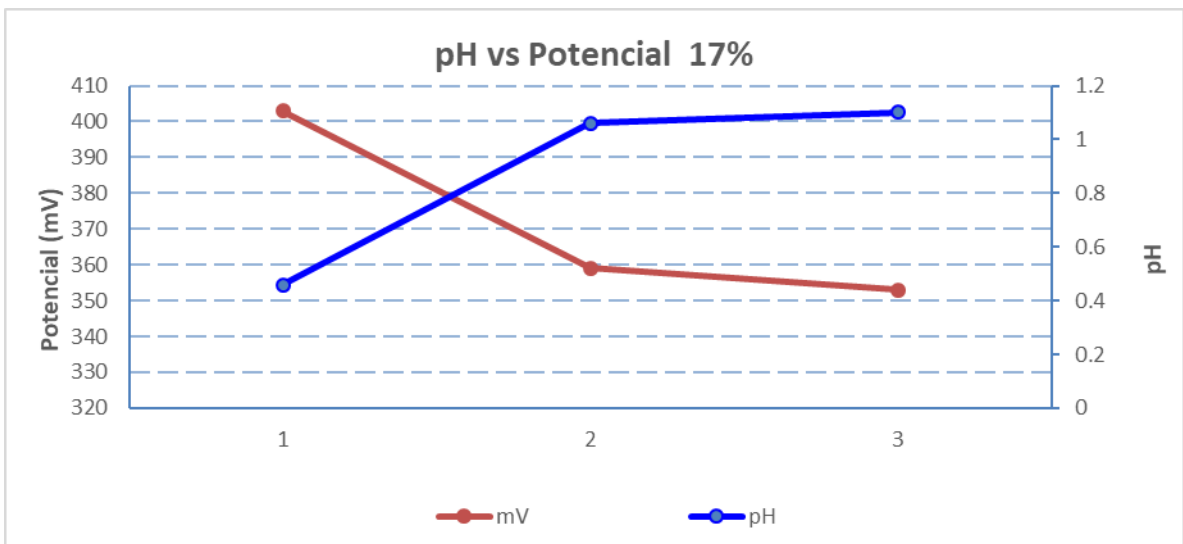


Figura 20. Prueba con 17% de sólidos.

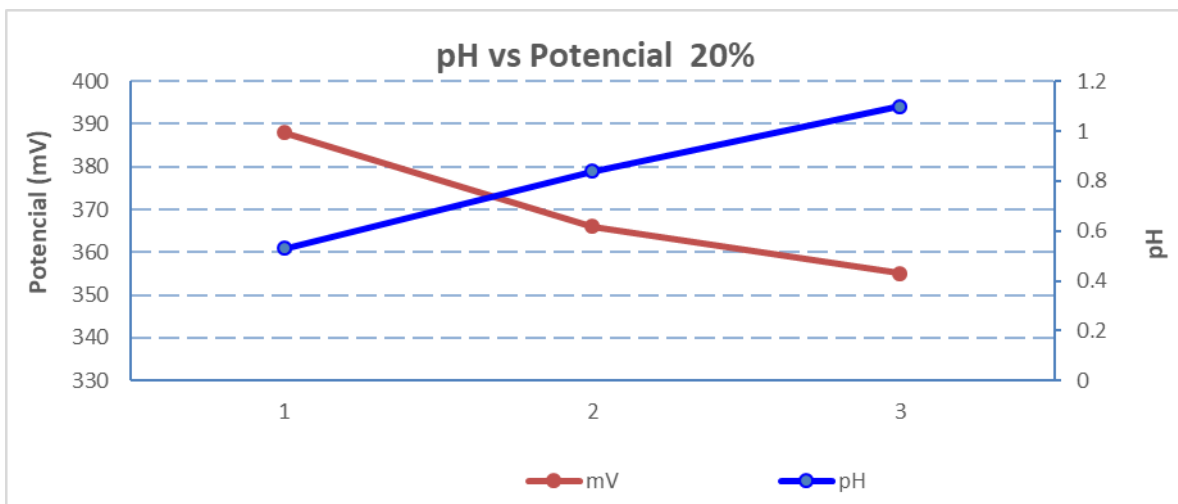


Figura 21. Prueba con 20% de sólidos.

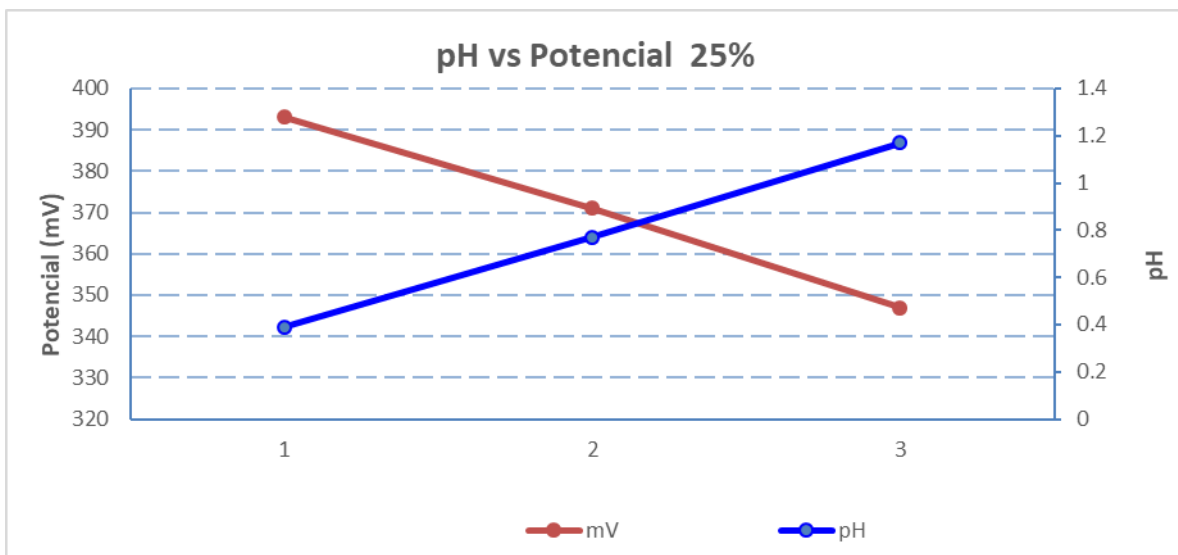


Figura 22. Prueba con 25% de sólidos.

Balance de recuperación de Bismuto

En la **tabla 18**. Se observa el balance metalúrgico que se obtuvo de las pruebas realizada y en base a la recuperación de precipitado de concentrado de bismuto (BiClO) que fue recuperado, es importante comentar que en algunas pruebas se logró una recuperación del 50%, pero en promedio fue del 44.7%.

Tabla 18. Balance metalúrgico de recuperación de concentrado de bismuto.

BALANCE METALÚRGICO 1

COMPONENTE	PESO (g)	Ley (%)	CONTENIDO	
			DE Bi (g)	% RECUP. Bi
PbSO4 INICIAL	150	4.62	6.93	
SOLUCIÓN RICA	1.45	76.08	1.10316	44.70
PbSO4 DESPOJADO	130	1.05	1.365	

Σ Contenido metálico = Extracción líquido + Extracción PbSO4 despojado

Σ Contenido metálico = 2.46816 g

Ley Calculada de Bi =

%Recuperación = 44.70

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Al conocer los procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos que son mencionados en la literatura para el tratamiento, manejo de polvos metalúrgicos y obtención de concentrado de bismuto (BiClO), tuvimos que adaptar uno para poder cumplir con nuestra política de calidad, la cual deja en claro el cuidado de la salud de los trabajadores, el cuidado del medio ambiente, el cual implica el uso racional de los recursos naturales y por último la calidad del producto final el cual debe de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, por lo tanto y en base a nuestros resultados, podemos decir lo siguiente:

1. Ante el inminente cambio en las leyes de los concentrados de cobre, las industrias de procesamiento de este material están voltear hacia los subproductos del proceso principal, ya que, en este caso, las diferentes corrientes como son escorias y polvos metalúrgicos, entre otros, hay elementos que al igual que el cobre, son materia prima para otros procesos.
2. La calidad física y química de polvos metalúrgicos generados en las diferentes corrientes son muy diferentes, por lo que deben de ser tratados para una separación de valores de forma individual y diferente.

3. En base a la caracterización de las corrientes y su origen, es posible realizar una lixiviación selectiva batch de Bismuto y tomando como base el diagrama de Pourbaix la precipitación de oxiclورو de bismuto es posible.
4. La interacción existente entre la superficie de la partícula y los reactivos es de carácter químico y electroquímicos.
5. La calidad química y cantidad de oxiclورو de bismuto precipitado depende de la calidad química del agua, pero cualquier calidad química de agua precipita partículas de oxiclورو de bismuto.
6. El potencial Redox presenta una estrecha influencia en el proceso de precipitación, siendo una variable fácil de medir y de reproducir.

Este proceso puede ser aplicado a los siguientes subproductos: sulfato de plomo comercial, lodos de las fosas de captación de efluentes y lodos de ácido débil.

Recomendaciones:

- Durante el proceso de obtención de concentrado de bismuto (BiClO), en algunas pruebas se logró obtener hasta el 50% de recuperación, para alcanzar este valor se recomienda realizar pruebas considerando las variables tiempo de lixiviación y precipitación, además de la calidad química del reactivo utilizado para la precipitación.

Este tipo de técnica de tratamiento de efluentes es posible aplicarla para la obtención de otros elementos que se encuentran en diferentes corrientes de efluentes de diferentes procesos, esto sin duda ayudara al aspecto ambiental y económico.

- En las pruebas realizada, se puede observar que al incrementar la temperatura de lixiviación es probable que se incremente la pureza del producto final, por lo tanto, para futuras pruebas se recomienda incrementar la temperatura de lixiviación a 80°C y evaluar el costo beneficio de este incremento.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Lager "Proceeding of THE FOURTEENTH INTERNATIONAL FLASH SMELTING CONGRESS USA". 16-21 November 2014.
2. D. Kim and S. Wang (2008). Bismuth Recovery From Hydrochloric Acid Solution, Canadian Metallurgical Quarterly, 47:3, p. 317-326
3. X. Wang*, X. Wang, M Wang, (2017) Characteristics of BiAsO₄ precipitate formation in copper electrolyte, Hydrometallurgy, 171, p. 95-98
4. W. Jin, P. I. Laforest, A. Luyima, W. Read, L. Navarro and M. S. Moats. (2015), Electrolytic Recovery of Bismuth and Copper as a Powder from Acidic Sulfate Effluents Using an Emew Cell, R.SC Advances, 5, p.50372-50378
5. V. A. Krenev, N. F. Drobot, and S. V. Fomichev, (2015), Processes for the Recovery of Bismuth from Ores and Concentrates, Theor Found Chem Eng, 49, p. 540-544
6. Y. Chen, T. Liao, G. Li B, B. Chen A, X. Shi, (2012), Recovery of Bismuth And Arsenic from Copper Smelter Flue Dusts After Copper And Zinc Extraction, Minerals Engineering, p. 23-28

7. T. K. Ha, B. H. Kwon, K. S. Park, D. Mohapatra, (2015), Selective Leaching and Recovery of Bismuth as Bi_2O_3 from Copper Smelter Converter Dust, Separation and Purification Technology 142, p. 116 – 122
8. J. Ficeriova, P. Balaz, C. L. Villachica, J. Harvanova and E. Gock, (2012), Selective leaching of bismuth from mechanically activated concentrate, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section C, 121, p. 103-108
9. X. LIU, Y. Su, Q. Zhao, C. Du, Z. Liu, (2016), Constructing $\text{Bi}_{24}\text{O}_{31}\text{Cl}_{10}/\text{BiOCl}$ Heterojunction Via a Simple Thermal Annealing Route for Achieving Enhanced Photocatalytic Activity and selectivity, Sci Rep, 6, p.
10. P. Xing, B. Ma, C. Wang, Y. Chen, (2019), Extraction and Separation of Zinc, Lead, Silver, and Bismuth from Bismuth Slag, Physicochemical. Probl. Miner. Process., 55, p.173-183
11. F. Aydin, O. Yavuz, (1998), Recovery of Copper, Cobalt, Nickel, Cadmium, Zinc and Bismuth from Electrolytic Copper Solution, Turkish Journal of Chemistry, 12, p. 149-154
12. J. W. Ahn and J. C. Lee, (2011), Separation of Sn, Sb, Bi, As, Cu, Pb and Zn from Hydrochloric Acid Solution by Solvent Extraction Process Using TBP (tri-n-Butylphosphate) as an Extractant. Materials Transactions, 52, pp. 2228- 2232
13. M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, second English Edition 1974, pp.533-539.
14. Huerta Cerdán Antonio. Tesis de Maestria, “Estudio de la cinetica de flotación en menas sulfuradas a partir de métodos electroquimicos “, 1991, Facultad de Quimica U.N.A.M.
15. Pérez Galván Porfirio. Tesis de licenciatura, “Correlación de los potenciales de reposo, Flotación y Recuperación de un mineral de Galena con diferentes Leyes”, 1997, Facultad de Quimica. U.N.A.M.

16. Archivos digitales de los departamentos de ICP, INP y LabCen, del Complejo Metalúrgico. Nacozeni Sonora.

17. Errol G. Kelly y David J. Spottiswood, "Introducción al Procesamiento de Minerales", 1990, Editorial Limusa S.A de C.V.

Anexos

Anexo A:

GLOSARIO

Ácido débil: Es un efluente producido por el proceso normal en las plantas de ácido sulfúrico en la etapa de limpieza de los gases metalúrgicos y cuya concentración varía de 3.0 a 8.0% de H_2SO_4 .

Ácido sulfúrico: Es el producto final del tratamiento de los gases metalúrgicos generados por la fusión de minerales sulfurosos en las etapas de fusión primaria y conversión, este ácido tiene una pureza de alrededor del 98.5% H_2SO_4 y en ocasiones de 96%.

Alambrón: Alambrón de cobre de 8 mm de diámetro producto del proceso de colada continua su presentación es un rollo de 3,200Kg. pero es variable dependiendo de las especificaciones del cliente.

Calidad: Se refiere a la calidad de los rasgos y características de un producto, subproducto o servicio que se refieren a su capacidad de satisfacer necesidades expresadas o implícitas.

Cascarón de mata: Este material es mata o metal blanco que sale del proceso y que es solidificado, para que este material se incorpore al proceso se requiere una granulometría menor a una malla de 12 in y tiene una ley de cobre de 45 a 60% Cu, es utilizado en la fusión primaria para mantener el equilibrio térmico de los equipos.

Concentrado: Insumo principal en la planta fundición, el cual está formado, principalmente por sulfuros de cobre y hierro, la ley de este material varía de 19 a 29 %Cu, 25 a 28 %Fe y 29 a 36 %S, normalmente en su llegada, contiene una humedad del 8 al 12% dependiendo de la época del año.

Cobre blíster: se nombra así al cobre que se obtiene de los convertidores Peirce Smith, y cuya calidad es de 98.5% de cobre.

Impurezas: Para el caso de producción de cobre anódico, es todo aquel elemento que no es cobre y se encuentra en la matriz del mismo, afectando sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y podría generar un costo de castigo por exceder la concentración de estos elementos, existen también impurezas deseables como los metales preciosos los cuales siguen al cobre hasta el proceso de electro-refinación y posteriormente son obtenidos y comercializados.

Objetivos: Especificación de las condiciones deseadas para el futuro.

Operación batch: Operación por cargas dosificadas o en proporciones.

Polvos metalúrgicos: Es el material que se genera en las etapas de fusión y conversión y acompaña a los gases en su recorrido a las plantas de ácido, pero son recuperados en los sistemas de limpieza y manejo de gases con los que cuentan los diferentes equipos que generan este material.

Anexo B:

Información Técnica y Comercial del Oxiclورو de bismuto

Generalidades del Oxiclورو De Bismuto

Descripción

Polvo blanco, inodoro; tiene la propiedad de absorber agua.

Usos

En manufactura de otras sales de bismuto, en polvos faciales, pigmentos, perlas artificiales, electrolito en baterías y como catalizador en reacciones orgánicas.

Propiedades

Es insoluble en agua y soluble en ácidos minerales.

Identificadores Químicos del Oxiclورو De Bismuto

Número CAS Número registrado CAS

7787-59-9

Sinonimias del Oxiclورو De Bismuto

Sinonimias

Oxiclورو de bismuto (III).

Peligrosidad del Oxiclورو De Bismuto

Frases-S Frases numeradas y combinaciones de frases usadas para indicar los consejos de utilización y prudencia básicos para trabajar con sustancias o preparados peligrosos.

Recomendaciones del Oxiclورو De Bismuto

Primeros Auxilios

- 1) Inhalación: respirar aire fresco, reposo y atención médica si el malestar persiste.
- 2) Ingestión: dar a beber agua, llamar a un médico si los síntomas persisten.
- 3) Contacto con piel: quitar la ropa contaminada y lavar con abundante agua durante 15 minutos.
- 4) Contacto con los ojos: lave con cuidado durante 15 minutos (de tener lentes de contacto, quitarlos), no poner ninguna sustancia sin indicación del médico.

Primeros Auxilios del Oxiclورو De Bismuto

En caso de fuego

Utilizar el agente extinguidor indicado para el tipo de fuego circundante.

En caso de fuego del Oxiclورو De Bismuto

Ropa Protectora

Utilice lentes de seguridad, guantes, protección respiratoria y bata.

Propiedades físicas del Oxiclورو De Bismuto

Fórmula semidesarrollada: BiClO

Densidad: 7.7 g/cm³ a 20 °C

Masa molecular UMA Unidad de Masa Atómica, Dalton

260.4 g/mol

Punto de fusión Temperatura del momento en el cual una sustancia pasa del estado sólido al estado líquido. 230 °C

Punto de ebullición Temperatura que debe alcanzar una sustancia para pasar del estado líquido al estado gaseoso.

Sublima (~430 °C)

Propiedades químicas del Oxiclورو De Bismuto

Solubilidad en agua Medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en agua. Insoluble.

Anexo C:

Tabla de comparación de series de cribas estándar U.S.A., Tyler, Canadiense, Británica, Francesa y Alemana

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIENSE (3)		BRITÁNICA (4)		FRANCESA (5)		ALEMANA (6)
Estándar	Alternativa	Designación de malla	Estándar	Alternativa	Abertura nominal	N. nominal de malla	Abertura mm	No.	Abertura
125 mm 106 mm 90 mm 75 mm	5" 4.24" 3 1/2" 3"		125 mm 106 mm 90 mm 75 mm	5" 4.24" 3 1/2" 3"					
63 mm 53 mm 50 mm 45 mm 37.5 mm	2 1/2" 2.12" 2" 1 3/4" 1 1/2"		63 mm 53 mm 50 mm 45 mm 37.5 mm	2 1/2" 2.12" 2" 1 3/4" 1 1/2"					
31.5 mm 26.5 mm 25.0 mm 22.4 mm 19.0 mm	1 1/4" 1.06" 1" 3/4" 3/4"	1.06" .883" .742"	31.5 mm 26.5 mm 25.0 mm 22.4 mm 19.0 mm	1 1/4" 1.06" 1" 3/4" 3/4"					25.0 mm 20.0 mm
16.0 mm 13.2 mm 12.5 mm 11.2 mm	5/8" .530" 1/2" 7/16"	.624" .525" .441"	16.0 mm 13.2 mm 12.5 mm 11.2 mm	5/8" .530" 1/2" 7/16"					18.0 mm 16.0 mm 12.5 mm
9.5 mm 8.0 mm 6.7 mm 6.3 mm	3/8" .265" 1/4" 1/4"	.371" 2/3 3	9.5 mm 8.0 mm 6.7 mm 6.3 mm	3/8" .265" 1/4" 1/4"					10.0 mm 8.0 mm 6.3 mm
5.6 mm 4.75 mm 4.00 mm 3.35 mm	No. 3 1/2 4 5 6	3 1/2 4 5 6	5.6 mm 4.75 mm 4.00 mm 3.35 mm	No. 3 1/2 4 5 6			5.000 4.000	38 37	5.0 mm 4.0 mm
2.80 mm 2.36 mm 2.00 mm 1.70 mm	7 8 10 12	7 8 9 10	2.80 mm 2.36 mm 2.00 mm 1.70 mm	7 8 10 12	2.80 mm 2.40 mm 2.00 mm 1.68 mm	6 7 8 10	3.150 2.500 2.000 1.600	36 35 35 33	3.15 mm 2.5 mm 2.0 mm 1.6 mm
1.40 mm 1.18 mm 1.00 mm 850 µm	14 16 18 20	12 14 16 20	1.40 mm 1.18 mm 1.00 mm 850 µm	14 16 18 20	1.40 mm 1.20 mm 1.00 mm 850 µm	12 14 16 18	1.250 1.000	32 31	1.25 mm 1.0 mm
710 µm 600 µm 500 µm	25 30 35	24 28 32	710 µm 600 µm 500 µm	25 30 35	710 µm 600 µm 500 µm	22 25 30	.800 .630 .500	30 29 28	800 µm 630 µm 500 µm
445 µm 355 µm 300 µm	40 45 50	35 42 48	425 µm 355 µm 300 µm	40 45 50	420 µm 355 µm 300 µm	36 44 52	.400 .315	27 26	400 µm 315 µm
250 µm 212 µm 180 µm	60 70 80	60 65 80	250 µm 212 µm 180 µm	60 70 80	250 µm 210 µm 180 µm	60 72 85	.260 .200 .160	26 24 23	250 µm 200 µm 160 µm
150 µm 125 µm 106 µm 90 µm	100 120 140 170	100 115 150 170	150 µm 125 µm 106 µm 90 µm	100 120 140 170	150 µm 125 µm 105 µm 90 µm	100 120 150 170	.125 .100	22 21	125 µm 100 µm 90 µm
75 µm 63 µm	200 230	200 250	75 µm 63 µm	200 230	75 µm 63 µm	200 240	.080 .063	20 19	80 µm 71 µm 63 µm 56 µm
53 µm 45 µm 38 µm	270 325 400	270 325 400	53 µm 45 µm 38 µm	270 325 400	53 µm 45 µm	300 350	.050 .040	18 17	50 µm 45 µm 40 µm

(1) Serie de mallas U.S.A. — Especificación ASTM E-11-70
 (2) Serie de cribas estándar Tyler
 (3) Serie de cribas estándar canadienses B-GP-64
 (4) British Standards Institution, Londres BS-410-62
 (5) Especificaciones de normas francesas, AFNOR X-11-50T
 (6) Especificación de normas alemanas DIN 4188

* Estas cribas corresponden a las recomendadas por la ISO (International Standards Organization) como norma internacional y debe usarse esta designación al indicar análisis de cribas que sean para publicación internacional.

Del libro "Introducción al procesamiento de minerales".

